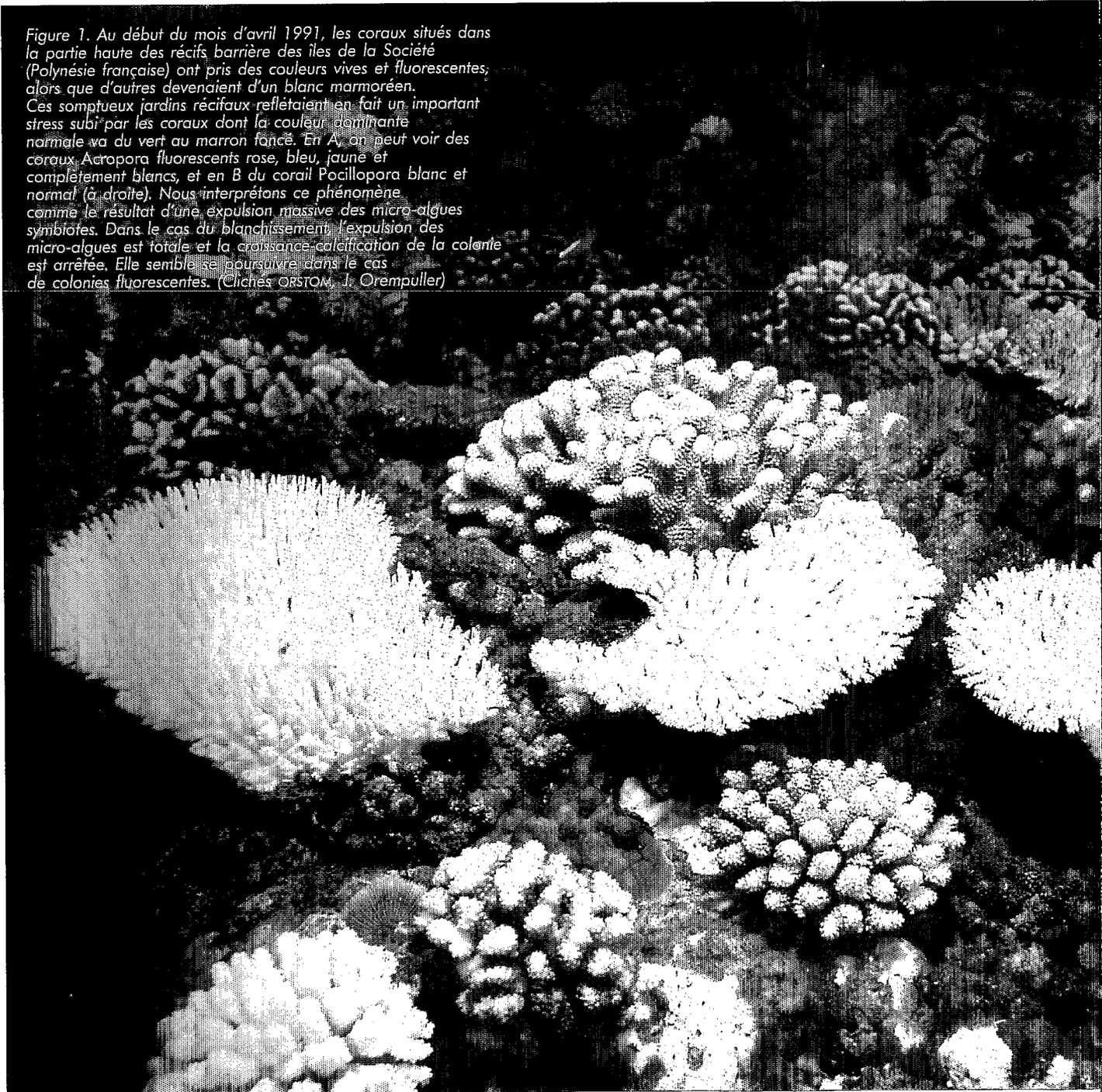
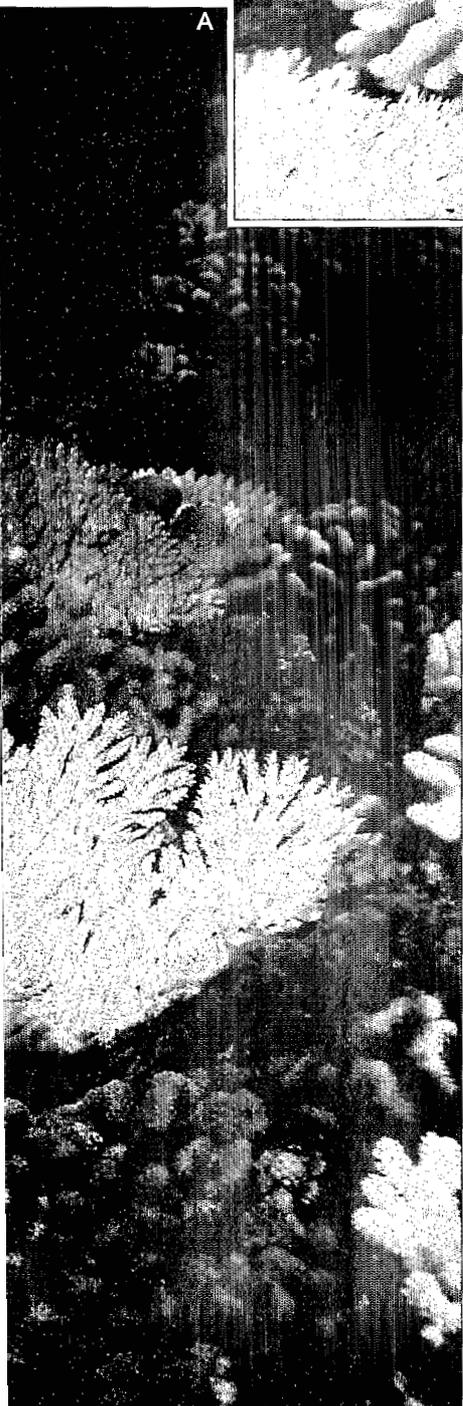
