

Nous avons montré, qu'après activation par l'IFN- γ , une lignée de macrophages (2C11-12) produit des DO qui induisent un signal de CL quand ils interagissent avec des microorganismes opsonisés avec des anticorps. Par contre, *T. cruzi*, sous diverses conditions expérimentales, (opsonisation par anticorps, par fibronectine, ...), n'induit pas de chimioluminescence. Ces résultats indiquent clairement une absence d'effet déclencheur de l'explosion respiratoire des macrophages activés. Alternativement, nous émettons l'hypothèse que l'élimination du parasite pourrait dépendre du métabolisme de l'arginine (VRAY *et al.* 1991).

3.2. MÉTABOLISME DE L'ARGININE ET PRODUCTION DE MONOXYDE D'AZOTE

Après activation par l'IFN- γ , les macrophages métabolisent la L-arginine en monoxyde d'azote (NO) et L-citruline grâce à une NO synthétase (Fig. 5). Le NO bloque l'action de métalloprotéines enzymatiques, ce qui pourrait rendre compte de son rôle cytotoxique. L'excès se transforme en ions nitrites et nitrates. Les nitrites, dosés par la réaction de Griess, permettent d'évaluer indirectement la production de NO. Celui-ci correspond à l'endothelium-derived-relaxing factor des cellules endothéliales (STUERH & MARLETTA 1987, HIBBS *et al.* 1987). L'IFN- γ est la seule cytokine qui induit à la fois la production de DO et de NO. De plus, son importance *in vivo* a été mise en évidence récemment (TORRICO *et al.* 1991). L'activation des macrophages par des associations IFN- γ /TNF- α ou IFN- γ /LPS augmente synergiquement la production de NO (DING *et al.* 1988). En présence d'analogues de structure de la L-arginine (N-monométhyl-L-arginine) ou d'arginase, les macrophages activés ne synthétisent pas de NO.

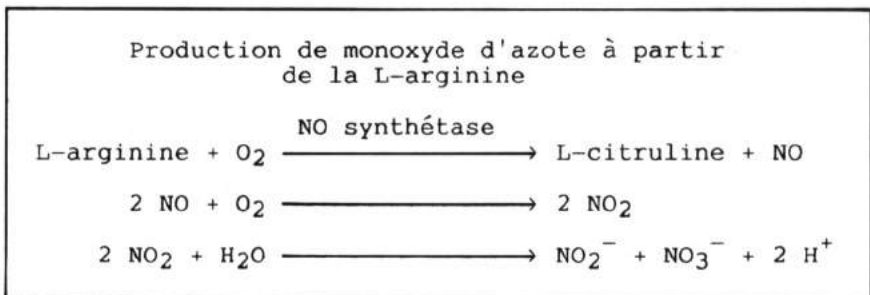


Fig. 5. — Métabolisme de la L-arginine et production de monoxyde d'azote.

En présence de dioxygène, la L-arginine est métabolisée en monoxyde d'azote et L-citruline. Le monoxyde d'azote, en bloquant les métalloprotéines enzymatiques, est cytotoxique pour les cellules cancéreuses et bon nombre de parasites. L'excès de monoxyde d'azote est à son tour éliminé sous forme d'ions nitrite et nitrate.

Le NO, produit par les macrophages activés, semble être responsable de la destruction des cellules tumorales (DRAPIER & HIBBS 1986), de *Cryptococcus neoformans* (GRANGER *et al.* 1988, ALSPAUGH & GRANGER 1991) et de certains parasites : *Trypanosoma muscili* (VINCENDEAU & DALOUÈDE 1991), *Leishmania major* (GREEN *et al.* 1990, LIEW *et al.* 1990), *Plasmodium yoelii* (NÜSSLER *et al.* 1991), *Plasmodium berghei* (MELLOUK *et al.* 1991) et des schistosomules de *Schistosoma mansoni* (JAMES & GLAVEN 1989). Dans tous les cas, l'activité anti-parasitaire est inhibée par de la N-monométhyl-L-arginine ou l'arginase.

Ces observations soulignent l'importance du métabolisme de la L-arginine dans la fonction anti-parasitaire des macrophages activés. Elles suggèrent qu'il pourrait en être de même dans l'élimination de *T. cruzi* par ces cellules. Il est probable que les deux métabolismes, oxygéné et nitré, interviennent dans des proportions variables. Mais à ce jour, aucune étude ne confirme cette hypothèse.

3.3. AUTRES MÉCANISMES DE DESTRUCTION DE *T. CRUZI*

A côté des métabolismes oxygéné et de l'arginine qui semblent de bons candidats pour expliquer la destruction de *T. cruzi* par des macrophages activés, diverses études évoquent l'intervention d'autres molécules.

L' α 2-macroglobuline est une glycoprotéine sérique qui inhibe les protéases. Le traitement des parasites par cette molécule inhibe l'invasion des macrophages. De plus, le traitement des macrophages avec l' α 2-macroglobuline les active et leur permet de tuer *in vitro* les trois stades de développement de *T. cruzi* sans affecter la production d' H_2O_2 (ARAUJO-JORGE 1986, 1989).

Le complément est capable de lyser un micro-organisme non opsonisé par la voie alterne ou, s'il est opsonisé avec des anticorps fixateurs du complément, par la voie classique. La lyse de *T. cruzi* par la voie classique du complément a été invoquée par BUDZKO *et al.* (1975), car l'inactivation du C3 par le venin de cobra augmente la parasitémie des souris. Par contre, les souris déficientes en C5 (donc incapables de développer la séquence complète de l'activation du complément) ne présentent pas une parasitémie plus importante que les souris normales. On suppose donc que les différentes souches de parasites auraient une capacité plus ou moins grande à modifier les anticorps fixateurs du complément et à déclencher l'activation anticorps-dépendante du complément (KRETTLI *et al.* 1979).

On n'observe pas de lyse des trypomastigotes de *T. cruzi* par la voie alterne du complément (NOGUEIRA *et al.* 1975). Elle n'est effective que sur les épimastigotes qui sont des formes vivantes chez le vecteur où ce système lytique n'existe pas.

La préincubation des macrophages avec du cord factor (tréhalose-6,6'-dimycolate) augmente l'association parasite/macrophage mais aussi la des-

truction du parasite par un mécanisme mal connu. On sait cependant que le peroxyde d'hydrogène ne serait pas impliqué (KIERSENBAUM *et al.* 1984).

Des anticorps dirigés contre un épitope carbohydraté présent sur la laminine de souris (galactosyl α 1-3 galactose) et détectés en grande quantité dans le sérum de patients chagasiques, sont responsables de la lyse directe du parasite, indépendamment de la voie classique ou alterne du complément (GAZZINELLI *et al.* 1991).

4. Mécanismes d'échappement

En réponse aux mécanismes variés destinés à l'éliminer, *T. cruzi* a développé, de façon adaptative, un ensemble ingénieux de mécanismes d'échappement lui permettant de persister chez son hôte vertébré pendant des années et de perpétuer ainsi son cycle parasitaire en dépit de la réponse immune de son hôte (TAIT & SACKS 1988, HALL & JOINER 1991).

4.1. AVANT LA PHAGOCYTOSE DE *T. CRUZI* PAR LES MACROPHAGES

4.1.1. Composant antiphagocytaire

Les trypomastigotes métacycliques (formes infectantes présentes dans les déjections du vecteur) entrent rapidement dans les macrophages et, chez l'hôte non immun, ils inhibent la fusion du phagosome les contenant avec les lysosomes (OSUNA *et al.* 1986). Ils se multiplient sous forme amastigote et se différencient en trypomastigotes qui sont relâchés dans le torrent sanguin, lors de la lyse de la cellule-hôte.

Entre-temps, la réponse immune se développe progressivement avec, notamment, l'activation des macrophages par diverses cytokines. Mais les trypomastigotes sanguins libérés présenteraient alors à leur surface un nouvel antigène qui semble s'opposer à la phagocytose du parasite par les seules cellules capables de le tuer : les macrophages activés. Il s'agit d'une glycoprotéine gp90 dont l'élimination par la trypsine augmente la parasitémie. Le blocage de la synthèse protéique par la cycloheximide empêche la réapparition de ce composant antiphagocytaire contenant de la N-acétyl-D-glucosamine (NOGUEIRA *et al.* 1981, NOGUEIRA 1986, CRANE & DVORAK 1982).

4.1.2. La fabulation

Au cours de la phase aiguë, la synthèse d'anticorps augmente progressivement. Il s'ensuit que les trypomastigotes opsonisés par ces anticorps sont plus facilement phagocytés par des macrophages pourvus de FcR en d'autant plus grand nombre qu'ils ont été activés par l'IFN- γ . Pour échapper à cette phagocytose anticorps-dépendante, les parasites semblent capables de sécréter une protéase qui coupe le fragment Fc des anticorps qui les recouvrent. Il ne subsisterait plus ainsi que les fragments Fab (d'où le terme fabulation)

incapables de lier le parasite au macrophage (Cf. § 2.3). Ce mécanisme limiterait la capture des trypomastigotes opsonisés par les macrophages activés (KRETTLI *et al.* 1980).

4.1.3. Le «capping-shedding» des complexes antigène-anticorps

Les anticorps spécifiques des amastigotes et des trypomastigotes (mais pas des épimastigotes) se lient à des épitopes membranaires et se rassemblent en une toute petite région du parasite («capping») puis sont relâchés dans le milieu extérieur («shedding»). Ce phénomène limiterait la capture du parasite par les macrophages (KLOETZEL & DEANE 1977, SCHUMNIS *et al.* 1978, LEON *et al.* 1979, SZARFMAN *et al.* 1980). Il faut cependant noter que le rôle des anticorps dans ce mécanisme a été récemment remis en question (GONÇALVES *et al.* 1991).

4.1.4. Inactivation de la lyse complément-dépendante

Les trypomastigotes produisent le Decay Accelerating Factor (DAF, KINOSHITA *et al.* 1986) qui interfère avec la formation et accélère la dégradation des convertases du C3, ce qui permet au parasite d'échapper à la lyse par le complément (KIPNIS *et al.* 1986, JOINER *et al.* 1988, RIMOLDI *et al.* 1988).

Une glycoprotéine de 58 Kd (non réduite) et de 68 Kd (réduite) inhibe la formation de la C3 convertase de la voie alterne de façon dose-dépendante. Elle est différente des autres protéines régulatrices humaines et parasitaires et procure au parasite un mécanisme supplémentaire d'échappement à la lyse par la voie alterne du complément (FISCHER *et al.* 1988).

4.1.5. Inhibition des dérivés oxygénés

Par un mécanisme encore indéterminé, *T. cruzi* semble échapper à l'action des dérivés oxygénés puisque les travaux de McCABE & MULLINS (1990) et VRAY *et al.* (1991) montrent que *T. cruzi* inhibe la production de dérivés oxygénés et ne déclenche pas de chémiluminescence (Cf. 3.1 et 3.2).

4.2. APRÈS LA PHAGOCYTOSE DE *T. CRUZI* PAR LES MACROPHAGES

Les macrophages incorporent *T. cruzi* par phagocytose et les vacuoles parasitophores contenant le parasite fusionnent avec les lysosomes (MILDER & KLOETZEL 1980). Que le parasite soit opsonisé ou non avec des anticorps, les vacuoles contiennent des glycoprotéines de membrane lysosomiale (caractéristique de la fusion effective des phagosomes avec les lysosomes) quelques dizaines de minutes après l'entrée du parasite. Après une heure ou deux, le parasite rompt la membrane vacuolaire et entre dans le cytoplasme où il se multiplie. Pour cela, il faut que la vacuole soit acidifiée et que le parasite relâche une hémolysine formant des pores comparables à ceux d'une hémolyse. En se réfugiant dans le cytoplasme, le parasite échappe au pH acide et aux

hydrolases capables de le détruire (TANOWITZ *et al.* 1975, MILDER & KLOETZEL 1980). Cette hémolysine est thermolabile et sensible à la trypsine ; elle lyse les érythrocytes d'espèces variées (ANDREWS 1990). L'activité de l'hémolysine est maximale à pH 5,5 et indétectable à pH neutre, indiquant qu'elle fonctionne dans le compartiment intracellulaire. Cette protéine pourrait être impliquée dans l'échappement de *T. cruzi* de sa vacuole parasitophore. En effet, l'incubation des macrophages avec des substances qui augmentent le pH intracellulaire empêche l'échappement du parasite dans le cytoplasme (LEY *et al.* 1990).

5. Conclusions

Les interactions entre *T. cruzi* et les macrophages comprennent d'abord une première étape de reconnaissance et d'adhérence du parasite à la cellule. Cette étape est assurée par divers systèmes de ligand/récepteur dont les effets peuvent s'additionner (FN, résidus carbohydratés, anticorps, etc.). La diversité des molécules impliquées dans la liaison parasite/macrophage ne permet pas d'espérer la découverte d'une molécule-cible dont les anticorps bloqueraient toute invasion des cellules par le parasite.

Par contre, certains macrophages peuvent quand même éliminer le parasite et déclencher la réponse immune. Celle-ci produit des anticorps et des cytokines, notamment de l'IFN- γ et du TNF- α , qui vont activer les macrophages et leur permettre d'éliminer le parasite notamment par la production de dérivés oxygénés et nitrés. Même si le parasite est capable d'esquiver l'action des dérivés oxygénés, on peut penser que le monoxyde d'azote, dérivé du métabolisme de la L-arginine, joue un rôle important par analogie avec d'autres parasites. En outre, la production de monoxyde d'azote est liée à l'activation des macrophages par l'IFN- γ qui apparaît ainsi comme une cytokine centrale dans les mécanismes antiparasitaires. On peut donc envisager des stratégies basées sur l'amplification de l'action de cette cytokine essentielle, afin d'infléchir favorablement l'équilibre très délicat entre les parasites et les macrophages. L'exploration de cette nouvelle voie est actuellement en cours dans notre laboratoire.

BIBLIOGRAPHIE

- ALCANTARA, A. & BRENER, Z. 1978. The *in vitro* interaction of *Trypanosoma cruzi* bloodstream forms and mouse peritoneal macrophages. — *Acta Tropica*, **35** : 209-219.
- ALCINA, A., & FRESNO, M. 1987. Activation by synergism between endotoxin and lymphokines of the mouse macrophage cell line J774 against infection by *Trypanosoma cruzi*. — *Parasite Immunol.*, **9** : 175-186.

- ALSPAUGH J. A. & GRANGER, D. L. 1991. Inhibition of *Cryptococcus neoformans* replication by nitrogen oxides support the role of these molecules as effectors of macrophage-mediated cytostasis. — *Infect. Immun.*, **59** : 2291-2296.
- ANDREWS, N. 1990. The acid-active hemolysin of *T. cruzi*. — *J. Exp. Parasitol.*, **71** : 241-244.
- ARAUJO-JORGE, T. C., 1986. Interactions of *Trypanosoma cruzi* with macrophages : effect of previous incubation of the parasites or the host cells with lectins. — *Z. Parasitenkd.*, **72** : 153-171.
- ARAUJO-JORGE, T. C., 1989. The biology of *Trypanosoma cruzi*-macrophage interaction. — *Mem. Inst. Oswaldo Cruz.*, **84** : 441-462.
- AVILA J. L., ROJAS, M. & GALILI, U. 1989. Immunogenic Gal alpha1-3Gal carbohydrate epitopes are present on pathogenic American *Trypanosoma* and *Leishmania*. — *J. Immunol.*, **142** : 2828-2834.
- BOBAK, D. A., GAITHER, T. A., FRANK, M. M. & TENNER, A. J. 1987. Modulation of FcR function by complement : subcomponent C1q enhances the phagocytosis of IgG-opsonized targets by human monocytes and culture-derived macrophages. — *J. Immunol.*, **138** : 1150-1156.
- BRENER, Z. 1980. Immunity to *Trypanosoma cruzi*. — *Adv. Parasitol.*, **18** : 247-292.
- BUDZKO, D. B., PIZZIMENTI, M. C. & KIERSZENBAUM, F. 1975. Effects of complement depletion in experimental Chagas' disease : immune lysis of virulent blood forms of *Trypanosoma cruzi*. — *Infect. Immunity*, **11** : 86-91.
- COQUETTE, A., BOEYNAEMS, J. M., SAINT GUILLAIN, M. & VRAY, B. 1988. Macrophage heterogeneity in prostaglandins and thromboxane synthesis : differential activation by Fc- and C3b-dependent bacterial phagocytosis. — *Prostaglandins*, **36** : 491-505.
- CRANE, M. S. J. & DVORAK, J. A., 1982. Influence of monosaccharides on the infection of vertebrate cells by *Trypanosoma cruzi* and *Toxoplasma gondii*. — *J. Molec. Biochem. Parasitol.*, **5** : 333-341.
- DE TITTO, E. H., CATTERALL, J. R. & REMINGTON, J. S., 1986. Activity of recombinant tumor necrosis factor on *Toxoplasma gondii* and *Trypanosoma cruzi*. — *J. Immunol.*, **137** : 1342-1345.
- DING, A. H., NATHAN, C. F. & STUERH, D. J., 1988. Release of reactive nitrogen intermediates and reactive oxygen intermediates from mouse peritoneal macrophages. — *J. Immunol.*, **141** : 2407-2412.
- DRAPIER, J.-C. & HIBBS, J. B. 1986. Murine cytotoxic activated macrophages inhibit aconitase in tumor cells. — *J. Clin. Invest.*, **78** : 790-797.
- FISCHER, E., OUAISSI, M. A., VELGE, P., CORNETTE, J. & KAZATCHKINE, M. D. 1988. gp 58/68, a parasite component that contributes to the escape of the trypomastigote form of *Trypanosoma cruzi* from damage by the human alternative complement pathway. — *J. Immunol.*, **65** : 299-303.
- GAZZINELLI, R. T., PEREIRA, M. E. S., ROMANHA, A., GAZZINELLI, G. & BRENER, Z. 1991. Direct lysis of *Trypanosoma cruzi* : a novel effector mechanism of protection mediated by human anti-gal antibodies. — *Parasite Immunol.*, **13** : 345-356.
- GONÇALVES, M., UMEZAWA, E., KATZIN, A., DE SOUZA, W., ALVES, M., ZINGALE, S. B. & COLLI, W. 1991. *T. cruzi* : shedding of surface antigens as membrane vesicles. — *J. Exp. Parasitol.*, **72** : 43-53.

- GRANGER, D. L., HIBBS, J. B., PERFECT, J. R. & DURACK, T. D. 1988. Specific amino acid (L-arginin) requirement for the microbiostatic activity of murine macrophages. — *J. Clin. Invest.*, **81** : 1129-1136.
- GREEN, SS. J., MELTZE, M. S., HIBBS, J. B. & NACY, C. A. 1990. Activated macrophages destroy intracellular *Leishmania major* amastigotes by an L-arginin-dependent killing mechanism. — *J. Immunol.*, **144** : 278-283.
- HALL, B. & JOINER, K. 1991. Strategies of obligate intracellular parasites for evading host defences. — *J. Immunoparasitol.*, **12** : 22-27.
- HIBBS J. B., TAINTOR, R. R. & VAVRIN, Z. 1987. Macrophage cytotoxicity : role for L-arginin deiminase and imino nitrogen oxidation to nitrite. — *Science*, **235** : 473-476.
- HUGHES, H. P. A. 1988. Oxidative killing of intracellular parasites mediated by macrophages. — *Immunology Today*, **4** : 340-347.
- JAMES, S. L. & GLAVEN, J. 1989. Macrophage cytotoxicity against schistosomula of *Schistosoma mansoni* involves arginine-dependent production of reactive nitrogen intermediates. — *J. Immunol.*, **143** : 4208-4212.
- JAMES, S. L. & HIBBS J. B., Jr., 1990. The role of nitrogen oxides as effector molecules of parasite killing. — *Parasitology Today*, **6** : 303-305.
- JOINER, K. A., DA SILVA, W. D., RIMOLDI, M. T., HAMMER, C. H., SHER, A. & KIPNIS, T. L. 1988. Biochemical characterization of a factor produced by trypomastigotes of *Trypanosoma cruzi* that accelerates the delay of complement C3 convertases. — *J. Biol. Chem.*, **263** : 11327-35.
- KATZIN, A. M. & COLLI, W. 1983. Lectin receptors in *Trypanosoma cruzi* an N-acetyl-d-glucosamine containing surface glucoprotein specific for the trypomastigote stage. — *Biochimica Biophysica Acta*, **727** : 403-411.
- KIERSZENBAUM, F., ZENIAN, A. & WIRTH, J. J. 1984. Macrophage activation by cord factor (trehalose 6,6'-dimycolate) enhanced association with and intracellular killing of *Trypanosoma cruzi*. — *Infect. Immun.*, **43** : 531-535.
- KIERSZENBAUM, F. & WIRTH, J. J., 1987. Letter to the editor.— *J. Immunol.*, **138** : 330.
- KINOSHITA, T., MEDOF, M. & NUSSENZWEIG, V. 1986. Endogenous association of decay-accelerating factor (DAF) with C4b and C3b on cell membranes. — *J. Immunol.*, **136** : 3390-3395.
- KIPNIS, T., TAMBOURGI, D., SUCUPIRA, M. & DA SILVA, W. D. 1986. Effect on *Trypanosoma cruzi* membrane components on the formation of the classical pathway C3 convertase. — *Brazilian J. Med. Biol. Res.*, **19** : 271-278.
- KLOETZEL, J. & DEANE, M. P. 1977. Presence of immunoglobulins on the surface of blood stream *Trypanosoma cruzi*. Capping during differentiation in culture. — *Revista Inst. Medic. trop. Sao Paulo*, **19** : 397-402.
- KRETTLI, A. & BRENER, Z. 1976. Protective effects of specific antibodies in *Trypanosoma cruzi* infections. — *J. Immunol.*, **116** : 755-760.
- KRETTLI, A., WEISZ-CARRINGTON, P. & NUSSENZWEIG, R. S. 1979. Membrane-bound antibodies to bloodstream *Trypanosoma cruzi* in mice : strain differences in susceptibility to complement-mediated lysis. — *Clin. Exp. Immunol.*, **37** : 416-423.
- KRETTLI, A., THOMAS, N. & EISEN, H. 1980. Escape mechanisms of *Trypanosoma cruzi* from the host immune system. — *Inserm.*, **97** : 553-558.

- KRETTLI A. & PONTES DE CARVALHO L. 1985. Binding of C₃ fragments to the *Trypanosoma cruzi* surface in the absence of specific antibodies and without activation of the complement cascade. *Clin. exp. Immunol.*, **62** : 270-277.
- KUHN, R. E. & CASSIDA, G. W. 1981. Cytophilic antibody in experimental Chagas' disease. — *J. Parasitol.*, **67** : 807-812.
- LAGES-SILVA, E., RAMIREZ, L. E., KRETTLI, A. U. & BRENER, Z. 1987. Effect of protective and non protective antibodies in the phagocytosis rate of *Trypanosoma cruzi* blood forms by mouse peritoneal macrophages. — *Parasite Immunol.*, **9** : 21-30.
- LEON, W., VILLALTA, F., QUEIROZ, R. & SZARFMAN, A. 1979. Antibody-induced capping of the intracellular stage of *Trypanosoma cruzi*. — *Infect. Immun.*, **26** : 1218-1220.
- LEY, V., ROBBINS, E., NUSSENZWEIG, V. & ANDREWS, N. 1990. The exit of *T. cruzi* from the phagosome is inhibited by raising the pH of acidic compartments. — *J. Exp. Med.*, **171** : 401-413.
- LIEW, F. Y., LI, Y. & MILLOTT, S. 1990. Tumor necrosis factor- α synergizes with IFN- γ in mediating killing of *Leishmania major* through the induction of nitric oxide. — *J. Immunol.*, **145** : 4306-4310.
- LIEW, F. Y. & COX, F. E. G. 1991. Nonspecific defence mechanism : the role of nitric oxide. — *Parasitology Today*, **12** : A17-A21.
- LOCKSLEY, R. M. & KLEBANOFF, S. J. 1983. Oxygen-dependent microbicidal systems of phagocytes and host defense against intracellular protozoa. — *J. Cell. Biochem.*, **22** : 173-185.
- MCCABE, R. E. & MULLINS, B. T. 1990. Failure of *Trypanosoma cruzi* to trigger the respiratory burst of activated macrophages. — *J. Immunol.*, **144** : 2384-2388.
- MELLOUK, S., GREEN, S. J., NACY, C. A. & HOFFMAN, S. L. 1991. IFN- γ inhibits development of *Plasmodium berghei* exoerythrocytic stages in hepatocytes by an L-arginine-dependent effector mechanism. — *J. Immunol.*, **146** : 3971-3976.
- MILDER, R. & KLOETZEL, J. 1980. The development of *Trypanosoma cruzi* in macrophages *in vitro*. Interaction with lysosomes and host cell fate. — *Parasitology*, **80** : 139-145.
- NATHAN, C., NOGUEIRA, N., JUANGBHANICH, C., ELLIS, J. & COHN, Z. 1979. Activation of macrophages *in vivo* and *in vitro*. Correlation between hydrogen peroxide release and killing of *Trypanosoma cruzi*. — *J. Exp. Med.*, **149** : 1056-1068.
- NOGUEIRA, N., BIANCO, C. & COHN, Z. 1975. Studies on the selective lysis and purification of *Trypanosoma cruzi*. — *J. Exp. Med.*, **142** : 224-231.
- NOGUEIRA, N. & COHN, Z. 1976. *Trypanosoma cruzi* : mechanisms of entry and intracellular fate in mammalian cells. — *J. Exp. Med.*, **143** : 1402-1420.
- NOGUEIRA, N. & COHN, Z. 1978. *Trypanosoma cruzi* : *in vitro* induction of macrophage microbicidal activity. — *J. Exp. Med.*, **148** : 288-300.
- NOGUEIRA, N., CHAPLAN, S., TYDINGS, J. D., UNKELESS, J. & COHN, Z. 1981. *Trypanosoma cruzi*. Surface antigens of blood and culture forms. — *J. Exp. Med.*, **153** : 629-639.
- NOGUEIRA, N., CHAPLAN, S., REESINK, M., TYDINGS, J. & COHN, Z. A. 1982. *Trypanosoma cruzi* : induction of microbicidal activity in human mononuclear phagocytes. — *J. Immunol.*, **128** : 2142-2146.

- NOGUEIRA, N. & COHN, Z. 1984. Activation of mononuclear phagocytes for the destruction of intracellular parasites: studies with *Trypanosoma cruzi*. — *Contemp. Topics in Immunol.*, **13**: 117-126.
- NOGUEIRA, N. 1986. American Trypanosomiasis: Antigens and Host-Parasite Interaction, 92-110. — In: PEARSON, T. W. (Ed.), *Parasite antigens*, Marcel Dekker Inc.
- NÜSSLER A.A., DRAPIER, J.-C., RÉNIA, L., PIED, S., MILTGEN, F., GENTILINI, M. & MAZIER, D. 1991. L-Arginine-dependent of intrahepatic malaria parasites in response to tumor necrosis factor and/or interleukin-6 stimulation. — *Eur. J. Immunol.*, **21**: 227-230.
- OSUNA, A., GAMARRO, F., CASTANYS, S. & RUIZ-PEREZ, L. M. 1986. Inhibition of lysosomal fusion by *Trypanosoma cruzi* in peritoneal macrophages. — *Int. J. Parasitol.*, **16**: 629-632.
- OUAISSI, M. A., CORNETTE, J., AFCHAIN, D., CAPRON, A., GRAS-MASSE H. & TARTAR, A. 1986. *Trypanosoma cruzi* infection inhibited by peptides modeled from a fibronectin cell attachment domain. — *Science*, **234**: 603-606.
- OUAISSI, M. A. 1988. Role of RGD sequence in parasite adhesion to host cell. *Parasitology Today*, **4**: 169-173.
- OUAISSI, M. A. & CAPRON, A. 1989. Some aspects to protozoan parasite-host cell interaction with special reference to RGD-mediated recognition process. — *Microbiol. Pathogenesis*, **6**: 1-5.
- PLATA, F., WIETZERBIN, J., PONS, F. G., FALCOFF, E. & EISEN, H. 1984. Synergistic infection by *Trypanosoma cruzi* *in vitro*. — *Eur. J. Immunol.*, **14**: 939-935.
- PLATA, F., PONS, F. G. & WIETZERBIN, J. 1987. Immune resistance to *Trypanosoma cruzi*: synergy of specific antibodies and recombinant interferon gamma *in vivo*. — *Ann. Inst. Pasteur, Immunol.*, **138**: 397-415.
- RIMOLDI, M. T., SHER, A., HEINY, S., LITUCHY, A., HAMMER, C. H. & JOINER, K. 1988. Developmental regulated expression by *Trypanosoma cruzi* molecules that accelerates the decay of complement C3 convertases. — *Proc. Natl. Acad. Sci.*, **85**: 193-197.
- RIMOLDI, M., TENNER, A., BOBAK, D., JOINER, K. 1989. Complement component C1q enhances invasion of human mononuclear phagocytes and fibroblasts by *Trypanosoma cruzi* trypomastigotes. — *J. Clin. Invest.*, **84**: 1982-1989.
- SCHUMNIS, G. A., SZARFMAN, A., LANGEMBACH, T. & DE SOUZA, W. 1978. Induction of capping in blood-stage trypomastigotes of *Trypanosoma cruzi* by human anti-*Trypanosoma cruzi* antibodies. — *Infec. Immun.*, **20**: 567-569.
- STUERH, D. J. & MARLETTA, M. A. 1987. Induction of nitrite/nitrate synthesis in murine macrophages by BCG infection, lymphokines or interferon gamma. — *J. Immunol.*, **139**: 518-525.
- SZARFMAN, A., QUEIROZ, T. & DE SOUZA, W. 1980. Mobility of concanavalin a receptor in *Trypanosoma cruzi*. — *J. Parasitol.*, **66**: 1055-1057.
- TAIT, A. & SACKS, D. 1988. The cell biology of parasite invasion and survival. — *Parasitology Today*, **4**: 228-235.
- TANOWITZ, H., WITTNER, M., KRESS, Y. & BLOOM, B. 1975. Studies of *in vitro* infection by *Trypanosoma cruzi*. Ultrastructural studies on the invasion of macrophages and L-cells. — *Amer. J. Trop. Med. and Hyg.*, **24**: 25-33.

- TORRICO, F., HEREMANS, H., RIVERA, M. T., VAN MARCK, E., BILLIAU, A. & CARLIER, Y. 1991. Endogenous IFN- γ is required for resistance to acute *Trypanosoma cruzi* infection in mice. — *J. Immunol.*, **146** : 3626-3632.
- VINCENDEAU, P. & DALOUËDE, S. 1991. Macrophage cytostatic effect on *Trypanosoma musculi* involves an L-arginine-dependent mechanism. — *J. Immunol.*, **146** : 4338-4343.
- VILLALTA F., ODA, L. M., ANGLUSTER, J., ALVIANO, C. S. & LEON, W. 1980. Phagocytosis of the three developmental forms of *Trypanosoma cruzi*: effect of specific sera. — *Acta Tropica*, **38** : 375-381.
- VRAY, B., DE BAETSELIER, P., OUAISSI, A. & CARLIER, Y. 1991. *Trypanosoma cruzi* but not *Trypanosoma brucei* fails to trigger the macrophage respiratory burst. — *Infect. Immun.*, **59** : 3303-3308.
- WIRTH, J. J. & KIERSZENBAUM, F. 1984. Fibronectin enhances macrophage association with invasive forms of *Trypanosoma cruzi*. — *J. Immunol.*, **133** : 460-464.
- WIRTH, J. J., KIERSZENBAUM, F., SONNENFELD, C. & ZLOTNIK, A. 1985. Enhancing effect of γ -interferon on phagocytic cell association with and killing of *Trypanosoma cruzi*. — *Infect. Immun.*, **49** : 61-66.
- WIRTH, J. J. & KIERSZENBAUM, F. 1987. Inhibition of mammalian host cell infection by insect-derived metacyclic forms of *Trypanosoma cruzi* in the presence of human or rabbit anti-*T. cruzi* antibodies. — *Int. J. Parasitol.*, **17** : 841-845.
- WIRTH, J. J. & KIERSZENBAUM, F. 1988. Recombinant tumor necrosis factor enhances macrophage destruction of *Trypanosoma cruzi* in the presence of bacterial endotoxin. — *J. Immunol.*, **141** : 286-288.
- WYLER, D. J. 1987. Fibronectin in parasitic diseases. — *Rev. Infect. Diseases*, **9** : 391-399.

Seaweeds of the Snellius-II Expedition (E. Indonesia) : the genus *Caulerpa* (Chlorophyta-Caulerpales) *

by

E. COPPEJANS ** & W. F. PRUD'HOMME VAN REINE ***

KEY-WORDS. — Algae ; *Caulerpa* ; Indonesia ; Snellius-II Expedition.

SUMMARY. — The representatives of the genus *Caulerpa*, collected during the Snellius-II Expedition (1984) in the Banda, Sawu and Flores Seas (Indonesia) are described and illustrated. Twelve species have been individualized, some including several growth forms (resulting in 26 entities) : *C. brachypus* (2 ecads), *C. cupressoides* (6 ecads), *C. elongata*, *C. fergusonii*, *C. lentillifera*, *C. lessonii*, *C. microphysa*, *C. racemosa* (7 ecads), *C. serrulata* (2 ecads), *C. sertularioides*, *C. taxifolia* (2 ecads), *C. verticillata*. An identification key is also added.

RÉSUMÉ. — *Algues marines de l'Expédition Snellius-II (Indonésie orientale) : le genre Caulerpa (Chlorophyta-Caulerpales).* — Les représentants du genre *Caulerpa*, récoltés lors de l'Expédition Snellius-II (1984) dans les mers de Banda, Sawu et Flores (Indonésie) sont décrits et illustrés. Il s'agit de 12 espèces dont certaines présentent plusieurs morphoses (résultant en 26 entités) : *C. brachypus* (2 écades), *C. cupressoides* (6 écades), *C. elongata*, *C. fergusonii*, *C. lentillifera*, *C. lessonii*, *C. microphysa*, *C. racemosa* (7 écades), *C. serrulata* (2 écades), *C. sertularioides*, *C. lessonii*, *C. microphysa*, *C. racemosa* (7 écades), *C. serrulata* (2 écades), *C. sertularioides*, *C. taxifolia* (2 écades), *C. verticillata*. Une clef d'identification est également ajoutée.

SAMENVATTING. — *Zeewierien van de Snellius-II Expeditie (O.-Indonesië) : het genus Caulerpa (Chlorophyta-Caulerpales).* — De vertegenwoordigers van het genus *Caulerpa*, ingezameld tijdens de Snellius-II Expeditie (1984) in de Banda, Sawu en Flores Zeeën (Indonesië) worden beschreven en geïllustreerd. Het gaat om 12 soorten waarvan enkele meerdere groeivormen bezitten (een totaal van 26 eenheden) : *C. brachypus* (2 ecaden), *C. cupressoides* (6 ecaden), *C. elongata*, *C. fergusonii*, *C. lentillifera*, *C. lessonii*, *C. microphysa*, *C. racemosa* (7 ecaden), *C. serrulata* (2 ecaden), *C. sertularioides*, *C. taxifolia* (2 ecaden), *C. verticillata*. Naast de beschrijvingen wordt ook een determinatiesleutel gegeven.

* Paper read by Prof. J. J. Symoens at the meeting of the Section of Natural and Medical Sciences held on 26 November 1991. Publication decided at the meeting of 17 December 1991. Definitive text received on 15 January 1992.

** Laboratorium voor Morfologie, Systematiek en Ecologie van de Planten, Universiteit Gent. K.L. Ledeganckstraat 35, B-9000 Gent (Belgium).

*** Rijksherbarium, P.O. Box 9514, NL-2300 RA Leiden (The Netherlands).

Introduction

General data on the organisation of the Snellius-II Expedition, as well as details on the sampling sites and an almost complete species list of plants are given in COPPEJANS & PRUD'HOMME VAN REINE (1991).

The results on the Dasycladales and the Caulerpales (except *Caulerpa* and *Halimeda*) have been published previously (COPPEJANS & PRUD'HOMME VAN REINE 1989a, 1989b).

Materials and methods

Seaweeds were collected as mentioned in COPPEJANS & PRUD'HOMME VAN REINE (1989b, p. 121) at Ambon, Pulau Maisel, Tukang Besi Islands, Sumba, Komodo, Sumbawa, Taka Bone Rate and Salayer (COPPEJANS & PRUD'HOMME VAN REINE 1992, fig. 1, p. 156) by E. Coppejans, F. Heys, A. Kadi, W. Prud'homme van Reine and P. Zen.

Herbarium specimens have been deposited in different herbaria: L, JAK, AMB, GENT (COPPEJANS & PRUD'HOMME VAN REINE 1989b, p. 121).

The drawings are original and made by the first author.

Supplementary illustrations and descriptions of *Caulerpa* spp. can be found in BØRGESSEN (1907), CHAPMAN (1961), COPPEJANS & BEECKMAN (1989, 1990), COPPEJANS & MEINESZ (1988), CRIBB (1958), DURAIRATMAN (1961), EGEROD (1946, 1975), GILBERT (1942), HARVEY (1858), MEINESZ *et al.* (1981), MENEZ & CALUMPONG (1982), MURRAY (1891), NIZAMUDDIN (1964, 1967), SARTONI (1978), SVEDELIUS (1906), TAYLOR (1928, 1960, 1967), WEBER-VAN BOSSE (1898), YAMADA (1940).

Results

IDENTIFICATION KEY OF *CAULERPA* LAMOUROUX FROM THE SNELLIUS-II EXPEDITION

- 1.a. Erect parts entire, blade-like, ligulate or lanceolate, with smooth margin or provided with small marginal teeth 2
- b. Erect part variously branched, divided or incised 3
- 2.a. Blades up to 4-5 (- 9) cm long *C. brachypus*
- b. Blades smaller than 2.5 cm *C. brachypus* ead *parvifolia*
- 3.a. Branchlets either peltate or vesicle-like (spherical, clavate, turbinate, or discoid) 4
- b. Branchlets filiform or spiny or strap-like and with dentate margin or strongly compressed and with pinnate aspect 14

- 4.a. Branchlets peltate (stalk-like lower portion abruptly expanded into a horizontally spread disciform structure) 5
b. Branchlets not peltate but vesicle-like 6
- 5.a. Diameter of the disciform structures up to 3 mm
..... *C. racemosa* ecad *peltata-peltata*
b. Diameter of the disciform structures up to 1 cm
..... *C. racemosa* ecad *peltata-macrodisca*
- 6.a. Branchlets gradually enlarged from base to apex (clavate), with rounded or flattened apex 7
b. Branchlets (sub-)spherical or dorso-ventrally compressed and sessile on the erect shoots or abruptly expanded into a (sub-)spherical top from the terete or constricted stalk-like lower portion (pear shaped) 10
- 7.a. Apices of the branchlets at least blunt, more generally flattened or even hollowed *C. racemosa* ecad *turbinata*
b. Ends of the branchlets rounded 8
- 8.a. Branchlets crowded, radially arranged, narrowly clavate
..... *C. racemosa* ecad *laetevirens*
b. Branchlets not crowded, on 2 (sub-)opposite rows 9
- 9.a. Thallus slender, rachis terete, with a naked basal part (0.5-1 cm) and a series of (sub-) opposite branchlets *C. racemosa* ecad *corynephora*
b. Thallus slender, erect shoots frequently complanate to foliose and then irregularly constricted ; clavate branchlets generally rare and irregularly placed, or more frequent and (sub-)opposite
..... *C. racemosa* ecad *corynephora-lamourouxii*
- 10.a. Vesicle-like branchlets small (up to 2 mm in diameter) and never placed on 2 opposite rows ; either a constricted pedicel or plasts with pyrenoids
..... 11
b. Vesicle-like branchlets larger ; neither a constricted pedicel nor plasts with pyrenoids 12
- 11.a. Stalk-like portion markedly constricted ; numerous vesicle-like branchlets very densely packed, \pm in longitudinal rows along the rachis ; plasts without pyrenoids *C. lentillifera*
b. Stalk-like portion not constricted ; vesicle-like branchlets less numerous, more irregularly grouped ; plasts with pyrenoids *C. microphysa*
- 12.a. (Sub-)sessile spherical branchlets either extremely rare and irregularly placed (to absent) or more frequent and (sub-)opposite ; erect shoots frequently at least partly naked, rachis slightly to markedly compressed and irregularly constricted *C. racemosa* ecad *racemosa-lamourouxii*
b. Branchlets numerous, densely set (without naked portions on the upright branches, except for the basal part), rachis terete 13

- 13.a. Branchlets on 2 opposite longitudinal rows, laterally compressed, with marked segmentation of the rachis *C. fergusonii*
b. Branchlets irregularly placed, not compressed, erect shoots 1-4 cm high, bearing shortly stipitate, pearshaped branchlets with a spherical upper part 1-4 mm wide *C. racemosa* ecad *racemosa*
- 14.a. Branchlets in whorls 15
b. Branchlets not in whorls 16
- 15.a. Verticils conspicuous, well separated ; branchlets rather long and elegant, supple, with (2-)3(-4) terminal mucrons ; stoloniferous part naked
..... *C. verticillata*
b. Verticils small and crowded, resulting in a lycopod-like aspect ; branchlets short and stiff, pseudodichotomous with a single mucron on each apex ; stoloniferous part also (partly) covered by short branchlets *C. elongata*
- 16.a. Upright branches markedly compressed and (pseudo-) dichotomous
..... 17
b. Upright branches terete or only slightly compressed ; the branchlets also terete, reduced to mucrons or compressed 20
- 17.a. Frond plane, margin densely set with upwardly directed branchlets ; these either terete or reduced to mucronate teeth 18
b. Frond mostly spirally twisted ; margin set with laterally directed (or slightly upwardly) broadly attached mucronate teeth 19
- 18.a. Frond shortly stipitate ; rachis markedly compressed, broad ; branchlets terete, upwardly curved, constricted at the base, gradually tapering into a mucronate apex *C. lessonii*
b. Frond with a long (several cm), terete, naked stipe ; rachis markedly compressed ; branchlets reduced to upwardly directed, mucronate, broadly attached teeth *C. cupressoides* ecad *flabellata*
- 19.a. Upright branches with a short (< 1 cm) terete stipe and markedly compressed, (sub-)dichotomous, mostly spirally twisted, frequently horizontally spread fronds ; marginal teeth well marked and serial
..... *C. serrulata* ecad *serrulata*
b. Upright branches with long (several cm) unbranched terete stipe and long, narrow (sub)dichotomous, compressed, spirally twisted vertical fronds ; marginal teeth very small, distant *C. serrulata* ecad *boryana*
- 20.a. Branchlets terete, spiny or reduced to mucrons 21
b. Branchlets complanate (at least slightly compressed laterally) 28
- 21.a. Branchlets short (1-3 mm), spiniform, on 2 opposite or 3 longitudinal rows, or reduced to irregularly placed mucrons 22
b. Branchlets longer (4-5 mm), on 2 opposite rows 27

- 22.a. Upright branches terete, subdichotomous, frequently irregularly curled, covered by numerous perpendicular mucronate warts
..... *C. cupressoides* ecad *urvilliana*
- b. Branchlets more developed, directed towards the apex of the rachis, on longitudinal rows, at least in part of the frond 23
- 23.a. At least the basal branchlets markedly inflated, generally not longer than the diameter of the rachis, densely packed
..... *C. cupressoides* ecad *mamillosa*
- b. No inflated branchlets 24
- 24.a. Frond rather robust, spiniform branchlets up to two times as long as the diameter of the rachis, slightly constricted at the base, generally at least in some fronds on 3 longitudinal rows
..... *C. cupressoides* ecad *cupressoides*
- b. Frond rather slender, branchlets not constricted at the base, on 2 opposite rows 25
- 25.a. Frond with a long (several cm), terete, naked stipe ; branchlets reduced to upwardly directed, mucronate, broadly attached teeth
..... *C. cupressoides* ecad *flabellata*
- b. Stipe shorter ; branchlets terete, longer 26
- 26.a. Branchlets up to two times as long as the diameter of the rachis
..... *C. cupressoides* ecad *lycopodium-disticha*
- b. Branchlets generally 3-4 (but up to 6) times as long as the diameter of the axis *C. cupressoides* ecad *lycopodium-elegans*
- 27.a. Total width of the frond not exceeding 4 mm
..... *C. cupressoides* ecad *lycopodium-elegans*
- b. Total width of the frond generally 1-1.5 cm (rarely down to 7 mm)
..... *C. sertularioides*
- 28.a. Branchlets sickle-shaped, slightly constricted at the base, with straight parallel sides in the middle part, upwardly curved and gradually tapering into a spine at the apex ; branchlets not overlapping
..... *C. taxifolia* ecad *taxifolia*
- b. Branchlets markedly wider in the middle part, without parallel sides, rather abruptly tapering into an upwardly curved terminal spine ; branchlets frequently touching or even overlapping in the widest part
..... *C. taxifolia* ecad *mexicana*

NOMENCLATURAL REMARK

WEBER-VAN BOSSE (1898) already stressed the variability of *C. cupressoides* (p. 326) and of *C. racemosa* (p. 359) : «Dans le *C. cupressoides* j'ai reconnu plusieurs variétés, qui correspondent pour la plupart aux espèces de M. J. Agardh. La plupart des variétés ont diverses formes, qui relient ces variétés

entre elles et au type de l'espèce. Le nombre de ces formes transitoires peut être considérable, et constituer toute une série, dont le dernier représentant s'éloigne quelquefois loin du type ...»; «Dans l'espèce du *C. racemosa* j'ai reconnu plusieurs variétés qui pour la plupart correspondent aux espèces déjà décrites par d'autres auteurs, mais qu'il m'a semblé impossible de maintenir comme espèces, à cause de l'inconstance de caractères, et du grand nombre de formes transitoires. Dans chaque variété j'ai reconnu une ou plusieurs formes ; il serait facile d'augmenter le nombre de ces formes, car la variabilité des caulerpes à ramules clavéformes est immense, mais je craindrais d'encombrer la systématique d'une manière inutile, et de décrire des individus isolés ...».

Since then, numerous authors have confirmed these observations, f. ex. W. R. TAYLOR (1960, p. 151) about *C. racemosa* : «This famous, ubiquitous tropical species is amongst the most variable in its variable genus».

After the study of our collections in Papua New Guinea, Indonesia, The Maldives and Kenya, we fully agree with WEBER-VAN BOSSE'S (1898, p. 325) statement : «Cette absence totale de constance dans les caractères est si grande, qu'on a de la peine à trouver deux échantillons identiques, provenant de localités diverses, et quand on s'est occupé pendant quelque temps de ces caulerpes, on pourra quatre fois sur cinq, dire plus facilement le nom de la localité d'où provient un nouvel échantillon, que le nom de l'espèce à laquelle elle devrait appartenir d'après les indications de M. J. Agardh.»

Moreover in some cases the upright shoots of the same stolon can have a different morphology depending on e.g. the local light intensity. PETERSON (1972) and CALVERT (1976) were the first to describe transplant of wild plants of *Caulerpa* in light controlled aquaria. Their results were recently reconfirmed by OHBA & ENOMOTO (1987) : light and temperature determine the morphology of *C. racemosa*, at least within a certain range. Supplementary experiments on the influence of salinity, hydrodynamism, emersion time, etc., on the morphology of *C. cupressoides* or *C. racemosa* (or other species) might indicate more relationships between ecological parameters and morphology in these taxa.

Therefore we follow the suggestion of PETERSON (1972, p. 84) that — at least some of — the varieties and forms of *C. racemosa* should be considered as ecological phenotypes (ecophenes or ecads) and not as genotypes. We expand the use of ecads for some growth forms in *C. cupressoides* and *C. serrulata*, knowing that numerous intermediates exist. EGEROD (1975) already stated that «The continued employment of varietal» (here ecad) «designation within the species can serve the function of conveying information relative to the morphological expression given to the species in a given locality and habitat».

In other *Caulerpa* species, intermediates between varieties or forms are unknown ; in such cases we stick to the traditional varietal designation.

DESCRIPTIONS

The taxa have been arranged alphabetically.

Caulerpa brachypus Harvey (Fig. 1 A-C, 7 A)

Stolons stout, 1.5-2.5 mm in diameter, bearing erect, shortly stipitate, rather fleshy, ligulate fronds, 5-6(-9) cm \times 7-8 mm, originally simple, but frequently (sub-)dichotomous or proliferating at the apex; frond margins irregularly constricted, some completely smooth, others provided with serially placed, small, simple, mucronate spines; frond apex broadly rounded, blunt or incised (young dichotomy).

