



Fig. 9 et 10. — Pêche manuelle à la grande senne tournante au lac Muhazi.



Fig. 11. — Station de Recherche de la Buganya (lac Muhazi) : Récolte d'*Haplochromis* sp.



Fig. 12. — Station de la Buganya (lac Muhazi) : Séchage d'*Haplochromis* sp.

2. Comparaisons des captures aux filets maillants dans les dix lacs

2.1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Une batterie de filets standards expérimentaux, construits avec 10 panneaux à mailles de 8 à 60 mm entre-nœuds (tableau 2), de 2 m de chute sur 25 m de longueur (50 m² par panneau) et reliés les uns aux autres, ont été utilisés systématiquement en zone pélagique (2 poses nocturnes par tournée) et en zone côtière (2 poses nocturnes par tournée) dans les 10 lacs. Un programme de 4 tournées (juillet et octobre 1986, janvier et avril 1987), basé sur les 4 saisons climatiques typiques du Rwanda, a été effectué avec 4 nuits de pêche par lac et par saison. Les filets ont été posés tous les soirs vers 18 h pour être relevés tous les matins vers 6 h. Le démaillage des poissons est effectué sur la terre ferme, les poissons capturés dans chaque panneau sont identifiés, comptés et pesés. Les résultats sont présentés sous forme de tableaux où les nombres et poids de poissons capturés sont rassemblés soit par panneau, soit par filet (somme des captures des 10 panneaux).

Pour les lacs Bulera et Ruhondo, les filets de fond ont été calés à la limite inférieure de la zone aérobique (soit entre 15 et 20 m de profondeur).

Tableau 2

Caractéristiques des 10 panneaux (25 × 2 m) constituant les filets expérimentaux de surface et de fond (montage à 50%, fil nylon monofilament de couleur verdâtre)

Mailles entre-nœuds (mm)	Diamètre du fil (mm)	Filet de fond (F) (plombé à 33 g/m ralingue flottante 7-35)	Filet de surface (S) (plombé à 9 g/m ralingue flottante 6-35)
8	0,104	F1	S1
10	0,104	F2	S2
12	0,127	F3	S3
20	0,127	F4	S4
25	0,147	F5	S5
31,5	0,147	F6	S6
40	0,162	F7	S7
45	0,162	F8	S8
50	0,202	F9	S9
60	0,30	F10	S10

2.2. COMPARAISON DES CAPTURES DE POISSONS (NOMBRE ET POIDS) DANS LES DIX LACS

Sur la base des captures aux filets maillants (tableau 3), la comparaison de l'ichtyofaune dans les 10 lacs étudiés montre des situations très différentes d'un lac à l'autre. Ainsi, le lac Bilira paraît le moins poissonneux avec 71 kg de poissons capturés, alors que le lac Rwampanga semble le plus riche avec

Tableau 3

Comparaison des résultats de capture de poissons dans dix lacs rwandais
(4 nuits de pêche aux filets maillants lors des 4 saisons climatiques
de juin 1986 à juin 1987, d'après BUNEP 1988 et PLISNIER 1990)

Lacs	Nombre total (ind)	Poids total (kg)	Taxons N dans filets maillants / N connus	Poids des «Haplochromis» *	
				(kg)	(%)
1. Bulera	20 191	131	3/3	62	47,3
2. Ruhondo	51 907	252	2/3	209	82,9
3. Muhazi	63 807	242	7/7	181	74,8
4. Mugesera	58 505	363	10/16	231	63,6
5. Bilira	5 568	71	11/17	9	12,7
6. Sake	53 010	312	12/18	127	40,7
7. Rwampanga	68 649	841	23/30	194	23,1
8. Cyambwe	50 892	606	22/29	199	32,8
9. Nasho	31 526	375	11/16	153	40,8
10. Ihema	67 178	625	20/35	228	36,5
TOTAL	471 233	3 818		1 593	41,7

* *Haplochromis* spp. comprend probablement au moins 6 espèces différentes dont certaines appartiennent aux sous-genres *Haplochromis*, *Gaurochromis*, *Paralabidochromis* et *Harpagochromis*. Une révision taxinomique de ce groupe pour le Rwanda est en cours au Musée royal de l'Afrique Centrale à Tervuren.

841 kg de poissons capturés au cours du même cycle annuel et avec le même effort d'échantillonnage. Le nombre et le poids des poissons capturés a tendance à augmenter de l'amont du bassin versant vers l'aval : les lacs pauvres sont en effet Bulera (131 kg), Ruhondo (252 kg) et Muhazi (242 kg), des captures moyennes sont enregistrées dans les lacs de la dépression du Bugesera (Mugesera : 363 kg, Sake : 312 kg) et les meilleures captures dans les lacs de l'Akagera (Cyambwe : 606 kg, Ihema : 625 kg, etc.).

L'examen du nombre de taxons, correspondant à des espèces à part entière pour la plupart des familles (BUNEP 1988), à l'exception des Cichlidae (*Haplochromis*), Cyprinidae (*Barbus*), Characidae (*Alestes*) et Mochocidae (*Synodontis*), indique également une très grande variabilité selon les lacs, allant de 2 (Ruhondo) à 23 (Rwampanga) taxons capturés par filets maillants.

Vu la sélectivité de ce type d'engins, ces chiffres ne reflètent qu'une partie de la diversité piscicole totale connue de ces lacs, qui varie de 3 à 35 taxons actuellement répertoriés. Nous remarquerons toutefois que, plus la diversité connue est élevée, plus le nombre de taxons capturés par filets maillants est grand. D'une façon générale, nous constatons que le nombre de taxons est très faible en amont du bassin versant (Bulera : 3, Ruhondo : 3), augmente légèrement sur le plateau central (Muhazi : 7), s'accroît sérieusement dans

la dépression du Bugesera (Mugesera : 16 ; Sake : 18) et atteint le maximum dans les lacs de l'Akagera (Rwampanga : 30 ; Ihema : 35). Ces données indiquent qu'il doit y avoir des niches écologiques vacantes dans plusieurs de ces lacs (Bulera, Ruhondo, Muhazi, etc.). Il est donc logique d'envisager l'augmentation de leur production piscicole par l'introduction d'espèces appropriées.

Mais les résultats les plus remarquables de cette campagne de pêches expérimentales concernent la proportion pondérale de petits poissons appartenant au genre *Haplochromis* (Cichlidae), qui varie de 12,7% (Bilira) à 82,9% (Ruhondo) des captures totales, avec une moyenne de 41,7% pour les dix lacs étudiés. En général, les *Haplochromis* spp., qui sont présents dans tous les lacs, voient leur importance pondérale relative diminuée de l'amont (Lohondo : 82,9%, Muhazi : 74,8%) vers l'aval du bassin versant (Mugesera : 63,6%, Sake : 40,7%, Ihema : 36,5%), suite à l'augmentation du nombre de taxons. De toute façon, les *Haplochromis* constituent au Rwanda le premier groupe piscicole par ordre d'importance pondérale et les *Tilapia* spp., qui font l'objet principal de l'exploitation actuelle de ces lacs, ne représentent qu'une vingtaine de pour cent de l'ichtyomasse capturée (PLISNIER 1990). Il s'agit donc d'une ressource piscicole insoupçonnée jusqu'à présent et qui a été découverte grâce à cet inventaire systématique des petits lacs du Rwanda.

L'examen plus précis d'un lac particulièrement bien connu, le lac Ihema, qui fait l'objet d'une exploitation uniquement au moyen de filets maillants à mailles de 50 mm entre-nœuds, ce qui donne une production annuelle de l'ordre de 200 tonnes basée presque exclusivement sur *Tilapia* spp. et *Clarias gariepinus* (PLISNIER *et al.* 1988), montre que ces taxons ne représentent que 36% de l'ichtyomasse du lac. Les *Haplochromis* spp., à eux seuls, représentent 36,5% de l'ichtyomasse de ce lac et ne font l'objet d'aucune exploitation. Il est donc évident que le développement d'une technique spécifique de capture des *Haplochromis* spp. et l'exploitation de leur stock permettrait de doubler la production actuelle de ce lac et de tendre vers le niveau de production potentielle estimée (498 t/an) par la méthode des indices morpho-édaphiques.

L'application à d'autres lacs, où l'ichtyomasse «*Haplochromis*» est proportionnellement encore plus importante (Ruhondo : 82,9%, Muhazi : 77,0%, etc.), pourrait également conduire à une nette augmentation de leur production annuelle et répondre ainsi, partiellement, à la demande croissante de poissons au Rwanda.

3. Essais d'exploitation des *Haplochromis*

À l'évidence, ces *Haplochromis*, petits poissons de quelques grammes, ne peuvent être exploités par capture aux filets maillants (mailles de 8 à 12 mm) sans mettre en danger les stocks d'autres espèces (*Tilapia* spp., *Clarias* spp., etc.) dont les juvéniles seraient capturés. Il y a donc lieu de développer des

techniques très spécifiques, telles que le chalutage artisanal ou la senne tournante.

3.1. CHALUTAGE

Le chalutage a été expérimenté au lac Ihema avec 2 pirogues en planches de 4 m de long et 90 cm de large, munies chacune d'un moteur hors-bord de 4,5 CV. Le filet à bœuf utilisé a une ouverture de 11 m et des mailles respectives de 25, 15 et 10 mm pour les ailes, le corps et le cul de chalut (PLISNIER 1990).

Les espèces capturées sont essentiellement des *Haplochromis* spp. (95,5%), un peu de petits *Tilapia* spp. (2,1%) et le reste concerne de petits *Alestes* (0,9%), des *Clarias* (0,7%), etc. Cette technique pratiquée en zone pélagique et à proximité du fond est donc très sélective et atteint la cible visée : le stock d'*Haplochromis*.

Des essais d'exploitation commerciale ont conduit à des captures journalières moyennes de 59,6 kg par unité (2 bateaux motorisés, 1 chalut, 2 pêcheurs). Le prix de revient des captures d'*Haplochromis* a été estimé par HEIDEBROEK (1984) à 44 FRw/kg, ce qui est relativement cher pour ce type de produit. Assez rapidement, la pêcherie Ihema s'est heurtée à des difficultés de commercialisation et à des difficultés techniques (pannes de moteur) qui ont conduit à l'arrêt des essais d'exploitation commerciale. Afin d'éviter ce problème technique et de diminuer le prix de revient du poisson capturé, nous avons voulu expérimenter manuellement (sans motorisation) la pêche à la senne tournante.

3.2. SENNE TOURNANTE

Nous avons fait construire spécialement une petite senne tournante de 100 m de long sur 5 m de chute à mailles de 4 mm entre-nœuds, utilisable sur un bateau à fond plat de 8 m de long sur 1,8 m de large manié par 5 pêcheurs. Cette technique a été utilisée au lac Ihema et au lac Muhazi (PLISNIER 1990). Les résultats expérimentaux montrent que les captures de nuit (10,3 kg/trait de senne) sont nettement supérieures à celles de jour (1,3 kg/trait de senne). Ceci s'explique par une migration verticale nyctémérale des *Haplochromis* qui, dans le lac Muhazi, suivent probablement la migration verticale de leur principale source de nourriture : les larves d'insectes (*Chaoborus*). La pêche commerciale a dès lors commencé en avril 1988 dans le lac Muhazi avec des captures moyennes par nuit de pêche de 139 kg par unité (1 barque avec 5 pêcheurs). Actuellement, les *Haplochromis* sont séchés puis moulus et vendus, sous forme de farine de poisson en petits sachets plastifiés de 100 g, pour la consommation humaine.

Comme la demande s'accroît, le nombre d'unités de pêche sera augmenté sur le lac Muhazi et cette technique pourra s'étendre à d'autres lacs, contribuant ainsi à valoriser une précieuse ressource locale.

Il faut cependant signaler que la production d'*Haplochromis* séchés se heurte actuellement à la concurrence des petits cyprins *Rastrineobola argentea* en provenance du lac Victoria. Ceux-ci, capturés en très grandes quantités, surtout près des rives ouest du lac, envahissent les marchés rwandais et zaïrois à des prix deux ou trois fois inférieurs aux produits similaires pêchés localement au Rwanda. Cette remarque vaut aussi bien pour les *Haplochromis* séchés que pour les *Limnothrissa miodon* du lac Kivu. Au cas où cette situation perdurerait, une solution alternative pour exploiter économiquement ces importantes ichtyomasses serait d'introduire un poisson prédateur qui se développerait au détriment de ces poissons «fourrage».

4. Discussion

Dans le cadre de la stratégie alimentaire au Rwanda, l'évaluation de la ressource piscicole des milieux aquatiques encore mal connus s'avère indispensable. Les études préliminaires et ponctuelles menées par le Bureau National d'Études et Projets (BUNEP), le Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et des Forêts (Minagri) et l'Office Rwandais du Tourisme et des Parcs Nationaux (ORTPN) démontrent clairement l'existence actuelle :

- D'une demande croissante de poissons bon marché pour la consommation humaine ;
- De nombreux petits lacs à ichtyomasse d'importance très variable selon leur type, mais généralement mal exploités vu la focalisation des pêcheurs et des engins sur les *Tilapia* spp. et *Clarias* spp. ;
- Des niches écologiques vacantes dans la plupart des lacs et notamment dans la partie amont du bassin versant du Nil (Bulera, Ruhondo, Muhazi, etc.) ;
- D'une ressource piscicole insoupçonnée jusqu'à présent et peu exploitée : les *Haplochromis* spp.

L'un des objectifs de toute stratégie alimentaire est de fournir à la population locale démunie, des aliments de qualité à bon marché, économiquement accessibles à son pouvoir d'achat. À l'évidence, la multitude des milieux aquatiques du Rwanda peut contribuer à fournir localement et de façon décentralisée à la fois de l'emploi, des revenus et des protéines animales à bon compte. Pour cela, il faut absolument, d'une part, diversifier les captures en exploitant des stocks de poissons importants jusqu'à présent délaissés (*Haplochromis* spp.) et, d'autre part, introduire des espèces de poissons adéquates qui occuperont des niches écologiques vacantes (ex. *Protopterus aethiopicus* introduit en 1989 au lac Muhazi pour consommer l'importante biomasse de mollusques lacustres). Une bonne gestion des ressources naturelles actuelles, complétées par des introductions justifiées, devrait facilement permettre de doubler les captures actuelles de ces nombreux petits lacs rwandais.



Fig. 13 et 14. — Mâle territorial d'*Haplochromis* (*Gaurochromis*) sp. du lac Ihema (haut) et du lac Muhazi (bas). À noter la coloration différente de ces mâles.
(Photos V. de Tillesse, U.C.L., Louvain-la-Neuve).

En tout cas, l'inventaire systématique des ressources piscicoles effectué dans le cadre d'un petit programme ponctuel de recherche-développement, menant à la découverte d'une ressource alimentaire complémentaire importante non exploitée, démontre la nécessité pour le Rwanda, comme pour beaucoup de pays africains en voie de développement, de promouvoir leur propre programme de recherches avec des chercheurs autochtones s'intéressant à connaître leurs ressources biologiques locales. Ce sont ces chercheurs, connaissant bien leur milieu, qui devraient pouvoir évaluer leurs propres richesses naturelles et participer aux décisions pour leur exploitation soutenue à long terme. De plus, la recherche autochtone conduira à la formation de cadres de haut niveau, qui pourront enfin avoir plus de poids que les experts étrangers dans les ministères concernés, où les problèmes des milieux aquatiques et de pêches continentales en particulier sont trop souvent négligés, voire marginalisés, face aux problèmes forestiers, agricoles et autres.

Les petits lacs du Rwanda, géographiquement bien répartis dans le pays, pourraient contribuer de façon plus significative à l'alimentation humaine à un coût acceptable pour les populations à faible pouvoir d'achat. Pour atteindre cet objectif, il faudrait que les milieux aquatiques jouissent d'un peu plus de considération de la part des autorités ministérielles locales et des agences d'aide au développement.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier M. Ntezilyayo, Ministre de l'Agriculture, de l'Élevage et des Forêts du Rwanda, ainsi que M. Balinda, directeur du Bureau national d'Études des Projets, pour nous avoir permis d'utiliser les données recueillies dans le cadre du projet : «Étude pour le développement de la pêche et l'empoisonnement des lacs du nord et de l'est du Rwanda» subsidié par un prêt de la Banque Mondiale. Toute notre reconnaissance va également à M. Habiwaremie, directeur de l'Office Rwandais du Tourisme et des Parcs Nationaux (ORTPN), qui nous a permis de collecter les données sur le lac Ihema. Le Centre de Coopération au Développement (Cecodel) et, plus spécialement, Mme Coppin nous ont également supportés tout au long de ces recherches, tant sur le lac Ihema qu'au Muhazi.

Nous remercions également l'équipe de pêche et notamment P.-D. Plisnier pour les données relatives aux lacs Ihema et Muhazi.

BIBLIOGRAPHIE

- BUNEP, 1988. Étude pour le développement de la pêche et l'empoisonnement des lacs du nord et de l'est du Rwanda. Tome II : Dossier technique et scientifique pour l'étude et l'amélioration de la production piscicole, 165 pp. (inédit).
- DAMAS, H. 1953. Les lacs du Rwanda et leurs problèmes. — *Ann. Soc. r. Zool. Belg.*, 84 (1) : 17-38.

- DAMAS, H. 1954a. Étude limnologique de quelques lacs ruandais. I. Le cadre géographique. — *Mém. Inst. r. colon. belge*, Sect. Sci. nat. et méd., sér. in-8°, 24 (2), 92 pp.
- DAMAS, H. 1954b. Étude limnologique de quelques lacs ruandais. II. Étude thermique et chimique. — *Mém. Inst. r. colon. belge*, Sect. Sci. nat. et méd., sér. in-8°, 24 (4), 116 pp.
- DAMAS, H. 1956. Étude limnologique de quelques lacs ruandais. IV. Les sédiments et leur faune. Conclusions générales. — *Mém. Acad. r. Sci. colon*, Cl. Sci. nat. et méd., nouv. sér. in-8°, 3 (4), 44 pp.
- HANEK, G., BAZIRAMWABO, T. & LAMBÈUF, M. 1989. La pêche d'Isambaza (*Limnothrissa miodon*) au lac Kivu. — International Report on African Great Lakes, Occasional paper, n° 2, 6 pp.
- HEIDEBROEK, P. 1984. Valorisation de la pêche aux *Haplochromis* (Pisces : Cichlidae) du lac Ihema (République rwandaise). — Mém. Faculté des Sciences agronomiques de Gembloux, 90 pp.
- HENDERSON, H. F. & WELCOMME, R. L. 1974. The relationship of yield to Morpho-Edaphic Index and numbers of fishermen in African inland fisheries. Relations entre la production, l'indice Morpho-Édaphique et le nombre de pêcheurs des pêcheries des eaux continentales d'Afrique. — CIFA Occas. Pap./Doc. Occas. CPCA (1), 19 pp.
- KISS, R. 1976. Étude hydrobiologique des lacs de l'Akagera moyenne. — Institut nat. de Rech. scient., Butare, Républ. Rwandaise, Publ. n° 16, 167 pp.
- KISS, R. 1977. Les poissons et la pêche dans le lac Ihema, Rwanda, bassin moyen de l'Akagera. — *Ann. Hydrob.* 17 (2) : 263-318.
- MUGHANDA, M. & MICHA, J.-C. 1988. Observations préliminaires sur la répartition et les fluctuations de l'ichtyomasse exploitable dans les différentes zones écologiques du lac Ihema (bassin moyen de l'Akagera, Rwanda). — *Tropicultura* (Bruxelles), 6 (1) : 3-12.
- PLISNIER, P.-D., GAKIGA, J.-B. & BWIKO, T. 1986. Rapport annuel sur l'étude du lac Muhazi et les pêches expérimentales. — Rapport Cecodel n° 6, 41 pp.
- PLISNIER, P.-D., MICHA, J.-C. & FRANK, V. 1988. Biologie et exploitation des poissons du lac Ihema (Bassin Akagera, Rwanda). — Presses Universitaires de Namur, Namur, 212 pp.
- PLISNIER, P.-D. 1990. Écologie comparée et exploitation rationnelle de deux populations d'*Haplochromis* spp. (Teleostei ; Cichlidae), des lacs Ihema et Muhazi (Rwanda). — Thèse de doctorat, Université Catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, 324 pp.

Le problème du réchauffement terrestre et ses conséquences sur l'agriculture tropicale *

par

Étienne A. BERNARD **

MOTS-CLÉS : Agriculture tropicale ; Changements climatiques ; Effet de serre.

RÉSUMÉ. — Le Soleil rayonne dans l'espace à peu près comme un corps noir à 6 000° K et envoie sur la Terre un rayonnement équivalent en moyenne à 340 MW/km². En sens inverse, la surface de la Terre émet un rayonnement thermique vers l'espace : c'est le rayonnement terrestre. Une part de ce rayonnement terrestre est retenue par l'atmosphère, en particulier par suite de l'absorption due à certains gaz (H₂O, CO₂, CH₄, N₂O et O₃) qui renvoient vers la Terre un contre-rayonnement atmosphérique. Par ses gaz absorbants, l'atmosphère joue ainsi le rôle d'une serre et l'action réchauffante de ces gaz est appelée «effet de serre». Les activités domestiques, industrielles et agricoles de l'homme accroissent les concentrations des gaz à effet de serre (CO₂, CH₄, NO₂ et, depuis 1950, les chlorofluorocarbones CFC). Il en résulte une augmentation de l'effet de serre. Les faits observés qui le prouvent sont : l'élévation de la température observée à la surface terrestre, le relèvement du niveau de l'océan et le recul général des glaciers. Les experts du Panel International sur le Changement de Climat (IPCC) ont imaginé quatre scénarios d'augmentation des gaz à effet de serre pour prédire le réchauffement de la planète et ses conséquences vers les années 2025 et 2090. Ainsi, dans le scénario A, où les activités humaines se produisent sans restriction, le réchauffement sera de 1° C vers 2025 et 3° C vers 2090, l'élévation de niveau de l'océan de 20 cm vers 2025, 60 cm vers 2090. La méthodologie de l'IPCC est cependant critiquable, notamment parce qu'elle ignore le concept de «systèmes des climats» distribués à la surface de la planète et classés, selon Köppen par exemple. Son rapport est muet sur le paramètre fondamental du réchauffement : le contre-rayonnement atmosphérique. Ce rapport est une compilation riche d'avis de nombreux experts, mais on regrettera qu'il ne propose pas un grand projet international animé par l'esprit de synthèse climatologique. Il convient de souligner que le réchauffement planétaire a aussi des aspects positifs pour l'agriculture tropicale, objet de grands programmes de la FAO. Les véritables problèmes des prochaines décennies ne seront pas le réchauffement. Ils seront celui de l'expansion démographique considérable des pays en voie de développement et celui de la pression que leurs populations exerceront sur l'environnement.

* Communication présentée à la séance de la Classe des Sciences naturelles et médicales tenue le 23 avril 1991. Texte reçu le 10 juin 1991.

** Membre titulaire honoraire de l'Académie ; Avenue Winston Churchill 253, B-1180 Bruxelles (Belgique).

SAMENVATTING. — *De problemen van de verwarming van de aarde en de gevolgen ervan voor de tropische landbouw.* — De Zon straalt in de ruimte ongeveer als een zwart lichaam op 6000° K en zendt naar de Aarde een straling uit van gemiddeld 340 MW/km^2 . In omgekeerde richting zendt de aardoppervlakte een thermische straling uit naar de ruimte: de aardstraling. Een gedeelte van deze aardstraling wordt door de atmosfeer opgenomen, in het bijzonder ten gevolge van de absorptie te wijten aan bepaalde gassen (H_2O , CO_2 , CH_4 , N_2O en O_3) die een atmosferische terugstraling naar de Aarde zenden. Door deze absorberende gassen fungeert de atmosfeer als een broeikas en het verwarmingseffect van deze gassen wordt «broeikas effect» genoemd. De huishoudelijke, industriële en landbouwkundige activiteiten van de mens verhogen de concentraties van de gassen met broeikas effect (CO_2 , CH_4 , NO_2 en, sinds 1950, chlorofluorokoolstoffen CFK). Dit leidt tot een toename van het broeikas effect. Waargenomen feiten die dit bewijzen zijn: de verhoging van de temperatuur gemeten aan de aardoppervlakte, een stijging van het niveau van de oceaan en de algemene achteruitgang van de gletsjers. De experts van het Internationaal Panel over de Klimaatverandering (IPCC) hebben vier schema's van toename van gassen met broeikas effect opgesteld om de verwarming van de aardbol en de gevolgen ervan omstreeks de jaren 2025 tot 2090 te voorzien. Zo zal in schema A, waarin de menselijke activiteiten zonder beperkingen worden voortgezet, de verwarming oplopen tot 1° C rond 2025 en 3° C rond 2090, en het oceaanniveau zal 20 cm hoger zijn rond 2025 en 60 cm rond 2090. De werkwijze van de IPCC is echter aanvechtbaar, met name omdat geen rekening gehouden wordt met het concept «klimaatssystemen» die op de aardoppervlakte verdeeld en geklasseerd zijn, bijvoorbeeld volgens Köppen. Het rapport van de IPCC vermeldt niets over de fundamentele parameter van de verwarming: de atmosferische terugstraling. Dit rapport is een verzameling die rijk is aan meningen van vele experts, maar men betreurt dat het geen groot internationaal project voorstelt, gemotiveerd door de klimatologische synthesegeest. Ook dient de nadruk gelegd op de positieve aspecten van de aardverwarming voor de tropische landbouw, die door de FAO als voorwerp voor grote programma's uitgekozen werden. De ware problemen van de komende decennia zullen niet die van de verwarming zijn, maar wel de problemen ontstaan ten gevolge van de aanzienlijke demografische expansie in de ontwikkelingslanden en de druk die daardoor op het milieu zal uitgeoefend worden.

SUMMARY. — *The problem of global warming and its consequences on tropical agriculture.* — The Sun shines in space, more or less like a black body at a temperature of 6000° K and sends light radiation equal, on average, to 340 MW/km^2 to earth. Conversely, the surface of the Earth emits a thermal radiation to space: this is terrestrial radiation. Part of this terrestrial radiation is retained by the atmosphere, particularly through absorption due to certain gases (H_2O , CO_2 , CH_4 , N_2O and O_3) which emit radiation back to the Earth. Due to the absorption capability of the gases, the atmosphere acts as a greenhouse and the warming action of the gases is called the "greenhouse effect". Domestic, industrial and agricultural human activities increase the concentration of the greenhouse gases (CO_2 , CH_4 , NO_2 and, since 1950, chlorofluorocarbons, CFC's), resulting in an increase in the greenhouse effect. Observations which prove this include: an increase in the earth's surface temperature, the rise in sea level and the general retreat of glaciers. The experts of the International Panel on Climate Change (IPCC) have conceived four scenarios for the effects of the increase

in gases with the greenhouse effect, in order to predict the warming of the planet and its consequences by the years 2025 and 2090. Therefore in scenario A, where human activity takes place without being restricted, warming will be 1° C by 2025 and 3° C by 2090, the rise in sea level will be 20 cm by 2025 and 60 cm by 2090. The IPCC method of calculating this is, however, open to criticism, notably because it ignores the concept of "climatic systems" covering the surface of the planet and which are categorized according to Köppen, for example. Its report does not refer to the fundamental parameter of warming, i.e. the atmospheric counter radiation. The report is a compilation rich in expert opinion, but regrettably it does not suggest a big international project prompted by the spirit of climatological synthesis. It is befitting to emphasize that global warming also has positive aspects for tropical agriculture, which is the object of large FAO programmes. The true problems of the next decades will not be of warming, but of considerable demographic growth in developing countries and the pressure that the resulting population will exert on the environment.

1. Le chauffage de la Terre et l'effet de serre naturel (v. BERNARD 1974-75)

1.1. LE RAYONNEMENT SOLAIRE (RS)

Le Soleil rayonne dans l'espace à peu près comme un corps noir à 6 000° K selon les trois lois du rayonnement thermique de Planck, Wien et Stefan. Les deux premières définissent la qualité du rayonnement : distribution énergétique spectrale et position du maximum. Le RS est émis dans le domaine 0,2 à 4 μm *, soit de l'UV abiotique à l'IR proche, avec longueur d'onde λ_M du maximum à $2897/T = 0,48 \mu\text{m}$ dans le bleu. Le visible va de 0,4 à 0,7 μm .

En quantité, le RS est défini par la constante solaire I_0 : puissance de la source solaire rayonnant sur un cm^2 normal à la distance moyenne a de la Terre au Soleil. Les mesures donnent $I_0 = 1,36 \text{ kW/m}^2 = 1,95 \text{ cal/cm}^2 \text{ min}$. Le RS est intercepté en permanence par la section πR du «terminateur», le grand cercle séparant la face éclairée du jour de celle de la nuit. La puissance du RS, en moyenne annuelle et par cm^2 de la surface terrestre, est celle à travers le terminateur étalée sur la surface $4 \pi R$, soit $I = I_0/4 = 0,34 \text{ kW/cm}^2 = 0,4875 \text{ cal/cm}^2$. Ainsi, le RS qui chauffe notre habitat planétaire à 15° C représente la puissance de 340 MW/ km^2 , soit celle de 510 millions de centrales de cette puissance.

1.2. LE RAYONNEMENT TERRESTRE (RT)

Tous les échanges d'énergie dans le système Atmosphère (A) - Substrat (S) continental ou océanique ont pour origine le RS incident I. Leur résultat

* Pour rappel, $1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m} = 10^{-3} \text{ mm}$.

final est de chauffer la surface (s) à 288°K (15°C) de température d'équilibre, en moyenne annuelle. La surface émet donc du rayonnement thermique vers l'atmosphère selon les trois lois citées mais écrites pour les corps dits gris de la surface. Ils sont caractérisés en effet par un «pouvoir émissif» ϵ_s compris entre 0,90 et 0,98, alors que $\epsilon_s = 1$ pour le corps noir théorique. La loi de Planck donne une distribution spectrale énergétique allant de 4 à $100\ \mu\text{m}$ dans le domaine de l'IR moyen et lointain. Pour les températures extrêmes, de -50°C à $+50^{\circ}\text{C}$, la loi de Wien place la longueur d'onde des maxima entre 13 et $9\ \mu\text{m}$. Pour la moyenne 15°C , $\lambda_M = 10\ \mu\text{m}$. Tout rayonnement émis ainsi dans ce domaine, selon les températures rencontrées dans le système atmosphère-surface de la Terre, s'appelle «rayonnement terrestre» (RT). La loi essentielle qui introduit la température de surface T_s dans les bilans (point 1.5) est celle de Stefan : la puissance totale émise à l'unité de temps et de surface est $N_s = \epsilon_s \sigma T_s^4$, où σ est la constante de Stefan,

$$\sigma = 5,670 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4 = 0,8126 \cdot 10^{-10} \text{ cal/cm}^2 \text{ min K}^4$$

1.3. LES GAZ À «EFFET DE SERRE» (ES)

L'air est un mélange de gaz, constitutifs de l'atmosphère terrestre. Certains de ces gaz d'origine naturelle (la vapeur d'eau H_2O , le dioxyde de carbone CO_2 , le méthane ou gaz des marais CH_4 , l'oxyde nitreux N_2O et l'ozone O_3) ont des bandes d'absorption importantes dans l'IR terrestre. Ces bandes sont formées de raies très nombreuses et très serrées dues aux transitions quantiques de vibration et de vibration-rotation des molécules concernées. Les raies principales des bandes importantes sont les suivantes : O_3 à $9,65\ \mu\text{m}$, CO_2 à $4,3\ \mu\text{m}$ et surtout à $14,7\ \mu\text{m}$, H_2O à $5,97\ \mu\text{m}$ et une large bande à $20\ \mu\text{m}$. De 8 à $13\ \mu\text{m}$, l'atmosphère est bien transparente au RT dont une part importante s'échappe ainsi vers l'espace, retenue un peu par l'ozone, à $9,65\ \mu\text{m}$. Cette ouverture spectrale de l'atmosphère sur l'espace est joliment appelée «la fenêtre atmosphérique». Plus l'atmosphère est riche en vapeur d'eau, plus la fenêtre se ferme et plus est efficace le matelas protecteur thermique qu'est l'atmosphère. Les nuits au Sahara sont froides parce que le ciel serein et la sécheresse de l'air y ouvrent largement la fenêtre atmosphérique.

Une serre est chauffée par la bonne transparence de son vitrage au rayonnement solaire et par la forte opacité de ce vitrage au rayonnement IR émis par les corps de la serre. Les vitres réémettent un contre-rayonnement IR vers ces corps et la serre garde sa chaleur. Par ses gaz absorbant l'IR terrestre, l'atmosphère joue le rôle d'une serre et l'action réchauffante de ces gaz est appelée «l'effet de serre» (ES).

1.4. LES ÉCHANGES D'ÉNERGIE, CRÉATEURS DU TEMPS ET DES CLIMATS

Le chauffage du système atmosphère-substrat en un lieu consiste en échanges d'énergie des RT et RS, puis en échanges de chaleur d'advection ou latente.

Ces échanges obéissent à des équations simples de bilan par le principe de la conservation de l'énergie. L'évolution de ces échanges dans le rythme des heures et des jours induit l'évolution du système du temps météorologique. Dans le rythme moyen des saisons et des années, elle détermine la distribution du système des climats terrestres. Köppen a classé ceux-ci en 11 grands types associés chacun à un écosystème caractéristique, de la forêt équatoriale à la toundra polaire. Les variations saisonnières moyennes ou «régimes» de la température T_s et des précipitations P suffisent à caractériser les 11 types climatiques de Köppen.

On peut considérer que le climat de la Terre entière est défini par deux nombres moyens annuels : la température de la surface \bar{T}_s et les précipitations \bar{P} en mm. Le problème du réchauffement se résume dans les questions : \bar{T}_s et \bar{P} ont-ils varié depuis cent ans et, si oui, comment l'augmentation des concentrations des gaz ES peut-elle expliquer ces variations? Pour répondre à ces questions, il faut examiner comment le Soleil chauffe la planète Terre, c'est-à-dire analyser son bilan thermique.

1.5. LE BILAN THERMIQUE DE LA TERRE

Représentons par 100 le RS incident I en moyenne annuelle et pour la Terre entière. En valeur absolue $I = 0,4875 \text{ cal/cm}^2 \text{ min}$. Le système atmosphère-substrat (AS) renvoie vers l'espace $R^* = a^*I$ où a^* est l'albédo planétaire mesuré par les satellites : $a^* = 0,30$. La chaleur absorbée par AS est donc $Q_{AS} = (1 - a^*)I = 70$. La surface s reçoit du rayonnement solaire direct et diffusé par le ciel pour un total appelé «rayonnement global» G , estimé à 54. L'albédo des continents et des océans a_s est adopté à 0,13. D'où la part réfléchiée vers le ciel : $R_s = a_s G = 7$. Le substrat absorbe donc $Q_s = (1 - a_s)G = 47$. Le bilan de l'absorption du RS par l'atmosphère est ainsi :

$$Q_{AI} = (1 - a^*)I - (1 - a_s)G = 70 - 47 = 23 \quad (1)$$

Le bilan du rayonnement terrestre commence par celui du système SA, qui émet vers l'espace un rayonnement planétaire N^* . Tout terme de RT sera symbolisé ici par N , rappelant ainsi que l'émission a lieu selon les lois voisines de celles du corps noir. Après un certain nombre d'années, les bilans moyens de l'absorption sont nuls pour le système SA, pour S et pour A. Il faut donc que $N^* = (1 - a^*)I = 70$. Chauffée à T_s , la surface émet un rayonnement terrestre propre $N_s = \epsilon_s \sigma T_s^4$. Adoptant $\epsilon_s = 0,94$ et $T_s = 15^\circ \text{ C} = 288 \text{ K}$, on trouve $N_s = 108$. C'est maintenant qu'interviennent les gaz ES. Absorbant une grande part de N_s , ils renvoient vers la surface un contre-rayonnement atmosphérique $N_A = 95$, soit 88% de N_s . Du N_A incident une part $a_N N_A$ est réfléchiée par l'albédo $a_N \approx 1 - \epsilon_s$ des surfaces dans l'IR terrestre. D'où un rayonnement terrestre effectif de la surface réduit à :

$$N = N_s - N_A + (1 - \epsilon_s)N_A \approx N_s - \epsilon_s N_A = 108 - 89 = 19 \quad (2)$$

L'atmosphère gagnant 19 et perdant 70 en RT, le bilan de son absorption en RT est donc $Q_{AN} = 19 - 70 = -51$. L'atmosphère est donc un puits de chaleur en RT. Son bilan total en RS et RT est :

$$Q_A = Q_{AI} + Q_{AN} = 23 - 51 = -28 \quad (3)$$

Le bilan énergétique de l'atmosphère B_A devant être nul, il existe un apport de chaleur compensateur de +28. Il est fourni par la chaleur latente des précipitations, $LP = 23$, et par la chaleur «sensible» communiquée par la surface à l'air, $H = 5$. Notons qu'en moyenne annuelle et pour la planète entière LP est égal à LE , la chaleur latente d'évaporation. Au taux $L = 59$ cal par mm évaporé, on trouve $P = 1000$ mm/an pour la lame d'eau précipitée ou évaporée annuellement à la surface de la Terre. Le Tableau 1 ci-après résume les bilans exposés.

Tableau 1

Résumé des bilans d'énergie de la Terre en moyenne annuelle ($I = 100$)

Bilans pour	Rayonnement		Echanges de chaleur	Bilan final
	Solaire RS	Terrestre RT		
1. le système AS (à la limite atmos.)	$(1-a^*) I$ (1-0,30) 100	- N* -70	- -	= 0 = 0
2. le substrat S au niveau de la surf. s	$(1-a_s) G$ (1-0,13) 54	-N -19	-LP-H -23-5	= 0 = 0
3. l'atmosphère : AS-S	$(1-a^*) I - (1-a_s) G$ 70-47 = 23	-N*-N -51	+LP+H +22+5	= 0 = 0
avec $N = N_s - (1-a_N) N_A = \epsilon_s (\sigma T_s^4 - N_A)$ et $\epsilon_s = 0,94$				

1.6. INTÉRÊT DE LA MÉTHODE ÉNERGÉTIQUE. EFFICACITÉ DE L'ES

Ces bilans globaux par latitude transcrivent le déterminisme naturel des processus d'échanges d'énergie qui installent en surface les états d'équilibre T_s et P . Le rayonnement incident I pour chaque latitude est exprimable selon les lois astronomiques. Il est fonction de I_0 et des trois paramètres astronomiques de l'époque : l'obliquité de l'écliptique ϵ , l'excentricité e de l'orbite elliptique et la position Π du périhélie P , angle des directions $S\gamma$, SP , où S est le centre du Soleil et γ le point vernal. Rappelons que γ , origine des longitudes célestes, est le point de percée avec la sphère céleste de la direction Terre-Soleil à l'instant de l'équinoxe de printemps. À notre époque (1990) : $\epsilon = 23^\circ 44'$, $e = 0,01671$ et $\Pi = 102^\circ 77'$.

Les bilans par latitude, par continent et océan, par région ou par saison, par jour serein ou couvert, peuvent être établis et calculés grâce aux observations de surface et satellitaires. L'analyse de ces bilans introduit les causes

dynamiques de la circulation de l'atmosphère et des océans. La chaleur d'advection Q_d , la nébulosité n et le cycle de l'eau dépendent de ces circulations.

Les équations des bilans permettent d'exprimer T_s et P en fonction de leurs causes, dont celles que les activités humaines modifient. Par exemple, pour les continents, l'albédo a^* observé dépend des aérosols et de l'albédo de surface a_s . Les contre-rayonnements atmosphériques N_A et N^* dépendent de la concentration des gaz à effet de serre.

On affirme souvent que, sans l'effet de serre, la température de la Terre tomberait à -18°C . On entend ainsi la valeur T_s qu'on obtiendrait si tout le rayonnement N_s passait vers l'espace sans retenue par les bandes du CO_2 , H_2O et O_3 . Alors, remplaçant N^* par N_s dans le bilan $(1 - a^*) I - N_s = 0$, on obtient en effet $\sigma T_s^4 = (1 - a^*) I / \epsilon_s$. Les valeurs adoptées donnent $T_s = 258,5^\circ \text{K}$, soit $-14,6^\circ \text{C}$. En posant, avec beaucoup d'auteurs, $\epsilon_s = 1$ (corps noir), on obtient $T_s = 254,6^\circ \text{K} = -18,5^\circ \text{C}$. Cet exemple montre l'importance de considérer ϵ_s . Omettre d'en tenir compte est une erreur.