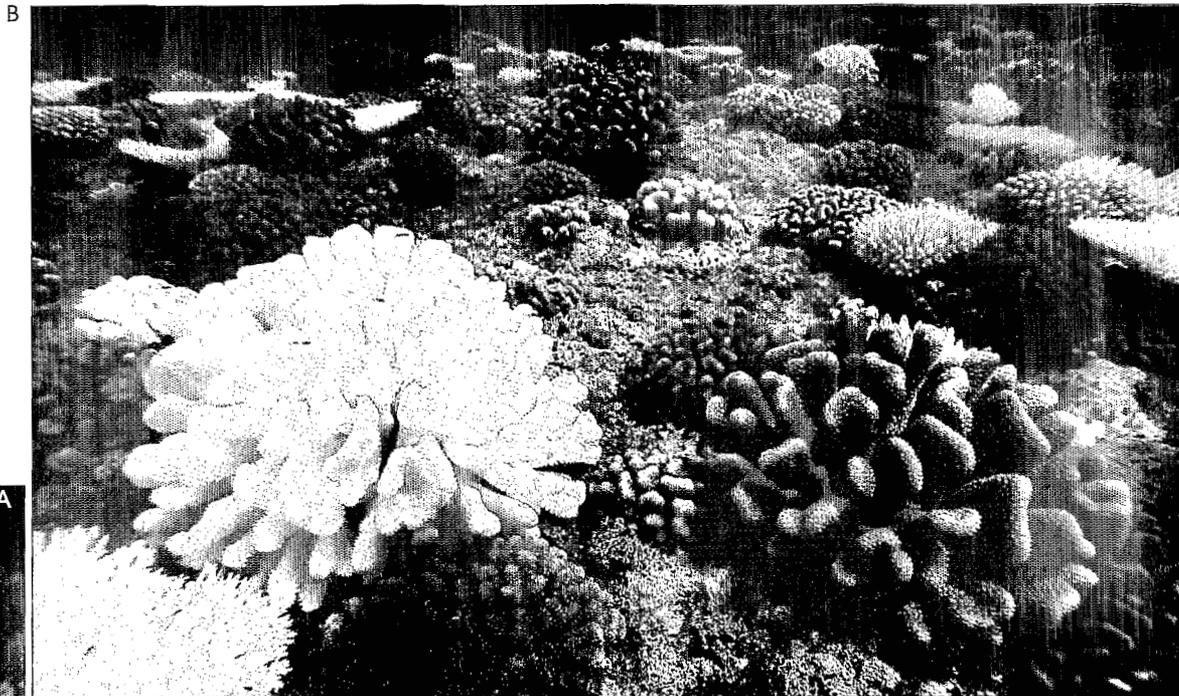