Reference specimens. 10826 : 18/9/1984, E of Komodo, Selat Linta, 8°35 S 119°34'E, centre of coastal reef-flat.

Caulerpa brachypus Harvey ecad *parvifolia* [fa *parvifolia* (Harvey) Cribb]
(Fig. 7 B)

Stolons very thin, 0.5 mm in diameter, bearing erect, shortly stipitate, simple, elliptic fronds, 10-13 (-25) mm long and c. 3 mm broad, with serially placed, relatively well developed, simple, mucronate teeth; frond apex rounded or blunt.

Reference specimens. 11358 : 27/9/1984, NE of Taka Bone Rate, middle of reef flat of Taka Garlarang reef, 6°27'S 121°14'E.

Discussion. — Numerous descriptions of intermediates between *C. brachypus* and related taxa have been published. PAPENFUSS & EGEROD (1957, p. 86) synonymized *C. brachypus* with *C. parvifolia* Harvey, *C. anceps* Harvey ex J. Agardh, *C. mauritiana* Børgesen, *C. simplex* Levring and *C. stahlü* Weber-van Bosse. CRIBB (1958, p. 209), however, named the specimens with a thinner rhizome and smaller erect fronds as *C. brachypus* forma *parvifolia*. See also the descriptions of *C. parvifolia* by HARVEY (1860, plate CLXXII) and by WEBER-VAN BOSSE (1898, p. 281).

Caulerpa cupressoides (Vahl) C. Agardh

Well developed specimens growing in rather dense groups because of the frequently ramified, smooth, terete stolons, up to 2 mm in diameter; downwardly directed branches with terminal rhizoids well developed and numerous; erect branches of variable length depending on ecological factors, terete to somewhat compressed, unramified and naked at the base, irregularly to (sub-)dichotomously ramified above; these upper parts covered by 2-3 (rarely more) rows of upwardly curved branchlets with mucronate tips; these short (1 mm), spiniform, conoid, mamilllose, seminaviculate or longer (2-3 mm) and linear.

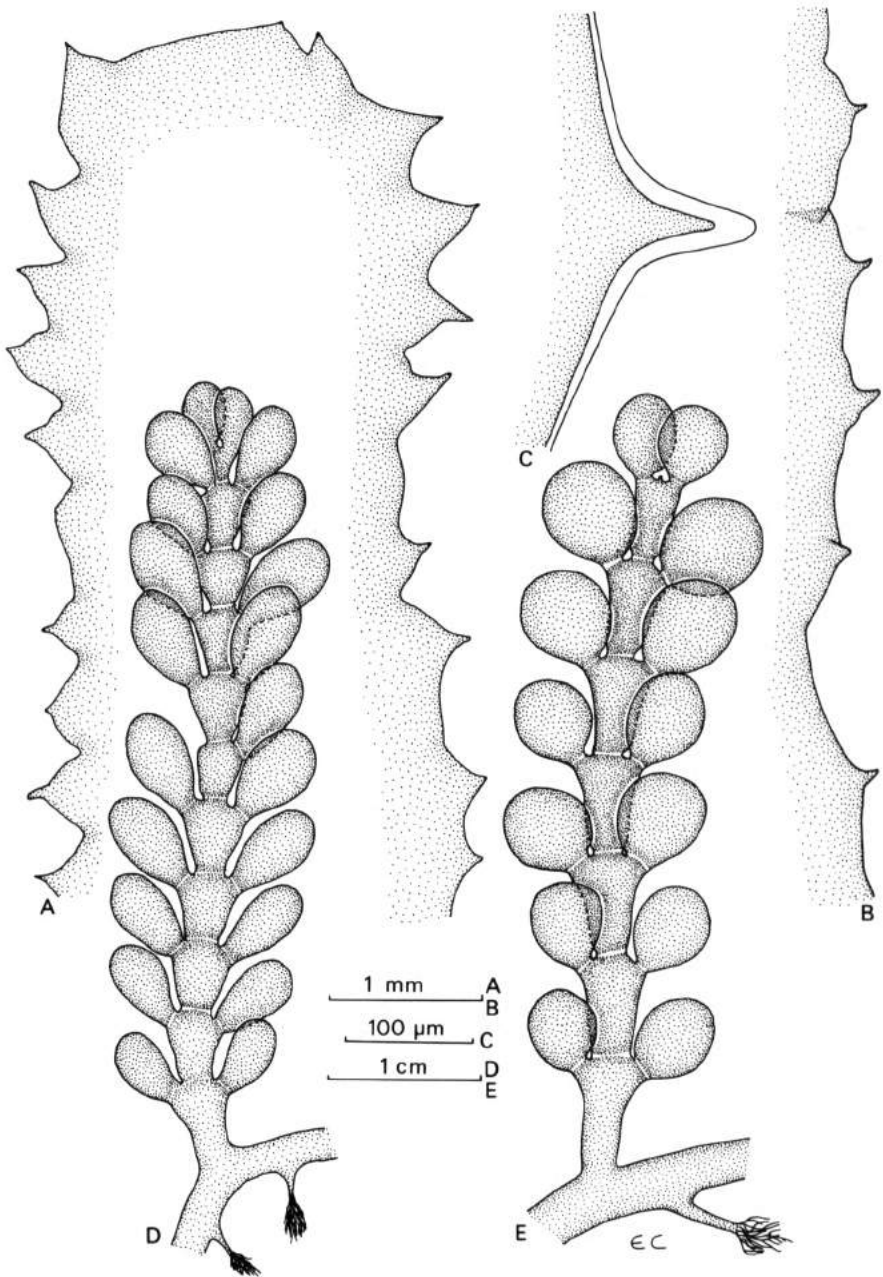


Fig. 1. — *Caulerpa brachypus* Harvey
 A. Apex and margins of a frond with serially placed mucronate spines (11358A) ;
 B. Margin with less developed spines (10826E) ;
 C. Detail of a mucron of B.
Caulerpa fergusonii Murray
 D. Upright branch with clavate branchlets (10620E) ;
 E. Same with roundish branchlets (10878E).

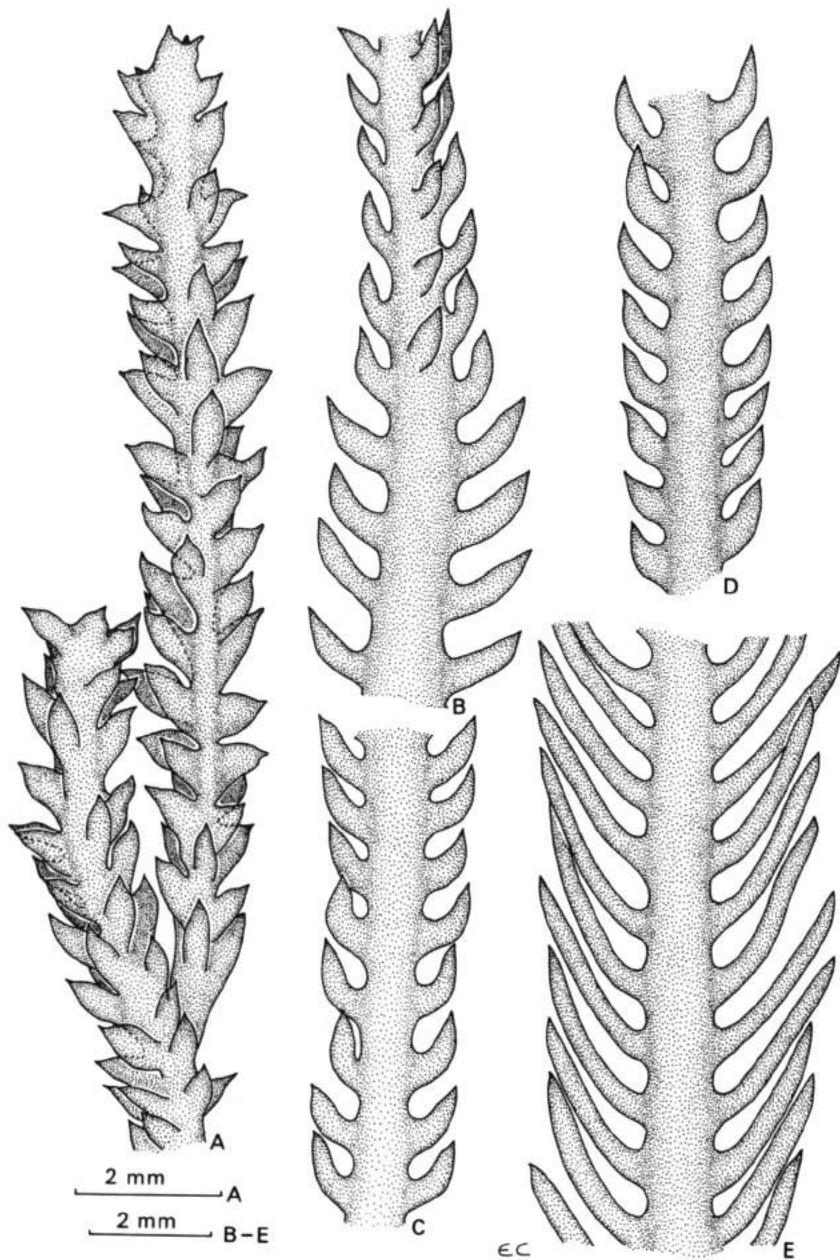


Fig. 2. — *Caulerpa cupressoides* (Vahl) C. Agardh
 A. ecad *cupressoides* : typical aspect with 3(-numerous) rows of branchlets (11230E) ;
 B. Upper part : ecad *cupressoides*, lower part ; ecad *lycopodium-disticha* (10129E) ;
 C. ecad *lycopodium-disticha* with short branchlets opposite on 2 rows (10417E) ;
 D. ecad *lycopodium-disticha* with short branchlets alternate on 2 rows (10417E) ;
 E. ecad *lycopodium-elegans* with long branchlets on 2 rows (10481E).

ecad *cupressoides* [var. *cupressoides*] (Fig. 2A, 8A)

Fronde rather robust and generally densely ramified; spiniform branchlets up to two times as long as the diameter of the terete rachis, reaching 1 mm in length, narrowly conoid, shortly linear or seminaviculate with a constricted basis.

Reference specimens. 10414, 10415: 5/9/1984, Pulau-pulau Maisel, lagoon W of Laponda, 5°29'S 127°32'E; 11211: 25-26/9/1984, NE Taka Bone Rate, S of Tarupa Kecil, edge of reef flat, 6°30'S 121°8'E, on sandy areas; 11230: 25-26/9/1984, NE Taka Bone Rate, S of Tarupa Kecil, 6°30'S 121°8'E, from seagrass meadow, mainly *Thalassodendron*; 11327: 27/9/1984, NE Taka Bone Rate, entrance of Taka Garlarang atoll, 6°28'S 121°18'E, edge of reef flat at inner part of atoll entrance.

Intermediate growth form between ecad *cupressoides* and ecad *urvilliana*.

Some specimens of *C. cupressoides* ecad *cupressoides* have a few branchlets slightly smaller and more perpendicularly directed, tending to ecad *urvilliana*.

Reference specimens. 10194: 6-8/9/1984, Tukang Besi Islands, southern reef of Karang Kaledupa, east of entrance, 5°56'S 123°48'E, seagrass meadow in lagoon.

ecad *flabellata* [var. *flabellata* Børgesen] (Fig. 4A-C, 9A)

Fronde rather slender, up to 15 cm long, erect axes with a terete, naked, scarcely branched stipe, up to 10 cm long; frond in a single plane, (sub-) dichotomous, rachis terete to slightly compressed, with two opposite rows of densely placed, broadly attached, mucronate teeth, directed towards the apex.

Reference specimens. 10130a: 7/9/1984, Pulau-pulau Maisel, 5°28'S 127°31'E, mangal and seagrass beds in shallow lagoon W of Mai, depth to 1.5 m.

Discussion. — This ecad closely resembles *C. serrulata* ecad *boryana-occidentalis* [var. *boryana* fa *occidentalis* (Weber-van Bosse) Yamada & Tanaka] which has a markedly compressed rachis and a more coarsely dentate margin with perpendicularly placed teeth.

ecad *lycopodium-disticha* [var. *lycopodium* Weber-van Bosse fa *disticha* Weber-van Bosse] (Fig. 2 C-D, 10 A, B)

Fronde rather slender; branchlets opposite or alternate on 2 rows, terete, without basal constriction, linear, upwardly curved, up to two times as long as the diameter of the somewhat compressed rachis.

Reference specimens. 10417: 5/9/1984, Pulau-pulau Maisel, lagoon W of Laponda, 5°29'S 127°32'E; 11039: 21/9/1984, N of Sumbawa, Bay of Sanggar, 8°05'S 118°6.7'E; 11049: as 11039 but 8°20.3'S 118°16.4'E, depth

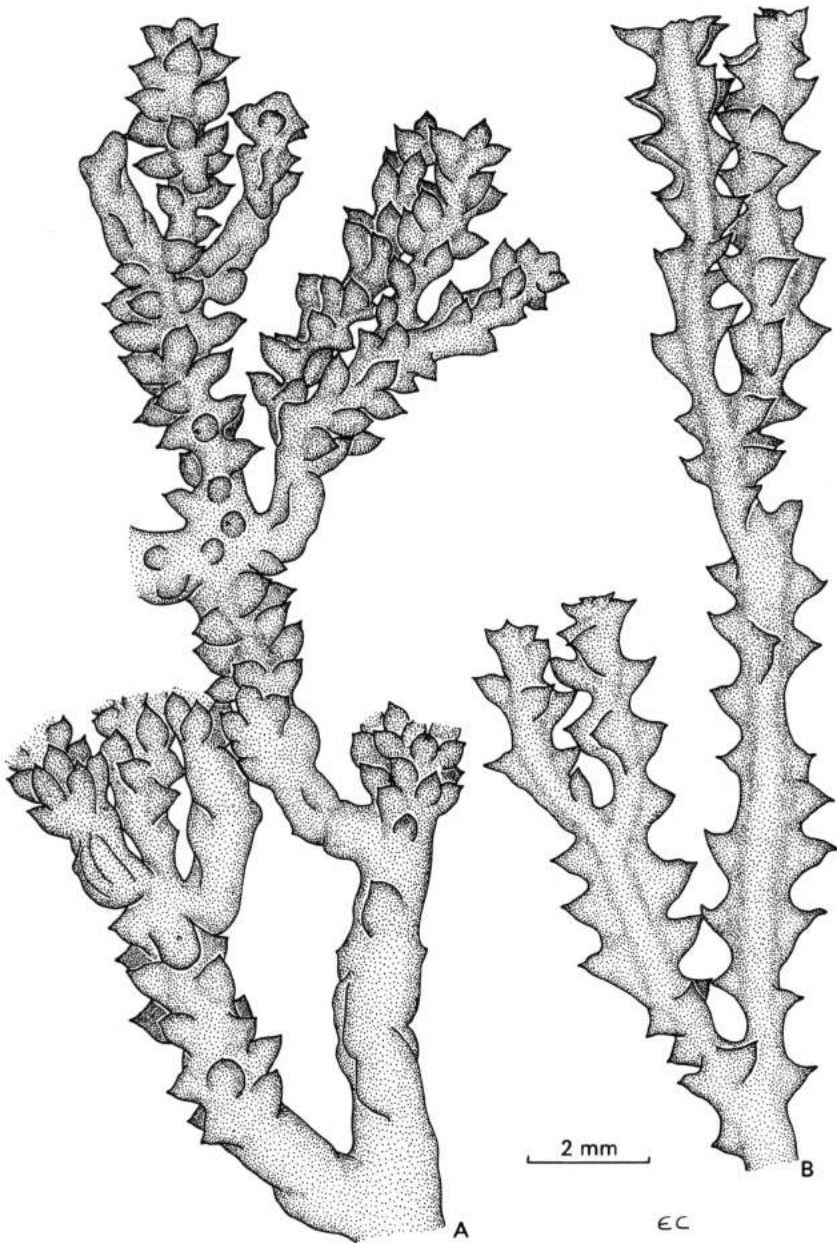


Fig. 3. — *Caulerpa cupressoides* (Vahl) C. Agardh
A. *ecad mamillosa* with markedly inflated branchlets (10396E);
B. *ecad turvilliana* with short, wide-conical, mucronate, warty branchlets (10194A).

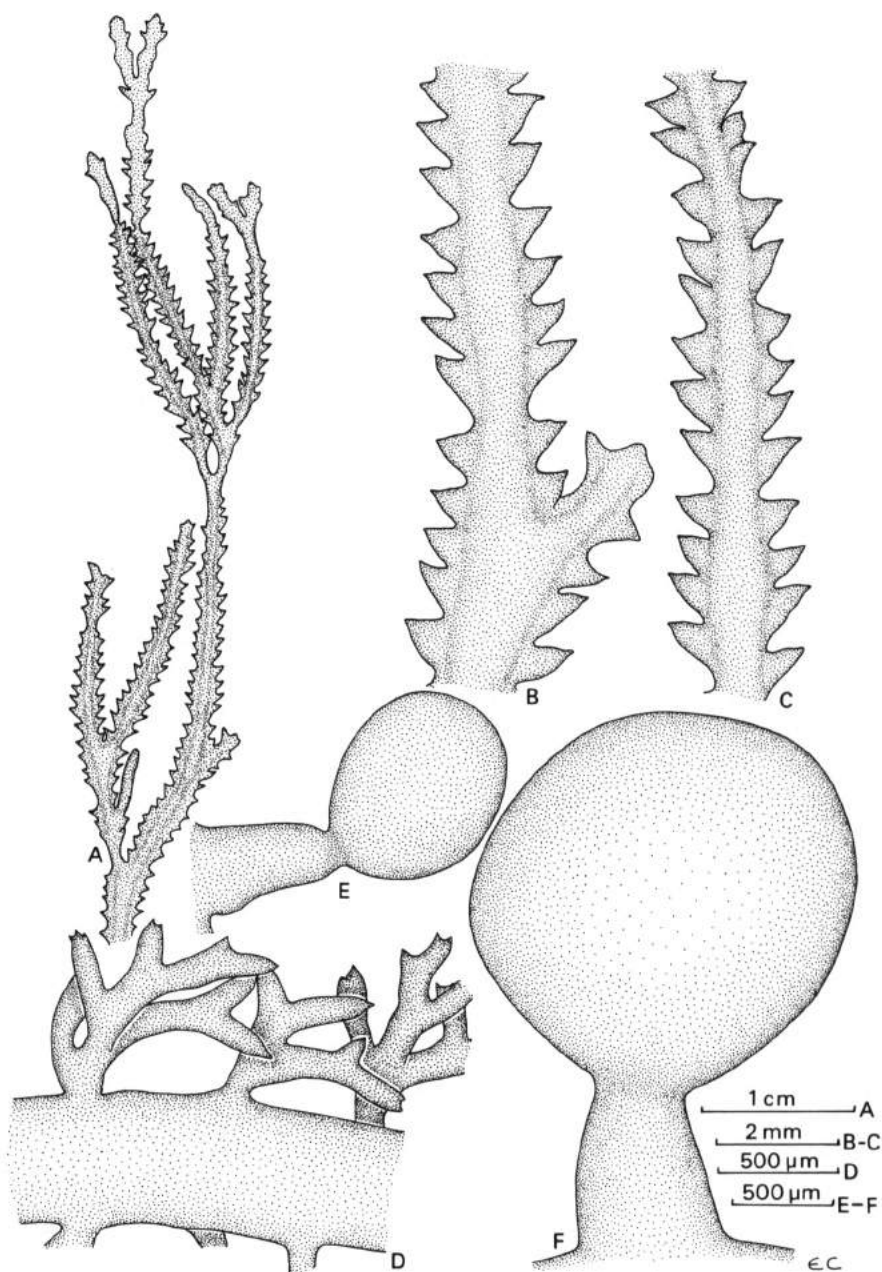


Fig. 4.

Caulerpa cupressoides (Vahl) C. Agardh ecad *flabellata*

A. Apical part of an erect branch (10130E) ;

B. C. Details of other fronds from the same specimen.

Caulerpa elongata Weber-van Bosse

D. Detail of the stolon with short, recurved branchlets (10827E) ;

Caulerpa lentillifera J. Agardh

E. ± clavate branchlet with long pedicel (10871E) ;

F. Large, subspherical branchlet with short pedicel (11576E).

to 8 m ; 11362 : 27/9/1984, NE Taka Bone Rate, middle of reef flat Taka Garlarang, 46°27'S 121°14'E.

ecad *lycopodium-elegans* [var. *lycopodium* Weber-van Bosse fa *elegans* (Crouan frat.) Weber-van Bosse] (Fig. 2 E, 11 A)

Fronde slender ; branchlets as in f. *disticha* but generally 3-4 (up to 6) times as long as the diameter of the somewhat compressed rachis.

Reference specimens. 10128, 10129 : 7/9/1984, Pulau-pulau Maisel, very shallow lagoon W of Mai, 5°28'S 127°31'E, mangal and seagrass beds, depth to 1.5 m ; 10481, 10482 : 13/9/1984, NE coast of Sumba, E of Melolo, 9°54'S 120°42.5'E, sandy reef flat and gradual slope, with scattered corals, depth to 12 m ; 10824 : 18/9/1984, E of Komodo, Selat Linta, 8°35'S 119°34'E, centre of coastal reef flat ; 11390 : 28/9/1984, SW Salayer, E of Pulau Guang, 6°21'S 120°27.5'E, sheltered sandflat covered by seagrasses ; 11513 : 28-29/9/1984, SW Salayer, 6°22'S 120°28'E, from reef crest, snorkeling ; 11580 : as 11513 but from coral sand with dense algal vegetation and large seagrasses, much silt.

Intermediate between ecad *lycopodium-disticha* and ecad *lycopodium-elegans*

Reference specimens. 10632 : 14-15/9/1984, NE coast of Sumba, beach and stony littoral of Melolo, 9°52.5'S 120°40.3'E ; 10825 : 18/9/1984, E of Komodo, Selat Linta, 8°35'S 119°34'E, centre of coastal reef flat.

Discussion. — In some specimens the stolons bear some erect branches with the characters of ecad *lycopodium-elegans* and others with those of ecad *lycopodium-disticha*. Moreover some fronds have a somewhat more compressed rachis, making them very similar to *C. serrulata* ecad *pectinata* or *C. lessonii*. SVEDELIUS (1906, pp. 98-99, 116-117) also treats this problem of gradual morphological variation, concluding that «it may be possible for *C. Lessonii* and *C. Lessonii* f. *tuticorinensis* to be in the nature of parallel forms of equal rank, both deriving from a *cupressoides* form and with a tendency to form flat bilateral branches», and «they are to be looked for, on the one side, especially among the *cupressoides* series and particularly amongst var. *lycopodium* Weber-van Bosse, and var. *disticha* Weber-van Bosse ; on the other, also among the *C. Freycinetii* [*C. serrulata*] series var. *pectinata*». As we consider the specimens belonging to the different ecads of *C. cupressoides* having a terete or only slightly compressed rachis, those specimens with similar morphology but with a markedly compressed or even complanate rachis are here placed into *C. lessonii* or *C. serrulata*.

ecad *mamillosa* [var. *mamillosa* (Montagne) Weber-van Bosse] (Fig. 3 A, 8 B)

Upright fronds generally stout and densely branched ; at least the basal branchlets densely and irregularly packed, markedly inflated, generally not longer than the diameter of the rachis.

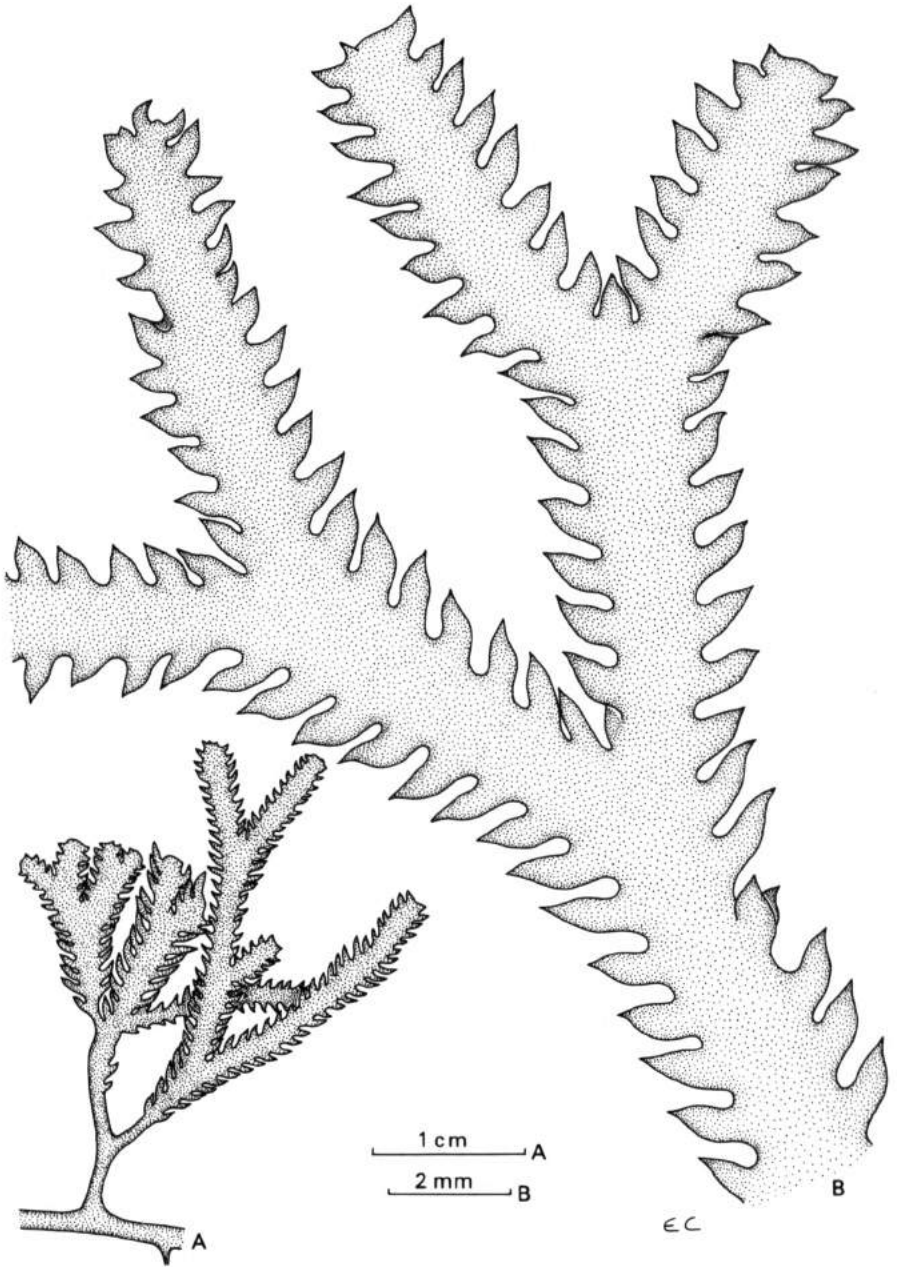


Fig. 5. — *Caulerpa lessonii* Bory
A. Habit of an erect branch (11120A) ;
B. Detail of the same.

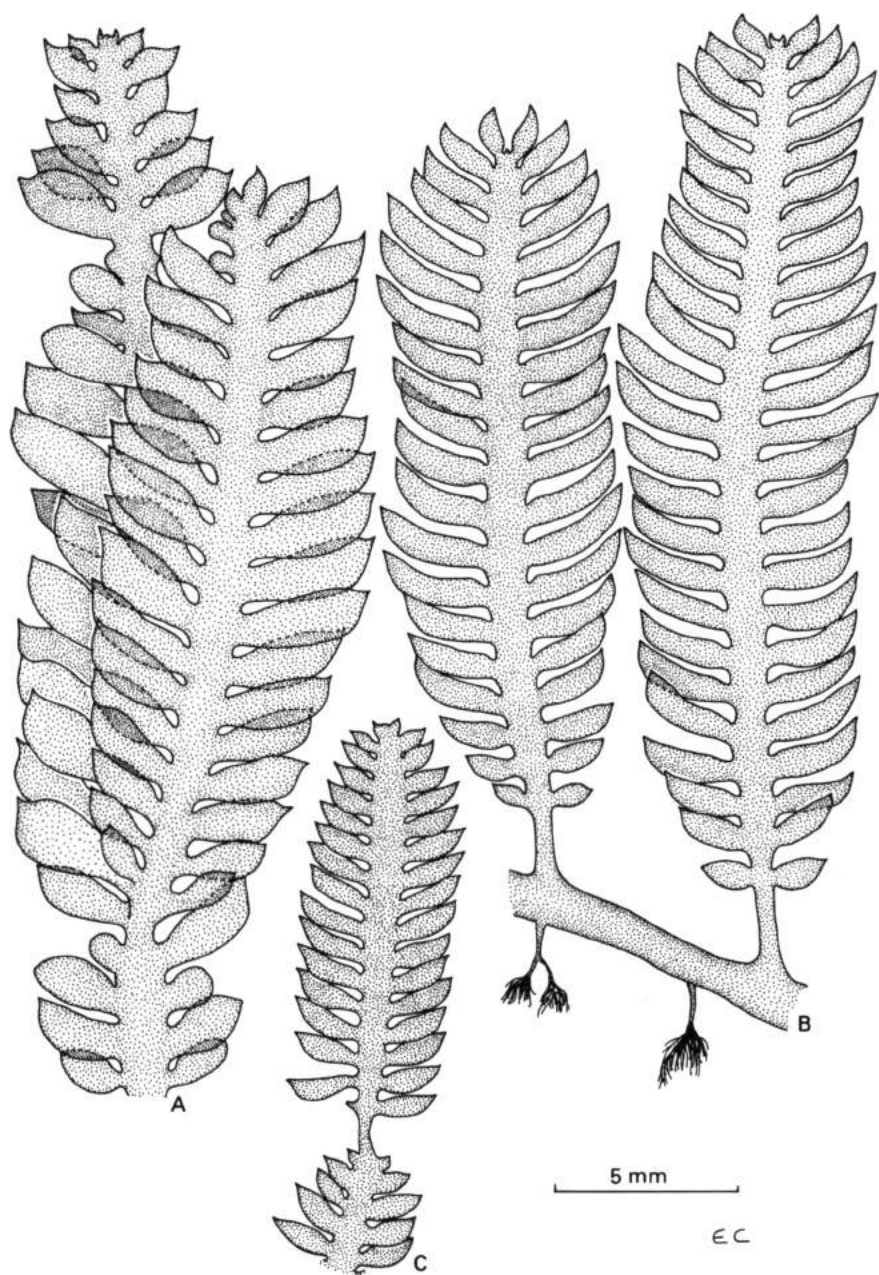


Fig. 6. — *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh
 A. ecad *mexicana* : branchlets overlapping (10619E) ;
 B. ecad *taxifolia* : branchlets not overlapping (11325E) ;
 C. Smallish intermediate between ecad *mexicana* and ecad *taxifolia* : some branchlets overlapping (11231E).

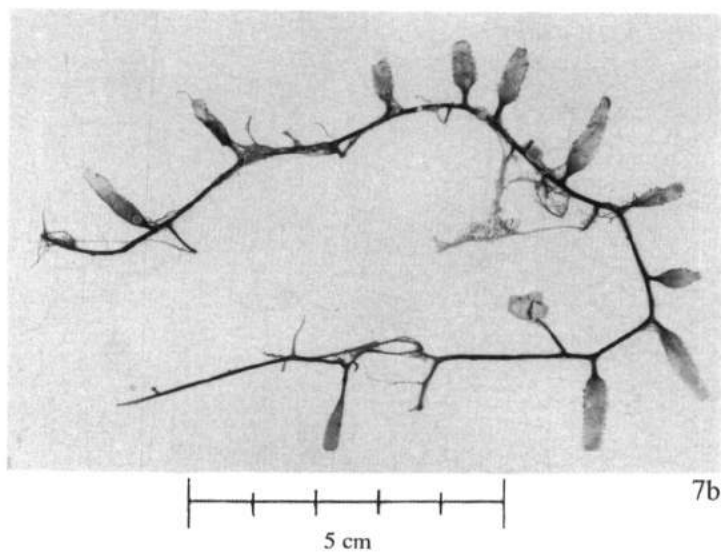
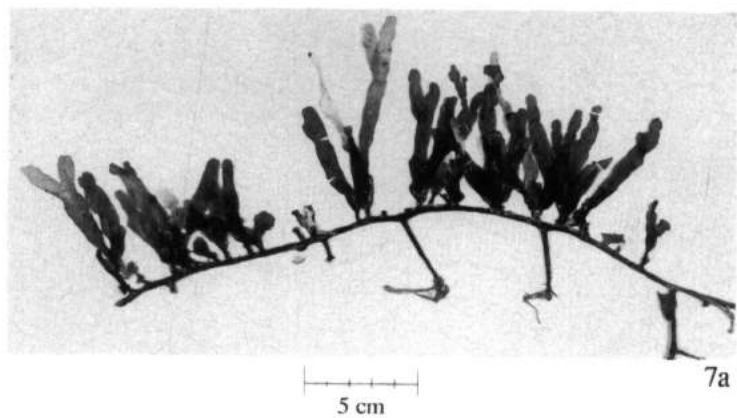


Fig. 7. — *Caulerpa brachypus* Harvey
A. Habit of ecad *brachypus* (10826 A);
B. Habit of ecad *parvifolia* (11358 E).

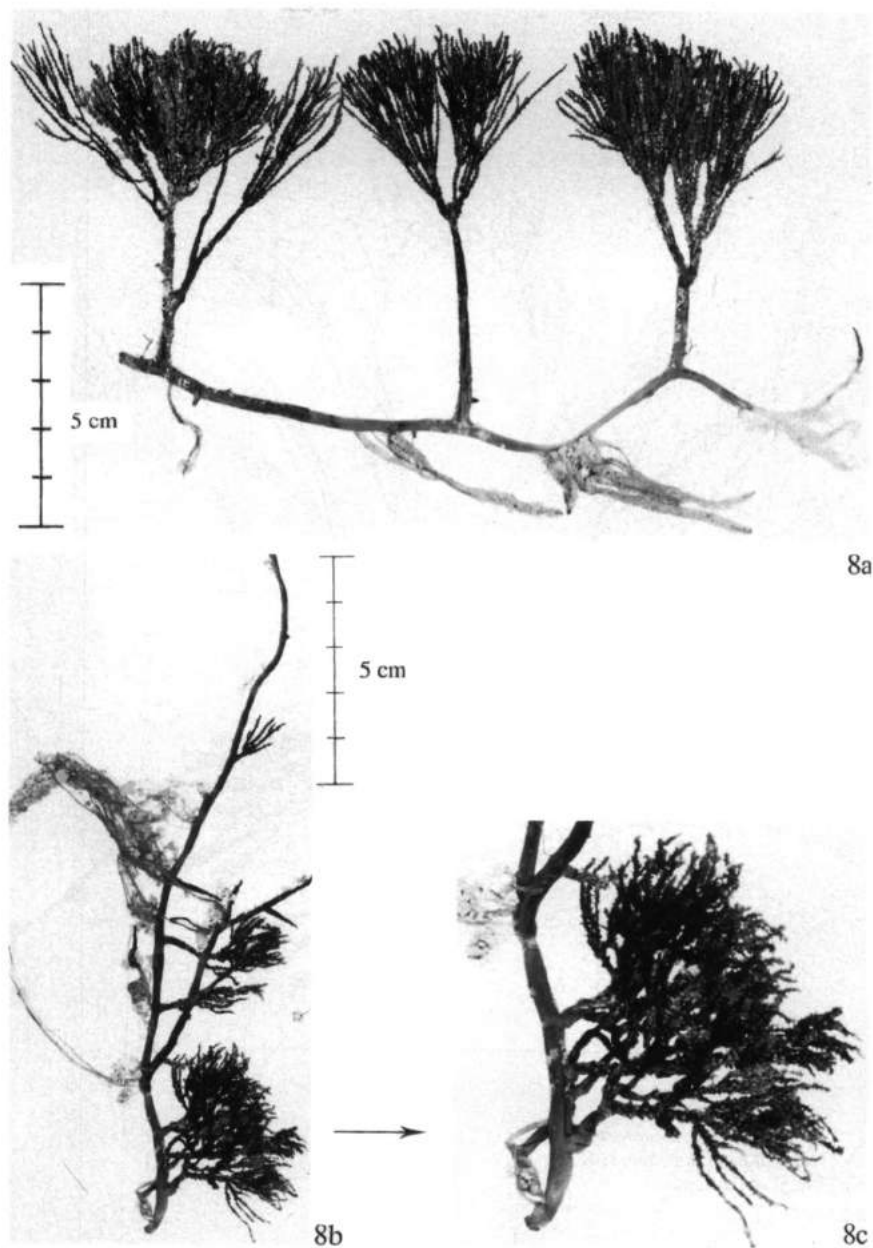


Fig. 8. — *Caulerpa cupressoides* (Vahl) C. Agardh
A. Habit of *ecad cupressoides* (11211 A);
B. Habit of *ecad mamillosa* (10396 A).

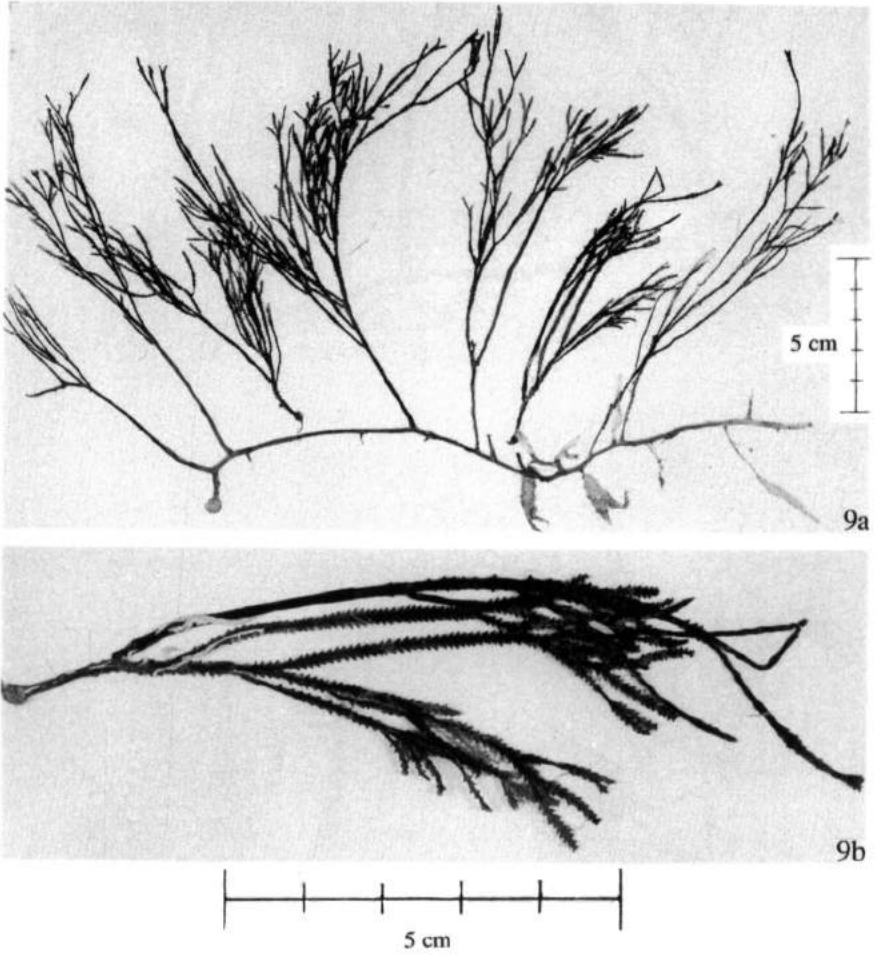
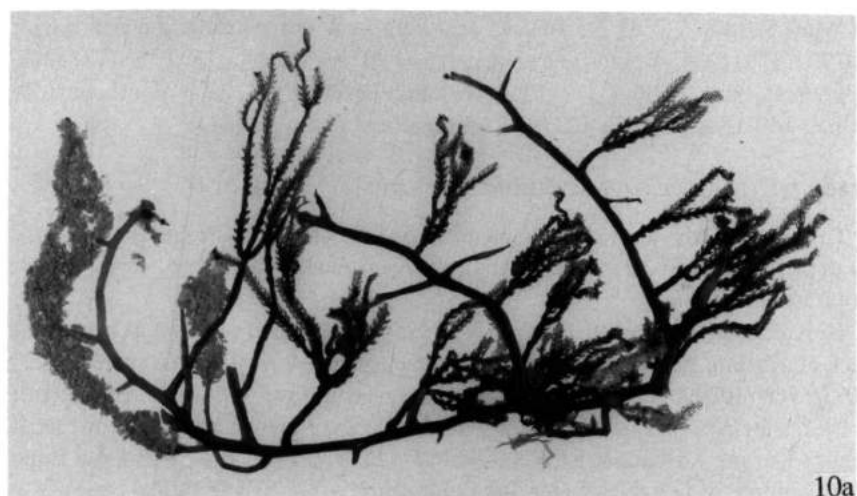
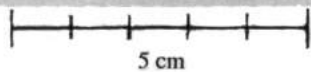


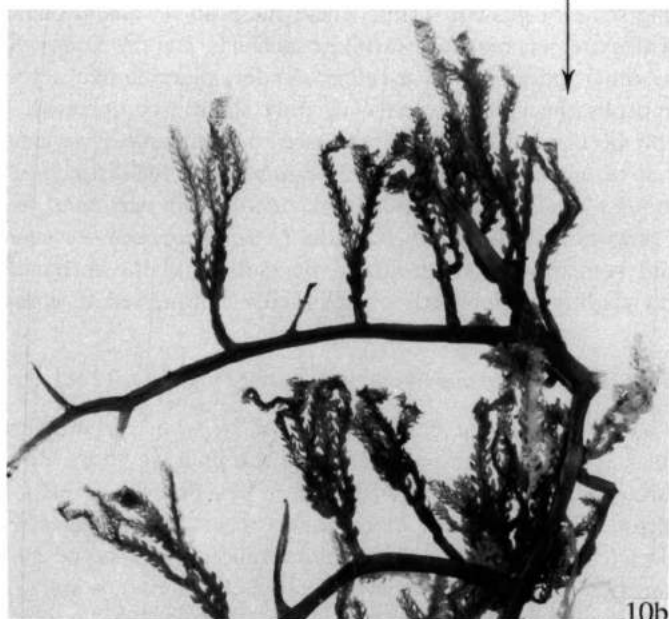
Fig. 9. — *Caulerpa cupressoides* (Vahl) C. Agardh
A. Habit of ecad *flabellata* (10130);
B. Detail of the same.



10a



5 cm



10b

Fig. 10. — *Caulerpa cupressoides* (Vahl) C. Agardh
A. Habit of ecad *lycopodium-disticha* (10417 A);
B. Detail of the same.

Reference specimens. 10099 : 4-7/9/1984, Pulau-pulau Maisel, reef flat N of Mai, 5°28'S 127°31'E ; 10384 : as 10099, reef flat close to the reef edge ; 10396 : 5/9/1984, Pulau-pulau Maisel, W of Kaurangka, 5°29'S 127°32'E, from reef flat ; 11191 : 7/9/1984, Tukang Besi Islands, near southcoast of Tomea, off Usku, 5°48'S 123°97'E, coastal reef flat.

ecad *urvilliana* [*Caulerpa urvilliana* Montagne] (Fig. 3 B, 11 B)

Upright fronds terete, (sub-)dichotomous, frequently irregularly curled ; branchlets reduced to perpendicular, wide-conical, mucronate warts, which are irregularly placed.

Reference specimens. 10209 : 6-8/9/1984, Tukang Besi Islands, southern reef of Karang Kaledupa, east of entrance, 5°56'S 123°48'E, from reef flat ; 10226 : as 10209 but from gently sloping reef above sandy bottom, depth 1-10 m ; 10268 : 9/9/1984, Tukang Besi Islands, inner part of southwestern reef of Karang Kaledupa, 5°56'S 123°46'E ; 11357 : 27/9/1984, NE Taka Bone Rate, middle of reef flat of reef Taka Garlarang, 6°27'S 121°14'E.

Discussion on *C. cupressoides*

As already stated in the Nomenclatural remark, *C. cupressoides* occurs in an unending scala of growth forms, where the ecad *urvilliana* could be one extreme, with extremely reduced, wartlike branchlets, and the ecad *lycopodium-elegans* the other extreme with a rather slender, plumula-like aspect. In all these ecomorphs the rachis is terete or only slightly compressed. As soon as the rachis becomes markedly compressed to complanate, we consider the specimens as belonging to an ecad of *C. serrulata*. But the distinction between *C. cupressoides* ecad *disticha* and *C. serrulata* ecad *pectinata*, as well as between *C. cupressoides* ecad *flabellata* and *C. serrulata* ecad *boryana* remains difficult and sometimes even arbitrary, depending on the interpretation of «rachis only slightly compressed» or «markedly compressed to complanate».

Caulerpa elongata Weber-van Bosse (Fig. 4 D, 12 A)

Stolons as well as upright branches covered by whorls of stiff branchlets, resulting in a lycopod-like aspect. Rhizoids terminal on short, downwardly growing branches. Ramified stolon more or less densely covered by short (c. 1 mm), pseudodichotomous, more or less recurved branchlets with mucronate apices (rather frequently 2-3 terminal mucrons), disposed all around ; upright branches 1-2 cm high ; rachis rather densely covered by stiff (1.5-2 mm) long, dichotomous branchlets, disposed on 2 × 2 rows, dividing 3-4 times in alternate planes, c. 150 μm at the base, with singly mucronate apices.

Reference specimens. 10827 : 18/9/1984, E of Komodo, Selat Linta, 8°35'S 119°34'E, centre of coastal reef flat.

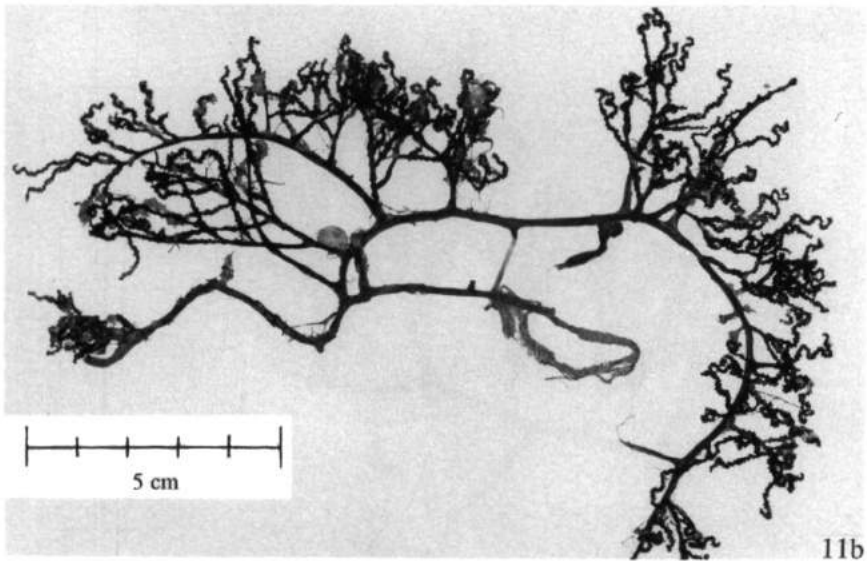
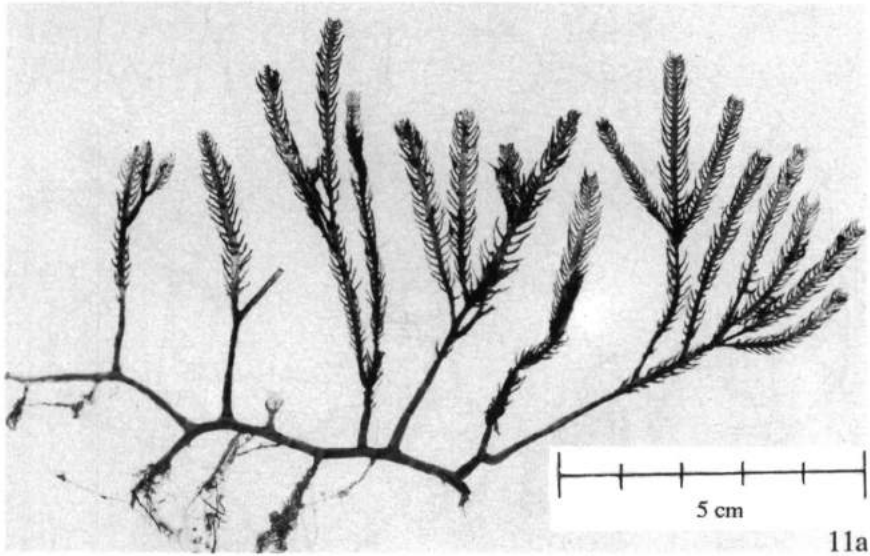


Fig. 11. — *Caulerpa cupressoides* (Vahl) C. Agardh
A. Habit of ecad *lycopodium-elegans* (10481 A);
B. Habit of ecad *urvilliana* (11357 A).