Posons le problème plus direct et plus réaliste de la sensibilité de T_s à N_A : quelle est la petite variation dT_s qu'entraîne une petite variation dN_A , les autres paramètres du bilan de surface restant constants? En différentiant l'équation du bilan, nous trouvons pour l'effet thermique propre de N_A :

$$dT_s = \epsilon_\sigma \frac{T_\sigma}{4} \frac{N_A}{N_\sigma} \frac{\delta N_A}{N_A} = \left(\frac{100 dN_A}{N_A} \right) = 0,60^\circ \text{C} \quad (4)$$

D'où le résultat intéressant : toute augmentation ou diminution de N_A d'un pour cent réchauffe ou refroidit la Terre de $0,6^\circ \text{C}$. Cette sensibilité thermique considérable est due à la loi de Stefan en σT_s^4 .

2. L'effet de serre artificiel

2.1. LES CONCENTRATIONS CROISSANTES DES GAZ ES

Depuis le début du siècle et surtout depuis 1950, les activités industrielles et agricoles augmentent beaucoup les concentrations des gaz EF : CO_2 , CH_4 et N_2O . Les fréons ou chlorofluorocarbones (CFC), dont le CFC11 et le CFC12, apparaissent dans la stratosphère vers 1950.

Dans les années 1970, le monde a pris conscience que notre environnement planétaire est limité et menacé. Protection de cet environnement, mouvements écologistes, sécheresses, réchauffement par les gaz ES et trou de l'ozone ont mis le problème du changement du climat terrestre au premier plan des préoccupations du public, puis des gouvernements jusqu'aux Chefs d'État réunis à La Haye en mars 1989. L'inquiétude s'est accélérée par un jeu d'interactions entre les médias et des scientifiques passionnés, aussi par l'abondance de livres et d'articles aux titres accrocheurs.

En octobre-novembre 1990 s'est tenue la Deuxième Conférence Mondiale sur le Climat (OMM, PNUE) à Genève, sur la base des rapports déposés

par l'IPCC (HOUGHTON *et al.* 1990). Les données ci-après sur les concentrations des gaz ES sont tirées de ces documents. On convient de définir les concentrations des gaz de l'atmosphère en «parts par volume» (ppv). C'est le rapport V_i/V , entre le volume V_i du constituant i ramené à la pression du mélange et le volume V du mélange. Pour la commodité de la présentation des résultats, on utilise les ppv soit en ppc (part pour cent), en ppm (part par million), en ppb (part par milliard), voire en ppt (part par trillion). On se représente mieux le sens des énormes variations des concentrations selon le gaz, si l'on note que les ppv expriment le nombre de molécules. Soit un million de molécules d'air sec représentées par tous les cm^3 d'un m^3 ; les gaz N_2 , O_2 , Ar occuperaient respectivement 781 000, 210 000 et 9 000 cm^3 . Les molécules de CO_2 seraient perdues dans 350 cm^3 de ce million. Ce faible nombre marque notre premier étonnement à l'égard de la surprenante activité photosynthétique. Quant à la concentration de l'ozone O_3 , elle s'exprime en ppb. C'est un cube de 10 m d'arête qu'il faut prendre en référence. Dans son milliard de cm^3 , il n'y aurait que 10 à 100 cm^3 occupés par O_3 . En comprimant tout l'ozone atmosphérique aux conditions normales, on obtiendrait un voile de 2 à 4 mm d'épaisseur. Et pourtant, c'est ce voile si ténu qui absorbe vers 20 à 30 km d'altitude tout l'UV abiotique et qui a permis à la vie de naître et d'évoluer!

Le Tableau 2 ci-dessous montre l'augmentation rapide des concentrations de l'atmosphère en gaz ES. Il donne aussi la contribution en % de ces gaz à l'effet de serre.

Tableau 2
Augmentation des concentrations des gaz ES et leur contribution à l'ES (1980-1990)
(HOUGHTON *et al.* 1990)

Gaz à ES		Concentrations		Augm. en % 1990	Contribution à l'ES en %
		1960	1990		
CO_2	ppm	316	354	0,5	55
CH_4	ppb	1272	1717	0,9	15
N_2O	ppb	297	310	0,25	6
CFC11	ppt	17	280	4	} 17
CFC12	ppt	30	484	4	
Autres CFC	ppt	—	5 à 600	1,5 à 15	7

L'ozone ne figure pas dans ce tableau, à cause des incertitudes sur les concentrations très variables avec la latitude et les saisons. On estime que, dans la troposphère, O_3 augmente de 1 à 2% par an. Au retour de chaque printemps, en septembre-octobre dans l'hémisphère austral, on observe une diminution de l' O_3 stratosphérique. C'est le «trou de l'ozone» de l'Antarctique découvert au-dessus de Halley Bay en octobre 1984. Les CFC sont tenus pour responsables de la disparition de l' O_3 stratosphérique.

On connaît les variations des concentrations naturelles de l'atmosphère en CO_2 et CH_4 de 160 000 ans à notre époque. Une carotte de glace de 2200 m extraite en Antarctique à la station Vostok a fourni les données. Les variations en isotopes lourds ont livré celles de la température dont l'amplitude est 12°C . L'analyse de l'air piégé entre les cristaux de glace a donné les variations en CO_2 et CH_4 . Celles-ci sont en haute corrélation positive avec la température. Les concentrations du CO_2 oscillent entre 200 et 300 ppm. Celles du CH_4 varient entre 300 et 700 ppb. Les fluctuations de température confirment la théorie astronomique des alternances de glaciation et d'interglaciation créée par M. Milankovitch en 1920. Rejetée par la communauté scientifique surtout anglo-saxonne jusqu'en 1976, elle est maintenant unanimement glorifiée. Dès mes années de stage (1941-1945), j'en fus un défenseur convaincu. Les bilans d'énergie qui expriment T_s en fonction de sa cause astronomique, l'insolation T (λ , ϵ , e , Π), en apportent la preuve immédiate (BERNARD 1974-75). Le délai de reconnaissance d'une grande idée aux preuves évidentes et qui éclaire les faits a été d'un demi-siècle dans les trois cas de la gravitation (Newton, 1687), de la dérive des continents (Wegener, 1912) et de la théorie astronomique des climats (Milankovitch, 1920). En 1960, je présentais devant la Classe des Sciences naturelles et médicales de l'Académie l'extension de cette théorie aux régions tropicales et à l'HS, en résumant un mémoire qui fut ensuite publié par l'Académie sous le titre : «Théorie astronomique des pluviaux et interpluviaux du Quaternaire africain» (BERNARD 1962).

2.2. LES FAITS PROUVANT LE RÉCHAUFFEMENT

L'idée que l'injection de CO_2 dans l'atmosphère par l'industrie doit augmenter l'ES et réchauffer la planète est déjà ancienne. Elle remonte à la fin du siècle dernier avec les idées de S. Arrhenius, puis du géologue T. C. Chamberlain sur le CO_2 comme cause des changements de climat des époques géologiques. Reprise par G. N. Plass vers les années 1955 dans sa forme moderne, elle a donné lieu depuis vingt ans à de nombreux travaux sur l'ES par le CO_2 , puis par les autres gaz actifs. Voici les conclusions de ces études fondées sur les observations, telles que le rapport IPCC les présente (HOUGHTON *et al.* 1990).

1°) *La température moyenne annuelle* établie pour de nombreuses stations des hémisphères N et S et pour l'Océan a augmenté de $0,6^\circ \text{C}$ de 1910 à 1990. La courbe depuis 1860 et pour la Terre entière permet de distinguer quatre périodes :

- 1) de 1860 à 1910 stationnaire et plus froide de $0,5^\circ \text{C}$;
- 2) de 1911 à 1940 en augmentation de $0,4^\circ \text{C}$;
- 3) de 1941 à 1970 en diminution de $0,1^\circ \text{C}$;
- 4) de 1971 à 1990 en augmentation de $0,3^\circ \text{C}$.

2°) *Le niveau de l'océan* s'est élevé de 15 cm de 1880 à 1980, selon l'analyse des données de 130 stations marégraphiques. On estime que 4 cm de cette élévation reviennent à l'expansion thermique, 4 cm à la fonte des glaciers et 2,5 cm à la fonte de la calotte glaciaire du Groenland.

3°) *Le recul des glaciers* est général depuis la fin du siècle dernier, comme en témoignent les observations directes et les photographies des glaciers prises à diverses époques.

3. Les prévisions du réchauffement jusqu'en 2100

(HOUGHTON *et al.* 1990)

3.1. MÉTHODOLOGIE

Les experts de l'IPCC ont imaginé quatre scénarios d'augmentation des gaz ES pour prédire le réchauffement de la planète et ses conséquences vers les années 2025 et 2090. Dans le scénario A, les activités humaines se poursuivent sans restriction. Dans les scénarios B, C, D, les concentrations des gaz ES subissent des restrictions de plus en plus fortes. La notion de «Forçage radiatif» d'un gaz ES a été introduite. C'est le changement ΔF du flux radiatif net au niveau de la tropopause (en watts/m²) produit par une variation de concentration du gaz. Les cycles des gaz ES et les aérosols ont été analysés dans leurs sources naturelles et artificielles, dans leur durée de vie et leur concentration, comme dans leurs interactions chimiques complexes. Pour le cycle du CO₂, les échanges atmosphère-océans-biosphère ont été examinés.

Les météorologistes-dynamiciens ont pris en mains le problème du changement climatique, un créneau d'un tel intérêt et d'un tel avenir ne pouvant être abandonné aux climatologues. La passion des équations de l'hydro- et de la thermodynamique a naturellement fait voir la solution du problème dans l'établissement de modèles à circulation générale de l'atmosphère (MCGA), couplés avec des modèles pour l'Océan. Ils ont ambitionné ainsi de simuler «Le Modèle» de la Nature qui installe les climats dans le déroulement du temps météorologique et au cours des décennies. L'intégration numérique d'un grand système d'équations dynamiques et d'échanges divers, rendue possible par de puissants ordinateurs, leur a donné l'espérance de pouvoir réussir «Le Modèle». Dans ce point de vue, une grande importance est attachée au «système climatique» fait des cinq composantes : atmosphère, océan, cryosphère, biosphère et géosphère (continents). Les échanges énergétiques et du cycle de l'eau entre ces composantes ont été simulés.

3.2. RÉSULTATS ET INCERTITUDES

Les modèles montrent que, dans le scénario A, le réchauffement sera de 0,3° C par décennie, soit de 1° C vers 2025 et 3° C vers 2090. Il sera plus marqué sur les continents que sur les océans. Ce sont les régions polaires

qui se réchaufferont le plus, surtout l'hiver, et les régions tropicales se réchaufferont le moins. Des prévisions régionales de changement climatique en température et en précipitations ont été faites par l'emploi de modèles à haute résolution. Les régions choisies sont : le centre de l'Amérique du Nord, l'Asie méridionale, le Sahel, l'Europe méridionale et l'Australie. Le rapport souligne que la fiabilité de ces prévisions est faible.

Le niveau de l'océan s'élèvera de 6 cm par décennie pour atteindre 20 cm vers 2025 et 60 cm vers 2090.

Les incertitudes sur les prévisions par modèles à circulation générale de l'atmosphère sont attribuées aux déficiences des modèles à considérer les processus suivants : 1) les rétroactions de la nébulosité sur les échanges de rayonnement, 2) les transferts d'énergie dans le «système climatique», 3) les faits de la circulation océanique profonde.

3.3. CRITIQUE DE LA MÉTHODE

Pour mieux comprendre l'exposé de cette critique, on peut déjà examiner la fig. 1 donnée et commentée plus loin sur l'ordre des processus météorologiques, créateurs du système du temps, des climats ou des paléoclimats.

Le climatologue est en droit de considérer que la principale source des incertitudes sur les prévisions climatiques est la méthode adoptée : l'emploi de modèles à circulation générale pour simuler la voie que suit la Nature pour créer les climats au fil des décennies. Certes, le système des 6 équations hydro- et thermodynamiques de la météorologie dynamique prédit bien chaque jour l'évolution météorologique des régions de moyennes et hautes latitudes. Il est cependant inapproprié à transcrire les processus de la circulation atmosphérique générale et à en retrouver les faits essentiels. Le système de coordonnées utilisé vise en effet à faciliter le traitement mathématique et n'est pas adéquat au problème de la CGA. Appauvries de termes et de paramètres, importants surtout en zone équatoriale, les équations adoptées ne peuvent prétendre représenter la dynamique planétaire dans ses trois dimensions.

L'IPCC a voulu ignorer le concept de «Système des Climats» distribués à la surface et classés selon Köppen, par exemple. Le fait que le rapport n'utilise l'expression «climat» qu'au singulier est, à cet égard, significatif. Dans la réalité du déterminisme climatique, c'est un «Système de Climats» que la Nature établit et qu'elle fait évoluer avec les causes créatrices. Je définis ce système comme suit : «transformation des climats zonaux d'insolation des latitudes, par les échanges d'énergie qui ont lieu dans le complexe atmosphère-substrat continental ou océanique, à l'incidence du rayonnement solaire et qui créent en surface les régimes de la température et des précipitations caractéristiques des climats». Ces échanges ont lieu par diffusion, réflexion, absorption, émission..., mais aussi par la circulation de l'atmosphère et des océans, responsable de l'apport de chaleur d'advection ou latente. Ils installent en surface

aussi bien le système du temps météorologique que celui des climats ou des paléoclimats. C'est l'échelle considérée de l'évolution dans le temps qui fait la différence. À l'échelle de quelques décennies et aux bilans moyens des échanges énergétiques correspondent en surface les régimes de T_s et de P qui définissent les climats réels. Ceux-ci créent à leur tour les sols et les écosystèmes qui les caractérisent.

Dans cette vue unitaire de la météorologie, les équations au cœur du problème varient selon qu'il s'agit :

- 1) de l'évolution du système du temps ;
- 2) de l'état du système des climats ;
- 3) de l'évolution des paléoclimats.

Dans le premier cas, ce sont évidemment les 6 équations de la météorologie dynamique qui constituent le noyau de la modélisation. Les échanges d'énergie interviennent par un terme souvent symbolisé J. Il exprime dans l'équation en T de la conservation de l'énergie le chauffage net de la particule de l'atmosphère en mouvement. L'énergétique se subordonne ici à la dynamique.

Dans le second cas, celui de l'explication déterministe d'un système établi de climats, le noyau d'une modélisation simple et réaliste doit être formé du système des équations de bilans énergétiques telles que le Tableau 1 les résume pour le cas le plus simple : en moyenne annuelle et pour la Terre entière. Les régimes de T_s et P qui en découlent sont exprimés en fonction des causes climatiques par l'analyse des enchaînements, du général au particulier. Ici, la dynamique intervient dans l'analyse des chaleurs d'advection et latente, et dans celle de la nébulosité. Elle est subordonnée à l'énergétique. La méthode est directe et réaliste. Elle utilise des relations semi-empiriques entre les paramètres. Elles sont fondées sur l'observation des vraies solutions moyennes que la Nature apporte en intégratrice parfaite de la complexité physiographique.

Le troisième cas du système des paléoclimats est analogue au second. Il suffit de considérer les variations connues des causes fondamentales dans l'échelle de temps concernée et d'introduire ces variations dans les équations.

Le schéma ci-après (fig. 1) résume de manière intuitive cette vue déterministe et unitaire des processus météorologiques, créateurs des systèmes du temps, des climats et paléoclimats. L'ensemble des complexes encadrés du schéma et de leurs interaction représente «Le Modèle» de la Nature. Elle suit la voie (1, 2) + (1', 2'), 3', 4' et 4. Modéliser les climats par la dynamique, c'est suivre la voie de droite : 1', 2' (2), 3', 4' et 4. Elle est indirecte et complexe. Le passage de 4' et 4, la Nature l'accomplit et elle seule peut l'accomplir et créer les climats. Les résultats de l'intégration des équations 2' perdant tout sens après quelques jours, la considération de 1 et 2 devient nécessaire pour rétablir les conditions réalistes de l'intégration. Dès lors, ne vaut-il pas

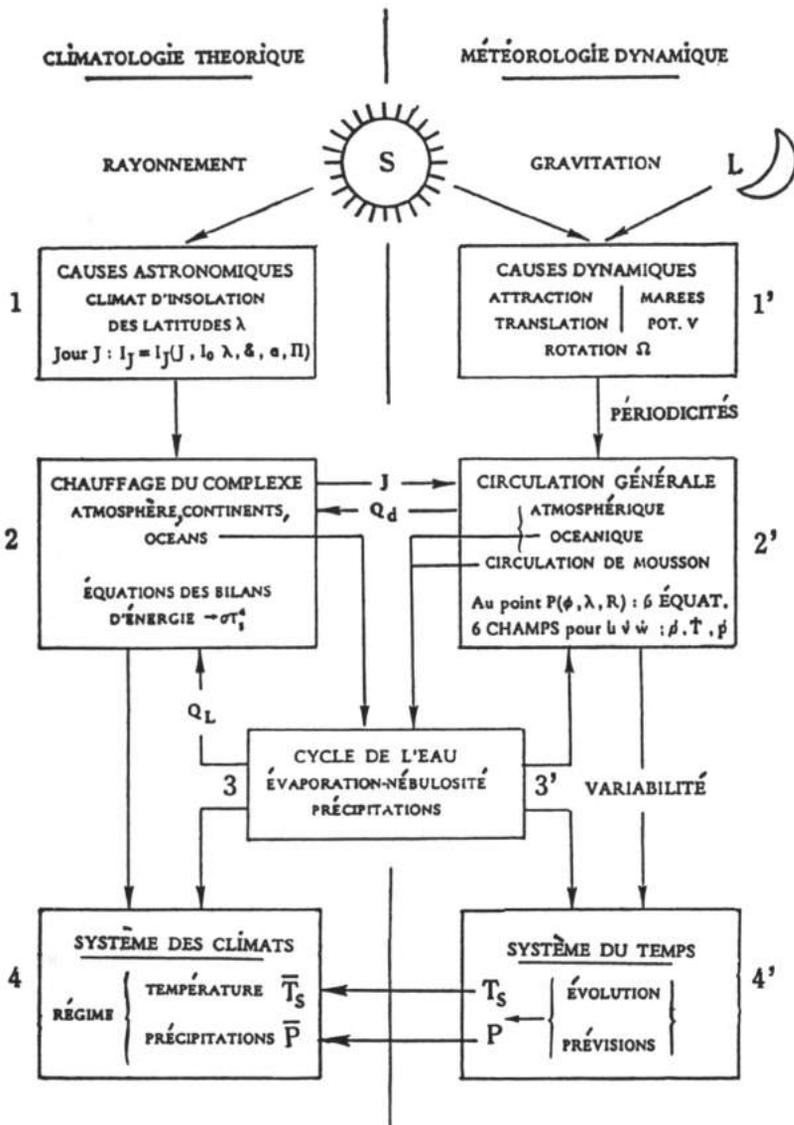


Fig. 1. — Schéma ordonnant les grands complexes des processus météorologiques et leurs interactions. Ces processus créent : 1) le système du temps (partie droite) ; 2) le système des climats et des paléoclimats (partie gauche).

mieux suivre la voie directe et simple de la climatologie énergétique : 1, 2, 2', 3 et 4?

On peut donc regretter que l'IPCC n'ait pas utilisé, même complémentaiement, la voie énergétique pour modéliser le réchauffement climatique par les gaz ES. On peut penser qu'une analyse détaillée de la climatologie du bilan thermique terrestre, sur la base de vingt années d'observations satellitaires et de surface, aurait pu diminuer les incertitudes sur les prévisions.

On doit aussi remarquer que les textes du rapport de l'IPCC centrent les explications du réchauffement par l'effet de serre sur des processus dans les hautes couches. Certes, cet aspect est important. Mais en établissant les bilans de surface, la voie énergétique centre directement l'interprétation sur les processus des basses couches. En fin de compte, c'est au niveau de la surface que se réalisent les climats qui nous concernent. Or, le rapport IPCC est muet sur le paramètre fondamental du réchauffement : le contre-rayonnement atmosphérique N_A . Il ne dit rien sur l'état des connaissances et sur les progrès à réaliser pour sa théorie et sa mesure. Parmi les incertitudes à lever, l'IPCC ne cite pas l'amélioration de la précision des connaissances sur tous les paramètres et termes des bilans de rayonnement, par des campagnes de mesures coordonnées. Ces mesures devraient être faites différemment : en surface, en altitude, par satellite, par régions continentales ou océaniques, selon le tapis végétal, par jours sereins ou couverts, par latitudes et par saisons... Il y a douze ans, j'ai présenté cette proposition à la Première Conférence Mondiale sur le Climat, mais elle fut rejetée.

Réuni en novembre 1988, l'IPCC a répondu à son mandat : fournir une évaluation scientifique du problème du réchauffement. Le rapport est une compilation, organisée en chapitres, de publications et d'avis de centaines d'experts de tous les horizons concernés. Il est l'étape nécessaire de reconnaissance première du problème, étape atteinte par la voie de réunions multiples pour dégager les consensus. Il ne dépose donc pas les conclusions d'un véritable projet international, style «Manhattan» ou «Apollo» de la climatologie, assignant les thèmes des recherches, observations et études répartissant les rôles et, surtout, animé d'en haut par l'esprit de la synthèse climatologique.

4. Réchauffement et agriculture tropicale

4.1. AGRICULTURE ET GAZ ES

Les activités agricoles contribuent de manière appréciable à augmenter la concentration des gaz ES dans l'atmosphère. On estime qu'actuellement 25% de l'augmentation de la concentration du CO_2 est due à la déforestation, surtout en régions tropicales. La superficie de la forêt amazonienne défrichée en 1988 représente 600 000 km^2 d'après les observations satellitaires. De 1900 à 1990, les forêts équatoriales auraient régressé de 16 million de km^2 à 9 mil-

lions de km². Depuis 1985, la FAO a mis en œuvre le «Plan d'action forestier tropical» en vue de sauver les forêts tropicales par une action intégrée, soucieuse du juste équilibre entre le développement agricole et la protection de l'environnement.

On estime aussi que les rizières sont responsables de 27% du CH₄ émis dans l'atmosphère, 21% étant dus à la fermentation entérique. Enfin, la fertilisation par engrais azotés et les processus bactériens dans les sols dégagent du N₂O.

4.2. EFFETS DU RÉCHAUFFEMENT SUR LA BIOSPHERE ET L'AGRICULTURE

Considérons la carte de la distribution des onze types climatiques de Köppen et celle des grands écosystèmes associés. Comment le réchauffement annoncé va-t-il modifier ces cartes? On peut admettre que le réchauffement par ES atténuera le contraste thermique entre les régions polaires et équatoriales, surtout durant l'hiver. La composante de la circulation méridienne dans la CGA, qui est due à ce contraste, sera moins active. Il en résultera une tendance des types climatiques contigus à se délimiter d'une manière moins tranchée. L'enrichissement de l'atmosphère en vapeur d'eau et l'activation du cycle de l'eau augmenteront en général les précipitations. Durant l'été, les continents seront mieux réchauffés que l'océan, dont le volant thermique et le brassage par les courants atténuent le réchauffement. Les pluies de mousson seront partout plus abondantes.

Atmosphère plus riche en CO₂, température plus élevée, pluviométrie accrue, les facteurs climatiques de la productivité primaire de la biosphère seront améliorés. Les grands écosystèmes s'étaleront davantage et avec plus de vigueur, la forêt équatoriale gagnant sur la savane, celle-ci sur la steppe et cette dernière sur le désert. Les forêts à conifères, humides et froides, des hautes latitudes gagneront sur la toundra.

La tendance de ces variations des climats et des écosystèmes sera à peine décelable par décennie, étant lente et masquée par la haute variabilité saisonnière et interannuelle des processus météorologiques. On sait combien les associations végétales naturelles sont sensibles aux variations du climat, voire du microclimat. C'est sans doute par l'observation de l'évolution de ces associations, jointe à celle des grands écosystèmes par télédétection, qu'on établira le mieux le réchauffement planétaire et ses effets.

4.3. EXPANSION DÉMOGRAPHIQUE, AGRICULTURE TROPICALE ET EFFET DE SERRE

La poussée démographique en marche et les projections établies rejettent au second plan le réchauffement planétaire qu'on se plaît pourtant à présenter comme la première menace des prochaines décennies. En 1970, la population mondiale était de 3,7 milliards d'hommes, avec 28% pour les pays industrialisés

(PI) et 72% pour les pays en voie de développement (PVD) qui appartiennent pour la plupart au monde tropical. En 1990, ces chiffres ont atteint 5,3 milliards, 23% et 73%. En 2010, d'ici vingt ans, ils seront 7,0 milliards, 18% et 82%. On prévoit, par les taux de croissance projetés pour les PI et les PVD, que la population mondiale atteindra 10 milliards vers 2050 avec 16% pour les PI et 84% pour les PVD (DE ALENCAR 1990).

C'est surtout en Afrique que la croissance démographique sera rapide, avec un taux actuel de 3,08% qui décroîtra à 1,96% vers 2025. En 1970, la population de l'Afrique était de 360 millions d'hommes avec un taux de 2,61%. En 1990, elle est passée à 650 millions et le taux à 3,08%. En 2010, il y aura 1,2 milliards d'Africains, avec un taux estimé à 2,7%. On prévoit que, vers 2050, la population aura atteint 2,5 milliards avec un taux tombé à 1,95%.

Nul doute que les besoins alimentaires de ces milliards de Terriens pousseront à intensifier et à diversifier la production de l'agriculture et de l'élevage par les moyens technologiques modernes. Nul doute que cette intensification sera particulièrement nécessaire sous les climats tropicaux et subtropicaux pour nourrir en 2010 leurs 5,6 milliards d'êtres humains.

Comme il l'est pour la biosphère et ses écosystèmes, le réchauffement par ES sera bénéfique pour l'agriculture en général et pour les mêmes raisons. Les fonctions physiologiques de la croissance seront activées par un facteur CO₂ moins limitant, par plus de chaleur et par un meilleur bilan hydrique. Dans les PVD, l'amélioration lente et faible des facteurs naturels de la productivité ne pourra pas compenser la croissance rapide des populations. Les activités agricoles, sauvages ou contrôlées, entraîneront déforestation, extension des cultures irriguées, emploi de plus d'engrais et de pesticides. La concentration des gaz ES — H₂O, CO₂, N₂O — continuera d'augmenter. Mais dans le complexe des interactions qui installent les climats, la Nature a d'étonnantes ressources pour déclencher des rétroactions restauratrices de l'équilibre. On peut croire que c'est l'augmentation de la nébulosité qui jouera ici le rôle climatique stabilisateur par sa contribution accrue à l'albédo planétaire.

L'humanité des prochaines décennies devra s'accommoder du réchauffement planétaire. La qualité de la vie augmentera dans l'habitat terrestre qui, actuellement trop froid et trop aride, deviendra plus généreux en chaleur et en pluies. Je ne puis donc considérer le réchauffement comme la calamité des prochaines décennies.

Le véritable problème qui menace l'humanité de l'an 2010 ou 2050, problème trop occulté, est l'excédent démographique. Pour nourrir 7 à 10 milliards d'hommes, d'immenses superficies nouvelles de terres cultivables, à herbages et de forêts devront être exploitées intensivement par l'agriculture et par l'élevage. L'amélioration climatique, la possibilité de cultiver à des latitudes plus arctiques, ne suffiront pas à satisfaire les besoins futurs. Intensification de l'agriculture et de l'élevage, exploitation raisonnable des climats et des sols qui conserve le capital écologique de la planète, telles sont les tensions opposées

qui vont croître avec l'expansion démographique. Le développement durable, l'agriculture viable et l'aménagement des ressources naturelles, tel est le thème d'un grand programme de la FAO (FAO, 1989). La prochaine «Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement UNCED», à tenir en juin 1992 au Brésil, cherchera les solutions aux problèmes ici posés.

BIBLIOGRAPHIE

- BERNARD, E. A. 1962. Théorie astronomique des pluviaux et interpluviaux du Quaternaire africain. — *Mém. Acad. r. Sci. Outre-Mer*, Cl. Sci. nat. et méd., nouv. sér. in-8°, 12 (1), 232 pp.
- BERNARD, E. A. 1974-1975. Les bases énergétiques de la paléoclimatologie théorique et l'évolution des climats. — *Ciel et Terre*, 90 (n° 6) : 413-454 (1974), 91 (n° 1) : 41-74 (1975a), 91 (n° 2) : 89-118 (1975b), 91 (n° 3) : 161-219 (1975c).
- BERNARD, E. A. 1991. Present and future FAO activities in agrometeorology. Justification of their contributions to FAO programmes. Recommendations on ways and means for their implementation. — Report of a mission to FAO, Rome (14 Jan. - 23 Feb. 1991). Restricted, 42 pp. + annexes.
- DE ALENCAR, José Almino DE. 1990. La démographie dans les pays du Tiers Monde. — *In* : Encyclopaedia Universalis, Symposium. Les Enjeux, pp. 1602-1611.
- FAO. 1989. La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 1989. Situation mondiale, situation par régions, développement durable et aménagement des ressources naturelles, 171 pp.
- FAO. 1990. Changement du climat : incidences sur l'agriculture, les forêts et les pêches. Position de la FAO (présenté à la Deuxième Conférence mondiale sur le Climat, 1990), 13 pp.
- HOUGHTON, J. T., JENKINS, G. J. & EPHRAUMS, J. J. (Eds.). 1990. Climate change. The IPCC scientific assessment. — Report prepared for IPCC by Working Group I. WMO, UNEP. Cambridge Univ. Press, 365 pp.

DISCUSSION

C. Sys. — Quel est l'effet du réchauffement sur les récoltes des cultures? Si on considère la photosynthèse maximale en fonction des cultures, on constate qu'elle se situe :

- pour le groupe II (FAO) (arachide, riz, soja, coton, manioc, patate douce, etc.) entre 24° et 30° C ;
- pour le groupe III (millet, sorgho, maïs) entre 24° et 35° C ;
- pour le groupe IV (la majeure partie des autres cultures tropicales) entre 19° et 32° C.

Si on calcule la température-jour sur base de la formule FAO :

$$T_{\text{day}} = \frac{TM + Tm}{2} + \frac{TM - Tm}{II}$$

on s'aperçoit que cette température-jour se situe, pour la cuvette zaïroise, autour de 27° à 28° C, ce qui nous permet de conclure qu'à ce niveau il ne semble pas se manifester un impact négatif dans un avenir même lointain. D'autre part, l'augmentation du coefficient de respiration [$ct = (0,044 + 0,0019 T + 0,001 T^2)$], qui se trouve en numérateur de la formule pour le calcul de la biomasse, pourrait avoir une légère influence négative sur les rendements.

E. Bernard. — Acceptons avec l'IPCC (scénario A) que le réchauffement planétaire atteigne 3° C d'ici 100 ans. Pour les raisons exposées, je pense que le réchauffement ne pourra être que bénéfique pour les rendements agricoles. La réorganisation de l'agriculture tempérée ou tropicale s'accomplira par les voies de la génétique et de l'écologie : emploi de variétés mieux adaptées, techniques culturales et calendrier agricole réajustés, déplacement et extension des cultures en latitude et en altitude. C'est de manière pragmatique que la réorganisation se développera, les faits intégrateurs de la complexité écologique s'avérant être plus fiables que les conclusions tirées d'indices agroclimatiques trop simples.

C. Sys. — Je voudrais poser une deuxième question. Dans quelle mesure le réchauffement peut-il influencer la radiation et la pluviosité? Lorsqu'on procède à l'évaluation climatique des cultures tropicales, particulièrement en zone équatoriale, on constate que les facteurs limitatifs sont le plus souvent l'eau et la radiation. Si l'augmentation de la température était associée à une diminution de la pluviosité, ne devrait-on pas s'orienter dans l'avenir vers une irrigation supplémentaire de certaines cultures?

E. Bernard. — Je pense qu'en activant les processus du cycle de l'eau, le réchauffement augmentera la nébulosité. Je vois dans cet élément une cause capable de limiter le réchauffement et d'installer un état d'équilibre. Le rayonnement global en sera certes réduit, mais on peut croire que cet aspect négatif sur les rendements sera mieux que compensé par les aspects positifs dus à l'augmentation de la pluviosité, du CO₂ et de la température. L'irrigation croîtra partout et sa seule limite sera l'eau douce disponible.

De nefaste rol van de Afrikaanse Bonte Teek (*Amblyomma variegatum*) bij de veeteelt in de Caraïben *

door

J. MORTELMANS **

TREFWOORDEN. — *Amblyomma variegatum* ; Caraïben ; Cowdriosis ; Veeteelt.

SAMENVATTING. — *Amblyomma variegatum* is waarschijnlijk de meest verspreide teek in subsaharisch Afrika. Zij is vooral belangrijk als overdrager van *Cowdria ruminantium*, de veroorzaker van Cowdriosis (Heartwater), één van de voornaamste infectieziekten der herkauwers in Afrika ten zuiden van de Sahara. Ze speelt eveneens een belangrijke rol als predisponerende factor bij het tot stand komen van Dermatophilosis bij runderen, ziekte die beschreven werd in Centraal-Afrika in 1914 door Dr. René Van Saceghem en die er tevens de veroorzaker, *Dermatophylus congolensis*, van isoleerde en identificeerde. «Accidenteel» is *A. variegatum* in de Caraïben terecht gekomen, misschien reeds vanaf 1830! Slechts een tiental jaren geleden heeft men vastgesteld dat ook *Cowdria ruminantium* in het gebied voorkomt ; deze Rickettsia moet er ongetwijfeld ook «accidenteel» zijn terecht gekomen. De vrees bestaat dat de teek het Amerikaanse vasteland zal bereiken, samen met *Cowdria ruminantium*. Wat de zaak nog verergert is het feit dat op het vasteland er twee *Amblyomma*-soorten zijn die de *Rickettsia* kunnen opnemen en verspreiden. Cowdriosis is dus een potentieel en ernstig gevaar voor de continentale Amerikaanse veeteelt. Tegelijk en samen met Dermatophilosis zijn de twee aandoeningen een ernstige rem op de verbetering van de veeteelt in de Caraïben ; ze zijn hoogst nefast voor verbeterde rassen (melkproductie) en remmen de introductie van deze rassen af. Internationaal wordt er een grote inspanning gedaan om de ziekten en de teek in de Caraïben uit te roeien of onder controle te krijgen.

RÉSUMÉ. — *Le rôle néfaste de la Tique multicolore africaine (Amblyomma variegatum) dans l'élevage aux Caraïbes.* — *Amblyomma variegatum* est probablement la tique la plus répandue en Afrique subsaharienne. Elle est surtout importante comme vecteur de *Cowdria ruminantium*, l'agent causal de la Cowdriose (Heartwater), une des maladies infectieuses graves des ruminants en Afrique au sud du Sahara. Elle joue aussi un rôle important comme facteur prédisposant pour la Dermatophilose bovine, maladie décrite en 1914 en Afrique Centrale par le Dr René Van Saceghem ; il y isole et identifia l'agent causal, *Dermatophylus congolensis*. *A. variegatum* est

* Mededeling voorgesteld tijdens de zitting van de Klasse voor Natuur- en Geneeskundige Wetenschappen van 23 april 1991.

** Erewerkend lid van de Academie ; Beukenlaan 2, B-2020 Antwerpen (België).

arrivée aux Caraïbes «par accident», peut-être déjà depuis 1830! La présence de *Cowdria ruminantium* dans la région fut découverte il y a à peine dix ans. Vraisemblablement cette rickettsie y est arrivée aussi «par accident». On craint que la tique et la rickettsie atteignent le continent américain. Ce qui aggrave la situation est le fait que deux espèces d'*Amblyomma*, capables de répandre la rickettsie, se trouvent sur le continent. La Cowdriose constitue donc un danger potentiel et sérieux pour l'élevage sur le continent américain. La Cowdriose et la Dermatophilose sont deux affections qui freinent l'amélioration de l'élevage aux Caraïbes ; elles sont très néfastes pour les races améliorées (production laitière) et freinent leur introduction dans la région. Un important effort international essaye d'éradiquer ou au moins de contrôler les maladies et la tique aux Caraïbes.

SUMMARY. — *The baleful role of the African Bont Tick (Amblyomma variegatum) on Caribbean livestock.* — *Amblyomma variegatum* is probably the tick with the largest distribution among subsaharian Africa. The tick is important as a vector of *Cowdria ruminantium*, the causal agent of Cowdriosis (Heartwater), one of the most important infectious diseases of ruminants in Africa south of the Sahara. It also predisposes to bovine Dermatophilosis ; this disease was described in Central Africa in 1914 by Dr. René Van Saceghem ; the same scientist also isolated and identified the causal agent, *Dermatophylus congolensis*. *Amblyomma variegatum* arrived in the Caribbean region by "accident", as long ago as 1830! It is only 10 years ago that the existence of *Cowdria ruminantium* in the region was discovered. This rickettsial agent presumably also arrived by "accident". The fear exists that the tick and the *Rickettsia* will reach the American mainland. The situation is particularly serious as the mainland harbours two *Amblyomma* species capable of picking up *Rickettsia* and of contributing to its dispersion. Cowdriosis is a potential and serious danger to livestock on the American mainland. At the same time and together with Dermatophilosis, both diseases constitute a serious constraint to the development of modern livestock in the Caribbean region ; they constitute a constraint to the introduction of improved breeds of cattle and small ruminants. Large international efforts exist to eradicate or at least to control the tick in the region.

*
* *

Het is algemeen geweten dat het transporteren van dieren en planten van één plaats naar een andere gevaren met zich meebrengt in verband met het mogelijk verspreiden van bacteriën, virussen en parasieten. Ook de mens kan als vector fungeren. Zelfs het overbrengen van sperma, bevruchte eicellen, vlees, melk, enz., is niet zonder gevaar. Zeer dikwijls bestaat er ter zake een nationale of internationale wetgeving, die ofwel alle overdracht verbiedt, ofwel zeer strenge sanitaire controlemaatregelen uitvaardigt.

Spijts alle voorzorgen en wetgevingen ter zake worden er hier en daar toch nog van tijd tot tijd ziektenuitbraken gemeld, die soms spectaculaire of zelfs sensationele vormen kunnen aannemen, zoals bijvoorbeeld het plots opduiken in Lybië, nu ongeveer drie jaar geleden, van de fameuze Amerikaanse «screw-

worm», *Cochliomyia hominivorax*. Meer dan waarschijnlijk met besmette kleine herkauwers ingevoerd vanuit Zuid-Amerika, is deze vlieg, die zowel de mens als de dieren aanvalt, in Noord-Afrika aangekomen in een omgeving waar men zeker op het plots uitbreken van zulk een besmetting niet was voorbereid. Er worden op dit ogenblik miljoenen US-dollars uitgegeven om de verspreiding van de vlieg tegen te houden en, zo hopelijk, ze uit te roeien, o.a. met het massaal verspreiden van gesteriliseerde mannetjes-vliegen.

Het gaat echter niet altijd allemaal zo snel; de kansen op succes zijn niet altijd praktisch op voorhand verzekerd; er kan niet altijd snel en veel geld worden gemobiliseerd om in te grijpen.

Een goed voorbeeld daarvan is het probleem van de Afrikaanse Bonte Teek, *Amblyomma variegatum*, met betrekking tot ziekteproblemen bij het vee in de Caraïben. Deze teek zou kunnen ingevoerd zijn vanuit Afrika, meer bepaald vanuit Senegal, van rond het jaar 1830, toen Frankrijk vanuit zijn West-Afrikaanse koloniën vee begon uit te voeren naar zijn West-Indische bezittingen (CAMUS & BARRÉ 1987). Rond die tijd werden er Senegalese zebu's ingevoerd op Guadeloupe; deze dieren liggen mee aan de oorsprong van het lokale ras, de creoolzebu.

Het ligt voor de hand dat de sanitaire maatregelen uit die tijd niet zo streng zullen geweest zijn als deze van heden ten dage. Het is gemakkelijk aan te nemen dat deze zebu's allerlei kiemen, virussen en parasieten met zich meedroegen. Zo kan men begrijpen dat *Amblyomma variegatum* met die vee-transporten mee is overgebracht. Er is ook vee uit Afrika naar andere Caraïbische eilanden dan Guadeloupe verscheept, soms zuiver als slachtvee, zelfs tot in de vroege jaren vijftig. In ieder geval, reeds vanaf het einde van de vorige eeuw kende men in de Caraïben «la tique sénégalaise». Guadeloupe en Antigua zijn de eilanden waar de teek het eerst vaste voet heeft gekregen (MOREL 1966).