LA "MORT BLANCHE" DES CORAUX

Figure 1. Au début du mois d'avril 1991, les coraux situés dans la partie haute des récifs barrière des îles de la Société (Polynésie française) ont pris des couleurs vives et fluorescentes, alors que d'autres devenaient d'un blanc marmoréen. Ces somptueux jardins récifaux reflétaient en fait un important stress subi par les coraux dont la couleur dominante normale va du vert au marron foncé. En A, on peut voir des coraux *Acropora* fluorescents rose, bleu, jauné et complètement blancs, et en B du corail *Pocillopora* blanc et normal (à droite). Nous interprétons ce phénomène comme le résultat d'une expulsion massive des micro-algues symbiotiques. Dans le cas du blanchissement, l'expulsion des micro-algues est totale et la croissance-calécification de la colonie est arrêtée. Elle semble se poursuivre dans le cas de colonies fluorescentes. (Clichés ORSTOM, J. Orempuller)





FRANCIS ROUGERIE, BERNARD SALVAT ET MIRI TATARATA-COURAUD

IL Y A PLUS D'UN AN, UN ÉTRANGE PHÉNOMÈNE FUT OBSERVÉ PAR LES PÊCHEURS ET LES PLONGEURS POLYNÉSIENS : LES CORAUX ONT SEMBLÉ « FLEURIR » EN DE SOMPTUEUX JARDINS SOUS-MARINS FLUORESCENTS. EN FAIT, CE SPECTACLE MAGIQUE ÉTAIT LE SIGNE D'UNE ATTEINTE MORTELLE DE L'ÉCOSYSTÈME RÉCIFAL. CETTE HÉCATOMBE EST-ELLE EXPLICABLE ? EST-CE LE DÉBUT D'UNE MORT ANNONCÉE ? LES AUTEURS DE CET ARTICLE NOUS DÉVOIENT COMMENT LE DIVORCE ENTRE LES POLYPES ET LES MICRO-ALGUES DES CORAUX CONSTRUCTEURS DE RÉCIFS EXPLIQUE LA DÉPIMENTATION OBSERVÉE. A L'ORIGINE DE LA « MORT BLANCHE », PLUSIEURS HYPOTHÈSES EN COURS DE VÉRIFICATION : UN COUP DE CHALEUR DE L'OcéAN TROPICAL EN LIAISON AVEC UNE ACCENTUATION DE L'EFFET DE SERRE, UNE OVERDOSE DE RAYONS UV LIÉE À L'AMINCISSEMENT DE LA COUCHE D'OZONE, UNE CARENCE EN SELS NUTRITIFS, DES MALADIES D'ORIGINE PATHOGÈNE OU UNE INTOXICATION PAR L'OXYGÈNE. QUELLE QUE SOIT LA VÉRITABLE CAUSE, LES MENACES POUR L'ÉCOSYSTÈME ALGO-CORALLIEN SONT SÉRIEUSES ET POURRAIENT BIEN ÊTRE EN LIAISON AVEC LES ACTIVITÉS HUMAINES. ASSISTONS-NOUS À UN VÉRITABLE ÉCO-GÉNOCIDE ?

-8 FEVR. 1993

ORSTOM Fonds Documentaire

N° 36710, ex 1

Cote B

FRANCIS ROUGERIE est directeur de recherche et océanographe tropicaliste. Il « ausculte » depuis vingt-quatre ans l'océan Pacifique sud à partir des centres ORSTOM de Nouvelle-Calédonie puis de Tahiti. Il est co-auteur du concept d'endo-upwelling géothermique. **BERNARD SALVAT** est professeur et directeur à l'École pratique des hautes études. Il anime une équipe de recherches associée au CNRS (URA 1453, Sciences de la vie). Organisateur du cinquième congrès sur les récifs coralliens tenu à Tahiti en 1985, il est président de l'International Society for Reefs Studies (ISRS). **MIRI TATARATA-COURAUD** anime au sein de la délégation polynésienne à l'environnement un réseau de surveillance des récifs et des lagons de l'île de Tahiti.