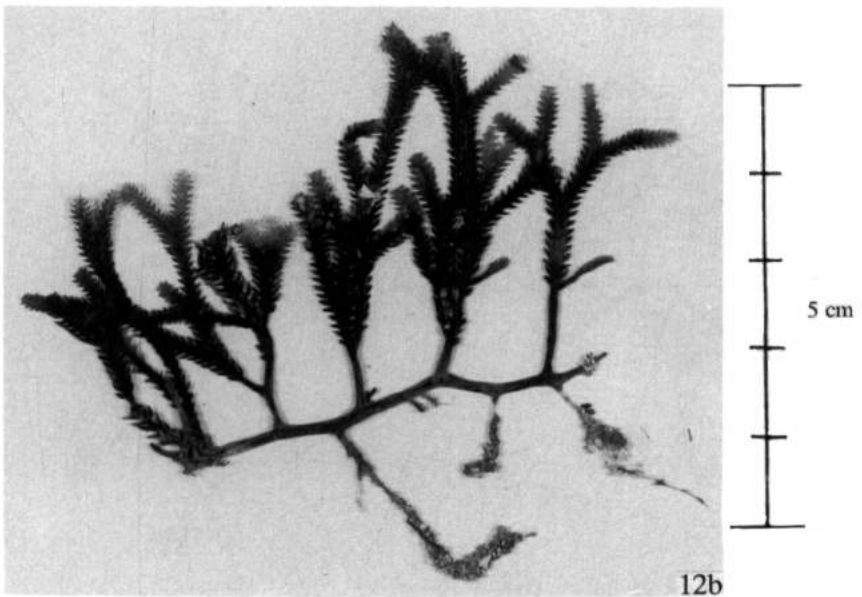
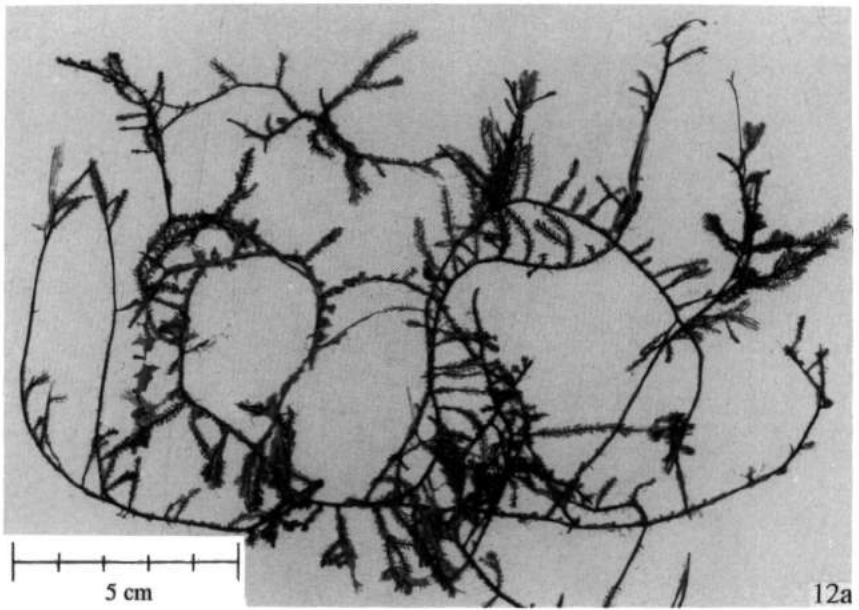


Fig. 12.
A. *Caulerpa elongata* Weber-van Bosse : habit (10827 A) ;
B. *Caulerpa lessonii* Bory : habit (11120 A).

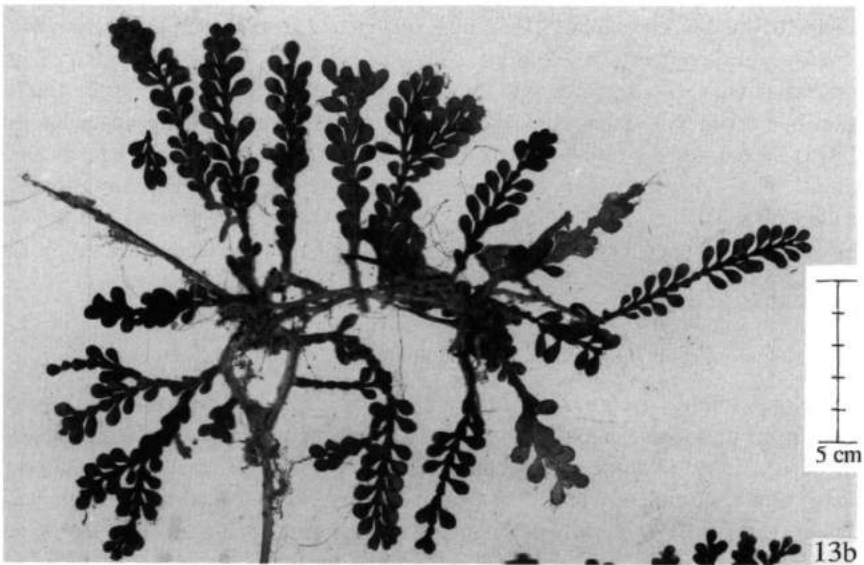
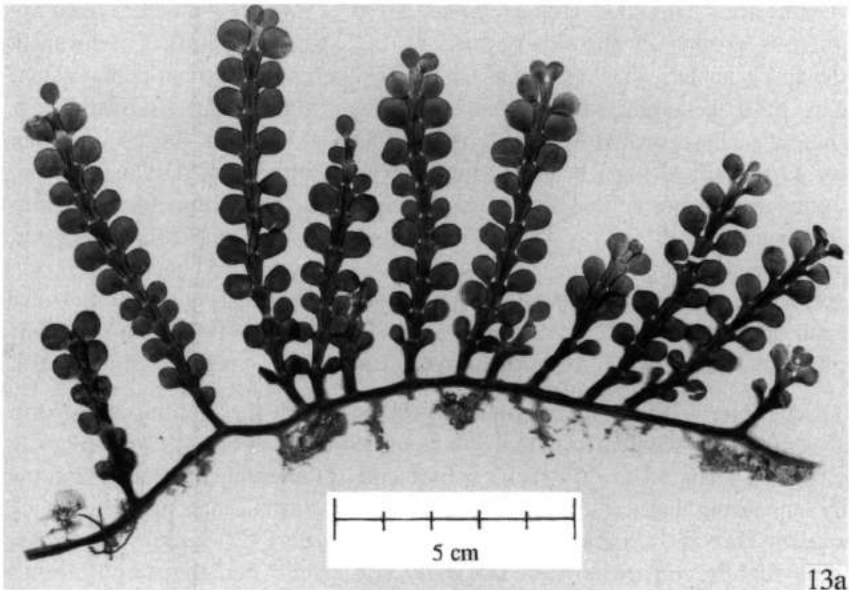


Fig. 13. — *Caulerpa fergusonii* Murray
A. Habit with more roundish ramuli (10878 A);
B. Habit with more clavate ramuli (10620 A).

Caulerpa fergusonii Murray (Fig. 1 D-E, 13 A,B)

Thalli stout; ramified stolons terete, up to 2 mm in diameter, fixed by numerous groups of rhizoids formed at the apices of short, downwardly growing branchlets, 0.5-1 cm long. Upright branches up to 8 cm high, fleshy; rachis most generally unbranched, somewhat complanate, markedly segmented; each segment (6-7 mm long in 10878, 4-5 mm in 10620) widening towards the apical part, bearing at its upwardly oblique part two opposite, rounded or obovate, somewhat laterally compressed, sessile branchlets, 4-6 mm in diameter (10878) or 6(-7) mm long and 3 mm wide (10620), constricted at the base.

Reference specimens. 10620: 14-15/9/1984, NE coast of Sumba, stony littoral of Melolo, 9°52.5'S 120°40.3 E; 10878: 19-20/9/1984, Komodo, NE cape, 8°29'S 119°34.1'E, edge of narrow coastal reef, steep reef slope (45°).

Discussion. — These specimens certainly belong to the Opuntioideae-group with a markedly segmented rachis. We identified them as *C. fergusonii* Murray because the lower part of the rachis is bare and not annulated, the articulations only appearing higher up, where the opposite ramuli are present. In *C. geminata* Harvey [*C. sedoides* (R. Brown ex Turner) C. Agardh] the rachis is only slightly constricted (not markedly articulated) and the ramuli are all sides or almost distichous. The ramuli of *C. annulata* Lucas are narrowly clavate to subcylindrical, and those of *C. articulata* Harvey and *C. holmesiana* Murray are even more elongate. The Snellius-II specimens agree also somewhat with *C. cactoides* but they are more elegant than the stout thalli described from Australia, and the ramuli are more roundish (especially in 10878). WOMERSLEY (1984: 270), mentions that «the shape and size of the ramuli of *C. cactoides* vary considerably in different ecological situations». WEBER-VAN BOSSE (1913: 112) drew attention to the compressed nature of the branchlets of *C. fergusonii*, which thus are not as vesiculate as in *C. cactoides*.

Caulerpa lentillifera J. Agardh (Fig. 4 E-F, 14 A,B)

Stolons terete, irregularly branched (branching density variable), 1-1,5 (-2) mm in diameter; erect fronds rather densely set, up to 8 cm long, usually unbranched, but in some specimens (10486, 10871, 11382) markedly ramified; rachis terete, completely and densely covered by subspherical or more or less clavate ramelli of 1(-2) mm in diameter, placed on 5-8 longitudinal rows or more irregularly and imbricately placed, and supported by clearly constricted pedicels.

Reference specimens. 10125: 7/9/1984, Pulau-pulau Maisel, very shallow lagoon W of Mai, 5°28'S 127°31'E, seagrass beds in front of mangal, down to 1.5 m; 10465: 13-14/9/1984, NE coast of Sumba, E of Melolo, 9°55'S

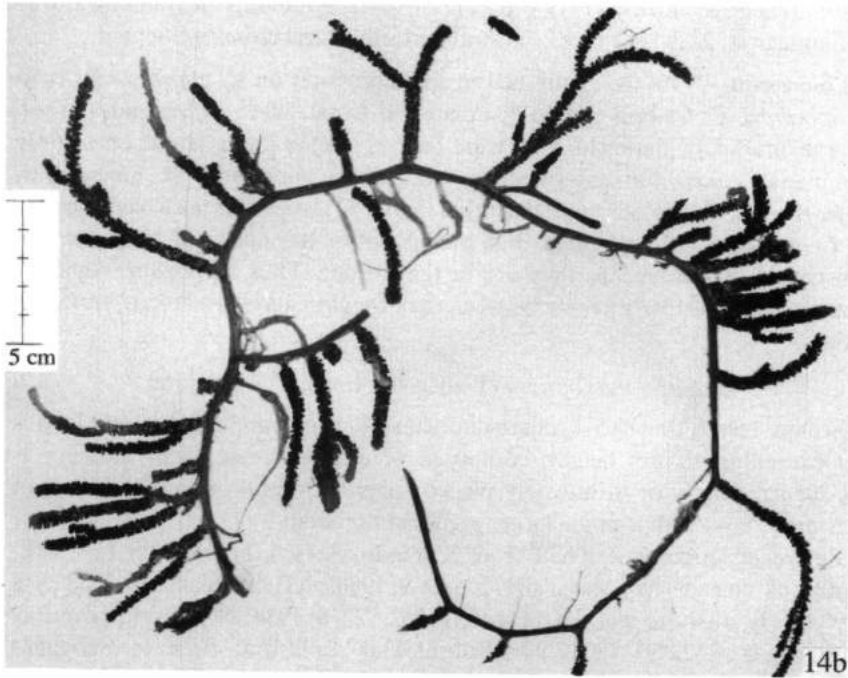
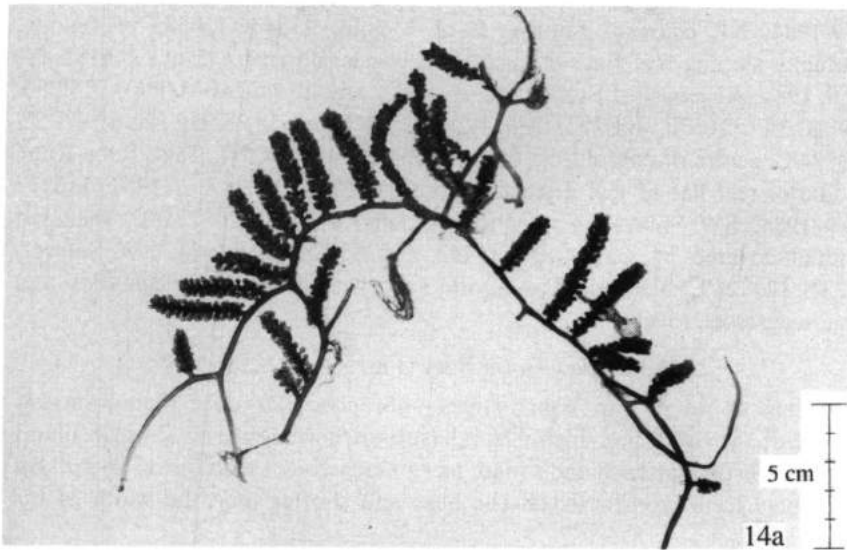


Fig. 14. — *Caulerpa lentillifera* J. Agardh
A. Habit with spherical ramuli (11576 A);
B. Habit with clavate ramuli (10871 A).

120°45'E, on a very gently sloping reef flat, 10-15 m deep ; 10486, 10487 : 13-9-1984, NE coast of Sumba, E of Melolo, 9°54'S 120°45.5'E, sandy, gradually sloping reef flat with scattered corals, down to 12 m ; 10618 : 14-15/9/1984, NE coast of Sumba, beach and stony littoral of Melolo, 9°52.5'S 120°40.3'E ; 10870, 10871 : 18/9/1984, E of Komodo, Selat Linta, 8°35'S 119°34'E, centre of coastal reef flat ; 11363 : 27/9/1984, NE Taka Bone Rate, middle of reef flat of reef Taka Garlarang, 6°27'S 121°14'E ; 11382, 11383 : 28/9/1984, SW Salayer, E of Pulau Guang, 6°21'S 120°27.5'E, sheltered sandflat covered by seagrasses ; 11492, 11576 : 28-29/9/1984, SW Salayer, 6°22'S 120°28'E, black sand and coral sand with dense algal vegetation and large seagrasses, much silt.

Caulerpa lessonii Bory (Fig. 5 A-B, 12 B)

Thallus up to 45 mm high ; stipes unbranched or once dichotomously branched, up to 10 mm high ; frond (sub-)dichotomous, in a single plane, rachis markedly flattened and broad, margin densely set with upwardly curved, mucronate teeth, constricted at the base and shorter than the width of the rachis.

Reference specimens. 11119 p.p., 11120A : 22/9/1984, N of Sumbawa, Bay of Sanggar, 8°22'S 118°17.9'E, littoral and sublittoral close to Sanggar.

Discussion. — As we mentioned in the discussion on *C. cupressoides* ecad *lycopodium*, *C. lessonii* can be distinguished from the *C. cupressoides* group by the markedly flattened and wide rachis instead of a terete or slightly complanate axis, but intermediates have been described (*C. lessonii* f. *tuticorinensis* Svedelius). On the other hand *C. lessonii* is also very similar to *C. serrulata* ecad *pectinata* but in this entity the marginal teeth are not constricted at the base as they are in the former. Thus *C. lessonii* could be considered as the intermediate between the *C. cupressoides* and the *C. serrulata* group.

Caulerpa microphysa (Weber-van Bosse) J. Feldmann

Stolons terete, thin (0.5-1 mm in diameter), sparsely ramified ; upright fronds not exceeding 10 mm height, composed of a short terete rachis bearing 1-15(-20) irregularly or imbricately placed spherical ramuli with a diameter of c. 2 mm. Plasts with a single large, pyriform pyrenoid.

Reference specimens. 10872, E of Komodo, Selat Linta, 8°35'S 119°34'E, centre of coastal reef flat ; 10972 : 19/9/1984, NE of Komodo, 8°32.3'S 119°35.7'E, offshore reef flat ; 11146, 11152 : 22/9/1984, N of Sumbawa, Bay of Sanggar, 8°22'S 118°17.9'E, littoral and sublittoral close to Sanggar ; 11377 : 27/9/1984, NE Taka Bone Rate, 6°27'S 121°14'E, middle of reef flat of Taka Garlarang reef ; 11620 : 28-29/9/1984, SW Salayer, 6°22'S 120°28'E, bare black sand and coral sand with dense algal vegetation and large seagrasses, much silt.

Discussion. — *C. microphysa* could be confused with small specimens of *C. lentillifera* but the pedicels of the vesicular branchlets of the last one are markedly constricted, and the plastids are devoid of pyrenoids. Tiny growth forms of *C. racemosa* can also be distinguished from *C. microphysa* by this last character.

Caulerpa racemosa (Forsskål) J. Agardh

This species includes a wide variety of growth forms, the length of the erect fronds as well as the morphology of the branchlets being extremely variable [from (sub-)spherical, over clavate and turbinate to peltate]. It therefore is very difficult to give an overall species description, but most of the specimens are markedly fleshy with differently inflated branchlets. The plastids are always devoid of pyrenoids.

ecad *corynephora* [var. *corynephora* (Montagne) Weber-van Bosse] (Fig. 15 A)

Thallus slender, stolons only rarely branched, erect fronds up to 14 cm high, rachis terete or slightly compressed, unbranched or only rarely so, with a naked basal part (0.5-1 cm) and a series of more or less distant (sub-) opposite branchlets; these ramelli gradually enlarge from base to apex (clavate), with regularly rounded apices.

Reference specimens. 11370 : 27/9/1984, NE Taka Bone Rate, middle of reef flat of Taka Garlarang reef, 6°27'S 121°14'E; 11491, 11578c : 28-29/9/1984, SW Salayer, 6°22'S 120°28'E, bare black sand and coral sand with dense algal vegetation and large seagrasses, much silt.

ecad *laetevirens* [var. *laetevirens* (Montagne) Weber-van Bosse] (Fig. 16 A,B,C)

Thallus with a very dense aspect: stolons frequently branched, attached with very well developed rhizoidal branchlets; erect fronds crowded, up to 2-3(-4) cm high, rachis terete, bearing crowded, radially arranged branchlets; these ramelli, in the most typical growth form, all similar, narrowly clavate with regularly rounded apices.

Reference specimens. 10788, 10868, 10869 : 18/9/1984, E of Komodo, Selat Linta, 8°35'S 119°34'E, centre of coastal reef flat; 11386 : 28/9/1984, SW Salayer, E of Pulau Guang, 6°21'S 120°27.5'E, sheltered sandflat covered by seagrasses.

Discussion. — In some growth forms the upper branches have a flattened or even hollowed apex (tending to ecad *turbinata*) or become peltate (tending to ecad *peltata*).

ecad *lamourouxii* [var. *lamourouxii* (Turner) Weber-van Bosse] (Fig. 15 B)

Thallus with a fleshy aspect; erect fronds with very variable morphology: some branches completely naked, terete, slightly compressed or markedly

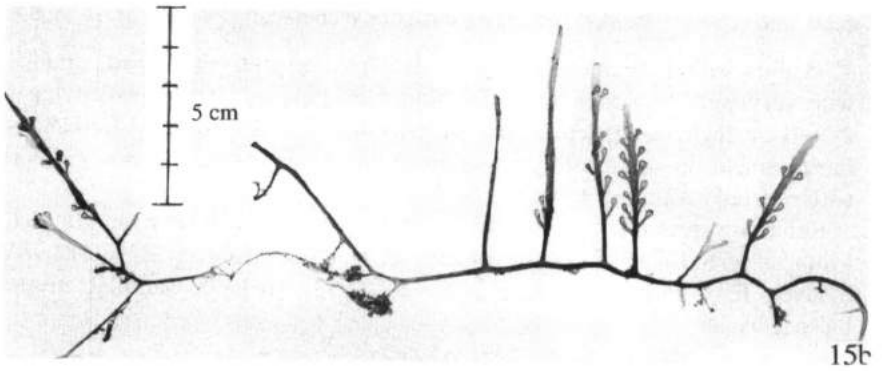
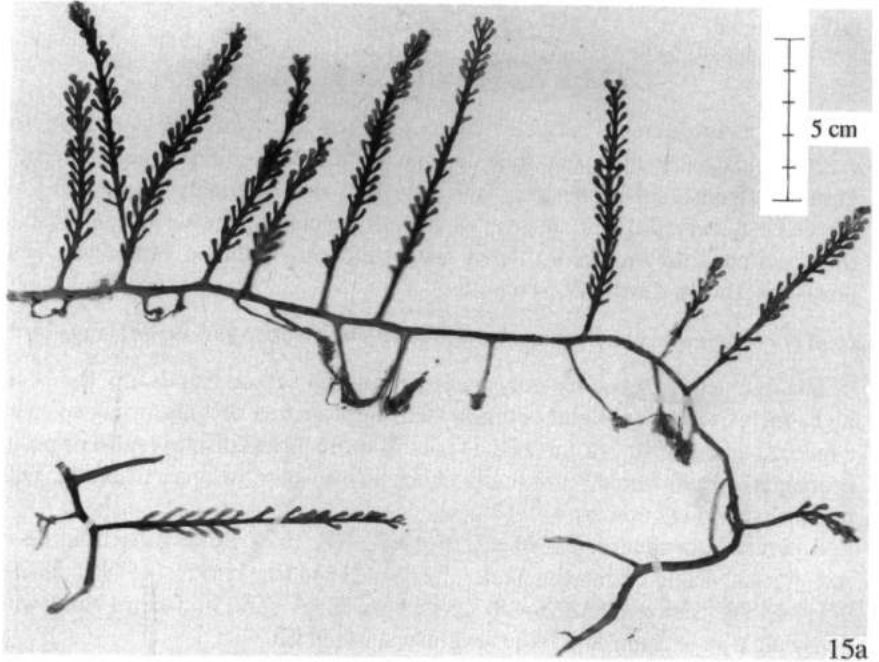


Fig. 15. — *Caulerpa racemosa* (Forsskål) J. Agardh
A. ecad *corynephora* (11491 E);
B. ecad *lamourouxii* (11578 A [b]).

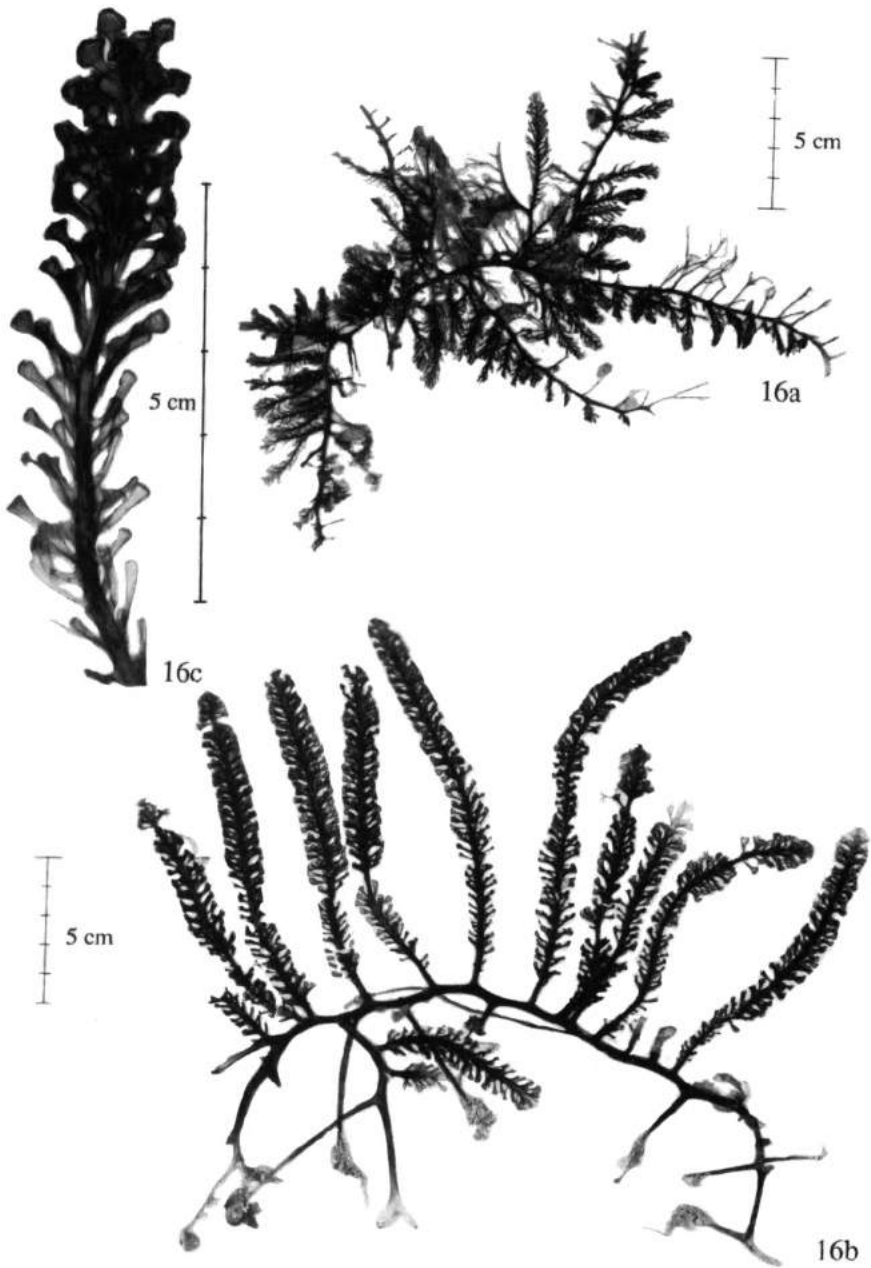


Fig. 16. — *Caulerpa racemosa* (Forsskål) J. Agardh ead *laetevirens*
A. Habit of a dense specimen (10869 A);
B. Habit of a large specimen (10868 A);
C. Detail of an erect branch (10788 A).

flattened, but even then thick and fleshy and generally of irregular width or even showing some constrictions, other branches with some (sub-)opposite, (sub-)spherical or clavate, sessile branchlets and the rachis as just mentioned.

Reference specimens. 11371 : 27/9/1984, NE Taka Bone Rate, middle of reef flat of Taka Garlarang reef, 6°27'S 121°14'E ; 11385 : 28/9/1984, SW Salayer, E of Pulau Guang, 6°21'S 120°27.5'E, sheltered sandflat covered by seagrasses ; 11578(A,b), 11582 : 28-29/9/1984, SW Salayer, 6°22'S 120°28'E, bare black sand and coral sand with dense algal vegetation and large seagrasses, much silt.

Discussion. — Depending on the morphology of the vesicle-like branchlets, the growth form *lamourouxii* may be considered as belonging either to *C. racemosa* ecad *corynephora* (with clavate ramuli) or to *C. racemosa* ecad *racemosa* (with subspherical ramuli). In Papua New Guinea we even collected specimens of *C. opposita* Coppejans & Meinesz showing characters of the growth form *lamourouxii* (with laterally compressed to sub-spherical ramuli and pyrenoid containing plasts).

ecad *peltata* [var. *peltata* (Lamouroux) Eubank] (Fig. 17 B)

Thallus prostrate ; stolons generally thin (0.5-1.5 mm in diameter), variably branched ; erect fronds short, up to 1-1.5 cm in the typical growth forms ; intermediates, also bearing branchlets of the *laetevirens* and *turbinata* types have longer erect fronds (up to 7 cm in 10909) ; typical branchlets as thin peltate discs of up to 3 mm in diameter ; sometimes solitary stipitate discs on the stolon, sometimes several shortly stipitate discs arranged axially around the erect rachis.

Reference specimens. 10484 : 13/9/1984, NE coast of Sumba, E of Melolo, 9°54'S 120°42.5'E, sandy reef flat ; 10554 : as 10484 but from reef slope, down to 12 m ; 10564 : 13-14/9/1984, NE coast of Sumba, E of Melolo, 9°55'S, 120°45'E, edge of extensive, very gently sloping reef flat, down to 10-15 m ; 10808 : 18/9/1984, E of Komodo, Selat Linta, 8°32.5'S 119°34'E, coastal reef flat ; 10877 : 19-20/9/1984, Komodo, NE cape, 8°29'S 119°34.1'E, steep reef slope (45°) of narrow coastal reef ; 10910 : 19/9/1984, NE of Komodo, 8°32.3'S 119°35.7'E, slope of offshore reef ; 10971 : as 10877 but from reef flat ; 11365 : 27/9/1984, NE Taka Bone Rate, middle of reef flat of reef Taka Garlarang, 6°27'S 121°14'E ; 11394 : 28/9/1984, SW Salayer, E of Pulau Guang, 6°21'S 120°27.5'E, sheltered sandflat covered by seagrasses.

Discussion. — The prostrate growth form with singly placed peltate branchlets has been described as *C. nummularia* Harvey or *C. racemosa* var. *peltata* fa *nummularia* (Harvey ex J. Agardh) Weber-van Bosse. Because some stolons bear singly placed as well as grouped peltate ramelli we do not consider this growth form as a distinct entity.

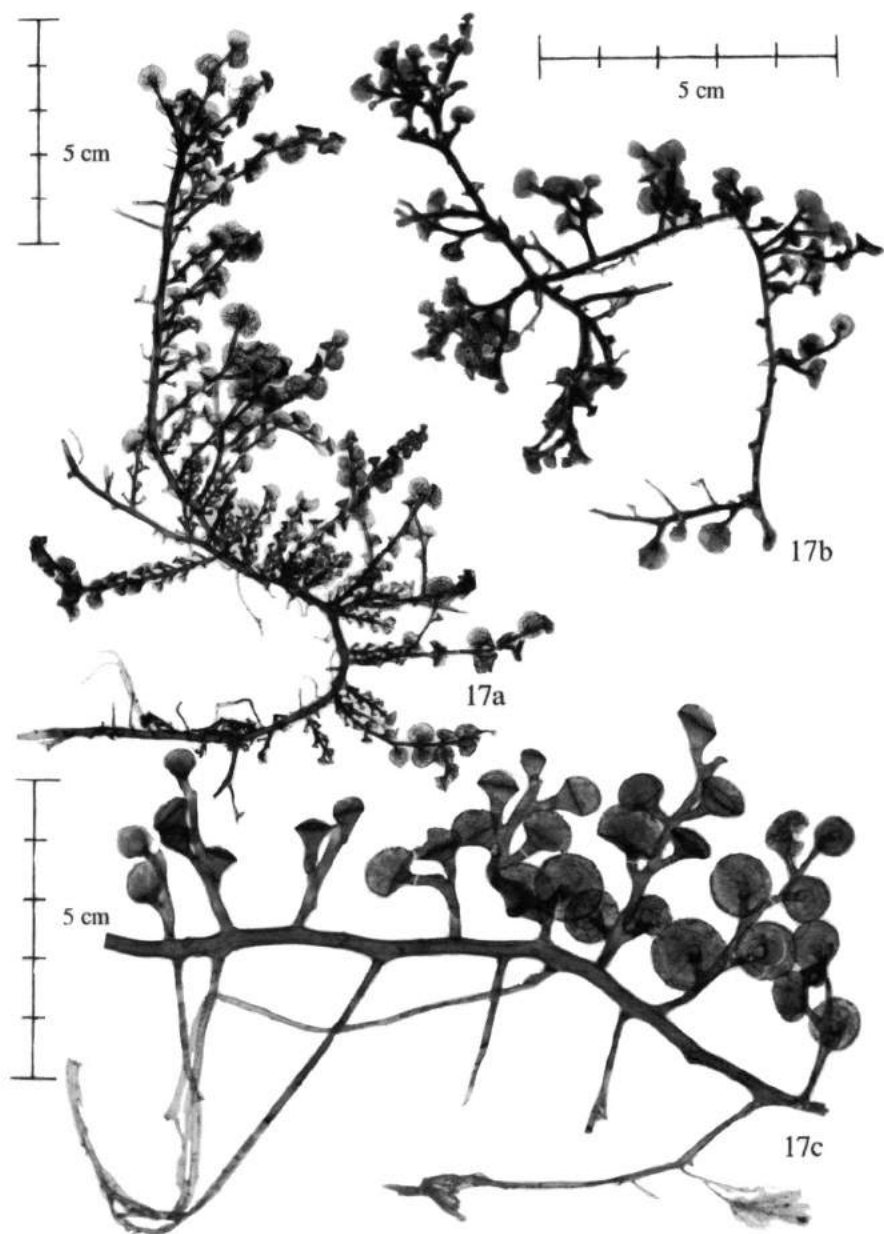


Fig. 17. — *Caulerpa racemosa* (Forsskål) J. Agardh ecad *peltata*
A. Habit of intermediate between ecad *turbinata* and ecad *peltata* (10909 A);
B. Habit of ecad *peltata* (11365 A);
C. Habit of ecad *peltata-macrodisca* (11330 A).

ecad *peltata-macrodisca* [var. *peltata* fa *macrodisca* (Decaisne) Weber-van Bosse] (Fig. 17 C)

Thallus stout ; stolon 2 mm in diameter, fixed by well developed rhizoidal branches ; erect fronds up to 5 cm high ; terete rachis bearing 6-8 randomly placed peltate branchlets with a stipe reaching 5 mm in length and discs of 12 mm in diameter.

Reference specimens. 11330 : 27/9/1984, NE Taka Bone Rate, entrance of Taka Garlarang atoll, 6°28'S 121°18'E, edge of reef flat at inner part of atoll entrance.

ecad *racemosa* [var. *racemosa*] (Fig. 18 A,B)

Thallus stout, fleshy ; stolons terete, generally well branched, attached by numerous, well developed rhizoidal branches ; erect fronds most frequently short (up to 2 cm), but sometimes (11328, 11578a) reaching 4 cm high ; rachis terete bearing more or less densely packed branchlets, depending on the length of the rachis ; branchlets (2-)3-4 mm long, pearshaped with a markedly inflated apical part [(2-)3-4 mm in diameter] and rounded top, either irregularly or ± helicoidally placed.

Reference specimens. 10126 : 7/9/1984, Pulau-pulau Maisel, 5°28'S 127°31'E, very shallow lagoon W of Mai in front of mangal, depth to 1.5 m ; 10416 : 5/9/1984, Pulau-pulau Maisel, 5°29'S 127°32'E, lagoon W of Laponda ; 10440, 10462 : 13-14/9/1984, NE coast of Sumba, E of Melolo, 9°55'S 120°45'E, edge of extensive, very gently sloping reef flat ; 10483a : as 10416 but 9°54'S 120°42.5'E, sandy reef flat ; 10631 : 14-15/9/1984, NE coast of Sumba, 9°52.5'S 120°4.3'E, beach and stony littoral of Melolo ; 10695 : 16/9/1984, NE coast of Sumba, 9°58'S 120°49'E, reef flat with seagrasses ; 10716 : 17/9/1984, E of Komodo, Teluk Slawi, 8°35'S 119°31.5'E, small reef platform in front of mangal ; 10867 : 18/9/1984, E of Komodo, Selat Linta 8°35'S 119°34'E, centre of coastal reef flat ; 11016 : 21/9/1984, N of Sumbawa, Bay of Sanggar, 8°20'S 118°14'E, coast ; 11328 : 27/9/1984, NE Taka Bone Rate, entrance of Taka Garlarang atoll, 6°28'S 121°18'E, edge of reef flat at inner part of atoll entrance ; 11369 : as 11328 but 6°27'S 121°14'E, middle of reef flat of Taka Garlarang reef ; 11384 : 28/9/1984, SW Salayer, E of Pulau Guang, 6°21'S 120°27.5'E, sheltered sandflat covered by seagrasses ; 11514, 11578a : 28-29/9/1984, SW Salayer, 6°22'S 120°28'E, reef crest.

Discussion. — According to PAPENFUSS & EGEROD (1957, p. 88), *C. racemosa* var. *racemosa* and *C. racemosa* var. *clavifera* (Turner) Weber-van Bosse are synonyms. They do not comment on var. *macrophyssa* (Kützing) Taylor which we, however, also consider as included in this ecad.

ecad *turbinata* [var. *turbinata* (J. Agardh) Eubank] (Fig. 19 A,B)

Thallus stout, fleshy ; stolons terete, thick (up to 3(-5) mm in diameter), branched, fixed by numerous well developed rhizoid-bearing branches ; erect

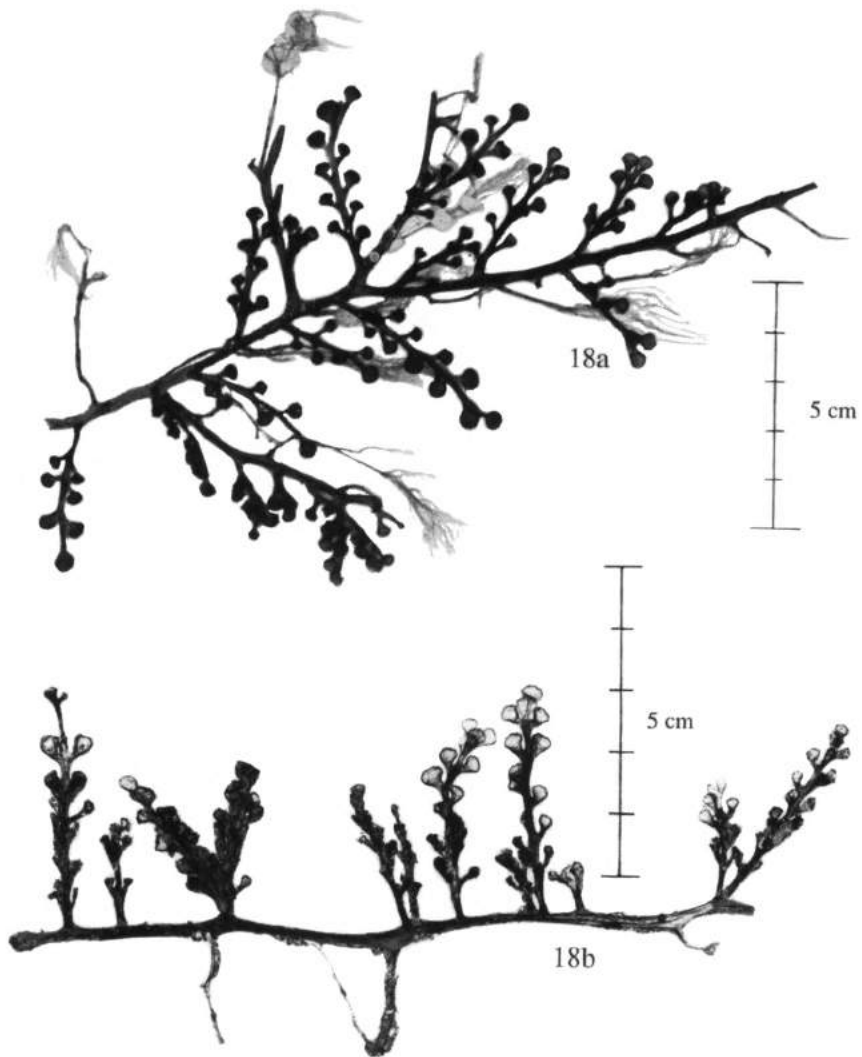


Fig. 18. — *Caulerpa racemosa* (Forsskål) J. Agardh ead *racemosa*
A. Habit of a slender form (11328 A);
B. Habit of a dense form (11578 A).

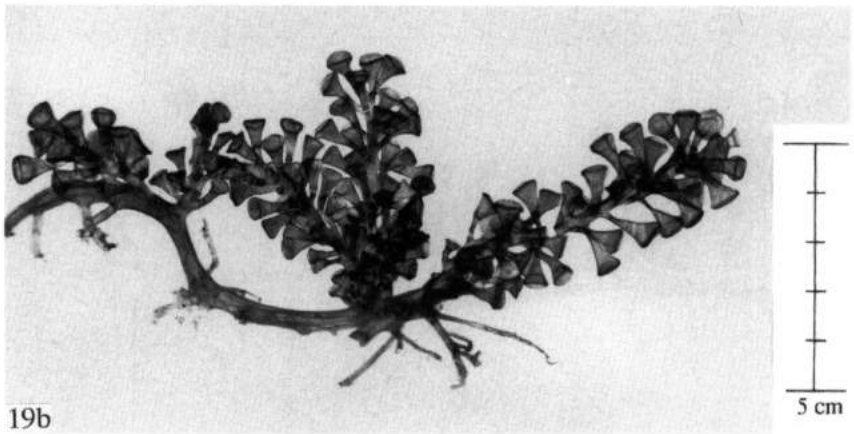
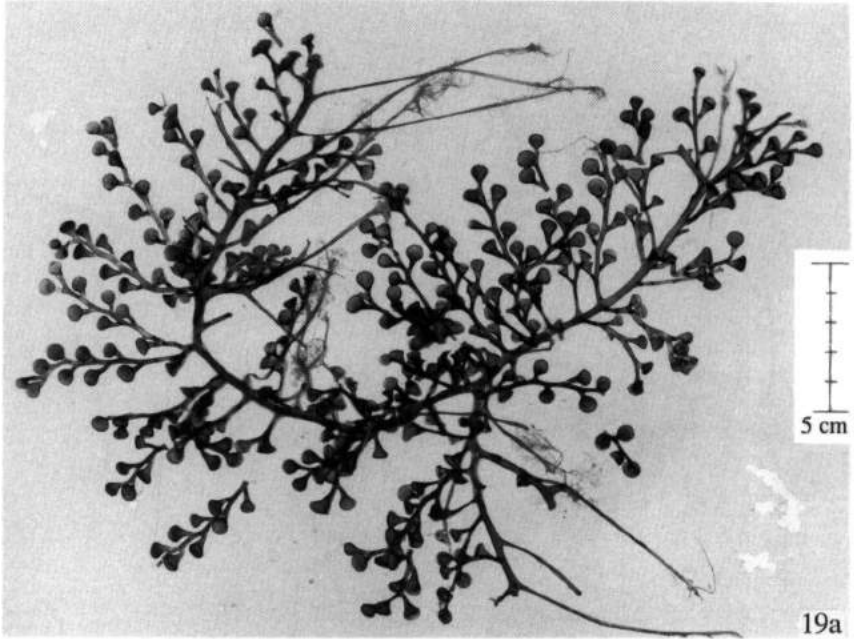


Fig. 19. — *Caulerpa racemosa* (Forsskål) J. Agardh ead *turbinata*
A. Habit (11329 A);
B. Habit (10807 A).

fronds well developed, frequently 6 cm high (in 10897 even up to 17 cm); rachis terete, generally unbranched (branched in 10897), bearing radially (or helicoidally) arranged branchlets; these ramelli gradually expanding towards the apex (broadly clavate), with blunt, flat or even convex top, more or less resulting in a trumpet-shape.

Intermediate ecomorphs between ecad *laetevirens* and ecad *peltata* with turbinate branchlets agree with this description but have smaller sizes.

Reference specimens. 10807: 18/9/1984, E of Komodo, Selat Linta, 8°32.5'S 119°34'E, coastal reef flat; 10868: 18/9/1984, as 10807 but 8°35'S 119°34'E, centre of coastal reef flat; 10893, 10922: 19-20/9/1984, Komodo, NE cape, 8°29'S 119°34.1'E, steep reef slope (45°) along the edge of a narrow coastal reef; 10897: 19/9/1984, NE of Komodo, 8°29.3' S 119°35.3'E, reef slope near small Bugies Island; 11329, 11331: 27/9/1984, NE Taka Bone Rate, entrance of Taka Garlarang atoll, 6°28'S 121°18'E, edge of reef flat at inner part of atoll entrance; 11622: 30/9-1/10/1984, SW Salayer, reef N of Pulau Bahuluang, 6°27'S 120°25.8'E, edge of offshore reef.

Intermediate growth forms of *C. racemosa*

ecad *laetevirens*/*turbinata*/*peltata* (Fig. 17 A)

Branchlets with the characteristics of each of these ecads occur either on the same erect frond, either on different fronds on the same stolon.

Reference specimens. 10251: 9/9/1984, Tukang Besi Islands, inner part of SW reef of Karang Kaledupa, 5°56'S 123°46'E; 10418: 5/9/1984, Pulau-pulau Maisel, lagoon W of Laponda, 5°29'S 127°32'E; 10909: 19/9/1984, NE of Komodo, 8°32.3'S 119°35.7'E, offshore reef slope; 11642: 1/10/1984, SW Salayer, N of Pulau Bahuluang, 6°27.5'S 120°26'E, reef flat.

Discussion on *Caulerpa racemosa*

As already mentioned in the nomenclatural remark and in COPPEJANS & BEECKMAN (1989, p. 390), *C. racemosa* is an extremely variable entity with some recognizable growth forms but with at least as many intermediate ecomorphs.

Within the group of *Caulerpa*'s with vesicular branchlets from the Snellius-II expedition *C. racemosa* differs from *C. microphysa* by the absence of pyrenoids in the plastids, from *C. lentillifera* by the absence of a marked constriction in the branchlet pedicel and from *C. fergusonii* by the absence of a segmented rachis.

Caulerpa serrulata (Forsskål) J. Agardh emend. Børgesen

Thallus stiff to very stiff; upright fronds complanate to flat but still more or less fleshy, (pseudo-)dichotomous, in one plane or more or less strongly spirally twisted, margin dentate.

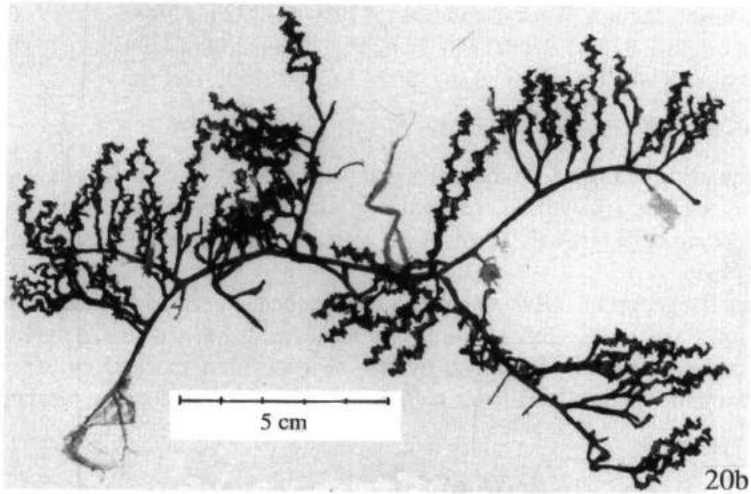
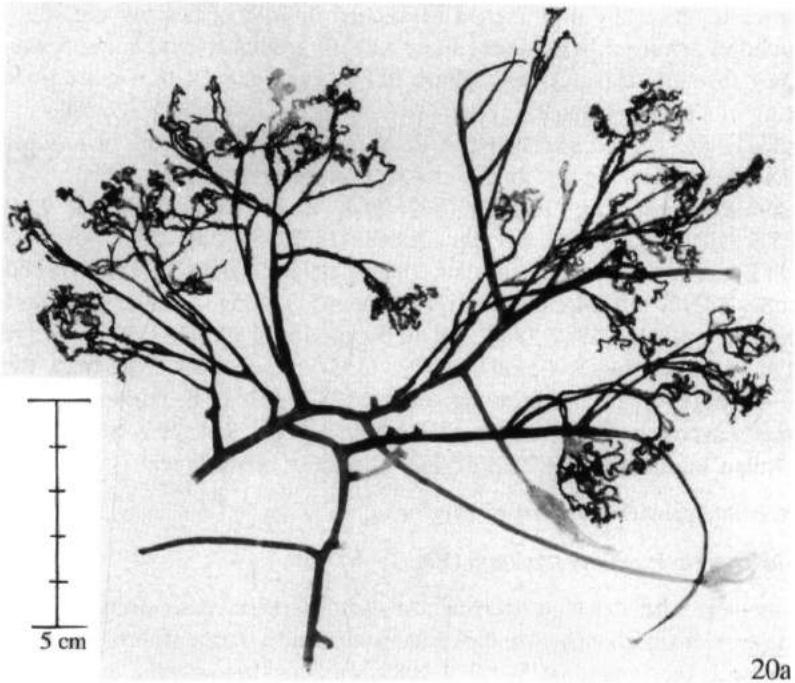


Fig. 20. — *Caulerpa serrulata* (Forsskål) J. Agardh emend. Børgesen
A. Habit of ecad *boryana* (10407 E);
B. Habit of ecad *serrulata* (10270 A).

ecad *boryana* [var. *boryana* (J. Agardh) Gilbert] (Fig. 20 A)

Fronds longly stipitate (up to 80 mm); stipe terete and scarcely ramified; frond spirally twisted or torulose, with coarsely dentate margin; teeth broadly attached, as high as (or even higher than) wide, mucronate.