Amblyomma variegatum behoort tot het genus *Amblyomma*, in Afrika vertegenwoordigd door tientallen soorten; van al deze soorten is *Amblyomma variegatum* zeker de belangrijkste voor de veeteelt; ze komt praktisch in gans Afrika ten zuiden van de Sahara voor. Een andere soort, eveneens belangrijk, maar geografisch minder verspreid is *A. hebraeum*, die in zuidelijk Afrika wordt aangetroffen (Republiek van Zuid-Afrika, zuidelijk Mozambique, zuidelijk Zimbabwe en oostelijk Botswana) (WALKER 1987).

Amblyomma variegatum, zoals trouwens de meeste andere *Amblyomma*-soorten, is een zeer mooie, grote, veelkleurige teek; de mannetjes hebben een prachtig blinkend rugschild dat heel het lichaam bedekt. In de Caraïben is dit ook opgemerkt en reeds in 1895 kende men er de «Great Antigua Gold Tick», geen andere dan *A. variegatum*.

De particulariteiten van deze teek, belangrijk bij deze studie zijn: de zeer lange — 3 tot 4 millimeter — hypostoom waarmee ze bloed zuigt en tegelijk relatief grote wondjes in de huid van de gastheer verwekt; het is een 3-gastheer

teek waarvan het larve- en nymfstadium zich ook op allerlei zoogdieren en vogels kan voeden ; een vrouwtje kan tot 20 000 eitjes voortbrengen, waarvan de theoretisch 10 000 vrouwelijke nakomelingen in een gunstig tropisch klimaat, zoals o.a. in de Caraïben, zeer vlug op hun beurt tot voortplanting kunnen overgaan.

In tropisch Afrika ligt het belang van *A. variegatum* in het feit dat ze de vector is van *Cowdria ruminantium*, een Rickettsia, die de verwekker is van Cowdriosis, vroeger veelal met de Engelse benaming «Heartwater» gekend (DAUBNEY 1930). Deze vanouds gekende (CAMUS & BARRÉ 1982), wijdverspreide veeziekte wordt bij de belangrijkste door teken overgebrachte ziekten gerekend. In zuidelijk Afrika speelt *A. hebraeum* ook een rol bij de natuurlijke overzetting van Cowdriosis ; daarenboven zijn er acht andere *Amblyomma*-soorten in Afrika gekend als vectors van *C. ruminantium* bij wilde herkauwers of als experimentele vectors : *A. poposum*, *A. gemma*, *A. lepidum*, *A. tholloni*, *A. sparsum*, *A. astrion*, *A. cohaerens* en *A. marmoreum* (UILENBERG 1990).

Belangrijk voor Amerika is het feit dat er twee soorten, *A. maculatum* en *A. cajennense*, voorkomen die ook de ziekte kunnen voortzetten. Hun verspreidingsgebied strekt zich uit van de oostelijke Verenigde Staten, al over Midden-Amerika naar de oostkust van Zuid-Amerika tot in noordelijk Argentinië. Één Afrikaanse *Amblyomma*, *A. variegatum*, heeft zich op sommige eilanden in de Caraïben kunnen vestigen. Deze Afrikaanse soort en ook andere potentiële Afrikaanse vectorsoorten behorend tot het geslacht *Amblyomma* werden reeds op het Amerikaanse vasteland gesignaleerd, hoofdzakelijk ter gelegenheid van zoogdierentrafiek ; ze hebben er zich gelukkig nooit definitief kunnen vestigen (BARRÉ *et al.* 1987).

Cowdriosis is een zeer belangrijke infectieziekte van grote en kleine huisdierenherkauwers ; sommige wilde herkauwers zijn ook vatbaar, o.a. de Afrikaanse buffel, de springbok, de sitatunga, de Afrikaanse eland. In dierentuinen is de ziekte reeds gesignaleerd ; sommige kleine knaagdieren, parelhoenders en wellicht nog andere diersoorten (o.a. sommige schildpadden) kunnen experimenteel besmet worden (OBEREM & BEZUIDENHOUT 1987). De ziekte komt historisch voor in Afrika ten zuiden van de Sahara, met inbegrip van Madagaskar, La Réunion, Mauritius, de Comoren, Zanzibar in de Indische Oceaan en Sao Tomé in de Atlantische Oceaan (UILENBERG 1990).

De ziekte kan soms zeer brutaal optreden, gepaard gaande met plotse hoge koorts, zware prostratie, zenuwsymptomen (o.a. fietsrijden syndroom) ; veelal doen er zich ook zeer acute hart- en ademhalingsstoornissen voor ; dikwijls is er ook een erge diarree en de dood treedt meestal zeer snel in, soms na enkele uren. Vele rassen van dieren die nooit te voren met de ziekte in aanraking kwamen en zeker rassen gereputeerd om hun hoge specialisatiegraad (o.a. melkrassen) zijn zeer gevoelig en betalen bij contact met de infectie een hoge tol. Sommige rassen schijnen minder gevoelig te zijn of hebben door de jaren heen een selectie op resistentie doorgevoerd, zoals wellicht de creool-

zebu op Guadeloupe (UILENBERG 1983, MATHERON *et al.* 1987). Men weet ook dat er variatie bestaat in de pathogeniteitsgraad van *C. ruminantium*. Dit alles kan uitleggen waarom de ziekte soms eerder chronisch en minder spectaculair verloopt ; in sommige gevallen zijn er praktisch geen verliezen.

In de Caraïben is de aanwezigheid van *C. ruminantium* gesignaleerd op drie eilanden : Guadeloupe, Marie-Galante en Antigua ; ze liggen alle drie niet ver van mekaar. Wanneer het infectieus agens is overgebracht van Afrika naar de Caraïben kan niet met zekerheid worden uitgemaakt ; redelijkerwijze mag men natuurlijk aannemen dat het is gebeurd bij één van de veelvuldige veetransporten vanaf de westkust van Afrika naar de Caraïben, waarmee mogelijk zowel besmette dieren als besmette teken zijn meegekomen.

In 1932 kende men op Guadeloupe bij het rund een ziekte onder de naam «Folie du bœuf» (Cattle Madness) ; deze benaming was ongetwijfeld geïnspireerd door de zenuwverschijnselen. Rond 1954 dacht men aan Theileriosis, een ziekte waarbij ook zenuwsymptomen kunnen optreden. Het heeft geduurd tot rond 1967 dat Franse dierenartsen met Afrika-ervaring aan Cowdriosis begonnen te denken (MOREL 1967). Slechts in 1980 werd hiervan de bevestiging gebracht bij het onderzoek van zieke geiten op Guadeloupe (PERREAU *et al.* 1980). In 1982 kon reeds bewezen worden dat de Amerikaanse teek, *A. maculatum*, kon worden geïnfecteerd met *C. ruminantium* ; men vond later dat ook *A. cajennense* met de Rickettsia kan worden besmet. In 1984 werd de ziekte onderkend op het Franse eiland Marie-Galante en in 1985 op Antigua.

Eigenaardig genoeg wordt Cowdriosis op Guadeloupe niet als een ernstig probleem ervaren. Het vee blijkt tamelijk weerstandbiedend te zijn ; dit is ook het geval op Marie-Galante, het zustereiland van Guadeloupe. Op Antigua wordt het probleem wel als ernstig ervaren ; het is er vooral een rem op de invoering van exotische rassen om de melkproductie te verhogen en te verbeteren.

Een belangrijk probleem ligt bij het gevaar dat er uitgaat van de teek, *A. variegatum*, die op 14 andere eilanden van de Caraïben voorkomt : Anguilla, Barbados, Dominica, La Désirade, St. Maarten - St. Martin, Martinique, Montserrat, Puerto Rico, Culebra, Vieques, St. Kitts, Nevis, St. Lucia, St. Croix. Gelukkig is de verspreiding van de teek op alle eilanden niet even intens : op Antigua, Guadeloupe, Marie-Galante, Nevis en St. Kitts is ze zeer verspreid ; op sommige andere eilanden is ze wel degelijk aanwezig, maar is haar verspreidingsgebied beperkt, zoals bijvoorbeeld op Martinique ; op nog andere eilanden is ze gesignaleerd, maar blijkt ze tot hiertoe nog niet gevestigd te zijn, zoals bijvoorbeeld op Barbados (ANON. 1987).

Verder bestaat het gevaar dat de teek zich gemakkelijk zou kunnen verspreiden naar eilanden waar ze tot hiertoe nog niet voorkomt of naar het Amerikaanse vasteland ; men kan aannemen dat legaal veetrafiëk controleerbaar is en ook degelijk gecontroleerd wordt. Maar ongetwijfeld bestaat er in de Caraïben-regio een uitgebreide illegale trafiëk van groot- en kleinvee,

die niet noodzakelijk beperkt blijft tot grote en kleine herkauwers ; ook honden reizen gemakkelijk met hun baas mee. De eilanden liggen relatief dicht bij elkaar en hun configuratie leent zich uitstekend tot smokkelpraktijken. Sommige eilanden liggen niet ver van het vasteland en het is niet ondenkbaar dat vroeg of laat de teek naar daar wordt overgebracht. Het gevaar ligt verder niet alleen bij de teek *A. variegatum*, maar ook bij het infectieus agens zelf, *C. ruminantium*. Geïnfecteerde dieren kunnen een relatief lange incubatieperiode doormaken, van 10 tot 30 dagen, tijdens dewelke ze gemakkelijk het virus kunnen overbrengen van de ene plaats naar een andere of van één eiland naar een ander. Op het Amerikaanse vasteland bevinden er zich trouwens twee *Amblyomma*-soorten, die als potentiële vector zouden kunnen optreden.

Ook vogels worden als potentiële overbrengers van de teek en het infectieus agens beschouwd. De eilanden liggen dicht bij elkaar, zodat het voor sommige vogelsoorten geen enkel probleem uitmaakt om van het ene eiland naar het andere te vliegen of zelfs naar het vasteland. Vooral vogels die in de weiden naast het vee leven worden als ernstige potentiële vectoren beschouwd. Het gaat immers om een 3-gastheer teek waarbij larven en nimfen ook veel niet-herkauwers als gastheer nemen. Larven en nimfen kunnen dus gemakkelijk worden overgevlogen van het ene eiland naar een ander terwijl ze vastgezogen zitten op een trekvogel ; als het om nimfen gaat die zich met *C. ruminantium* besmet hebben in hun larvaal stadium, wordt het infectieus agens tegelijk met de vector overgebracht. Honden zouden eveneens op dezelfde manier beide kunnen overbrengen.

In de Caraïben speelt *A. variegatum* ook nog een rol bij het uitbreken en in stand houden van een andere veeziekte, de Dermatophilosis of Streptothricosis. Dermatophilosis is een huidziekte die hoofdzakelijk in de tropengordel voorkomt en vooral in tropisch Afrika voor grote problemen kan zorgen bij rundvee ; rassen met hoog rendement kunnen zeer gevoelig zijn en een sterftepercentage van 100% is geen uitzondering bij sommige geïmporteerde melkrassen. Het zijn niet alleen runderen die door de ziekte worden aangetast, ook allerhande diersoorten, de mens inclusief, kunnen de infectie opnemen en min of meer erge symptomen ontwikkelen.

De veroorzaker van deze aandoening is een bacterie, *Dermatophilus congolensis*, behorend tot de Klasse der *Actinomycetales* ; ze werd in 1914 beschreven door Dr. René Van Saceghem in Belgisch-Congo, nu Zaïre (VAN SACEGHEM 1914). De autochtone bevolking daar kende de ziekte zeer goed ; ze kan soms trouwens een spectaculaire uitwendige vorm aannemen.

Ook in de Caraïben werd de ziekte vroeg opgemerkt ; reeds in 1895 kende men er de associatie tussen een ernstige huیداandoening bij het rund en de aanwezigheid van *A. variegatum*. Het dient gezegd dat de teek geen vector is van de bacterie, maar het terrein voorbereidt voor de infectie door het verwekken van multiple microblessures in de huid van de dieren door het bloedzuigen met haar imposante lange tromp. In Afrika speelt de teek onge-

twijfeld een rol bij het tot stand komen van de infectie ; maar naast de teek spelen de doornstruiken, die op sommige weidegronden veelvuldig worden aangetroffen, eveneens een predisposerende rol ; de doornen ook zijn verantwoordelijk voor het verwekken van veelvuldige kleine kwetsuren waarlangs de bacterie, die zowat overal aanwezig is, zich in de huidweefsels kan vestigen en de infectie ontwikkelen.

In de Caraïben lijkt het eerder de teek alleen te zijn die als predisposerende factor optreedt ; de weilanden herbergen er geen of zeer weinig doornstruiken, zodat dit epidemiologisch gegeven praktisch verwaarloosbaar is. Men merkt trouwens op dat Dermatophilosis bij het rund in de Caraïben alleen wordt waargenomen als tegelijk *A. variegatum* wordt gevonden ; zo kent men de ziekte op Martinique alleen in de streken waar de teek voorkomt ; op plaatsen waar de teek nog niet gevestigd is, komt er ook geen Dermatophilosis voor.

Dermatophilosis manifesteert zich bij het rund in de vorm van uitspringende huidkorstjes, in het beginstadium met opgerichte haartjes. Ze kunnen conflueren en grote korsten maken, tot soms meer dan een hand groot ; meestal gaat de evolutie dan gepaard met secundaire infecties. Maar zowel bij lichte als bij uitgebreide letsels kan de ethiologische diagnose gemakkelijk en vlug gesteld worden door het preleveren van een kleine huidkorst, die eenvoudigweg langs de binnenkant wordt uitgedopt op een voorwerpglaasje ; na enkelvoudige kleuring onderzoekt men het preparaatje microscopisch en zo het positief is ziet men de typische schedefilamenten gevuld met sporen ; het geheel geeft een zeer karakteristiek beeld (MORTELMANS & VERCRUYSE 1956).

Dermatophilosis wordt in de Caraïben als een zeer ernstige rundveeziekte ervaren. Door haar nauwe specifieke verbondenheid met de teek *A. variegatum*, krijgt de bestrijding van de teek er een tweede dimensie bij naast het probleem Cowdriosis. De rem op de mogelijkheid van veeverbetering door het invoeren van of het kruisen met dieren die een hoog rendement geven, maar zeer gevoelig zijn voor de twee aandoeningen, wordt als een ernstige handicap gezien voor de rurale ontwikkeling in het gebied.

De internationale gemeenschap in het gebied is zich zeer bewust van het potentiële gevaar en van de permanente handicap voor de veeteelt, waar de teek *A. variegatum* hoofdzakelijk verantwoordelijk voor is. De laatste jaren werden meerdere initiatieven genomen om tot een grotere en betere bewustvorming terzake te komen. Op een op eind oktober 1990 gehouden workshop op Antigua, ingericht door CARDI (Caribbean Agricultural Research and Development Institute - St. Augustine, Trinidad and Tobago), in samenwerking met het CTA (Technical Centre for Agricultural and Rural Cooperation - Ede, Nederland), werd unaniem besloten het uitroeien van de teek op de Caraïbische eilanden te organiseren. De geografische situatie en de moderne middelen die heden ten dage beschikbaar zijn, laten het beste verhopjen voor de toekomst.

BIBLIOGRAFIE

- ANON. 1987. Management of the Tropical Bont Tick (*Amblyomma variegatum*) and associated diseases in the Caribbean. A feasibility study. — March 1987.
- BARRÉ, N., UILENBERG, G., MOREL, P. C. & CAMUS, E. 1987. Danger of introducing Heartwater onto the American mainland : potential role of indigenous and exotic *Amblyomma* ticks. — *Onderstepoort Jl. Vet. Res.*, **54** : 405-417.
- CAMUS, E. & BARRÉ, N. 1982. La cowdriose (Heartwater). Revue générale des connaissances. — Édition I.E.M.V.T., Maisons-Alfort (France).
- CAMUS, E. & BARRÉ, N. 1987. Epidemiology of Heartwater in Guadeloupe and in the Caribbean. — *Onderstepoort Jl. Vet. Res.*, **54** : 419-426.
- DAUBNEY, R. 1930. Natural transmission of Heartwater of sheep by *Amblyomma variegatum* (Fabricius 1793). — *Parasitology*, **22** : 260-267.
- MATHERON, G., BARRÉ, N., CAMUS, E. & GOGNE, J. 1987. Genetic resistance of Guadeloupe native goats to Heartwater. — *Onderstepoort Jl. Vet. Res.*, **54** : 337-340.
- MOREL, P. C. 1966. Étude sur les tiques du bétail en Guadeloupe et Martinique. I. Les tiques et leur distribution (Acariens, Ixodoïdea). — *Rev. Élev. Méd. vét. Pays trop.*, **19** : 307-321.
- MOREL, P. C. 1967. Étude sur les tiques du bétail en Guadeloupe et Martinique. II. Agents pathogènes transmis par les tiques. — *Rev. Élev. Méd. vet. Pays trop.*, **20** : 291-299.
- MORTELMANS, J. & VERCROYSE, J. (Sr). 1956. Opmerkingen bij de diagnose van Runderstreptothricose. — *Bull. agric. Congo belge*, **47** : 1291-1297.
- OBEREM, P. T. & BEZUIDENHOUT, J. D. 1987. Heartwater in hosts other than domestic ruminants. — *Onderstepoort Jl. Vet. Res.*, **54** : 271-275.
- PERREAU, P., MOREL, P. C., BARRÉ, N. & DURAND, P. 1980. Existence de la cowdriose (Heartwater) à *Cowdria ruminantium* chez les ruminants des Antilles françaises (La Guadeloupe) et des Mascareignes (La Réunion et Ile Maurice). — *Rev. Élev. Méd. vet. Pays trop.*, **33** : 21-22.
- UILENBERG, G. 1983. Heartwater (*Cowdria ruminantium* infection) : Current status. — *Adv. Vet. Sci. Compar. Med.*, **27** : 427-480.
- UILENBERG, G. 1990. Heartwater. — Paper presented at the Training Workshop on Major Vector-borne Diseases, Mbabane (Swaziland).
- VAN SACEGHEM, R. 1914. Étude sur la dermatose contagieuse (Impétigo contagieux). — *Bull. agric. Congo belge*, **5** : 567-573.
- WALKER, J. B. 1987. The tick vectors of *Cowdria ruminantium* (Ixodoïdea, Ixodidae, genus *Amblyomma*) and their distribution. — *Onderstepoort Jl. Vet. Res.*, **54** : 353-379.

Séance du 28 mai 1991

Zitting van 28 mei 1991

Séance du 28 mai 1991

(Extrait du procès-verbal)

La séance est ouverte à 14 h 30 par le directeur, M. F. De Meuter, assisté de M. J.-J. Symoens, secrétaire perpétuel.

Sont en outre présents : MM. I. Beghin, M. De Smet, J. D'Hoore, L. Eyckmans, J. Jadin, H. Nicolaï, J. Semal, R. Tavernier, P. Van der Veken, membres titulaires ; MM. A. de Scoville, P. Gigase, J.-P. Gosse, D. Le Ray, J.-C. Micha, G. Stoops, M. Wéry, membres associés ; M. F. Malaisse, membre correspondant ; M. A. Lederer, membre de la Classe des Sciences techniques.

Absents et excusés : MM. J. Alexandre, P. Benoit, E. Bernard, J. Bolyn, G. Boné, J. Bouharmont, M. De Dapper, R. Dudal, C. Fieremans, R. Frankart, P. Gourou, J.-M. Henry, P.-G. Janssens, A. Lawalrée, J. Lepersonne, J. Mortelmans, J. Opsomer, P. Raucq, M. Reynders, C. Schyns, C. Sys, D. Thys van den Audenaerde, R. Vanbreuseghem, J. Van Riel.

La végétation des terrasses sablonneuses, à sol peu évolué, en Basse Casamance (Sénégal méridional)

Le Directeur accueille M. C. Vanden Berghen, professeur émérite de l'Université Catholique de Louvain, invité par le Bureau de l'Académie à présenter une communication devant la Classe.

M. C. Vanden Berghen présente ensuite son étude, intitulée comme ci-dessus.

MM. L. Eyckmans, P. Van der Veken, F. Malaisse, J. D'Hoore et J.-J. Symoens interviennent dans la discussion.

Après le départ de M. Vanden Berghen, la Classe désigne MM. F. Malaisse et P. Van der Veken en qualité de rapporteurs.

«The control of river blindness in West Africa»

M. A. S. Muller, directeur du Département d'Hygiène tropicale au «Koninklijk Instituut voor de Tropen» (Amsterdam), a présenté à la séance de la Classe tenue le 22 mai 1990, une communication intitulée comme ci-dessus.

Les rapports sur ce travail seront soumis à la Classe à la séance du 25 juin 1991.

Zitting van 28 mei 1991

(Uittreksel van de notulen)

De zitting wordt geopend te 14 h 30 door de directeur, de H. F. De Meuter, bijgestaan door de H. J.-J. Symoens, vast secretaris.

Zijn bovendien aanwezig : De HH. I. Beghin, M. De Smet, J. D'Hoore, L. Eyckmans, J. Jadin, H. Nicolai, J. Semal, R. Tavernier, P. Van der Veken, werkende leden ; de HH. A. de Scoville, P. Gigase, J.-P. Gosse, D. Le Ray, J.-C. Micha, G. Stoops, M. Wéry, geassocieerde leden ; de H. F. Malaisse, corresponderend lid ; de H. A. Lederer, lid van de Klasse voor Technische Wetenschappen.

Afwezig en verontschuldigd : De HH. J. Alexandre, P. Benoit, E. Bernard, J. Bolyn, G. Boné, J. Bouharmont, M. De Dapper, R. Dudal, C. Fieremans, R. Frankart, P. Gourou, J.-M. Henry, P.-G. Janssens, A. Lawalrée, J. Leperonne, J. Mortelmans, J. Opsomer, P. Raucq, M. Reynders, C. Schyns, C. Sys, D. Thys van den Audenaerde, R. Vanbreuseghem, J. Van Riel.

«La végétation des terrasses sablonneuses, à sol peu évolué, en Basse Casamance (Sénégal méridional)»

De Directeur verwelkomt de H. C. Vanden Berghen, professor emeritus van de Universiteit Catholique de Louvain, uitgenodigd door het Bureau van de Academie om een mededeling voor te stellen voor de Klasse.

De H. C. Vanden Berghen stelt vervolgens zijn studie voor, getiteld als hierboven.

De HH. L. Eyckmans, P. Van der Veken, F. Malaisse, J. D'Hoore en J.-J. Symoens komen tussen in de bespreking.

Na het vertrek van de H. Vanden Berghen, duidt de Klasse de HH. F. Malaisse en P. Van der Veken als verslaggevers aan.

«The control of river blindness in West Africa»

De H. A. S. Muller, directeur van het Departement voor Tropische Hygiëne bij het Koninklijk Instituut voor de Tropen (Amsterdam), heeft tijdens de zitting van de Klasse van 22 mei 1990 een mededeling voorgesteld, getiteld als hierboven.

De verslagen over dit werk zullen aan de Klasse voorgelegd worden tijdens de zitting van 25 juni 1991.

Concours annuel 1991

En réponse à la quatrième question du Concours annuel 1991, libellée comme suit :

On demande une contribution originale à la connaissance biologique de la Papouasie-Nouvelle-Guinée,

les travaux suivants ont été introduits :

1. Un ensemble de 6 travaux, introduits par M. Mila Tommaseo et rédigés en collaboration :

RE, M. C., TOMMASEO, M., FERLINI, G. & LA PLACA, M. 1989. High prevalence of serum antibody against human T Cell Leukemia Virus Type I (HTLV I) among Bisman Asmat population (Indonesian New Guinea). — *Aids Res. and Human Retroviruses*, 5 (5).

TOMMASEO, M., DOGLIONI, L. & ALCIATI, G. 1990. Haematochemical data of the Asmat population. — *Homo*, 40 (3-4) : 117-133.

TOMMASEO, M., BARONI, A. G. & ALTINIER, G. 1991. Asymptomatic hepatitis among the Asmat. — *Intern. J. Anthropol.*, 6 (1) : 35-44.

TOMMASEO, M. & LUCCHETTI, E., Anthropometrical study of the Asmat. — *Anthropol. Anzeiger* (in press).

TOMMASEO, M., LUCCHETTI, E. & ALCIATI, G., Contribution to the study of Asmat genetic variability. — *Internat. J. Anthropol.* (in press).

CALLIARI, I., TOMMASEO, M., CARAVELLO, G. U. & VOLPE, A., An attempt to determine the hair metal content in the Asmat population (Irian Jaya, Indonesia). — In: Proceedings of the 4th H. W. Nurnberg Memorial Workshop on "Toxic metal compounds (Interrelation between Chemistry and Biology)" (Les Diablerets, 4-8 March 1991) (in press).

La Classe constate que lesdits travaux ne répondent pas à la question posée (ils concernent l'Irian et non la Papouasie-Nouvelle-Guinée) et décide en conséquence de ne pas les prendre en considération pour le concours.

2. VYVERMAN, W. : «Desmids from Papua New Guinea» et «Diatoms from Papua New Guinea».

La Classe désigne MM. F. Malaisse, A. Lawalrée et J.-J. Symoens en qualité de rapporteurs.

Colloque sur les changements climatiques et la géomorphologie en milieu tropical

M. J. Alexandre propose d'organiser, en collaboration avec M. De Dapper et sous les auspices de la Classe, un colloque sur les changements climatiques et la géomorphologie en milieu tropical.

Jaarlijkse wedstrijd 1991

Als antwoord op de vierde vraag van de jaarlijkse wedstrijd 1991, die als volgt opgesteld is :

Men vraagt een oorspronkelijke bijdrage tot de biologische kennis van Papoea-Nieuw-Guinea,

werden de volgende werken ingediend :

1. Een geheel van 6 werken, ingestuurd door de H. Mila Tommaseo en in samenwerking opgesteld :
RE, M. C., TOMMASEO, M., FERLINI, G. & LA PLACA, M. 1989. High prevalence of serum antibody against human T Cell Leukemia Virus Type I (HTLV I) among Bisman Asmat population (Indonesian New Guinea). — *Aids Res. and Human Retroviruses*, 5 (5).
TOMMASEO, M., DOGLIONI, L. & ALCIATI, G. 1990. Haematochemical data of the Asmat population. — *Homo*, 40 (3-4) : 117-133.
TOMMASEO, M., BARONI, A. G. & ALTINIER, G. 1991. Asymptomatic hepatitis among the Asmat. — *Intern. J. Anthropol.*, 6 (1) : 35-44.
TOMMASEO, M. & LUCCHETTI, E., Anthropometrical study of the Asmat. — *Anthropol. Anzeiger* (in press).
TOMMASEO, M., LUCCHETTI, E. & ALCIATI, G., Contribution to the study of Asmat genetic variability. — *Internat. J. Anthropol.* (in press).
CALLIARI, I., TOMMASEO, M., CARAVELLO, G. U. & VOLPE, A., An attempt to determine the hair metal content in the Asmat population (Irian Jaya, Indonesia). — In : Proceedings of the 4th H. W. Nurnberg Memorial Workshop on "Toxic metal compounds (Interrelation between Chemistry and Biology)" (Les Diablerets, 4-8 March 1991) (in press).

De Klasse stelt vast dat deze werken niet aan de gestelde vraag beantwoorden (zij betreffen Irian en niet Papoea-Nieuw-Guinea) en besluit aldus ze niet in aanmerking te nemen voor de wedstrijd.

2. VYVERMAN, W. : «Desmids from Papua New Guinea» en «Diatoms from Papua New Guinea».

De Klasse duidt de HH. F. Malaisse, A. Lawalrée en J.-J. Symoens als verslaggevers aan.

Colloquium over de klimaatveranderingen en de geomorfologie in tropisch gebied

De H. J. Alexandre stelt voor in samenwerking met de H. De Dapper een colloquium te organiseren over de klimaatveranderingen en de geomorfologie in tropisch gebied onder de auspiciën van de Klasse.

Ce colloque se tiendrait au printemps 1992, juste avant ou peu après le symposium sur les indicateurs biologiques des changements globaux, à l'organisation duquel participe notre Académie.

Comme pour les journées d'étude antérieures sur «Les processus de latérisation» et «Stone-lines», les Actes seraient publiés en co-édition avec le périodique *Geo-Eco-Trop*.

La Classe marque son accord.

Symposium international «Tilapia in Aquaculture»

Le 3^e Symposium international «Tilapia in Aquaculture» se tiendra du 11 au 16 novembre 1991 à Abidjan.

Secrétariat et renseignements : ISTA III

Centre de Recherches Océanographiques (CRO)

29, rue des Pêcheurs

B.P. V18

Abidjan (Côte d'Ivoire)

150^e anniversaire de l'Académie royale de Médecine de Belgique

L'Académie royale de Médecine de Belgique célébrera son cent-cinquantième anniversaire les 26, 27 et 28 septembre 1991.

À cette occasion, la Classe décide de lui remettre une adresse de félicitations et de vœux.

Elle prie M. L. Eyckmans d'en rédiger le texte.

La séance est levée à 16 h 00.

Dit colloquium zou gehouden worden in de lente 1992, juist voor of even na het Symposium over de biologische indicatoren van de global change, die onder andere door de Academie georganiseerd wordt.

Zoals voor de vorige studiedagen, «Het laterisatieproces» en «Stone-lines», zullen de Acta uitgegeven worden in coëditie met het tijdschrift *Geo-Eco-Trop*.

De Klasse stemt hiermee in.

Internationaal Symposium «Tilapia in Aquaculture»

Het 3^{de} internationaal Symposium «Tilapia in Aquaculture» zal gehouden worden van 11 tot 16 november 1991 in Abidjan.

Secretariaat en inlichtingen : ISTA III

Centre de Recherches Océanographiques (CRO)

29, rue des Pêcheurs

B.P. V18

Abidjan (Côte d'Ivoire)

150^{ste} verjaardag van de «Académie royale de Médecine de Belgique»

De «Académie royale de Médecine de Belgique» zal haar honderdvijftigste verjaardag vieren op 26, 27 en 28 september 1991.

Bij deze gelegenheid besluit de Klasse haar een adres van gelukwensen te overhandigen.

Zij vraagt aan de H. L. Eyckmans er de tekst van op te stellen.

De zitting wordt gegeven te 16 h 00.

Séance du 25 juin 1991

(Extrait du procès-verbal)

La séance est ouverte à 14 h 30 par le directeur, M. F. De Meuter, assisté de M. J.-J. Symoens, secrétaire perpétuel.

Sont en outre présents : MM. I. Beghin, E. Bernard, J. Bouharmont, L. Eyckmans, A. Fain, J. Jadin, H. Nicolaï, J. Opsomer, P. Raucq, M. Reynders, C. Sys, R. Tavernier, P. Van der Veken, J. Van Riel, membres titulaires ; MM. J. Bolyn, M. De Dapper, A. de Scoville, P. Gigase, L. Soyer, M. Wéry, membres associés ; M. F. Malaisse, membre correspondant.

Absents et excusés : MM. P. Benoit, G. Boné, M. De Smet, R. Dudal, C. Fieremans, R. Frankart, P. Gourou, J.-M. Henry, P.-G. Janssens, A. Lawalrée, M. Lechat, J. Lepersonne, J. Mortelmans, J. Semal, G. Stoops, R. Vanbreuseghem, H. Vis.

Interactions macrophages/*Trypanosoma cruzi*

Le Directeur accueille M. B. Vray, professeur à l'Université Libre de Bruxelles, invité par le Bureau de l'Académie à faire une communication devant la Classe.

M. B. Vray présente son étude, intitulée comme ci-dessus.

MM. F. De Meuter, L. Eyckmans, A. de Scoville, A. Fain, M. Wéry, J. Jadin et I. Beghin interviennent dans la discussion.

Après le départ de l'orateur, la Classe désigne MM. A. de Scoville et M. Wéry en qualité de rapporteurs.

Évaluation du milieu physique de la Cuvette zaïroise pour l'agriculture

Le Directeur accueille M. Ngongo Luhembwe, invité, sur proposition de M. C. Sys, à faire une communication devant la Classe.

M. Ngongo Luhembwe présente l'étude qu'il a rédigée avec M. C. Sys sur le sujet énoncé ci-dessus.

MM. C. Sys, J.-J. Symoens, A. Fain, P. Raucq, F. Malaisse et H. Nicolaï interviennent dans la discussion.

Après le départ de l'orateur, la Classe désigne MM. M. Frère, F. Malaisse et R. Tavernier en qualité de rapporteurs.

«The control of river blindness in West Africa»

Après avoir entendu les remarques des deux rapporteurs désignés, MM. J. Mortelmans et M. Wéry, la Classe décide d'en communiquer la teneur à l'auteur, M. A. S. Muller, en l'invitant à y adapter son texte.

Zitting van 25 juni 1991

(Uittreksel van de notulen)

De zitting wordt geopend te 14 h 30 door de directeur, de H. F. De Meuter, bijgestaan door de H. J.-J. Symoens, vast secretaris.

Zijn bovendien aanwezig : De HH. I. Beghin, E. Bernard, J. Bouharmont, L. Eyckmans, A. Fain, J. Jadin, H. Nicolaï, J. Opsomer, P. Raucq, M. Reyners, C. Sys, R. Tavernier, P. Van der Veken, J. Van Riel, werkende leden ; de HH. J. Bolyn, M. De Dapper, A. de Scoville, P. Gigase, L. Soyer, M. Wéry, geassocieerde leden ; de H. F. Malaisse, corresponderend lid.

Afwezig en verontschuldigd : De HH. P. Benoit, G. Boné, M. De Smet, R. Dudal, C. Fieremans, R. Frankart, P. Gourou, J.-M. Henry, P.-G. Janssens, A. Lawalrée, M. Lechat, J. Lepersonne, J. Mortelmans, J. Semal, G. Stoops, R. Vanbreuseghem, H. Vis.

«Interactions macrophages/*Trypanosoma cruzi*»

De Directeur verwelkomt de H. B. Vray, professor aan de «Université Libre de Bruxelles», uitgenodigd door het Bureau van de Academie om voor de Klasse een mededeling voor te stellen.

De H. B. Vray stelt zijn studie voor, getiteld als hierboven.

De HH. F. De Meuter, L. Eyckmans, A. de Scoville, A. Fain, M. Wéry, J. Jadin en I. Beghin komen tussen in de bespreking.

Na het vertrek van de spreker, duidt de Klasse de HH. A. de Scoville en M. Wéry als verslaggevers aan.

«Évaluation du milieu physique de la Cuvette zaïroise pour l'agriculture»

De Directeur verwelkomt de H. Ngongo Luhembwe, uitgenodigd op voorstel van de H. C. Sys om een mededeling voor de Klasse voor te stellen.

De H. Ngongo Luhembwe stelt de studie voor, die hij over het onderwerp hierboven met de H. C. Sys opstelde.

De HH. C. Sys, J.-J. Symoens, A. Fain, P. Raucq, F. Malaisse en H. Nicolaï komen tussen in de bespreking.

Na het vertrek van de spreker duidt de Klasse de HH. M. Frère, F. Malaisse en R. Tavernier als verslaggevers aan.

«The control of river blindness in West Africa»

Na de opmerkingen gehoord te hebben van de twee aangeduide verslaggevers, de HH. J. Mortelmans en M. Wéry, besluit de Klasse de auteur, de H. A. S. Muller, op de hoogte te brengen van de inhoud ervan, en hem te vragen zijn tekst eraan aan te passen.

Dès réception du texte remanié, celui-ci sera renvoyé aux deux rapporteurs précités, qui en rendront compte devant la Classe.

**La végétation des terrasses sablonneuses, à sol peu évolué,
en Basse Casamance (Sénégal)**

Après avoir entendu les rapports de MM. F. Malaisse et P. Van der Veken, la Classe décide la publication de cette étude de M. C. Vanden Berghen (pp. 437-461).

Concours annuel 1991

En réponse à la quatrième question du Concours annuel 1991, un ensemble de deux travaux complémentaires a été régulièrement introduit par M. W. Vyverman : «Diatoms from Papua New Guinea» et «Desmids from Papua New Guinea».

Après avoir entendu les rapports, unanimement favorables, de MM. A. Lalwalee, F. Malaisse et J.-J. Symoens, la Classe décide d'attribuer le prix de 30 000 FB à M. Vyverman, qui portera le titre de «Lauréat de l'Académie royale des Sciences d'Outre-Mer».

Distinction académique

M. P. Piot, membre associé de la Classe, a été nommé président de la Conférence Internationale sur le SIDA (International Conference on AIDS).

Symposium

«Status and Future of Large Marine Ecosystems of the Indian Ocean»

Le Kenya Marine and Fisheries Research Institute organise à Mombasa, du 2 au 7 août 1992, en collaboration avec le Kenyan-Belgian Project «Higher Institute for Marine Science» et le centre régional RECOSCIX-WIO, un symposium international sur le thème «Status and Future of Large Marine Ecosystems of the Indian Ocean».

Inscriptions et renseignements : Dr. E. Okemwa

KMFRI

P.O. Box 81651

Mombasa (Kenya)

Tel. (11) 47.22.66. Fax (11) 47.22.15.

La séance est levée à 17 h 00.

Bij ontvangst van de herwerkte tekst zal deze teruggestuurd worden naar de twee voornoemde verslaggevers, die hun beoordeling aan de Klasse zullen voorleggen.

**«La végétation des terrasses sablonneuses, à sol peu évolué,
en Basse Casamance (Sénégal)»**

Na de verslagen van de HH. F. Malaisse en P. Van der Veken gehoord te hebben besluit de Klasse deze studie van de H. C. Vanden Berghen te publiceren (pp. 437-461).

Jaarlijkse wedstrijd 1991

Als antwoord op de vierde vraag van de jaarlijkse wedstrijd 1991 werd een geheel van twee complementaire werken regelmatig ingediend door de H. W. Vyverman : «Diatoms from Papua New Guinea» en «Desmids from Papua New Guinea».

Na de unaniem gunstige verslagen gehoord te hebben van de HH. A. La-walrée, F. Malaisse en J.-J. Symoens, besluit de Klasse de prijs van 30 000 BF toe te kennen aan de H. Vyverman, die de titel zal dragen van «Laureaat van de Koninklijke Academie voor Overzeese Wetenschappen».

Academische onderscheiding

De H. P. Piot, geassocieerd lid van de Klasse, werd tot voorzitter benoemd van de Internationale AIDS Conferentie (International Conference on AIDS).

Symposium

«Status and Future of Large Marine Ecosystems of the Indian Ocean»

Het Kenya Marine and Fisheries Research Institute organiseert te Mombasa, van 2 tot 7 augustus 1992, in samenwerking met het Kenyan-Belgian Project «Higher Institute for Marine Science» en het regionaal centrum RECOSCIX-WIO, een internationaal symposium over het thema «Status and Future of Large Marine Ecosystems of the Indian Ocean».

Inschrijvingen en inlichtingen : Dr. E. Okemwa

KMFRI

P.O. Box 81651

Mombasa (Kenya)

Tel. (11) 47.22.66. Fax (11) 47.22.15.

De zitting wordt geheven te 17 h 00.

La végétation des terrasses sablonneuses, à sol peu évolué, en Basse Casamance (Sud du Sénégal) *

par

C. VANDEN BERGHEN **

MOTS-CLÉS. — Phytosociologie ; Sénégal ; Végétation.

RÉSUMÉ. — En Basse Casamance (Sud du Sénégal), entre les fleuves Gambie et Casamance, une «Haute Terrasse» de sables peu évolués, déposés durant le Quaternaire, s'étend entre, d'une part, le cordon de dunes et les dépressions littorales et, d'autre part, un «Plateau» daté de la fin du Tertiaire (Continental Terminal). Sur la «Haute Terrasse», trois groupements végétaux ont été reconnus par la méthode phytosociologique de Braun-Blanquet. Ce sont : 1) la Variante «soudanienne» à *Pterocarpus erinaceus* du taillis subguinéen à *Malacantha alnifolia* et *Zanthoxylum zanthoxyloides*, notée sur des sols bien drainés et relativement riches ; 2) l'Association à *Lophira lanceolata* et *Syzygium guineense*, reconnue dans la forêt claire installée sur des sables mal drainés et de qualité médiocre ; 3) enfin, l'Association herbacée à *Schizachyrium exile* et *Vernonia perrottetii*, qui résulte de coupes importantes en vue du prélèvement de bois de construction ou de feu. L'origine anthropique de ces syntaxons, à partir d'une forêt subguinéenne à *Parinari excelsa*, est précisée. L'étude de leur dynamisme, de leurs exigences écologiques et de leur structure chorologique a été entreprise. Un essai de reconstitution de la végétation climacique selon un transect est proposé par un schéma.