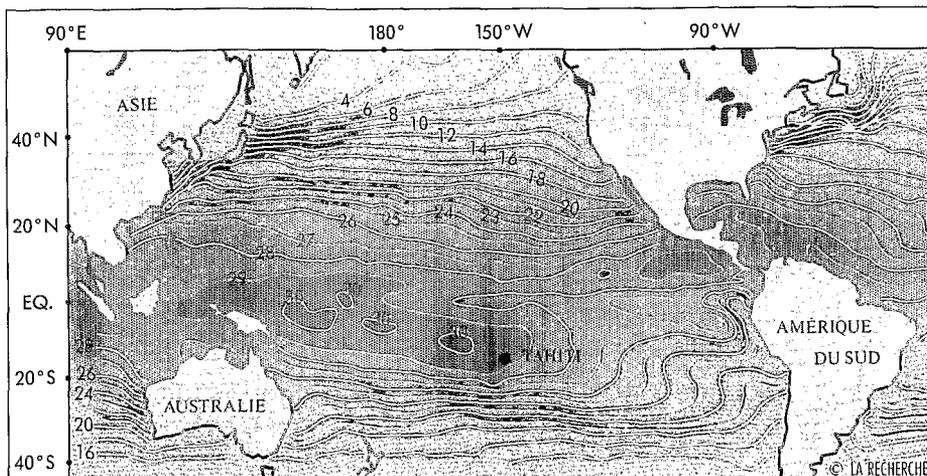


Figure 2. La température des eaux océaniques semble un facteur important dans le phénomène de « mort blanche » des coraux. Cette carte des températures de surface de l'océan Pacifique en avril 1991 (en degrés Celsius) montre une anomalie de température des eaux de surface. La nappe d'eau chaude (30°C) présente dans le Pacifique ouest équatorial est anormalement étirée vers la Polynésie, y créant une anomalie thermique de +1 à 2°C sur 100 mètres d'épaisseur. Cette anomalie de température est un prélude au phénomène océanique périodique bien connu : El Niño, comme cela fut le cas lors des événements des années 1983-1984 et 1987 pendant lesquels des blanchissements massifs furent notés aux Caraïbes et dans le Pacifique. (D'après Climate diagnostics Bulletin (15)).

Un phénomène brutal et inopiné de blanchissement des coraux des récifs barrières des îles de la Société (Polynésie française) a été observé à partir du mois d'avril 1991 : en un court laps de temps allant de quelques jours à quelques semaines la plupart des colonies coralliennes présentes sur la partie haute des récifs barrières, côté océan, ont pris des couleurs plus vives qu'à l'accoutumée allant du bleu lumineux, rose pastel, jaune orange fluorescent jusqu'au blanc marmoré. Ainsi que l'ont spontanément exprimé de nombreux plongeurs et pêcheurs polynésiens les coraux ont semblé « fleurir » en de somptueux jardins sous-marins, baignés par l'eau transparente de l'océan tropical (fig. 1).

Début mai 1991, l'étude de ce phénomène visuellement très beau, mais fort inquiétant sur l'état de santé des coraux, montrait son extension aussi bien vers les coraux les plus profonds de la pente externe des récifs barrières (60 mètres) que vers les pâtés coralliens des lagons. Des relevés quantitatifs étaient établis par l'équipe du programme Agencement temporel des populations et des peuplements (EPHE-CNRS), dont le programme est de suivre dans le temps les peuplements coralliens du récif barrière de l'île de Moorea (voir l'encadré 2), et un suivi photographique était assuré par l'ORSTOM (équipe endo-upwelling) sur les récifs de Tahiti. Dans le même temps une évaluation, coordonnée par la délégation polynésienne à l'environnement avec l'aide de plongeurs, de la presse locale et de la télévision (station RFO), révélait que les 400 kilomètres de récifs barrières entourant les huit îles hautes et les deux atolls de l'archipel de la Société étaient touchés. Des plongées sur les pentes externes des récifs et dans les lagons des îles de Tahiti, Moorea, Bora-Bora et de Huahine confirmaient la gravité du phénomène : en mai et juin, entre le haut du récif où déferlent

les vagues océaniques et une profondeur de 15 mètres, 50 % des coraux en place étaient soit fortement colorés, fluorescents ou totalement blancs alors que leur couleur normale est à dominante vert-marron. Pour certains genres comme les coraux branchus *Acropora* qui représentent 25 % du peuplement corallien, 90 % des colonies étaient touchées. Les coraux choux-fleurs *Pocillopora*, qui représentent 50 % du substrat corallien, avaient 25 % de colonies blanches et 10 % déjà mortes. L'évaluation de la mortalité ne peut être instantanée et n'intervient que lorsque des algues filamenteuses brunes apparaissent sur le corail blanchi : le constat de décès n'est donc possible que plusieurs semaines après la mort réelle d'une colonie.