Reference specimens. 10407: 5/9/1984, Pulau-pulau Maisel, lagoon W of Laponda, 5°29'S 127°32'E.

Discussion. — See discussion on *C. cupressoides* ecad *flabellata*.

ecad *serrulata* [var. *serrulata*] (Fig. 20 B)

Fronds stiff, shortly stipitate, (sub-)dichotomous, varying from almost plane (only undulated) (11118, 11577) to extremely strongly spirally twisted; height of the thallus also very variable, from 1 cm (11359) up to 7 cm (10862); width of the frond variable, but ± 2 mm; frond margin coarsely serrate; teeth broadly attached, contiguous, as high as wide, mucronate.

Reference specimens. 10097: 7/9/1984, Pulau-pulau Maisel, reef flat N of Mai, 5°28'S 127°31'E; 10127: as 10097 but in very shallow lagoon W of Mai, seagrass beds in front of mangal; 10187, 10201: 6-7/9/1984, Tukang Besi Islands, southern reef of Karang Kaledupa, east of entrance, 5°56'S 123°48'E, seagrass meadow in lagoon; 10208, 10224: as 10187, but from reef flat; 10270: 10/9/1984, Tukang Besi Islands, coastal reef westcoast Binongko, 5°55'S 123°59'E from steep reef slope, down to -20 m; 10294: as 10270 but from gently sloping reef at 3-6 m depth; 10387: 4 & 7/9/1984, Pulau-pulau Maisel, reef edge N of Mai, 5°28'S 127°31'E, reef flat; 10441: 13-14/9/1984, NE coast of Sumba, E of Melolo, 9°55'S 120°45'E, on extensive, very gently sloping reef flat; 10463: 13-14/9/1984, NE coast of Sumba, E of Melolo, 9°55'S 120°45'E, extensive, very gently sloping reef flat, 10-15 m depth; 10485: NE coast of Sumba, E of Melolo, 9°54'S 120°42.5'E, sandy reef flat, gradually sloping to 12 m depth; 10630: 14-15/9/1984, NE coast of Sumba, stony littoral of Melolo, 9°52.5'S 120°40.3'E; 10694: 16/9/1984, NE coast of Sumba, 9°58'S 120°49'E, reef flat with seagrasses; 107717: 17/9/1984, E of Komodo, Teluk Slawi, small reef platform in front of mangal; 10862: 18/9/1984, E of Komodo, Selat Linta, 8°35'S 119°34'E, centre of coastal reef flat; 11017, 11050: 21/9/1984, N of Sumbawa, Bay of Sanggar, 8°20'S 118°14'E; 11118: 22/9/1984, N of Sumbawa, Bay of Sanggar, 8°22'S 118°17.9'E; 11190: 7/9/1984, Tukang Besi Islands, near S coast of Tomea, off Usku, 5°48'S 123°97'E, coastal reef flat; 11210: 25-26/9/1984, NE Taka Bone Rate, S of Tarupa Kecil, 6°30'S 121°8'E, sandy areas of reef flat; 11232: 25-26/9/1984, NE Taka Bone Rate, S of Tarupa Kecil, edge of reef flat, 6°30'S 121°8'E; 11284: 24-26/9/1984, NE Taka Bone Rate, E coast of Tarupa Kecil, 6°29'S 124°8'E, seagrass beds in front of the village; 11359: 27/9/1984, NE Taka Bone Rate, middle of reef flat of Taka Garlarang reef, 6°27'S 121°14'E; 11326: 27/9/1984, NE

Taka Bone Rate, Taka Garlarang atoll, 6°28'S 121°18'E, edge of reef flat at inner part of atoll entrance ; 11387 : 28/9/1984, SW Salayer, E of Pulau Guang, 6°21'S 120°27.5'E, sheltered sandflat covered by seagrasses ; 11429 : 28-29/9/1984, SW Salayer, near Cape Batu Kerapo, 6°23'S 120°27'E, intertidal of bay, surrounded by cliffs, coral sand with dense seagrass beds, strong surf ; 11475 : 28/29-9-1984, SW Salayer, NW coast of Pulau Guang, 6°21'S 120°27'E, reef flat ; 11577 : as 11475 but 6°22'S 120°28'E, bare black sand and coral sand with dense algal vegetation and large seagrasses, much silt.

Discussion. — WEBER-VAN BOSSE (1898 : 313, 314) distinguishes a series of forms within *C. serrulata* var. *serrulata* [as *C. Freycinetii* Agardh var. *typica*] : fa *angusta*, fa *lata*, fa *longi-dentata*, fa *serrulata*, fa *spiralis*, fa *torulosa*. It would be possible to assign some of the Snellius-II specimens to different of these forms, but here again intermediates are so numerous that this seems useless to us.

Caulerpa sertularioides (Gmelin) Howe (Fig. 21 A)

Naked, terete, generally well branched stolons bearing pinnate erect branches, varying from 1 cm (11018) to 8 cm (10629) height, 5-15 mm width ; rachis terete, only rarely branched, naked at the base (2-10 mm) ; branchlets on 2 opposite rows in a single plane, terete, upwardly curved, with uniform diameter of 0.5 mm, not constricted at the base, mucronate at the apex.

Reference specimens. 10464 : 13-14/9/1984, NE coast of Sumba, E of Melolo, 9°55'S 120°45'E, extensive, very gently sloping reef flat, down to 10-15 m ; 10480 : 13/9/1984, as 10464 but 9°54'S 120°42.5'E, sandy reef flat and gradual slope, with scattered corals ; 10629 : 14-15/9/1984, NE coast of Sumba, 9°52.5'S 120°40.3'E, stony littoral of Melolo ; 10715 : 17/9/1984, E of Komodo, Teluk Slawi, 8°35'S 119°31.5'E, small reef platform in front of mangal ; 10806 : 18/9/1984, E of Komodo, Selat Linta, 8°32.5'S 119°34'E, coastal reef flat ; 10828 : 18/9/1984, as 10806 but 8°35'S 119°34'E, centre of coastal reef flat ; 11018 : 21/9/1984, N of Sumbawa, Bay of Sanggar, 8°20'S 118°14'E, coast ; 11051 : as 11018 but 8°20.3'S 118°16.4'E, coastal reef down to -8 m ; 11104 : as 11018 but 8°19.2'S 118°14.4'E, lagoon side of barrier reef ; 11117 : 22/9/1984, N of Sumbawa, Bay of Sanggar, 8°22'S 118°17.9'E, sublittoral close to Sanggar ; 11388 : 28/9/1984, SW Salayer, E of Pulau Guang, 6°21'S 120°27.5'E, sheltered sandflat covered by seagrasses ; 11581 : 28-29/9/1984, SW Salayer, 6°22'S 120°28'E, bare black sand and coral sand with dense algal vegetation and large seagrasses, much silt.

Discussion. — All specimens seem to belong to fa *brevipes* (Weber-van Bosse) Børgesen.

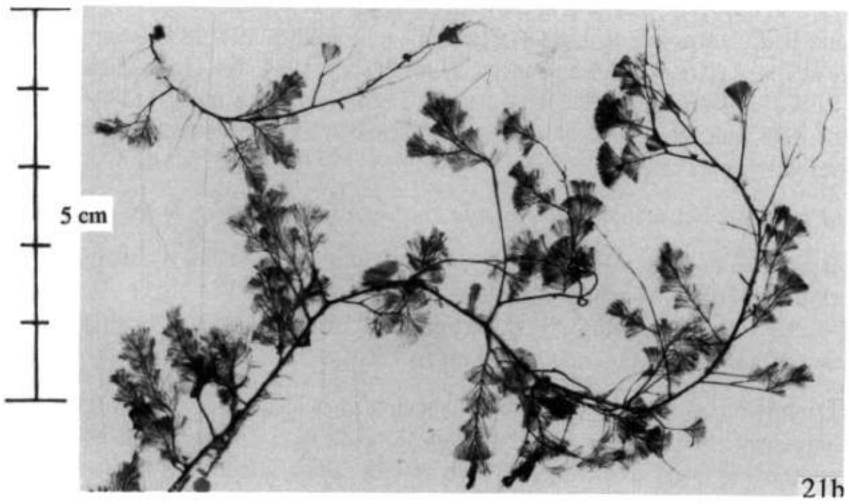
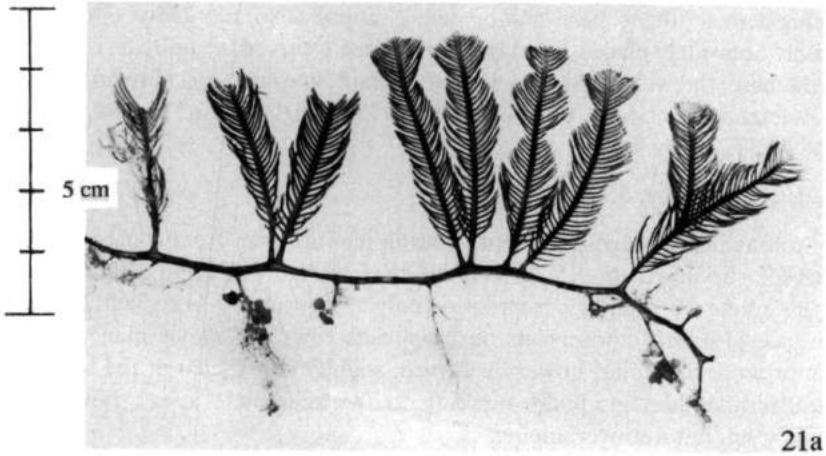


Fig. 21.
A. Habit of *Caulerpa sertularioides* (Gmelin) Howe (10629 A);
B. Habit of *Caulerpa verticillata* J. Agardh (11641 A).

Caulerpa taxifolia (Vahl) C. Agardh

ecad *mexicana* [*Caulerpa mexicana*] (Sonder) J. Agardh] (Fig. 6 A, 22 A)

General appearance as in ecad *taxifolia* but only the naked part of the rachis terete, upper part compressed; pinnae also markedly compressed, closely oppositely placed, overlapping, upwardly curved, acuminate, contracted at the base, the widest, swollen part in the middle or sub-apical region.

Reference specimens. 10619b : 14-15/9/1984, NE coast of Sumba, 9°52.5'S 120°40.3'E, stony littoral.

ecad *taxifolia* (Fig. 6B, 22B)

Stolons richly branched or not, bearing pinnate erect fronds, mostly closely packed, varying from 1.5 cm (11389) to 5 cm (10619) high, 5-8 mm wide; rachis terete or slightly compressed, only exceptionally branched, naked at the base (1-4 mm); branchlets on 2 opposite rows in a single plane, laterally compressed, navicular, upwardly curved, slightly constricted at the base, with parallel sides and gradually tapering to the acuminate apex; ramelli very densely set, but not overlapping.

Reference specimens. 10619a : 14-15/9/1984, NE coast of Sumba, 9°52.5'S 120°40.3'E, stony littoral; 11121 : 22/9/1984, N of Sumbawa, Bay of Sanggar, 8°22'S 118°17.9'E, sublittoral close to Sanggar; 11325 : 27/9/1984, NE Taka Bone Rate, entrance of Taka Garlarang atoll, 6°28'S 121°18'E, edge of reef flat at inner part of atoll entrance; 11361 : 27/9/1984, NE Taka Bone Rate, 6°27'S 121°14'E, middle of reef flat of Taka Garlarang reef; 11389 : 28/9/1984, SW Salayer, E of Pulau Guang, 6°21'S 120°27.5'E, sheltered sandflat covered by seagrasses.

Intermediates between ecad *mexicana* and ecad *taxifolia* (Fig. 6C).

Reference specimens. 10305 : 9/9/1984, Tukang Besi Islands, southeastern part of lagoon of Karang Kaledupa, 5°56'S 123°47.5'E; 11231 : 25-26/9/1984, NE Taka Bone Rate, S of Tarupa Kecil, 6°30'S 121°8'E, from seagrass meadow (mainly *Thalassodendron*) on reef flat.

Discussion. — About the Kenyan specimens belonging to *C. taxifolia* and *C. mexicana* we already stated (COPPEJANS & BEECKMAN 1990 : 118) that it is not always easy to distinguish both species: the branchlets of the specimens belonging to the ecad *taxifolia* have parallel sides, at least in the middle part, whereas those of the ecad *mexicana* have a marked swollen part in the middle or subapical part, resulting in overlapping ramelli, but intermediates do exist. TAYLOR (1977 : 7) also mentions that «in western Atlantic waters *C. mexicana* and *C. taxifolia* are readily distinguished. (...) This is not so in the Pacific. Intermediates are not infrequent ...». He pleads for not reducing both entities into synonymy as PAPENFUSS (1956) does.

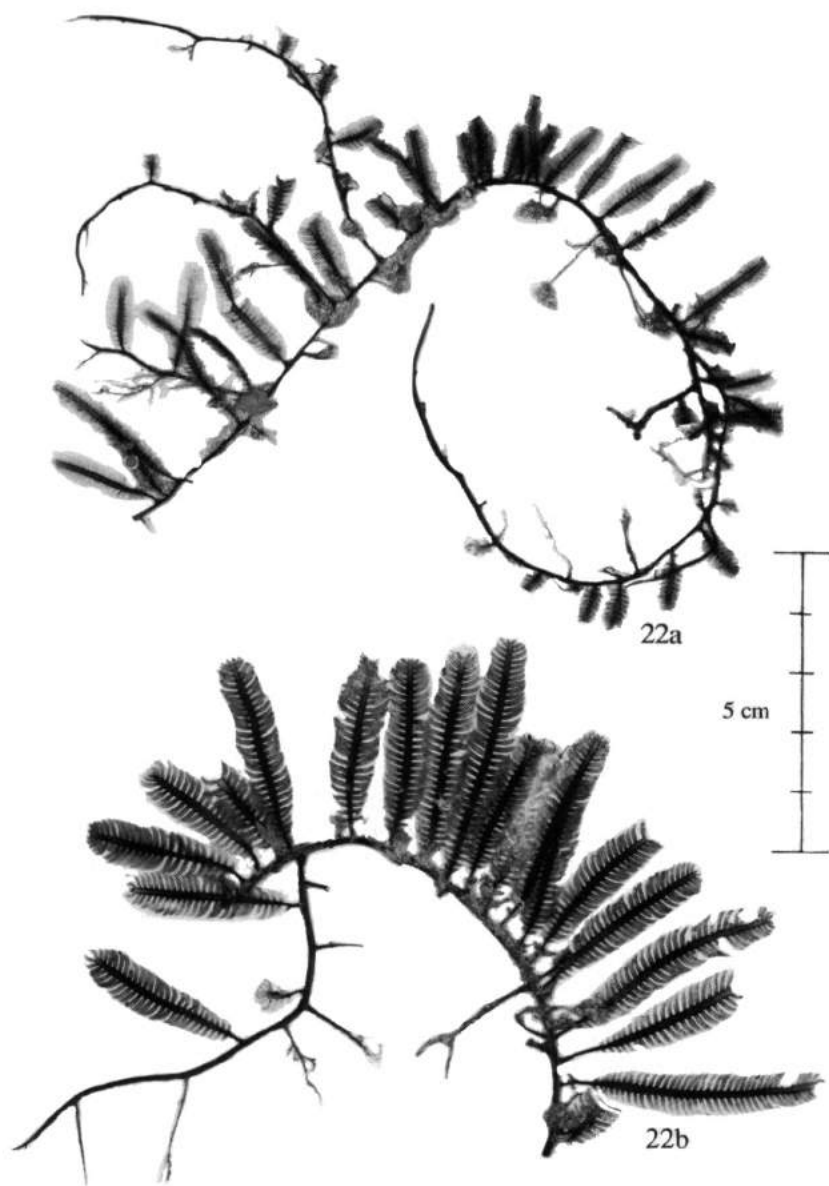


Fig. 22. — *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh
A. Habit of *ecad mexicana* (11231 A);
B. Habit of *ecad taxifolia* (11325 A).

Caulerpa verticillata J. Agardh (Fig. 21 B)

Growing in dense, extremely soft and slender tufts. Stolons thin (up to 250 μm in diameter), very densely branched, well fixed by very numerous groups of rhizoids; upright branches densely set, up to 15 mm high, with a naked base and conspicuous whorls of determinate branchlets higher up; whorls 3-5 mm in diameter, 3-5 mm apart; ramelli branching dichotomously 4-6 times, not constricted at the dichotomies, approximately 80 μm in diameter at the base, tapering to 27 μm at the apices; apices with (2-)3-4 terminal mucrons.

Reference specimens. 10700: 16/9/1984, NE coast of Sumba, 9°58'S 120°49'E, reef flat with seagrasses; 11436: 28-29/9/1984, SW Salayer, near Cape Batu Kerapo, 6°23'S 120°27'E, intertidal of bay surrounded by cliffs, strong surf, dense seagrass beds on coral sand; 11493, 11569: as 11436 but 6°22'S 120°28'E, bare black sand and coral sand with dense algal vegetation and large seagrasses, much silt; 11641: 1/10/1984, SW Salayer, N of Pulau Bahuluang, 6°27.5'S 120°26'E, middle of reef-flat.

General discussion

Earlier studies on the diversity of the genus *Caulerpa* in Indonesia and in the Philippines are summarized in papers by GILBERT (1942), SILVA, MEÑEZ & MOE (1987), TAYLOR (1966) and WEBER-VAN BOSSE (1913 & 1928). For a comparison of these results see Table I. We only list species names; the status of varieties, forms and ecads is too complicated to summarize this way. We have tried to use nomenclaturally correct names and of course many of them differ from the names used in the original publications.

Of the 29 species in the list 24 have been recorded from what WEBER-VAN BOSSE (1928) called «l'Archipel Malaisien» and of these 8 need further confirmation. For the Philippines we list 21 species, of which at least one needs further confirmation. We did not try to confirm the status of Philippine *C. arenicola* Taylor, *C. filicoides* Yamada, *C. reyesii* Meñez & Calumpang and *C. vesiculifera* (Harvey) Harvey. Samples cited by WEBER-VAN BOSSE (1913) as collected from the area covered by the Snellius-II Expedition included records of 12 *Caulerpa* species. Of these only *C. ambigua* Okamura, *C. geminata* Harvey and *C. manorensis* Nizamuddin have not been found during the latter expedition. We collected, however, *C. lessonii*, *C. microphysa* and *C. verticillata* as new for the area.

The number of samples with *Caulerpa* specimens from the area collected during the Snellius-II Expedition (c. 150) was much higher than the number of samples from the area collected during the Siboga Expedition (c. 50). We are not sure, however, if WEBER-VAN BOSSE could preserve all material she collected during that expedition, visiting more than 300 stations within one year.

Table 1
Records of *Caulerpa*-species from Indonesia and from the Philippines

Name	In general	Indonesia		Philippines	Notes
		Area covered by the Snellius-II Expedition in Weber-van Bosse 1913	Present paper		
<i>C. ambigua</i>	x	x	-	x	1
<i>C. arenicola</i>	-	-	-	x	-
<i>C. brachypus</i>	x	x	x	x	2
<i>C. cupressoides</i>	x	x	x	x	3
<i>C. elongata</i>	x	x	x	x	-
<i>C. fastigiata</i>	x	-	-	x	-
<i>C. fergusonii</i>	x	x	x	x	-
<i>C. filicoides</i>	-	-	-	x	-
<i>C. filiformis</i>	x	x	-	-	4
<i>C. geminata</i>	x	x	-	-	5,7
<i>C. lessonii</i>	x	-	x	x	-
<i>C. lentillifera</i>	x	x	x	x	6
<i>C. lycopodium</i>	x	-	-	-	7
<i>C. manorensis</i>	x	x	-	-	8
<i>C. microphysa</i>	x	-	x	x	-
<i>C. papillosa</i>	x	-	-	-	4
<i>C. parvula</i>	x	-	-	-	7
<i>C. racemosa</i>	x	x	x	x	9
<i>C. reyesii</i>	-	-	-	x	-
<i>C. scalpelliformis</i>	x	-	-	-	4
<i>C. selago</i>	x	-	-	x	7
<i>C. serrulata</i>	x	x	x	x	-
<i>C. sertularioides</i>	x	x	x	x	10
<i>C. simpliciuscula</i>	x	-	-	-	4
<i>C. subserrata</i>	x	-	-	x	-
<i>C. taxifolia</i>	x	x	x	x	11
<i>C. verticillata</i>	x	-	x	x	-
<i>C. vesiculifera</i>	-	-	-	x	-
<i>C. webbiana</i>	-	-	-	x	12

(1) Is *Caulerpella ambigua* (Okamura) Prud'homme van Reine et Lokhorst (1992).

(2) Including *C. parvifolia* Harvey and specimens recorded as *C. prolifera* (Forsskål) Lamouroux.

(3) Including *C. lessonii* Bory, *C. pennata* C. Agardh = *C. plumulifera* Zanardini and *C. urviliana* Montagne.

(4) Needs confirmation : we have searched in vain for specimens or for figures of specimens originating from the region.

(5) [= *C. sedoides* (R. Brown) J. Agardh].

(6) Including *C. kilneri* J. Agardh.

(7) Needs confirmation, we have not tried to study this species in detail.

(8) Recorded as *C. crassifolia* (C. Agardh) J. Agardh forma *rotundiloba* Weber-van Bosse.

(9) Including *C. peltata* (Lamouroux) Weber-van Bosse.

(10) Probably including the specimens of *C. selago* recorded for the region.

(11) Including *C. crassifolia* (C. Agardh) J. Agardh, *C. falcifolia* Harvey et Bailey and *C. mexicana* Sonder ex Kützing.

(12) Including *C. pickeringii* Harvey et Bailey.

During the Snellius-II Expedition, five phycologists collected and preserved samples from 200 stations within one month. Collecting methods during both expeditions differ a great deal and of course at many of the stations no algal material at all was present. In spite of all these differences the results of both expeditions for *Caulerpa* samples do not differ very much. Thus we can suppose that we have been able to produce a reasonable survey of the rather large diversity in *Caulerpa* in the studied area of Eastern Indonesia.

ACKNOWLEDGEMENTS

Our gratitude goes to the Netherlands Council of Oceanic Research (NRZ) for allowing the authors to join the expedition, Dr. F. Heys, Mrs. Zen and Mr. A. Kadi for their help during the field work and the preparation of the herbarium specimens. We also acknowledge Mrs. P. Zen for the first sorting of the *Caulerpa*-specimens and Mr. B. N. Kieft for the photographs.

SELECTED BIBLIOGRAPHY

- BØRGESEN, F. 1907. An ecological and systematic account of the Caulerpales of the Danish West Indies. — *D. Kgl. Danske Vidensk. Selsk. Skrifter*, 7 Raekke, Naturvidensk. og Mathem., **4**: 339-392.
- CALVERT, H. E. 1976. Culture studies on some Florida species of *Caulerpa*: morphological responses to reduced illumination. — *Br. Phycol. J.*, **11**: 203-214.
- CHAPMAN, V. J. 1961. The marine algae of Jamaica. Part 1. Myxophyceae and Chlorophyceae. — *Bull. Inst. Jamaica*, Sc. ser. **12** (1): 1-159 + 1 pl.
- COPPEJANS, E. 1992. Marine algae of Papua New Guinea (Madang Prov.) 2. A revised and completed list of *Caulerpa* (Chlorophyta — Caulerpales). — *Blumea*, **36**(2).
- COPPEJANS, E. & BEECKMAN, T. 1989. *Caulerpa* section Sedoideae (Chlorophyta, Caulerpales) from the Kenyan coast. — *Nova Hedwigia*, **49** (3-4): 381-393.
- COPPEJANS, E. & BEECKMAN, T., 1990. *Caulerpa* (Chlorophyta, Caulerpales) from the Kenyan coast. — *Nova Hedwigia*, **50** (1-2): 111-125.
- COPPEJANS, E. & MEINESZ, A. 1988. Marine algae of Papua New Guinea (Madang Prov.) 1. Caulerpaleae (Chlorophyta-Caulerpales). — *Blumea*, **33**: 181-196.
- COPPEJANS, E. & PRUD'HOMME VAN REINE, W. F. 1989a. Seaweeds of the Snellius-II Expedition. Chlorophyta: Dasycladales. — *Neth. J. Sea Res.*, **23** (2): 123-129.
- COPPEJANS, E. & PRUD'HOMME VAN REINE, W. F. 1989b. Seaweeds of the Snellius-II Expedition. Chlorophyta: Caulerpales (except *Caulerpa* and *Halimeda*). — *Blumea*, **34**: 119-142.
- COPPEJANS, E. & PRUD'HOMME VAN REINE, W. F. 1992. The oceanographic Snellius-II Expedition. Botanical results. List of stations and collected plants. — *Meded. Zitt. K. Acad. overzeese Wet.*, nieuwe reeks, **37** (1991-2): 153-194.
- CRIBB, A. B. 1958. Records of marine algae from South-eastern Queensland. IV. *Caulerpa*. — *Univ. Queensland, Pap. Dept. Bot.*, **3**: 209-220.

- DURAIRATNAM, M. 1961. Contribution to the study of the marine algae of Ceylon. — *Bull. Fish. Res. Stn. Ceylon*, **10**, 181 pp.
- EGEROD, L. E. 1946. Hawaiian representatives of the genus *Caulerpa*. — *Univ. Calif. Publ. Bot.*, **18** (18): 409-432.
- EGEROD, L. E. 1975. Marine algae of the Andaman Sea Coast of Thailand: Chlorophyceae. — *Botanica Marina*, **18**: 41-66.
- EUBANK, L. E. 1952. An analysis of the siphonous Chlorophycophyta. — *Univ. Calif. Publ. Bot.*, **25** (5): 325-454.
- GILBERT, W. J. 1942. Notes on *Caulerpa* from Java and the Philippines. — *Pap. Michigan Acad. Sci. Arts, Lett.* **27**: 15-35.
- HARVEY, W. H. 1858. Nereis Boreali-Americana or contributions towards a history of the marine algae of the Atlantic and Pacific coasts of North America, Part I. Chlorospermae. — *Smiths. Contr. to Knowledge*, **14** (2): 1-140.
- HARVEY, W. H. 1860. Phycologia australica; or a history of Australian Seaweeds III, plates CXXI-CLXXX. — Lovell Reeve, London.
- MEINESZ, A., JAUBERT, J. & DENIZOT, M. 1981. Distribution of the algae belonging to the genus *Caulerpa* in French Polynesia (Atoll of Takopoto and Island of Moorea). — *In*: Proc. 4th Int. Coral Reef Symp., Manila-Philippines, **2**: 432-437.
- MEÑEZ, E. G. & CALUMPONG, H. P. 1982. The genus *Caulerpa* from Central Visayas, Philippines. — *Smiths. Contrib. Mar. Sci.*, **17**: 1-21.
- MURRAY, G. 1891. On new species of *Caulerpa*, with observations on the position of the genus. — *Trans. Linn. Soc. London, Bot.*, **3**: 207-213.
- NIZAMUDDIN, M. 1964. Studies on the genus *Caulerpa* from Karachi. — *Bot. Mar.* **6**: 204-222.
- NIZAMUDDIN, M. 1967. *Caulerpa* from Karachi coast. 2. — *Bot. Mar.*, **10**: 158-166.
- OHBA, H. & ENOMOTO, S. 1987. Culture studies on *Caulerpa* (Caulerpales, Chlorophyceae). III. Morphological variation of *C. racemosa* var. *laetevirens* under various culture conditions. — *Sôruï, Jap. Journ. Phycol.*, **25** (3): 178-188.
- PAPENFUSS, G. F. 1956. Notes on South African marine algae. 4. — *Journ. South Afr. Bot.*, **22**: 65-77.
- PAPENFUSS, G. F. & EGEROD, L. E. 1957. Notes on South African marine Chlorophyceae. — *Phytomorphology*, **7** (1): 82-93.
- PETERSON, R. D. 1972. Effects of light intensity on the morphology and productivity of *Caulerpa racemosa* (Forsskål) J. Agardh. — *Micronesica*, **8**: 63-86.
- PRUD'HOMME VAN REINE, W.F. & LOKHORST, G.M. 1992. *Caulerpella* gen. nov. a non-holocarpic member of the Caulerpales (Chlorophyta). — *Nova Hedwigia*, **54**: 113-126.
- SARTONI, G. 1978. Ricerche sulla flora algale della Somalia centromeridionale. I. II genere *Caulerpa*. — *Webbiana*, **32** (2): 397-416.
- SILVA, P. C., MEÑEZ, E. G. & MOE, R. L. 1987. Catalog of the benthic Marine Algae of the Philippines. *Smiths. Contrib. Mar. Sc.*, **27**: 1-179.
- SVEDELIUS, N. 1906. Ecological and systematic studies of the Ceylon species of *Caulerpa*. — *Rep. Ceylon Mar. Biol. Lab.* **4**: 81-144.
- TAYLOR, W. R. 1928. The marine algae of Florida with special reference to the Dry Tortugas. — *Carnegie Inst. Washington Publ.*, **379**: 220 pp.

- TAYLOR, W. R. 1960. Marine algae of the Eastern tropical and subtropical coasts of the Americas. Univ. Michigan Press, Ann Arbor, 870 pp.
- TAYLOR, W. R. 1966. Records of Asian and Western Pacific Marine Algae, particularly from Indonesia and the Philippines. — *Pacif. Sci.*, **20** : 342-359.
- TAYLOR, W. R. 1967. Species of *Caulerpa* (Chlorophyceae) collected on the International Indian Ocean Expedition. — *Blumea*, **15** : 45-53.
- TAYLOR, W. R. 1977. Notes on plants of the genus *Caulerpa* in the Herbarium of Maxwell S. Doty at the University of Hawaii. — *Atoll Res. Bull.*, **208** :1-17.
- WEBER-VAN BOSSE, A. 1898. Monographie des *Caulerpa*. — *Ann. Jard. Buitenzorg*, **4** (2) : 243-401 + 15 pl.
- WEBER-VAN BOSSE, A. 1913. Liste des algues du Siboga I. — *Siboga-Expeditie*, **59a** : 1-186.
- WEBER-VAN BOSSE, A. 1928. Liste des algues du Siboga IV. — *Siboga-Expeditie*, **59a** : 393-533.
- WOMERSLEY, H. B. S. 1984. The marine benthic flora of southern Australia. Part 1. — Woolman. South Australia, 329 p.
- YAMADA, Y. 1940. Species of *Caulerpa* in the South Sea. — *Kagaku Nanyo*, **3** : 95-107.

CLASSE DES SCIENCES TECHNIQUES

**KLASSE VOOR TECHNISCHE
WETENSCHAPPEN**

Séance du 22 novembre 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. J. Charlier, E. Cuypers, G. Froment, A. Lederer, R. Leenaerts, J. Michot, R. Paepe, R. Sokal, R. Thonnard, J. Van Leeuw, R. Wambacq, membres titulaires ; MM. J. Debevere, W. Van Impe, U. Van Twembeke, membres associés.

Absents et excusés : MM. P. Beckers, F. Bultot, M. De Boodt, J. De Cuyper, H. Deelstra, P. De Meester, J.-J. Droesbeke, P. Fierens, P. Goossens, A. Jaumotte, L. Martens, A. Monjoie, J. Roos, M. Snel, R. Tillé ; M. R. Vanbreuseghem, secrétaire perpétuel honoraire.

«Landvallen in loopkleien»

M. W. Van Impe présente une étude à ce sujet.

MM. R. Paepe, R. Sokal et F. Suykens prennent part à la discussion.

La Classe décide la publication de cette étude dans le *Bulletin des Séances* (pp. 719-754).

«Kwaliteit en houdbaarheid van tropische garnalen (*Penaeus spp.*)»

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

MM. J.-J. Symoens, F. Suykens, R. Paepe et E. Cuypers interviennent dans la discussion.

La Classe décide la publication de cette étude dans le *Bulletin des Séances* (pp. 755-767).

Commission administrative : Fin de mandats

Le mandat de M. J. Charlier au sein de la Commission administrative prendra fin au 31 décembre 1991. Vu la prochaine promotion de M. Charlier à l'honorariat, son mandat n'est plus renouvelable.

La Classe fait sienne la proposition de la Commission administrative, de nomination de M. J. De Cuyper comme membre de cette Commission.

Le mandat de M. G. Froment au sein de la Commission administrative prendra également fin au 31 décembre 1991.

La Classe fait sienne la proposition de la Commission administrative, de nomination de M. F. Suykens comme membre de cette Commission.

Zitting van 22 november 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. J. Charlier, E. Cuypers, G. Froment, A. Lederer, R. Leenaerts, J. Michot, R. Paepe, R. Sokal, R. Thonnard, J. Van Leeuw, R. Wambacq, werkende leden ; de HH. J. Debevere, W. Van Impe, U. Van Twembeke, geassocieerde leden.

Afwezig en verontschuldigd : De HH. P. Beckers, F. Bultot, M. De Boodt, J. De Cuyper, H. Deelstra, P. De Meester, J.-J. Droesbeke, P. Fierens, P. Goossens, A. Jaumotte, L. Martens, A. Monjoie, J. Roos, M. Snel, R. Tillé ; de H. R. Vanbreuseghem, erevast secretaris.

Landvallen in loopkleien

De H. W. Van Impe stelt een studie over dit onderwerp voor.

De HH. R. Paepe, R. Sokal en F. Suykens nemen deel aan de bespreking.

De Klasse besluit deze studie te publiceren in de *Mededelingen der Zittingen* (pp. 719-754).

Kwaliteit en houdbaarheid van tropische garnalen

(*Penaeus* spp.)

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

De HH. J.-J. Symoens, F. Suykens, R. Paepe en E. Cuypers komen tussen in de bespreking.

De Klasse besluit deze studie te publiceren in de *Mededelingen der Zittingen* (pp. 755-767).

Bestuurscommissie : Einde van mandaten

Het mandaat van de H. J. Charlier in de Bestuurscommissie zal ten einde lopen op 31 december 1991. Gezien de H. Charlier binnenkort tot het erelidmaatschap zal bevorderd worden, is zijn mandaat niet hernieuwbaar.

De Klasse stemt in met het voorstel van de Bestuurscommissie om de H. J. De Cuyper als lid van deze Commissie te laten benoemen.

Het mandaat van de H. G. Froment in de Bestuurscommissie zal eveneens op 31 december 1991 ten einde lopen.

De Klasse stemt in met het voorstel van de Bestuurscommissie om de H. F. Suykens als lid van deze Commissie te laten benoemen.

**Symposium international
Les Transports et les Communications en Afrique**

Le Secrétaire perpétuel signale la tenue du 27 au 29 novembre 1991, du Symposium international sur «Les Transports et les Communications en Afrique» que l'Académie organise en collaboration avec la Commission Économique des Nations Unies pour l'Afrique, le Centre d'Information et Bureau de Liaison des Nations Unies à Bruxelles et le Groupe des États d'Afrique, des Caraïbes et du Pacifique (ACP).

Séance publique de l'Académie à Mons

À l'invitation des Autorités provinciales du Hainaut, l'Académie tiendra une séance publique à Mons le samedi 4 avril 1992.

Le programme en sera communiqué ultérieurement aux membres.

La séance est levée à 16 h 30.
Elle est suivie d'un Comité secret.

**Internationaal Symposium
Vervoer en Verkeerswezen in Afrika**

De Vaste Secretaris meldt dat van 27 tot 29 november 1991 een Internationaal Symposium gehouden wordt over «Vervoer en Verkeerswezen in Afrika», door de Academie georganiseerd in samenwerking met de Economische Commissie van de Verenigde Naties voor Afrika, het Informatiecentrum en Verbindingsbureau van de Verenigde Naties te Brussel en de Groep Staten van Afrika, de Caraïben en de Pacific (ACP).

Openbare zitting van de Academie te Bergen

Op uitnodiging van het provinciebestuur van Henegouwen zal de Academie een openbare zitting houden te Bergen op 4 april 1992.

Het programma ervan zal later aan de leden megedeeld worden.

De zitting wordt geheven te 16 h 30.
Zij wordt gevolgd door een Geheim Comité.

Landvallen in loopkleien *

door

W. F. VAN IMPE **

TREFWOORDEN. — Grondmechanica ; Landvallen ; Loopkleien.

SAMENVATTING. — Loopkleien worden gevormd in postglaciale voorwaarden. Ze hebben een uitgesproken lage plasticiteit, een watergehalte om en bij of hoger dan de vloeigrens en vertonen een labiele skeletstructuur. Volgens meerdere auteurs is dit laatste wellicht vooral aan het uitlogingsproces van het zout uit het poriënwater en de vermindering van de op de korrels geadsorbeerde kationen te wijten. De landvallen in loopkleien worden vaak ingeleid door minder belangrijke uitwendige oorzaken als daar zijn : erosie aan het afwaartse gedeelte van de helling, lokale bovenbelastingen opwaarts, plotselinge daling van het freatisch oppervlak, enz., maar kunnen ook zonder duidelijke uitwendige oorzaak gebeuren. De verklaringen voor het fenomeen van de landvallen in loopkleien besteden doorgaans al te weinig aandacht aan de kortstondige poriënwateroverspanningen die zich in dunne lensvormige insluitsels in het loopkleimassief kunnen voordoen. Het labiele karakter van de skeletstructuur van de loopklei heeft anderzijds ook tot gevolg dat de vlakjes op dewelke de grootste schuifspanningen voorkomen niet noodzakelijk geheld hoeven te zijn volgens kinematisch mogelijke glijdvlakken, doch integendeel om het even welke oriëntatie kunnen hebben. De twee voornoemde specifieke eigenschappen van loopkleien verklaren waarom plotseling zeer grote schollen ineens als landvallen kunnen verglijden.

RÉSUMÉ. — *Glissements de terrains dans des argiles fluantes.* — Les argiles fluantes (*quick clays*) ont été formées près des calottes glaciaires. Elles ont un faible indice de plasticité, leur teneur en eau naturelle est supérieure à la limite de liquidité avec une structure métastable qui, selon certains auteurs, est due au lent lessivage des sels dans l'eau interstitielle et à la diminution des cations adsorbés à la surface des particules solides. Les glissements dans des argiles fluantes sont généralement amorcés par des causes externes (par exemple érosion à la partie aval de la masse pentée, surcharges à la partie supérieure, abaissement de la nappe phréatique, etc.) mais peuvent aussi se produire sans cause externe apparente. Dans la littérature, les tentatives d'explication prêtent une attention insuffisante aux surpressions de très courte durée qui peuvent

* Mededeling voorgesteld tijdens de zitting van de Klasse voor Technische Wetenschappen van 22 november 1991.

** Geassocieerd lid van de Academie ; Laboratorium voor Grondmechanica, Faculteit der Toegepaste Wetenschappen, Universiteit Gent, Grotesteeweg-Noord 2, B-9052 Zwijnaarde (België).

se présenter dans l'eau interstitielle dans des horizons silteux plus perméables, se trouvant dans le massif d'argile. D'autre part, le caractère métastable d'une argile fluante, a comme conséquence que les facettes sur lesquelles est atteinte la valeur extrême du rapport de la contrainte tangentielle à la contrainte effective normale, ne doivent pas être inclinées suivant une surface de glissement cinématiquement possible, mais qu'il suffit que cette valeur extrême soit atteinte suivant une facette d'orientation quelconque, pour que le mouvement puisse s'amorcer. En tenant compte des surpressions interstitielles et de l'état métastable de l'argile fluante, le mouvement en plaque peut être amorcé, soit par une brusque disparition des pressions de soutien en aval, soit par une augmentation des surpressions interstitielles en amont.

SUMMARY. — *Landslides in quick clays.* — Quick clays appear in post glacial till conditions. They normally show a very low plasticity at water contents about or higher than the liquid limit. Moreover quick clays are metastable, as far as the skeleton or soil fabric is concerned. Most of the literature on this subject explains this phenomenon as being due to the slow leaching of salt out of the pores and the important lowering of the absorbed cations on the solid particles. Landslides in quick clays are generally started by a trigger effect of minor importance such as local erosion on the downstream side of the slope, partial overloading on top, a quick change of excess pore water pressure etc., but may also occur without any apparent external cause. Explanations of the phenomenon of landslides in quick clays usually do not pay enough attention to the influence of very short term excess pore water pressure on the stability analysis. Indeed, due to local thin and more permeable seams within the quick clay layer on the one hand, and the metastable soil fabric on the other hand, the initial shear planes at failure are not necessarily the most possible ones, kinematically. On the contrary, each plane can act as an initiator of the sliding process. Large flake type landslides in quick clays can be analysed as originating from the above-mentioned typical quick clay properties.

1. Het voorkomen van loopkleien

1.1. INLEIDING

In de grote gebieden van Noord-Rusland, in skandinavische landen, in Alaska, Canada maar evenzeer in Nieuw-Zeeland en in Japan op Kyushu, doen zich vrij vaak landvallen voor, waarbij soms aanzienlijke kleimassa's, hoewel begrensd onder zeer flauwe hellingen, onverwacht hun evenwicht verliezen, en als een zware vloeistof wegvloeien.

Op 29 april 1978 heeft te Rissa in Noorwegen een dergelijke landval plaatsgevonden, waarbij over een oppervlakte van circa 33 ha een volume van 5 à 6 miljoen m³ grond in een paar minuten tijd in beweging is gekomen. Het is de grootste landval die in deze eeuw Noorwegen teisterde. Het merkwaardige ervan is, dat hij door een toevallige waarnemer werd gefilmd, en dat men ook de volledige chronologie ervan kent. In meerdere wetenschappelijke bijdragen werd getracht een verklaring betreffende de waargenomen verschijnselen en hun chronologische volgorde te geven. Deze verklaringen

zijn echter niet zeer duidelijk en soms zelfs tegenstrijdig. Onderzoek binnen het laboratorium voor grondmechanica heeft getracht meer klaarheid te brengen in dit grondmechanische verschijnsel.

1.2. HET BEGRIP LOOPKLEIEN

Loopkleien zijn kleien met een watergehalte groter dan de vloeigrens ω_l en met een zeer hoge sensitiviteit S_t . Tevens hebben ze een geringe plasticiteitsindex i_p (fig. 1).

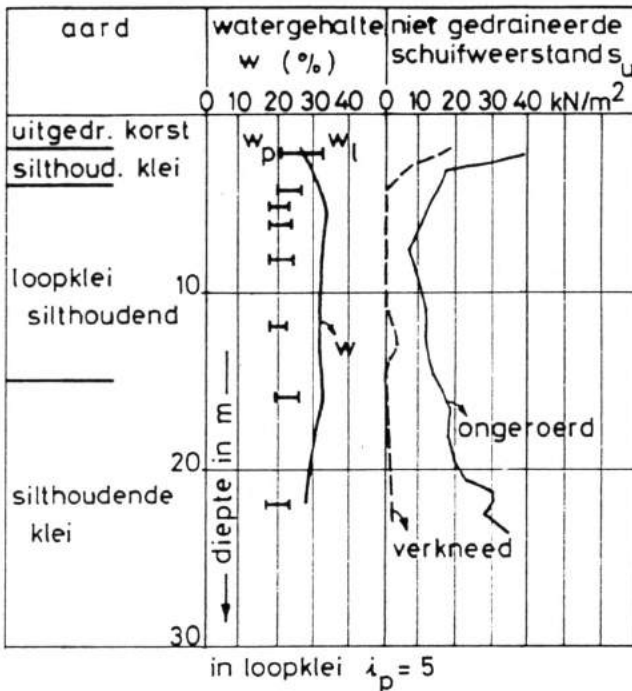


Fig. 1. — Watergehalte en schuifweerstand van loopkleien.

Voor loopkleien heeft men zo bv. een schuifweerstand in ongeroerde toestand $s_{u,o} = 10$ à 20 kN/m² en een schuifweerstand in verkneede toestand $s_{u,v} = 0,01$ kN/m². Aldus verkrijgt men een sensitiviteit S_t gelijk aan

$$S_t = \frac{s_{u,o}}{s_{u,v}} = 1000$$

Vaak vergenoegt men zich kleien met een sensitiviteit S_t groter dan $S_t = 50$ als loopkleien te beschouwen. Ten titel van voorbeeld kan worden aangehaald dat voor Boomse klei de sensitiviteit S_t tussen $1 < S_t < 2$ begrepen is.

In vergelijking met normale kleien is de plasticiteitsindex vrij gering en meestal kleiner dan $i_p = 15$.

Onderzoekingen *in situ* tonen aan dat in de meeste gevallen loopkleien vaak als lensvormige insluitingen binnen «normale kleien» voorkomen. Dergelijke lenzen zijn meestal vele honderden meter lang, doch slechts 10 m tot 15 m breed en amper een tiental meter dik. Dergelijke lenzen zijn van de «normale» kleien gescheiden door middel van overgangsgebieden.

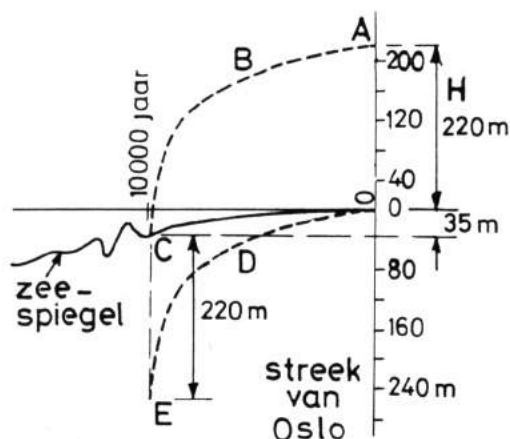
1.3. HET ONTSTAAN VAN LOOPKLEIEN

Het ontstaan van loopkleien staat in verband met glaciare verschijnselen. Ze worden aangetroffen in gebieden die in een bepaalde periode met ijskappen waren bedekt.

Het wegsmelten van de ijskappen veroorzaakt een verhoging van de zeespiegel (fig. 2). Wegens de ontlasting ten gevolge van het verdwijnen van het ijs gaat de aardkorst langzaam opstijgen. Door de zeer grote viscositeit van het substraat waarop de aardchollen als het ware drijven, geschiedt de rijzing met een grote vertraging t.o.v. de ontlasting. De rijzing van de zeespiegel tengevolge van het wegsmelten, geschiedt dus veel vlugger dan het opstijgen van de aardkorst. Het gevolg is, dat na een ijstijdperk er vooreerst een binnendringen van de zee in gebieden bedekt door de wegsmelgende ijskappen optreedt. De kustlijnen worden meer landwaarts verplaatst, waarbij grote dikten van mariene afzettingen grotendeels bestaande uit klei, niet enkel langs de kusten doch ook inlands langs verzonken riviervalleien ontstaan. Na deze ingressie, vindt een regressie plaats naarmate de aardkorst langzaam uit haar viskeus substraat opstijgt. Na voldoende lange tijd kan deze rijzing zo belangrijk zijn, dat de mariene afzettingen, die uiteraard onder de zeespiegel in zout water waren afgezet, boven de zeespiegel komen te liggen en aldus aan erosie worden blootgesteld.