SAMENVATTING. — *Het plantendek van de zandige terrassen met weinig ontwikkelde bodem in Beneden-Casamance (Zuiden van Senegal).* — In Beneden-Casamance (Zuiden van Senegal), tussen de stromen Gambia en Casamance, strekt zich een «Hoog Terras» uit van weinig ontwikkelde zandbodems die tijdens het Kwartair afgezet werden, tussen de duinenketen en de kustdepressies enerzijds en een Plateau dat dateert van het einde van het Tertiair (Continental Terminal) anderzijds. Op het «Hoge Terras» werden drie plantengemeenschappen herkend dank zij de fytosociologische methode van Braun-Blanquet. Het zijn : 1) de «Soudanese» Variante met *Pterocarpus erinaceus* van het «Subguineese» hakhout met *Malacantha alnifolia* en *Zanthoxylum zanthoxyloides*, opgemerkt op goed gedraineerde en betrekkelijk rijke bodems ; 2) de Associatie met *Lophira lanceolata* en *Syzygium guineense*, herkend in het ijle woud op slecht

* Communication présentée sur invitation du Bureau à la séance de la Classe des Sciences naturelles et médicales tenue le 28 mai 1991. Publication décidée le 25 juin 1991.

** Professeur émérite de l'Université Catholique de Louvain ; Jardin botanique national de Belgique, Domaine de Bouchout, B-1860 Meise (Belgique).

gedraineerde zandbodems van slechte kwaliteit ; 3) tenslotte, de grasachtige Associatie met *Schizachyrium exile* en *Vernonia perrottetii*, die het resultaat is van het veelvuldig kappen van hout voor bouwwerken of voor het vuur. De antropische oorsprong van deze syntaxa, vanuit een subguinees bos met *Parinari excelsa*, wordt bepaald. De studie van hun dynamisme, hun ecologische behoeften en hun chorologische structuur werd ondernomen. Er wordt een poging tot reconstructie van de klimax-vegetatie volgens een transect voorgesteld aan de hand van een schema.

SUMMARY. — *The vegetation of the sandy terraces on poorly developed soils of Lower Casamance (Southern Senegal).* — In Lower Casamance (Southern Senegal), between the Gambia and Casamance Rivers, a "Higher Terrace" on poorly developed sandy soils, deposited during the Quaternary period, extends between the dune belt and the coastal depression, on one side, and the "Plateau" dating from the end of the Tertiary period (Continental Terminal), on the other. On the "Higher Terrace", three vegetation units were recognized with the phytosociological method of Braun-Blanquet for vegetation study. These are : 1) a "Sudanian" variant, with *Pterocarpus erinaceus*, of the "Subguinean" *Malacantha alnifolia* and *Zanthoxylum zanthoxyloides*-Coppice, noted on well-drained and relatively rich soils ; 2) the *Lophira lanceolata* - *Syzygium guineense*-Association, recognized in the woodland on badly drained and poor soils ; 3) finally, the herbaceous Association with *Schizachyrium exile* and *Vernonia perrottetii*, resulting from heavy cutting down for timber and firewood. The anthropic origin of these syntaxa, from a subguinean wood with *Parinari excelsa*, is precised. The study of their dynamism, of their ecological needs and their chorological structure has been undertaken. A tentatively reconstruction of the climax vegetation is illustrated by a schematic transect.

1. Introduction

Une grande partie du Sénégal occidental est un plateau peu élevé (10-40 m d'altitude), formé de sables à teneur en argile plus ou moins importante, déposés au «Continental Terminal», à la fin du Tertiaire. Le sol qui s'y est développé est caractérisé par un profil pédologique comprenant un horizon lessivé surmontant un horizon ferrallitique habituellement concrétionné. En Basse Casamance, durant le Quaternaire, le plateau a été profondément entaillé, à plusieurs reprises, par l'érosion marine. Il est actuellement bordé, du côté de l'océan Atlantique, par des terrasses sablonneuses récentes, généralement au nombre de trois, emboîtées l'une dans l'autre, nées du démantèlement du plateau. La pédogenèse, dans ce substrat jeune, n'a abouti, le cas échéant, qu'à la formation d'un sol à horizon profond ferrugineux (SAOS *et al.* 1988).

La végétation portée par une de ces terrasses, la «supérieure», a été étudiée en détail dans la région littorale de Kafountine-Abéné, entre la Gambie et le fleuve Casamance. Les groupements végétaux décrits dans ce travail ont été reconnus ailleurs en Basse Casamance, dans des stations homologues, notamment à Elinkine et à Enampor.

Le climat du territoire parcouru est franchement tropical. Une longue saison sèche, dont la rigueur est pourtant tempérée par la proximité de l'océan, est suivie, chaque année, d'une saison des pluies, relativement courte (fin juin - début octobre), durant laquelle tombent normalement 950-1250 mm d'eau (VANDEN BERGHEN 1990).

Le couvert végétal est profondément marqué par les activités de l'homme, anciennes et actuelles, et reflète, en particulier, le choc de deux civilisations agraires, chacune génératrice d'un paysage original. Les Diolas, les plus anciens habitants, sont essentiellement des riziculteurs adaptés à vivre dans un milieu forestier. Celui-ci a été modelé en fonction des nécessités, sans être totalement détruit. Les Diolas possèdent des rizières inondables permanentes, aménagées dans les creux du relief. Ils cultivent également du riz, dit «de montagne», sur des aires bien drainées, temporairement défrichées et incendiées, qui donnent une récolte tous les 4-5 ans. Les Mandingues, arrivés de façon brutale durant la seconde moitié du siècle dernier, aiment les grands espaces ouverts. Leurs champs de petit mil et de sorgho occupent de vastes surfaces débroussaillées, dans lesquelles subsistent éventuellement quelques grands arbres isolés, derniers témoins de la forêt détruite (PÉLISSIER 1966).

Le paysage agricole façonné par la colonisation mandingue forme une large auréole autour des villages. Celui qui porte l'empreinte de la civilisation des Diolas subsiste pourtant sur de grandes surfaces, à l'écart des agglomérations humaines. Il présente un vif intérêt pour le botaniste, car une végétation semi-naturelle, dérivée de la forêt primitive, a été conservée.

Les groupements végétaux reconnus dans le territoire étudié sont principalement constitués de taxons relevant de deux éléments chorologiques. L'élément subguinéen (symbole : G) comprend les espèces dont l'aire principale recouvre, en Afrique, le Domaine guinéen (ou la Région guinéo-congolaise) et qui sont également présentes, au nord de ce territoire, dans une auréole plus ou moins large qualifiée de subguinéenne. *Parinari excelsa* peut être considéré comme une «espèce-guide» de ce groupe chorologique (cf. WHITE 1976, carte 336). L'élément subsoudanien (symbole : S) est formé d'espèces fréquentes et abondantes dans le Domaine soudanien mais qui occupent également, plus au sud, des substrats aberrants, notamment les sols arides, ou mal drainés, ou particulièrement pauvres en éléments biogènes. *Parkia biglobosa* est un taxon typiquement subsoudanien (cf. HOPKINS & WHITE 1984, carte 895). En plus des taxons de ces cortèges floristiques principaux, nos relevés recensent quelques espèces sahélo-soudaniennes (symbole : SS), dont l'aire déborde vers le nord l'aire des taxons subsoudaniens, des espèces guinéennes littorales (GI), cantonnées dans les secteurs chorologiques bordant l'océan Atlantique, des espèces à aire de distribution très vaste, principalement paléotropicale, pantropicale et pansubtropicale (P) ; la plupart de ces dernières sont des plantes rudérales ou subrudérales.

2. Les principaux types de végétation

Un transect, tracé perpendiculairement au rivage de l'océan Atlantique, à hauteur du village d'Abéné, localise les différents éléments du paysage (fig. 1).

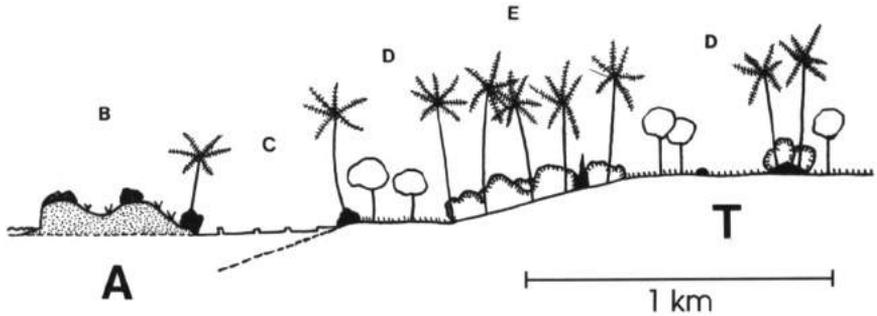


FIG. 1. — Représentation schématique de la localisation des groupements végétaux notés le long d'un transect tracé perpendiculairement à l'océan, à hauteur d'Abéné (Casamance). — A : Alluvions sablo-argileuses et dunes récentes. — T : Terrasse sablonneuse. — B : Végétation composite des dunes. — C : Rizières aménagées dans la plaine alluviale. — D : Forêt claire et couloirs herbeux, sur des sables mal drainés. — E : Taillis, sous une strate de palmes d'*Elaeis guineensis*, sur un sol bien drainé.

a) Un cordon de dunes, large de 500-1000 m, borde la plage ; il est occupé par des groupements végétaux psammophiles ou hygrophiles spécialisés (VAN DEN BERGHE 1990).

b) Une plaine tapissée d'alluvions récentes, sablo-limoneuses, sépare les dunes littorales des terres plus élevées et plus anciennes d'une «Terrasse supérieure» (VIEILLEFON 1975). Des rizières inondables y ont été aménagées et remplacent une mangrove dont ne subsistent que quelques arbustes isolés ou groupés en petits massifs. *Paspalum vaginatum* et *Philoxerus vermicularis* envahissent les aires non cultivées après la destruction du fourré halophile et deviennent les espèces dominantes de petits prés salés.

c) Deux types de végétation ont été reconnus sur les sables de la Terrasse, dont l'altitude est comprise entre 3 et 8 m :

— Un taillis fermé ou presque fermé, haut de 2-4 m lorsqu'il est développé de façon optimale, occupe les sols bien drainés du versant en pente douce qui fait face à l'océan. Ce taillis est surmonté d'une strate de végétation haute, principalement formée par les palmes de nombreux *Elaeis guineensis*. Des termitières nues, de couleur jaune orangé, hautes de 2-4 m, se dressent abruptement çà et là.

— La végétation notée sur les sables mal drainés, au pied du versant et sur la partie horizontale de la Terrasse, est différente de celle installée sur la pente. Des fragments d'une forêt claire, haute de 8-15 m, souvent fortement

dégradée, y sont ceinturés et pénétrés de couloirs à végétation herbacée basse et maigre, essentiellement formée de plantes annuelles. Des termitières de deux types sont notées sur des sols engorgés durant la saison des pluies et éventuellement très arides durant la saison sèche. Les plus apparentes sont largement coniques, avec une base dont le diamètre atteint 8 m. Ces constructions sont colonisées par une végétation comparable à celle du taillis, comprenant notamment des *Elaeis*. D'autres termitières, de couleur grise, en forme de dôme et rarement hautes de plus de 1 m, sont nues.

Les deux types de végétation occupent parfois des surfaces nettement limitées dans l'espace. Plus fréquemment, le taillis et la forêt claire sont séparés par une zone de transition, un écotone, dont la largeur ne dépasse pourtant que rarement 20 m.

Nous avons analysé, par la méthode du relevé phytosociologique (BRAUN-BLANQUET 1964), la composition floristique du taillis, celle de la forêt claire et celle des couloirs herbeux. Des tableaux d'association définissent les groupements végétaux reconnus dans le couvert. Ces documents ne sont pas publiés mais l'information qu'ils apportent, d'ordre qualitatif et semi-quantitatif, apparaît, sous une forme globalisée, dans des listes floristiques. Pour chacun des taxons recensés, nous mentionnons un numéro d'échantillon d'herbier (déposé à BR). De plus, le nom de chaque taxon est suivi des indications suivantes :

— Le degré de présence du taxon (symbole : P.), établi à l'aide d'une échelle à 5 niveaux (I à V). Cette notation est accompagnée de la mention, entre parenthèses, des coefficients de quantité extrêmes, le plus petit et le plus grand, obtenus par le taxon et notés dans le tableau.

— Le coefficient de recouvrement (C.R.). Celui-ci est un nombre obtenu en additionnant les quantités moyennes attribuées à un taxon dans un tableau phytosociologique, en divisant cette somme par le nombre de relevés insérés dans le tableau et en multipliant le quotient obtenu par 100. Le coefficient de recouvrement peut être considéré comme grossièrement proportionnel à la biomasse du taxon (VANDEN BERGHEN 1982b).

— L'appartenance du taxon à un des groupes de formes biologiques (F.B.) du système conçu par Raunkiaer. Cette appartenance est indiquée par des symboles définis dans la légende du tableau I.

— Une appréciation d'ordre chorologique (Chor.). Celle-ci est suggérée par les symboles proposés dans l'introduction du présent article et également définis dans la légende du tableau I.

Une attention particulière a été accordée au dynamisme de la végétation. Quelques analyses pédologiques, effectuées au Laboratoire d'Écologie des Prairies de l'Université Catholique de Louvain, donnent des indications, malheureusement ponctuelles et sommaires, sur la texture et la qualité du sol.

Tableau 1

Taillis à *Malacantha alnifolia* et *Zanthoxylum zanthoxyloides*, variante à *Pterocarpus erinaceus*

BR		P.	C.R.	F.B.	Chor.
	Strate arborescente (8-15 m)				
7034	<i>Elaeis guineensis</i> Jacq.	V (2-4)	3062	P	G
7800	<i>Pterocarpus erinaceus</i> Poiret	II (1-3)	625	P	S
1694	<i>Parkia biglobosa</i> (Jacq.) Benth.	I (1)	46	P	S
1193	<i>Terminalia macroptera</i> Guill. et Perr.	I (1)	15	P	S
4439	<i>Prosopis africana</i> (Guill. et Perr.) Tauber	I (1)	15	P	S
8551	<i>Treculia africana</i> Decne. var. <i>africana</i>	I (1)	15	P	G
	Strate arbustive (1-5 m)				
	Rejets de souche et arbres jeunes				
7733	<i>Malacantha alnifolia</i> (Baker) Pierre	V (1-3)	2046	P	S
7732	<i>Dialium guineense</i> Willd.	V (1-3)	1140	P	G
7768a	<i>Zanthoxylum zanthoxyloides</i> (Lam.) Waterman	V (+-2)	610	P	G
2053	<i>Albizia zygia</i> (DC.) J. F. Macbr.	V (+-2)	610	P	G
4435	<i>Ficus sur</i> Forssk.	V (+-2)	484	P	S
7034	<i>Elaeis guineensis</i> Jacq.	IV (1-2)	546	P	G
7782	<i>Semanea dinklagei</i> (Harms) Keay	IV (1-2)	343	P	G
1694	<i>Parkia biglobosa</i> (Jacq.) Benth.	IV (+-1)	106	P	S
7800	<i>Pterocarpus erinaceus</i> Poiret	III (1-2)	296	P	S
7775	<i>Parinari excelsa</i> Sabine	III (1-2)	296	P	G
1190	<i>Piliostigma thonningii</i> (Schumacher) Milne-Redhead	III (+-1)	80	P	S
1765	<i>Daniellia oliveri</i> (Rolfe) Hutch. et Dalz.	III (+-1)	79	P	S
8090	<i>Syzygium guineense</i> (Willd.) DC. subsp. <i>macrocarpum</i> (Engler) White	III (+-1)	79	P	S
7797	<i>Dalbergia boehmii</i> Tauber	II (+-1)	63	P	G
7740	<i>Detarium senegalense</i> J. F. Gmel.	II (1)	62	P	G
7789	<i>Ficus ovata</i> Vahl	II (1)	62	P	G
7721	<i>Lophira lanceolata</i> van Tieghem ex Keay	II (+-1)	48	P	S
7781	<i>Lannea acida</i> A. Richard	II (+-1)	47	P	S
4175	<i>Anthocleista djalonensis</i> A. Cher	I (1-2)	109	P	G
8551	<i>Lonchocarpus sericeus</i> (Poiret) Humb., Bonpl. et Kunth	I (2)	93	P	G
8533	<i>Albizia adianthifolia</i> (Schumacher) W. F. Wight	I (1)	46	P	G
7791	<i>Antiaris toxicaria</i> Leschenault subsp. <i>africana</i> (Engler) C. C. Berg.	I (1)	31	P	S
7792	<i>Alchornea cordifolia</i> (Schumacher et Thonn.) Müller-Arg.	I (1)	31	P	G
8075	<i>Khaya senegalensis</i> (Desr.) A. Juss.	I (1)	31	P	S
7765	<i>Lannea velutina</i> A. Richard	I (1)	31	P	S
9276	<i>Andira inermis</i> (Wright) DC.	I (1)	31	P	S
8053	<i>Spondias mombin</i> L.	I (1)	15	P	G
1193	<i>Terminalia macroptera</i> Guill. et Perr.	I (1)	15	P	S
7785	<i>Anthostema senegalensis</i> A. Juss.	I (1)	15	P	S
	Arbustes				
4519	<i>Allophylus cobbe</i> (L.) Raeusch	V (2-3)	2203	P	S
7736	<i>Uvaria chamae</i> Beauv.	V (+-3)	1047	P	G
1877	<i>Dichrostachys cinerea</i> (L.) Wight et Arn.	V (+-1)	203	P	SS
7769	<i>Cnestis ferruginea</i> DC.	IV (1-3)	1156	P	G
4643	<i>Indigofera macrophylla</i> Schumacher	IV (1-3)	625	P	G
1303	<i>Hibiscus sterculiifolius</i> (Guil. et Perr.) Steudel	IV (+-1)	172	P	G
7746	<i>Annona senegalensis</i> Pers. s.l.	IV (+-1)	126	P	S

Tableau I (suite)

BR		P.	C.R.	F.B.	Chor.
9065	<i>Psychotria</i> sp. cf. <i>P. peduncularis</i> (Salisb.) Steyerem. var. <i>peduncularis</i>	III (+-1)	79	P	G
7739	<i>Sarcocephalus latifolius</i> (Smith) Bruce	II (1-2)	250	P	S
7744	<i>Pouchetia africana</i> A. Richard ex DC.	II (+-2)	235	P	G
7737	<i>Trema orientalis</i> (L.) Blume	II (+-2)	141	P	G
1414	<i>Erythrina senegalensis</i> DC.	II (+-1)	63	P	S
7779	<i>Smeathmannia laevigata</i> Soland. ex R. Br. var. <i>laevigata</i>	II (+-1)	47	P	G
8051	<i>Rauwolfia vomitoria</i> Afzel.	II (+-1)	47	P	G
7801	<i>Craterispermum laurinum</i> (Poirot) Benth.	I (1)	31	P	G
8531	<i>Vangueriopsis discolor</i> (Benth.) W. Robyns	I (1)	31	P	G
7742	<i>Morinda morindoides</i> (Baker) Milne-Redhead	I (1)	31	P	G
7796	<i>Vitex doniana</i> Sweet	II (+-1)	17	P	S
4750	<i>Hoslundia opposita</i> Vahl	I (1)	15	P	G
2022	<i>Phoenix reclinata</i> Jacq.	I (1)	15	P	G
8587	<i>Bridelia micrantha</i> (Hochst.) Baillon	I (1)	15	P	S
	Rejets de lianes ligneuses				
7729	<i>Saba senegalensis</i> (A. DC.) Pichon	V (1-2)	1031	Pl	S
7735	<i>Landolphia heudelotii</i> A. DC.	V (1-2)	781	Pl	S
4433	<i>Tetracera alnifolia</i> Willd.	IV (1-2)	563	Pl	S
9252	<i>Landolphia dulcis</i> (R. Br. ex Sabine) Pichon s.l.	III (1-2)	359	Pl	G
4653	<i>Sorindeia juglandifolia</i> (A. Richard) Planchon ex Oliv.	II (1-2)	218	Pl	G
7743	<i>Salacia senegalensis</i> (Lam.) DC.	II (1)	93	Pl	G
7798	<i>Usteria guineensis</i> Willd.	I (1)	93	Pl	G
8541b	<i>Secamone afzelii</i> (Schultes) K. Schum.	I (1)	46	Pl	G
7776	<i>Strophanthus sarmentosus</i> DC.	II (1)	62	Pl	S
7799	<i>Mezoneuron benthamianum</i> Baillon	I (1)	46	Pl	G
9238	<i>Dalbergia saxatilis</i> Hook. f.	I (1)	31	Pl	G
8081	<i>Ritchea capparoides</i> (Andres.) Britten	I (1)	31	Pl	G
8588	<i>Combretum tomentosum</i> G. Don	I (1)	15	Pl	G
	Plantes lianeuses				
7745	<i>Dioscorea lecardii</i> De Wild.	V (1-2)	953	Gl	S
1179	<i>Cassytha filiformis</i> L.	V (+-2)	594	—	G
4549	<i>Ampelocissus multistriata</i> (Baker) Planchon	V (+-2)	376	Gl	S
7701	<i>Dioscorea hirtiflora</i> Benth.	V (1-2)	218	Gl	G
2703	<i>Smilax anceps</i> Willd.	V (+-1)	128	Gl	S
2228	<i>Cissampelos mucronata</i> A. Richard	V (+-1)	23	Cl	S
4432	<i>Ipomoea mauritiana</i> Jacq.	IV (+-2)	158	Gl	P
8058	<i>Abrus</i> sp. cf. <i>A. gorsei</i> Berhaut	IV (+-1)	81	Cl	—
7741	<i>Tetracera potatoria</i> Afzel. ex G Don	II (1)	93	Pl	G
8548	<i>Paullinia pinnata</i> L.	I (1)	31	Pl	G
7738	<i>Leptadenia hastata</i> (Pers.) Decne	I (1)	15	Pl	S
8055	<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.	I (1)	15	—	—
8837	<i>Cryptolepis sanguinolenta</i> (Lindl.) Schlecht.	I (1)	15	Pl	G
9239	<i>Rhynchosia pycnostachya</i> (DC.) Meikle	I (1)	15	Cl	G

BR : numéro de récolte (échantillon d'herbier déposé au Jardin botanique national de Belgique). — P : Présence. — C.R. : Coefficient de recouvrement. — F.B. : Forme biologique, dans le système de RAUNKIAER (P : Phanérophyte, Pl : Phanérophyte lianeux ; C : Chaméphyte, Cl : Chaméphyte lianeux, H : Hemicryptophyte, G : Géophyte, Gl : Géophyte lianeux, T : Thérophyte). — Chor. : Chorologie (G : espèce subguinéenne en Afrique, S : espèce subsoudanaïenne s.l., SS : espèce sahélo-soudanaïenne, P : espèce à vaste aire de distribution).

2.1. LA VÉGÉTATION DES SOLS BIEN DRAINÉS : LE TAILLIS À *Malacantha alnifolia* ET *Zanthoxylum zanthoxyloides* (tableau 1)

Le tableau 1 globalise un tableau phytosociologique de 16 relevés notés, chacun sur une surface de 400 m² environ, dans les taillis denses qui occupent, dans la région étudiée, les sols bien drainés à horizon ferrugineux.

Cette formation est soumise à la culture itinérante du riz de montagne sur des brûlis d'un ha environ, abandonnés après une récolte et défrichés, à nouveau, 4-5 ans plus tard. Durant la période de repos, un couvert ligneux peut se reconstituer. Il est forcément formé, de façon principale, d'espèces capables de rejeter de souche et de résister au passage d'un feu courant. S'y ajoutent quelques jeunes individus nés de graines qui ont germé sur la surface abandonnée après la moisson. On remarque l'abondance des espèces héliophiles, en particulier des lianes ligneuses et herbacées, cantonnées aux lisières forestières dans un tapis végétal naturel. Les palmiers à huile sont respectés lors de la coupe du taillis car ils produisent un vin de palme recherché. Leurs feuilles constituent un écran, à 10-15 m du sol, qui tempère les effets destructeurs de l'érosion pluviale lors des fortes averses tropicales. Souvent, quelques grands arbres sont également épargnés par la hache des cultivateurs. Parmi eux, on trouve des individus de *Parinari excelsa* et de *Treculia africana*, espèces caractéristiques de la forêt dense subguinéenne. Les trouées qui apparaissent parfois dans le taillis sont généralement occupées par des *Andropogonées* vivaces de grande taille (2-3 m). La strate herbacée, sous le couvert des arbustes, est peu étoffée ou presque nulle ; elle n'apparaît pas dans notre tableau.

La composition floristique du taillis est proche de celle de l'Association à *Malacantha alnifolia* et *Zanthoxylum (Fagara) zanthoxyloides*, reconnue au sud du fleuve Casamance (VANDEN BERGHEM 1982c). Manquent pourtant quelques espèces subguinéennes comme *Carapa procera* et *Clematis hirsuta*. Par contre, plusieurs arbres et arbustes typiquement soudanais sont présents. En particulier, *Pterocarpus erinaceus* et *Daniellia oliveri* sont fréquents dans le couvert, alors que ces espèces ne sont pas notées dans les taillis de la région de Cabrousse-Diembéring. Le groupement observé au nord du fleuve Casamance peut donc être considéré comme une variante, à *Pterocarpus erinaceus*, de l'Association à *Malacantha alnifolia* et *Zanthoxylum zanthoxyloides*, variante différenciée par un appauvrissement de l'élément floristique subguinéen et par une plus grande importance, dans le tapis végétal, de l'élément soudanien.

De 27 à 43 taxons, en moyenne 34,5 taxons, ont été recensés par relevé lors de l'étude du taillis. Cette richesse floristique est supérieure à celle des autres groupements végétaux reconnus dans la région, bien que l'association soit très homogène. En effet, on n'y distingue qu'une variante, très discrète, différenciée par la présence de quelques hygrophytes : *Alchornea cordifolia*,

Anthostema senegalensis, *Phoenix reclinata*. Les relevés dans lesquels apparaissent ces espèces ont été notés au bas du versant, dans une zone de suintements temporaires.

La présence de quelques grands arbres forestiers et la composition floristique du taillis montrent à l'évidence que celui-ci dérive d'une forêt dense, très probablement de type subguinéen, à *Parinari excelsa* (DOUMBIA 1966). Cette forêt a été profondément altérée par l'élimination, par la hache et par le feu, des plantes ligneuses les plus vulnérables, lesquelles relèvent principalement de l'élément subguinéen. Leur disparition a favorisé la multiplication du nombre de palmiers à huile ainsi que l'installation de lianes, d'arbres et d'arbustes héliophiles. La plupart de ces envahisseurs sont des plantes à aire subsoudanaïenne, mieux adaptées aux nouvelles conditions de vie imposées par l'homme.

Le taillis à *Malacantha* et *Zanthoxylum* occupe un substrat sablonneux dans lequel s'est développé le « faciès ferrugineux des sols peu évolués d'apport fluviomarinal » (VIEILLEFON 1975). Une litière mince et discontinue recouvre un horizon superficiel humifère, de couleur grise à l'état frais. Il repose sur des sables lessivés de teinte plus pâle. Un horizon jaunâtre, sablonneux avec une certaine charge en argile, apparaît vers 75 cm de profondeur et correspond probablement à la partie supérieure d'un horizon d'accumulation. C'est apparemment avec ce matériau que les termites édifient leurs constructions, hautes de 2-4 m, en forme de château hérissé de tourelles cylindriques.

L'analyse granulométrique et chimique de trois échantillons de sable, prélevés vers -5 cm, met en évidence la texture du substrat superficiel, l'acidité du sol, la faiblesse de la somme des ions échangeables et la dominance du calcium sur le magnésium (tableau 2).

2.2. LA VÉGÉTATION DES SOLS MAL DRAINÉS

Nous savons qu'une mosaïque de trois groupements végétaux occupe les surfaces horizontales, mal drainées, de la Terrasse (fig. 2) :

- Une forêt claire, plus ou moins fortement dégradée ;
- Une végétation herbacée, généralement ouverte ;
- Des boqueteaux denses, installés sur les grandes termitières, à composition floristique comparable à celle du taillis à *Malacantha* et *Zanthoxylum*.

2.2.1. La forêt claire à *Lophira lanceolata* et *Syzygium guineense* (tableau 3).

La liste 3 donne l'essentiel des renseignements fournis par un tableau de 25 relevés de la végétation de forêts claires, notés sur des parcelles de 100 à 400 m². Le recouvrement arborescent de cette formation végétale est compris entre 30 et 85% ; les cimes des arbres atteignent une hauteur de 8 à 15 m. *Daniellia oliveri* et *Lophira lanceolata* sont fréquemment les arbres dominants dans le couvert car ces espèces se multiplient par drageonnement et croissent

Tableau 2
 Taillis à *Malacantha alnifolia* et *Zanthoxylum zanthoxyloides*.
 Analyse d'échantillons du sol superficiel (-5 cm)

N° du relevé	801	807	834
Couleur à l'état sec :	gris rougeâtre	gris rougeâtre	gris sombre
Analyse granulométrique (%) :			
0-2 m μ	5,8	7,3	—
2-20 m μ	4,3	3,8	—
20-50 m μ	6,7	9,8	—
50-200 m μ	83,2	79,1	—
pH : H ₂ O	5,5	5,9	6,4
KCl	4,5	4,68	5,8
Matière organique et azote (%) :			
C	2,3	4,68	—
Matière organique totale	3,91	7,95	2,8
N	0,04	0,054	0,1
Ions échangeables (mg/ 100 g) :			
K	3,4	4,4	5,3
P	0	0,2	0
Mg	8	17,6	13,1
Ca	30	50	87,6
Na	17,6	17,6	1,3

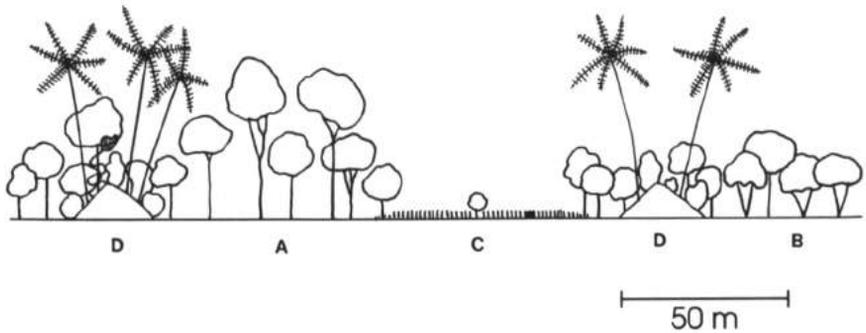


FIG. 2. — Représentation, en coupe, de la mosaïque «forêt claire - couloirs herbeux», sur les sables de la Terrasse. — A et B : Fragments de forêt claire à *Lophira lanceolata* et *Syzygium guineense*. — C : Couloir herbeux à *Vernonia perrottetii*, avec une petite termitière grise. — D : Boqueteaux sur de grandes termitières coniques. — Le transect est approximativement long de 250 m.

donc souvent en «colonies». *Syzygium guineense*, *Pterocarpus erinaceus* et, plus rarement, *Neocarya macrophylla*, jouent également un rôle important dans la strate de végétation la plus élevée. La strate arbustive (recouvrement de 50 à 95%) est principalement formée de jeunes individus ou de rejets de souche des espèces arborescentes. Elle comprend aussi des arbustes héliophiles, tels *Dichrostachys cinerea*, *Annona senegalensis*, *Maytenus senegalensis*, *Bridelia micrantha*, etc. Les lianes ligneuses sont rares. La strate au sol, ouverte, est constituée de plantules d'espèces ligneuses et de plantes herbacées, non citées dans la liste floristique. Les plus fréquentes sont *Cissus rufescens*, *Aframomum albviolaceum*, *Tacca leontopetaloides*, *Amorphophallus aphyllus*, *Stylochiton hypogaeus*, *Scadoxus multiflorus*. Quelques espèces subrudérales, indicatrices d'un pâturage relativement intensif, sont notées dans les parcelles les plus dégradées.

Le nombre d'espèces présentes dans les strates arborescente et arbustive de chacune des surfaces inventoriées est généralement inférieur à celui noté chez le groupement à *Malacantha alnifolia* et *Zanthoxylum zanthoxyloides*. Il est compris entre 12 et 40, en moyenne 20,2 taxons. La plupart de ceux-ci relèvent de l'élément chorologique subsoudanien s.l. On est pourtant surpris de noter la présence de plusieurs espèces subguinéennes, en particulier celle de *Parinari excelsa*, représenté par des rejets de souche et par de jeunes individus. Ces plantes croissent non seulement à proximité des grandes termi-tières, dont la végétation rappelle celle du taillis à *Malacantha* et *Zanthoxylum*, mais également loin de ces constructions. Il n'est donc pas interdit de supposer que la forêt claire actuelle dérive d'une forêt dense présentant de fortes affinités avec celle qui a donné naissance au taillis décrit précédemment.

Les sables mal drainés de la Terrasse n'ont apparemment jamais été mis en culture, mais leur végétation porte la marque de deux autres pratiques paysannes. Ces terres, en effet, sont parcourues par des troupeaux de bovins et les boisements sont exploités d'une façon anarchique. La coupe du bois, pour la cuisson des aliments ou pour la construction des habitations, est non seulement responsable de l'éclaircissement du couvert mais aussi de la raréfaction des espèces qui ne rejettent pas de souche ou qui rejettent mal. On remarque facilement, par exemple, que *Syzygium* se maintient dans les parcelles exploitées en formant de vigoureuses cépées. Par contre, *Pterocarpus erinaceus* paraît ne pas résister à une exploitation abusive. En ce qui concerne le passage du bétail, celui-ci inhibe la régénération du boisement par la destruction des plantules et des jeunes individus des espèces ligneuses les plus appréciées. Le feu n'est apparemment pas utilisé pour rajeunir les pacages.

Les deux éléments principaux du couvert végétal, les fragments de forêt claire et les couloirs herbeux, sont en équilibre instable. Dès que la coupe du bois cesse et que l'importance du troupeau diminue, on voit apparaître de nombreuses plantules d'espèces ligneuses sous le couvert de la forêt claire et dans les couloirs herbeux. Ceux-ci sont également rapidement envahis par

Tableau 3

La forêt claire à *Lophira lanceolata* et *Syzygium guineense*

BR		P.	C.R.	F.B.	Chor.
	Strate arborescente (8-15 m)				
1765	<i>Daniellia oliveri</i> (Rolfe) Hutch. et Dalz.	IV (1-4)	1350	P	S
7718	<i>Pterocarpus erinaceus</i> Poiret	IV (1-3)	850	P	S
8090	<i>Syzygium guineense</i> (Willd.) DC. subsp. <i>macrocarpum</i> (Engler) F. White	IV (1-3)	730	P	S
7721	<i>Lophira lanceolata</i> van Tieghem ex Reay	III (1-4)	840	P	S
1391	<i>Neocarya macrophylla</i> (Sabine) Prance	III (1-3)	630	P	S
7724	<i>Prosopis africana</i> (Guill. et Perr.) Tauber	III (1-2)	160	P	S
1694	<i>Parkia biglobosa</i> (Jacq.) Benth.	II (1-3)	320	P	S
7034	<i>Elaeis guineensis</i> Jacq.	II 51-2)	110	P	G
7717	<i>Lannea acida</i> A. Richard	II (1)	60	P	S
7806	<i>Andira inermis</i> (Wright) DC. subsp. <i>grandiflora</i> (Guill. et Perr.) Polhill	II(1)	50	P	S
1193	<i>Terminalia macroptera</i> Guill. et Perr.	II (1)	50	P	S
2462	<i>Acacia albida</i> Delile	I (2)	60	P	S
5619	<i>Bombax costatum</i> Pellegr. et Vuillet	I (1)	20	P	S
	Strate arbustive (1-5 m)				
7721	<i>Lophira lanceolata</i> van Tieghem ex Keay	V (+-4)	1940	P	S
8090	<i>Syzygium guineense</i> (Willd.) DC. subsp. <i>macrocarpum</i> (Engler) F. White	V (1-4)	1270	P	S
7724	<i>Prosopis africana</i> (Guill. et Perr.) Tauber	V (+-2)	230	P	S
1765	<i>Daniellia oliveri</i> (Rolfe) Hutch. et Dalz.	IV (1-3)	610	P	S
1694	<i>Parkia biglobosa</i> (Jacq.) Benth.	IV (+-2)	252	P	S
7722	<i>Lannea acida</i> A. Richard	IV (+-2)	190	P	S
1193	<i>Terminalia macroptera</i> Guill. et Perr.	III (+-2)	300	P	S
1391	<i>Neocarya macrophylla</i> (Sabine) Prance	III (+-2)	290	P	S
7806	<i>Andira inermis</i> (Wright) DC. subsp. <i>grandiflora</i> (Guill. et Perr.) Polhill	II (+-2)	120	P	S
1190	<i>Piliostigma thonningii</i> (Schumacher) Milne-Redhead	II (+-2)	90	P	S
7760	<i>Pterocarpus erinaceus</i> Poiret	II (+-1)	60	P	S
7766	<i>Detarium senegalense</i> J. F. Gmel.	II (1)	50	P	G
5619	<i>Bombax costatum</i> Pellegr. et Vuillet	I (+-2)	60	P	S
8017	<i>Ficus sycomorus</i> L. subsp. <i>gnaphalocarpa</i> (Miq.) C. C. Berg	I (1)	20	P	S
2462	<i>Acacia albida</i> Delile	I (+-1)	10	P	S
7034	<i>Elaeis guineensis</i> Jacq.	IV (+-2)	162	P	G
7768a	<i>Zanthoxylum zanthoxyloides</i> (Lam.) Waterman	III (+-3)	450	P	G
2053	<i>Albizia zygia</i> (DC.) J. F. Macbr.	II (+-1)	60	P	G
7732	<i>Dialium guineense</i> Willd.	II (+-1)	30	P	G
9096	<i>Parinari excelsa</i> Sabine	I (+-1)	30	P	G
9095	<i>Khaya senegalensis</i> (Desr.) A. Juss.	I (1)	20	P	S
9266	<i>Semanea dinklagei</i> (Harms) Keay	I (1)	10	P	S
7792	<i>Alchornea cordata</i> (Schumacher et Thonn.) Müller-Arg.	I (1)	10	P	G
	Arbustes				
1877	<i>Dichrostachys cinerea</i> (L.) Wight et Arn.	V (1-2)	1000	P	SS
7805	<i>Annona senegalensis</i> Pers. s.l.	IV (+-2)	720	P	S
7761	<i>Bridelia micrantha</i> (Hochst.) Baillon	III (+-2)	170	P	S

Tableau 3 (suite)

BR		P.	C.R.	F.B.	Chor.
1414	<i>Erythrina senegalensis</i> DC.	III (+-2)	150	P	S
7739	<i>Sarcocephalus latifolius</i> (Smith) Bruce	II (1)	70	P	S
7762	<i>Maytenus senegalensis</i> (Lam.) Exell	II (+-1)	12	P	S
8014	<i>Hymenocardia acida</i> Tul.	I (1-3)	170	P	S
9049	<i>Lannea velutina</i> A. Richard	I (1)	20	P	S
2924	<i>Gardenia ternifolia</i> Schumacher s.l.	I (+-1)	10	P	SS
3381	<i>Strychnos spinosa</i> Lam.	I (+-1)	10	P	S
7751	<i>Feretia apodanthera</i> Delile	I (+-1)	10	P	SS
9098	<i>Gardenia erubescens</i> Stapf et Hutch.	I (+)	1	P	S
4519	<i>Allophyllus cobbe</i> (L.) Raeusch	IV (+-2)	531	P	S
7804	<i>Uvaria chamae</i> Beauv.	II (1-2)	325	P	G
9065	<i>Psychotria</i> sp.	II (+-2)	110	P	G
8042	<i>Cnestis ferruginea</i> DC.	I (+-1)	20	P	G
9072	<i>Ficus sur</i> Forssk.	I (1)	20	P	S
9063	<i>Macrosphyra longistyla</i>	I (1)	10	P	G
7779	<i>Smeathmannia laevigata</i> Soland. ex r. Br. var. <i>laevigata</i>	I (+-1)	10	P	G
1303	<i>Hibiscus sterrulifolius</i> (Guill. et Perr.) Steudel	I (1)	10	P	G
7716	<i>Dalbergia boehmii</i> Tauber	I (+-1)	10	P	G
7744	<i>Pouchetia africana</i> A. Richard ex DC.	I (1)	10	P	G
4750	<i>Hoslundia opposita</i> Vahl	I (+)	1	P	G
9093	<i>Heteropteris leona</i> (Cav.) Exell	I (+)	1	P	G
	Lianes ligneuses				
7735	<i>Landolphia heudelotii</i> A. DC.	III (+-2)	250	Pl	S
9056	<i>Landolphia dulcis</i> (R. Br. ex Sabine) Pichon	II (1-3)	210	Pl	G
7729	<i>Saba senegalensis</i> (A. DC.) Pichon	II (1)	50	PL	S
4433	<i>Tetracera alnifolia</i> Willd.	I (1-2)	80	Pl	S
7752	<i>Strophanthus sarmentosus</i> DC.	I (1)	30	Pl	S
9074	<i>Telosma africanum</i> (N. E. Br.) Colville	I (1)	10	Pl	G
9062	<i>Carissa edulis</i> Vahl	I (1)	10	Pl	S
9071	<i>Leptadenia hastata</i> (Pers.) Decne	I (+)	1	PL	S
	Lianes herbacées				
7715	<i>Dioscorea lecardii</i> De Wild.	III (+-2)	162	Gl	S
4549	<i>Ampelocissus multistriata</i> (Baker) Planchon	III (+-2)	161	Gl	S
2703	<i>Smilax anceps</i> Willd.	III (+-1)	52	Gl?	S
4432	<i>Ipomoea mauritiana</i> Jacq.	III (+-1)	42	Gl	P
1179	<i>Cassytha filiformis</i> L.	II (+-1)	30	—	G
2228	<i>Cissampelos mucronata</i> A. Richard	II (+-1)	22	Cl	S
7048	<i>Abrus</i> sp. cf. <i>A. gorsei</i> Berhaut	I (1)	20	Cl	—
7741	<i>Tetracera potatoria</i> Afzel. ex G. Don	I (1)	10	Pl	G
9060	<i>Dioscorea hirtiflora</i> Benth.	I (+-1)	10	Gl	G
9079	<i>Passiflora foetida</i> L.	I (+)	1	Gl?	P

Symboles en tête des colonnes : v. Tableau I.

les drageons de *Lophira lanceolata* et de *Daniellia oliveri*. En quelques années, le groupement herbacé peut être remplacé par une forêt claire. Inversement, la destruction des boisements favorise l'extension de la végétation herbacée.