À L'ORIGINE DU BLANCHISSEMENT DES CORaux : L'EXPULSION DES MICRO-ALGUES VIVANT EN SYMBIOSE AVEC LEUR HÔTE CORALLIEN

Les deux autres genres abondants sur ces récifs barrières étaient diversement touchés : 74 % pour les *Montipora* et 44 % pour les *Porites* massifs. Dans le même temps, des éponges recroquevillées et des anémones totalement blanches et donc également de couleur inhabituelle, témoignaient du profond stress subi par l'écosystème récifal et lagunaire.

Quelques mois après l'apparition du phénomène de fluorescence-blanchissement, le constat d'une mortalité significative des colonies coralliennes était donc établi ; restait à en découvrir la ou les causes, problème difficile et seulement partiellement résolu, mais dont on pense que la clef se trouve dans

le métabolisme des algues symbiotes de ces coraux.

On sait depuis un demi-siècle que les coraux hermatypiques tropicaux, c'est-à-dire constructeurs de récifs épais, ont pour caractéristique essentielle d'abriter dans leurs tissus organiques des micro-algues appelées zooxanthelles : ces zooxanthelles vivent en symbiose avec leur hôte corallien avec une densité d'un à plusieurs millions par centimètre carré de polype. Celui-ci a un aspect de petite anémone à six (ou douze) tentacules, qui peut se rétracter aisément à l'intérieur des calices du squelette calcaire fabriqué par lui-même et la colonie à laquelle il appartient⁽¹⁾.

Un récif corallien tropical est donc avant tout une association symbiotique très performante entre un animal et des micro-algues monocellulaires. Depuis le Français J.A. Peyssonnel au XVIII^e siècle⁽²⁾ et après une polémique de près de deux siècles sur la nature végétale ou animale des coraux, on reconnaît actuellement que ceux-ci sont essentiellement autotrophes, c'est-à-dire qu'ils synthétisent de la matière organique à partir des sels nutritifs inorganiques dissous (phosphates, nitrates, CO₂). L'activité autotrophe de ces zooxanthelles est essentielle pour la réussite de l'association, mais nécessaire, comme toute photosynthèse réalisée par les algues ou les végétaux terrestres, de l'énergie lumineuse et des sels nutritifs. Une colonie corallienne peut également compléter ses besoins nutritifs grâce à la capture de proies planctoniques ; toutefois les grands courants océaniques tropicaux, comme celui qui baigne la Polynésie, sont réputés pour la clarté de leurs eaux (le grand bleu outre-mer) et la densité du plancton y est très faible, de même que les teneurs en sels nutritifs. Ce paradoxe entre la formidable productivité des écosystèmes algo-coralliens, qui les place tout en haut du classement planétaire (fixation > 1 kg de carbone/m²/