Waar de eustatische rijzingen van de zeespiegel wereldwijde veranderingen zijn, zijn de rijzingen van de aardkorst sterk aan plaatselijke voorwaarden verbonden. Ze zullen groter zijn in het centrum dan aan randen van de vroegere ijskap. Stelt men zich bv. op in de streek van Oslo, zo stelt men vast dat mariene afzettingen worden gevonden tot een hoogte van 220 m boven de huidige zeespiegel (fig. 2). De variatie van de hoogteligging van een punt dat thans 220 m boven de huidige zeespiegel ligt, wordt volgens Kenney door de kromme ABC voorgesteld. Deze formatie zou dus 10 000 jaar geleden boven de zeespiegel zijn uitgerezen, toen deze zeespiegel 35 m lager lag dan de huidige.

De absolute isostatische rijzing van de aardkorst in de streek van Oslo zou aldus minstens $(220 + 35) = 255$ m bedragen.



H : hoogte boven de huidige zee -
spiegel tot waar mariene afzet-
tingen worden gevonden

ABC: rijzingscurve voor een punt dat
aan het opperuiteinde der ma-
riene afzettingen is gelegen

EDO: rijzingscurve van een punt dat
thans ter hoogte van de zee-
spiegel is gelegen

Fig. 2. — Verhoging van de zeespiegel.

De rijzingen van de aardkorst gaan nog steeds verder. Daarbij is de rijzingsnelheid vanzelfsprekend het grootst daar waar de ijsbedekking het grootst is geweest, d.i. in het centraal gedeelte van de weggesmolten ijskap. Ze bereikt er 0,50 m per eeuw, zoals in de streek van Stockholm.

Wegens de isostatische rijzing komen de kleiafzettingen boven de zeespiegel te liggen en worden ze gemakkelijk geërodeerd door stromend water. Dit erosieproces gaat gestadig verder, tot wanneer de oevers van de rivieren onstabiel worden, en toevallige afschuivingen hierin ontstaan. Wanneer dergelijke plaatselijke afschuivingen in zogenaamde loopkleien ontstaan, kunnen de gevolgen katastrofaal zijn. Aangezien loopkleien bij verkneding praktisch hun gehele schuifweerstand verliezen, gaan ze als een vloeistof lopen.

Wanneer een plaatselijke afschuiving in de oever van een rivier ontstaat, is het mogelijk dat de bijna verticale sprong welke achter de afgeschoven massa is ontstaan, op zijn beurt niet stabiel is, en ook gaat glijden (fig. 3). De ontstane verschuiving verstoort de loopklei, welke aldus aan weerstand inboet, en als een vloeistof wegvloeit. Het proces zal verder gaan, de ene

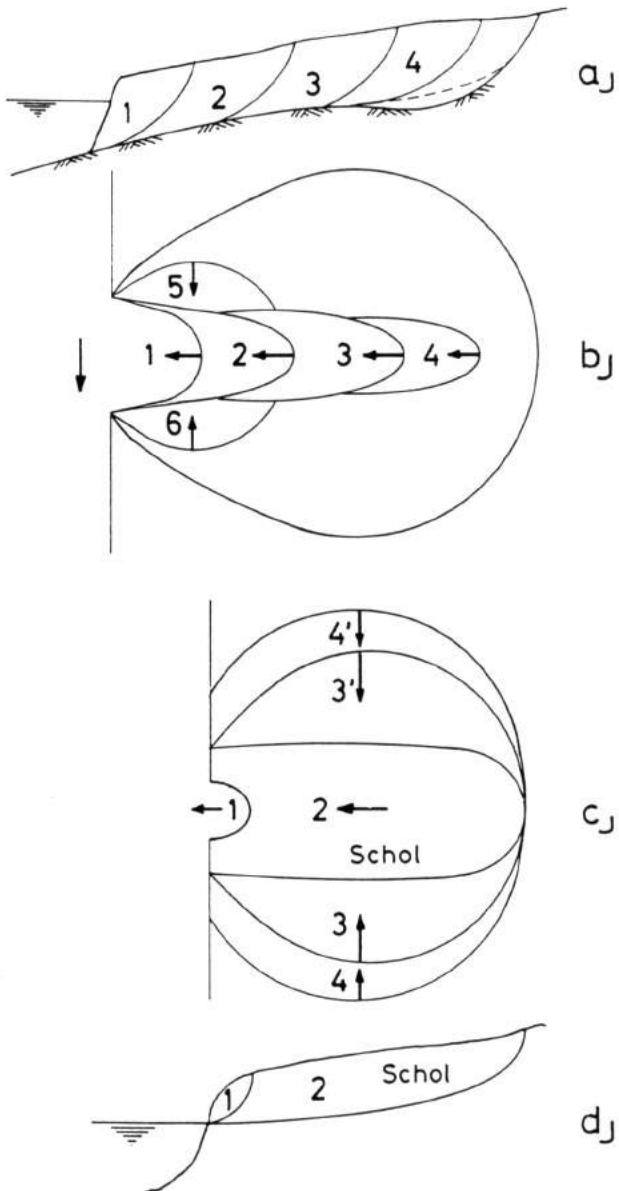


Fig. 3. — Verschuivingen ten gevolge van plaatselijke afschuiving in een rivieroever.

glijdende massa volgend op de andere. De afglijding zal zich retrogressief voortplanten, tot wanneer een meer stabiele grondmassa is bereikt, of tot wanneer de glijdende massa's de ontstane holte hebben gevuld en hierdoor het voortschrijden wordt stopgezet.

Aangezien verstoorde loopkleien zich gedragen als een zware vloeistof, volstaat in het verstoorde gebied zelfs een zeer flauwe helling om het verder vloeien van de verstoorde klei mogelijk te maken. Boven op de bewegende loopklei kunnen de uitgedroogde gedeelten van de grond welke nabij het maaiveld aanwezig zijn, alsook bomen en soms huizen als schollen voortdrijven. Ook kan de vorming van grote golvingen en van opstuikingsverschijnselen worden vastgesteld.

2. Verklaring voor de achteruitgang van de schuifweerstand van loopkleien

Volgens Rosenqvist is de schuifweerstand van een klei hoofdzakelijk veroorzaakt door de polarisatie van de geadsorbeerde kationen; de rol van de waterlaag welke de deeltjes omringt bestaat hoofdzakelijk in het vormen van een medium waarin deze kationen kunnen aanwezig zijn.

De kleimineralen hebben over het algemeen een negatieve elektrische lading tegenover de vloeibare fase.

De loopklei is normaliter eerst gevormd geweest in zeewater. Als deze klei uiteindelijk boven de zeespiegel is uitgerezen, wordt het zoutgehalte van het poriënwater, in de loop der eeuwen, tengevolge van het binnendringen van het regenwater en/of door het binnendringen van artesisch zoetwater vanuit het rotssubstratum gaandeweg uitgeloozd, wat een invloed zal hebben op de aard en de hoeveelheid geadsorbeerde kationen en dus op de schuifweerstand. Dit uitlogingsproces gaat steeds verder.

In tabel I is de chemische samenstelling gegeven van het poriënwater van een postglaciale klei, 6000 à 7000 jaar oud, te Bekkelaget bij Oslo.

Tabel I
Chemische samenstelling van het poriënwater
van de loopklei van Bekkelaget — Oslo (naar Rosenqvist)

Diepte van ontname in m	gehalte in g/liter poriënwater			
	Cl	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	K ⁺
4,0	0,03	0,17	1,15	0,74
6,0	1,13	0,17	1,58	0,70
10,0	0,23	0,19	1,62	0,53
zeewater	18,98	2,649	10,556	0,38

T.o.v. het zeewater zijn de gehalten van de diverse ionen sterk verminderd, uitgenomen voor het kalium waarvan het gehalte is toegenomen. Deze toename wordt verklaard door een verweringsproces.

De pH van het poriënwater van de loopklei is zeer hoog ($\text{pH} = 9,2$) en wordt verklaard door de aanwezigheid van carbonaten en hoog CO_2 -gehalte. Het carbonaatgehalte is gemakkelijk te verklaren. Het uitloggen van het grootste gedeelte van het oorspronkelijke zoutgehalte is veroorzaakt door het regenwater dat doorheen de sedimenten is gesijpeld. Gedurende de laatste fasen van het uitlogingsproces is een stijgend aantal geadsorbeerde kationen van de kleimineralen vrijgemaakt en vervangen door het regenwater dat koolzuur bevat.

Daar de invloed van de aanwezigheid van kalium-ionen op de mechanische eigenschappen van de klei anders is dan die van de natrium-ionen, is de verhouding van het natriumgehalte tot het kaliumgehalte van het grootste belang voor de mechanische eigenschappen van de Skandinavische kleien.

Wegens het verschil in sterkte van de binding tussen de verschillende kationen en de kleimineralen, zal er een verschil zijn tussen de samenstelling van de opgeloste kationen in de waterfase en van de op de klei geadsorbeerde kationen.

De uitloging van zout uit een zeeklei kan de ongeroerde schuifweerstand van een zoute klei met meer dan 60% doen afnemen, terwijl de schuifweerstand na verkneding tot minder dan 0,1% van de oorspronkelijke waarden kan worden gereduceerd.

De toevoeging van zout aan een loopklei heeft slechts een geringe invloed op de uitloggrens, doch een grote invloed op de vloeigrens. De toename van het zoutgehalte verhoogt de vloeigrens en dus de plasticiteitsindex.

Blijft dan nog steeds de vraag welke de invloed van het zoutgehalte is op de schuifweerstand in ongeroerde toestand. Hiertoe werden door Rosenqvist zoute kleimonsters onder een belasting p_0 van circa 80 kN/m^2 gekonsolideerd. Vervolgens werden bepaalde van deze kleimonsters in een tijdsduur van circa 5 maand door voorzichtige doorstroming met zoet water uitgeloozd. Tenslotte werd de schuifweerstand van de zoute kleimonsters en deze van de uitgeloozde monsters bepaald. De verkregen resultaten zijn in tabel 2 weergegeven.

Vastgesteld wordt dat door uitloging de schuifweerstand in ongeroerde toestand ook belangrijk vermindert, namelijk met 31 kN/m^2 . Uit tabel 2 blijkt nog dat de verhouding van niet-gedraineerde schuifweerstand tot de konsolidatiedruk s_u/p_0 afneemt van 0,32 in niet uitgeloozde toestand tot 0,11 na uitloging. In overeenstemming hiermede vindt men in Noorwegen dat de verhouding van de schuifweerstand s_u opgemeten in vinproeven tot de oorspronkelijke terreinspanning p_t circa 0,20 bedraagt in zoute kleien doch slechts ongeveer 0,10 bedraagt in loopkleien.

Rosenqvist heeft vervolgens nog nagegaan welke de invloed van de aard der geadsorbeerde kationen op de toename van de schuifweerstand is. Hij komt tot de conclusie dat de toename van de schuifweerstand evenredig is met de polariseerbaarheid der geadsorbeerde kationen.

Tabel 2

Invloed zoutgehalte op schuifweerstand
ongeroerde kleimonsters (naar ROSENQVIST)

Toestand monster	konso- lida- tiedruk	water- gehalte	zout- gehalte	Attenbergse grenzen		Vloei- index	Schuifweerstand ongeroerd verkneed		$\frac{s_u}{p_0}$	Sensi- tivi- teit
	p_0	W		W_1	W_p	W/W_1	s_u	$s_{u,r}$		S_t
	kN/m ²	%	g/l	%	%		kN/m ²	kN/m ²		
niet uitge- loogd	95	41,9	39,0	43,4	19,5	0,90	31	4,8	0,32	6,4
uitge- loogd	80	40,4	1,0	27,4	18,0	2,38	88,5	0,1	0,11	= 90

Het is gekend dat bepaalde kleien (de «gescheurde kleien») een fijn netwerk van scheurtjes vertonen. Het ontstaan van dergelijke scheurtjes wordt met syneresis-verschijnselen in verband gebracht. Aangevoerd wordt dat de kationen die de neiging tot syneresis en dus de scheurvorming verhogen, dezelfde zijn als degene die de schuifweerstand en de vloeigrens verhogen. De konklusie is dat er een verband moet bestaan tussen de polariseerbaarheid van de kationen en de neiging tot syneresis.

De polarisabiliteit van de caesium- en kaliumionen is veel groter dan deze van de natrium- en magnesiumionen aanwezig in de normale zeekleien. Waar deze normale zeekleien zijn uitgelooft en door inwendige verwerking het kaliumgehalte is toegenomen, wat gewoonlijk in de bovenste meters het geval is, kan een scheurstructuur in de natuurlijke kleien ontstaan, zonder dat de kleien aldaar aan een uitdroging zouden zijn blootgesteld.

Bij toenemende uitloging vindt een toename van de zêta-potential plaats. Inderdaad, bij afnemende concentratie van de kationen in de vloeibare fase (tengevolge van de uitloging) zullen de kleimineralen hun geadsorbeerde kationen dissociëren. Diensvolgens zullen de kleimineralen een negatieve elektrische lading verkrijgen, terwijl het poriënwater dat sommige van de gedissocieerde kationen bevat, positief zal geladen zijn. Een gevolg hiervan is een vermindering van de doorlatendheid bij toenemende uitloging. Inderdaad, de positief geladen vloeibare fase wordt aangetrokken door de negatief geladen vaste fase, en dit aangetrokken water kan niet wegvloeien zolang geen voldoende grote hydraulische gradiënt in het water wordt aangebracht. Deze aangetrokken watermoleculen kunnen half kristallijn worden genoemd, en de mechanische eigenschappen kunnen worden geacht niet zeer verschillend van deze van de kleimineralen zelf te zijn. Uitdroging tot 105°C volstaat niet om het meest nabije geadsorbeerde water te verwijderen.

Daar de aantrekkingsenergie meer of min volgens een meetkundige reeks in functie van de afstand tot het oppervlak van de mineralen afneemt, is het moeilijk een bepaalde grens voor de dikte van het «kristallijn» wateromhulsel aan te geven. Volgens Rosenqvist kan het niet veel dikker zijn dan 0,741 nm, overeenstemmend met de C-as in de hexagonale ijsstructuur. Overigens heeft het wateromhulsel rond de kleimineralen niet dezelfde onderlinge schikking als de watermoleculen in ijs.

Bij verdere uitdieping van het probleem, komt Rosenqvist tot de konklusie dat het volume van het meer of min «vaste» water ongeveer gelijk is aan het volume van de kleideeltjes kleiner dan 0,002 mm. Hieruit volgt dat in de meeste Noorse kleien de helft van de waterfase onder de oriënterende invloed van de kleimineralen staat. Bij de studie van de Boomse klei voor de Kennedy-tunnel te Antwerpen zijn we tot eenzelfde konklusie voor deze klei gekomen.

In Noorwegen wordt het bestaan van loopkleien dus in verband gebracht met het feit dat in zeekleien, welke tengevolge van de geadsorbeerde kationen, een bepaalde structuur hadden aangenomen, en een hiermede overeenstemmende schuifweerstand bezitten, tengevolge van een uitlogging der zouten in het poriënwater, het aantal gepolariseerde geadsorbeerde kationen vermindert, waardoor deze kleien gaandeweg aan schuifweerstand inboeten en een metastabiele opbouw gaan vertonen.

Men dient echter onmiddellijk hieraan toe te voegen, dat indien deze verklaring juist kan zijn voor de loopkleien van Noorwegen, ze toch geen algemene geldigheid heeft.

Inderdaad, in Canada en Zweden worden loopkleien gevonden die in zoetwatermeren, welke achter ijsafdammingen zijn ontstaan, werden afgezet. Hier is dus geen sprake van uitlogging van zouten wanneer de sedimenten boven water zijn gekomen. Men moet alsdan aannemen dat, wegens het ontbreken van polariseerbare kationen, reeds van bij de afzetting een metastabiele structuur is ontstaan. Wel kan worden aangetoond dat de sensitiviteit van de Canadese en Zweedse kleien niet zo uitgesproken hoog zal zijn als die van de Noorse.

De vraag rijst dan waarom onze eigen holocene kleien welke in zoet water zijn afgezet geen loopkleien zijn. Het antwoord dient wellicht te worden gezocht in het gehalte aan organisatorische bestanddelen, dat voor onze kleien veel hoger is dan in de glaciaire kleien en o.m. een zeer sterke verhoging van de vloeigrens en plasticiteitsgrens ten gevolge heeft.

3. Evenwichtskontrolle van loopkleimassieven

Om een nazicht van het evenwicht van loopkleimassieven uit te voeren, dient men behalve over de meetkundige gegevens en de piëzometrische stijghoogten, ook over de voor het probleem kenmerkende schuifweerstandskarakteristieken te beschikken.

KENMERKENDE SCHUIFWEERSTANDSKARAKTERISTIEKEN

Een eerste grootheid welke men kan bepalen is de niet-gedraineerde schuifweerstand s_u , hetzij *in situ* door middel van vinproeven, hetzij in het laboratorium door middel van allerlei proeven op ongeroerde monsters, in zoverre men er in slaagt in de metastabiele loopkleien dergelijke monsters te ontnemen. Er moet echter onmiddellijk worden opgemerkt dat de niet-gedraineerde schuifweerstand geen materiaalkonstante is, doch door een tweevoudige anisotropie wordt beïnvloed.

De eerste houdt verband met een anisotropie van de structuur van de grond, welke tijdens het ontstaan van de laag en zijn geologische geschiedenis is ontstaan. De tweede anisotropie wordt veroorzaakt door het opgedrongen spanningsveld, dat een draaiing van de richting der hoofdspansingen en een wijziging van de waarde van de middelste hoofdspansing kan veroorzaken.

Om dit te illustreren wordt, naar Ladd, de tabel 3 gegeven. Deze tabel geeft de waarden van de niet-gedraineerde schuifweerstand van normaal geconsolideerde blauwe Boston klei, welke door verschillende proeven worden verkregen.

Tabel 3

Anisotropie van de niet-gedraineerde schuifweerstand van normaal geconsolideerde blauwe Boston klei (naar LADD)

Aard van de proef (alle geconsolideerd onder K_0 voorwaarden, voor vertikaal ontnomen monsters)	$\frac{s_u}{G_{v,c}}$	Distortie γ_f bij het bezwijken (%)	$\frac{s_u}{s_{u,TC}}$
1) vlakke vervorming (actief) (axiale druktoename) <i>PSA</i>	0,34	0,8	1,03
2) triaxiale samendrukking (axiale druktoename) <i>TC</i>	0,33	0,5	1,00
3) enkelvoudige schuifproef <i>DSS</i>	2,20	6	0,61
4) vlakke vervorming passief (zijdelingse druktoename) <i>PSP</i>	0,19	8,5	0,57
5) triaxiale uittrekkingsproef (axiale drukafname) <i>TE</i>	0,155	15	0,47

$G_{v,c}$ = vertikale consolidatie spanning

Alle ongeroerde monsters werden vooraf terug geconsolideerd in neutrale gronddrukvoorwaarden (K_0) en daarna niet-gedraineerd afgeschoven. Men stelt vast dat de niet-gedraineerde schuifweerstand al naar gelang van de aard van de proef varieert van 0,47 tot 1,03 maal de waarde $S_{u,TC}$ verkregen met de klassieke triaxiale drukproef.

De belangrijke variatie van de niet-gedraineerde schuifweerstand, afhankelijk van de intrinsieke anisotropie van de grondstructuur en van de aard van het aangelegde spanningsveld, geldt welke ook de graad van sensitiviteit is, en is dus niet eigen aan loopkleien. Wel dient voor loopkleien nog de moeilijkheid van het ontnemen van ongeroerde monsters te worden in acht genomen. Het ontnemen van een monster brengt immers altijd een wijziging van het spanningsveld teweeg ; door het steken wordt de deviatorische spanningstoestand, bij constant volume, door een sferische spanningstoestand vervangen. Deze variatie brengt in sterk gestructureerde skeletten steeds een zekere roering teweeg.

Men kan ook door middel van vinproeven *in situ* de schuifweerstand van loopkleien bepalen. Hierbij meet men eerst de maximum waarde (s_u), en daarna de waarde welke men bij grote rotatie ($s_{u,r}$) van het vinapparaat verkrijgt. Een typisch diagram is op figuur 4 aangegeven. De niet-gedraineerde vinschuifweerstand s_u neemt in de loopklei linear met de diepte toe, en de verhouding van s_u t.o.v. de oorspronkelijke verticale korrelspanning $\sigma_{k,v,0}$ varieert tussen 0,10 en 0,20 en is veel kleiner dan deze welke men voor normaal geconsolideerde niet-organische kleien, met dezelfde plasticiteitsindex vindt. Vastgesteld wordt dat de niet-gedraineerde piekschuifweerstand zeer gering is, en plaatselijk zelfs kleiner is dan 10 kN/m^2 . De residuele schuifweerstand $s_{u,r}$ is praktisch nul. De sensitiviteit is dus oneindig.

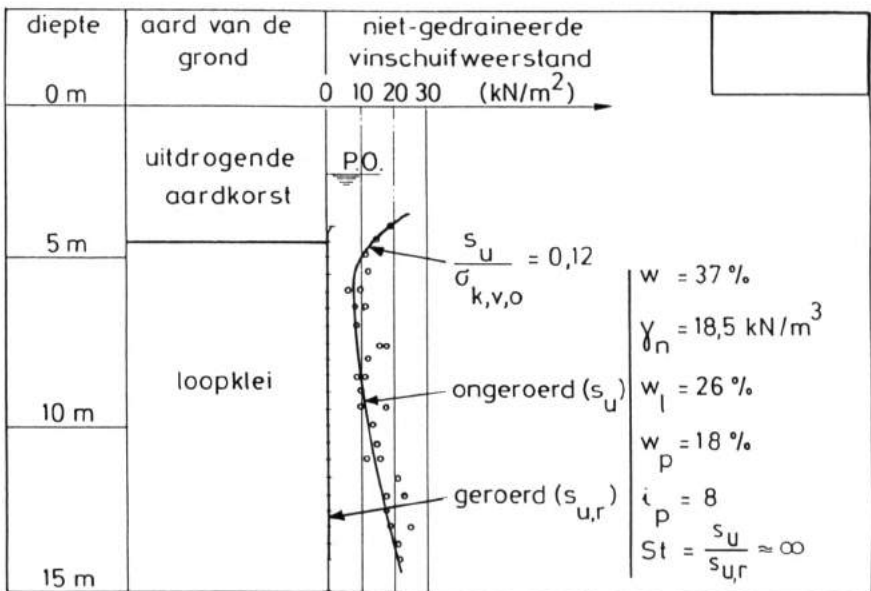


Fig. 4. — Niet-gedraineerde vinschuifweerstand van loopkleien. Bron : BJERRUM 1961.

Ook bij het indrukken van het vinapparaat kan men een zekere roering niet vermijden, zodat men zou kunnen denken dat een ietwat te geringe piekschuifweerstand (S_u) zal worden gevonden. Bovendien, met een klassiek vinapparaat, meet men hoofdzakelijk de schuifweerstand op verticale vlakken, waar de structuur bepaald is door de consolidatiespanning $K_0\sigma_{v,k,0}$, terwijl langgestrekte afschuivingen zich volgens een nagenoeg horizontaal vlak voordoen, waar de structuur door de hogere consolidatiedruk $\sigma_{v,k,0}$ is bepaald, zodat men kan verwachten dat langs het kenmerkend schuifvlak, de schuifweerstand groter dan de vinpiekschuifweerstand zal zijn.

Er is dus een dubbele reden om te vermoeden dat de opgemeten piekschuifweerstand ietwat kleiner dan de kenmerkende piekschuifweerstand is, dit vanzelfsprekend zolang geen progressieve breukverschijnselen te beschouwen zijn.

Aangezien de niet-gedraineerde schuifweerstand s_u geen eigenlijke materiaal-konstante is, ontstaat vanzelf de neiging om de gedraineerde schuifweerstandsparements c' en φ' ten grondslag van de berekeningen te leggen. Men kan vooreerst geconsolideerde gedraineerde triaxiaalproeven uitvoeren. Doch in sterk structuurgevoelige materialen dient men met de aanwending van de hiermede verkregen resultaten uiterst voorzichtig te zijn. Inderdaad, bij iedere verhoging van de sferische korrelspanning of van de deviatorische spanning zal men de opbouw van het skelet wijzigen en in een steviger structuurvorm brengen.

De conclusie is dat zowel geconsolideerde gedraineerde triaxiaalproeven, als geconsolideerde niet-gedraineerde triaxiaalproeven met gecontroleerde vervormingssnelheid ons niet kunnen helpen om het probleem op te lossen. Indien ondoordacht toegepast kunnen ze integendeel tot een dwaalspoor leiden.

Bjerrum heeft getracht met een andere beproevingsmethode meer kenmerkende resultaten te verkrijgen. Een monster wordt daartoe geplaatst in een rubbering versterkt met stalen spiraaldraad, en wordt geconsolideerd onder een verticale terreinsspanning $\sigma_{k,v,0}$ (fig. 5a). Daarna wordt bij zeer kleine vervormingssnelheid een horizontale schuifspanning τ_h aangelegd. Er is dus tijdens het proefverloop geen poriënwaterspanning in het monster. Door het aanleggen van deze schuifspanning wentelen en vermeerderen de hoofdspansingen, hetgeen een volumevermindering van het monster zou tengevolge hebben. Om deze storende invloed tegen te gaan, is het schuifapparaat zo uitgerust dat op elk ogenblik de verticale spanning σ'_v wordt aangepast teneinde het volume van het monster konstant te houden.

De verkregen resultaten kunnen worden voorgesteld door diagrammen analoog aan deze van figuur 5b. In abscis zijn de distorties γ gegeven. Vastgesteld wordt dat de schuifspanning τ_h in de proef bij konstant volume een maximum bereikt bij een distortie van 6,5%. De verhouding $\tau_h : \sigma'_{v,c} = \tau_h : \sigma_{k,v,0}$ ligt wel in het gebied 0,10 à 0,20, gevonden met de vinapparaten.

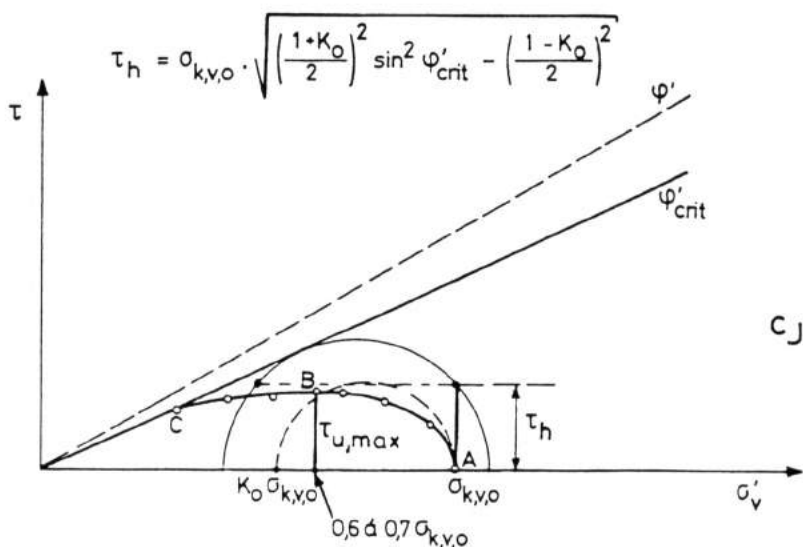
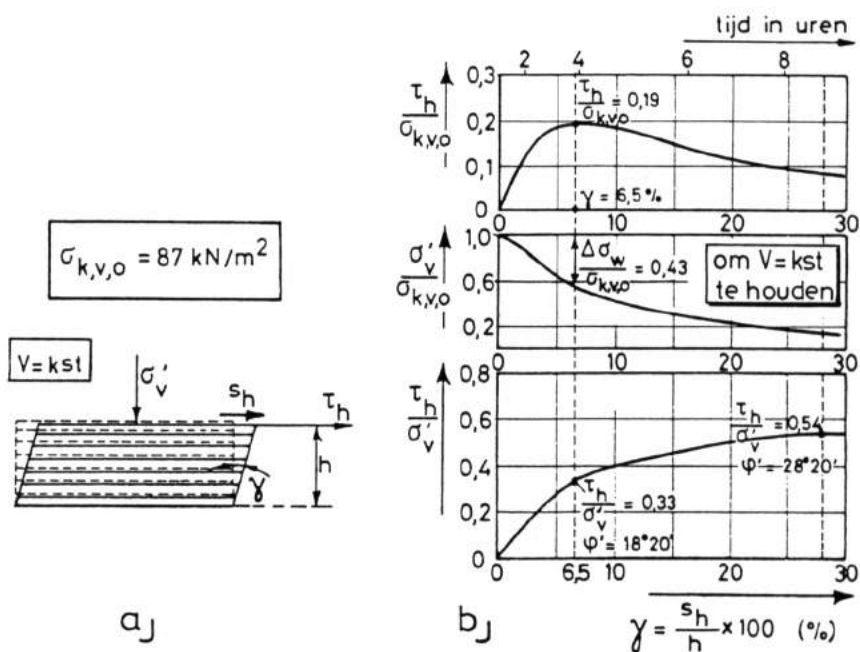


Fig. 5. — Beproevingsmethode voor het bepalen van de schuifweerstand. Bron: BJERRUM.

Op de figuren wordt ook aangetoond hoe de verticale korrelspanning σ'_v tijdens de schuifproef moet worden gevarieerd opdat het volume van het monster konstant zou blijven. De afname van deze verticale korrelspanning stelt het gedeelte van de spanning voor dat in een niet-gedraineerd verloop door het overspanning water zou worden gedragen. Bij grote vervormingen bedraagt de korrelspanning dan minder dan 20% van de oorspronkelijke waarde.

Daar gedurende het proces de horizontale korrelspanningen zeker niet zijn toegenomen, kan worden geconcludeerd dat er een sterke afname van de gemiddelde korrelspanning is, en dat men dus op het einde van het belastingsverloop een structuur heeft die overgeconsolideerd is. De waarden van φ' gevonden bij grote distorties en bij uiterst verlaagde waarden van σ'_v kunnen derhalve weerom niet aangewend worden ter oplossing van het probleem.

Het onderste diagram van figuur 5b geeft de variatie van $\frac{\tau_h}{\sigma'_v}$. De waarde van $\frac{\tau_h}{\sigma'_v}$ welke met $\tau_{h,max}$ overeenstemt bedraagt 0,33, waarmee een hoek φ' van $\varphi = 18^\circ 20'$ overstemt.

Bij grote vervormingen heeft men $\frac{\tau_h}{\sigma'_v} = 0,54$ of $\varphi' = 28^\circ 20'$, voor het «overgeconsolideerde» monster. Ook de hoek van $18^\circ 20'$ is nog ietwat te hoog.

De gegevens van figuur 5b kunnen worden overgebracht in het τ/σ' -diagram van figuur 5c. In dit diagram volgt het voorstellende punt van de spanning op het horizontale vlak in de gedraineerde schuifproef Bjerrum de weg ABC. De maximum schuifspanning $\tau_{u,max}$ (punt B) wordt bereikt bij een afname van de verticale spanning met 30 tot 40%.

4. Benadering van het probleem van schollenvormige landvallen in flauw hellende gebieden naar Gunnar Aas (Noorwegen)

4.1. HORIZONTAAL GLIJDVLAKE

Vooreerst wordt een horizontaal glijdvak beschouwd, en daarna een glijdvak met een geringe hellingshoek β . We gaan uit van een horizontaal blok. In het contactvlak AB (fig. 6) heersen de spanningen $\sigma_{k,v,o}$ en $\sigma_{k,h,o} = K_o \sigma_{k,v,o}$. Op het blok wordt thans een horizontale kracht H aangelegd. Hierdoor ontstaan in het contactvlak schuifspanningen τ_h , waardoor de hoofdspanningen van waarde en richting veranderen.

In slappe lagen zal deze spanningswijziging tot een volumevermindering leiden, tenzij deze wegens de geringe doorlatendheid wordt verhinderd, in welk geval overspanningen $\Delta\sigma_w$ in het poriënwater ontstaan.

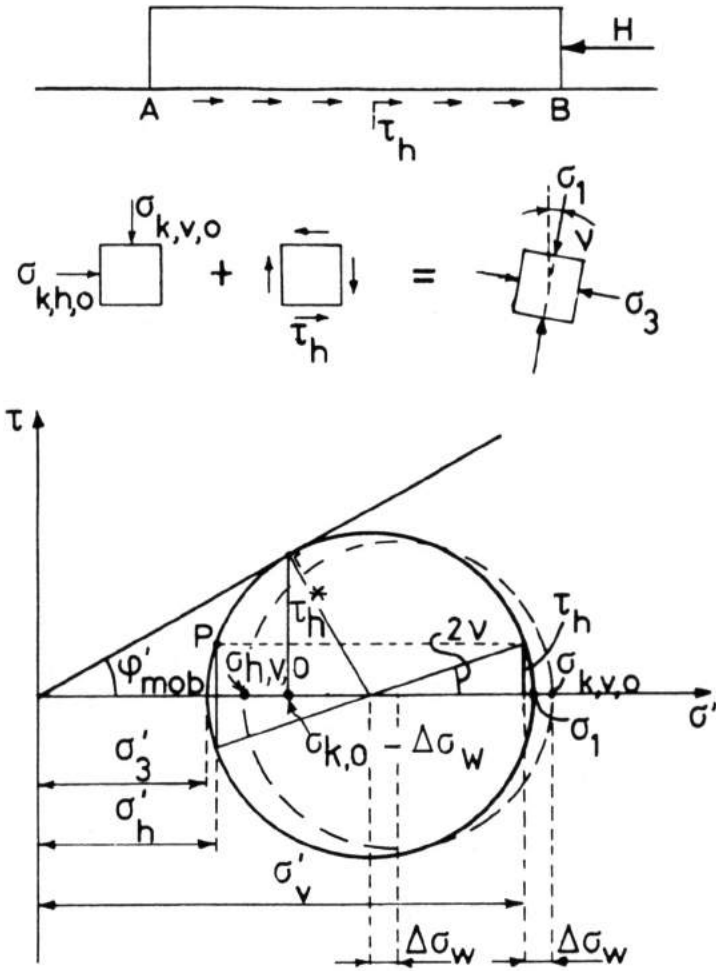


Fig. 6. — Horizontaal glijdvlak.

Uit de figuur 6 blijkt :

$$\tau_h = \sqrt{\left(\frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2}\right)^2 - \left(\sigma_{k,v,0} - \Delta\sigma_w - \frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2}\right)^2}$$

$$\text{met } \frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2} = \frac{\sigma'_v + \sigma'_h}{2} = \frac{\sigma_{k,v,0} - \Delta\sigma_w + K_0\sigma_{k,v,0} - \Delta\sigma_w}{2}$$

$$\text{of } \frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2} = \frac{1 + K_0}{2} \Delta\sigma_w \sigma_{k,v,0} - \Delta\sigma_w - \frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2}$$

$$\text{of } \sigma_{k,v,0} - \Delta\sigma_w - \frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2} = \sigma_{k,v,0} \frac{1 - K_0}{2}$$

$$\text{en } \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2} = \frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2} \sin\varphi'_{mob} = \left(\sigma_{k,v,0} \frac{1 + K_0}{2} \right) \sin\varphi'_{mob}$$

hetgeen leidt tot :

$$\tau_h = \sigma_{k,v,0} \sqrt{\left(\frac{1 + K_0}{2} - \frac{\Delta\sigma_w}{\sigma_{k,v,0}} \right)^2 \sin^2 \varphi'_{mob} - \left(\frac{1 - K_0}{2} \right)^2} \quad (1)$$

Aangenomen wordt thans dat de kinematische voorwaarden zodanig zijn dat een continue glijding enkel langs het horizontaal vlak kan optreden. Als de wrijvingshoek φ' gegeven is, alsook τ_h , dan eist de mogelijkheid van glijding, dat er in het horizontaal vlak wateroverspanning $\Delta\sigma_w$ ontstaat gegeven door :

$$\tau_h = (\sigma_{k,v,0} - \Delta\sigma_w) \operatorname{tg}\varphi' \quad (2)$$

De vergelijking (1) is algemeen geldig. Stellen we verder $\Delta\sigma_w = u$ als de wateroverspanning voor. Men kan zich de vraag stellen op welke wijze de overspanning u varieert met $\sin \varphi'_{mob}$ en met gegeven waarden van τ_h en $\sigma_{k,v,0}$. De vergelijking (1) kan worden geschreven :

$$\left(\frac{\tau_h}{\sigma_{k,v,0}} \right)^2 = \left(\frac{1 + K_0}{2} + \frac{u}{\sigma_{k,v,0}} \right)^2 \sin^2 \varphi'_{mob} - \left(\frac{1 - K_0}{2} \right)^2 \quad (3)$$

waaruit, na afleiding volgt :

$$\frac{d \frac{u}{\sigma_{k,v,0}}}{d \sin\varphi'_{mob}} = \frac{\frac{1 + K_0}{2} - \frac{u}{\sigma_{k,v,0}}}{\sin\varphi'_{mob}} \quad (4)$$

Vertrekkend van de toestand $u = 0$ en voor eindige varaties (Δ) van u en van $\sin \varphi'_{mob}$, wordt dit :

$$\frac{\Delta \frac{u}{\sigma_{k,v,0}}}{\Delta \sin\varphi'_{mob}} = \frac{1 + K_0}{2 \sin\varphi'_{mob}} \quad (5)$$

Op figuur 7 heeft men naar G. Aas de resultaten getekend van (K_0) geconsolideerde, niet-gedraineerde axiaal belaste triaxiaalproeven. Het diagram — figuur 7b — geeft de variatie van de functie van de wateroverdrukken

$$\frac{\Delta\sigma_w}{\sigma_{k,v,0}} - \left(K_0 - \frac{1}{2} \right)$$

in functie van de gemobiliseerde hoek van inwendige wrijving

$$\sin \varphi'_{mob} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma'_1 + \sigma'_3}$$

Het gaat om 5 verschillende, normaal geconsolideerde kleien. De kurven 1, 2 en 3 hebben betrekking op loopkleien, terwijl de kurven 4 en 5 betrekking hebben op weinig sensitieve kleien.

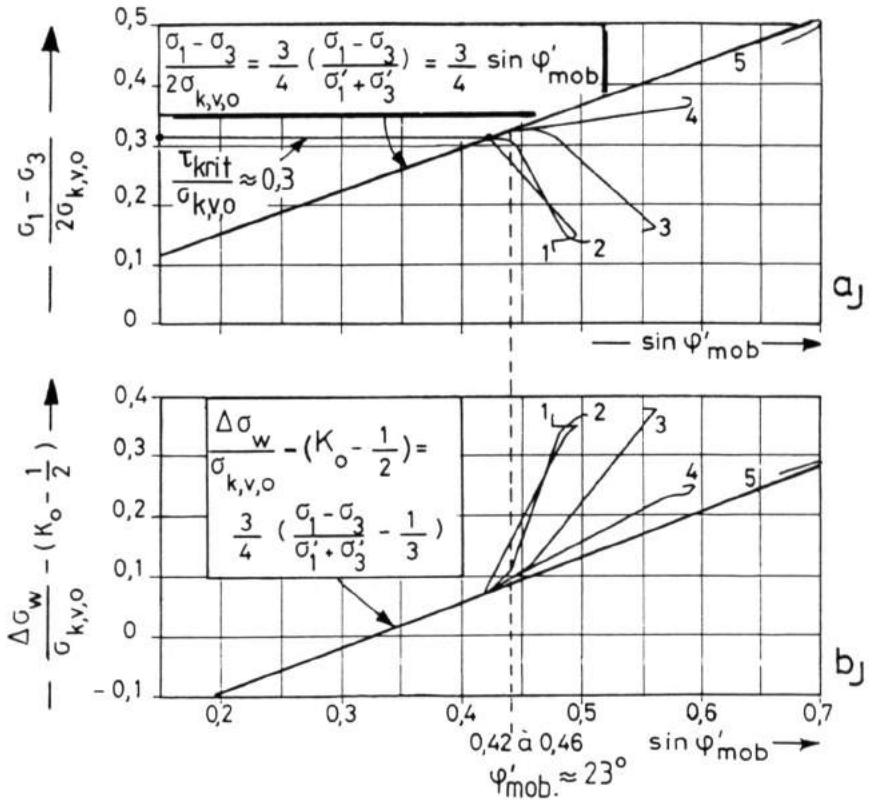


Fig. 7. — Resultaten van geconsolideerde, niet-gedraineerde axiaal belaste triaxiaalproeven. Bron : GUNNAR AAS 1981.

Tot waarden $\sin \varphi'_{mob} = 0,42 \text{ à } 0,46$ ($\varphi' = 22^\circ 40'$ tot $\varphi = 24^\circ 30'$) gedragen de 5 kleien zich op dezelfde wijze ; men heeft er

$$\frac{\Delta \frac{u}{\sigma_{k,v,0}}}{\Delta \sin \varphi'_{mob}} = 0,75$$

Voor hogere waarden van $\sin\varphi'_{\text{mob}}$ stijgt deze gradiënt voor de loopkleien plotseling tot waarden gaande van 2,5 tot 6. Integendeel voor de kleien met lage sensitiviteit blijft de waarde van de gradiënt praktisch behouden.

Het diagram (fig. 7a) toont hoe voor de 5 kleien de maximale relatieve schuifweerstand

$$\frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{2\sigma_{k,v,0}} \text{ varieert met } \frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{\sigma_1 - \sigma_3} = \sin\varphi'_{\text{mob}}.$$

Voor $\sin\varphi'_{\text{mob}} < 0,42$ à $0,46$ reageren de 5 kleien ook hier op dezelfde wijze en men heeft

$$\frac{\Delta \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2\sigma'_0}}{\Delta \sin\varphi'_{\text{mob}}} = 0,75$$

Na het bereiken van de kritische waarde van $\sin\varphi'_{\text{mob}}$, daalt de schuifweerstand van de loopkleien drastisch, wegens het plotseling oplopen van de overspanningen u in het poriënwater, ($\tau = \sigma_k \cdot \text{tg}\varphi'_{\text{mob}}$). De toename van $\text{tg}\varphi'_{\text{mob}}$, is niet bij machte de afname van σ_k te compenseren, waaruit een gevoelige netto afname van τ resulteert.

De twee niet-sensitieve kleien vertonen deze afname niet. Als in loopkleien langs een welkdanig vlak (ook degene welke bij blokbeweging niet kinematisch mogelijk zijn) de kritische waarde van de wrijvingshoek wordt gemobiliseerd, zo zal elke bijkomende schuifspanning tot een drastische verdere reductie van de schuifweerstand voeren. Men hoeft dus niet te stellen, wegens de kinematische voorwaarde, dat enkel het horizontaal vlak, het vlak met

$$\left(\frac{\tau}{\sigma'}\right)_{\text{max}}$$

moet zijn, aangezien door de vervloeiing de kinematische eis vanzelf

wordt vervuld.

Dus zelfs in volledig gedraineerde afschuiving, zal men in de kritieke toestand verkeren, wanneer de spanningstoestand door de cirkel van de figuur 8 wordt voorgesteld.

Men heeft in dit geval van *gedraineerde* afschuiving voor de schuifspanning τ_h op het horizontaal vlak en voor τ_{krit} op het schuifvlak, de uitdrukkingen (vgl (1) met $\Delta\sigma_w = 0$):

$$\tau_h = \sigma_{k,v,0} \sqrt{\left(\frac{1+K_0}{2}\right)^2 \sin^2 \varphi'_{\text{crit}} - \left(\frac{1-K_0}{2}\right)^2} \quad (6)$$

$$\tau_{\text{krit}} = \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2} \cos\varphi'_{\text{crit}} \quad (7)$$

$$\tau_{\text{krit}} = \sigma_{k,v,0} \frac{1+K_0}{2} \sin\varphi'_{\text{crit}} \cos\varphi'_{\text{crit}} \quad (8)$$

$$\frac{\tau_h}{\tau_{crit}} = \sqrt{\frac{\left(\frac{1+K_0}{2}\right)^2 \sin^2 \varphi'_{crit} - \left(\frac{1-K_0}{2}\right)^2}{\left(\frac{1+K_0}{2}\right)^2 \sin^2 \varphi'_{crit} \cos^2 \varphi'_{crit}}} \quad (9)$$

$$\text{en } \frac{\frac{\tau_h}{\sigma_{k,v,0}}}{\frac{\tau_{crit}}{\sigma_{k,v,0}}} = \sqrt{\frac{\left(\frac{1+K_0}{2}\right)^2 \sin^2 \varphi'_{crit} - \left(\frac{1-K_0}{2}\right)^2}{\left(\frac{1+K_0}{2}\right)^2 \sin^2 \varphi'_{crit} \cos^2 \varphi'_{crit}}} \quad (10)$$

Stellen we b.v. $K_0 = 0,5$ met $\sin \varphi'_{crit} = 0,45$, dan volgt :

$$\frac{\frac{\tau_h}{\sigma_{k,v,0}}}{\frac{\tau_{crit}}{\sigma_{k,v,0}}} = 0,75$$

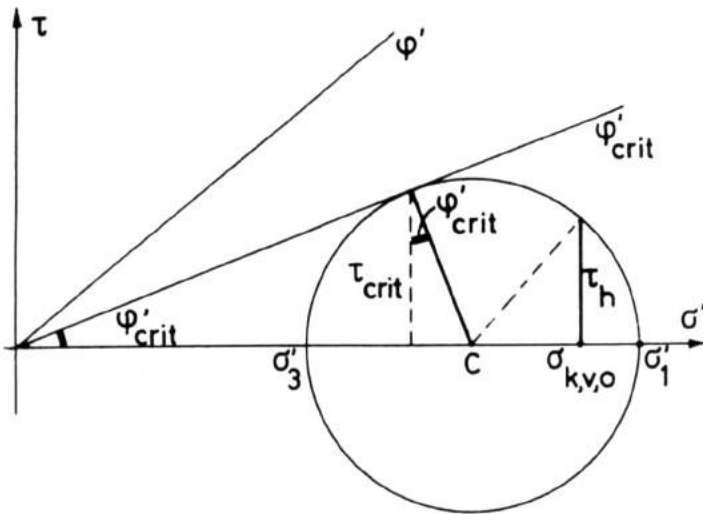


Fig. 8. — Volledig gedraineerd geval.

Uit de figuur 7a blijkt dat :

$$\frac{\tau_{crit}}{\sigma_{k,v,0}} = 0,3 \text{ waaruit :}$$

$$\frac{\tau_h}{\sigma_{k,v,0}} = 0,75 \times 0,3 = 0,225 \text{ en } \varphi' = 12^\circ 40'.$$

Dit veronderstelt echter dat bij de minste verdere verhoging van τ_h een vervloeiing optreedt, met vanzelfsprekend belangrijke overspanningen u in het poriënwater die toe te schrijven zijn aan de verkneding van de klei zelf.

4.2. LICHT HELLEND GLIJDVLAKE, MET EEN HELLINGSHOEK β

Steunend op de voorgaande bevindingen voor het geval van een opgelegd horizontaal glijdvlak, wordt ook in het geval van een opgelegd glijdvlak met kleine hellingshoek β , uitgegaan van een gedraineerde toestand, en een cirkel rakend aan φ'_{crit} . Eenvoudigheidshalve wordt verondersteld dat de normaalspanningen op de horizontale en verticale vlakjes dezelfde zijn als in het geval van een horizontale afschuiving (fig. 9).

$$\begin{aligned} \text{Men heeft } \tau_{\beta>crit} &= \sigma'_{k,v,o} \cdot \left(\frac{1 - K_0}{2} \right) \sin 2\beta + \\ &+ \sigma_{k,v,o} \cdot \sqrt{\left(\frac{1 + K_0}{2} \right)^2 \sin^2 \varphi'_{crit} + \left(\frac{1 - K_0}{2} \right)^2 \cos 2\beta} \end{aligned}$$

of nog

$$\tau_{B,crit} = \Phi_{h,crit} \cos 2\beta + \frac{1}{2} \sigma_{k,v,o} (1 - K_0) \sin 2\beta \quad (12)$$

Aan de hand van deze gegevens kan men thans trachten het gevaar voor scholvorming te voorspellen. Een gevaar voor scholvorming bestaat langs een vlak nagenoeg evenwijdig met het grondoppervlak (fig. 9), indien de schuifweerstand $\tau_{B,crit}$ gemobiliseerd wordt over de gehele lengte van het vlak, en tegelijkertijd de schuifweerstand in de actieve en passieve zones volledig worden opgebruikt. Deze zones bestaan niet noodzakelijk uit loopklei, fig. 10.

Alle proeven en berekeningen tonen aan dat de schuifweerstand waarover wordt beschikt langs weinig hellende glijdvlakken in loopkleien zeer begrensd zijn, en overeenstemmen met een schijnbare wrijvingshoek van de orde van 10° langs het glijdvlak.