La forêt claire à *Lophira lanceolata* et *Syzygium guineense* est installée sur un substrat dépourvu d'horizons pédologiques différenciés sur une hauteur supérieure à 1 m, à partir de la surface. Il s'agit d'un sable dont la texture est précisée par deux analyses granulométriques (tableau 4). Trois prélèvements de sol, respectivement à -3 cm, à -15 cm et à -75 cm, mettent en évidence une grande déficience en ions échangeables et en matière organique, de plus en plus accusée du sommet du profil vers sa base. L'eau stagnait, au moment des prélèvements, vers -120 cm. L'analyse du sable superficiel de six des surfaces relevées, prélevé vers -5 cm, confirme l'appréciation d'extrême pauvreté du substrat ; en particulier, l'ion P est pratiquement absent du complexe adsorbant (tableau 4). L'oscillation du niveau supérieur de la nappe phréatique est probablement importante au cours de l'année. Elle se rapproche jusqu'à faible distance de la surface du sol vers la fin de la saison des pluies pour descendre fortement durant la saison sèche.

Le groupement forestier à *Lophira* et *Syzygium* noté à Kafountine-Abéné se retrouve ailleurs en Basse Casamance, toujours sur des sables peu évolués et mal drainés, notamment à Elinkine, à Enampor et à Djibonker. Une association, le *Lophiro-Syzygietum guineense*, peut être reconnue dans ce type de forêt claire. Elle est définie par le tableau 3 et par un relevé-type publié en annexe. Le syntaxon est caractérisé localement par les deux arbres qui donnent leur nom au groupement. La présence, notamment, de *Neocarya macrophylla* et de *Zanthoxylum zanthoxyloides* donne à l'association un caractère « littoral » que ne possèdent pas les forêts claires à *Daniellia oliveri* et *Pterocarpus erinaceus* situées à l'est de Ziguinchor (VANDEN BERGHEN 1984-85).

En de nombreux endroits, la forêt installée sur les sables des « Terrasses » a été détruite. Son existence passée est parfois attestée par la présence d'individus isolés de *Syzygium guineense*.

2.2.2. Les couloirs herbeux à *Schizachyrium exile* et *Vernonia perrottetii* (tableau 5).

Le tableau 5 globalise le contenu d'un tableau phytosociologique de 15 relevés, notés en septembre-novembre, sur des surfaces de 25 m². Il recense la végétation des larges couloirs herbeux insérés entre les boqueteaux à *Lophira* et *Syzygium*. Il convient d'ajouter à cet inventaire un géophyte qui fleurit au début de la saison des pluies, *Curculigo pilosa*, souvent présent dans le groupement avec un coefficient de quantité de 1 ou 2.

Le couvert végétal des couloirs herbeux est principalement constitué de thérophytes (67% des espèces non ligneuses recensées). La strate herbacée est haute de 0,5-1 m et recouvre 60 à 90%, en moyenne 80%, des surfaces inven-

Tableau 4

La forêt claire à *Lophira lanceolata* et *Syzygium guineense*

a. Analyse granulométrique de 2 échantillons prélevés vers -5 cm						
N° du relevé			82	799		
Couleur à l'état sec :			gris rosâtre	brun		
Granulométrie (%) :						
0-2 m μ			5,2	5,3		
2-20 m μ			3,9	2,9		
20-50 m μ			14,4	8,8		
50-200 m μ			76,5	83,03		
b. Analyse de 3 échantillons d'un profil, prélevés à différentes profondeurs (tr = traces)						
Profondeur			-3 cm	-15 cm	-75 cm	
pH H ₂ O			4,83	5,27	5,20	
pH KCl			4,40	4,53	4,46	
Matière organique (%) :			0,68	0,26	0,27	
Ions échangeables (mg/100 g) :						
K			2	tr	tr	
P			tr	tr	tr	
Mg			3	1	tr	
Ca			10	1	tr	
Na			tr	tr	tr	
c. Analyse de sols superficiels (-5 cm) (tr = traces)						
N° du relevé	998	999	1004	802	799	824
pH H ₂ O	5,4	6,01	4,70	5,7	5,7	6,2
pH KCl	4,64	5,31	4,32	4,5	4,4	5,2
Matière organique (%) :	2,56	1,71	0,96	2,14	2,49	1,2
N (%)	—	—	—	0,047	0,018	0,05
Ions échangeables (mg/100 g) :						
K	3	1	tr	2,1	3,2	2
P	tr	tr	tr	0	0	0
Mg	16	11	5	4	4	10,5
Ca	53	50	11	14	12	33,6
Na	2	tr	tr	7,5	16,6	1

La teneur en Na varie en fonction de l'époque du prélèvement de l'échantillon. Les nos 799 et 802 ont un taux en Na environ 10 fois supérieur au taux en Na des autres échantillons. Ces derniers ont été prélevés en octobre, à la fin de la saison des pluies ; les premiers, en juillet, au début de la saison des pluies. On peut présumer que le Na présent à la surface du sol y a été apporté sous forme de NaCl par la chute d'embruns. Durant la saison des pluies, le taux en Na diminue fortement par suite du lessivage du substrat.

Tableau 5

Couloirs herbeux à *Schizachyrium exile* et *Vernonia perrottetii*

BR		P.	C.R.	F.B.	Chor.
	Espèces ligneuses (plantules et jeunes individus)				
1765	<i>Daniellia oliveri</i> (Rolfe) Hutch. et Dalz.	III (+-1)	36	P	S
1193	<i>Terminalia macroptera</i> Guill. et Perr.	III (+-1)	20	P	S
1877	<i>Dichrostachys cinerea</i> (L.) Wight et Arn.	III (+)	4	P	SS
7721	<i>Lophira lanceolata</i> van Tieghem ex Keay	II (1)	50	P	S
8090	<i>Syzygium guineense</i> (Wild.) DC. subsp. <i>macrocarpum</i> (Engler) F. White	I (1)	16	P	S
1715	<i>Neocarya macrophylla</i> (Sabine) Prance	I (+)	1	P	S
7805	<i>Annona senegalensis</i> Pers. s.l.	I (+)	1	P	S
1694	<i>Parkia biglobosa</i> (Jacq.) Benth.	I (+)	1	P	S
7724	<i>Prosopis africana</i> (Guill. et Perr.) Tauber	I (+)	1	P	S
	Psammophytes herbacés				
8020b	<i>Schizachyrium exile</i> (Hochst.) Pilger	V (2-4)	4600	T	S
1312	<i>Vernonia perrottetii</i> Sch. Bip	V (+-3)	819	T	S
3696	<i>Kohautia grandiflora</i> DC.	V (+-2)	618	T	S
8043b	<i>Spermacoce radiata</i> (DC.) Sieb.	IV (+-1)	22	T	S
7984	<i>Loudetia hordeiformis</i> (Stapf) Hubbard	III (+-2)	268	T	S
9261	<i>Ctenium elegans</i> Kunth	III (+-2)	234	T	S
7985	<i>Hyperthelia dissoluta</i> (Steudel) W. D. Clayton	III (+-2)	68	H	S
1161	<i>Pandiaka involucrata</i> (Mog.) Hook. f.	III (+-1)	36	T	S
9278	<i>Stylosanthes erecta</i> Beauv.	III (+-1)	20	C	Gl
4868	<i>Merremia pinnata</i> (Hochst. ex Choisy) Hallier f.	II (+-1)	34	T	S
9279b	<i>Tephrosia platycarpa</i> Guill. et Perr.	II (+-1)	18	T	S
1811	<i>Kohautia senegalensis</i> Cham. et Schlecht.	II (+-1)	18	T	SS
2964	<i>Indigofera nummularifolia</i> (L.) Livera ex Alston	II (+-1)	18	T	S
9284	<i>Crotalaria macrocalyx</i> Benth.	II (+-1)	18	H	S
6350	<i>Zornia glochidiata</i> Reichenb. ex DC.	II (+)	2	T	S
9268	<i>Tephrosia linearis</i> (Willd.) Pers.	I (+-1)	17	T	S
7985	<i>Loudetia annua</i> (Stapf) Hubbard	I (+-1)	17	T	S
9271	<i>Phyllanthus pentandrous</i> Schumacher et Thonn.	I (1)	16	T	S
9283	<i>Monechma ciliatum</i> (Jacq.) Milne-Redhead	I (+)	1	T	S
9286c	<i>Polygala multiflora</i> Poirlet	I (+)	1	T	S
9286b	<i>Eragrostis pilosa</i> (L.) Beauv.	I (+)	1	T	P
7996b	<i>Eriosema glomeratum</i> (Guill. et Perr.) Hook. f.	I (+)	1	C	S
2164	<i>Merremia tridentata</i> (L.) Hallier f. subsp. <i>angustifolia</i> (Jacq.) van Ooststr.	I (+)	1	T	S
8045	<i>Diheteropogon amplexans</i> (Nees) W. D. Clayton var. <i>catangensis</i> (Chiov.) W. D. Clayton	I (+)	1	H	S
5979	<i>Bulbostylis hispidula</i> (Vahl) Haines subsp. <i>hispidula</i>	I (+)	1	T	S
7986	<i>Spermacoce bambusicola</i> (Berhaut) J. P. Lebrun et Stock	I (+)	1	T	S
	Hygrophytes				
7996a	<i>Desmodium hirtum</i> Guill. et Perr.	IV (+-4)	934	T	S
3326	<i>Cyperus margaritaceus</i> Vahl	IV (+-2)	137	H	S
8044	<i>Panicum fluviicola</i> Rendle	II (+-1)	18	H	S
9286b	<i>Fimbristylis pilosa</i> Vahl	I (1)	16	H	S
1410	<i>Crotalaria lathyroides</i> Guill. et Perr.	I (+)	1	C	S

Tableau 5 (suite)

BR		P.	C.R.	F.B.	Chor.
	Espèces subrudérales				
7982	<i>Triumfetta rhomboidea</i> Jacq.	V (+-2)	203	C	P
7995	<i>Sida linifolia</i> Juss. ex Cav.	IV (+-2)	186	C	P
3164	<i>Spermacoce stachydea</i> DC.	IV (+-2)	154	T	SS
1185	<i>Mitracarpus villosus</i> (Swartz) DC.	IV (+-1)	119	T	P
8043a	<i>Indigofera pulchra</i> Willd.	IV (+-1)	70	C	S
8021	<i>Eragrostis tremula</i> Hochst. ex Steudel	IV (+-1)	54	T	S
8041	<i>Panicum gracilicaule</i> Redle	III (+-3)	517	T	S
1387	<i>Perotis scabra</i> Willd. ex Trin.	II (+)	3	T	GI
7994	<i>Aspilia helianthoides</i> (Schumacher et Thonn.) Oliv. et Hiern s.l.	II (+)	2	T	S
2199	<i>Borreria verticillata</i> (L.) G. F. W. Mey.	II (+)	2	C	S
7997a	<i>Crotalaria goreensis</i> Guill. et Perr.	I (+)	1	H	S
9282a	<i>Schwenckia americana</i> L.	II (+)	2	C	P
4923	<i>Oldenlandia herbacea</i> (L.) Roxb.	I (+)	1	T	P
2975	<i>Cassia mimosoides</i> L.	I (+)	1	C	P

Symboles en tête des colonnes : v. Tableau I.

toriées. La graminée *Schizachyrium exile* est souvent dominante dans cette végétation basse et peu vigoureuse. Localement, *Cyperus margaritaceus*, *Curculigo pilosa* et surtout la composée annuelle *Vernonia perrottetii* sont probablement strictement liés au groupement. Celui-ci comprend parfois une mince strate algale, éventuellement fermée, de couleur pourpre, étalée sur le sable, constituée par les filaments enchevêtrés de la Cyanophycée *Porphyrosiphon notarisii* Kütz. ex Gomont (déterm. P. Compère).

Des espèces rudérales s'introduisent dans le groupement à *Schizachyrium* et *Vernonia* lorsque le pacage est relativement intensif. *Panicum gracilicaule* ou *Hyptis suaveolens* peuvent alors devenir très abondants et donner au groupement des faciès particuliers. Des espèces hygrophiles apparaissent dans les très légères dépressions du relief, où une mince lame d'eau reste éventuellement stagner durant quelques jours. Le cas échéant, si l'inondation est de plus longue durée, un groupement végétal distinct, à *Fuirena ciliata*, remplace le groupement à *Vernonia perrottetii*. On trouve parfois dans ces sites humides des diguettes ruinées, témoins de rizières abandonnées après l'invasion mandingue.

Nous savons que les couloirs herbeux sont facilement envahis par les arbres et arbustes du groupement à *Lophira* et *Syzygium* et que le couvert herbacé doit son maintien aux activités de l'homme.

On peut reconnaître dans la végétation des couloirs herbeux une association végétale relativement pauvre en espèces (de 12 à 24 taxons par relevé, en moyenne 18 taxons). Ce syntaxon bien individualisé, caractérisé notamment par *Vernonia perrottetii* et *Cyperus margaritaceus*, est souvent signalé par

l'abondance de *Schizachyrium exile* et par la présence, très apparente, de *Kohautia grandiflora*. Cette Association à *Vernonia perrottetii* (*Vernonietum perrottetii*) a été reconnue en de nombreuses localités de la Basse Casamance, toujours sur des sols sablonneux peu évolués. Un relevé-type du groupement est publié en annexe.

La physionomie du *Vernonietum perrottetii* est semblable à celle de la steppe à *Aristida sieberiana*, reconnue sur les sables des dunes littorales (VANDEN BERGHEN 1990). Les deux associations sont liées entre elles par de fortes affinités floristiques, mais celle des sables dunaires est strictement caractérisée par la graminée subsaharienne *Aristida sieberiana*. De plus, elle est différenciée par l'absence de *Vernonia perrottetii* et par la rareté de *Kohautia grandiflora*.

La partie supérieure du profil pédologique, sous le regroupement à *Vernonia perrottetii*, a une apparence uniforme sur au moins 80 cm de profondeur à partir de la surface. Le substrat est un sable gris pâle à l'état frais, parcouru par les racines des espèces ligneuses éventuellement présentes dans la parcelle étudiée ; les plantes annuelles, par contre, ont un enracinement superficiel et ne descendent que rarement à plus de 5 cm de profondeur. Les résultats de l'analyse de quatre échantillons de sable, prélevés à des niveaux différents d'un même profil, sans horizons identifiables sur le terrain, apparaissent dans le tableau 6. Celui-ci comprend également l'analyse de deux échantillons de sol superficiel, provenant de parcelles portant une végétation à *Vernonia perrottetii*. Toutes ces analyses mettent en évidence les principaux caractères du substrat : une réaction fortement acide, une grande pauvreté en matières organiques et en azote, un complexe adsorbant peu fourni, dépourvu de phosphore.

L'extrême pauvreté des sols ayant perdu leur couverture ligneuse est apparemment due, en ordre principal, au dérèglement de l'économie en eau après le déboisement et à l'apparition d'un microclimat excessif, agissant sur des sables mal tamponnés. Les activités des termites doivent peut-être aussi être prises en considération pour expliquer l'appauvrissement d'un substrat qui n'est plus régulièrement enrichi par la chute des feuilles de plantes ligneuses. En effet, ces insectes non seulement véhiculent des particules minérales depuis les profondeurs du sol jusqu'à la surface, mais il est également bien connu qu'ils transfèrent latéralement, de façon centripète, vers leurs constructions, des particules organiques d'origine végétale présentes à la surface du sol (TRAPNELL *et al.* 1976). L'analyse de deux échantillons de sable, recueillis le 22 octobre 1990, fournit un argument en faveur de cette hypothèse (tableau 7).

3. Conclusions

3.1. Le couvert végétal porté par les sables des «Terrasses» de la Basse Casamance présente encore actuellement, sur de grandes surfaces, un caractère

Tableau 6

Couloirs herbeux à *Schizachyrium exile*

a. Analyse de 4 échantillons d'un profil, prélevés à différentes profondeurs. Sable gris clair sur toute la hauteur du profil.				
Profondeur	— 3 cm	— 10 cm	— 30 cm	— 70 cm
pH H ₂ O	4,50	4,78	4,84	4,82
pH KCl	4,35	4,20	4,31	4,23
Matière organique (%) :	0,48	0,60	0,27	0,34
Ions échangeables (mg/100 g) :				
K	tr	tr	tr	tr
P	tr	tr	tr	tr
Mg	2	1	tr	tr
Ca	6	2	tr	tr
Na	tr	tr	2	tr
b. Analyse de sols superficiels (-5 cm)				
N° du relevé	826		1027	
pH H ₂ O	5,9		5,75	
pH KCl	4,8		4,82	
Matière organique (%) :	0,5		0,46	
N (%) :	0,02		—	
Ions échangeables (mg/100 g) :				
K	2		tr	
P	0		tr	
Mg	2,9		2	
Ca	19,4		6	
Na	0,9		2	

Tableau 7

Effet «termitière»

Analyse de deux échantillons de sol prélevés à -5 cm, à 8 m l'un de l'autre (tr = traces)		
	Couloir herbeux	Base d'une termitière
pH H ₂ O	5,42	5,80
pH KCl	4,48	5,15
Matière organique (%) :	2,02	1,93
Ions échangeables (mg/100 g) :		
K	tr	2
P	tr	tr
Mg	2	16
Ca	7	34
Na	tr	tr

semi-naturel. Ce couvert a été modelé par les activités traditionnelles des paysans diolas, poursuivies durant des siècles : la culture itinérante du riz de montagne, la collecte du vin de palme, le pâturage extensif, la coupe du bois...

3.2. Le tableau 8 présente de façon synthétique les résultats de l'analyse chimique d'échantillons du sol superficiel. Il montre de façon nette qu'il y a une relation entre la qualité du substrat et l'utilisation qui en est faite.

Tableau 8

Valeurs extrêmes et valeur moyenne des paramètres édaphiques mesurés chez des échantillons de sol prélevés à -5 cm

	Taillis	Forêt claire	Couloir herbeux
Nombre d'échant. analysés	3	7	4
pH H ₂ O	(5,5) 5,93 (6,4)	(4,7) 5,50 (6,2)	(4,50) 5,39 (5,90)
pH KCl	(4,5) 4,99 (5,8)	(4,32) 4,68 (5,31)	(4,35) 4,61 (4,82)
Matière organique totale (%) :	(2,8) 4,88 (7,95)	(0,68) 1,67 (2,56)	(0,46) 0,86 (2,02)
N (%) :	(0,04) 0,06 (0,1)	(0,018) 0,038 (0,05)	— 0,02 —
Ions échangeables (mg/100 g) :			
K	(3,4) 4,36 (5,3)	(0) 1,9 (3,2)	(tr.) 0,5 (2)
P	(0) 0,06 (0,2)	(0) 0 (tr.)	(0) 0 (tr.)
Mg	(8) 12,9 (17,6)	(3) 7,64 (16)	(2) 2,42 (2,9)
Ca	(30) 55,86 (87,6)	(10) 25,8 (53)	(6) 9,6 (19,4)
Na	(1,3) 12,16 (17,6)	(tr.) 3,87 (16,6)	(tr.) 0,72 (2)

tr. = traces.

3.3. Le sol des couloirs herbeux à *Vernonia perrottetii* est plus acide et moins bien pourvu en ions échangeables que le sol qui porte une forêt claire à *Lophira lanceolata* et *Syzygium guineense*, alors que ces deux groupements sont en étroite relation syngénétique. Le phénomène dépend certainement des modifications apportées au microclimat et à l'économie en eau par la destruction de la forêt ou, au contraire, par sa régénération. Pour expliquer les différences de qualité du substrat, il convient peut-être aussi d'attribuer un rôle actif aux termites qui déplacent des quantités considérables de particules de matière minérale et organique.

3.4. En comparant entre eux les spectres chorologiques des trois syntaxons décrits dans ce travail (tableau 9), on constate que l'élément subguinéen joue un rôle important dans le taillis à *Malacantha* et *Zanthoxylum* ; de plus, nous savons que les espèces soudaniennes présentes dans l'association s'y sont apparemment introduites à la faveur des défrichements ; c'est le cas, avec certitude, pour *Piliostigma thonningii* et *Parkia biglobosa*, fréquemment représentés par de jeunes individus et non par des cépées.

Tableau 9

Spectres chorologiques, pondérés par le coefficient de recouvrement, des espèces recensées dans les trois tableaux phytosociologiques

	G	S	SS	P
Taillis à <i>Malacantha alnifolia</i> et <i>Zanthoxylum zanthoxyloides</i>	53,2%	45,4%	0,9%	0,7%
Forêt claire à <i>Lophira lanceolata</i> et <i>Syzygium guineense</i>	10,5%	82,8%	6,4%	0,3%
Couloirs herbeux à <i>Vernonia perrottetii</i>	0,3%	92,4%	1,8%	5,5%

Dans la forêt claire à *Lophira* et *Syzygium*, ainsi que dans les couloirs herbeux à *Vernonia perrottetii*, la prépondérance absolue revient au groupe des espèces subsoudaniennes, mais l'élément subguinéen est encore présent dans les fragments forestiers les mieux conservés.

3.5. Nous venons de voir qu'il y a une relation, directement proportionnelle, entre la qualité actuelle du sol et l'importance de l'élément subguinéen dans le couvert végétal. Cette constatation nous autorise à formuler une hypothèse. La végétation primitive, n'ayant pas subi l'impact des activités de l'homme, était très probablement de nature forestière sur toute l'étendue de la Terrasse. La physionomie et la composition de cette forêt n'étaient pourtant pas uniformes. Un couvert dense, dans lequel l'élément subguinéen était prépondérant, occupait les sols de bonne qualité. Une forêt moins dense, mais encore fermée et riche en espèces subguinéennes, était installée sur les sables moins favorables à la vie végétale. Ces forêts subguinéennes, à *Parinari excelsa*, situées à la limite septentrionale de leur aire, devaient présenter une certaine fragilité. Attaquées par l'homme, elles ont été envahies par des espèces subsoudaniennes, d'un tempérament plus frugal, et donc agressives. La dégradation a été particulièrement forte sur les substrats de moins bonne qualité. L'altération du couvert forestier a eu comme corollaire une modification des caractères du sol. En effet, l'irruption de la lumière provoque l'accélération de la minéralisation des matières organiques ; la diminution de la biomasse ligneuse favorise des oscillations désordonnées de la surface supérieure de la nappe phréatique. La forêt dense est remplacée par une forêt claire dans laquelle l'élément subguinéen a pratiquement disparu. Le terme de la dégradation est un couvert herbacé en grande partie constitué d'espèces annuelles.

Il n'est pas certain que cette évolution régressive de la végétation ait été favorisée par une modification importante du climat général. Les activités de l'homme, à notre avis, suffisent à l'expliquer. Nous avons même l'impression que le processus est réversible. L'apparition spontanée de jeunes pieds d'espèces de la forêt dense (nous pensons à *Parinari excelsa*), plaide en faveur de cette opinion.

3.6. La fig. 3 illustre une tentative de reconstitution de la végétation climacique. Les dunes littorales portent une forêt basse à *Detarium senegalense* et *Neocarya macrophylla* précédée, du côté de l'océan, d'un fourré pionnier à *Chrysobalanus icaco* et par une végétation herbacée héliophile (VANDEN BERGHEM 1990). Les dépressions sont occupées par la mangrove et bordées par un fourré à *Dalbergia ecastaphyllum* et *Phoenix reclinata*. Les sables de la «Terrasse» sont le domaine d'une forêt subguinéenne à *Parinari excelsa*, très dense sur la pente exposée à l'ouest, moins dense sur les sols mal drainés.

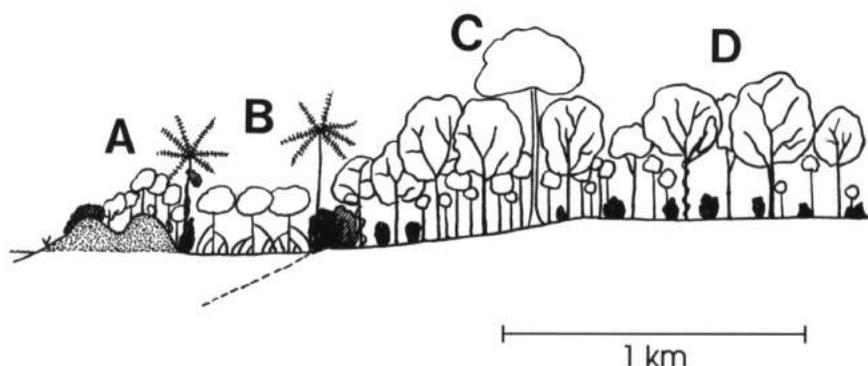


FIG. 3. — Représentation schématique — et hypothétique — de la végétation climacique le long d'un transect perpendiculaire au littoral, dans le territoire étudié. À comparer avec la fig. 1 qui donne une image du couvert végétal actuel. — A et B : Végétation des dunes et des dépressions : groupements herbacés héliophiles du sommet de la plage, fourré littoral à *Chrysobalanus icaco*, forêt basse à *Detarium senegalense* et *Neocarya macrophylla*, fourrés à *Dalbergia ecastaphyllum* et *Phoenix reclinata* bordant une dépression occupée par une mangrove. — C : Forêt dense à *Parinari excelsa* sur les sols bien drainés de la Terrasse. — D : Variante de cette forêt sur des sols soumis à des engorgements temporaires.

REMERCIEMENTS

Nous sommes reconnaissant au Fonds Léopold III pour l'obtention d'une subvention qui nous a permis d'achever ce travail.

Les analyses pédologiques ont été effectuées au Laboratoire d'Écologie des Prairies, à l'Université Catholique de Louvain (Prof. J. Lambert). Nous remercions vivement M. A. Peeters et ses collaborateurs pour leur grande amabilité.

La Cyanophycée formant la strate algale des couloirs herbeux a été déterminée par M. P. Compère, au Jardin botanique national de Belgique. Nous le remercions vivement.

ANNEXE

Relevés-types des trois syntaxons définis dans cette étude

1. VARIANTE À *Pterocarpus erinaceus* DU TAILLIS À *Malacantha alnifolia* ET *Zanthoxylum zanthoxyloides* (*Malacantho-Zanthoxyletum zanthoxyloidis Pterocarpetosum*).

Relevé 834, noté à Abéné (Basse Casamance), le 4 novembre 1987, sur une surface de 400 m² environ. Pente douce (1-2%) exposée à l'W, à 2 km de l'océan Atlantique. Taillis de 4 ans sous un couvert de palmiers à huile. Nombre d'espèces recensées : 42. Un échantillon du sol superficiel a été prélevé et a été analysé (tableau 2).

Strate arborescente. Recouvrement : 40%. Hauteur : 10-15 m. — *Elaeis guineensis* Jacq. : 3, *Parkia biglobosa* (Jacq.) Benth. : 1.

Strate arbustive. Recouvrement : 95%. Hauteur : 2-3 m.

— Rejets de souche de grands arbres et arbres jeunes. — *Malacantha alnifolia* (Baker) Pierre : 2, *Zanthoxylum zanthoxyloides* (Lam.) Waterman : 2, *Semanea dinklagei* (Harms) Keay : 2, *Elaeis guineensis* Jacq. : 2, *Parinari excelsa* Sabine : 2, *Albizia zygia* (DC.) J. F. Macbr. : 2, *Ficus sur* Forssk. : 1, *Dialium guineense* Willd. : 1, *Parkia biglobosa* (Jacq.) Benth. : 1, *Pterocarpus erinaceus* Poir. : 1, *Piliostigma thonningii* (Schum.) Milne-Redhead : 1, *Dalbergia boehmii* Tauber : 1, *Lophira lanceolata* van Tieghem ex Keay : 1, *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss. : 1, *Lannea velutina* A. Richard : 1, *Alchornea cordifolia* (Schumacher et Thonn.) Müller-Arg. : (1).

— Arbustes. — *Allophylus cobbe* (L.) Raeusch. : 2, *Uvaria chamae* Beauv. : 2, *Cnestis ferruginea* DC. : 3, *Annona senegalensis* Pers. s.l. : 1, *Dichrostachys cinerea* (L.) Wight et Arn. : 1, *Hibiscus sterculiifolius* (Guill. et Perr.) Steudel : 1, *Indigofera macrophylla* Schum. : 1, *Psychotria* sp. cf. *P. peduncularis* (Salisb.) Stegerm. : 1, *Smeathmannia laevigata* Soland. ex R. Br. var. *laevigata* : 1, *Trema orientalis* (L.) Blume : +.

— Rejets de lianes ligneuses. — *Saba senegalensis* (A. DC.) Pichon : 2, *Landolphia heudelotii* A. DC. : 2, *Tetracera alnifolia* Willd. : 2, *Landolphia dulcis* (R. Br. ex Sabine) Pichon s.l. : 1.

— Plantes lianeuses. — *Dioscorea lecardii* De Wild. : 2, *Ampelocissus multistriata* (Baker) Planchon : 1, *Dioscorea hirtiflora* Benth. : 1, *Smilax anceps* Willd. : 1, *Cissampelos mucronata* A. Richard : 1, *Cassytha filiformis* L. : 1, *Ipomoea mauritiana* Jacq. : 1, *Abrus* sp. cf. *A. gorsei* Berhaut : 1, *Tetracera potataria* Afzel. ex G. Don : 1, *Hibiscus surattensis* L. : +, *Diodia scandens* Swartz : +.

Strate herbacée. Recouvrement presque nul. — *Desmodium velutinum* (Willd.) DC. : +.

2. ASSOCIATION À *Lophira lanceolata* ET *Syzygium guineense* (*Lophiro-Syzygietum guineensis*).

Relevé 1004, noté entre Abéné et la frontière gambienne, le 21 octobre 1990, sur une surface plane de 200 m² environ, dans une forêt claire. Nombre d'espèces recensées : 30. Un échantillon du sol superficiel a été analysé (tableau 4).

Strate arborescente. Recouvrement : 60%. Hauteur : 8-12 m. — *Daniellia oliveri* (Rolfé) Hutch. et Dalz. : 3, *Lophira lanceolata* van Tieghem ex Keay : 1, *Syzygium*

guineense (Willd.) DC. subsp. *macrocarpum* (Engler) F. White : 1, *Elaeis guineensis* Jacq. : 1, *Prosopis africana* (Guill. et Perr.) Tauber : 1, *Pterocarpus erinaceus* Poiret : 1.

Strate arbustive. Recouvrement : 90%. Hauteur : 1-5 m.

— Jeunes arbres et rejets de souche. — *Lophira lanceolata* van Tieghem ex Keay : 2, *Syzygium guineense* (Willd.) DC. subsp. *macrocarpum* (Engler) F. White : 2, *Parkia biglobosa* (Jacq.) Benth. : 1, *Terminalia macrophylla* (Sabine) Prance : 1, *Pterocarpus erinaceus* Poiret : 1, *Andira inermis* (Wright) DC. subsp. *grandiflora* (Guill. et Perr.) Polhill : 1, *Bombax costatum* Pellegr. et Vuillet : 1, *Neocarya macrophylla* (Sabine) Prance : 1, *Prosopis africana* (Guill. et Perr.) Tauber : 1, *Lannea acida* A. Richard : 1, *Elaeis guineensis* Jacq. : 1, *Albizia zygia* (DC.) J. F. Macbr. : 1, *Dialium guineense* Willd. : 1, *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss. : 1.

— Arbustes. — *Annona senegalensis* Pers. s.l. : 2, *Dichrostachys cinerea* (L.) Wight et Arn. : 2, *Allophylus cobbe* (L.) Raeusch : 2, *Bridelia micrantha* (Hochst.) Baillon : 1, *Psychotria* sp. : 1, *Zanthoxylum zanthoxyloides* (Lam.) Waterman : 1, *Sarcocephalus latifolius* (Smith) Bruce : 1, *Uvaria chamae* Beauv. : 1.

— Liane ligneuse. — *Landolphia heudelotii* A. DC. : 2.

— Plantes lianeuses. — *Cissampelos mucronata* A. Richard : 1, *Dioscorea lecardii* De Wild. : +.

Strate herbacée. Recouvrement : 10%. — *Aframomum alboviolaceum* (Ridley) K. Schum. : 2, *Cissus rufescens* Guill. et Perr. : 1, *Lophira lanceola* van Tieghem ex Keay : 1 (plantules), *Tacca leontopetaloides* (L.) O. Kuntze : +, *Stylochiton hypogaeus* Leprieur : 1.

3. ASSOCIATION À *Vernonia perrottetii* (*Vernonietum perrottetii*).

Relevé 1037, noté entre Abéné et Niéfanrang, le 6 novembre 1990, sur une surface de 25 m², dans un couloir herbeux large de 20 m environ, entre des fragments de forêts claires à *Lophira lanceolata* et *Syzygium guineense*. Nombre d'espèces recensées : 21. Recouvrement : 80%. Hauteur : 40-100 cm ; il n'y a pas de strate ligneuse.

Plantules d'espèces ligneuses. — *Dichrostachys cinerea* (L.) Wight et Arn. : +, *Terminalia macroptera* Guill. et Perr. : +, *Daniellia oliveri* (Rolfe) Hutch. et Dalz. : +.

Psammophytes. — *Schizachyrium exile* (Hochst.) Pilger : 4, *Kohautia grandiflora* DC. : 1, *Spermacoce radiata* (DC.) Sieb. : 1, *Stylosanthes erecta* Beauv. : 1, *Vernonia perrottetii* Sch. Bip. : +, *Merremia pinnata* (Hochst. ex Choisy) Hallier f. : +, *Polygala multiflora* Poiret : +, *Bulbostylis hispidula* (Vahl) Haines subsp. *hispidula* : +, *Zornia glochidiata* Reichenb. ex DC. : +.

Hygrophytes. — *Desmodium hirtum* Guill. et Perr. : 3, *Cyperus margaritaceus* Vahl : 1, *Eragrostis pilosa* (L.) Beauv. : 1, *Fimbristylis pilosa* : Vahl : +.

Espèces subrudérales. — *Schwenckia americana* L. : +, *Triumfetta rhomboidea* Jacq. : +, *Spermacoce stachydea* DC. : +, *Spermacoce verticillata* (L.) G. F. W. Mey : +, *Mitracarpus villosus* (Swartz) DC. : +.

BIBLIOGRAPHIE

- BRAUN-BLANQUET, J. 1964. Pflanzensoziologie. — Wien, New York, éd. 3, 865 pp.
DOUMBIA, F. 1966. Étude des forêts de la Basse Casamance au sud de Ziguinchor.
— *Ann. Fac. Sci. Dakar*, 19 : 61-100.

- GEERLING, C. 1982. Guide de terrain des ligneux sahéliens et soudano-guinéens. — *Med. Landbouwhogeschool Wageningen*, **82** (3) : 1-340.
- HOPKINS, H. C. & WHITE, F. 1984. *Parkia biglobosa* (Jacq.) R. Br. ex G. Don (1830). — *In* : Distributions plantarum africanarum. Jardin botanique national de Belgique, Meise, **27**, carte 895.
- LEBRUN, J. 1962. Le «couloir littoral» atlantique, voie de pénétration de la flore sèche en Afrique guinéenne. — *Bull. Séanc. Acad. r. Sci. Outre-Mer*, nouv. sér., **8** : 719-735.
- LEBRUN, J.-P. 1973. Énumération des plantes vasculaires du Sénégal. — *Étude botanique*, Institut d'Élevage et de Médecine vétérinaire des Pays tropicaux, Maisons-Alfort, **2**, 209 pp.
- MIÈGE, J., HAINARD, P. & TCHÉRÉMISSINOFF, G. 1976. Aperçu phytogéographique sur la Basse Casamance. — *Boissiera*, **24** : 461-471.
- PÉLISSIER, P. 1966. Les paysans du Sénégal. Les civilisations agraires du Cayor à la Casamance. — Saint-Yrieix, 939 pp.
- SAOS, J. L., LE BOUTELLIER, C. & DIOP, E. S. 1988. Aspects géologiques et géomorphologiques de la Casamance. — *Rev. Hydrobiol. trop.*, **20** (1987-3/4) : 219-232.
- TRAPNELL, C. G., FRIEND, M. T., CHAMBERLAIN, G. T. & BIRCH, H. F. 1976. The effects of fire and termites on a Zambian woodland soil. — *Journ. Ecol.*, **64** (2) : 577-588.
- VANDEN BERGHEN, C. 1979. La végétation des sables maritimes de la Basse Casamance méridionale (Sénégal). — *Bull. Jard. bot. nat. Belg.*, **49** (3-4) : 185-238.
- VANDEN BERGHEN, C. 1982a. Observations sur la végétation littorale à Kafoutine (Basse Casamance, Sénégal). — *Bull. Soc. r. Bot. Belg.*, **115** : 107-120.
- VANDEN BERGHEN, C. 1982b. Initiation à l'étude de la végétation. — Jardin botanique national de Belgique, Meise, 3^e éd., 263 pp.
- VANDEN BERGHEN, C. 1982c. Le taillis à *Malacantha alnifolia* et *Zanthoxylum zanthoxyloides* du plateau de Cabrousse-Diembéréng, en Basse Casamance (Sénégal méridional). — *Bull. Jard. bot. nat. Belg.*, **52** : 249-264.
- VANDEN BERGHEN, C. 1984-85. Observations sur la végétation du massif forestier des Kalounayes (Casamance, Sénégal méridional). — *Bull. Soc. r. Bot. Belg.*, **117** : 359-381 et **118** : 3-11.
- VANDEN BERGHEN, C. 1990. La végétation des sables maritimes de la Casamance (Sénégal méridional). — *Lejeunia*, nouv. sér., **133** : 1-84.
- VIELLEFON, J. 1975. Carte pédologique du Sénégal. Zones alluviales de Basse-Casamance, domaine fluvio-marin (1/100 000). Notice explicative n° 37. — O.R.S.T.O.M., Dakar, 59 pp.
- WHITE, F. 1976. *Parinari excelsa* Sabine (1824). — *In* : Distributions plantarum africanarum. Jardin botanique national de Belgique, Meise, **10**, carte 334.
- WHITE, F. 1986. La végétation de l'Afrique. Mémoire accompagnant la carte de la végétation de l'Afrique. — Paris, 384 pp.

CLASSE DES SCIENCES TECHNIQUES

**KLASSE VOOR
TECHNISCHE WETENSCHAPPEN**

Séance du 26 avril 1991

(Extrait du procès-verbal)

La séance est ouverte à 14 h 30 par le directeur, M. F. Suykens, assisté de M. J.-J. Symoens, secrétaire perpétuel.