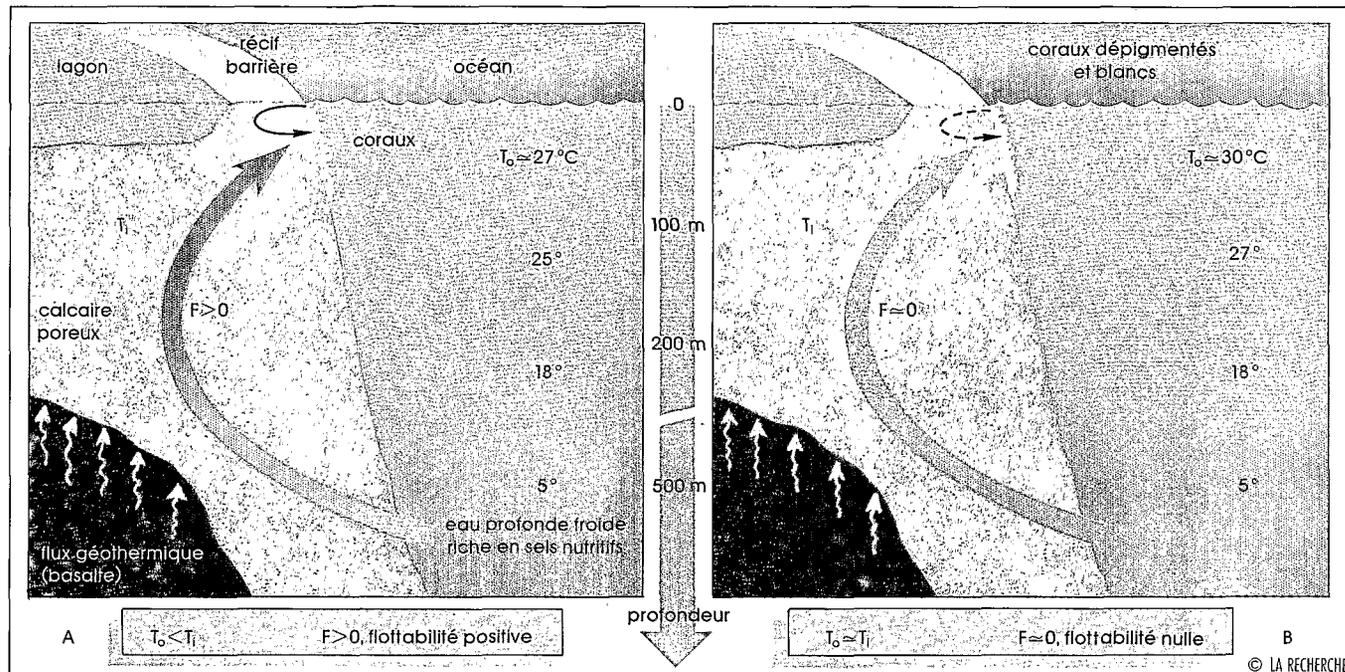
an), et la pauvreté des déserts océaniques qui les entourent (fixation < 50 g de carbone/m²/an) a fait l'objet de nombreuses recherches et suscité l'émergence récente d'un modèle de fonctionnement par remontée d'eaux profondes océaniques par convection thermique interne ou « endo-upwelling géothermique »⁽³⁾ (voir « Les atolls oasis » dans *La Recherche* de juillet-août 1990). Ce modèle, en bonne voie de vérification, constitue une solution aussi bien nécessaire que suffisante à la très large gamme des problèmes posés par ces écosystèmes algo-coralliens dont la connaissance est encore bien imparfaite.

Les éléments nutritifs nécessaires à la

d'autre part, elles contribuent à l'édification du squelette calcaire du corail, la calcification étant deux à cinq fois plus rapide à la lumière qu'à l'obscurité.

Dans une colonie corallienne en bonne santé, la densité de zooxanthelles peut doubler tous les dix jours, ce qui excède largement le taux de croissance des polypes : ceux-ci expulsent alors la fraction excédentaire au rythme de plusieurs millions de cellules/heure/m². Cette expulsion normale, ou perte, de zooxanthelles et de mucus est une véritable manne organique utilisable par tous les organismes hétérotrophes, du zooplancton jusqu'aux bivalves filtreurs (nacres notamment), et constitue le début de la chaîne alimentaire récifale. Ce

té anormale des eaux le long des pentes récifales, les scientifiques-plongeurs découvrirent un récif totalement blanc « comme s'il avait neigé par-dessus ». Ils réalisèrent alors que la turbidité observée auparavant était due à la brutale expulsion, par les colonies coralliennes, de la totalité des zooxanthelles et d'une importante quantité de mucus. Des plongées de nuit permirent de noter que les polypes coralliens étaient encore actifs mais étaient devenus totalement transparents. Ainsi, le fait qu'une colonie corallienne devienne blanche signifie que la quasi-totalité des zooxanthelles a été expulsée mais pas forcément que la colonie soit morte ; une recolonisation par des zooxan-



croissance des coraux peuvent ainsi provenir des riches eaux interstitielles « endo-upwellées » originaires de l'océan profond (500 m et plus), qui sourdent lentement dans le haut des récifs, ces derniers étant littéralement sous perfusion nutritive. C'est ainsi, qu'entourés par le désert océanique tropical, vivent et survivent les atolls oasis. Et de façon générale, les récifs barrières pourraient être considérés comme la manifestation biologique d'un hydrothermalisme de basse énergie, concept qui ouvre un large champ de recherches et, n'en doutons pas, une nouvelle et juteuse pomme de discorde pour les spécialistes...