Het zacht hellend vlak stemt niet overeen met de kritieke vlakjes waar τ : σ' maximum is, doch welke kinematisch niet mogelijk zijn. Zodra echter langs

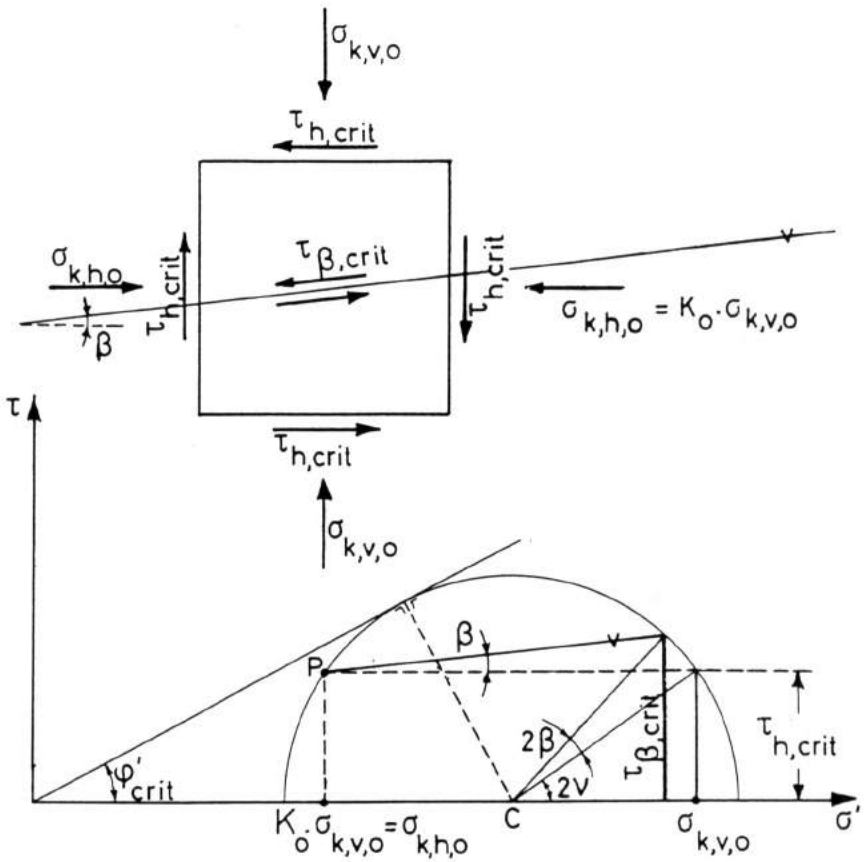


Fig. 9. — Scholvorming langs een vlak nagenoeg evenwijdig met het grondoppervlak. Bron : GUNNAR AAS 1981.

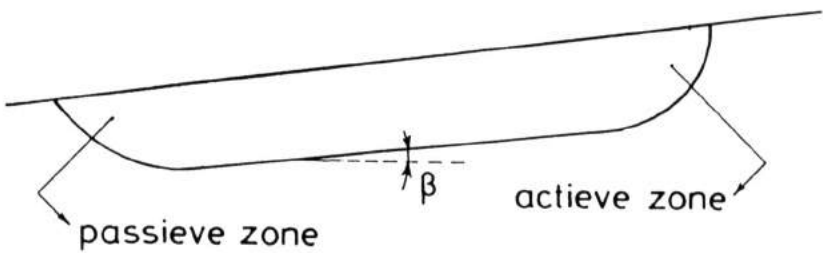


Fig. 10. — Aktieve en passieve zones.

deze kritieke vlakjes de grenstoestand wordt bereikt, ontstaan zeer vlug overspanningen in het poriënwater waardoor een kritieke toestand ook in de andere vlakjes ontstaat, waardoor continue verschuiving mogelijk wordt.

Deze vervloeiing ontstaat bij $\sin\phi'_{\text{crit}} \approx 0,42$ à $0,46$, en dit is naar ons oordeel de werkelijke schuifweerstandshoek van het nagenoeg ongeschonden skelet.

5. Benadering van het probleem door beschouwing van de waterspanningen

In de benaderingen uit de literatuur wordt ons inziens niet genoeg de nadruk op de invloed van de waterspanningen gelegd, en dit zowel bij de verklaring van het ontstaan van een eerste glijding, als bij het erna volgende voortschrijden ervan tot een veel uitgestrekter gebied.

In het NGI laat men voor bepaalde afschuivingen opmerken, dat men na de glijding geen overdrukken in het poriënwater heeft opgemeten, en dat dus de afschuiving in gedraineerde toestand heeft plaatsgevonden, en derhalve de gedraineerde schuifweerstandsparementers bepalend zijn.

Het is echter zeer goed mogelijk dat ook in een meer doorlatende insluiting zich een wateroverspanning voordoet, die onmiddellijk verdwijnt zodra de beweging van de erboven gelegen massa begint, doch dan vervangen wordt door wateroverspanningen welke aan de verkneding van de klei zelf toe te schrijven zijn.

Het zijn alsdan deze «artesische» waterdrukken, welke bij afwezigheid van ogenschijnlijk uitwendige oorzaken, voor het in gang schieten van de glijding verantwoordelijk zijn.

1°) Zij een loopkleimassief met een oppervlak met helling β , en zij een potentieel glijdvlak evenwijdig met dit oppervlak (fig. 11). Laten we veronderstellen dat het freatisch oppervlak en elk punt samenvalt met het maaiveld. Men heeft alsdan een stroming evenwijdig met het grondoppervlak. Als het talud oneindig lang is, is elke verticale doorsnede een symmetrie doorsnede, en de krachten W en E_o op deze doorsneden zijn dan overal dezelfde. Wordt een massief ABCD beschouwd, zo heerst op het potentieel glijdvlak BD, een tangentiële kracht T :

$$T = G_n \sin \beta = \gamma_n h l \cos \beta \sin \beta \quad (13)$$

en dus een schuifspanning :

$$\tau_o = \gamma_n h \cos \beta \sin \beta \quad (14)$$

Op BD heerst een normale kracht N :

$$N = G_n \cos \beta = \gamma_n h l \cos^2 \beta \quad (15)$$

Daarvan wordt opgenomen door het water :

$$W_{BD} = \delta_w h l \cos^2 \beta \quad (16)$$

Er blijft voor de vaste fase een reactiekracht N_k over :

$$N_k = N - W_{BD} = (\gamma_n - \delta_w)hl \cos^2 \beta \quad (17)$$

waaruit :

$$\sigma_{k,o} = (\gamma_n - \delta_w)h \cos^2 \beta \quad (18)$$

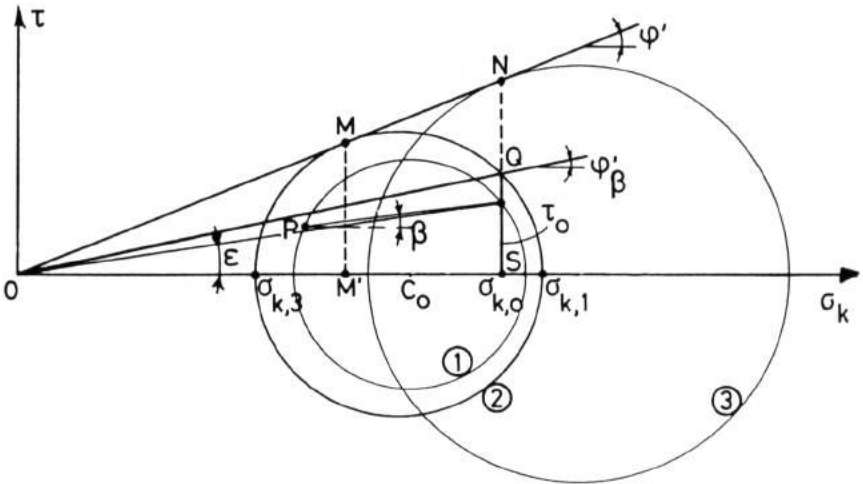
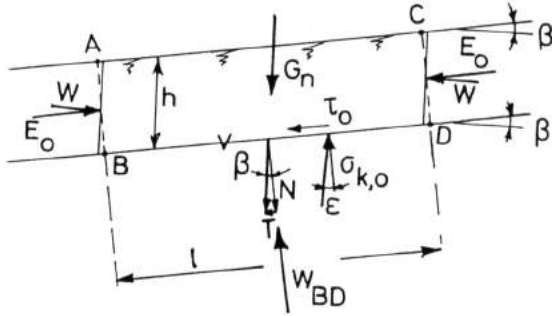


Fig. 11. — Glijding ten gevolge van «artesische» waterdrukken.

Aangezien de klei wordt verondersteld een materiaal te zijn met $c' = 0$ en met een wrijvingshoek φ' , zo eist het evenwicht dat :

$$\tau_o \leq \sigma_{k,o} \operatorname{tg} \varphi' \quad \text{of} \quad (19)$$

$$\gamma_n h \cos \beta \sin \beta \leq (\gamma_n - \delta_w) h \cos^2 \varphi' \quad \text{of}$$

$$\operatorname{tg} \beta \leq \frac{\gamma_n - \delta_w}{\gamma_n} \operatorname{tg} \varphi' \quad (20)$$

De korrelspanning maakt met de normale op BD een hoek ε gegeven door

$$\operatorname{tg} \varepsilon = \frac{\gamma_n}{\gamma_n - \delta_w} \operatorname{tg} \beta \quad (21)$$

De hoek φ' is een wrijvingshoek kenmerkend voor het oorspronkelijk skelet, dus vóór het ontstaan van de grote vervormingen welke het skelet grondig wijzigen.

De Noorse proeven geven voor φ' een waarde van circa : $\varphi' = 22^\circ$ of $\operatorname{tg} \varphi' = 0,404$.

Het volumegewicht van de Noorse kleien is $\gamma_n = 18,5 \text{ kN/m}^3$ en derhalve $\gamma_k = \gamma_n - \delta_w = 8,5 \text{ kN/m}^3$.

Om het evenwicht te verzekeren, dient de hellingshoek β dus kleiner te zijn dan

$$\operatorname{tg} \beta < \frac{8,5}{18,5} \operatorname{tg} \varphi'$$

$$\operatorname{tg} \beta < 0,186$$

$$\beta < 10^\circ 31'$$

Waar men bij afwezigheid van stromingsdrukken een terreinoppervlak met $\beta = 22^\circ$ zou kunnen hebben, wordt dit wegens de stromingsdrukken tot de waarde $\beta = 10^\circ 31'$ gereduceerd.

Wel hebben we het geval beschouwd, dat het freatisch oppervlak overal samenvalt met het maaiveld. Ligt het in werkelijkheid lager, zo heeft men een gunstiger toestand. Zijn de waterdrukken artesisch en ligt de piëzometrische stijghoogte hoger, zo heeft men echter een ongunstiger toestand.

In elk geval blijkt uit het verkregen resultaat, dat men voor lange glooiingen in de Noorse kleien in aanwezigheid van water geen natuurlijke hellingen veel groter dan 10° moet verwachten.

2°) Laten we thans veronderstellen dat men een helling β heeft die aan de evenwichtsvoorwaarden voldoet, en waarop thans bijkomende storende krachten worden aangelegd, zodanig dat in het beschouwde punt langs het meest ongunstige vlakje een spanning bestaat waarvan het voorstellende punt M in de cirkel (2) van Mohr der figuur 11 op de intrinsieke rechte φ' is gelegen. Deze meest ongunstige vlakjes vormen echter geen kinematisch mogelijke breuklijn ; bij veronderstelling is de glijding enkel langs de lijn BD der figuur kinematisch mogelijk.

In normale gronden zou alsdan het voorstellende punt van de uiterste schuifspanning op het vlakje evenwijdig met BD in N moeten liggen [cirkel (3) — fig. 11].

In looppkleien moet men integendeel onderscheid maken enerzijds tussen een belastingstoestand welke zeer langzaam werd opgebouwd en waarbij de cirkel (3) zou kunnen worden bereikt, en anderzijds een belastingstoestand waarbij een vermeerdering van de deviatorische spanningstoestand in een beperkte tijdspanne wordt verwekt. Wanneer betrekkelijk snel van de toestand van cirkel (1) naar deze van cirkel (2) wordt overgegaan, zal wegens het bereiken van de kritische spanningstoestand in het glijdvlakje, voorgesteld door het punt M, een vervloeiing ontstaan, zodat automatisch aan de kinematische voorwaarden wordt voldaan, en een algemene afschuiving wel mogelijk wordt. De gevolgtrekking is, dat bij betrekkelijk snelle belastingswijzigingen het volstaat dat langs het glijdvlak BD (fig. 11), de schuifspanning de waarde SQ aanneemt, opdat vervloeiing en algehele afschuiving zou ontstaan.

Zij φ'_β de hoek QOS. Men heeft :

$$\sigma_{k,0} \cdot \operatorname{tg} \varphi'_\beta = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{k,1} - \sigma_{k,3}}{2}\right)^2 - \left(\sigma_{k,0} - \frac{\sigma_{k,1} + \sigma_{k,3}}{2}\right)^2} \quad (22)$$

$$\text{met } \frac{\sigma_{k,1} - \sigma_{k,3}}{2} = \frac{\sigma_{k,1} + \sigma_{k,3}}{2} \sin \varphi'$$

$$\sigma_{k,0} \cdot \operatorname{tg} \varphi'_\beta = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{k,1} + \sigma_{k,3}}{2}\right)^2 \sin^2 \varphi' - \left(\sigma_{k,0} - \frac{\sigma_{k,1} + \sigma_{k,3}}{2}\right)^2} \quad (22)$$

$$\sigma_{k,0}^2 \operatorname{tg}^2 \varphi'_\beta = \left(\frac{\sigma_{k,1} + \sigma_{k,3}}{2}\right)^2 \sin^2 \varphi' - \sigma_{k,0}^2 + 2\sigma_{k,0} \cdot \frac{\sigma_{k,1} + \sigma_{k,3}}{2} + \left(\frac{\sigma_{k,1} + \sigma_{k,3}}{2}\right)^2$$

$$\left(\frac{\sigma_{k,1} + \sigma_{k,3}}{2}\right)^2 (1 - \sin^2 \varphi') - 2\sigma_{k,0} \frac{\sigma_{k,1} + \sigma_{k,3}}{2} - \sigma_{k,0}^2 (1 + \operatorname{tg}^2 \varphi'_\beta) = 0$$

$$\frac{\sigma_{k,1} + \sigma_{k,3}}{2} = \frac{2\sigma_{k,0}}{2(1 - \sin^2 \varphi')} \pm \frac{\sqrt{4\sigma_{k,0}^2 - 4(1 - \sin^2 \varphi')(1 + \operatorname{tg}^2 \varphi'_\beta)\sigma_{k,0}^2}}{2(1 - \sin^2 \varphi')}$$

$$\frac{\sigma_{k,1} + \sigma_{k,3}}{2} = \frac{\sigma_{k,0}}{1 - \sin^2 \varphi'} [1 \pm \sqrt{1 - (1 - \sin^2 \varphi')(1 + \operatorname{tg}^2 \varphi'_\beta)}]$$

Uit de proefondervindelijke gegevens van het NGI blijkt, dat men dicht bij de werkelijkheid is, door te stellen

$$\operatorname{tg} \varphi'_\beta \approx \frac{1}{2} \operatorname{tg} \varphi' \quad (23)$$

Hieruit volgt :

$$\frac{\sigma_{k,1} + \sigma_{k,3}}{2} = \frac{\sigma_{k,0}}{1 - \sin^2\varphi'} \times \left[1 \pm \sqrt{1 - (1 - \sin^2\varphi') \left(\frac{1 + \text{tg}^2\varphi'}{4} \right)} \right]$$

$$\text{Stel } A = 1 - \sqrt{1 - (1 - \sin^2\varphi') \left(\frac{1 + \text{tg}^2\varphi'}{4} \right)}$$

$$\sigma_{k,1} + \sigma_{k,3} = 2 \frac{\sigma_{k,0}}{1 - \sin^2\varphi'} A$$

$$\sigma_{k,1} - \sigma_{k,3} = 2 \frac{\sigma_{k,0}}{1 - \sin^2\varphi'} A \sin \varphi'$$

dus :

$$\tau_{\text{crit}} = MM' = \frac{\sigma_{k,1} - \sigma_{k,3}}{2} \cos \varphi'$$

of

$$\tau_{\text{crit}} = \frac{\sigma_{k,0}}{1 - \sin^2\varphi'} A \sin \varphi \cos \varphi' \quad (24)$$

3°) Evenwichtproblemen

a) Verdwijnen van de afwaartse steundrukken

Laten we veronderstellen dat het massief ABCD der figuur 11-1 in evenwicht was, doch dat in een korte tijdsspanne grond en water links van de doorsnede AB verdwijnen, zodat de reacties op AB nul worden (fig. 12).

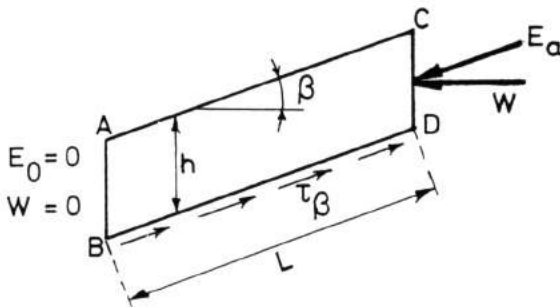


Fig. 12. — Verdwijnen van de afwaartse steundrukken.

In een loopklei zal men dan afschuiving krijgen wanneer de schuifspanningen langs BD de waarde $\tau_{\beta, \text{crit}}$ bereiken :

$$\tau_{\beta, \text{crit}} \cdot L = E_a + W + \gamma_n h L \cos \beta \sin \beta \quad (25)$$

In de doorsnede CD gaat men van de neutrale gronddruk E_o naar de actieve gronddruk E_a .

Men heeft :

$$0,2020 \cdot \gamma_k h L \cos^2 \beta = \lambda_a \gamma_k \frac{h^2}{2} + \delta_w \frac{h^2}{2} + \gamma_n h L \cos \beta \sin \beta \quad (26)$$

dus :

$$L (0,2020 \gamma_k \cos \beta - \gamma_n \sin \beta) = \frac{h}{2 \cos \beta} \left[\gamma_k \text{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi'}{2} \right) + \delta_w \right] \quad (27)$$

Bij zeer langzame spanningswijzigingen kan een talud in een loopklei nog in metastabiel evenwicht zijn tot een hellingshoek :

$$\gamma_n h \cos \beta_{\text{max}} \sin \beta_{\text{max}} = (\gamma_n - \delta_w) h \cos^2 \beta_{\text{max}} \text{tg} \varphi'$$

$$\text{tg} \beta_{\text{max}} = \frac{\gamma_n - \delta_w}{\gamma_n} \text{tg} \varphi' \quad (28)$$

$$\text{tg} \beta_{\text{max}} = \frac{8,5}{1,85} \times 0,404 = 0,186$$

dit is bij :

$$\beta_{\text{max}} = 10^\circ 31'$$

Bij de minste relatief snel bijkomende kracht, heeft men alsdan vervloeiing. Opdat enige betrekkelijk snel opgebrachte bijkomende kracht zou kunnen worden opgenomen, moet men hebben :

$$\gamma_n h \cos \beta_{\text{crit}} \sin \beta_{\text{crit}} \leq (\gamma_n - \delta_w) h \cos^2 \beta_{\text{crit}} \text{tg} \varphi'_\beta \quad (29)$$

$$\text{tg} \beta_{\text{crit}} \leq \frac{\gamma_n - \delta_w}{\gamma_n} \cdot \frac{\text{tg} \varphi'}{2}$$

$$\text{tg} \beta_{\text{crit}} \leq 0,2020 \frac{\gamma_k}{\gamma_n}$$

$$\text{tg} \beta_{\text{crit}} \leq 0,2020 \frac{8,5}{18,5} = 0,0928$$

$$\text{dit is bij : } \beta_{\text{crit}} \leq 5^\circ 18' \quad (30)$$

Aangezien in het reeds lange verleden de loopkleien zeker reeds aan betrekkelijk snelle spanningswijzigingen onderworpen zijn geweest, moet men verwachten dat de hellingen van het natuurlijke grondoppervlak ter plaatse van loopkleien de waarde van 10% niet overschrijden.

De variatie van $\frac{L}{h}$ in functie van β is voor een praktisch voorbeeld op figuur 13 aangegeven.

Voor zeer kleine waarden van β is de verhouding $\frac{L}{h}$ vrij beperkt. Het is waarschijnlijk dat alsdan schelpvormige afschuivingen een meer realistisch beeld zullen geven, daar men zich vlak bij het storingsfront (St-Venant-effect) bevindt.

b) Oplopen van de poriënwaterdrukken in het opwaarts gedeelte.

De scholpvormige afschuiving te Rissa heeft zich voorgedaan wanneer de schelpvormige afschuivingen reeds ver opwaarts waren voortgeschreden. In de beschrijving spreekt men van een steilhang met een hoogte van 5 à 10 m. Op het ogenblik dat een schelpvormige glijding ontstaat, kan men aannemen dat aldaar praktisch het gehele gewicht tijdelijk door het water wordt gedragen. Men krijgt dus een piëzometrische stijghoogte, ter plaatse van de steilhang van 10 m, van

$$\sigma_w = \gamma_n \times h_{\text{schelp}} = 18,5 \times 10 = 185 \text{ kN/m}^2 \quad (31)$$

en aannemend dat het oorspronkelijk waterpeil samenvalt met het maaiveld, krijgt men hieruit een overdruk

$$u = (\gamma_n - \delta_w) h_{\text{schelp}} = 85 \text{ kN/m}^2 \quad (32)$$

In de beschrijving staat dat zich in de loopklei siltlaagjes bevinden, en bovendien dat de waterstanden in het rotssubstraat artesisch zijn. Het is dus niet uitgesloten dat het water in de siltlagen tengevolge van de schelpvormige afschuivingen kortstondig onder druk is gekomen, zodat de siltlaagjes als een hydraulische vijzel hebben gewerkt.

Men kan thans berekenen welke overdruk u nodig is, om in de loopklei een afschuiving te veroorzaken (fig. 14). Als u voldoende klein is t.o.v. $\sigma_{k,0}$ kan men, met een voldoende benadering schrijven (zie fig. 14) :

$$0,2020 \left(\gamma_k \cdot h \cdot \cos^2 \beta - \frac{u}{2} \right) L + E_p = E_a + \gamma_n h L \cos \beta \sin \beta \quad (33)$$

Hierbij is verondersteld dat de overdruk « u » lineair varieert over de afstand L .

In uitdrukking werd de passieve gronddruk E_p ingevoerd. Doch in geval van loopklei zou vervloeiing reeds zijn ingetreden vooraleer E_p bereikt is.

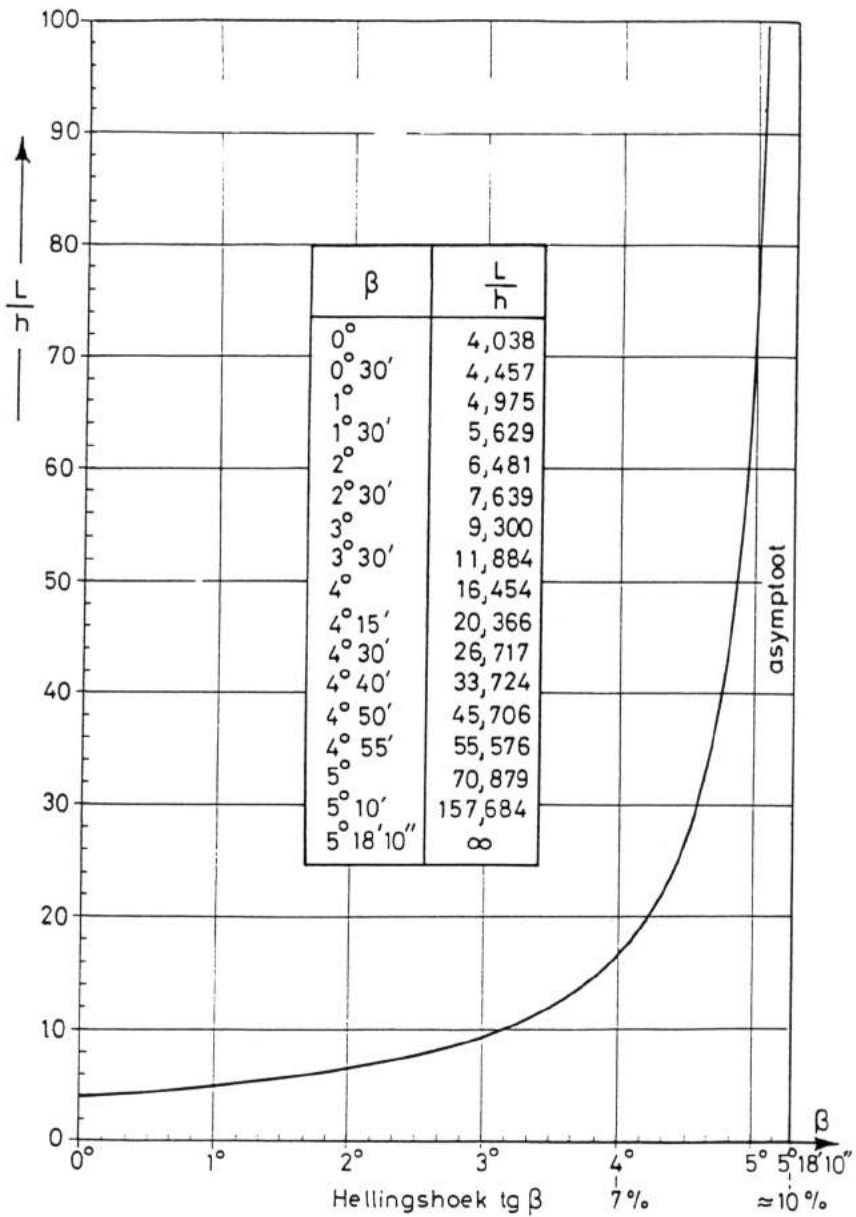


Fig. 13. — Variatie van $\frac{L}{h}$ in functie van β .

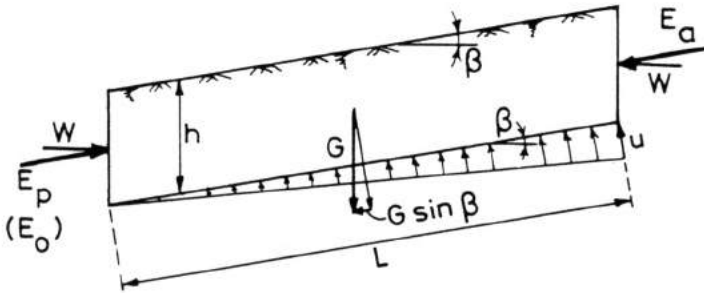


Fig. 14. — Berekening van de overdruk.

Daarom zal afwaarts enkel op de steundruk E_o worden gerekend. Mede uit de figuur 14 kan worden afgeleid :

$$E_o - E_a = \left[\gamma_n h \cos \beta \sin \beta + -0,2020 \left(\gamma_k h \cos^2 \beta - \frac{u}{2} \right) \right] L \quad (34)$$

$$L = \frac{E_o - E_a}{0,2020 \frac{u}{2} - (0,2020 \gamma_k \cos \beta - \gamma_n \sin \beta) h \cos \beta}$$

met

$$E_o - E_a = \left(1 - \sin \varphi' - \frac{1 - \sin \varphi'}{1 + \sin \varphi'} \right) \gamma_k \frac{h^2}{2}$$

of

$$E_o - E_a = \frac{1 \sin \varphi' - 1 + \sin \varphi'}{1 + \sin \varphi'} \gamma_k \frac{h^2}{2}$$

of

$$E_o - E_a = \sin \Phi' \cdot \frac{1 - \sin \varphi'}{1 + \sin \varphi'} \gamma_k \frac{h^2}{2}$$

zo wordt :

$$L = \frac{\sin \varphi' \frac{1 - \sin \varphi'}{1 + \sin \varphi'} \cdot \gamma_k \frac{h^2}{2}}{0,2020 \frac{u}{2} - (0,2020 \gamma_k \cos \beta - \gamma_n \sin \beta) h \cos \beta}$$

of

$$L = \frac{0,724 h^2}{0,101 u - (1,717 \cos \beta - 18,5 \sin \beta) h \cos \beta} \quad (35)$$

Met $u = \delta_w \cdot \Delta h$ kan dit worden omgevormd tot :

$$L = \frac{0,724 h}{0,101 \delta_w \cdot \frac{\Delta h}{h} - (1,717 \cos \beta - 18,5 \sin \beta) \cos \beta} \quad (36)$$

Aan de hand van de betrekking (36) kan men thans nagaan welke overdrukhoogte Δh nodig is, om bij een gegeven hellingshoek β scholvormige afschuivingen

$\left(\frac{L}{h} = \infty\right)$ te veroorzaken.

Dit zal het geval zijn wanneer :

$$1,01 \cdot \frac{\Delta h}{h} - (1,717 \cos \beta - 18,5 \sin \beta) \cos \beta = 0 \quad (37)$$

met $\cos \beta \approx 1$ ($\beta \leq 5^\circ 18'$), wordt deze voorwaarde herleid

$$\sin \beta = \frac{1,717 - 1,01 \frac{\Delta h}{h}}{18,5} \quad (38)$$

Aangezien alleen het geval van afschuiving en niet dit van oppersing wordt beschouwd, komen waarden van $\frac{\Delta h}{h} > 85$

niet in aanmerking. Daarenboven kan de hellingshoek β zelf evenmin groter dan $\beta = 5^\circ 18'$ worden. Derhalve kan de betrekking (37) alleen gelden tussen de grenzen van de hellingshoek β , die voldoen aan

$$\beta_{\max} < 5^\circ 18' \text{ en } \beta_{\min} = 2^\circ 40' \text{ overeenkomend met } \frac{\Delta h}{h} = 0,85.$$

Deze waarden voor β in functie van $\frac{\Delta h}{h}$, binnen het beschouwde interval voor β , zijn in de tabel van de figuur 15 aangegeven.

6. Remedies

De remedies tegen landvallen kunnen in 2 categorieën worden ondergebracht :

a) Voorkomen van de primaire oorzaken : het vermijden van plaatselijke afschuivingen afwaarts tengevolge van erosie ; vermijden van het aanleggen van ophogingen ; vermijden van het inheien of intrillen van palen ; vermijden van zware trillingen, bominslagen, etc.

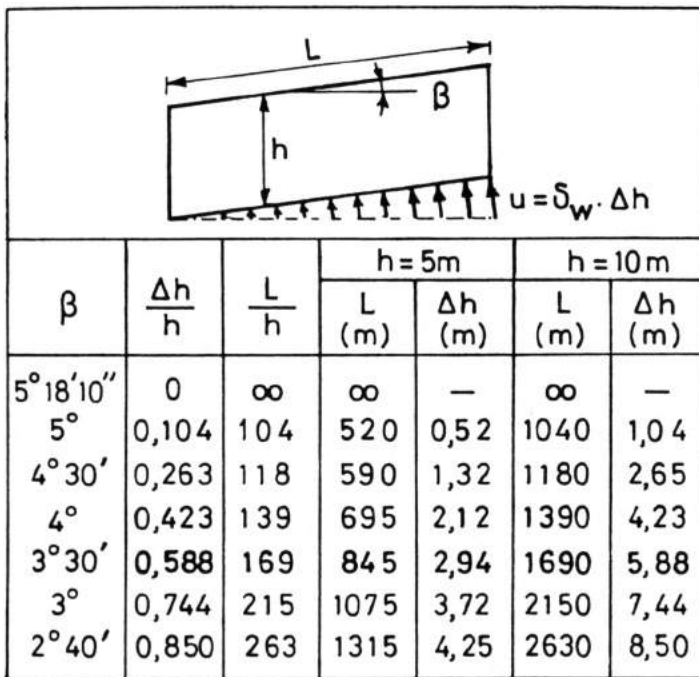


Fig. 15. — Waarden voor β in functie van $\frac{\Delta h}{h}$.

b) De toestand «loopklei» is toe te schrijven aan het zoutgehalte, dat ofwel door uitloging is ontstaan, ofwel reeds aanwezig was bij de vorming van de kleilaag met afwezigheid van organische stoffen.

Door het inbrengen van zouten in de klei kan men een meer stabiele toestand verkrijgen. Bijzonder tweewaardige ionen verbeteren in hoge mate de schuifweerstand. Het inbrengen van het zout vereist echter kostbare bewerkingen en de vraag kan worden gesteld met welke snelheid het ingebrachte zout weder zal worden uitgeloozd. Hoewel theoretisch dus bruikbaar, is de aanrijking met zout om economische redenen meestal niet haalbaar. Bij afwezigheid van afdoende maatregelen, blijft dan de noodzaak van een regelmatige en automatische controle, waarbij bij ingaande afschuiving alarm wordt geslagen, en de betrokkenen de weinige tijd die beschikbaar is, kunnen benutten om te snellen naar plaatsen, welke vooraf als veilig werden aangewezen.

BIBLIOGRAFIE

- AAS, G. 1981. Stability of natural slopes in quick clays. — Proc. 10th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng. (Stockholm, 1981).
- ANDRESEN, A. & BJERRUM, L. 1968. Slides in subaqueous slopes in loose sand and silt. — Publication Norwegian Geotechnical Institute, Oslo.
- BERNANDER, S. 1981. Active earth pressure build-up. A trigger mechanism in large landslides in sensitive (quick) clays. — University of Lulea, Technical Report, 49 T, 20 July, 1981.
- BERNANDER, S. & OLOFSSON, I. 1981. The landslide at Tuve, November 1977. — University of Lulea, Technical Report, 48 T, 12 June, 1981.
- BERNANDER, S. & SVENSK, I. 1982. On the brittleness of soft clays. — Skanska Cementgjuteriet, Gothenburg, Preliminary Report, 16 February 1982.
- BERRE, T., SCHJETNE, K. & SOLLIE, S. 1969. Sampling disturbance of soft marine clays. — Proc. 7th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng. (Mexico, 1969).
- BERRY, R. W. & JORGENSEN, P. 1971. Grain size, mineralogy and chemistry of a quick clay sample from the Ullensaker slide, Norway. — Publication Norwegian Geotechnical Institute, Oslo.
- BJERRUM, L., LOKEN, T., HEIBERG, S. & FOSTER, R. 1969. A field study of factors responsible for quick clay slides. — Proc. 7th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng. (Mexico, 1969).
- BJERRUM, L. 1969. Effect of raft of strain on undrained shear strength of soft clays. — Proc. 7th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng. (Mexico, 1969).
- BJERRUM, L. 1969. Fifty years of soil mechanics. — Proc. 7th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng. (Mexico, 1969).
- BJERRUM, L. 1969. Principles of stability calculations. — Proc. 7th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng. (Mexico, 1969).
- BJERRUM, L., JOHANNESSEN, I. J. & EIDE, O. 1969. Reduction of negative skin friction on steel piles to rock. — Proc. 7th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng. (Mexico, 1969).
- BJERRUM, L. 1969. Weathering of marine clays in temperate climates. — Proc. 7th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng. (Mexico, 1969).
- BJERRUM, L. & ANDERSEN, K. H. 1972. *In-situ* measurement of lateral pressures in clay. — Proc. 5th European Conf. on Soil Mech. and Found. Eng. (Madrid, 1972).
- BJERRUM, L. 1974. Geotechnical problems involved in foundation of structures in the North Sea. — Publication Norwegian Geotechnical Institute, Oslo.
- BJERRUM, L. 1974. Problems of soil mechanics and construction on soft clay. — Publication Norwegian Geotechnical Institute, Oslo.
- CHANG, J. C. E. 1981. Long term consolidation beneath the test fills at Vasby, Sweden. — Swedish Geotechnical Institute, Rapport 13.
- CHRISTIAN, J. T. & WHITMAN, R. V. 1969. A one-dimensional model for progressive failure. — Proc. 7th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng. (Mexico, 1969).
- DE BEER, E. & VAN IMPE, W. F. 1984. Landvallen in loopkleien. — T.O.W.B., nr. 1 & nr. 3.
- EDEN, W. J. & LAW, K. T. 1980. Comparison of undrained shear strength results obtained by different test methods in soft clays. — *Canadian Geotechnical Journal*, 17 (3).

- EIDE, O. & BJERRUM, L. 1955. The slide at Bekkelaget. — Publication Norwegian Geotechnical Institute, Oslo.
- EIDE, O. 1974. Biography of Laurits Bjerrum. — Publication Norwegian Geotechnical Institute, Oslo.
- FOSS, I. 1969. Secondary settlements of buildings in Drammen, Norway. — Proc. 7th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng. (Mexico, 1969).
- GREGERSEN, O. & LOKEN, T. 1979. The quick-clay slide at Baastad, Norway, 1974. — Publication Norwegian Geotechnical Institute, Oslo.
- GREGERSEN, O. 1981. The quick clay landslide in Rissa, Norway. Publication Norwegian Geotechnical Institute, Oslo.
- HANSTEEN, O. E., DIBIAGIO, E. & ANDERSEN, K. H. 1981. Performance of the brent B off-shore platform. — Proc. 10th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng. (Stockholm, 1981).
- HOLMSEN, P. 1953. Landslips in Norwegian quick-clays. — Publication Norwegian Geotechnical Institute, Oslo.
- HURTUBISE, J. E. & ROCHETTE, P. A. 1956. The Nicolet slide. — Proceedings of the Canadian Good Roads Association, *Technical Memorandum*, 48.
- HUTCHINSON, J. N. 1961. A landslide on a thin layer of quick clay at Furre, Central Norway. — Publication Norwegian Geotechnical Institute, Oslo.
- HUTCHINSON, J. N. & ROLFSEN, E. N. 1962. Large scale field shear box tests on quick clay. — *Geologie und Bauwesen*, 28 (1).
- HUTCHINSON, J. N. 1965. The landslide of February 1959, at Vibstad in Namdalen. — Publication Norwegian Geotechnical Institute, Oslo.
- JAKOBSON, B. 1952. The landslide at Surte on the Göta River. — Royal Swedish Geotechnical Institute, Proceedings nr. 5 (29 September 1952).
- KENNEY, T. C. 1965. Sea-level movements and the geologic histories of the post-glacial marine soils at Boston, Nicolet, Ottawa and Oslo. — Publication Norwegian Geotechnical Institute, Oslo.
- KJAERNSLI, B. & SANDE, A. 1973. New waterproofing technique for Norwegian Dam. — Publication Norwegian Geotechnical Institute, Oslo.
- LACASSE, S., JAMIOLKOWSKI, M., LANCELOTTA, R. & LUNNE, T. 1981. *In situ* characteristics of two Norwegian clays. — Proc. 10th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng. (Stockholm, 1981).
- LADD, C. C. & FOOTT, R. 1974. New design procedure for stability of soft clays. — Proc. ASCE American Soc. Civil Eng. (July 1974) *Journal of the Geotechnical Engineering Division*.
- LAW, K. T. & EDEN, W. J. 1980. Influence of cutting shoe size in self-boring pressuremeter tests in sensitive clays. — *Canadian Geotechnical Journal*, 17.
- LEFEBVRE, G. & LA ROCHELLE, P. 1974. The analysis of two slope-failure in cemented champlain clays. — *Canadian Geotechnical Journal*, 11.
- LOKEN, T. 1971. Recent research at the Norwegian Geotechnical Institute concerning the influence of chemical additions on quick clay. — Publication Norwegian Geotechnical Institute, Oslo.
- LUNNE, T., EIDE, O. & DE RUITER, J. 1976. Correlations between cone resistance and vane shear strength in some Scandinavian soft to medium stiff clays. — *Canadian Geotechnical Journal*, 13.

- LUNNE, T. & ST. JOHN, H. D. 1979. The use of cone penetrometer tests to compute penetration resistance of steel skirts underneath North Sea gravity platforms. — Publication Norwegian Geotechnical Institute, Oslo.
- ROSENQVIST, I. Th. 1953. Considerations on the sensitivity of Norwegian quick-clays. — Publication Norwegian Geotechnical Institute, Oslo.
- ROSENQVIST, I. Th. 1955. Investigations in the clay-electrolyte water system. — Publication Norwegian Geotechnical Institute, Oslo.
- SOYDEMIR, C. & KJAERNSLI, B. 1973. Deformations of membrane-faced rockfill dams. — Publication Norwegian Geotechnical Institute, Oslo.
- STROM, L. & OISETH, U. 1974. Bibliography of papers by Laurits Bjerrum. — Publication Norwegian Geotechnical Institute, Oslo.
- TERZAGHI, K. 1950. Mechanism of landslides. — The Geological Society of America, Engineering Geology (Berkly) Volume, November 1950.
- TORSTENSSON, B. A. 1982. The landslide at Tuve. — *Ground Engineering*, 15 (2), March 1982.
- VAN IMPE, W. F. & DE BEER, E. 1984. A contribution to the analysis of landslides in quick clays. — Proc. 4th Int. Symposium on Landslides, Vol. 2 (Toronto, 1984).

DISCUSSIE

R. Paepe. — De vraag wordt gesteld waarom deze loopkleien precies in een periode na 1973 optreden waarbij op wereldschaal «landverschuivingen» (= terreinverschuivingen) worden vastgesteld? Heeft dit te maken met een geologische cycliciteit zoals de tektoniek of de cyclische verhoging van CO_2 in de atmosfeer die de pH van de loopkleien kan beïnvloeden?

W. Van Impe. — De landvallen in loopkleien zijn voorzeker niet enkel na 1973 te situeren. In het schadegeval te Rissan, waarover ik heb gesproken, is de oorzaak van de landval een duidelijk menselijk ingrijpen geweest. Ik meen te mogen stellen dat dit in de meeste andere belangrijke landvallen in loopkleien ook het geval was. Dat de schuifweerstandskarakteristieken van de loopkleien, door het uitloggen van de kationen, achteruit gaan is bekend en werd ook hier toegelicht. Dergelijke uitloging is alvast het gevolg van atmosferische omstandigheden. Het is derhalve zeker niet *a priori* uit te sluiten dat het «verzuren» van de regenneerslag ook een invloed op dit uitlogingsgedrag heeft. Daarover zijn evenwel geen gegevens voorhanden. Dat men de geologische cycliciteit van de tektoniek in verband kan brengen met deze «landvallen op wereldschaal» mogen we sterk betwijfelen. Het gaat inderdaad in de geschetste landvallen na 1973 telkens om duidelijke menselijke ingrepen die aan de basis van het schadegeval lagen. Daarenboven meen ik dat de geologische tijdschaal inzake de variaties van tektoniek van een dergelijke grootte-orde is dat vooralsnog veel te weinig goed gedocumenteerde gegevens voorhanden zijn om dergelijke geologische cycli met de periodiciteit van deze landvallen in verband te brengen.

Kwaliteit en houdbaarheid van tropische garnalen (*Penaeus* spp.) *

door

J. DEBEVERE **

TREFWOORDEN. — Conservering ; Gamma-irradiatie ; Levensmiddelen ; *Penaeus*.

SAMENVATTING. — *Penaeus* spp. zijn sterk onderhevig aan microbiologisch bederf en kunnen occasioneel besmet zijn met pathogene kiemen. Wegens de relatief hoge initiële contaminatiegraad enerzijds en het hoge gehalte aan niet-eiwit stikstof-bestanddelen anderzijds, zijn *Penaeus* spp. uiterst snel bederfbaar. Lage kiemgetallen en afwezigheid van pathogene kiemen kunnen worden bekomen door het volgen van «Good Manufacturing Practice» (GMP) en het respecteren van de regels voor hygiëne. Het totaal kiemgetal kan worden gereduceerd en de pathogene kiemen kunnen worden vernietigd door gamma-irradiatie hetgeen eveneens een houdbaarheidsverlenging tot gevolg heeft. Tevens kan de houdbaarheid worden verlengd door combinatie van : (a) gamma-irradiatie met chemische conservering ; (b) gemodificeerde atmosfeerverpakking met minimale chemische conservering en (c) gemodificeerde atmosfeerverpakking met toevoeging van lysozyme.

RÉSUMÉ. — *Qualité et conservation de crevettes tropicales (Penaeus spp.)*. — *Penaeus* spp. sont très sensibles à la détérioration microbienne et sont contaminés occasionnellement avec des micro-organismes pathogènes. Par suite du degré relativement élevé de contamination microbienne initiale et de la concentration élevée en substances azotées non protéiques, les *Penaeus* spp. sont très vite détériorés. Des nombres totaux bas et l'absence des germes pathogènes peuvent être obtenus en suivant les principes du «Good Manufacturing Practice» (GMP) et en respectant les règles générales de l'hygiène. Une réduction du nombre total de germes et la destruction des germes pathogènes peuvent être réalisées par l'irradiation gamma ce qui entraîne une durée de conservation prolongée. En outre, la durée de conservation peut être augmentée par une combinaison : (a) de l'irradiation gamma avec la préservation chimique ; (b) de l'emballage sous atmosphère modifiée avec une préservation chimique minimale et (c) de l'emballage sous atmosphère modifiée avec addition de lysozyme.

* Mededeling voorgesteld tijdens de zitting van de Klasse voor Technische Wetenschappen van 22 november 1991.

** Geassocieerd lid van de Academie ; Laboratorium voor Technologie, Chemie en Mikrobiologie van de Levensmiddelen, Faculteit van de Landbouwwetenschappen, Universiteit Gent, Coupure Links 653, B-9000 Gent (België).

SUMMARY. — *Quality and preservation of tropical shrimps (Penaeus spp.).* — *Penaeus* spp. are extremely sensitive to microbiological spoilage and can be contaminated with pathogenic microorganisms. *Penaeus* spp. will spoil very quickly because of the high microbial contamination level on the one hand and the high concentration of non-protein nitrogen compounds on the other. Low total counts of bacteria and absence of pathogens can be obtained by following «Good Manufacturing Practice» (GMP) and by respecting general rules of hygiene. The total count of bacteria can be reduced and pathogenic bacteria can be killed by gamma irradiation which also results in a longer shelf-life. Shelf-life can also be increased by combining : (a) gamma irradiation with chemical preservation ; (b) packaging under a modified atmosphere with a minimal chemical preservation and (c) packaging under a modified atmosphere with the addition of lysozyme.

1. Inleiding

Gedurende het laatste decennium is er een enorme ontwikkeling waar te nemen in de productie van schaaldieren afkomstig van tropische en subtropische gebieden.

De problematiek die optreedt i.v.m. kwaliteit en houdbaarheid van schaaldieren is vergelijkbaar met deze van vis. Immers, de intrinsieke, de extrinsieke en impliciete factoren die bepalend zijn voor de kwaliteit en de houdbaarheid van de schaaldieren lijken sterk op deze van vis. Het is algemeen bekend dat schaaldieren uiterst bederfbare produkten zijn en dit vooral wegens de aanwezigheid van hoge concentraties wateroplosbare niet-eiwit stikstofbestanddelen die snel langs biochemische en vooral microbiologische weg worden afgebroken tot sensorisch onaanvaardbare metabolieten. Schaaldieren bederven echter sneller dan vis omdat de concentratie aan niet-eiwit stikstofbestanddelen hoger is. Hierbij komt nog dat schaaldieren omwille van de diverse manuele behandelingen die ze ondergaan eveneens een hogere besmettingsgraad kunnen hebben en bestaat het risico voor besmetting met pathogene kiemen die aanleiding tot voedselinfecties en -intoxicaties kunnen geven.

Omwille van deze feiten enerzijds en aangezien anderzijds schaaldieren in het algemeen en in het bijzonder garnalen op grote schaal, in tropische en subtropische gebieden worden gevangen en gekweekt met bijzondere technologische en hygiënische problemen, zal in deze uiteenzetting vooral aandacht worden besteed aan de kwaliteitsbeheersing en houdbaarheid van deze garnalen.

2. Productie van garnalen

De wereldproductie van garnalen is gedurende de jongste jaren enorm gestegen (Tabel 1).

Tabel 1
Wereldproductie van garnalen (miljoen kg)

Jaar	Totale productie	Gevangen	Gekweekt
1983	1940	1800	140
1984	1900	1710	190
1985	2150	1900	250
1986	2250	1940	310
1987	2350	1970	380
1988	2530	2080	450
1989	2460	1900	560
1990	2500	1870	630

Bron : PECKHAM 1989.