Sont en outre présents : MM. E. Cuypers, H. Deelstra, I. de Magnée, P. Fierens, Mgr L. Gillon, MM. A. Jaumotte, A. Lederer, R. Sokal, R. Thonnard, R. Tillé, J. Van Leeuw, R. Wambacq, membres titulaires ; MM. J. Debevere, A. François, W. Loy, J.-J. Peters, U. Van Twembeke, membres associés.

Absents et excusés : MM. E. Aernoudt, P. Beckers, F. Bultot, J. Charlier, J. De Cuyper, M. De Boodt, P. De Meester, A. Deruyttere, J.-J. Droesbeke, P. Evrard, G. Froment, P. Goossens, G. Heylbroeck, J. Lamoen, L. Martens, J. Michot, A. Monjoie, A. Prigogine, M. Snel ; M. R. Vanbreuseghem, secrétaire perpétuel honoraire.

Sciences et technologie en Afrique (Histoire, Leçons et Perspectives)

Mgr L. Gillon présente un travail de 259 pp. de M. Malu wa Kalenga, membre correspondant, intitulé comme ci-dessus.

Le Secrétaire perpétuel remercie Mgr L. Gillon d'avoir bien voulu accepter de présenter cet important travail.

MM. J.-J. Symoens, R. Sokal, A. Jaumotte, E. Cuypers, P. Fierens et H. Deelstra interviennent dans la discussion.

La Classe décide la publication de ce travail dans la collection des Mémoires in-8°.

Distinctions honorifiques

Par arrêté royal du 18 janvier 1991, les distinctions honorifiques suivantes ont été décernées :

à M. E. Cuypers : grand officier de l'Ordre de la Couronne ;

à M. H. Deelstra : commandeur de l'Ordre de Léopold ;

à M. R. Paepe : commandeur de l'Ordre de Léopold.

Appui à l'Afrique

M. P. Fierens exprime ses craintes que l'intérêt du monde occidental pour l'Afrique et pour la coopération avec ce continent ne s'affaiblisse au profit des pays de l'Est ou d'autres régions suscitant l'attention du moment.

Zitting van 26 april 1991

(Uittreksel van de notulen)

De zitting wordt geopend te 14 h 30 door de directeur, de H. F. Suykens, bijgestaan door de H. J.-J. Symoens, vast secretaris.

Zijn bovendien aanwezig : De HH. E. Cuypers, H. Deelstra, I. de Magnée, P. Fierens, Mgr. L. Gillon, de HH. A. Jaumotte, A. Lederer, R. Sokal, R. Thonnard, R. Tillé, J. Van Leeuw, R. Wambacq, werkende leden ; de HH. J. Debevere, A. François, W. Loy, J.-J. Peters, U. Van Twembeke, geassocieerde leden.

Afwezig en verontschuldigd : De HH. E. Aernoudt, P. Beckers, F. Bultot, J. Charlier, J. De Cuyper, M. De Boodt, P. De Meester, A. Deruyttere, J.-J. Droesbeke, P. Evrard, G. Froment, P. Goossens, G. Heylbroeck, J. Lamoen, L. Martens, J. Michot, A. Monjoie, A. Prigogine, M. Snel ; de H. R. Vanbreuseghem, erevast secretaris.

«Science et technologie en Afrique (Histoire, Leçons et Perspectives)»

Mgr. L. Gillon stelt een werk voor van 259 pp. van de H. Malu wa Kalenga, corresponderend lid, getiteld als hierboven.

De Vaste Secretaris dankt Mgr. Gillon omdat hij aanvaardde dit belangrijk werk voor te stellen.

De HH. J.-J. Symoens, R. Sokal, A. Jaumotte, E. Cuypers, P. Fierens en H. Deelstra komen tussen in de bespreking.

De Klasse besluit dit werk te publiceren in de Verhandelingenreeks in-8°.

Eervolle onderscheidingen

Bij koninklijk besluit van 18 januari 1991 werden de volgende eervolle onderscheidingen toegekend :

- aan de H. E. Cuypers : grootofficier in de Kroonorde ;
- aan de H. H. Deelstra : commandeur in de Leopoldsorde ;
- aan de H. R. Paepe : commandeur in de Leopoldsorde.

Steun aan Afrika

De H. P. Fierens vreest dat de interesse van de Westerse wereld voor Afrika en voor de ontwikkelingssamenwerking met dat werelddeel zou verzwakken ten voordele van de Oosteuropese landen of andere gebieden die op het ogenblik de aandacht trekken.

Il souhaite que parte de l'Académie, par des moyens à définir, une action, si possible internationale, en vue de redonner à l'Afrique la place qu'il estime lui revenir dans les préoccupations du public et des autorités.

Certains membres estiment cependant qu'il ne convient pas de fonder son jugement dans ce domaine sur l'impression que cause en Belgique la suspension de la coopération officielle avec le Zaïre.

M. A. Jaumotte fait remarquer que, malgré cette suspension, l'effort de l'AGCD en Afrique, dans le cadre de l'APEFE, n'a pas été réduit, mais augmenté. L'APEFE a pour objectif de coopérer à l'étude, l'organisation et le développement de tous les programmes d'enseignement, d'éducation et de formation dans les pays étrangers. Elle comportait, au 31 décembre 1990, 366 formateurs, porte-parole et représentants permanents en poste dans 23 pays et œuvrant dans les domaines de l'enseignement, de la santé, de l'agriculture, de l'élevage, de l'habitat, de la gestion et du développement économique. L'APEFE contribue ainsi tant au développement dans le monde qu'au rayonnement de la francophonie. Ainsi, pour la seule Afrique noire, les comptes 1989, 1990 et le budget 1991 à charges de l'AGCD se ventilent comme suit (en F belges) :

<i>AGCD</i>	<i>Exercice 1989</i>	<i>Exercice 1990</i>	<i>Budget 1991</i>
Bénin	—	—	680 000
Burundi	22 428 177	23 707 995	36 710 000
Cameroun	7 699 105	3 613 479	3 080 000
Gabon	21 234 045	19 465 924	22 235 000
Niger	1 106 821	3 243 174	4 635 000
Rwanda	18 878 369	29 069 520	37 215 000
Sénégal	32 825 036	35 878 189	50 400 000
Togo	465 534	1 348 631	1 092 000
Zaïre	6 823 748	9 855 165	—
Total	111 460 835	126 182 077	156 047 000

On constate donc que l'aide à l'Afrique noire a été accrue et non diminuée. Il y a eu des déplacements budgétaires dont les principaux bénéficiaires ont été le Rwanda, le Burundi et le Sénégal.

M. Jaumotte fait encore remarquer qu'une autre action, celle du CEMUBAC, a pu être poursuivie au Zaïre même, dans le cadre de contrats avec des organismes internationaux dont le principal est la C.C.E. Le CEMUBAC a reçu du Ministre zaïrois du Plan une reconnaissance comme ONG, reconnaissance lui permettant de poursuivre son œuvre qui est essentiellement au profit direct des populations. De nouveaux contrats donnent les moyens d'amplifier l'action et de toucher de nouveaux domaines en 1991. Le travail

Hij wenst dat van de Academie een actie zou uitgaan, met nog te definiëren middelen, en zo mogelijk internationaal gericht, om aan Afrika de plaats terug te geven waarop hij meent dat het recht heeft in de bekommernissen van het publiek en de overheid.

Bepaalde leden menen echter dat men op dit vlak niet mag oordelen op basis van de indruk die in België het opschorten van de officiële samenwerking met Zaïre maakt.

De H. A. Jaumotte merkt op dat, ondanks deze opschorting, de inspanning van het ABOS in Afrika in het kader van de APEFE niet verminderd, maar integendeel vermeerderd werd. De APEFE heeft tot doel mee te werken aan de studie, de organisatie en de ontwikkeling van alle programma's voor onderwijs, opvoeding en opleiding in het buitenland. Op 31 december 1990 bestond zij uit 366 formateurs, woordvoerders en vaste vertegenwoordigers die in 23 landen werken en actief zijn op het gebied van onderwijs, gezondheid, landbouw, veeteelt, woonst, beheer en economische ontwikkeling. Zo draagt de APEFE zowel bij tot de ontwikkeling in de wereld als tot de uitstraling van de francophonie. Voor Zwart Afrika alleen bijvoorbeeld, worden de rekeningen voor 1989, 1990 en de begroting voor 1991 ten koste van het ABOS als volgt verdeeld (in Belgische frank) :

<i>ABOS</i>	<i>Boekjaar 1989</i>	<i>Boekjaar 1990</i>	<i>Begroting 1991</i>
Benin	—	—	680 000
Burundi	22 428 177	23 707 995	36 710 000
Kameroen	7 699 105	3 613 479	3 080 000
Gabon	21 234 045	19 465 924	22 235 000
Niger	1 106 821	3 243 174	4 635 000
Rwanda	18 878 369	29 069 520	37 215 000
Senegal	32 825 036	35 878 189	50 400 000
Togo	465 534	1 348 631	1 092 000
Zaïre	6 823 748	9 855 165	—
Totaal	111 460 835	126 182 077	156 047 000

Men stelt aldus vast dat de steun aan Zwart Afrika vermeerderd en niet verminderd is. Er hebben budgettaire verschuivingen plaatsgevonden, die vooral ten gunste van Rwanda, Burundi en Senegal uitvielen.

De H. Jaumotte merkt bovendien op dat een andere actie, die van het CEMUBAC, in Zaïre zelf kon voortgezet worden, in het kader van contracten met internationale organisaties, waarvan de voornaamste de CEG is. Het CEMUBAC heeft van de Zaïrese Minister van het Plan een erkenning als NGO gekregen, wat het toelaat zijn werk verder te zetten, dat voornamelijk van onmiddellijk belang is voor de bevolking. Nieuwe contracten maken het mogelijk de actie uit te breiden en nieuwe domeinen te bereiken in 1991.

effectué a été l'objet d'une appréciation élogieuse, notamment de la Banque Mondiale.

Après délibération, la Classe propose la création d'un groupe de réflexion pour étudier les moyens de concrétiser éventuellement l'idée de M. Fierens. MM. P. Fierens, R. Sokal et W. Loy expriment en séance le désir d'en faire partie, et les autres membres éventuellement intéressés seront priés d'en informer le secrétariat.

Les deux autres Classes de l'Académie seront informées de cette proposition et leurs membres invités à s'associer au groupe de réflexion envisagé.

Symposium «Indicateurs biologiques des changements globaux»

À l'initiative du Comité national des Sciences biologiques, les Sociétés royales de Botanique, d'Entomologie et de Zoologie de Belgique organiseront à l'occasion de la Journée mondiale de l'Environnement, en 1992, un symposium sur le thème «Indicateurs biologiques (taxons - communautés - écosystèmes) des changements globaux». En raison des importants aspects des changements globaux dans les régions tropicales (déboisement, désertification, acidification), l'Académie royale des Sciences d'Outre-Mer a décidé de s'associer à l'organisation de cette réunion.

Les membres de la Classe désireux de prendre une part active à la préparation de ce Symposium ou à son programme sont priés d'en informer le secrétariat de l'Académie.

La séance est levée à 15 h 45.
Elle est suivie d'un Comité secret.

Het voldane werk werd bijzonder lovend beoordeeld, onder andere door de Wereldbank.

Na deliberatie besluit de Klasse een denkgroep op te richten om de middelen te onderzoeken om het idee van de H. Fierens eventueel te verwezenlijken. De HH. P. Fierens, R. Sokal en W. Loy drukken tijdens de zitting hun wens uit eraan deel te nemen en de andere leden die eventueel geïnteresseerd zijn worden verzocht dit aan het secretariaat mee te delen.

De twee andere Klassen van de Academie zullen van dit voorstel op de hoogte gebracht worden en aan hun leden zal gevraagd worden zich bij de voorziene denkgroep te voegen.

Symposium «Biologische indicatoren van de global change»

Op initiatief van het Nationaal Comité voor Biologische Wetenschappen zullen de Koninklijke Verenigingen voor Plantkunde, Entomologie en Zoölogie van België in 1992 een symposium organiseren ter gelegenheid van de Werelddag van het Leefmilieu over het thema «Biologische indicatoren (taxa - gemeenschappen - ecosystemen) van de global change». Wegens de belangrijke aspecten van de globale veranderingen in de tropische streken (ontbossing, woestijnvorming, verzuring) heeft de Koninklijke Academie voor Overzeese Wetenschappen besloten mee te werken aan de organisatie van deze bijeenkomst.

De leden van de Klasse die actief wensen deel te nemen aan de voorbereiding van dit symposium of aan het programma ervan worden verzocht dit mee te delen aan het secretariaat van de Academie.

De zitting wordt gegeven te 15 h 45.
Zij wordt gevolgd door een Geheim Comité.

Séance du 31 mai 1991

(Extrait du procès-verbal)

La séance est ouverte à 14 h 30 par le directeur, M. F. Suykens, assisté de M. J.-J. Symoens, secrétaire perpétuel.

Sont en outre présents : MM. E. Cuypers, H. Deelstra, I. de Magnée, G. Froment, Mgr L. Gillon, MM. G. Heylbroeck, A. Lederer, R. Leenaerts, J. Michot, R. Paepe, M. Snel, A. Sterling, R. Thonnard, J. Van Leeuw, membres titulaires ; MM. J. Debevere, W. Loy, G. Panou, J.-J. Peters, U. Van Twembeke, membres associés.

Absents et excusés : MM. E. Aernoudt, P. Beckers, F. Bultot, J. De Cuyper, P. De Meester, A. Deruyttere, J.-J. Droesbeke, P. Evrard, P. Fierens, A. François, P. Goossens, A. Jaumotte, J. Lamoën, A. Lejeune, L. Martens, A. Monjoie, J. Roos, R. Sokal, R. Tillé, R. Wambacq ; M. R. Vanbreuseghem, secrétaire perpétuel honoraire.

Décès de M. Alexandre Prigogine

Le Directeur informe la Classe du décès de M. A. Prigogine, membre titulaire honoraire, survenu à Bruxelles le 7 mai 1991.

Il retrace ensuite brièvement la carrière scientifique du Confrère disparu.

La Classe se recueille en souvenir du défunt.

La Classe désigne M. I. de Magnée et G. Panou pour rédiger l'éloge de M. Prigogine.

ODP — Le programme de forage océanique. Résultats scientifiques et défis technologiques

M. J. Michot présente une étude à ce sujet.

MM. M. Snel, W. Loy, A. Sterling, U. Van Twembeke, J. Van Leeuw, J.-J. Symoens, R. Paepe et R. Thonnard interviennent dans la discussion.

La Classe décide la publication de cette étude dans le *Bulletin des Séances* (pp. 475-507).

Concours annuel 1991

Aucun travail n'a été introduit en réponse aux cinquième et sixième questions du concours 1991.

Zitting van 31 mei 1991

(Uittreksel van de notulen)

De zitting wordt geopend te 14 h 30 door de directeur, de H. F. Suykens, bijgestaan door de H. J.-J. Symoens, vast secretaris.

Zijn bovendien aanwezig : De HH. E. Cuypers, H. Deelstra, I. de Magnée, G. Froment, Mgr. L. Gillon, de HH. G. Heylbroeck, A. Lederer, R. Leenaerts, J. Michot, R. Paepe, M. Snel, A. Sterling, R. Thonnard, J. Van Leeuw, werkende leden ; de HH. J. Debevere, W. Loy, G. Panou, J.-J. Peters, U. Van Twembeke, geassocieerde leden.

Afwezig en verontschuldigd : De HH. E. Aernoudt, P. Beckers, F. Bultot, J. De Cuyper, P. De Meester, A. Deruytere, J.-J. Droesbeke, P. Evrard, P. Fierens, A. François, P. Goossens, A. Jaumotte, J. Lamoen, A. Lejeune, L. Martens, A. Monjoie, J. Roos, R. Sokal, R. Tillé, R. Wambacq ; M. R. Vanbreuseghem, erevast secretaris.

Overlijden van de H. A. Prigogine

De Directeur meldt aan de Klasse het overlijden van de H. A. Prigogine, erewerkend lid, overleden te Brussel op 7 mei 1991.

Hij schetst vervolgens in het kort de wetenschappelijke loopbaan van de overleden Confrater.

De Klasse neemt een ogenblik stilte waar ter nagedachtenis van de overledene.

De Klasse duidt de HH. I. de Magnée en G. Panou aan om de lofrede van de H. Prigogine op te stellen.

«ODP — Le programme de forage océanique. Résultats scientifiques et défis technologiques»

De H. J. Michot stelt een studie voor over dit onderwerp.

De HH. M. Snel, W. Loy, A. Sterling, U. Van Twembeke, J. Van Leeuw, J.-J. Symoens, R. Paepe en R. Thonnard komen tussen in de bespreking.

De Klasse beslist deze studie te publiceren in de *Mededelingen der Zittingen* (pp. 475-507).

Jaarlijkse wedstrijd 1991

Geen enkel werk werd ingediend als antwoord op de vijfde en zesde vragen van de wedstrijd 1991.

Distinction honorifique

Par arrêté royal du 3 mai 1991, M. J. De Cuyper a été promu au grade de grand officier de l'Ordre de la Couronne.

Conférence

Le Gouvernement japonais, le «Metropolitan Government» de Tokyo et le Comité national japonais de la Décennie internationale pour la Prévention des Catastrophes naturelles organisent conjointement à Tokyo, du 8 au 11 octobre 1991, une conférence sur le thème «Earthquake and Natural Disaster Countermeasures 1991».

Informations : The Director

IDNDR Promotion Office

Disaster Prevention Bureau

National Land Agency

1-2-2, Kasumigaseki, Chiyoda-Ku

Tokyo 100 (Japon)

Phone : 3.3501.6996. Fax : 3.3503.5690.

La séance est levée à 16 h 10.
Elle est suivie d'un Comité secret.

Ereteken

Bij koninklijk besluit van 3 mei 1991 werd de H. J. De Cuyper bevorderd tot de graad van grootofficier in de Kroonorde.

Conferentie

De Japanse Regering, de «Metropolitan Government» van Tokyo en het Japanse Nationaal Comité van het Internationale Decennium voor het Voorkomen van de Natuurrampen organiseren samen te Tokyo, van 8 tot 11 oktober 1991, een conferentie met als thema «Earthquake and Natural Disaster Countermeasures 1991».

Inlichtingen : The Director
IDNDR Promotion Office
Disaster Prevention Bureau
National Land Agency
1-2-2, Kasumigaseki, Chiyoda-Ku
Tokyo 100 (Japan)
Phone : 3.3501.6996. Fax 3.3503.5690.

De zitting wordt geheven te 16 h 10.
Zij wordt gevolgd door een Geheim Comité.

ODP — Le programme de forage océanique. Résultats scientifiques et défis technologiques *

par

J. MICHOT **

MOTS-CLÉS. — Dérive continentale ; Forages océaniques ; Mohorovicic ; Programme ODP.

RÉSUMÉ. — Depuis 1986, la Belgique participe au programme de forage océanique dans le cadre d'une association avec d'autres «petits» pays européens. Cette association est coordonnée par la European Science Foundation et œuvre sous l'égide de la National Science Foundation (USA). Une large collaboration internationale multilatérale s'est ainsi mise en place dans l'optique d'une ouverture pluri- et interdisciplinaire ; excellence et rigueur, tant dans la préparation que dans la réalisation des projets, sont le fait d'une gestion attentive et d'un contrôle scientifique permanent. Au cours des 5 dernières années, les régions clefs des océans du globe ont été visitées et des précisions importantes ont pu être apportées à la connaissance des phénomènes qui conditionnent la structuration de la planète. Des données nouvelles ont amené une révision fondamentale de certains concepts et théories «globales» jusqu'alors imparfaitement élaborés. En retour, des «must» techniques ont dû être rencontrés : le carottage continu pour chaque forage a été exigé, les mesures à l'intérieur du forage ont été multipliées et réalisées à l'aide d'instruments de plus en plus sophistiqués, les analyses d'échantillons ont été complétées directement dans les laboratoires spécialisés aménagés à bord du bateau, le *JOIDES Resolution*, doté d'une plate-forme de forage techniquement très performante, capable de déployer plus de 9000 m de tubes. Les principales acquisitions scientifiques sont soulignées, de même que les aspects technologiques qui les ont rendues possibles.

SAMENVATTING. — ODP — *Het programma van oceanische boring. Wetenschappelijke resultaten en technologische uitdagingen.* — Sinds 1986 neemt België deel aan het programma van oceanische boring in het kader van een samenwerking met andere «kleine» Europese landen. Deze samenwerking wordt gecoördineerd door de European Science Foundation en werkt onder de bescherming van de National Science Foundation (USA). Zo is een ruime internationale en multilaterale samenwerking tot stand gekomen met het oog op een pluri- en interdisciplinaire openheid. Perfectie en nauw-

* Communication présentée à la séance de la Classe des Sciences techniques du 31 mai 1991. Texte reçu le 19 juin 1991.

** Membre titulaire de l'Académie ; Laboratoires associés de Géologie-Pétrologie-Géochronologie, Université Libre de Bruxelles, CP 160, avenue F. D. Roosevelt 50, B-1050 Bruxelles (Belgique).

gezetheid, zowel in de voorbereiding als in de uitvoering van de projecten, zijn het gevolg van een aandachtig beheer en een aanhoudend wetenschappelijk toezicht. De laatste 5 jaar werden de sleutelgebieden van de werelddoceanen bezocht en belangrijke bijzonderheden konden toegevoegd worden aan de kennis van de verschijnselen die de structurering van de planeet bepalen. Nieuwe gegevens veroorzaakten een grondige herziening van enkele «globale» begrippen en theorieën, die tot dan onvoldoende uitgewerkt waren. Om dit te bereiken moesten technische «musts» aangewend worden : het aanhoudelijk nemen van bodemmonsters werd voor elke boring geëist ; de maatregelen binnenin de boring werden vermenigvuldigd en uitgevoerd met behulp van steeds meer geperfectioneerde instrumenten ; het onderzoek van de monsters werd onmiddellijk vervolledigd in de gespecialiseerde laboratoria die ingericht werden aan boord van het schip, de *JOIDES Resolution*, uitgerust met een technisch zeer doeltreffend boorplatform, dat meer dan 9000 m buizen kan ontfouwen. De belangrijkste wetenschappelijke verworvenheden worden onderlijnd, evenals de technologische aspecten die deze verworvenheden mogelijk hebben gemaakt.

SUMMARY. — *ODP — Oceanic Drilling Programme. Scientific results and technological challenges.* — Since 1986, Belgium has participated in the Oceanic Drilling Programme in association with other “small” European countries. This programme is co-ordinated by the European Science Foundation and works under the aegis of the National Science Foundation (USA). An extensive multilateral and international collaboration is therefore established in view of this pluri- and multidisciplinary approach ; excellence and rigour, in the preparation as well as in the carrying out of the projects, are the results of careful management and permanent scientific control. Over the last 5 years the world’s key oceanic regions have been visited and important details have been gathered towards the knowledge of the phenomena which determine the planet’s structure. New data have lead to a fundamental revision of certain “global” concepts and theories, up until now poorly elaborated. Going back to the technical “musts”, the following were carried out : the required sample coring for each drilling was continued, the number of inside measurements of the drilling was increased and they were carried out with the help of more and more sophisticated instruments, analyses of the samples were immediatley completed in specialised laboratories installed on board the boat, the *JOIDES Resolution*, which was equipped with a technically high performance drilling platform, capable of unfurling 9000 m of tubing. The main scientific achievements are highlighted as are the technological aspects which made their achievements possible.

1. Introduction

En avril 1986, la «European Science Foundation» signait la convention qui associe un consortium de petits pays européens, dont la Belgique, au programme pluriannuel des forages océaniques (Ocean Drilling Program, ODP) mis en œuvre sous l’égide de la «National Science Foundation» (USA).

Bien plus qu’une formalité, cet engagement concrétise le souhait de bon nombre de scientifiques de promouvoir une coopération interdisciplinaire et internationale dans un domaine de recherches particulièrement important. La

reconnaissance de la composition et de la structure de la croûte océanique et de sa couverture sédimentaire, dans leurs différents aspects et dans la diversité de leurs conditions de gisement, reste en effet un des problèmes majeurs dans la compréhension de l'évolution du Globe terrestre ; elle revêt un intérêt tout aussi évident en ce qui concerne nos connaissances sur les ressources minérales, la genèse des séismes, le phénomène volcanique et, plus spécifiquement encore, l'étude des modifications climatiques du passé et leur modélisation pour l'avenir.

Depuis longtemps, l'étude des fonds océaniques a retenu l'attention des géologues ; des missions diverses ont été chargées d'en définir la nature. Compte tenu des moyens disponibles, elles n'ont pu, en fait, qu'en recueillir par dragage des fragments plus ou moins représentatifs. On se souviendra de la mission du HMS *Challenger* qui, pendant quatre ans, à la fin du siècle dernier, a rassemblé un échantillonnage de roches diverses, draguées en certains points des fonds océaniques du Globe.

Au cours des années '60, un projet ambitieux a été lancé par les États-Unis ; il visait à la réalisation d'un forage profond dans la croûte océanique qui aurait dû atteindre la discontinuité de Mohorovicic, séparant la croûte du manteau supérieur. Le «MOHOLE» a connu un début prometteur en répondant de façon remarquable au défi technologique posé, mais a dû être abandonné du fait du coût de l'opération limitée à un seul sondage.

Il a été remplacé, dès 1968, par un projet mieux équilibré quant à l'exploration systématique du domaine océanique : le «Deep Sea Drilling Project» (DSDP). À l'aide du bateau de forage *Glomar Challenger*, au long des 15 années suivantes, soit jusqu'en 1983, 624 sites océaniques ont été visités ; 1092 forages ont fourni environ 100 km de matériaux carottés. Les résultats ont permis, au-delà des espérances, de vérifier l'hypothèse de l'expansion des fonds océaniques et, par là, de développer la théorie de la tectonique des plaques dans ses aspects liés à la formation des bassins océaniques et des marges continentales.

Le DSDP fut entrepris par les États-Unis, seuls. Il rassemblait, dans une première phase (JOIDES : Joint Oceanographic Institutions for Deep Earth Sampling), quatre institutions océanographiques de ce pays ; six autres les y ont rapidement rejoints [1] *. Dans une seconde phase, compte tenu de l'intérêt suscité à l'étranger par cette initiative, le projet s'est ouvert à la participation internationale ; la France, la République fédérale d'Allemagne, le Japon, la Grande-Bretagne et l'URSS y ont progressivement adhéré. L'«International Phase of Ocean Drilling» (IPOD) a ainsi vu le jour en 1975.

L'«Ocean Drilling Program» (ODP), auquel participe un consortium de pays européens (Belgique, Danemark, Finlande, Grèce, Islande, Italie, Pays-Bas, Norvège, Espagne, Suède, Suisse et Turquie) dans l'impossibilité de financer

* Les chiffres entre crochets [] renvoient aux notes, p. 506.

indépendamment le coût annuel d'une série significative de missions de forage, constitue le prolongement de la phase internationale du DSDP.

En 1981, une conférence internationale a été chargée de procéder à l'analyse des résultats obtenus par les forages à buts scientifiques en milieu océanique (COSOD I) et a examiné les conditions d'une poursuite éventuelle des missions DSDP.

C'est suite à ses recommandations, en 1983, que le nouveau programme a été élaboré et ses objectifs précisés. L'ensemble des grands problèmes relevant de l'océanographie physique et de la géologie océanique y est abordé avec, sous statut prioritaire, les douze thèmes suivants :

- Genèse des magmas et édification crustale à l'aplomb des crêtes médioocéaniques ;
- Initiation de la dérive continentale au droit des marges passives ;
- Dynamique de l'évolution des arcs insulaires externes ;
- Structure et développement du phénomène volcanique lié aux arcs insulaires ;
- Configuration, chimisme et dynamique des circuits hydrothermaux ;
- Réponses sédimentaires aux fluctuations du niveau des mers ;
- Sédimentologie des milieux océaniques pauvres en oxygène ;
- Analyse des balances de masse en régime sédimentaire ;
- Histoire de la circulation des eaux océaniques ;
- Conséquences des variations de l'orbite planétaire sur l'atmosphère et sur les océans ;
- Examen de l'évolution des micro-organismes ;
- Histoire du champ magnétique terrestre.

Le financement initial de l'«Ocean Drilling Program» a été prévu par la «U.S. National Science Foundation» pour 10 ans, étant entendu que, dès 1985, une partie de celui-ci devait être pris en charge par des partenaires extérieurs.

La responsabilité de la mise en œuvre et du développement des activités a été confiée au groupe JOI (Joint Oceanographic Institutions) formé par les dix institutions océanographiques américaines déjà engagées dans le DSDP. Certaines opérations plus spécifiques ont été déléguées à deux d'entre elles : la «Texas A & M University» a été désignée comme Coordonnateur scientifique chargé du choix et de l'aménagement du bateau de forage, de la mise au point définitive du programme scientifique proposé par JOIDES et de la logistique scientifique générale, en ce compris le stockage des échantillons. Le «Lamont-Doherty Geological Observatory», de son côté, s'est vu confier la gestion technique des services de liaisons assurant les mesures paramétriques dans les sondages et la coordination et l'entretien des banques de données (Fig. 1).

À l'issue de la phase préparatoire, au cours de laquelle la participation internationale se manifestait sporadiquement, l'ODP enregistrait successivement

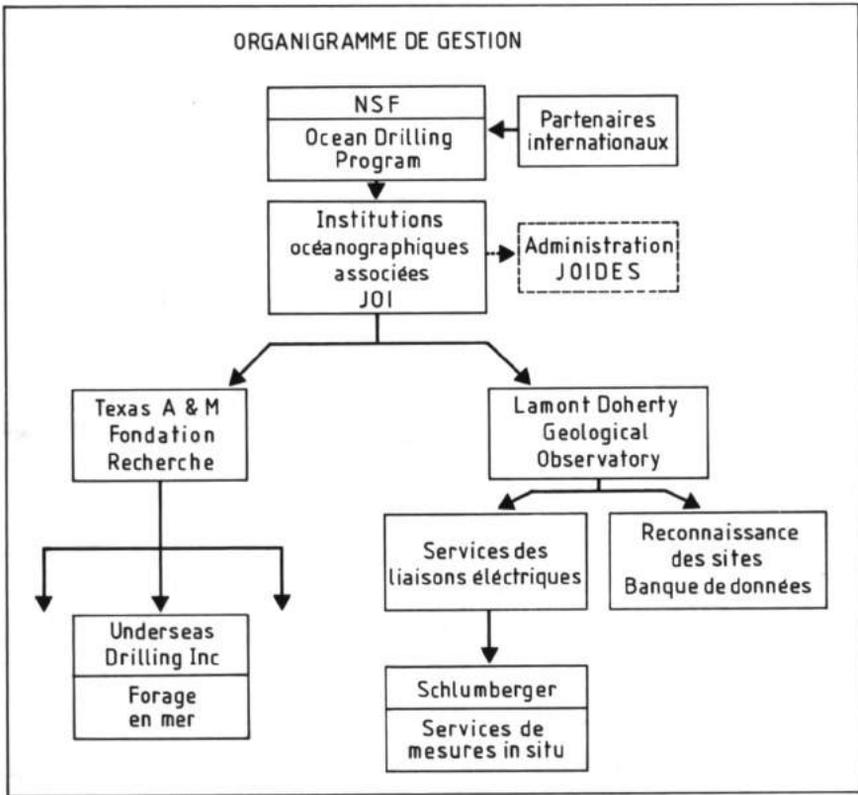


Fig. 1. — Organigramme de la programmation et de la gestion de l'Ocean Drilling Program, structure du secteur logistique.

comme membres à part entière : la République Fédérale d'Allemagne, la France et le Canada en 1984, le Japon et la Grande-Bretagne en 1985, et le Consortium des petits pays européens (ESF) en 1986. Un peu plus tard, l'Australie rejoignait le Canada dans le cadre d'une participation à frais partagés. La collaboration de l'URSS vient d'être enregistrée.

2. La gestion du programme de forages scientifiques dans le domaine océanique

La réussite d'un projet de recherches, envisagé à la fois dans le cadre d'une large collaboration internationale multilatérale et dans l'optique d'une ouverture pluri- et interdisciplinaire, nécessite excellence et rigueur dans la préparation du programme ; la sélection des propositions d'étude les mieux adaptées et la recherche de l'efficacité logistique et technique la meilleure y sont essentielles. Le travail à réaliser doit ainsi répondre à des contraintes diverses de rapidité

dans les décisions à prendre, de précision dans les objectifs à atteindre, de sérénité dans les choix à faire prévaloir, d'opportunité et de psychologie dans la constitution des équipes à associer. La démarche, tant dans la phase d'élaboration et de mise en œuvre scientifiques du projet que dans celle de son développement technique, dépend donc en majeure partie d'une gestion particulièrement attentive au recueil des informations les plus larges et les plus diversifiées.

La structure de gestion scientifique du programme de forages océaniques reflète ces préoccupations.

La supervision et le contrôle général du développement d'ODP sont assurés par JOIDES à l'intermédiaire de deux Comités, constitués de membres appartenant aux différentes nations participantes : l'EXecutive COMmittee (EXCOM, où JOIDES possède la majorité) et le Planning COMmittee (PCOM). Ces deux comités reçoivent les projets et décident du choix de ceux qui seront réalisés après analyses successives, par divers groupes de travail, de leur intérêt thématique, de la validité du choix régional, de leurs implications logistiques et des services préliminaires à assurer, ainsi que des perspectives de développement technologique qu'ils imposent (Fig. 2).

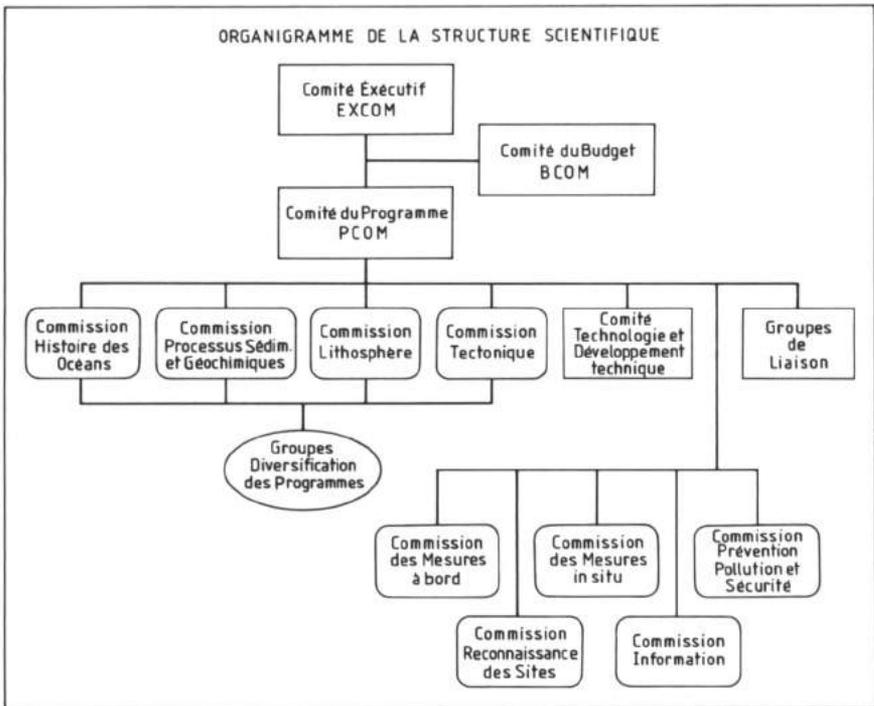


Fig. 2. — Organigramme de la programmation et de la gestion de l'Ocean Drilling Program, structure du secteur scientifique.

EXCOM s'occupe principalement de la gestion proprement dite du programme et de la politique générale à respecter, en particulier en ce qui concerne la préparation du budget et son exécution ; il est constitué de gestionnaires issus des institutions participantes. PCOM est formé de scientifiques expérimentés, désignés par leur pays ou leur institution d'origine.

Chaque année, toutes les instances nationales qui assurent conjointement le financement d'ODP sont conviées à une assemblée à Washington D.C., où sont réunis, en une session commune, le Conseil d'Administration d'ODP dont elles font partie et JOIDES. Elles examinent l'état d'avancement des recherches, les modifications éventuelles à apporter au programme dans ses étapes ultérieures et prennent connaissance des appréciations et desiderata des pays engagés. L'analyse du budget pour l'année suivante et son évolution pour la période qui reste à couvrir font l'objet d'un examen approfondi ; il s'agit là d'un des éléments-clés de la collaboration internationale, les conditions financières fixées pour chacun des pays participants ne pouvant être modifiées sans leur accord exprès.

3. Les résultats acquis par le programme de forages océaniques

3.1. LE VOLET SCIENTIFIQUE DU PROGRAMME DE FORAGES OCÉANIQUES

Au cours du DSDP, le choix des sites de forage et, dès lors, des thèmes d'étude était du seul ressort de JOIDES. Depuis 1985, la programmation des activités ODP dépend des propositions formulées par l'ensemble de la communauté scientifique internationale. Un préavis de trois ans est cependant indispensable avant qu'un site de forage ne soit définitivement accepté ; en particulier un certain nombre d'études préliminaires doivent être terminées, telles celles qui permettent de circonscrire les caractéristiques géophysiques générales du site et de faire apparaître les composants majeurs de sa structure.

Les deux premières années de la phase opérative d'ODP (1985-86) ont été consacrées à des forages sur les sites de l'océan Atlantique, de la mer Méditerranée et de la mer des Antilles (Fig. 3 et Tableau 1) ; au cours des années suivantes, et jusqu'à aujourd'hui, les forages se sont succédés dans l'océan Indien, dans l'Antarctique, dans la Mer de Weddell, dans l'est de l'océan Pacifique et, à l'ouest, dans les mers de Sulu, des Célèbes, des Philippines et du Japon (Fig. 3 et Tableau 1). À la fin de 1990, 32 missions d'environ 2 mois chacune ont été menées à bon terme ; 742 scientifiques y ont participé (Fig. 4), 185 sites ont été sondés, 420 forages réalisés et plus de 47 000 m de carottage ont été récoltés, essentiellement dans la catégorie des sédiments, accessoirement dans celle des roches du soubassement basaltique.

En ce qui concerne la Belgique, deux chercheurs, M. J. Hertogen (KUL) et Mme D. Weis (ULB), ont participé à deux missions différentes, à savoir les missions 118 (SW Indian Ridge) et 121 (Broken Ridge/90E Ridge). Par ailleurs, l'équipe du Dr J. Henriët (RUG) a consacré une grande part de

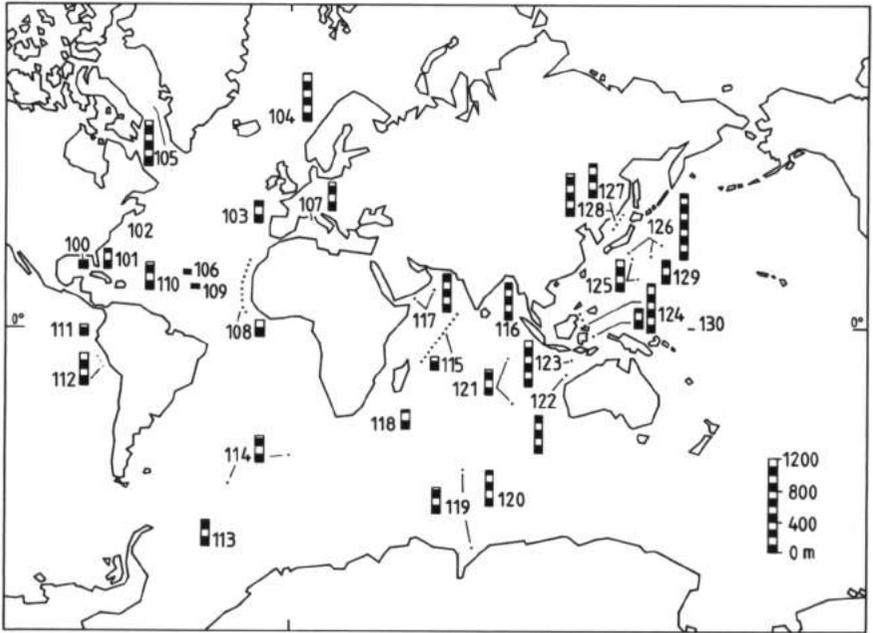


Fig. 3. — Carte de la distribution des missions de forages réalisées, de 1985 à 1990, dans les principaux océans du Globe dans le cadre ODP. Les échelles figurées aux divers points d'implantation des forages représentent la longueur cumulée des carottages effectués par chacune des missions.

son activité à des campagnes de reconnaissance géophysique des sites potentiels situés dans l'océan Atlantique à l'ouest de l'Afrique, en Antarctique, et opère actuellement dans les régions des hautes latitudes de l'Atlantique.