Dans une colonie corallienne, le rôle des zooxanthelles symbiotes est à la fois fondamental et double : d'une part, elles fabriquent des glucides dont une fraction importante est directement fournie au polype par transfert interne ;

sont les zooxanthelles qui donnent, grâce à leurs pigments photosynthétiques, leur coloration aux coraux et autres animaux symbiotes (éponges, anémones, ascidies, bédouins). Aussi la relation semble directe entre le blanchissement ou dépigmentation des polypes, et une expulsion totale des micro-algues. Pour l'instant, on ne sait pas si les zooxanthelles ainsi expulsées massivement sont vivantes ou mortes, ni par quel mécanisme les polypes passent d'un régime normal d'expulsions à un régime exacerbé d'expulsions, qui les conduit rapidement au blanchissement total.

La perte massive des micro-algues a été observé *in situ* en 1987 par un couple de chercheurs américains, L. Bunkley-Williams et E.H. Williams (Department of Marine Sciences, Puerto Rico)⁽⁴⁾ sur un secteur récifal de Puerto Rico : après plusieurs jours d'une turbidi-

Figure 3. Il est possible que le phénomène d'endo-upwelling (remontée d'eaux profondes par convection thermique) puisse subir des fluctuations de régime et expliquer ainsi la dégénérescence des récifs. En situation normale (en A) la différence de température entre T_o (océan 0-100 mètres) et T_i (eau interstitielle) permet à la cellule de convection thermique (endo-upwelling) d'avoir une flottabilité positive et donc d'atteindre le haut du récif, fournissant à l'écosystème algo-corallien les sels nutritifs neufs indispensables à la croissance des micro-algues symbiotes. En situation anormalement chaude (en B) — au cours d'un événement El Niño, par exemple — l'excès de chaleur de l'océan fait que les températures des deux systèmes T_o et T_i sont voisines : la flottabilité positive de l'eau interstitielle tend à s'annuler, tarissant ainsi le flux de sels nutritifs ; cette carence entraînerait l'expulsion (ou la perte) des micro-algues symbiotes ; les polypes coralliens dépigmentés sont alors menacés de mourir d'épuisement, l'océan tropical étant très pauvre en plancton.

(1) Z. Dubinsky, *Ecosystem of the world*, 25, Coral Reefs, Elsevier, 1990.

(2) J.A. Peyssonel, *Traité sur le corail*, 1744.

(3) F. Rougerie et B. Wauthy, *Oceanologica Acta*, 9, 133, 1986.

(4) L. Bunkley-Williams et E.H. Williams, « Coral reef bleaching », in *Sea Frontiers*, 81, 1988.

(5) P.W. Glynn, *Environmental Conservation*, 10, 149, 1983.

(6) F. Rougerie et B. Wauthy, *Met Mar*, 121, 27, 1983.

(7) Cinquième congrès international sur les récifs coralliens, Tahiti, 6 volumes, 1985.