In 1984 was er een totale productie van 1900 miljoen kg (levend gewicht) waarvan ca. 90% gevangen en ca. 10% gekweekt. In 1990 steeg deze productie tot 2500 miljoen kg waarvan ca. 75% gevangen en ca. 25% gekweekt. Dit betekent dat in absolute cijfers het aandeel van de gekweekte garnalen in 6 jaar tijd ca. 4 maal toegenomen is. De productie van gevangen garnalen heeft zijn maximum bereikt en aan de stijgende vraag naar garnalen als gevolg van de steeds aangroeiende wereldbevolking kan alleen nog worden voldaan door het kweken van garnaal.

Drie soorten domineren de wereldproductie van gekweekte garnaal : de *Penaeus monodon* of «black tiger» genoemd, die tot 45% van de jaarlijkse productie vertegenwoordigt, de *Penaeus chinensis* of Chinese witte garnaal die 20% uitmaakt en de *Penaeus vannamei* die 15% uitmaakt. Daarnaast zijn er nog een 20-tal species die de overige 20% van de wereldproductie uitmaken.

Volgens de voorspelling van «Globefish» (databank van de Verenigde Naties) voor het jaar 2000 zal er een productie zijn van gekweekte garnalen van 1000 miljoen kg per jaar waarvan 800 miljoen kg geproduceerd zullen worden in Azië en landen in de Stille Oceaan en 200 miljoen kg in Latijns-Amerika (HJUL 1989).

3. Markten

De belangrijkste markten zijn Japan, de Verenigde Staten en West-Europa die in 1990 samen ongeveer 1000 miljoen kg afgewerkt produkt verbruikten hetgeen 56% (berekend op levend gewicht) van de totale wereldproductie betekent (PECKHAM 1991). Tabel 2 illustreert de toename van de invoer van garnalen in de Verenigde Staten en Japan.

Tabel 2

Invoer van garnalen in de V.S. en Japan (1987-1989)
(in duizend ton afgewerkt produkt)

Herkomst	Japan			V.S.		
	1987	1988	1989	1987	1988	1989*
Indonesië	14,3	17,0	23,6	0,8	0,9	2,3
China	13,3	18,0	20,2	100,2	21,7	22,7
Thailand	4,9	8,5	18,9	5,7	4,6	8,6
Indië	17,6	14,4	15,1	6,6	7,0	7,3
Ecuador				20,2	23,3	18,1
Mexico	1,0	1,1	0,9	13,8	11,6	10,4
Filippijnen	5,2	8,9	10,2	1,3	1,3	2,6
Andere	44,5	47,3	40,5	33,7	31,9	32,7
Totaal	100,8	115,2	129,4	92,3	102,3	104,7

* : Gedeeltelijk geschat.

Bron : BRANSTETTER & PECKHAM 1989.

De importerende landen leggen strenge kwaliteitsnormen op. Vele eisen worden gesteld aan de microbiologische kwaliteit, waarvan de normen van land tot land verschillen en in sommige landen onrealistisch zijn.

In de meeste importerende landen dienen de garnalen verder te worden getransformeerd. Hier kunnen bijgevolg eveneens kwaliteits- en houdbaarheidsproblemen optreden die geheel of gedeeltelijk kunnen opgelost worden door : (a) het toepassen van de «Good Manufacturing Practice» (GMP) ; (b) het respecteren van de persoonlijke en algemene hygiëne (reiniging en desinfectie) en (c) het toepassen van verantwoorde bewaarstechnieken en dit zowel in de landen van herkomst als in deze van bestemming. Dit alles moet worden ondersteund door «Hazard Analysis of Critical Control Points» (HACCP).

4. Microbiële besmetting van garnalen

Zowel de kwantitatieve als kwalitatieve microbiële besmettingsgraad van garnalen zijn afhankelijk van de soort, habitat, seizoen en de behandelingen die ze na de vangst of oogst hebben ondergaan. In tegenstelling met de garnalen afkomstig uit koud water die gecontamineerd zijn met Gram-negatieve kiemen zoals *Pseudomonas* spp., *Acinetobacter* spp., *Moraxella* spp. en soms *Flavobacterium* spp. zijn de garnalen afkomstig uit warm water besmet met overwegend Gram-positieve kiemen nl. coryneformen en micrococcen (SAINCLIVIER 1983). Occasioneel kunnen garnalen besmet zijn met pathogene kiemen zoals *Staphylococcus aureus* (handbesmetting), *Escherichia coli* (faecale

besmetting), *Vibrio parahaemolyticus* (in zeewatergarnalen wegens de halotolerantie van de kiem), *Salmonella*, *Shigella* en *Clostridium botulinum* type E (DEBEVERE 1990).

Kwantitatieve analyses uitgevoerd op tropische gekookte gepelde en rauwe garnalen afkomstig uit Zuid-Oost Azië gedurende de periode 1978-1990 hebben aangetoond dat het totale kiemgetal varieert van 10^4 tot 10^7 /g voor de gekookte gepelde garnalen en van 10^5 tot 5.10^6 /g voor de rauwe garnalen (DEBEVERE, ongepubliceerde gegevens). De grotere spreiding in de microbiële belasting van de gekookte gepelde garnalen is in de eerste plaats het gevolg van de nabesmetting die onvermijdelijk plaatsgrijpt bij het pellen al of niet gecombineerd met een eventuele vermenigvuldiging door het niet respecteren van de koude keten. In de tweede plaats neemt de microbiële besmetting per gewichtseenheid toe naarmate de grootte van de garnalen afneemt voor een zelfde oppervlakte-besmetting van de garnalen en dit zowel voor de gekookte gepelde als voor de rauwe garnalen.

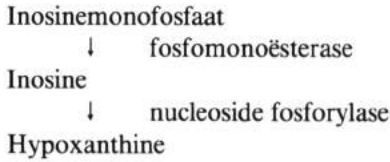
5. Bederf van tropische garnalen

Het mechanisme voor bederf van garnalen is vergelijkbaar met dit van vis doch de snelheid van bederf ligt veel hoger als gevolg van het hogere gehalte aan niet-eiwit stikstofbestanddelen en koolhydraten. Bovendien zal de werking van hoog-actieve proteolytische enzymen het gehalte aan vrije aminozuren nog verhogen. De niet-eiwit stikstof fractie bij garnaal bedraagt 20% van de totale stikstof fractie (BORGSTROM 1962) en vertegenwoordigt 3/5 van de totale hoeveelheid wateroplosbare stikstof fractie (SIMIDU 1961). De niet-eiwit stikstof fractie is samengesteld uit : (a) de meeste soorten vrije aminozuren ; (b) imidazole- en glyocaline-verbindingen (histidine en dipeptiden zoals carnosine en anserine) ; (c) guanidine-verbindingen (creatine en arginine) ; (d) trimethyl ammonium basen (trimethylamineoxyde en betaines) ; (e) vluchtige basen (ammonium, ureum, nucleotiden en complexen van nucleotiden) (JACQUOT 1961, SIMIDU 1961).

Het bederf van garnalen is vooral van bacteriologische aard. Een geringe bijdrage wordt geleverd door de biochemische omzettingen (autolytisch bederf) die vooral gedurende de *pre-rigor mortis* en de *rigor mortis* perioden plaats hebben. De belangrijkste autolytische reactie is de omzetting van het adenosine trifosfaat (ATP) volgens het volgende mechanisme :



Vervolgens wordt het IMP dat een aromaverbeteraar is langs microbiologische weg omgezet tot hypoxanthine :

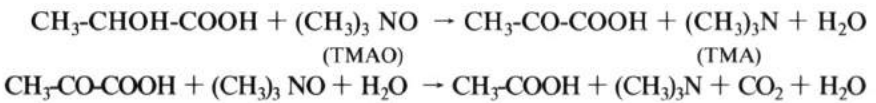


Deze afbraak resulteert in verminderd aroma en bittere smaak. Onderzoekingen uitgevoerd op *Penaeus merguensis* (RIAZ *et al.* 1981) hebben uitgewezen dat er een correlatie bestaat tussen de afname van IMP, de toename van hypoxanthine en de sensorische kwaliteit.

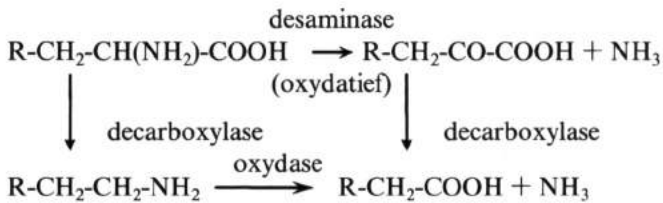
Zoals reeds eerder vermeld zullen proteolytische enzymen eiwitten afbreken tot aminozuren die vervolgens langs microbiologische weg worden afgebroken.

De belangrijkste microbiologische bederfprocessen kunnen als volgt worden samengevat (DEBEVERE 1990) :

a) Reductie van trimethylamineoxyde (TMAO) tot trimethylamine (TMA) :



b) Afbraak van aminozuren



De som van TMA, amines en ammoniak wordt de totale vluchtige basische stikstof (TVB) fractie genoemd die vaak als chemische indicator voor bederf wordt aangewend.

c) Afbraak van zwavelhoudende aminozuren.

Uit cysteine, cystine en methionine worden langs microbiologische weg via nog niet volledig bekende mechanismen H₂S alsmede andere ongewenste vluchtige zwavelverbindingen ((CH₃)SH en (CH₃)₂S) gevormd.

d) Histamineproductie

In garnalen kan *Proteus morgani* via een decarboxylase activiteit histidine omzetten tot het toxische histamine bij pH 6-7 en bij een temperatuur tussen 20° en 30° C (NERISSON 1976). De histamineproductie wordt gestimuleerd

door de aanwezigheid van cysteïne, cystine en methionine. Het histidine decarboxylase van *Proteus* spp. wordt geïnactiveerd door zuurstof en blijft stabiel onder anaërobe condities (KIMATA 1961).

6. Houdbaarheidsverlenging van garnalen

De houdbaarheid van ontdooide garnalen wordt in de eerste plaats bepaald door de microbiologische beginkwaliteit m.a.w. een voldoende houdbaarheid start met het volgen van «Good Manufacturing Practice» (GMP) en van de algemene regels voor hygiëne gedurende de verwerking van de garnalen in de landen van herkomst.

De garnalen worden onmiddellijk na het vangen of oogsten gespoeld om de modder die microbiologisch sterk belast is, te verwijderen. Vervolgens dienen de garnalen zo vlug mogelijk onder ijs naar het verwerkingsbedrijf te worden vervoerd. De verdere verwerkingsprocessen van rauwe gekweekte garnalen in de landen van herkomst zijn weergegeven in figuur 1.

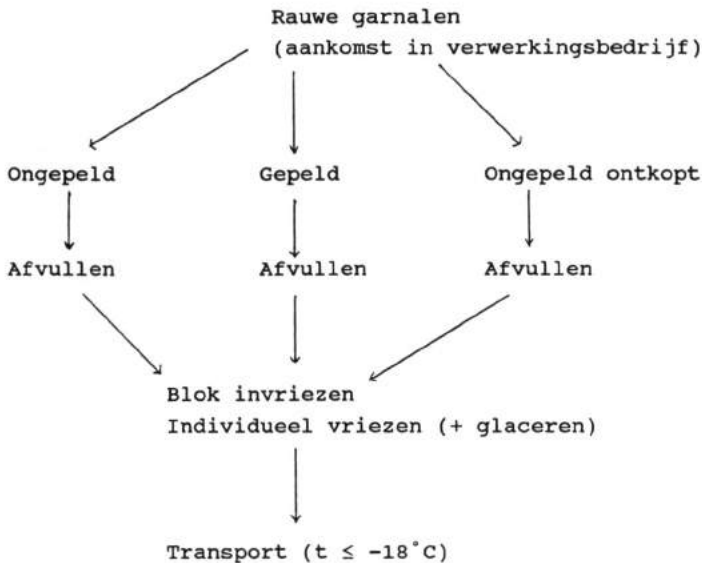


Fig. 1. — Verwerking van rauwe garnalen in de landen van herkomst.

Door het ontkopen van de garnalen worden de kieuwen, thorax en ingewanden verwijderd waardoor niet alleen belangrijke besmettingsbronnen worden verwijderd doch tevens de melanosis (zwarte verkleuring) wordt tegengegaan. Melanosis is het resultaat van de oxydatie van fenolverbindingen, zoals tyrosine, tot donkere pigmenten of melanines. Het actieve enzyme is

tyrosinase dat zuurstof overdraagt en gecatalyseerd wordt door koper bij een optimum pH 7,3-7,9 (BOON 1975). Bij het ontkoppen, pellen en afvullen moet vooral aandacht besteed worden aan de persoonlijke hygiëne, aangezien deze bewerkingen manueel geschieden en tevens moet de koude keten worden onderhouden. Vanzelfsprekend moeten de principes van de algemene hygiëne (reiniging en desinfectie) steeds worden gerespecteerd. Vervolgens moeten de garnalen zo snel mogelijk worden ingevroren om te beletten dat micro-organismen zich kunnen ontwikkelen. Diepgevroren rauwe garnalen die degelijk beschermd zijn tegen oxydatie en uitdroging en bij $t \leq -24^{\circ}\text{C}$ worden gestockeerd bieden praktisch geen houdbaarheidsproblemen doch kunnen echter wel accidenteel met pathogene kiemen besmet zijn.

In enkele gevallen worden gekweekte garnalen gekookt en ongepeld in de handel gebracht. Door voldoende hittebehandeling daalt het totaal kiemgetal aanzienlijk en worden de niet sporevormende pathogene bacteriën gedood. De snelheid van afkoelen en van invriezen (meestal individueel) alsmede de hygiënische condities zullen uiteraard bepalend zijn voor het totale kiemgetal van het eindprodukt. Gekookte ongepelde diepgevroren garnalen die degelijk verpakt zijn en bewaard bij $t \leq -24^{\circ}\text{C}$ bieden normaal geen houdbaarheidsproblemen.

Bij aankomst in het land van bestemming worden de rauw diepgevroren garnalen op diverse wijze verwerkt. Dit wordt schematisch weergegeven in figuur 2.

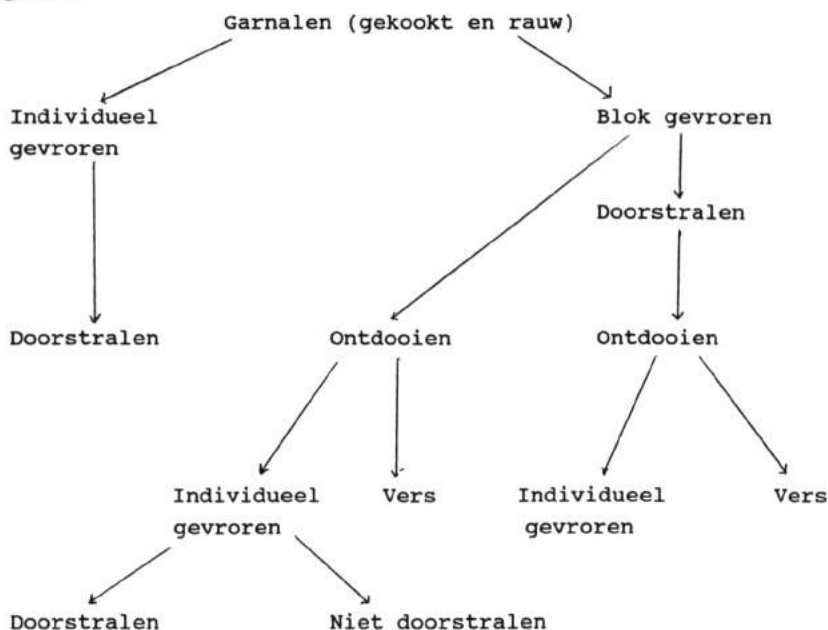


Fig. 2. — Verwerking van garnalen in de landen van bestemming.

Een kritisch punt is vooral het ontdooien, hetgeen in water, lucht of onder vacuüm kan geschieden. Hier moet gestreefd worden naar technieken waarbij gedurende het ontdooiproces geen noemenswaardige toename van het totale kiemgetal kan plaatshebben en nabesmetting met pathogene kiemen moet worden vermeden. Vervolgens zijn de tijd die verloopt tussen ontdooien en opnieuw invriezen alsmede de snelheid van invriezen uiterst belangrijk.

Zelfs bij het respecteren van GMP en hygiëne gedurende de verwerking in de landen van bestemming vertonen diepgevroren garnalen een relatief hoge doch aanvaardbare besmetting, die varieert van 10^4 tot 10^7 /g voor de gekookte gepelde garnalen en van 10^5 tot 5×10^6 /g voor de rauwe garnalen (DEBEVERE, ongepubliceerde gegevens). Dit biedt echter geen problemen voor de houdbaarheid op voorwaarde dat de garnalen bij $t \leq -24^\circ\text{C}$ worden bewaard. Pathogene kiemen kunnen als gevolg van accidentele besmetting gedurende de verwerking in de landen van zowel herkomst als bestemming aanwezig zijn.

Ontdooide garnalen hebben echter een beperkte houdbaarheid.

Met het oog op het doden van de pathogene kiemen enerzijds en met het verlagen van het totale kiemgetal anderzijds met als doelstelling de houdbaarheid van ontdooide garnalen te verlengen is het in sommige landen wettelijk toegelaten garnalen met gamma-stralen te irradieren. Deze techniek is een alternatieve pasteurisatietechniek (koude pasteurisatie) vooral wanneer een pasteurisatie door verhitting niet kan worden toegepast.

DOOR VAN CLEEMPUT *et al.* (1980) werd de afdoding in functie van de bestralingsdosis in gekookte gepelde garnalen (*Penaeus* spp.) in functie van de irradiatiedosis bestudeerd. Hierbij werd gebruik gemaakt van een ^{60}CO bron. Een reductie van 3 log-eenheden werd bekomen met een stralingsdosis van 5kGy. Microbiële reductiecurven bepaald in ontdooide garnalen tonen aan dat een stralingsdosis van 3 kGy voldoende is om 3 log-eenheden reductie te bekomen (DEBEVERE, ongepubliceerde gegevens). Het feit dat bij diepgevroren garnalen een hogere dosis vereist is dan bij de ontdooide garnalen voor een zelfde reductiegraad is het gevolg van het vrieseffect waarbij extra-intracellulair vocht omgezet wordt naar ijs (deshydratie). Dit veroorzaakt een vermindering in hoeveelheid beweeglijke watermoleculen en radicalen waardoor het lethaal effect afneemt (KAREL 1975). De radioresistente flora die een irradiatie van 5kGy overleeft is hoofdzakelijk samengesteld uit bacteriële sporen (*Bacillus* spp.), Gram-positieve coccen (streptococcen en micrococcen), Gram-positieve staven (*Bacillus* spp.) en in mindere mate radioresistente Gram-negatieve staafjes (*Moraxella* spp.) (DEBEVERE 1990). Experimenten uitgevoerd bij 6°C hebben aangetoond dat de houdbaarheid van geïrradieerde gekookte gepelde garnalen 100% was toegenomen (VAN CLEEMPUT *et al.* 1980).

DOOR DEBEVERE *et al.* (1981) werd het gecombineerde effect van gamma-irradiatie en het behandelen van de gekookte gepelde garnalen met 0,8%

benzoëzuur (wettelijk toegelaten dosis in België) onderzocht. Uit de resultaten kan worden besloten dat irradiëren met een dosis van 5 kGy gecombineerd met een behandeling van 0,3% benzoëzuur en 0,5% natriumbenzoaat een houdbaarheid verzekert van 21 dagen bij 6°C. Dit is een verlenging van 7 dagen t.o.v. niet-geïrradieerde met benzoëzuur behandelde garnalen en van 14 dagen t.o.v. geïrradieerde niet behandelde garnalen.

Met het oog op het verlengen van de houdbaarheid werd gepoogd aan de hand van decontaminatie met melkzuur de microbiële belasting op de schaal te verlagen. Onderdompelen in 10% melkzuur/laktaatbuffer met pH = 3 in de landen van bestemming leverde geen noemenswaardige verlaging van het kiemgetal op. Dit zou kunnen te wijten zijn aan het feit dat de bacteriën reeds in die mate in en onder de schaal geïncorporeerd zijn zodat er onvoldoende contact is met de decontaminatieoplossing. Onderzoek naar het effect van decontaminatie met melkzuur onmiddellijk na de vangst kan hier wellicht een antwoord op geven (SCHEPENS *et al.* 1991).

Onderzoekingen naar de mogelijkheid om de houdbaarheid van geïrradieerde garnalen te verlengen door toepassing van gasverpakking met hoge concentraties aan CO₂ hebben aangetoond dat er slechts een geringe verlenging werd bekomen die voor de praktijk onbeduidend is. Deze resultaten zijn tegengesteld aan deze bekomen bij gasverpakking van zeewater vis afkomstig uit koud water waar 50% langere houdbaarheden werden bekomen. Dit kan worden verklaard door het feit dat koudwater vis hoofdzakelijk besmet is met Gram-negatieve bacteriën terwijl warmwatergarnalen hoofdzakelijk besmet zijn met Gram-positieve bacteriën. Het is algemeen bekend dat de antibacteriële werking van CO₂ tegenover Gram-negatieve bacteriën meer uitgesproken is dan tegenover Gram-positieve bacteriën. Aangezien de radioresistente flora hoofdzakelijk samengesteld is uit Gram-positieve bacteriën en vooral de sporen van de Gram-positieve sporevormers zoals Clostridia en *Bacillus* spp. zal begassing met CO₂ weinig effect sorteren. Om deze redenen werd gezocht naar een antimicrobiële hulpstof die specifiek Gram-positieve bacteriën doodt.

Rekening houdend enerzijds met het overwegend negatieve standpunt van een bepaalde groep consumenten ten aanzien van irradiatie en anderzijds met het feit dat de consument nu meer dan ooit verwacht dat producenten in het algemeen behoedzamer met additieven omspringen werden onderzoekingen verricht naar beperkingen van de toegevoegde hoeveelheid conserveermiddelen in garnalen. Een minimalisering van relevante additievendoses is alleen mogelijk als een andere conserveringstechniek een compenserend bewaareffect kan opleveren. Een combinatie van verpakken in gemodificeerde atmosfeer (70% CO₂ en 30% N₂) in combinatie met toevoeging van 0,2% benzoëzuur i.p.v. 0,8% verzekerde een houdbaarheid van 3 weken bij 6°C hetgeen aangetoond werd aan de hand van microbiologische, chemische en sensorische objectieve kwaliteitsbepalingsmethoden (FACHÉ & DEBEVERE 1988).

Een verdere stap is het volledig vervangen van benzoëzuur door lysozyme. Lysozyme is een natuurlijk antimicrobieel enzym. Het komt vrij verspreid voor in de natuur o.a. in ei-albumine van sommige vogelsoorten, in moedermelk en koemelk, in diverse excreties van menselijke en dierlijke oorsprong (oogvocht en nasale mucus), in fruit en groenten, bacteriën, enz. Kippeï is de belangrijkste bron van lysozyme. Het gehalte aan lysozyme bedraagt 0,35% van het wit van het ei en 3,5% van het totale proteïnegehalte van het ei (UIJTENBOGAERT 1975). Lysozyme breekt de polysaccharidecomponent (mureïne) van de celwand van vooral de Gram-positieve kiemen af. De activiteit van lysozyme is het hoogst bij een pH van 5,3-6,4 en een ionensterkte corresponderend met 0,0625 M NaCl (CARINI *et al.* 1985). Lysozyme vertoont de grootste inhiberende activiteit tegenover Gram-positieve bacteriën, terwijl er geen lytische activiteit bestaat bij Gram-negatieve bacteriën. Dit is vooral te wijten aan het lager peptidoglycaangehalte van Gram-negatieve bacteriën (5-20%) en de afschermdende lipopolysaccharidelaaag, waarmede deze bacteriën omgeven zijn. Gram-positieve bacteriën bezitten 30-95% peptidoglycaan in de celmembraan. Er blijkt een synergetisch effect te bestaan tussen het gebruik van gemodificeerde atmosfeer (35% CO₂ en 65% N₂) en de toevoeging van 0,1 tot 0,3% lysozyme voor de conservering van de *Crangon crangon*. Dit synergisme kan worden verklaard door te stellen dat CO₂ door selectieve antimicrobiële activiteit tegenover de Gram-negatieve bacteriën een dominantie mogelijk maakt van Gram-positieve micro-organismen. Doordat lysozyme voornamelijk Gram-positieve micro-organismen remt, wordt deze dominantie beperkt. (DECADT & DEBEVERE 1990). Aangezien tropische garnalen hoofdzakelijk besmet zijn met Gram-positieve kiemen en in mindere mate met Gram-negatieve psychotrofe kiemen, als gevolg van de verwerkingen in de landen van bestemming, kan worden verwacht dat deze combinatie van gemodificeerde atmosfeerverpakking en lysozyme eveneens de houdbaarheid zal verlengen. Oriënterende proefnemingen wijzen in deze richting (DEBEVERE, ongepubliceerde gegevens).

7. Conclusie

Voor diepgevroren garnalen die volgens GMP verwerkt werden zijn er geen houdbaarheidsproblemen op voorwaarde dat deze garnalen bij $t \leq -24^{\circ}\text{C}$ worden bewaard. Accidentele contaminatie gedurende de verwerking en dit zowel in de landen van herkomst als van bestemming kunnen resulteren in een verhoogd kiemgetal en/of besmetting met pathogene kiemen. Verhoogde kiemgetallen hebben tot gevolg dat microbiologische normen, richtlijnen of specificaties worden overschreden of dat bij ontdooide garnalen houdbaarheidsproblemen zullen optreden. Contaminatie met pathogene kiemen biedt verhoogde risico's voor voedselvergiftigingen.

Irradiatie met doses van 3 tot 5 kGy is een verantwoorde techniek om vooral de vegetatieve pathogenen alsmede de belangrijkste bederfveroorzakende kiemen te doden waardoor tevens een beperkte houdbaarheidsverlenging kan worden bekomen. Langere houdbaarheidsperioden worden bekomen door (a) combinatie van irradiatie met 5 kGy en het toevoegen van 0,8% benzoëzuur ; (b) combinatie van gemodificeerde atmosferieverpakking (70% CO₂ en 30% N₂) en 0,2% benzoëzuur en (c) combinatie van gemodificeerde atmosferieverpakking (35% CO₂ en 65% N₂) met toevoegen van 0,1 tot 0,3% lysozyme.

BIBLIOGRAFIE

- BOON, D. 1975. Discoloration in processed crab meat. A review. — *J. Food Sci.* **40** : 756-761.
- BORGSTROM, G. 1962. Shellfish protein. Nutritive aspects. — *In* : BORGSTROM (Ed.), *Fish as food*. Acad. Press, New York, **2**, pp. 115-148.
- BRANSTETTER, H. & PECKHAM, C. 1989. Shrimp : marketers face the challenge. — *Seafood International*, **4** (10) : 32-37.
- CARINI, S., MUCCHETTI, E., NEVIANE, E. 1985. Lysozyme activity against Clostridia and use in cheese production : a review. — *Microbiologie-Aliments-Nutrition*, **3** : 299-320.
- DEBEVERE, J., VAN CLEEMPUT, O., DEBEVERE, P. & BAERT, L. 1981. Combined effect of gamma-irradiation and chemical preservation on the keeping quality of tropical shrimps (*Penaeus* spp.). — *In* : Psychrotrophic microorganisms in spoilage and pathogenicity. Ed. Acad. Press, New York, pp. 295-299.
- DEBEVERE, J. 1990. Houdbaarheid en kwaliteitsbeheersing van aquacultuurprodukten. — *In* : Perspectieven van de aquacultuur. *Verhand. Fac. Landbouwwet. te Gent*, **29** : 25-35.
- DECADT, Y. & DEBEVERE, J. 1990. Verlenging van de houdbaarheid van de Noordzeegarnaal (*Crangon crangon*) : Combinatie van lysozyme met gemodificeerde atmosferieverpakking. — *Voedingsmiddelentechnologie*, **7** : 18-21.
- FACHÉ, J. & DEBEVERE, J. 1988. Conservering van tropische garnaal (*Penaeus* spp.) door een gemodificeerde atmosfeer in combinatie met minimale chemische conservering. — *Voedingsmiddelentechnologie*, **23** : 29-32.
- HJUL, P. 1989. Shrimp : markets under pressure. — *Seafood International*, **4** (2) : 29-31.
- JACQUOT, R. 1961. Organic constituents of fish and other aquatic animal foods. — *In* : BORGSTROM (Ed.), *Fish as food*. Acad. Press, New York, **1**, pp. 146-192.
- KAREL, M. 1975. Radiation preservation of foods. — *In* : Principles of Food Science. Part 2 : Physical Principles of Food preservation. Marcel Dekker, Inc., New York, pp. 93-130.
- KIMATA, M. 1961. The histamine problem. — *In* : BORGSTROM (Ed.), *Fish as food*. Acad. Press, New York, **1**, pp. 329-352.
- NERISSON, P. 1976. L'histamine comme indicateur d'altération. — *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, **39** (4) : 471-482.
- PECKHAM, C. 1991. Shrimp : bargains coming to an end. — *Seafood International*, **6** (10) : 22-29.

- RIAZ, F., BILQUIS, F. & QADRI, R. B. 1981. Inonisinemonophosphate and hypoxanthine as indices of quality of shrimp (*Penaeus merguensis*). — *J. Food Sci.*, **46** (4): 1125-1127.
- SAINCLIVIER, M. 1983. L'industrie alimentaire halieutique. Premier volume : le poisson matière première. — Sciences agronomiques, Rennes, pp. 191-192.
- SCHEPENS, A., DE ROUS, A. & DEBEVERE, J. 1991. Melkzuurcontaminatie en gemodificeerde atmosfeerverpakking : effect op houdbaarheid van rauwe *Penaeus esculentus*. — *Voedingsmiddelentechnologie*, **13** : 13-15.
- SIMIDU, W. 1961. Non protein nitrogenous compounds. — In : BORGSTROM (Ed.), Fish as food. Acad. Press, New York, **1**, pp. 353-384.
- ULJTENBOGAERT, T. H. 1975. Winning van lysozyme uit eiwit. — *Voedingsmiddelen-technologie*, **6** : 35-55.
- VAN CLEEMPUT, O., DEBEVERE, J., DEBEVERE, P. & BAERT, L. 1980. Gamma irradiation of tropical shrimps. — *Levensm.-Wiss. u.-Technol.*, **13** : 322-323.

DISCUSSIE

E. Paepe. — Waarom voeren wij zo hoge kwantiteiten aan tropische garnalen in? Is dit omwille van lage en onzekere «eigen» productie? Worden tropische garnalen verwerkt bij ons of in land van herkomst?

J. Debevere. — Tropische garnalen worden ingevoerd omwille van de lagere prijs in vergelijking met de eigen produktie waarvan de prijs sterk varieert en bovendien onzeker is. Tevens is er een groot assortiment tropische garnalen dat diverse soorten en maten van rauwe en gekookte al of niet gepelde of ontkopte garnalen omvat. Tropische garnalen worden zowel in de landen van bestemming als in de landen van herkomst verwerkt. De diverse verwerkingsprocessen zijn weergegeven in de tekst.

Séance du 20 décembre 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. J. Charlier, E. Cuypers, J. De Cuyper, I. de Magnée, P. De Meester, A. Deruyttere, P. Fierens, A. Lederer, R. Leenaerts, J. Michot, R. Thonnard, R. Tillé, J. Van Leeuw, membres titulaires ; MM. J. Debevere, M. De Boodt, J.-J. Droesbeke, A. François, L. Martens, membres associés ; M. G. Valentini, membre correspondant.

Absents et excusés : MM. P. Beckers, F. Bultot, G. Froment, P. Goossens, A. Lejeune, W. Loy, A. Monjoie, R. Paepe, J. Roos, U. Van Twembeke, R. Wambacq ; M. R. Vanbreuseghem, secrétaire perpétuel honoraire.

Décès de M. A. Clerfaÿt

Le Directeur rappelle le décès de M. Albert Clerfaÿt, membre associé honoraire, survenu à Bruxelles le 13 décembre 1990.

Il retrace brièvement la carrière scientifique de M. Clerfaÿt.

La Classe désigne M. A. Lederer pour la rédaction de l'éloge du défunt.

Décès de M. M. Snel

Le Directeur annonce, d'autre part, le décès de M. Marcel Snel, membre titulaire honoraire, survenu à Woluwé-St-Lambert, le 27 novembre 1991.

Il retrace brièvement la carrière scientifique de M. Snel.

La Classe désigne M. W. Loy pour la rédaction de l'éloge du défunt.

De la méthodologie du traitement des données socio-économiques en Amérique latine

M. J.-J. Droesbeke présente une étude à ce sujet, rédigée en collaboration avec M. E. Crivisqui.

MM. J. Michot, J. De Cuyper, P. Fierens et G. Valentini interviennent dans la discussion.

La Classe décide la publication de cette étude dans le *Bulletin des Séances* (pp. 773-794).

Zitting van 20 december 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. J. Charlier, E. Cuypers, J. De Cuyper, I. de Magnée, P. De Meester, A. Deruyttere, P. Fierens, A. Lederer, R. Leenaerts, J. Michot, R. Thonnard, R. Tillé, J. Van Leeuw, werkende leden ; de HH. J. Debevere, M. De Boodt, J.-J. Droesbeke, A. François, L. Martens, geassocieerde leden ; de H. G. Valentini, corresponderend lid.

Afwezig en verontschuldigd : De HH. P. Beckers, F. Bultot, G. Froment, P. Goossens, A. Lejeune, W. Loy, A. Monjoie, R. Paepe, J. Roos, U. Van Twembeke, R. Wambacq ; de H. R. Vanbreuseghem, erevast secretaris.

Overlijden van de H. A. Clerfaÿt

De Directeur herinnert aan het overlijden van de H. Albert Clerfaÿt, eregeassocieerd lid, op 13 december 1990 te Brussel.

Hij overloopt in het kort de wetenschappelijke loopbaan van de H. Clerfaÿt.

De Klasse duidt de H. A. Lederer aan om de lofrede van de overledene op te stellen.

Overlijden van de H. M. Snel

De Directeur meldt vervolgens het overlijden van de H. Marcel Snel, erewerkend lid, op 27 november 1991 te St-Lambrechts-Woluwe.

Hij overloopt in het kort de wetenschappelijke loopbaan van de H. Snel.

De Klasse duidt de H. W. Loy aan voor de opstelling van de lofrede van de overledene.

«De la méthodologie du traitement des données socio-économiques en Amérique latine»

De H. J.-J. Droesbeke stelt een studie over dit onderwerp voor, opgesteld in samenwerking met de H. E. Crivisqui.

De HH. J. Michot, J. De Cuyper, P. Fierens en G. Valentini komen tussen in de bespreking.

De Klasse besluit deze studie te publiceren in de *Mededelingen der Zittingen* (pp. 773-794).

«Paradoxen in het wereldvoedsel- en landbouwbeleid»

M. L. Martens présente une étude à ce sujet.

MM. A. Deruyttere, F. Suykens, J. De Cuyper et E. Cuypers interviennent dans la discussion.

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

Congrès sur les techniques simples d'analyse chimique

M. H. Deelstra a informé l'Académie du projet des professeurs de chimie de l'Université du Burundi d'organiser en 1993 un congrès international sur les méthodes simples d'analyse chimique, ne nécessitant qu'un appareillage peu coûteux, mais néanmoins efficaces, précises et susceptibles d'applications dans les pays en voie de développement.

M. Deelstra envisage la constitution en Belgique d'un comité scientifique qui appuierait l'organisation de ce congrès. Les membres de l'Académie qui souhaiteraient en faire partie sont invités à prendre contact avec

M. H. Deelstra
Laboratorium Bromatologie
Universitaire Instelling Antwerpen
Universiteitsplein 1
2610 Wilrijk
Tel. (03) 820.27.15. Fax (03) 820.27.34

La séance est levée à 17 h 00.
Elle est suivie d'un Comité secret.

Paradoxen in het wereldvoedsel- en landbouwbeleid

De H. L. Martens stelt een studie over dit onderwerp voor.

De HH. A. Deruyttere, F. Suykens, J. De Cuyper en E. Cuypers komen tussen in de bespreking.

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

Congres over de eenvoudige technieken van scheikundige analyse

De H. Deelstra heeft de Academie op de hoogte gebracht van het project van de professoren in de scheikunde van de Universiteit van Burundi om in 1993 een internationaal congres te organiseren over de eenvoudige methodes van scheikundige analyse, waarvoor de vereiste apparatuur goedkoop, maar niettemin doeltreffend en nauwkeurig is, en bruikbaar in ontwikkelingslanden.

De H. Deelstra overweegt de oprichting in België van een wetenschappelijk comité dat de organisatie van dit congres zou steunen. De leden van de Academie die eraan wensen deel te nemen worden verzocht contact op te nemen met

De H. H. Deelstra
Laboratorium Bromatologie
Universitaire Instelling Antwerpen
Universiteitsplein 1
2610 Wilrijk
Tel. (03) 820.27.15. Fax (03) 820.27.34

De zitting wordt gegeven te 17 h 00.
Zij wordt gevolgd door een Geheim Comité.

De la méthodologie du traitement des données socio-économiques en Amérique latine *

par

E. CRIVISQUI ** & J.-J. DROESBEKE ***

MOTS-CLÉS. — Amérique latine ; Informatique ; Traitement de données.

RÉSUMÉ. — L'objet de cet exposé est de présenter les caractéristiques d'un projet de formation et d'assistance des chercheurs en sciences humaines d'Amérique latine, dans le domaine du traitement des données socio-économiques. La première partie est consacrée à la description des conditions initiales du projet tant au niveau du laboratoire universitaire européen où il est né que du contexte latino-américain dans lequel il est développé. La deuxième partie présente les objectifs assignés à ce programme d'enseignement et la façon dont ils ont été atteints. À cette occasion est présentée la manière dont a été articulé l'exposé des méthodes statistiques qui ont constitué le cœur de l'enseignement, la formation à l'outil informatique qui en était le corrolaire obligé et la démarche d'observation et d'analyse des phénomènes socio-économiques qui constituent le domaine d'activité des chercheurs. Enfin, la dernière partie expose les conséquences de cette expérience et souligne les perspectives qu'elle a engendrées tant au niveau des activités scientifiques du laboratoire qui a initié le projet que du processus de coopération qui en a résulté.

SAMENVATTING. — *Over de methodologie van de verwerking van sociaal-economische gegevens in Latijns-Amerika.* — Het doel van deze lezing bestaat erin de karakteristieken voor te stellen van een hulp- en opleidingsproject voor vorsers in de humane wetenschappen in Latijns-Amerika op het gebied van de verwerking van sociaal-economische gegevens. Het eerste deel behandelt de beschrijving van de uitgangsvaarden van het project, zowel op het niveau van het Europese universitaire laboratorium, waar het ontstaan is, als van de Latijns-Amerikaanse context, waarin het uitgewerkt werd. Het tweede deel beschrijft de doelstellingen van dit onderwijsprogramma en de manier waarop ze bereikt werden. Hierbij wordt de manier voorgesteld waarop de statistische gegevens die de kern uitmaken van het onderwijs, werden uiteengezet ;

* Communication présentée à la séance de la Classe des Sciences techniques tenue le 20 décembre 1991. Texte reçu le 13 janvier 1992.

** Laboratoire de Méthodologie du Traitement des Données, Université Libre de Bruxelles, CPI 124, avenue Jeanne 44, B-1050 Bruxelles (Belgique).

*** Membre associé de l'Académie ; Laboratoire de Méthodologie du Traitement des Données, Université Libre de Bruxelles, CPI 124, avenue Jeanne 44, B-1050 Bruxelles (Belgique).

verder de opleiding in de informatica die er een noodzakelijk uitvloeisel van is ; daarnaast de observatie en analyse van sociaal-economische gegevens die het werkterrein van de vorsers uitmaken. In het derde en laatste deel gaat het over de gevolgen van dit onderzoek, en worden de perspectieven onderstreept, die werden geopend, zowel wat betreft de wetenschappelijke activiteiten in het laboratorium dat aan de basis lag van dit project als het samenwerkingsproces dat hieruit resulteerde.

SUMMARY. — *A methodology for processing socio-economic data in Latin America.* — The purpose of this paper is to present the details of a project providing Latin American researchers in the humanities with training and assistance in the processing of socio-economic data. The first part describes conditions at the project's outset both in the European University laboratory where it was conceived and in the Latin American environment where it was developed. The second part sets out the objectives of this teaching programme and the way in which they were achieved. At the same time, is shown how were combined the presentation of the statistical methodology which formed the basic of the teaching, the training in data-processing which was its inevitable corollary and the observation and analysis of socio-economic phenomena which constitute the researchers' sphere of activity. Lastly, the third part details the results of this experiment and emphasizes the prospects which it has opened up with respect both to the scientific activities of the laboratory which launched the project and to the co-operation engendered by it.

1. Le contexte d'une expérience de formation-coopération

Cet article se propose de présenter un programme de formation développé dans différents pays d'Amérique du Sud par un laboratoire de l'Université Libre de Bruxelles.

Les motivations de ce programme, ses particularités et ses objectifs ne peuvent s'expliquer qu'en présentant brièvement le contexte dans lequel le laboratoire concerné s'est développé.

1.1. LE CADRE MOUVANT DE CRÉATION D'UN LABORATOIRE UNIVERSITAIRE

Le Laboratoire de Méthodologie du Traitement des Données (appelé plus brièvement L.M.T.D. dans la suite) est né en 1984. Ce nouveau laboratoire a regroupé des chercheurs ayant une formation et une expérience dans différentes disciplines des sciences humaines (sociologie, épidémiologie, santé publique, démographie, ...), en statistique ou/et en informatique appliquées.

Pour comprendre la nature du travail développé par ce laboratoire, il est nécessaire de présenter brièvement les lignes de force de l'évolution conjointe et, somme toute, récente des méthodes statistiques, de l'instrument informatique, ainsi que des contenus et des modalités de la recherche en sciences humaines durant ces dernières années.

1.1.1. L'évolution des méthodes statistiques appliquées aux sciences humaines

La production de statistiques économiques et sociales n'a cessé d'être améliorée en étendue depuis les années '30. Les progrès accomplis par la théorie des sondages et l'expérience acquise par les organismes chargés de cette production ont été des facteurs déterminants du perfectionnement constant de l'information socio-économique.

Cependant, les sciences humaines n'ont pas toujours pu ou su tirer pleinement bénéfice des progrès accomplis par les méthodes d'observation systématique de la réalité sociale pour consolider la production des connaissances objectives sur cette même réalité.

Les méthodes statistiques de traitement de données d'observation, disponibles avant les années '70, répondaient principalement aux besoins spécifiques des disciplines expérimentales. Ces méthodes étaient notamment destinées à permettre l'analyse explicative ou prédictive des données.

Les sciences humaines, cantonnées à suivre une spirale inductivo-déductive dans l'approche de leurs objets de connaissance, ne trouvaient pas, parmi les méthodes disponibles, celles qui étaient réellement adéquates pour satisfaire le besoin d'exploration des données d'observation et donc de construction de leurs objets d'étude.

Durant les années '70, les méthodes statistiques utilisées en sciences humaines ont accompli un remarquable progrès. Nous pensons tout particulièrement aux méthodes de type inertiel permettant l'analyse fine et la représentation graphique des relations présentées par un grand nombre de variables, y compris des variables nominales et ordinales, les méthodes de classification et de partition d'objets décrits par un ensemble des variables, ou encore l'ensemble des techniques statistiques qui constituent l'approche dite «exploratoire» des données.

Ces méthodes ont eu l'avantage de combler le manque d'instruments adaptés à la production d'une connaissance objective dans différents domaines des sciences humaines.

Nous reviendrons plus en détail sur ces méthodes statistiques. Pour le moment, limitons-nous à signaler qu'elles ont été rapidement adoptées par les chercheurs, malgré le fait qu'ils ne disposaient pas d'un accès facile à l'outil informatique et encore moins d'une maîtrise réelle de ces nouvelles méthodes de traitement des données.

1.1.2. L'évolution de l'outil informatique

C'est aussi durant les années '70 que se sont développés les principaux centres de calcul universitaires. Les laboratoires ont eu ainsi accès à des capacités de calcul sans cesse croissantes. Mais, en ce qui concerne les entités de sciences humaines — en dehors des sciences économiques — l'accessibilité à ces nouveaux instruments de recherche était entravée par l'absence d'une formation

correcte des chercheurs à l'emploi de ces instruments et par l'inadaptation de ces équipements aux nombreux besoins de la recherche en sciences humaines.

Bien souvent, les chercheurs n'avaient pas reçu une formation adéquate leur permettant l'emploi correct et autonome de l'outil informatique. Or, l'informatique centralisée qui se développait alors dans les universités offrait certes des possibilités de calcul insoupçonnées quelques années auparavant, mais au prix d'une initiation pas toujours aisée en raison d'un mode de fonctionnement relativement rigide, avec une interactivité chercheur-instrument de calcul très réduite.

Ce sont ces limitations de l'informatique centralisée qui ont déterminé aussi un manque d'ajustement de ces outils par rapport aux besoins de la recherche en sciences humaines.

Les centres de calcul universitaires rendaient techniquement possible le traitement des grandes matrices de nombres, mais leur mode de fonctionnement empêchait de tirer pleinement bénéfice de cette capacité dans la recherche quantitative en sciences humaines.

Des programmes d'applications statistiques ont été développés et sont devenus rapidement des instruments classiques de recherche. Ces programmes (S.P.S.S., B.M.D.P., puis S.A.S.,...) ont eu le mérite de mettre l'outil informatique au service des chercheurs mais, pour des raisons très compréhensibles, ils n'ont suivi ni l'évolution des méthodes statistiques, ni les exigences de leur application dans les sciences humaines, du moins pas suffisamment rapidement.

Conçus souvent avec un but commercial, ces programmes étaient destinés à satisfaire le plus large marché possible ; ils étaient, dès lors, structurés autour de fonctionnalités suffisamment simples et connues que pour rencontrer la demande sur un tel marché. Les fonctions permises par ces programmes étaient de deux ordres : d'une part, elles donnaient accès à une série d'opérations de saisie et de gestion de matrices de nombres ; d'autre part, elles permettaient l'application automatique d'un ensemble de techniques statistiques d'usage courant dans les disciplines expérimentales, mais aussi dans l'activité commerciale ou industrielle. Certaines opérations élémentaires mais fondamentales, comme par exemple la détection et la correction d'erreurs de codification étaient lourdes à réaliser à l'aide de ces logiciens.

Par contre, d'autres fonctions étaient automatisées et facilitées à l'extrême, comme par exemple la création et l'analyse de tableaux de contingence à partir de données d'observation, les méthodes d'analyse de la variance à un ou deux facteurs, ou encore les procédures de test statistique. Cette facilité a produit une certaine rigidité dans l'emploi de méthodes statistiques dans la recherche en sciences humaines. En effet, l'automatisme des calculs a ouvert la voie à une série de mésusages des méthodes statistiques dans des domaines

d'application où les conditions d'observation ne permettent pas toujours de rencontrer les conditions d'emploi de ces méthodes.

Enfin, certaines fonctions étaient réduites à leur plus simple expression, comme c'est le cas de la représentation graphique des données.

Ces logiciels étaient, en outre, conçus pour des systèmes informatiques très peu interactifs ; c'est pourquoi ils ne pouvaient intégrer la perspective d'une approche exploratoire des données d'observation. Or, au moment où ces logiciels se diffusaient dans les milieux de la recherche, cette dernière perspective était grandement ouverte grâce aux progrès des méthodes statistiques.

Le développement rapide des micro-systèmes informatiques a été immédiatement perçu comme étant de nature à apporter des instruments de calcul mieux adaptés. Les laboratoires universitaires européens n'ont pas manqué d'apercevoir très rapidement les possibilités nouvelles offertes par cette informatique décentralisée, décloisonnée, autogérée et fondamentalement « interactive », qui devenait désormais accessible. Malgré les faibles capacités des équipes disponibles aux débuts des années '80, il a semblé possible de mettre ces instruments au service de la recherche en sciences humaines.

Bien que les équipements paraissent mieux adaptés, la production commerciale des logiciels d'application sur ces nouveaux micro-systèmes a été très retardée. La multiplication des systèmes et leur incompatibilité rendaient impossible la production des logiciels d'application statistiques destinés à un marché fragmenté et réduit.