La période qui s'étend de la fin des années '50 au début des années '70 correspond très certainement à une révolution dans le développement des sciences de la Terre. En particulier, il est apparu indispensable de mieux cerner les caractéristiques et propriétés de la croûte océanique et, pour ce faire, de multiplier la collecte des données et des échantillons la concernant. Les recherches ont donc veillé à promouvoir une meilleure intégration des méthodologies d'étude, à favoriser la collaboration interdisciplinaire et à affiner les technologies permettant les mesures paramétriques les plus variées. Les thèmes retenus pour la prospection des domaines océaniques profonds, lors du DSDP d'abord, au cours d'ODP ensuite, portent tous la marque de ces préoccupations.

Les résultats ont été à la mesure des efforts consentis. Dans un premier temps, les objectifs ont gardé un caractère exploratoire : des précisions importantes ont pu être apportées à la connaissance des phénomènes qui conditionnent la structuration du Globe terrestre en grand, tels ceux qui règlent

Tableau 1

Répertoire des missions ODP 1985-1990

N° Mission	Zone d'opération	Nombre de sites	Nombre de forages	Mètres forés	Mètres échantillonnés	Rendement %	Profondeur atteinte (mètres)	Profondeur d'eau (mètres)	Nombre de ré-entrées
100	Gulf of Mexico	3	4	266	264	100	185	905	1
101	Bahamas	11	19	2977	1429	49	535	3581	0
102	Western Atlantic	1	0	0	0	0	0	5505	2
103	Galicia Bank	5	14	1460	593	41	547	5321	0
104	Norwegian Sea	3	8	2419	1695	70	1229	2780	11
105	Labrador Sea/Baffin	3	12	2960	1884	64	1147	3870	3
106	Mid-Atlantic Ridge	2	12	92	12	13	33	3529	18
107	Tyrrhenian Sea	7	11	3297	1908	48	721	3606	0
108	Northwest Africa	12	27	4244	3843	91	381	4750	0
109	Mid-Atlantic Ridge	3	3	102	12	11	93	4494	27
110	Lesser Antilles	6	10	2404	1898	79	691	5018	0
111	Panama Basin	3	5	641	428	67	309	3474	21
112	Peru Margin	10	20	4710	2666	57	779	5093	0
113	Weddell Sea	9	23	3361	1944	58	647	4665	0
114	South Atlantic	7	12	3602	2297	64	672	4637	0
115	Mascarene Plateau	12	22	3955	3075	78	353	4440	0
116	Bengal Fan	3	10	2299	991	43	961	4747	0
117	Oman Margin	12	25	5847	4367	75	994	4045	0
118	SW Indian Ridge	4	20	780	447	57	501	5219	15
119	Prydz Bay	11	22	3652	2102	58	716	4093	2
120	S Kerguelen	5	12	2140	1082	51	935	2041	2
121	Broken Ridge	7	17	2722	1824	67	677	2937	3
122	Exmouth plateau	6	15	3911	2446	63	1037	2710	3
123	Argo Abyssal Plain	2	5	1793	1080	60	1196	5758	1
124	SE Asia Basins	5	13	3115	2122	68	1271	4916	1
124 E	Luzon Strait	7	15	264	156	59	532	5811	0
125	Bon/Mar	9	15	2917	1019	35	829	4912	1
126	Bon/Mar II	7	19	4737	2127	45	1682	3269	3
127	Japan Sea I	4	10	2917	1655	57	903	3311	2
128	Japan Sea II	3	9	2044	1548	76	1084	2820	0
129	Old Pacific Crust	3	5	1708	469	28	594	5980	4
	Totaux :	185	414	77336	47383				

Source : Draft ODP FY91 Program Plan of the Ocean Drilling Program, June 1, 1990, Washington DC (Appendix A-TAMU, p. T10).

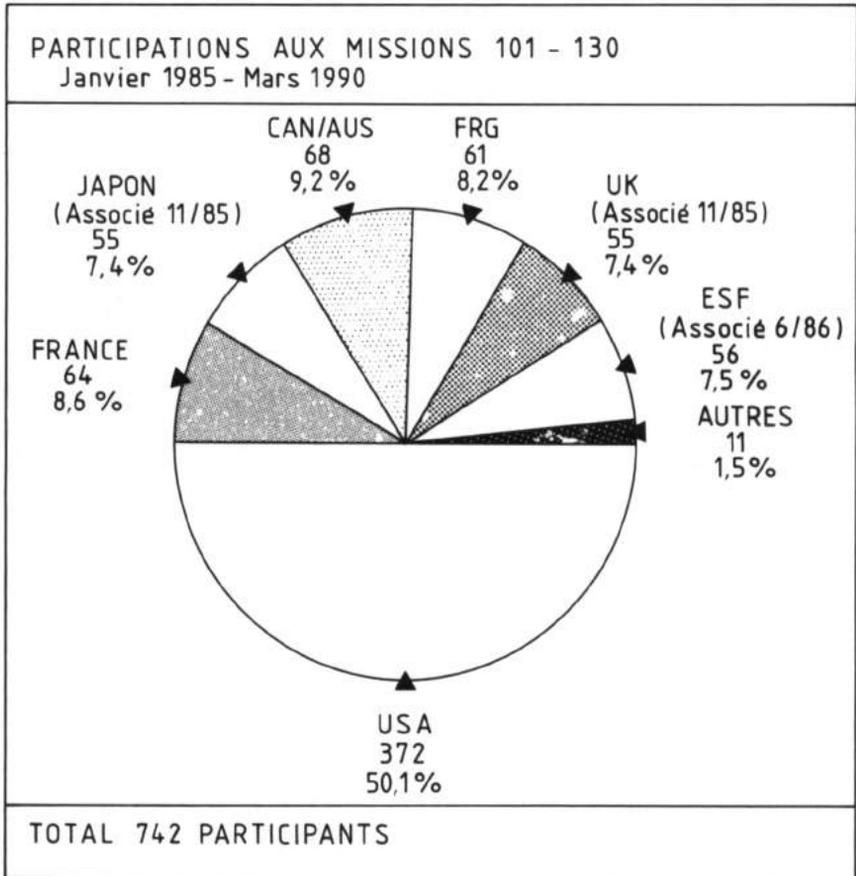


Fig. 4. — Répartition, suivant l'appartenance «nationale», des participants scientifiques aux missions ODP 101 à 130.

Source : Draft ODP FY91 Program Plan of the Ocean Drilling Program, June 1, 1990. — Washington DC, Appendix A-TAMU, p. T5).

l'expansion des fonds océaniques et l'évolution correspondante des unités crustales ; des données nouvelles, de plus en plus abondantes, ont permis en outre d'entreprendre une révision fondamentale de certains concepts et théories «globales» liés pour une part à la paléocéanographie.

Dans un second temps, la phase exploratoire a pu être dépassée et la mise en œuvre d'ODP a entraîné des modifications appréciables dans la conception même du déroulement des différentes étapes de la recherche océanique. La reconnaissance préalable des caractéristiques générales des sites à sonder a été rendue obligatoire, le carottage continu pour chaque forage a été exigé, les mesures à l'intérieur du forage ont été multipliées et réalisées à l'aide

d'instruments de plus en plus sophistiqués, les analyses d'échantillons ont été effectuées directement dans les laboratoires spécialisés aménagés à bord du bateau ; ce dernier, le *JOIDES Resolution*, muni d'un système élaboré de positionnement dynamique, a été doté d'une plateforme de forage technique très élaborée, capable de déployer plus de 9000 m de tubage.

Les rapports scientifiques des missions de forage entreprises depuis 1985 font l'objet de synthèses préliminaires publiées dans *Geotimes* et *Nature* au cours des semaines qui suivent le retour du bateau au port de transit. Les descriptions plus complètes et les premiers résultats paraissent dans la suite, pour partie dans les 12 mois (Part A) et pour le reste dans les trois ans (Part B), dans les *Proceedings of the ODP*, édités par l'Institution responsable de la coordination scientifique (Texas A & M University) [2].

Les résultats 1985-1990

Il serait présomptueux d'envisager de reprendre ici, site par site, le détail des données recueillies au cours des missions actuellement accomplies. L'ensemble des observations et leur interprétation constituent, pour chaque mission, la matière de deux gros volumes de plusieurs centaines de pages chacun. Par contre, une brève description des contributions nouvelles de ces missions au développement de nos connaissances sur les principaux phénomènes géologiques impliqués permettra de se rendre compte des progrès réalisés.

Nature du soubassement océanique

Bien que rarement échantillonné sur plus de quelques dizaines de mètres, le soubassement océanique a fait l'objet d'une série d'examen qui entraînent une révision fondamentale de nos conceptions, tant du point de vue de sa composition que de son comportement sous déformation.

Sur le plan pétrologique, les forages implantés sur les dorsales océaniques ont recoupé d'importantes masses de péridotite qui paraissent alignées suivant l'axe de la dorsale (missions 109, Mid-Atlantic Ridge). Cette observation est en contradiction avec les modèles habituels ; l'interprétation des conditions de formation de la lithosphère à l'aplomb des dorsales médioocéaniques ne tenait pas compte d'une possibilité d'apparition de ce type lithologique à caractère plutôt résiduel et dense. Les recherches, à la fois sur le mode de mise en place des masses basaltiques sous-océaniques et, de manière plus fondamentale, sur les processus physico-chimiques et géochimiques qui caractérisent l'activité magmatique dans ces zones particulières de néoformation de la croûte terrestre, ont donc été relancées et réactualisées.

Au cours de la mission 102 (Western Atlantic), la constitution de la partie supérieure de la couche océanique 2 (2A) de la structure que les géophysiciens distinguent au sein de la croûte océanique, a été mise en valeur grâce aux variations de ses propriétés physiques, telles celles du rapport de Poisson, de la densité et de la résistivité. La mesure de la radioactivité naturelle par

spectrométrie gamma a fait apparaître une variation régulière le long du forage (tous les 15 cm) des teneurs en potassium, uranium et thorium, permettant de démontrer que les fractures et les vides au sein de cette couche de lave en coussins étaient, en fait, remplis de produits d'altération riche en potassium, produits par ailleurs constitués de minéraux des argiles et de zéolites, responsables de la modification de la susceptibilité magnétique de la croûte supérieure et vraisemblablement de la diminution de sa perméabilité.

Le forage réalisé lors de la mission 118 (SW Indian Ridge) a pénétré, sur 500 m environ, un corps de gabbro représentant la couche n° 3 de la structure océanique. Pour la première fois, cette couche a donc fait l'objet d'un échantillonnage suivi ; son analyse paléomagnétique a fait apparaître la forte magnétisation de ce type de roche, donnée nouvelle qui pourrait être à la base, là aussi, d'une révision des hypothèses sur les causes des structures paléomagnétiques qui jalonnent les fonds océaniques.

Le profil sismique vertical le plus long et le mieux documenté pour l'instant, réalisé sur le site 504 B du DSDP (mission 3A), a été réétudié du point de vue géochimique ; sur plus de 300 m, la composition d'une partie de la couche n° 3 a donc été systématiquement répertoriée. Pour la première fois, les enregistrements ont permis d'obtenir en continu les teneurs en TiO_2 , en gadolinium (Terre Rare lourde), en thorium et uranium, en soufre, ceci en plus des éléments chimiques majeurs habituels.

En outre, les échanges géochimiques qui se produisent entre le basalte supérieur et l'eau de l'océan, au cours de l'altération, ont pu être quantifiés en comparant, d'une part, la composition globale des lithologies concernées, intégrées lors de l'enregistrement en continu des paramètres chimiques, avec, d'autre part, celle de la roche mère supputée, un basalte appauvri de la dorsale médioocéanique.

Par ailleurs, les paramètres géochimiques relevés lors des missions 122 et 123 (Exmouth Plateau et Argo Abyssal Plain, Fig. 5) ont été collationnés sur une carte qui retrace la chimie des 1500 m supérieurs de la plaque indienne, en voie de subduction sous la fosse de Java, à l'aplomb de ce qui a été défini comme le premier *Site de Référence Géochimique* (Geochemical Reference Site) implanté dans la région. Ce document constitue un outil des plus précieux pour la mise au point des modèles d'évolution du processus de fusion lié au retour de la plaque océanique dans la manteau supérieur.

Des mesures semblables effectuées lors des missions 125 (Bonin I, Mariannes) et 126 (Bonin II) ont abouti à dresser, en fonction du temps, les courbes de variation de la composition chimique des produits magmatiques constituant la croûte supportant l'arc volcanique d'un autre domaine océanique où s'exprime la subduction. Ce type d'examen, dans le long terme, n'avait jamais été entrepris ; en particulier, il a permis de mettre en évidence la présence d'andésites riches en potassium, enfouies sous les basanites de l'avant-arc

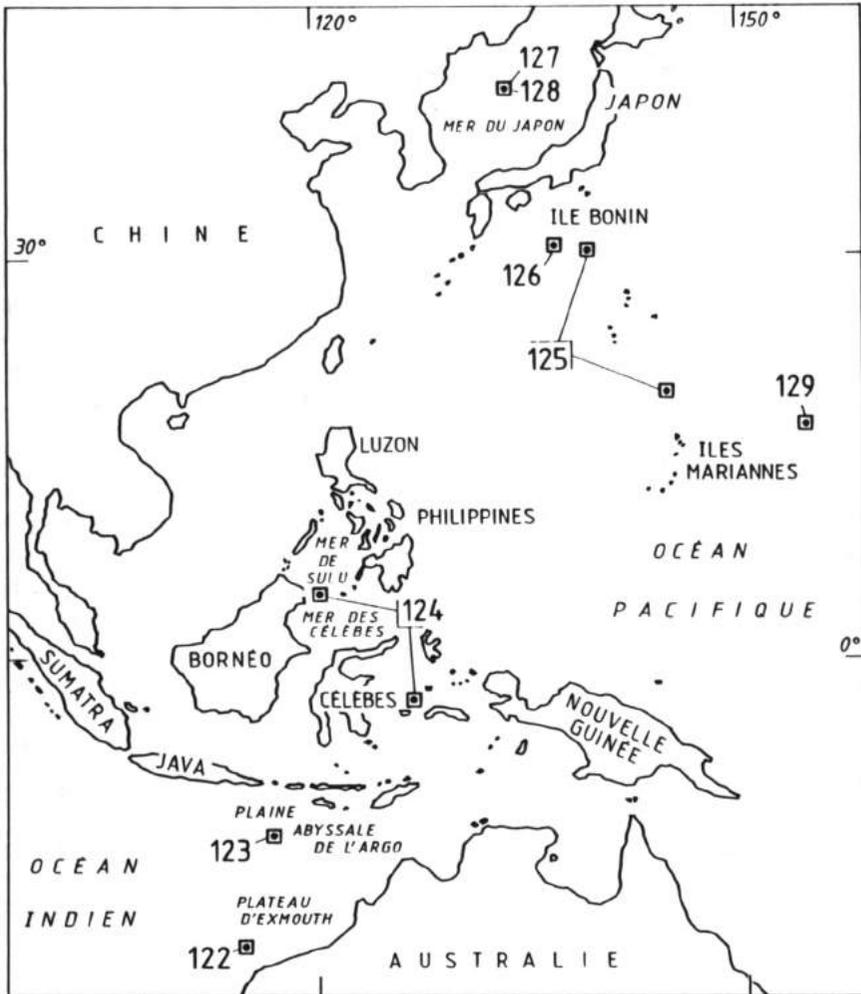


Fig. 5. — Carte schématique de la région des bassins du Sud-Est asiatique au sein de laquelle ont été implantés les forages des missions 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128 et 129.

actuel, et par là de faire apparaître le caractère diversifié des successions magmatiques qui surmontent les zones de subduction.

La diversité des produits volcaniques associés au début du processus de subduction y a été relevée ; il ne s'agit plus, comme cela avait été affirmé auparavant, de définir le volcanisme de cette période comme essentiellement générateur de boninite [3] de composition relativement constante. Au contraire, la variation dans la composition des boninites carottées a nécessité la mise au point d'une subdivision précise de cette famille de roche et une révision majeure de leurs conditions de formation en région peu profonde, particulièrement riche en H₂O.

Enfin, la mise en évidence de structures d'aspect conique (mission 125, Bonin I, Mariannes) liées à la présence de diapirs de serpentinite a, de son côté, focalisé l'attention sur le fait que la déshydratation de la plaque lithosphérique subductée doit jouer un rôle important dans le processus de serpentinisation au sein du manteau, de même que sur le style de mise en place, sur les fonds océaniques, de ce matériau serpentinique.

Comportement structural des plaques océaniques

Les missions 119-120 (Prydz Bay et S Kerguelen), 121 (Broken Ridge) et 122-123 (Exmouth Plateau et Argo Abyssal Plain) (Fig. 5) ont abouti à éclaircir le processus qui est à l'origine de l'extension lithosphérique et dont résulte la formation des divers plateaux sous-marins de la région. La confrontation des résultats a permis de montrer que la séparation entre la «Ride Cassée» et le «Plateau des Kerguelen» s'est produite au cours de l'Éocène moyen, il y a 40 Ma environ et a pris quelque 5 Ma ; il en est résulté une surélévation, de plus ou moins 2 km, de la «Ride Cassée» avec émergence de sa crête. La présence de dépôts sédimentaires datant du début du processus exclut le bombement préliminaire de cette zone et indique, au contraire, que la fissuration qui lui a donné naissance est, en fait, la conséquence des tensions générées au sein de la plaque océanique plutôt que le résultat d'un processus de convexion impliquant des mouvements de magmas dans le manteau sous-jacent. Cette constatation relève pour la première fois le rôle initiateur des tensions intra-plaques elles-mêmes dans la genèse de la tectonique globale.

Des mesures des contraintes tectoniques ont été réalisées dans huit forages de l'ouest du Pacifique (missions 123, 125, 126, 127 et 128) ; elles ont permis de conclure, entre autres, que cette partie de la plaque océanique était soumise actuellement à une forte torsion. L'existence d'une rotation ancienne de la plaque atteignant 90° a été mise en valeur sur base des données paléomagnétiques obtenues sur des carottes orientées grâce au microscanner.

D'autres observations ont permis d'envisager des comparaisons entre des styles de subduction différents, liés à des processus géologiques plus ou moins complexes. L'avant-arc de Bonin ne présente actuellement que de faibles traces de déformation, tandis que celui des Mariannes révèle l'existence de mou-

vements verticaux importants, générés par la collision de cordillères émergées. Les contraintes qui en résultent induisent, dans ce second cas, des modifications majeures dans le positionnement des plaques. Contrairement aux interprétations récentes, ces observations ont également abouti à démontrer que la fissuration crustale n'était pas nécessairement limitée aux domaines d'arrière-arc, mais pouvait également se produire dans la zone d'avant-arc. En cela, le processus même de la subduction est à réexaminer dans ces aspects fondamentaux, d'autant que les estimations réalisées sur les vitesses de subsidence, dans ces deux types de bassins (missions 127 et 128), permettent de déduire qu'il s'agit là d'un phénomène dont la durée est de l'ordre, non de quelques dizaines de millions d'années, mais du million d'années seulement.

Enregistrement océanique de l'évolution continentale

La corrélation des processus d'accumulation sédimentaire et des épisodes de surélévation continentale, accompagnés des phases érosives correspondantes, procède d'un examen de routine actuellement bien connu. Cette corrélation a été assez bien cernée en ce qui concerne la séparation de l'Inde, à partir du Gondwanaland au Mésozoïque, et sa collision au Cénozoïque avec l'Asie.

Les missions 122 (Exmouth Plateau) et 123 (Argo Abyssal Plain) (Fig. 5) en ont défini les séquences principales. La fragmentation initiale mésozoïque du Gondwanaland et la séparation des blocs continentaux sont enregistrées dans la marge passive qui borde l'Australie au nord-ouest. Au départ, le socle continental se présentait comme une large plate-forme calcaire d'âge triasique et constituait le fond d'une dépression reliée à la Téthys ; l'expansion de ce fond océanique au Jurassique et la subsidence des marges au Crétacé ont été systématiquement répertoriées dans la Plaine abyssale d'Argo et sur le Plateau de Wombat. Au sud, dans la partie méridionale du Plateau d'Exmouth, une discordance majeure témoigne d'un premier mouvement de surélévation au Crétacé inférieur ; le prisme sédimentaire détritique qui la surmonte s'épaissit vers le nord et atteint une épaisseur de 1500 m en moins de 5 Ma, ce qui donne une idée, d'une part, de l'intensité érosive qui a affecté le continent au sud et, d'autre part, de la vitesse d'affaissement du fond océanique. Enfin, la puissante collision de l'Inde et de l'Asie, au Tertiaire, la surrection imposante de l'Himâlaya et son érosion concomitante sont enregistrées dans les cônes d'accumulation sédimentaires alimentés par les grands fleuves tels le Gange (zone du Bengale) et l'Indus (zone de l'Indus) (Fig. 6).

Il s'agit là, dans son ensemble, d'une région océanique où il est possible de modéliser, dans ses vraies dimensions, les processus d'interactions continent-océan dans leurs manifestations les plus variées.

Par ailleurs, des études plus spécifiques, sédimentologiques et stratigraphiques (mission 124, SE Asia Basins), ont confirmé que des bassins marins, actuellement de même facture, pouvaient trouver leur origine et se développer dans des situations géotectoniques différentes. Le bassin de la mer des Célèbes et

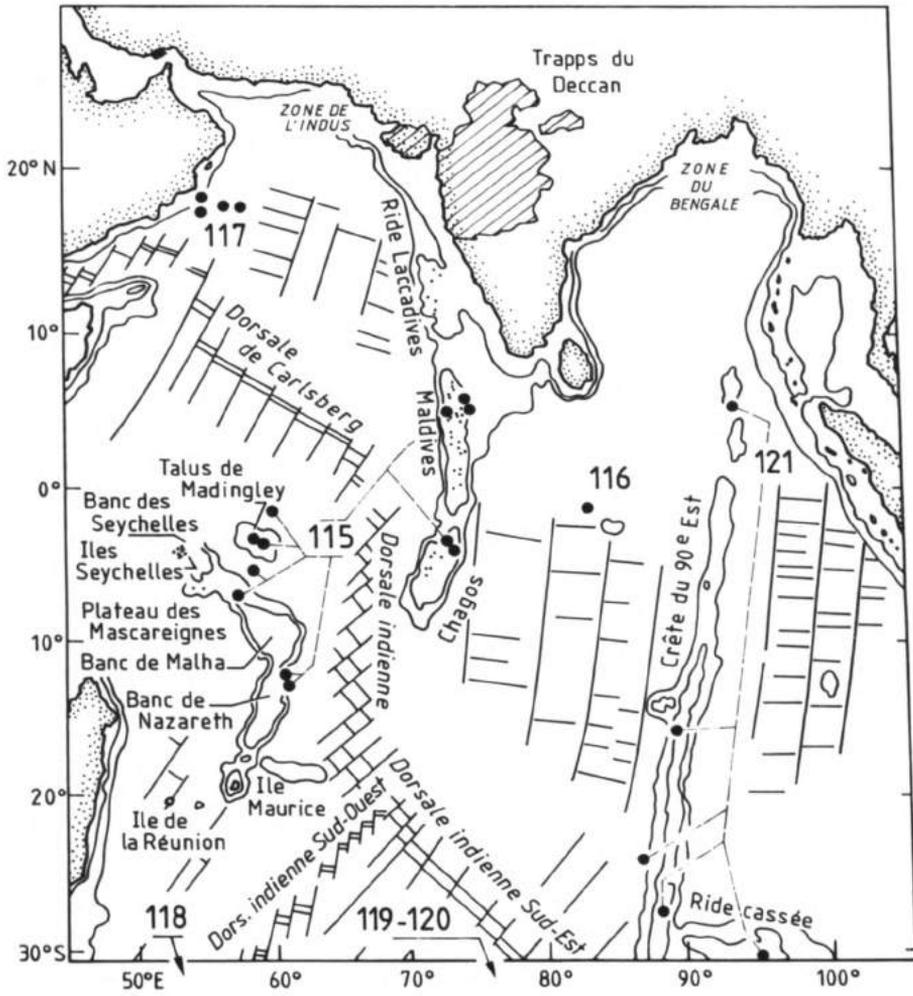


Fig. 6. — Carte schématique de la région de la «dérive indienne» avec implantation des sites couverts par les missions 115, 116, 117, (118, 119, 120) et 121.

celui de la mer de Sulu (Fig. 5) apparaissent ainsi, le premier, comme le résultat, à l'Éocène moyen, d'une évolution en domaine océanique ouvert, le second, comme une conséquence, en situation d'arrière-arc au Miocène moyen, de la collision d'une crête volcanique (Cagazan Ridge) avec la marge continentale chinoise. Par contre, la suite de leur évolution revêt un caractère semblable déterminé par la collision dont question, à la fin du Miocène moyen, qui provoque l'invasion rapide des deux bassins par d'importants dépôts de turbidites. Les faibles teneurs en carbonate, relevées dans les sédiments qui leur succèdent au Miocène supérieur et au Pliocène inférieur, indiquent que la collision s'accroît allant jusqu'à provoquer la fermeture des bassins. Les teneurs plus fortes qui définissent les séquences sédimentaires de la fin du Pliocène illustrent la réouverture de ces derniers et confirment cette interprétation.

L'ensemble de ces considérations souligne toute l'importance qu'il y a à reconnaître correctement le développement géologique d'un domaine donné, dans toute sa durée, afin de permettre d'établir les relations de cause à effet et d'estimer en toute logique les conséquences que l'on peut en attendre ; des situations qui paraissent semblables au premier abord peuvent comporter des étapes utiles à distinguer.

Au cours des missions 105 (Labrador Sea, Baffin Bay) et 113 (Weddell Sea), les relevés au sein des formations sédimentaires de différents paramètres physiques, dont la porosité, coordonnés à la profondeur, ont mis en valeur la corrélation entre les cycles climatiques orbitaux de Milankovitch (41 000, 95 000 et 410 000 ans) et des variations d'intensité des courants marins profonds, traduites dans la nature et la structure des couches sédimentaires.

Lors des missions 127 et 128 (Japan Sea I et II), il a été procédé à l'analyse en détail, au microscanner, de séquences cycliques où alternent dépôts éoliens et détritiques, correspondant à l'alternance des conditions climatiques arides, puis humides. Couplées aux données géochimiques, ces observations amènent également à conclure à la présence de cycles liés aux variations orbitales de Milankovitch de 41 000 et 23 000 ans. Il en a été de même pour la mission 129 (Old Pacific Crust), où des cycles climatiques de même nature, basés sur la variation de la radioactivité naturelle, ont été répertoriés, pour la première fois, dans les formations jurassiques (périodes de 418 000 et 109 000 ans).

Chronostratigraphie océanique

Les mesures chronologiques intéressant les fonds océaniques concernent essentiellement la datation précise de la structure en alternance des anomalies magnétiques ; elles permettent l'évaluation du taux d'expansion océanique et l'estimation des directions majeures suivant lesquelles cette expansion se développe. Elles doivent être complétées par des forages et échantillonnages de contrôle, spécialement lorsqu'il s'agit d'interpréter l'évolution des bassins

sédimentaires et les configurations spatiales successives de la distribution continentale.

Ce type de recherche a mis en évidence l'existence d'un changement dans la direction d'expansion de l'Atlantique Nord vers 55 Ma (mission 105, Labrador Sea) et a permis de préciser l'âge récent de formation de la mer Tyrrhénienne (mission 107) ; il a également apporté de nombreuses données nouvelles sur les conditions d'interdépendance océan-continent, telle qu'elle se présente dans le Sud-Est asiatique (mission 124).

Pour une part, l'étude chronostratigraphique est nécessaire lorsqu'il s'agit de fixer la position dans le temps d'une surface de discontinuité repérée en profondeur à la suite de la prospection sismique. L'âge de cette structure ne peut être contrôlé que par l'étude des échantillons prélevés dans un sondage judicieusement placé.

C'est ainsi que la découverte de sédiments terrigènes, datant du Crétacé inférieur, sous une discontinuité sismique repérée à l'ouest de la Galice et interprétée jusqu'alors comme le sommet du socle calcaire pré-dérive, a entraîné une réinterprétation du développement de la marge continentale à cet endroit (mission 103).

Dans la partie septentrionale du Plateau des Kerguelen, l'âge des formations constituant la zone supérieure du socle pré-dérive a été fortement rajeuni, après sondage, par rapport aux estimations déduites des analyses sismiques classiques (mission 119).

Ces deux exemples montrent combien la campagne de forages océaniques, bien qu'extrêmement ponctuelle vu sous l'angle global, peut fournir des informations essentielles sur l'histoire du développement du domaine océanique actuel.

Les forages effectués dans la Mer de Weddell, sur la marge de l'Antarctique, ont amené à vieillir de 100 Ma l'âge d'un horizon repère peu profond, estimé à 25 Ma seulement. Ce nouvel élément chronologique a fait apparaître que, dans cette région, une épaisse masse sédimentaire avait dès lors disparu par érosion. La réinterprétation sédimentologique, entamée suite à cette découverte, suggère dès à présent la possibilité de l'existence entre 125 et 170 Ma d'une phase de sédimentation importante, riche en matière organique. Ce réexamen ouvre, quant à lui, de nouvelles perspectives intéressantes quant à l'histoire géologique du continent austral (mission 113).

Les enregistrements géophysiques ont, en outre, grandement facilité la compréhension de la stratigraphie des bassins d'arrière-arc et des structures qui affectent la croûte sur laquelle ils s'établissent (mission 124, SE Asia Basins ; 125 et 126, Bonin I et II ; 127 et 128) ; plus spécifiquement, il a été possible d'inventorier les inversions magnétiques enregistrées dans les séquences volcaniques qui s'étalent à divers niveaux dans les formations sédimentaires de ces bassins. Des enregistrements à haute résolution ont été recueillis sur les zones paléomagnétiques inversées Brunhes/Matuyama (mis-

sion 126). Ils indiquent l'existence, au cours de la période analysée, de deux époques d'inversion rapide du champ terrestre, à la fois en inclinaison et en déclinaison ; la durée de la transition a pu être estimée à quelques centaines d'années seulement.

Nature et comportement des fluides dans les accumulations sédimentaires

Dans les bassins océaniques, les marges actives, comme les dorsales médio-océaniques, sont les lieux de migrations importantes de fluides. Dans ce dernier cas, il s'agit de fluides d'origine juvénile qui se mêlent à l'eau de l'océan et, à son contact, engendrent éventuellement des précipitations de nature diverse. Dans le premier cas, les fluides qui imprègnent le matériau sédimentaire en voie d'accumulation, voire de subduction, rejoignent les masses d'eau océanique sous l'effet de la gravité et/ou des forces tectoniques. L'intensité des flux en cause, la qualité et la quantité des éléments dissous impliqués sont actuellement peu connues ; leurs mesures nécessitent un développement adéquat des procédés et un affinement dans l'étude des phénomènes qui sont à l'origine de ce transfert de matière.

Les missions 110 (Lesser Antilles) et 112 (Peru Margin) ont permis déjà de clarifier quelques types de comportement important des fluides dans les sédiments des zones frontales des prismes d'accrétion et de leurs unités en voie de subduction. Les données recueillies dans les forages réalisés dans l'avant-zone de l'arc des Petites Antilles indiquent l'existence d'un processus d'expulsion de l'eau sédimentaire à l'intermédiaire de deux systèmes hydrogéologiques distincts : l'un, sous la dépendance de la gravité, règle les transferts vers l'océan au travers des aquifères ; il caractérise surtout les marges continentales passives mais s'observe également dans les marges actives ; l'autre répond plus spécifiquement aux divers stades du développement des déformations tectoniques (Fig. 7).

Dans les deux régions (missions 110 et 112), les eaux d'imprégnation des sédiments présentent des caractères d'eau douce qui les opposent à celle de l'océan. Plusieurs explications sont proposées à l'heure actuelle et infèrent soit une filtration de l'eau de mer au travers des niveaux argileux de la pile sédimentaire, soit une dilution de celle-ci liée à la déstabilisation de gaz méthane fortement hydraté ou à l'expulsion de l'eau contenue dans les phyllosilicates.

La composition et le comportement des fluides sont, bien entendu, étroitement liés, au départ, à la nature des sédiments qui les contiennent et/ou qu'ils traversent. Les flux hydrologiques qui parcourent le prisme sédimentaire des marges continentales influencent fortement, à leur tour, sur le faciès des dépôts et ce jusqu'à l'achèvement des phases diagénétiques. En particulier, les faciès résultant du passage des saumures peuvent être utilisés comme diagnostiques de l'existence de flux de gravité, ce qui permet de différencier ces derniers de ceux dont l'origine est plutôt liée à la tectonique.

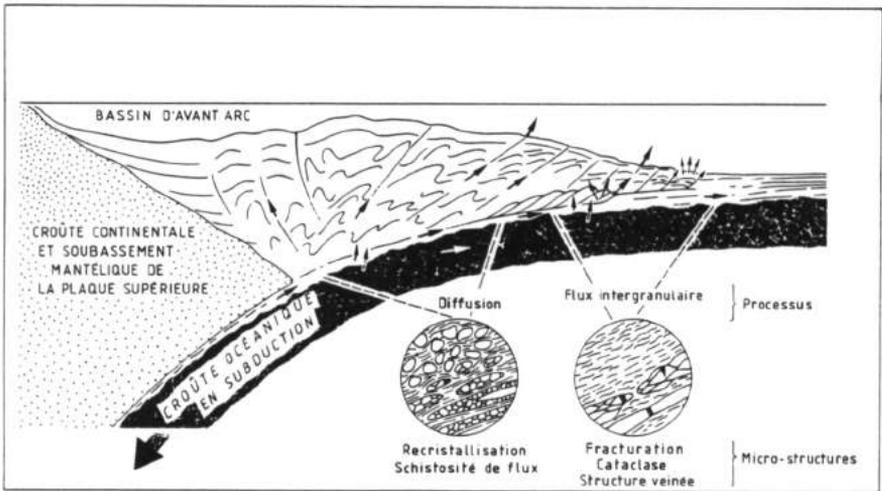


Fig. 7. — Distribution des circuits hydrologiques le long d'une marge continentale active. Source : LANGSETH, M. G. & MOORE, J. C. 1990. Eos Transactions, vol. 71, 5, p. 245. — In : ODP Long Range Plan 1989-2002, mai 1990, p. 38. Joint Oceanographic Institutions Inc., Washington DC.

Sur la marge du Pérou, comme sur celle d'Oman (mission 117), là où il y a migration des saumures vers la surface, des milieux à caractères géochimiques spécifiques provoquent la prolifération de bactéries qui dégradent la matière organique englobée dans les sédiments, et ce sur plusieurs centaines de mètres.

Par ailleurs, on sait que l'expulsion de l'eau engage le sédiment dans sa phase de lithification ; il semble que le degré d'avancement de ce processus soit responsable, dans les marges actives, du style de l'évolution ultérieure de ces matériaux. Les uns, complètement lithifiés, seraient impliqués dans la subduction, tandis que les autres, moins indurés, seraient plus facilement convoyés vers les zones d'accumulation.

Le volcanisme et la migration des plaques océaniques

Le magmatisme intraplaque engendre localement, sur le fond océanique, la formation de chaînes linéaires constituées d'édifices volcaniques affleurant de temps à autres à la surface de l'océan. D'un point de vue cinétique, ces linéaments semblent bien être l'expression d'une activité magmatique localisée en certains «points chauds» situés au sein du manteau supérieur. Leurs deux caractéristiques remarquables sont, d'une part, un alignement conforme à la direction de déplacement de la plaque sur laquelle ils sont édifiés et, d'autre

part, un échelonnement systématique des édifices volcaniques dans les temps, dont l'âge s'accroît en fonction de la distance à la zone d'activité actuelle.

Les missions 115 (Mascarene Plateau), 119 (Prydz Bay), 120 (S Kerguelen) et 121 (Broken Ridge/90E Ridge) (Fig. 6) ont pu montrer que, dans l'océan Indien, les linéaments qui bordent la trajectoire de l'Inde dans sa dérive vers le nord sont, en effet, directement liés à la migration de la plaque océanique au-dessus de «points chauds», dont la permanence est ainsi attestée. Par ailleurs, ces linéaments, aséismiques, ne peuvent dès lors être assimilés à de simples fractures séparant d'anciens arcs insulaires ou des fragments continentaux issus du morcellement du Gondwanaland.

La mission 115 a été consacrée à l'étude du linéament jalonnant, au sud-ouest, la dérive indienne vers le continent asiatique. Son extrémité nord, la plus ancienne, a produit les volumes considérables de basalte qui forment le Plateau du Deccan (67 Ma) ; vers le sud, il se poursuit par la chaîne des Laccadives, des Maldives et de Chagos, le Plateau des Mascareignes et se termine dans l'île Maurice et l'île de la Réunion, qui actuellement surmonte ce «point chaud». Quant aux missions 119, 120 et 121, elles ont été consacrées au balisage de la zone parallèle, traçant à l'est le mouvement de dérive, et ont abouti à attribuer au «point chaud», pour l'instant sous les Kerguelen, l'édification de la série des rides comprenant celle du Gausberg, la Ride Cassée et la Ride du 90° Est, série qui, à son extrémité nord, a été, il y a 116 Ma, à l'origine des éruptions des Traps de Rajmahal.

La relation entre l'existence de «points chauds» et l'apparition d'activités volcaniques dont les produits recouvrent des surfaces étendues et s'accumulent sur des épaisseurs considérables et, en particulier, la mise en évidence d'un événement de cette ampleur dans le développement des coulées basaltiques du Deccan, à la charnière Crétacé-Tertiaire, ont conduit à conclure à la possibilité d'une corrélation entre l'éruption volcanique catastrophique et l'extinction massive de certaines formes de vie. La disparition, entre autres, des dinosaures serait ainsi à mettre en parallèle avec l'activité du «point chaud» pour l'instant sous l'île de la Réunion.

D'autre part, l'étude de la géométrie et des positions respectives des «cicatrices» laissées sur la plaque océanique de l'océan Indien par les deux «points chauds» examinés, et ce sur plus de 100 Ma, permet de penser que ces «points chauds» ne sont pas entraînés dans les courants de convection qui parcourent le manteau supérieur, mais qu'au contraire ils restent fixes dans le manteau et peuvent, dès lors, servir de points de référence dans la détermination des mouvements de la plaque qui les surmonte.

Dans le même ordre d'idées, il faut admettre que les produits de chacun des édifices volcaniques successifs, liés à l'évolution d'un même «point chaud», stable en position, doivent avoir enregistré des caractéristiques paléomagnétiques relevant de la même latitude. Cette règle n'a pas été confirmée par les mesures effectuées au cours de la mission 115, le long de l'une des deux

«cicatrices». Le «point chaud» de l'Île de la Réunion, fixe par rapport au référentiel terrestre, se trouve aujourd'hui sous une paléolatitudes plus septentrionale (déplacement d'environ 8° entre 55 et 36 Ma). Une observation concordante, en quantité et en direction, a été réalisée sur la variation de position du «point chaud» de Hawaï, dans l'océan Pacifique, ce qui permet de conclure également à la réalité du processus de migration des pôles.

Les évolutions climatiques

Une bonne connaissance du fonctionnement des systèmes impliqués dans les inter-relations océan-atmosphère-cryosphère est indispensable à la compréhension de l'évolution générale du climat au cours des époques récentes. En particulier, le comportement des glaciers, surtout concentrés sur le continent antarctique, constitue un des éléments importants de cette évolution ; la présence de glace conditionne la valeur de l'albédo, influence le gradient thermique de la Terre et modifie l'équilibre isostatique du bloc crustal concerné. La variation du volume des glaces se répercute, en outre, sur le niveau des eaux océaniques ; à l'heure actuelle, la quantité d'eau piégée sous forme de glace correspond à une variation du niveau de la mer d'environ 30 m.

Les missions 113 (Weddell Sea) et 119 (Prydz Bay) ont été consacrées à l'étude sédimentologique des matériaux accumulés parallèlement au développement de calottes glaciaires de l'Antarctique occidental et oriental.

On a pu montrer que, dans le premier cas (mission 113), dans l'Antarctique occidental, la couche de glace a atteint son maximum d'extension il y a 6 à 8 Ma (Miocène supérieur) et que les premiers temps de son développement ont coïncidé avec une période de grande instabilité climatique, au cours de laquelle le phénomène de glaciation a subi de larges fluctuations.