Les firmes productrices ont adapté à ces nouveaux systèmes les logiciels disponibles sur les systèmes informatiques classiques. Cela facilitait déjà l'accès des chercheurs aux moyens automatiques du traitement de l'information, mais cette « solution » ne permettait pas d'exploiter pleinement les potentialités des nouveaux instruments de calcul. En outre, ces logiciels adaptés n'intégraient pas les méthodes statistiques récentes utilisables en sciences humaines.

Les laboratoires universitaires ont, dès lors, dû assumer la tâche de développement de logiciels sur des systèmes micro-informatiques. Parallèlement, l'évolution du marché de la micro-informatique a conduit à la consolidation de deux standards. Tant sous le standard PC-DOS que sous le standard Macintosh, les micro-systèmes ont acquis, durant les années '80, des capacités très étendues de mémoire. Ils ont accru leur capacités de stockage avec l'accès à des mémoires de masses très importantes. Ils ont amélioré la qualité des périphériques d'entrée-sortie (imprimantes, drives, scanners, ...). Enfin, la compatibilité entre systèmes a notablement progressé, même entre systèmes de standard différent.

L'évolution technique de l'outil informatique a donc conduit à ce que, en moins d'une dizaine d'années, les chercheurs l'adoptent dans leur pratique quotidienne et qu'ils en acquièrent une maîtrise suffisamment importante que pour l'adapter aux besoins spécifiques de la recherche en sciences humaines.

1.1.3. *L'évolution des sciences humaines*

Les sciences humaines ont suivi aussi, durant les années 70, un changement profond. La création et l'expansion du marché d'informations socio-économiques ont eu un fort impact sur diverses pratiques scientifiques tant à l'intérieur comme à l'extérieur des universités.

L'évolution des méthodes statistiques et de l'instrument informatique ont permis que les disciplines scientifiques axées sur l'observation de la réalité sociale puissent mieux répondre à la demande de connaissances objectives qui était formulée, voire même, qu'elles devançant l'explicitation de cette demande.

Par ailleurs, la manière dont s'est généralisée, à partir des années 70, la pratique des sondages a fini par rendre floue la frontière entre la description «utilitaire» et l'observation compréhensive de la réalité sociale. L'opposition traditionnelle entre sciences fondamentales et sciences appliquées a eu tendance à s'estomper dans ce champ de pratiques scientifiques.

Il s'est opéré une demande accrue d'information statistique et d'analyses objectives sur la société, ce qui a entraîné une redéfinition de la place de diverses disciplines scientifiques.

Les organismes spécialisés dans l'observation systématique de différents aspects de la réalité sociale ont été conduits à répondre à une double demande. À côté d'études typiquement «utilitaires», les acteurs sociaux ont manifesté un besoin de compréhension de différents aspects de la vie sociale directement en rapport avec leurs pratiques. Ils ont essayé de trouver le sens des pratiques collectives au moyen d'analyses objectives de celles-ci. Ils ont manifesté le besoin de connaissances compréhensives de ces pratiques, même lorsqu'ils ne parvenaient pas, spontanément, à formuler une demande explicite.

Ce contexte nouveau de la demande d'études a mis en valeur, à la fois les approches interdisciplinaires, les méthodes de recherche axées sur l'observation systématique des segments de la vie sociale et les techniques d'analyse de données d'observation qui permettaient la mise en évidence des structures fondamentales de phénomènes sociaux.

Ainsi, la description des faits sociaux est redevenue prédominante, alors même que la modification de la place des sciences sociales dans notre société a conduit à l'abandon progressif d'une vision «angélique» de la relation observateur/observé au sein de ces pratiques scientifiques. Dans l'élaboration des discours objectifs sur la réalité sociale, les chercheurs ont eu tendance à abandonner le postulat d'exclusion du sujet de connaissance. S'ils devaient, suivant le principe durkheimien «considérer les faits sociaux comme des choses», ils sont devenus conscients que l'effort d'objectivation des faits sociaux ne saurait entretenir l'illusion d'une connaissance absolue, dont la seule limitation serait donnée par l'insuffisance des observations.

La pratique d'observation systématique des faits sociaux, en se généralisant, a permis que les chercheurs prennent conscience des déterminants et des limites

de celle-ci. La connaissance des faits a eu tendance à expliciter ses conditions de production et à exprimer le caractère contingent de son produit. Les chercheurs ont abandonné l'idée d'une réalité surdéterminée (et donc théoriquement connaissable dans l'absolu) au bénéfice d'une réalité incertaine, caractérisée par un tissu d'interactions, et ce y compris les interactions produites par l'acte d'observation et la pratique de production des connaissances elle-même. Ainsi, non seulement le champ de ce qui est observable s'est considérablement complexifié et les techniques et instruments d'observation ont considérablement progressé, mais en outre la stratégie de production d'un savoir objectif sur la société est entrée en pleine mutation. L'intégration des appareils de production d'enquêtes dans le domaine commercial a permis de baliser de l'extérieur le champ d'observation. Les catégories utilisées pour produire l'information sont déterminées de l'extérieur de la pratique d'observation elle-même. La démarche pragmatique d'observation répond, dans ce cas, à une logique que ne lui appartient pas. La pratique se réduit alors à la détermination des possibilités techniques de fournir des représentations statistiques conformes aux découpages imposés de la réalité observée. En ce sens, l'observation pratiquée dans ce contexte supporte un discours qu'il est convenu d'appeler «technologie sociale».

Mais, la multiplication des producteurs d'enquêtes et, de manière concomitante, la généralisation de la demande d'études, ont mis en cause non pas la fiabilité des représentations qui sont produites, mais bien leur validité.

Les représentations qui sont produites par l'observation systématique de la réalité sociale ont perdu leur prétention abusive d'être l'expression de la réalité. Désormais, ces représentations se manifestent comme étant déterminées par ses conditions de production. Et elles ne peuvent s'affirmer comme étant objectives que lorsqu'elles sont signifiantes dans le cadre des pratiques collectives auxquelles elles se réfèrent.

Les produits de l'observation systématique montrent ainsi leur nature «construite», abandonnant leur statut traditionnel de «reflets» de la réalité sociale. Désormais, produire des statistiques sociales, y compris par voie d'enquêtes, apparaît moins comme étant une production d'informations sur la société que comme étant une opération de «mise en forme» du social. C'est dans ce contexte mouvant que les sciences humaines ont adopté les nouvelles méthodes statistiques et de nouveaux instruments de recherche.

1.1.4. Création d'un nouveau laboratoire universitaire

Des chercheurs universitaires ont voulu maîtriser cette triple évolution. À cet effet, différentes stratégies ont été suivies en Europe. L'une d'elles préconisait la création de laboratoires interdisciplinaires, capables de servir d'interface entre la recherche statistique en pleine mutation, l'amélioration constante de l'instrument informatique et les modifications des conditions et des contenus de la recherche en sciences humaines. Suivant cette orientation,

le L.M.T.D. fut créé à l'Université Libre de Bruxelles, avec une double finalité de formation et de recherche dans le domaine de l'application des méthodes quantitatives en sciences humaines. Tout comme d'autres laboratoires universitaires européens, le L.M.T.D. n'a pas manqué d'apercevoir très rapidement les possibilités nouvelles offertes par l'essor de la micro-informatique.

C'est pourquoi ses premières tâches ont été consacrées au développement d'un logiciel exploitant l'emploi interactif de l'instrument informatique permettant l'analyse simple (univariée et bivariée) et le traitement de tableaux de codes condensés, de très grande taille, tout en réalisant des résumés graphiques spécifiques.

De façon générale, les activités de ce laboratoire ont suivi l'évolution du matériel informatique en tâchant de l'adapter aux exigences de la recherche quantitative en sciences humaines, tout en utilisant des instruments de calcul dont les prix de plus en plus accessibles permettent une diffusion rapide dans tous les laboratoires de recherche.

Telle était l'expérience avec laquelle l'équipe du L.M.T.D. a abordé la préparation du programme de coopération avec des universités et centres de recherche d'Amérique du Sud que nous présentons ci-dessous.

1.2. LE CONTEXTE DE LA DEMANDE DES UNIVERSITÉS LATINO-AMÉRICAINES

Les pays d'Amérique du Sud dans lesquels nous avons réalisé ce programme, ont vécu, durant les années '80, une mutation importante de leurs régimes politiques. Au cours de la dernière décennie, en Argentine, en Bolivie, au Chili et même au Paraguay, la société civile a réussi à mettre en cause les régimes militaires et autoritaires qui, sous la bannière de la doctrine de la sécurité nationale, avaient instauré dans ces pays un véritable terrorisme d'état aux conséquences sociales et économiques désastreuses et bien connues.

Il est clair que ces régimes ont constitué un frein, sinon un facteur d'involution, non seulement de la recherche en sciences humaines, mais aussi de toute forme de recherche scientifique, voire de toute forme de création, fut-elle scientifique ou artistique.

Aussi, lorsque ces pays ont rétabli leurs régimes constitutionnels, ils ont dû mettre en œuvre leurs institutions politiques alors même que leur infrastructure scientifique était partiellement ou totalement détruite. En outre, ces pays se sont trouvés confrontés à la nécessité de retrouver un mode de fonctionnement conforme à leur cadre constitutionnel, dans un contexte de récession économique sans précédent, aggravé par le poids de la dette extérieure héritée des régimes militaires.

Dans ces conditions, les nouvelles institutions démocratiques ont attribué un rôle prépondérant, mais difficile, aux universités et centres de recherche, en particulier dans le domaine des sciences humaines. Vingt années de régimes autoritaires avaient créé de larges zones d'ombre dans la réalité socio-politique

de ces pays. Il devenait urgent de (re)découvrir différents aspects de cette réalité pour fonder sur cette connaissance les nouvelles politiques de développement.

La reconversion partielle de l'agriculture, la relance de l'appareil industriel, la réorganisation du système de protection sociale, l'amélioration de la santé publique et de l'éducation, la réorganisation des systèmes de transports, la lutte contre le processus de détérioration des conditions d'habitat de la population, etc., sont autant de domaines dans lesquels les pouvoirs publics ont fait appel aux universités et centres de recherche en sciences humaines pour élaborer leurs différentes politiques.

Mais, en même temps, l'hyperinflation qui a persisté jusqu'à une date récente, a englouti les ressources financières des institutions publiques de recherche. Les politiques officielles n'ont pas su compenser cette détérioration des conditions de fonctionnement de ces institutions. Ainsi, alors même que les nouveaux contextes politiques créaient une importante demande sociale d'études, ces pays découvraient à quel point leur potentiel scientifique était entamé par les régimes précédents. Ils ont donc commencé la dure expérience de devoir rétablir ce potentiel pour satisfaire aux besoins.

La conséquence immédiate de cette situation s'est traduite par une forte privatisation des centres de recherche en sciences humaines. Durant la première moitié de la dernière décennie, un nombre considérable de centres privés de recherche se sont développés dans tous les pays d'Amérique du Sud. Cette situation a contribué probablement à satisfaire les besoins les plus urgents, mais elle a montré aussi les limites d'un tel éclatement de la recherche.

Au prix de grands sacrifices de la part des chercheurs et avec l'aide de la coopération internationale, les universités locales ont repris, progressivement, leur rôle dans le domaine important de la recherche. Au cours de la seconde moitié des années 80, l'équipement des centres universitaires de recherche s'est amélioré. Mais il demeure de grandes difficultés pour qualifier et valoriser le travail des chercheurs. Leurs salaires et leur promotion par une formation continue et adéquate sont encore insuffisants. L'accès aux sources de documentation scientifique est limité. La stabilité du personnel scientifique est précaire.

Les universités nationales ont été conduites à revoir les conditions de leur autonomie en formulant de nouvelles dispositions en matière de financement de leurs activités. Elles assument désormais leurs fonctions d'enseignement et de recherche dans un cadre de financement un peu plus favorable et, surtout, qui les incite à s'ouvrir aux réalités socio-économiques de leurs régions.

La destruction du potentiel scientifique local s'exprime cependant par un manque d'expérience des équipes dans l'élaboration des projets de recherche. Elles doivent acquérir très rapidement une maîtrise suffisante en pratique de recherche afin de pouvoir déployer une certaine initiative dans les thématiques d'étude et dans les méthodes.

Les conditions actuelles relancent certes le vieux débat entre les tenants d'une recherche dite «fondamentale» et ceux qui proposent une recherche dite «appliquée». Mais, au-delà de ces querelles bien connues dans le domaine scientifique, le nouveau contexte socio-politique et institutionnel a permis une relance significative de la recherche en sciences humaines dans ces pays d'Amérique du Sud.

C'est dans cet environnement que s'est inscrit l'initiative du L.M.T.D. en terme de coopération avec des universités sud-américaines. On comprend dès lors, les difficultés matérielles et organisationnelles posées par la réalisation de ce programme, mais aussi l'intérêt qu'a pu susciter, dans ces pays, cette initiative.

Notre volonté a été de développer un enseignement interdisciplinaire destiné à former des chercheurs expérimentés dans le domaine des techniques et méthodes récentes de recherche en sciences humaines. Elle répondait à un besoin clairement manifesté par les responsables locaux des services de recherche, dans le contexte que nous avons décrit.

2. Objectifs assignés au programme de coopération

Au cours d'une mission d'identification destinée à préparer ce programme de coopération, nous avons visité plus d'une vingtaine d'universités sud-américaines et de nombreux centres de recherche. Cela nous a permis de rencontrer bon nombre de chercheurs en sciences humaines, qui allaient être pour la plupart bénéficiaires du programme, avec qui nous avons eu l'opportunité de débattre des contenus et modalités de l'enseignement qui allait être dispensé.

Le «public» des futurs Ateliers de Formation est apparu à la fois très réceptif et très peu expérimenté au développement des recherches interdisciplinaires. Le contrôle antérieur de l'activité scientifique avait toléré certaines recherches, mais avait conduit à un éclatement stéréotypé des contenus et modalités de cette pratique. En conséquence, l'expérience acquise par les chercheurs locaux paraissait à la fois suffisante pour suivre la formation proposée et peu appropriée. Nous en avons eu la preuve en constatant, au cours de la formation, que les participants découvraient une manière de conduire la recherche pour laquelle ils n'avaient pas de références dans leurs expériences personnelles.

En particulier, les chercheurs paraissaient se limiter à l'emploi des méthodes statistiques comme instrument de confirmation et non comme outil d'exploration au service d'une pratique de production de connaissances fondée sur l'observation systématique de la réalité sociale.

Les niveaux de formation des chercheurs en statistique et en informatique s'avéraient très hétérogènes, tant au niveau d'un même centre de recherche,

qu'à celui des centres distincts. Cependant, le problème pédagogique fondamental que nous devons rencontrer n'était pas leur manque de formation de base dans les disciplines abordées.

De nos entretiens, il se dégagait la nécessité de centrer notre effort pédagogique sur la réorientation de leur usage de l'outil informatique et des méthodes statistiques dans un processus de recherche.

Dès lors, la formation ne pouvait être conçue en déconnectant complètement le moment de la transmission de connaissances nouvelles de celui de leur mise en pratique. Le style de travail de recherche que nous voulions proposer contenait, à côté des aspects techniques et instrumentaux, une composante difficilement formalisable, faite d'une certaine imagination créatrice capable d'adapter la dimension instrumentale à la «matière» élaborée et *vice versa*. C'est pourquoi la transmission d'une manière de réaliser l'observation systématique de la réalité sociale ne pouvait être envisagée comme étant une simple question d'exposition d'un «savoir». Au-delà de la dimension instrumentale, il était nécessaire de transmettre un certain «savoir-faire», une expérience. Et cela ne pouvait être sans référence à une expérience concrète de recherche.

Cette manière d'impliquer directement le travail de recherche dans la formation rencontrait, certes, les attentes des chercheurs locaux, mais elle pouvait aussi être source de multiples inquiétudes.

En effet, si des chercheurs sont conduits, par exemple, à analyser les facteurs de biais de leurs propres données de recherche, ils doivent parvenir à dégager progressivement les aspects institutionnels, d'organisation du travail, ou de formation personnelle, qui y ont joué un rôle déterminant. Dès lors, la formation ouvre vers une vision critique des conditions de la recherche.

La formation devait certes aider à acquérir des connaissances qui faisaient certainement défaut, mais elle devait permettre aussi que se produise un processus de maturation de la pratique locale de recherche. Cela constituait un défi inquiétant, mais qui rencontrait pleinement les attentes des chercheurs latino-américains.

C'est dans ce contexte qu'il faut comprendre les raisons qui nous ont incités à prêter une attention toute particulière à la diffusion locale des informations scientifiques et techniques et à l'établissement de relations étroites entre centres de recherche locaux. Ces deux aspects étaient, à l'évidence, complémentaires de notre démarche destinée à satisfaire à ce besoin de maturation de la pratique de recherche.

Suivant cette orientation pédagogique, nous avons fixé les buts qui devaient être atteints par notre action de coopération interuniversitaire. En présentant ici ces buts, nous aurons l'occasion d'exposer les objectifs spécifiques qu'ils ont recouverts.

2.1. FORMATION

Les contenus méthodologiques de l'enseignement ont été définis en trois points :

2.1.1. *Cadre méthodologique de l'observation systématique d'un phénomène social*

Il nous a semblé essentiel de présenter tout d'abord les principales causes de biais des données d'observation, d'exposer les éléments essentiels des techniques d'élaboration des protocoles d'enquêtes socio-économiques, de s'attarder sur les procédures de vérification et de correction de données erronées et, bien entendu, de développer les fondements de la théorie de sondages.

2.1.2. *Le traitement des données d'observation*

Les méthodes statistiques enseignées ont été présentées suivant l'enchaînement des étapes de l'analyse des données d'observation. La présentation des techniques de l'analyse exploratoire des données (E.D.A.) nous a permis d'aborder le traitement des variables univariées et bivariées sous un angle descriptif, montrant l'avantage d'un traitement automatique, interactif et fondamentalement graphique de l'information recueillie. L'exposé de ces techniques ne présentait pas de dimensions conceptuelles nouvelles pour les participants, mais la manière dont ces techniques étaient utilisées dans un processus de recherche constituait, sans aucun doute, une approche peu habituelle.

Les étapes suivantes du traitement des données ont été articulées autour de l'analyse factorielle de correspondances (A.F.C.), de l'analyse en composantes principales (A.C.P.) et d'autres méthodes dérivées de celles-ci. La présentation géométrique de l'A.F.C. et de l'A.C.P. a permis aux participants d'acquérir une compréhension suffisante de ces méthodes, malgré leur manque de formation en algèbre linéaire et en calcul matriciel. Cette manière d'adapter au public la présentation de ces méthodes a facilité grandement la compréhension des exposés techniques.

Ainsi, l'analyse factorielle de correspondances multiples (A.F.C.M.), présentée comme une généralisation de l'A.F.C. au cas de plus de deux variables nominales, a pu être développée comme un instrument indispensable de résumé des informations qualitatives multiples. Cette méthode a été présentée en tant qu'instrument d'élaboration raisonnée des typologies résumant de nombreuses caractéristiques observées, ou encore comme instrument de confirmation des relations existantes entre des typologies préétablies et un ensemble de caractéristiques observées. Un autre exemple concerne la méthode dite du «TRI-DEUX», ou méthode post-factorielle. Il s'agit d'une méthode de représentation graphique des relations entre modalités d'un grand nombre des variables nominales. S'appuyant sur les résultats d'une analyse factorielle des corres-

pondances multiples, cette méthode permet une représentation graphique, sans approximation, des relations entre modalités d'un ensemble de variables qualitatives. Elle offre donc une lecture « intuitive » de l'information, ce qui en fait un puissant instrument d'exploration des données d'enquêtes.

2.1.3. Démarche de confirmation et d'interprétation des résultats

Les méthodes de classification ascendante et celles de partition (en particulier la méthode des nuées dynamiques) ont été présentées comme des instruments complémentaires à l'approche factorielle. La description des données par une optique de classification ou de partition se présentait comme étant une manière de confirmer ou d'affiner les analyses faites au moyen des méthodes factorielles.

La démarche d'interprétation des résultats des analyses a retenu toute notre attention. Il était nécessaire de faire comprendre la signification exacte des différents indices tabulés et des représentations graphiques produits par ces différentes méthodes, mais il fallait aussi présenter les techniques de « retour aux données » qui permettent d'exposer les résultats des analyses à partir d'une réorganisation adéquate des données brutes.

Enfin, la façon dont nous avons présenté les méthodes factorielles a permis d'exposer de manière accessible d'autres méthodes qui en dérivent, comme, par exemple, l'analyse factorielle des tableaux multiples, la méthode dite des projections procustéennes pour le traitement des tableaux multiples, ou encore l'analyse factorielle sous contrainte de modèle.

À ces contenus méthodologiques de l'enseignement il faut ajouter, comme nous le verrons, la dimension instrumentale de la formation dispensée. En effet, cette dernière comportait, pour certains chercheurs locaux, une indispensable « initiation à l'informatique » ; pour d'autres, il était nécessaire d'assurer la redécouverte de logiciels mal connus ; enfin, pour tous, il fallait permettre l'apprentissage de logiciels correspondant aux nouvelles méthodes enseignées.

2.2. ÉQUIPEMENT INFORMATIQUE

Pour mener à bien ce programme de formation nous devons nous appuyer le plus possible sur l'équipement informatique disponible dans les différents centres d'accueil des séminaires.

Cette exigence découlait de la demande locale et de notre volonté de mener une action de formation qui assure le transfert des capacités opérationnelles susceptibles d'être mobilisées dans les recherches. Ce but a conduit à certains choix en matière d'équipement informatique local. Des centres d'accueil présentaient un sous-équipement manifeste qu'il a fallu corriger en recourant à une politique de don ou de location de systèmes PC-DOS. Durant les séminaires de formation, nous devons en effet disposer d'une vingtaine d'équipements durant trois semaines et à temps complet. Cela dépassait

souvent les disponibilités des universités locales. Pour des raisons propres au marché latino-américain de micro-informatique, les équipements étaient disponibles dans le standard PC-DOS, mais avec un degré de compatibilité fort variable.

2.3. LOGICIELS D'APPLICATION

Les logiciels utilisés dans le cadre de ce programme ont été les suivants : S.P.S.S.[®], la bibliothèque des programmes SPAD.N[®], TRI-DEUX, E.D.A.[®], PROCUS, P.S.I.[®], différents «tableurs» (DATA.Base[®], LOTUS[®],...), diverses interfaces développées par le L.M.T.D. (en particulier S.P.S.S.fiSPAD) et, bien entendu, des utilitaires de gestion des fichiers.

En dehors du programme S.P.S.S.[®] et des «tableurs», lesquels étaient disponibles dans les universités locales, tous les autres logiciels ont dû être offerts aux centres d'accueil. Afin de pallier les insuffisances des logiciels commerciaux d'application, il paraissait nécessaire de développer un logiciel modulaire d'application sur standard PC-DOS. Le L.M.T.D. se proposait de créer ce logiciel en prolongeant la philosophie du prototype MESTAT développé par le L.M.T.D., sur le micro-système Oric. Mais le développement rapide de logiciels d'application par des laboratoires universitaires européens a conduit à conserver cet objectif, tout en assurant le développement des interfaces entre différents logiciels afin de faciliter leur emploi par des personnes peu initiées à l'informatique, ou encore la modification de certains logiciels afin d'augmenter leur portabilité sur des configurations en standard PC-DOS.

2.4. DIFFUSION DES MÉTHODES ET DES TECHNIQUES DE RECHERCHE

Étant donné les difficultés rencontrées par les centres de recherche sud-américains pour accéder à la documentation scientifique et technique, il s'avérait nécessaire de créer une dynamique locale de diffusion des nouvelles méthodes et techniques.

Dans ce but, nous nous sommes fixés deux objectifs. D'une part, le L.M.T.D. a promu l'édition d'une publication scientifique diffusée en Europe et en Amérique latine à partir du début 1992. D'autre part, nous avons accordé une attention particulière à la préparation et à la diffusion du matériel didactique et de la bibliographie de référence.

La revue intitulée *Methodologica* est destinée à la diffusion des connaissances scientifiques et constitue un instrument de contact et d'échange entre les communautés scientifiques latino-américaines et européennes.

Par ailleurs, nous avons tenu à produire des syllabus en espagnol sur chaque chapitre de la formation et à accompagner ces syllabus d'une bibliographie complète et détaillée sur les principaux thèmes traités.

La réalisation de chaque atelier de formation devait être l'occasion d'une large diffusion de ces matériaux auprès des participants.

2.5. ASSOCIATION DES CENTRES DE RECHERCHE LOCAUX À LA FORMATION

Il était nécessaire de susciter la création, au niveau local, de centres de référence et de formation qui puissent assurer la diffusion des méthodes et techniques d'application au-delà de la période de réalisation du programme. Cherchant à créer les conditions d'une dynamique d'auto-apprentissage capable de se perpétuer au-delà de la durée du programme, nous avons voulu prêter une attention toute particulière à la formation des équipes de chercheurs des centres d'accueil du programme. La formation de ces chercheurs devait être envisagée comme étant une «formation des formateurs», chargés d'animer de manière autonome de futurs cycles. La formation de ces chercheurs devait donc comporter en outre une explication détaillée des dimensions pédagogiques de l'organisation des séminaires. Mais il fallait aussi laisser à la disposition de ces centres tout le matériel didactique utilisé dans le programme afin qu'ils puissent reproduire facilement l'enseignement.

2.6. AIDE À LA CONSTITUTION DES RÉSEAUX LOCAUX DE RECHERCHE

Il paraissait enfin nécessaire de consolider l'autonomie de la recherche locale en sciences humaines, en facilitant la structuration en réseau des centres latino-américains et européens.

L'isolement des chercheurs et des équipes locales de recherche est, probablement, le principal facteur de blocage qui empêche la maturation des communautés scientifiques latino-américaines. Non seulement elles ont un accès très difficile à la documentation scientifique, mais en outre elles n'ont pratiquement pas l'occasion de développer des recherches interdisciplinaires et encore moins de confronter l'expérience et les travaux des équipes qui poursuivent des recherches semblables.

Pour contrecarrer cette situation, nous avons voulu organiser chaque séminaire en regroupant un large éventail transdisciplinaire de chercheurs de chaque pays et des différents pays concernés. Ce faisant, la formation devenait aussi l'occasion de créer des contacts entre équipes de recherche, ce qui pouvait engendrer l'embryon d'un futur réseau de centres latino-américains et européens.

Dans les paragraphes suivants, nous nous proposons de montrer, à travers différentes dimensions de l'impact du programme, le degré de réalisation de ces objectifs durant les années d'application du programme de coopération.

3. Le niveau de réalisation des objectifs du programme

3.1. IMPACT DIRECT DU PROGRAMME

3.1.1. *Au niveau latino-américain*

3.1.1.1. En matière de formation des chercheurs latino-américains

Durant les six années couvertes par les deux phases du programme, près de 250 chercheurs latino-américains ont bénéficié de la formation réalisée par le L.M.T.D. En outre, une quinzaine de chercheurs latino-américains ont suivi des stages de perfectionnement en Belgique. Enfin, le L.M.T.D. a assuré la «guidance» d'une trentaine d'équipes locales, ce qui représente un apport considérable d'assistance aux travaux de recherche et de formation continue.

Mais cette évaluation de l'impact formateur direct du programme est encore incomplète. Il faut aussi considérer que, dans chaque pays, nous avons sélectionné une équipe de recherche vis-à-vis de laquelle nous avons mené une démarche de formation spécifique afin que ces chercheurs puissent, à l'avenir, assumer une fonction de «groupe de référence» et de diffusion des connaissances transmises.

Cette action spécifique de «formation des formateurs» devait être mentionnée ici, bien que ses «effets» seront présentés lorsque nous traiterons plus loin de l'impact indirect du programme.

3.1.1.2. En matière de production scientifique

L'enseignement s'est appuyé sur des syllabus de référence qui traitaient des différents aspects méthodologiques et techniques exposés dans les cours. La plupart de ces documents constituaient la seule documentation scientifique de référence disponible, en espagnol, en Amérique latine.

Ces syllabus ont été largement diffusés, non seulement parmi les participants aux cours, mais aussi dans des centres de recherche et des universités qui, faute de place suffisante, ne pouvaient envoyer des chercheurs pour participer aux ateliers de formation.

L'intérêt éveillé par cette documentation est grande. Une université sud-américaine envisage, actuellement, de publier une partie de ces documents pédagogiques afin de faciliter leur diffusion en Amérique latine. En outre, nombreuses sont les publications scientifiques (articles, ouvrages, présentations à des colloques scientifiques) faites par des participants aux ateliers de formation utilisant les techniques et méthodes enseignées et qui font référence explicite aux enseignements suivis.

Il est difficile de recenser systématiquement la production scientifique locale induite par le programme. Nous ne disposons que d'indications partielles qui nous ont été aimablement communiquées par leurs auteurs. Aussi, pour ne pas donner une image trop partielle de cette dimension de l'impact de la formation, nous préférons ne pas détailler ces renseignements.

Enfin, l'évaluation de la production scientifique induite par ce programme ne serait pas complète si l'on ne prenait pas en compte son impact au niveau de la réalisation des projets de recherche locaux.

Les ateliers de formation ont été conçus de manière telle que les participants pouvaient réaliser les travaux d'application des matières enseignées sur leurs propres données de recherche et avec l'assistance de l'équipe enseignante. Ainsi, les huit ateliers de formation réalisés ont permis d'aborder des problèmes très divers dans les domaines suivants : démographie historique, épidémiologie, études sur la pauvreté, économie rurale, urbanisme, sociologie politique, etc.

Ce travail d'assistance et d'orientation des recherches locales s'est poursuivi, en dehors des périodes effectives des ateliers, par des contacts directs avec l'équipe des chercheurs du L.M.T.D. ou encore grâce à la collaboration de chercheurs des centres locaux de référence formés par le programme.

En outre, les stages au L.M.T.D. ont permis la réalisation de recherches conduites conjointement par des chercheurs latino-américains et des chercheurs de cette équipe dans les domaines de la lexicométrie politique, de l'urbanisme, de la sociologie de l'éducation, de la sociologie politique et de la santé publique.

3.1.1.3. En matière de diffusion des connaissances scientifiques

Comme indiqué antérieurement, la revue *Methodologica* commence à jouer son rôle en tant que vecteur de communication entre les chercheurs latino-américains et européens.

Les ateliers de formation ont permis de diffuser largement une bibliographie scientifique de référence, fondamentalement d'origine européenne, très peu connue en Amérique latine.

Les centres d'accueil des ateliers ont reçu des exemplaires des principaux ouvrages scientifiques de référence.

Le programme a donc fait en sorte qu'il puisse combler, autant que possible, les carences locales en matière de documentation scientifique.

3.1.1.4. En matière d'équipement informatique

La mise en œuvre d'un ensemble de logiciels par des chercheurs peu initiés au maniement des systèmes informatiques a nécessité que l'on donne priorité :

- À une sélection rigoureuse des programmes d'application existants en fonction des critères pédagogiques et techniques ;
- À une « initiation à l'informatique » des chercheurs directement axée sur l'emploi des logiciels d'application existants et (mal) connus, ainsi que d'autres plus récents ;
- Au développement des interfaces qui facilitent l'emploi des différents logiciels d'application complémentaires, sur une même matrice de données, ou encore, à l'extension de certaines routines des programmes existants afin d'améliorer leur interactivité ou la transportabilité des programmes.

Aussi, en matière de logiciels d'application statistique, nous pouvons résumer les acquis du programme en quatre points :

- Le programme a permis aux participants d'atteindre une meilleure connaissance et une maîtrise des logiciels d'application existants (tableurs, logiciels de gestion des fichiers, logiciels statistiques, graphiques,...) ;
- Le programme a facilité la diffusion en Amérique latine des logiciels d'application, créés par des laboratoires universitaires européens, et très peu connus des chercheurs locaux ;
- Le programme a permis de réaliser la sélection, l'adaptation et même la correction, d'un ensemble des logiciels qui, malgré la disparité de l'équipement disponible, permet aux chercheurs locaux de mener leurs travaux de manière autonome ;
- À partir de l'expérience acquise tant au niveau de l'enseignement que dans le développement d'un prototype, le programme a permis que le L.M.T.D. développe le «cahier de charges» d'un logiciel spécifique d'applications statistiques en sciences humaines, logiciel dont il poursuit la réalisation.

3.1.1.5. En matière de contacts entre les centres de recherche

La manière d'organiser l'enseignement et le choix des participants aux ateliers ont permis de centrer toute l'activité pédagogique réalisée durant ce programme autour d'une approche concrète de l'interdisciplinarité des recherches en sciences humaines.

Cette démarche s'est avérée très riche du point de vue des contacts qui se sont créés entre chercheurs et entre laboratoires de recherche. Au sein des ateliers, l'équipe enseignante a veillé à réunir en un même groupe de travail des chercheurs de laboratoires différents, qui étudiaient des problèmes complémentaires (voire similaires). En outre, les groupes devaient exposer en séminaire les travaux réalisés durant les ateliers. Tout cela a permis d'enrichir les apports méthodologiques de l'équipe enseignante grâce aux différentes perspectives données aux problèmes de recherche par les spécialistes locaux.

Le style de travail d'assistance-formation s'est maintenu bien au-delà de la seule présence sur place de l'équipe des formateurs. Comme nous le verrons ultérieurement, cette méthode a non seulement multiplié la diffusion des enseignements, mais elle a surtout permis de redéfinir les modes de collaboration, dans une thématique donnée de recherche, entre centres d'une même université ou d'universités différentes.

3.1.2. Au niveau européen

L'équipe de formateurs était composée essentiellement de scientifiques provenant de Belgique, de France et d'Espagne. La collaboration européenne existe depuis longtemps. Elle se consolide chaque jour. Il était donc aisé de constituer un noyau basé sur des personnes ayant une expérience spécifique dans l'une des trois disciplines qui sous-tendent le projet. La difficulté résultait

surtout dans le choix des individus de façon à assurer la complémentarité indispensable à la construction d'un tout homogène. L'élaboration de l'équipe de formation devrait se prolonger sur des objectifs plus globaux destinés à mieux satisfaire les besoins, tant au niveau européen qu'à celui des pays du Tiers Monde.

3.2. IMPACT INDIRECT DU PROGRAMME

3.2.1. *Au niveau latino-américain*

3.2.1.1. En matière de formation

L'impact indirect du programme, en matière de formation dans le domaine des méthodes de traitement des données socio-économiques s'est manifesté à deux niveaux : le premier concerne la formation des chercheurs, le second, celle des étudiants en sciences humaines.

Au niveau de la formation des chercheurs, l'équipe enseignante a veillé à laisser à la disposition des groupes de référence tout le matériel didactique utilisé dans les ateliers. Ils ont pu ainsi reproduire l'enseignement reçu, rencontrant par là même une demande locale non satisfaite par le programme, car le nombre de participants susceptibles d'être retenus était toujours inférieur à celui des candidatures admissibles.

Par ailleurs, parmi les participants aux ateliers, se trouvaient des enseignants de méthodologie et de statistique des facultés des sciences humaines de différentes universités. La formation qu'ils ont suivie les a conduits, non seulement à modifier leur pratique de recherche, mais aussi à reformuler profondément les contenus et modalités de leur propre enseignement universitaire. C'est ainsi que des étudiants en sciences humaines de différentes universités latino-américaines reçoivent actuellement un enseignement de méthodologie et de statistique mieux approprié à leur future pratique professionnelle.

3.2.1.2. En matière de production et de diffusion des connaissances scientifiques

Les effets indirects du programme, en matière de production et de diffusion des connaissances scientifiques, ont été de deux ordres.

D'une part, le programme a permis de faire connaître une approche méthodologique des sciences humaines qui, inscrite dans une tradition scientifique européenne, était mal connue en Amérique latine, ce qui a permis de jeter les bases d'un réseau local de diffusion de la production scientifique européenne.

En outre, en montrant les complémentarités et les différences par rapport à l'approche des mêmes problèmes dans la tradition scientifique américaine, le programme a permis de rétablir un certain équilibre, dans ce domaine,

par rapport à l'influence prédominante de l'école nord-américaine en Amérique latine. Et le fait d'enrichir le cadre de référence des chercheurs locaux ne peut avoir qu'un effet bénéfique sur la production et la diffusion locales des connaissances scientifiques.

Par ailleurs, le programme a créé des conditions favorables à une certaine émulation entre les équipes de recherche. En effet, au moment de la préparation du programme, nous faisons l'hypothèse que la production et la diffusion des connaissances scientifiques en Amérique latine ne pouvaient être améliorées par une action de coopération que lorsque celle-ci intéressait, simultanément, un nombre suffisant (une masse critique) de chercheurs et qu'il devait se produire alors un effet d'émulation qui alimenterait une dynamique de changement très étendue. C'est effectivement ce qui commence à se produire comme conséquence indirecte, et voulue, du programme.

Nous avons vu que dans chaque pays, des rapports de recherche, des articles scientifiques ou des présentations lors de congrès scientifiques ont été réalisés en bénéficiant des méthodes enseignées dans les ateliers. Le fait que cette production «originale» soit due à une masse critique de participants, a permis qu'elle soit connue rapidement d'un grand nombre d'équipes de recherche et qu'elle ait la force suffisante pour faire valoir de nouvelles approches dans la production scientifique. Ainsi se sont créées, comme prévu, les conditions qui rendent possible l'émulation entre les équipes.

Si cette dynamique est soutenue, elle conduira, à terme, à une amélioration conséquente des modalités de travail de ces équipes locales de recherche.

3.2.1.3. En matière d'organisation de la recherche

La méthode de formation adoptée ne pouvait pas manquer d'avoir des effets institutionnels indirects. Nous avons pu constater que de nombreux centres de recherche locaux avaient avantageusement modifié non seulement leurs choix en matière d'équipements et de logiciels, mais aussi l'organisation même des circuits de production des données d'enquêtes.

Ces équipes commencent à organiser les processus d'observation des phénomènes sociaux suivant une perspective d'intégration et de complémentarité des connaissances techniques et fondamentales qui doivent y concourir. La classique (et néfaste) division du travail qui régnait entre l'information, le statisticien et le chercheur en sciences humaines est en voie d'être dépassée dans de nombreux cas et ce, au bénéfice d'une meilleure intégration d'experts dans ces disciplines complémentaires, au sein d'un processus unitaire et interdisciplinaire de production des connaissances. Cet impact institutionnel de la formation dispensée dans le programme traduit une exigence de qualité dans le travail de recherche qui s'est enracinée parmi les participants aux ateliers de formation, ce qui aura, à terme, des effets multiples.

Ces critères de qualité du travail de recherche prennent tout d'abord en compte la notion de «qualité des données». Mais la production des «bonnes»

données nécessite la révision critique de toutes les étapes de production au sein des processus d'observation.

Mais cette exigence de qualité va au-delà des limites institutionnelles des équipes de recherche. Elle pose aussi le problème important de l'articulation des recherches dans la réalité sociale. Ainsi, par exemple, nous assistons actuellement au développement d'un courant d'opinion, animé par les participants aux ateliers, orienté vers la nécessité de mettre en place, dans chaque pays, un organisme chargé du contrôle déontologique de la pratique d'enquêtes sociales.

Il s'est donc produit une prise de conscience, de la nécessité d'auto-discipliner une telle pratique scientifique, car la qualité du travail des chercheurs passe aussi par le respect des libertés des citoyens.

3.2.2. *Au niveau européen*

L'expérience de coopération interuniversitaire avec l'Amérique latine montre, tout d'abord, l'intérêt d'assumer ces actions avec des équipes constituées grâce à la complémentarité (en taille et en orientations) existant entre les laboratoires universitaires européens.

Mais cette expérience a permis aussi de démontrer l'intérêt de l'approche spécifiquement européenne des problèmes d'application de méthodes statistiques dans les sciences humaines.

Les membres de l'équipe enseignante ont dû « guider » un grand nombre de recherches locales portant sur des réalités très variées et peu connues d'eux. Pour mener à bien cette tâche, ils devaient mettre en œuvre une approche exploratoire des données d'observation. Ils montraient ainsi la voie à suivre dans le traitement des données, tout comme ils démontraient la richesse heuristique des méthodes enseignées.

Dans ce contexte, la démarche descriptive et interprétative devenait nécessairement prédominante. La stratégie de modélisation et de confirmation du modèle, caractéristique de la tradition anglo-saxonne, était dès lors présentée comme une phase ultérieure et complémentaire de la recherche.

4. **Conclusions : perspectives de la coopération interuniversitaire**

Tentant de répondre aussi largement que possible aux attentes, le programme de coopération a satisfait certaines demandes et lancé un processus de transformation des pratiques de recherche. Mais il a aussi produit bon nombre d'expectatives ...

Il a, en outre, montré une forme de coopération scientifique européenne avec l'Amérique latine assez inattendue. L'Europe, toujours présente dans l'horizon culturel des universitaires latino-américains, s'était cependant trouvée effacée, devant l'emprise américaine, comme référence dans leur pratique professionnelle. L'initiative de coopération a fait connaître une tradition

scientifique européenne ; elle a aussi permis de concrétiser l'intérêt que porte la communauté scientifique européenne au développement social, économique et culturel de l'Amérique latine.

Au vu de l'expérience discutée dans cet article, la coopération future devrait maintenir une stratégie de formation orientée vers une large couverture des besoins des communautés scientifiques locales en s'appuyant sur :

a) L'emploi aussi large que possible des ressources humaines locales dans la formation, à côté de l'intégration des enseignants européens aux cycles de formation permettant de couvrir des domaines dont l'expérience et les connaissances font localement défaut ;

b) Le maintien d'une approche interdisciplinaire de la recherche et de la formation des chercheurs ;

c) Une plus large intégration horizontale des équipes locales de recherche et une meilleure coordination avec les réseaux des laboratoires européens ;

d) L'amélioration des circuits de diffusion des connaissances scientifiques.

BIBLIOGRAPHIE

- AGRESTI, A. & AGRESTI, B. F. 1979. *Statistical methods for the social sciences*. — Dellen, San Francisco.
- BOUROCHE, J. M. & SAPORTA, G. 1989. *L'analyse des données*, 4^o édition. — Presses Universitaires de France, Collection Que sais-je ?, n^o 1854, Paris.
- CIBOIS, Ph. 1991. *L'analyse factorielle*. — Presses Universitaires de France, Collection Que sais-je ? n^o 2095, Paris, 3^e édition.
- CRIVISQUI, E. 1990. *Análisis de tablas de contingencia*. — Presentación del análisis factorial de correspondencia. — Publication du Laboratoire de Méthodologie du Traitement des Données, Université Libre de Bruxelles, Bruxelles.
- CRIVISQUI, E. 1990. *Elaboración y tratamiento de datos de investigación en ciencias sociales*. — Publication du Laboratoire de Méthodologie du Traitement des Données, Université Libre de Bruxelles, Bruxelles.
- CRIVISQUI, E. 1992. *L'outil statistique dans la transformation des structures sanitaires*. — *Rev. intern. Sc. sociales* (U.N.E.S.C.O., Paris) (sous presse).
- DROESBEKE, J. J. 1988. *Éléments de statistique*. — Édition de l'Université Libre de Bruxelles, Collection Statistique et Mathématiques appliquées, Bruxelles.
- ERICKSON, B. H. & NOSACHUNK, T. A. 1979. *Understanding data : an introduction to exploratory and confirmatory data analysis for students in the social sciences*. — The Open University Press, Milton Keynes.
- ESCORFIER, B. & PAGES, J. 1990. *Analyses factorielles simples et multiples — Objectifs, méthodes et interprétation*. — Dunod, Paris, 2^e édition.
- LEBART, L., MORINEAU, A. & FENELON, J. P. 1979. *Traitement des données statistiques*. — Dunod, Paris.
- TUKEY, J.W. 1977. *Exploratory Data Analysis*. — Addison-Wesley, Reading, Massachusetts.
- YEOMANS, K. A. 1968. *Statistics for the social scientist*, 2 vol. — Penguin, Harmondsworth.

TABLE DES MATIÈRES — INHOUDSTAFEL

Séance plénière du 23 octobre 1991
Plenaire zitting van 23 oktober 1991

Procès-verbal de la séance/Notulen van de zitting	516 ; 517
Liste de présence des membres de l'Académie/Aanwezigheidslijst van de leden van de Academie	518 ; 519
J.-J. SYMOENS. — Rapport sur les activités de l'Académie (1990-1991)/Verslag over de werkzaamheden van de Academie (1990-1991)	521
P. BOUVIER. — Aux sources du pouvoir africain	529
P. VAN DER VEKEN. — Behoud van de biodiversiteit : Onze opdracht	543

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

Séance du 19 novembre 1991/Zitting van 19 november 1991	556 ; 557
H. L. WESSELING. — De overzeese geschiedenis in Nederland na de Tweede Wereldoorlog : Historische achtergronden, moderne ontwikkelingen, hedendaagse situatie	563
Séance du 10 décembre 1991/Zitting van 10 december 1991	586 ; 587
M. ENGELBORGH-S-BERTELS. — Le cinquantième anniversaire de Pearl Harbour	589

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

Séance du 26 novembre 1991/Zitting van 26 november 1991	610 ; 611
A. S. MULLER. — The control of river blindness in West Africa. The role of the Onchocerciasis Control Programme and the endemic countries	619
Séance du 17 décembre 1991/Zitting van 17 december 1991	628 ; 629
M.-C. HENRY, K. MAERTENS & P. G. JANSSENS. — Jean Hisette : Profil d'un ophtalmologue tropical. La voie de la découverte de l'onchocercose oculaire africaine	633
H. NICOLAI. — Présentation du livre de P. Gourou : L'Afrique tropicale. Nain ou géant agricole ?	645
M. B. VRAY. — Les interactions entre macrophages et <i>Trypanosoma cruzi</i>	649
E. COPPEJANS & W. F. PRUD'HOMME VAN REINE. — Seaweeds of the Snellius-II Expedition (E. Indonesia) : The genus <i>Caulerpa</i> (Chlorophyta-Caulerpales)	667

Classe des Sciences techniques
Klasse voor Technische Wetenschappen

Séance du 22 novembre 1991/Zitting van 22 november 1991	714 ; 715
W. VAN IMPE. — Landvallen in loopkleien	719
J. DEBEVERE. — Kwaliteit en houdbaarheid van tropische garnalen (<i>Penaeus</i> spp.)	755
Séance du 20 décembre 1991/Zitting van 20 december 1991	768 ; 769
E. CRIVISQUI & J.-J. DROESBEKE. — De la méthodologie des données socio-économiques en Amérique latine	773

CONTENTS

Plenary Meeting held on 23 October 1991

Minutes of the Plenary Meeting	516
Presence list of the members of the Academy	518
J.-J. SYMOENS. — Report on the activities of the Academy (1990-1991)	521
P. BOUVIER. — On the sources of African power	529
P. VAN DER VEKEN. — The preservation of biodiversity : Our mission	543

Section of Moral and Political Sciences

Meeting held on 19 November 1991	556
H. L. WESSELING. — The overseas history in the Netherlands after World War II : Historical backgrounds, modern developments, present situation	563
Meeting held on 10 December 1991	586
M. ENGELBORGH-S-BERTELS. — The fiftieth anniversary of Pearl Harbour	589

Section of Natural and Medical Sciences

Meeting held on 26 November 1991	610
A. S. MULLER. — The control of river blindness in West Africa. The role of the Onchocerciasis Control Programme and the endemic countries	619
Meeting held on 17 December 1991	628
M.-C. HENRY, K. MAERTENS & P. G. JANSSENS. — Jean Hisette : Profile of a tropical ophthalmologist. How the African ocular onchocerciasis was dis- covered	633
H. NICOLAI. — Presentation of P. Gourou's book : «L'Afrique tropicale. Nain ou géant agricole »?	645
M. B. VRAY. — The interactions between macrophages and <i>Trypanosoma cruzi</i> ...	649
E. COPPEJANS & W. F. PRUD'HOMME VAN REINE. — Seaweeds of the Snellius-II Expedition (E. Indonesia) : The genus <i>Caulerpa</i> (Chlorophyta-Caulerpaceles)	667

Section of Technical Sciences

Meeting held on 22 November 1991	714
W. VAN IMPE. — Landslides in quick clays	719
J. DEBEVERE. — Quality and preservation of tropical shrimps (<i>Penaeus</i> spp.).....	755
Meeting held on 20 December 1991	768
E. CRIVISQUI & J.-J. DROESBEKE. — On the methodology of processing socio- economic data in Latin America	773