Dans le second cas (mission 119), les analyses sédimentologiques et en particulier celles réalisées sur base des isotopes stables, ont permis d'établir que la glaciation en Antarctique avait débuté plus tôt qu'estimé initialement ; des sédiments d'origine glaciaire ont été datés du début de l'Oligocène, voire même de l'Éocène, ce qui reporte la première formation de la couche de glace à environ 42 Ma. Ces mêmes analyses semblent indiquer que l'extension des glaces sur l'Antarctique oriental a, pour sa part, débordé largement de son aire actuelle.

L'ensemble de ces données a nécessité la révision des estimations faites jusqu'à présent sur les variations climatiques qui auraient caractérisé le Cénozoïque. Ce volet des études climatologiques est essentiel, car on sait combien une bonne connaissance de ces variations va conditionner nos prévisions pour les décennies à venir.

À l'opposé, l'étude des dépôts répartis dans la zone septentrionale de l'océan Indien, en relation avec les courants atmosphériques tropicaux, la mousson tout particulièrement, a permis d'apporter une série de précisions sur l'influence des variations positives du relief dans l'Himalaya, sur l'intensité des vents

saisonniers, sur l'influence d'une modification de l'insolation liée aux changements orbitaux du globe terrestre enregistrés par la géologie et sur la productivité liée aux courants d'upwelling enregistrés dans les sédiments organiques.

La mission 116 (Bengal Fan), réalisée au travers du prisme sédimentaire du Golfe du Bengale, a permis de récolter, très loin à l'intérieur du domaine océanique, des séries sédimentaires détritiques grossières d'âge Miocène inférieur (environ 20 Ma), indiquant par là que la période de surrection principale de l'Himâlaya s'est produite plus tôt qu'estimé jusqu'à présent. La mission 117 (Oman Margin), dont l'objectif visait à préciser le moment d'apparition des moussons d'été dans l'océan Indien et à cerner leur évolution et leurs effets sur le climat général, a fourni un échantillonnage complet, sur plus de 10 Ma, des accumulations sédimentaires constituées par les apports alternés des courants d'upwelling en saison de mousson et des flux éoliens d'origine continentale.

L'étude des variations des paramètres sédimentaires *ad hoc* confirme les modèles qui mettent en parallèle l'intensité de la mousson avec une modification de l'orbite terrestre autour du soleil ; des modifications à plus longues périodicités sont également décelées qui, elles, semblent plutôt être le résultat du processus de remontée isostatique de la chaîne himalayenne. Quant au phénomène d'upwelling, il se manifeste, tant au niveau de la faune que de la flore, dès le début du Miocène supérieur, il y a plus ou moins 10 Ma.

Dans la perspective, aujourd'hui prioritaire, des études sur les variations climatiques, l'examen des premiers échantillons récoltés dans les parties les plus anciennes des bassins océaniques actuels (sédiments d'âge jurassique) a apporté pour la première fois un certain nombre d'informations sur le climat qui prévalait au Jurassique moyen et terminal. Seule, la présence d'organismes à coquilles siliceuses (radiolaires) y a été décelée, indice d'un milieu très pauvre en nutriments ; la circulation océanique y était donc peu active et les vents faibles, conditions généralement liées à la prédominance d'un climat global plus chaud et à des écarts peu importants de température entre les pôles et l'équateur. Cette analyse d'une situation passée complète ainsi partiellement les données actuellement en voie d'interprétation.

3.2. LE VOLET TECHNOLOGIQUE DES FORAGES OCÉANIQUES

Cette partie du programme relève de la responsabilité du Coordonnateur scientifique (Texas A & M University) et du Groupe de recherche «forage» du Lamont-Doherty Geological Observatory. Les mises au point successives ont abouti à un développement technique remarquable de l'outil, suivi de façon régulière par les responsables des industries concernées ou par certains chefs de projet engagés dans d'autres campagnes aux États-Unis ou à l'extérieur de ceux-ci.

Les principales innovations se sont portées essentiellement sur la procédure de forage et le relevé *in situ*, dans le conduit foré, du maximum de paramètres physiques et chimiques.

- En l'absence de couverture sédimentaire, la réalisation de forages visant à connaître la composition et la structure de la croûte océanique profonde dépend étroitement des moyens techniques disponibles, en particulier pour l'implantation directe du forage sur le basalte à nu. Les missions 106 (Mid-Atlantic Ridge), 109 (*idem*) et 118 (SW Indian Ridge) avaient pour objectif cette étude de faisabilité avec la mise à l'épreuve d'un *Guide sonde* prévu à cet effet (HRGB : Hard Rock Guide Base, Fig. 8). Il s'est également révélé particulièrement adapté aux implantations sur roches fracturées.
- Le système de carottage (*Diamond Coring System*) a subi quelques adaptations pour faciliter le forage à grande profondeur et un meilleur carottage des roches dures fracturées. Les premiers essais ont eu lieu lors de la mission

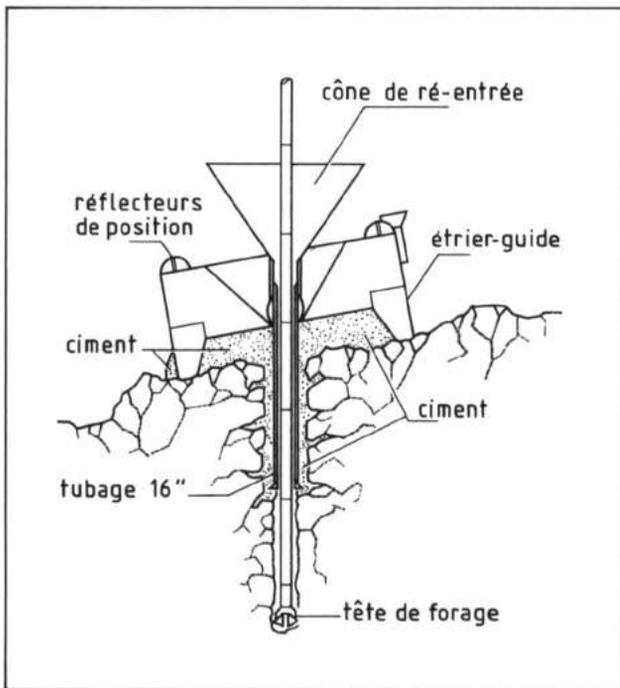


Fig. 8. — Schéma du Guide sonde destiné à assurer l'implantation du forage sur roches dures et/ou fracturées.

Source : ODP-Leg 132 engineering prospectus, 1989, 2, Texas A & M University et ODP Long Range Plan 1989-2002, mai 1990, p. 8. Joint Oceanographic Institutions Inc., Washington DC.

124E (tests techniques réalisés dans le Sud-Est asiatique). Dans la suite, les adaptations à des situations géologiques particulièrement délicates ont été réévaluées, en particulier dans le cadre de la stabilisation du forage sur roches dures à nu, dans des formations fracturées ou instables, dans les roches cristallines ou au sein des séquences sédimentaires où alternent des bancs de craie et de chert, ou encore dans les formations carbonatées de faible profondeur d'eau des zones d'atolls ou de guyots.

Au cours du premier trimestre 1990, un nouveau système de carottage, capable de forer à 4500 m, nettement amélioré par rapport aux précédents (Fig. 9), a donc été testé. En principe, il s'agit d'un instrument de forage, commandé à partir d'une plateforme de contrôle, escamotable, située dans le derrick à 14 m de hauteur. De petit diamètre (10 cm), à rotation rapide, cet instrument est garni d'un outil à tête diamantée finement striée ; il est protégé, dans la colonne d'eau, dans un tubage externe de 12 cm environ, entraîné par un moteur électrique de 800 chevaux et comporte deux systèmes de compensation de houle, dont un secondaire qui contrôle la charge, spécialement réduite (900-2500 kg), agissant sur la tête de forage.

Les six éléments constitutifs ont été assemblés et vérifiés lors d'expérimentations à terre avant d'être mis en fonctionnement au cours des opérations prévues pour la mission 132 (Tests techniques II ; Sumisu Rift et Shatsky Rise).

L'ensemble de l'essai a été satisfaisant, seule l'unité secondaire de compensation de houle a posé quelques difficultés. Deux composants méritent d'être améliorés, la fixation au fond du Guide sonde (Hard Rock Guide Base) et le système de récupération de la carotte de sondage.

- Le *cône de réentrée (Free Fall Reentry Cone)* a bénéficié d'améliorations au fur et à mesure des essais (Fig. 8) ; à l'heure actuelle, il peut être envoyé sur le fond, librement, le long des tiges de forage, et ce lorsque, pour une raison quelconque, les opérations de forage ont dû être rapidement interrompues (bris de la tête de forage, opération de pêche en cours,...).
- Un *carotteur sous pression (Pressure Core Sampler)* a été testé au cours de la mission technique 124E ; il permet de réduire la taille des carottes et par là facilite les traitements ultérieurs sur le bateau ; il permet également le prélèvement de gaz et de liquides qui peuvent être congelés dans la chambre pressurisée du carotteur sous forme d'hydrates et transférés pour stockage.
- Un système de *télévision* en eau profonde, couplé à un sonar, a été développé de façon à améliorer les procédures de réentrée des tiges de forage ; ce système a fonctionné jusqu'à 5425 m de profondeur.

Le sonar, à haute résolution, a été conçu pour le levé et l'inspection des zones du fond océanique choisies pour l'implantation du sondage. Il peut être utilisé à l'extérieur des tubes de forage, en parallèle avec la caméra TV, ou à l'intérieur de ceux-ci sur le câble technique.



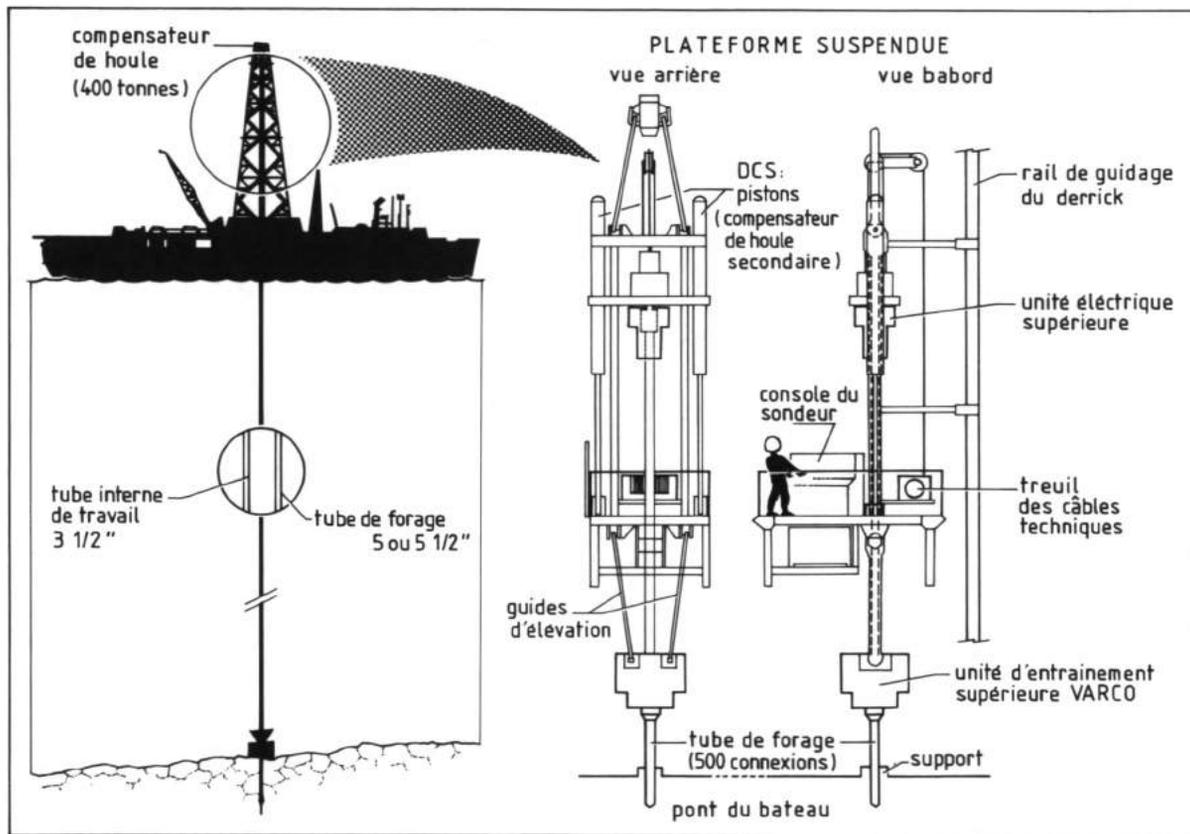


Fig. 9. — Configuration de la plate-forme de forage embarquée sur le *JOIDES Resolution*.
 Source : ODP-Leg 132 engineering prospectus, 1989, 2, Texas A & M University.

Plus spécialement, au cours des cinq dernières années, les appareillages d'analyses et de mesures *in situ* ont été affinés, diversifiés et adaptés en vue d'augmenter le nombre de paramètres à relever, tout en préservant la rapidité des opérations.

— L'unité d'échantillonnage des fluides et de mesure de la perméabilité d'une formation sédimentaire ou magmatique (TAM Wireline Packer, Fig. 10) est actuellement opérationnelle. Elle permet de mesurer la pression, la température, la salinité, le pH et les teneurs en Na et Ca des fluides inclus dans une formation donnée, et les transmet en temps réel à la surface. L'incidence de ces paramètres sur les données relevées lors de l'étude géophysique peut, dès lors, être estimée.

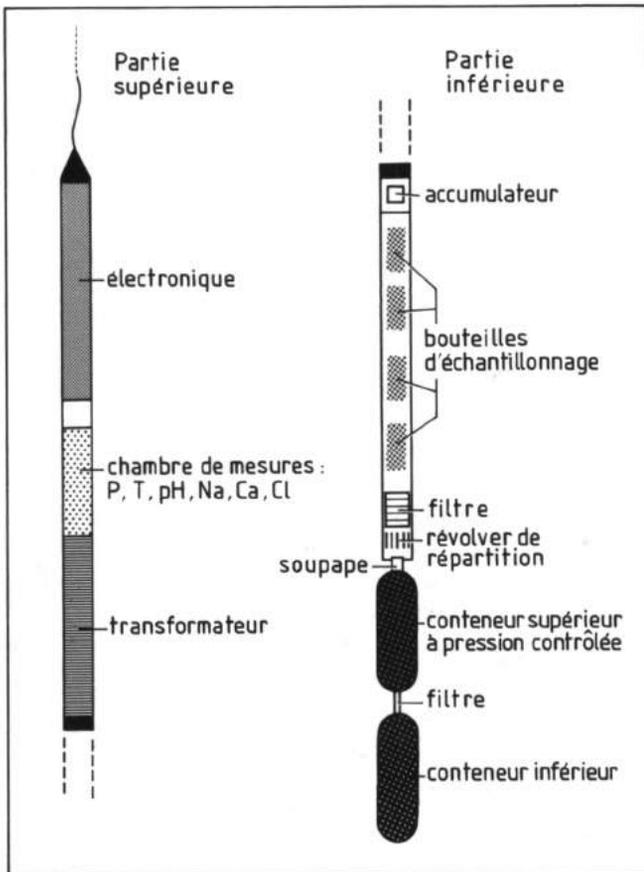


Fig. 10. — Principe de l'appareillage d'échantillonnage des fluides et de mesure *in situ*, en temps réel, de leur composition et de la porosité.

Source : Draft ODP FY91 Program Plan of the Ocean Drilling Program, June 1, 1990, Washington DC, Appendix B-LDGO, fig. 18.

- Une télé-caméra digitale a été mise au point en collaboration avec la firme allemande WBK ; elle enregistre le pouvoir réflecteur le long du sondage ; elle transmet un enregistrement de 600 points par rotation. Les tracés des fractures et des contacts entre couches sont repérés, et les directions des contraintes tectoniques associées aux joints de tension sont transcrites et orientées directement au niveau de la plaque océanique elle-même.
- Les *unités de mesure géochimique* ont été développées de telle sorte qu'elles permettent actuellement des analyses précises des compositions en SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , FeO , CaO , K_2O , Na_2O et MgO , en FeS , en Terres Rares et en U et Th, indépendamment d'une calibration de la carotte de sondage ; ces résultats sont obtenus, pour la plupart, par activation neutronique et analysés en spectrométrie gamma.

Par ailleurs, *l'intégration automatique* des mesures géochimiques et géophysiques dans les opérations de relevé systématique des paramètres le long du sondage a abouti à des résultats d'une importance capitale pour notre connaissance des caractéristiques physico-chimiques de la croûte océanique, en particulier pour ce qui concerne le relevé du chimisme de la couche océanique profonde (cf. pt 1).

- Un *microscanner de haute résolution* (résolution verticale de 2 mm) a été adjoint à la panoplie des outils de mesure *in situ* ; il enregistre la résistivité électrique structurale tout le long de la paroi du sondage et permet d'estimer avec précision la profondeur et l'orientation de l'échantillon lors du prélèvement du carottage.

L'utilisation combinée des différents appareillages de mesure *in situ* et les améliorations dont ils ont été l'objet, ont entraîné d'office un meilleur retour quant au recueil des données, en qualité et en quantité. Plus de 16 000 m de forage ont été télé-enregistrés au cours des missions 101 à 119 ; pour les dix premières, 45% du métrage foré ont pu être paramétrés. Pour les suivantes, ce pourcentage a atteint 82%, et le temps consacré à cette opération (environ 1,3 million de données) a été nettement réduit comparé à celui qui avait été nécessaire pour les relevés semblables (0,5 million de données) entrepris lors des premières missions.

Ces conditions favorables ont autorisé des études lithologiques très précises, qui ont permis de constituer un catalogue documenté des paramètres physiques et chimiques de certaines séries magmatiques liées aux zones de subduction (variétés andésitiques, diversité des boninites,...), aux dorsales médioocéaniques (présence des péridotites) ou encore aux lithologies profondes du domaine intra-plaque lui-même. Elles ont permis également de faire apparaître l'importance des cycles de Milankovitch dans le développement du processus sédimentaire et leur liaison avec les variations des caractéristiques de l'orbite terrestre.

La présence du *JOIDES Resolution* dans le Pacifique Ouest a engendré le développement de projets de collaboration entre des équipes «océaniques» travaillant sur des bateaux différents, japonais plus spécialement (*Tansei-Maru* et *Kaiko-Maru 5*). Une étude conjuguée en séismique oblique a permis de définir la structure détaillée de la croûte océanique de la zone à l'ouest du Japon. Pour ce faire, un séismomètre digital à large bande a été mis en place à 715 m sous la surface de l'eau, dans le forage 794D (mission 128, Japan Sea II). Ce séismomètre est actuellement maintenu en place et utilisé pour la surveillance à long terme de la sismicité dans la mer du Japon. Simultanément, il permettra d'établir progressivement une image, dans les 3 dimensions, de la structure crustale à l'interface croûte-manteau dans cette région.

5. Les défis ODP

Le programme de forages profonds, entrepris au sein même des divers domaines océaniques, s'est révélé être d'emblée un vecteur important du développement prodigieux des sciences de la Terre, tant au niveau de la recherche individuelle qu'à celui de la coordination de projets globaux nécessitant le recueil d'un maximum de données.

Sur le plan individuel, ce programme a été suivi de près, dès sa conception, par un très grand nombre de scientifiques ; une vingtaine de pays s'y sont impliqués financièrement dans une perspective à long terme, et ont accepté de se soumettre à un processus de sélection des projets à l'intermédiaire de groupes d'experts choisis parmi les scientifiques eux-mêmes ; les actions retenues relèvent donc d'initiatives individuelles passées au crible de critères internationaux. À l'heure actuelle, plusieurs centaines de propositions ont été déposées ; elles ont fait l'objet d'adaptation au cours de plusieurs allers et retours entre les différentes commissions et leurs initiateurs (Fig. 11). Celles qui finalement ont été retenues ont été adaptées aux cadres thématiques de référence et ajustées aux caractéristiques régionales du domaine exploré. Les protocoles de réalisation, résultats d'une collaboration scientifique internationale, sont à cet égard sans précédent ; agréés en dernière analyse par la Commission du Programme (PCOM), ils sont intégrés, suivant les priorités scientifiques convenues par le groupe JOIDES, et administrés pour la mise en œuvre par quelque 200 personnes, toutes volontaires. Il s'agit là, comme le soulignait l'un des premiers présidents de PCOM, du «best intellectual bang for the buck in science today».

Par ailleurs, les participations aux missions en mer (29) ont été accordées à plus de 740 scientifiques ; ils ont récolté plus de 300 000 échantillons. Plus de 1000 chercheurs, répartis dans une trentaine de pays, en ont obtenu une partie importante pour examens divers et une centaine d'entre eux ont eu accès aux enregistrements de sondage ou ont utilisé les données du Centre d'analyse (Log Analysis Center).

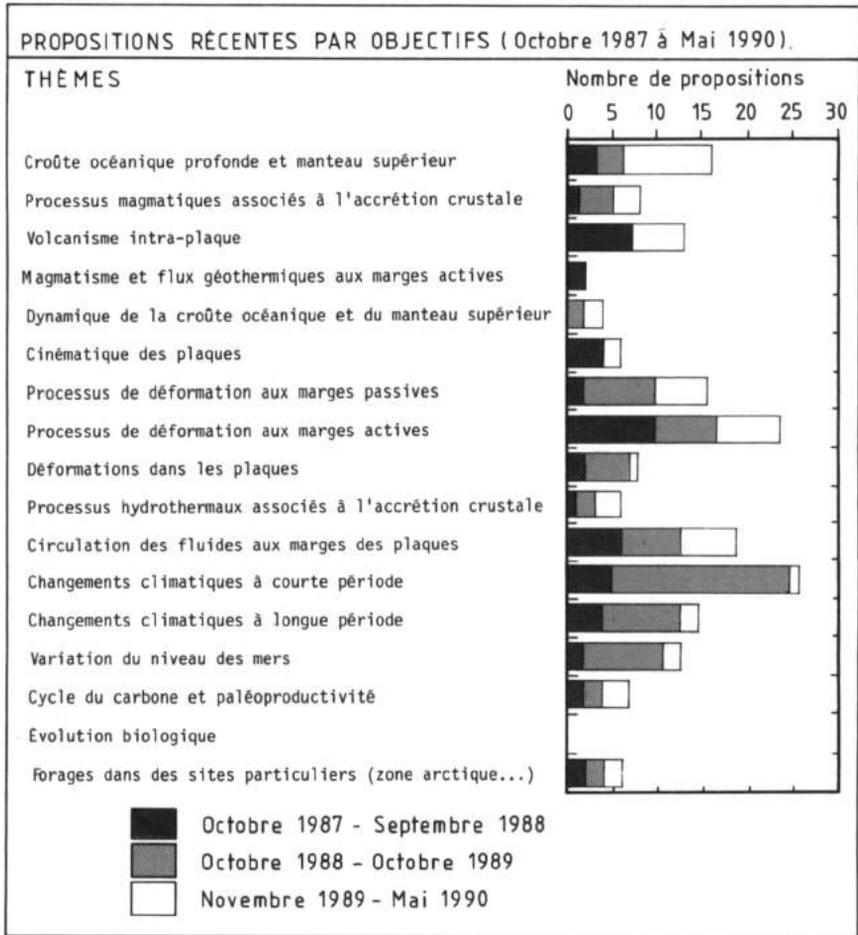


Fig. 11. — Propositions ODP, réparties suivant les grands thèmes de référence, déposées dans le cadre des missions prévues dans l'océan Pacifique (suite) et l'océan Atlantique (retour) (oct. 1987 - mai 1990).

Source : Abstract of the ODP proposals received at the JOIDES office since June 1989. — ODP and JOIDES Executive Committee meetings, Washington DC, 22-22 June 1990, p. 53.

Dans un but de développement de la formation, des écoles de «logging» ont été organisées au Japon, en Grande-Bretagne, en France, en Allemagne de l'Ouest et aux États-Unis. À chaque fois, au cours de 2 journées entières, les principes généraux et les techniques d'utilisation de l'instrumentation d'enregistrement, de même que la gamme des applications possibles, ont été exposés. Les collaborations avec les responsables scientifiques du pays hôte ont été assurées au mieux et ont favorisé les échanges avec les experts des entreprises intéressées.

Enfin, des appels à la collaboration des scientifiques des pays en voie de développement ont abouti à la mise au point d'un protocole d'association à certains projets. Un programme pilote sur base d'un financement particulier, assuré par l'Université de Miami, a permis à un chercheur indien de participer à la mission 116 (Bengal Fan) pour y développer des recherches sur la géochimie et la minéralogie des sédiments du prisme détritique étalé dans cette zone de l'océan Indien. Actuellement, une enquête a été entamée auprès des pays participant aux missions ODP afin de cerner au mieux les contributions qu'assureraient aujourd'hui déjà des ressortissants des PVD, autres que celles, légalement obligatoires, liées aux demandes d'autorisation de manœuvres dans les eaux territoriales. Ces contributions ne semblent guère nombreuses ; l'aspect fondamental du projet, où les objectifs d'application ne concernent surtout que l'instrumentation de forage et de télémesures, ne suffit pas à éveiller l'intérêt pour les recherches dans le domaine océanique.

À la demande du Président du Comité exécutif (EXCOM), les Institutions océanographiques impliquées préparent un plan d'élargissement de la participation à ODP, où serait favorisé, à l'intermédiaire d'une aide financière adéquate, l'appel aux scientifiques des pays du Tiers Monde.

Cette initiative a été encouragée par la «European Science Foundation» qui n'a cessé également d'inciter et de favoriser la participation de jeunes chercheurs et techniciens, voire d'étudiants post-gradués, aux missions en mer et/ou aux recherches dans les laboratoires associés.

Participer à un programme dont l'ampleur analytique n'a fait que se développer au cours des dernières années nécessite une préparation minutieuse des propositions et, par là, une reconnaissance adéquate des sites envisagés. Pour la Belgique, comme pour les «petits» pays européens, il s'agit, certes, d'être actifs dans les eaux de l'Atlantique et de la Méditerranée qui ont toujours été des «terrains» de prédilection, mais il est également important de s'investir, sur une base thématique élargie, dans les autres domaines océaniques. Pour ce faire, plus que jamais, il est nécessaire d'activer la coopération «Outre-Mer» des participants européens, en l'orientant vers la prise en considération des multiples approches qui permettront de tester, sur base d'une technologie de pointe, les grands modèles globaux qui constituent aujourd'hui la trame sur laquelle s'édifient les sciences de la Terre.

NOTES

- [1] Les dix institutions concernées forment le groupe JOI qui comprend : la «Scripps Institution of Oceanography of the University of California» (SIO), le «Lamont-Doherty Geological Observatory of Columbia University» (L-DGO), la «Woods Hole Oceanographic Institution» (WHOI) et la «Rosenfield School of Marine and Atmospheric Sciences of the University of Miami» (RSMAS), auxquels se sont jointes par la suite les Universités de Washington, Hawaï, Rhode Island, Texas A & M et Oregon State.
- [2] Un exemplaire des *Proceedings* est déposé dans chacune des universités belges qui participent au programme, à savoir : ULB, ULG, KUL et RUG.
- [3] Andésite vitreuse à olivine et bronzite avec peu ou pas de feldspath (PETERSEN 1891 ; Iles de Bonin, Japon).

RÉFÉRENCES

La documentation réunie pour la réalisation de cette synthèse a été essentiellement constituée à partir des informations diffusées dans :

- *JOIDES Journal*. — Ed. : Joint Oceanographic Institutions Inc., Washington, DC.
- *Ocean Drilling Program Site Summaries*
- *Leg's Preliminary Reports*
- *Leg's Scientific Prospectus*
- *Leg's Engineering Prospectus*
- FY89-92 ODP Program Plan. — ODP Council Meeting, Washington DC, 1988
- Draft ODP FY91 Program Plan of the Ocean Drilling Program. — ODP Council Meeting, Washington DC, 1990
- *ODP Long Range 1989-2002*. — Ed. : Joint Oceanographic Institutions Inc., Washington DC, 1990.

Les observations réalisées au cours des missions ODP font l'objet de publications préliminaires dans plusieurs périodiques dont, en particulier, *Geotimes* et *Nature*. L'ensemble des données et leurs traitements sont réunis dans les volumes A et B des *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Initial Reports & Scientific Results*. — National Science Foundation, Joint Oceanographic Institutions Inc.

DISCUSSION

J.-J. Symoens. — Les carottes ramenées à l'occasion des sondages en mer profonde ont-elles apporté, au moins dans leur partie superficielle, des données paléontologiques (foraminifères, silicoflagellés, diatomées, spores et pollens)?

J. Michot. — Je n'ai guère envisagé l'apport résultant des recherches paléontologiques. Vous voudrez bien m'en excuser, d'autant qu'il est important ; mais je ne pouvais aborder tous les thèmes pris en considération dans l'ensemble du programme ODP. Il est évident que les données paléontologiques dont vous vous inquiétez font l'objet d'une attention sérieuse et que chaque élément du carottage recueilli est analysé sur cette base également. Les données qui en sont tirées sont interprétées dans diverses

perspectives : étude de l'évolution biologique en réponse, par exemple, aux modifications du milieu, signification de cette évolution dans le cadre des analyses sur les changements climatiques, comparaison des séquences biostratigraphiques, etc. Dernièrement, des propositions de collaboration ont été sollicitées en vue de la constitution de collections de référence en ce qui concerne les radiolaires. Actuellement, huit Centres Paléontologiques de Référence ont été créés et s'occupent du matériel de référence se rapportant aux foraminifères, nannofossiles et diatomées. Le travail dans ce domaine ne manque donc pas.

R. Paepe. — En suite de la question du Secrétaire perpétuel, je signale la corrélation des éléments biostratigraphiques qu'établissent l'étude des carottes prélevées en mer profonde et celle des prélèvements continentaux. La corrélation existe, par exemple, entre les foraminifères de l'Atlantique Nord et les pollens lacustres de Bogota. En outre, *Staltractus universus* s'arrête toujours aux niveaux isotopiques d'oxygène 11/12 dans tous les sondages océaniques.

Séance du 28 juin 1991

(Extrait du procès-verbal)

En l'absence du directeur, la séance est ouverte à 14 h 30 par M. A. Deryttere, doyen d'âge des membres titulaires présents, assisté de Mme L. Peré-Claes, secrétaire des séances.

Sont en outre présents : MM. F. Bultot, J. Charlier, I. de Magnée, P. Fierens, G. Heylbroeck, A. Lederer, J. Michot, R. Sokal, J. Van Leeuw, R. Wambacq, membres titulaires ; MM. W. Loy, J.-J. Peters, U. Van Twembeke, membres associés.

Absents et excusés : MM. P. Beckers, J. Debevere, M. De Boodt, J. De Cuyper, H. Deelstra, P. De Meester, J.-J. Droesbeke, A. François, G. Froment, A. Lejeune, L. Martens, J. Roos, M. Snel, F. Suykens, R. Tillé ; MM. R. Vanbreuseghem, secrétaire perpétuel honoraire, et J.-J. Symoens, secrétaire perpétuel.

Décès de M. Paul Herrinck

Le Président de séance annonce le décès, survenu il y a probablement quelques années déjà, de M. Paul Herrinck, membre correspondant honoraire.

Le Président retrace brièvement la carrière scientifique du défunt.

La Classe se recueille ensuite en souvenir du Confrère disparu.

La Classe désigne M. U. Van Twembeke pour la rédaction de l'éloge de M. Herrinck.

«Toekomstige vorming op gebied van irrigatie : Noden, Strategieën en Middelen»

Le Président de séance accueille M. J. Feyen, professeur à la Katholieke Universiteit Leuven, invité par le Bureau de l'Académie à présenter une communication devant la Classe.

M. J. Feyen présente ensuite son étude intitulée comme ci-dessus.

MM. R. Sokal, W. Loy, U. Van Twembeke, J.-J. Peters et R. Wambacq interviennent dans la discussion.

Zitting van 28 juni 1991

(Uittreksel van de notulen)

In afwezigheid van de directeur wordt de zitting geopend te 14 h 30 door de H. A. Deruyttere, deken van jaren van de aanwezige werkende leden, bijgestaan door Mevr. L. Peré-Claes, secretaris der zittingen.

Zijn bovendien aanwezig : De HH. F. Bultot, J. Charlier, I. de Magnée, P. Fierens, G. Heylbroeck, A. Lederer, J. Michot, R. Sokal, J. Van Leeuw, R. Wambacq, werkende leden ; de HH. W. Loy, J.-J. Peters, U. Van Twembeke, geassocieerde leden.

Afwezig en verontschuldigd : De HH. P. Beckers, J. Debevere, M. De Boodt, J. De Cuyper, H. Deelstra, P. De Meester, J.-J. Droesbeke, A. François, G. Froment, A. Lejeune, L. Martens, J. Roos, M. Snel, F. Suykens, R. Tillé ; MM. R. Vanbreuseghem, erevast secretaris, en J.-J. Symoens, vast secretaris.

Overlijden van de H. Paul Herrinck

De Voorzitter van de zitting meldt het overlijden, overkomen waarschijnlijk sinds enkele jaren, van de H. Paul Herrinck, erecorresponderend lid.

De Voorzitter beschrijft in 't kort de wetenschappelijke loopbaan van de overledene.

De Klasse bewaart een ogenblik stilte ter nagedachtenis van de overleden Confrater.

De Klasse duidt de H. U. Van Twembeke aan om de lofrede van de H. Herrinck op te stellen.

Toekomstige vorming op gebied van irrigatie : Noden, Strategieën en Middelen

De Voorzitter van de zitting verwelkomt de H. J. Feyen, professor aan de Katholieke Universiteit Leuven, uitgenodigd door het Bureau van de Academie om een mededeling voor te leggen voor de Klasse.

De H. J. Feyen stelt vervolgens zijn studie voor getiteld als hierboven.

De HH. R. Sokal, W. Loy, U. Van Twembeke, J.-J. Peters en R. Wambacq komen tussen in de bespreking.

**Problèmes de navigation fluviale
dans les bassins de l'Amazone et de l'Orénoque
dans les Pays andins**

M. J.-J. Peters présente une étude intitulée comme ci-dessus.

MM. R. Sokal, A. Lederer, J. Charlier et P. Fierens interviennent dans la discussion.

La Classe décide la publication de cette étude dans le *Bulletin des Séances*.

Situation des transports au Zaïre

M. J. Charlier présente une courte communication relative aux problèmes de transport rencontrés au Zaïre le long de la Voie nationale.

Les dégradations de cette voie, vitale pour l'économie zaïroise, sont de plus en plus profondes et de très gros efforts seront indispensables, même pour une simple restauration ; certains tronçons sont devenus presque inutilisables par suite de la vétusté de l'infrastructure et du matériel d'exploitation.

En ce qui concerne la navigation fluviale, les conditions de sécurité rappellent la situation qui prévalait vers 1925, avant les campagnes d'études et de travaux de l'entre-deux-guerres.

La navigation maritime, par contre, s'effectue aujourd'hui en toute sécurité et avec des profondeurs satisfaisantes.

Les volumes de trafic sont en baisse continue de l'ordre de 10% annuellement depuis plusieurs années ; cette baisse s'est fortement accentuée en 1991, atteignant environ 35% par rapport à 1990.

Il est à craindre que, de ce fait, les ressources financières des organismes de transport ne leur permettent plus aucune activité d'entretien et que la dégradation constatée ne s'aggrave encore.

La séance est levée à 17 h 20.

**«Problèmes de navigation fluviale
dans les bassins de l'Amazone et de l'Orénoque
dans les Pays andins»**

De H. J.-J. Peters stelt een studie voor getiteld als hierboven.

De HH. R. Sokal, A. Lederer, J. Charlier en P. Fierens komen tussen in de bespreking.

De Klasse beslist deze studie te publiceren in de *Mededelingen der Zittingen*.

Toestand van het vervoer in Zaïre

De H. J. Charlier stelt een korte mededeling voor aangaande de vervoerproblemen in Zaïre langs de Nationale Weg.

De aftakeling van deze weg, levensnoodzakelijk voor de Zaïrese economie, wordt steeds erger en grote inspanningen zullen nodig zijn, zelfs voor een gewone reparatie; zekere delen zijn bijna onbruikbaar geworden ingevolge de ouderdom van de infrastructuur en het exploitatie-materiaal.

Wat de binnenvaart betreft, doen de veiligheidsvoorwaarden denken aan de toestand van 1925, van vóór de periode van studies en werken tussen de twee oorlogen.

Wat de zeevaart echter betreft, deze gebeurt ten dage in volle veiligheid en met voldoende diepten.

Het volume van het verkeer daalt bestendig met ongeveer 10% per jaar sinds enkele jaren; deze daling werd erg beklemtoond in 1991, met ongeveer 35% ten opzichte van 1990.

Het is daardoor te vrezen dat de financiële inkomsten van de vervoersorganismen hen geen enkele activiteit meer zullen toelaten en dat de vastgestelde aftakeling nog erger wordt.

De zitting wordt geheven te 17 h 20.

TABLE DES MATIÈRES — INHOUDSTAFEL

Classe des Sciences morales et politiques
Klasse voor Morele en Politieke Wetenschappen

Séance du 16 avril 1991/Zitting van 16 april 1991	268 ; 269
R. DEVISCH. — De <i>mbwoolu</i> genezingscultus bij de Yaka van Zaïre	273
Séance du 21 mai 1991/Zitting van 21 mei 1991	296 ; 297
J. COMHAIRE. — Souvenirs sur l'information de guerre au Congo belge	301
Séance du 18 juin 1991/Zitting van 18 juni 1991	310 ; 311
J. EVERAERT & C. DE WILDE. — Pindanoten voor de ontlukende industriële revolutie. Een alternatieve kijk op de Belgische commerciële expansie in West- Afrika (1844-1861)	317
M. KANE. — Sur l'histoire littéraire africaine	349

Classe des Sciences naturelles et médicales
Klasse voor Natuur- en Geneeskundige Wetenschappen

Séance du 23 avril 1991/Zitting van 23 april 1991	372 ; 373
J.-C. MICHA & V. FRANK. — Ressources et caractéristiques piscicoles des lacs rwandais (Bassin nilotique)	379
E. A. BERNARD. — Le problème du réchauffement terrestre et ses conséquences sur l'agriculture tropicale	399
J. MORTELMANS. — De nefaste rol van de Afrikaanse Bonte Teek (<i>Amblyomma variegatum</i>) bij de veteelt in de Caraïben	417
Séance du 28 mai 1991/Zitting van 28 mei 1991	426 ; 427
Séance du 25 juin 1991/Zitting van 25 juni 1991	432 ; 433
C. VANDEN BERGHEM. — La végétation des terrasses sablonneuses, à sol peu évolué, en Basse Casamance (Sud du Sénégal)	437

Classe des Sciences techniques
Klasse voor Technische Wetenschappen

Séance du 26 avril 1991/Zitting van 26 april 1991	464 ; 465
Séance du 31 mai 1991/Zitting van 31 mei 1991	470 ; 471
J. MICHOT. — ODP — Le programme de forage océanique. Résultats scientifiques et défis technologiques	475
Séance du 28 juin 1991/Zitting van 28 juni 1991	508 ; 509

CONTENTS

Section of Moral and Political Sciences

Meeting held on 16 April 1991	268
R. DEVISCH. — The <i>mbwoolu</i> healing cult of the Yaka of Zaïre	273
Meeting held on 21 May 1991	296
J. COMHAIRE. — Memories of the war-information in the Belgian Congo	301
Meeting held on 18 June 1991	310
J. EVERAERT & C. DE WILDE. — Peanuts for the awakening industrial revolution. An alternative appraisal of the Belgian commercial expansion in West-Africa (1844-1861)	317
M. KANE. — On African literary history	349

Section of Natural and Medical Sciences

Meeting held on 23 April 1991	372
J.-C. MICHA & V. FRANK. — Fish resources and fish population characteristics of the lakes of Rwanda (Nile Basin)	379
E. A. BERNARD. — The problem of the global warming and its consequences on tropical agriculture	399
J. MORTELMANS. — The baleful role of the African Bont Tick (<i>Amblyomma variegatum</i>) on Caribbean livestock	417
Meeting held on 28 May 1991	426
Meeting held on 25 June 1991	432
C. VANDEN BERGHEM. — The vegetation of the sandy terraces on poorly developed soils of Lower Casamance (Southern Senegal)	437

Section of Technical Sciences

Meeting held on 26 April 1991	464
Meeting held on 31 May 1991	470
J. MICHOT. — ODP — Oceanic Drilling Programme. Scientific results and techno- logical challenges	475
Meeting held on 28 June 1991	508