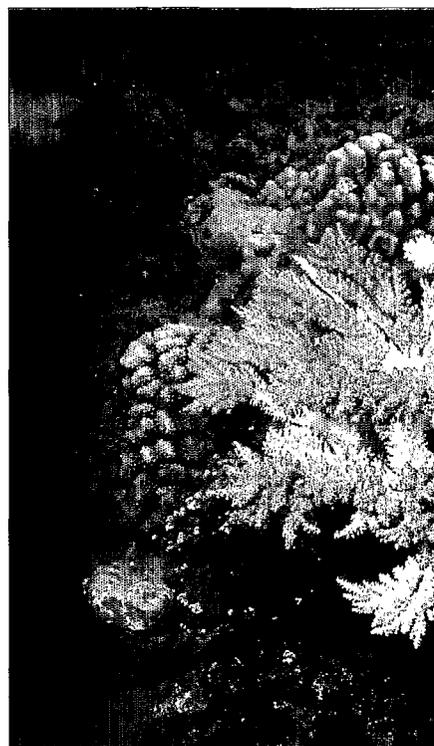
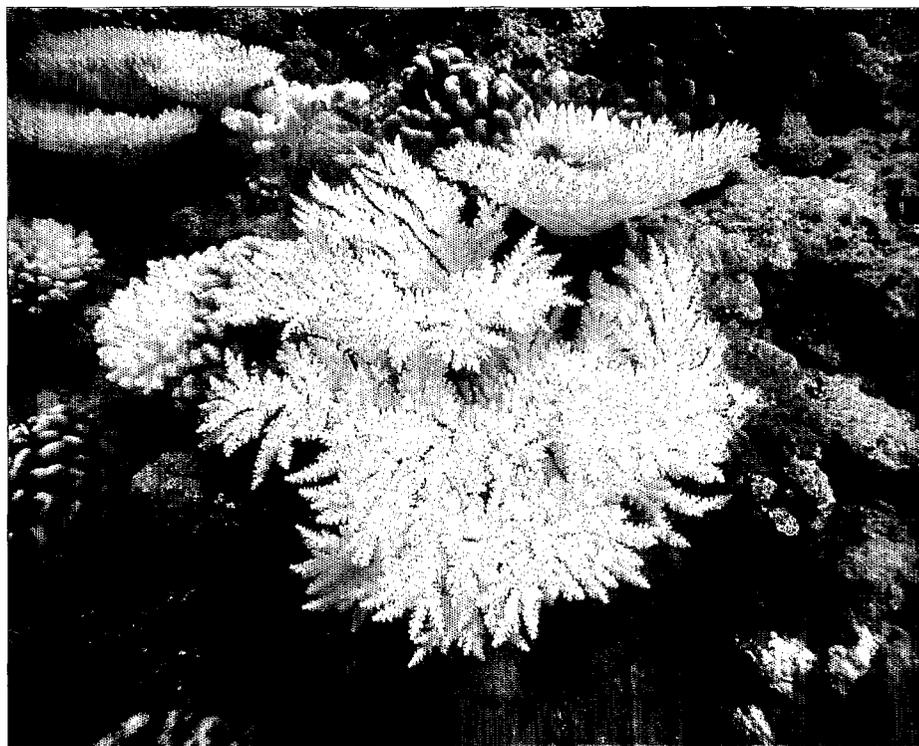
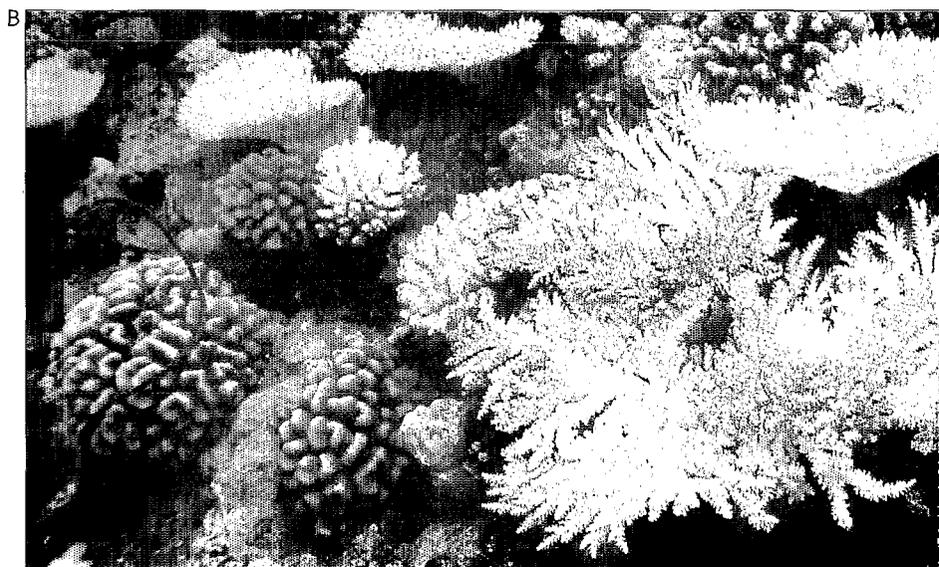


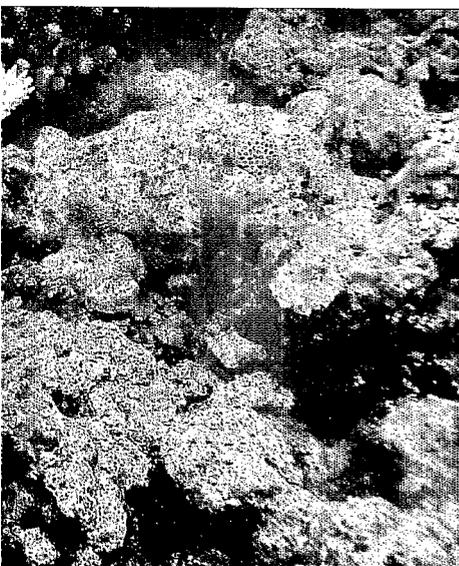
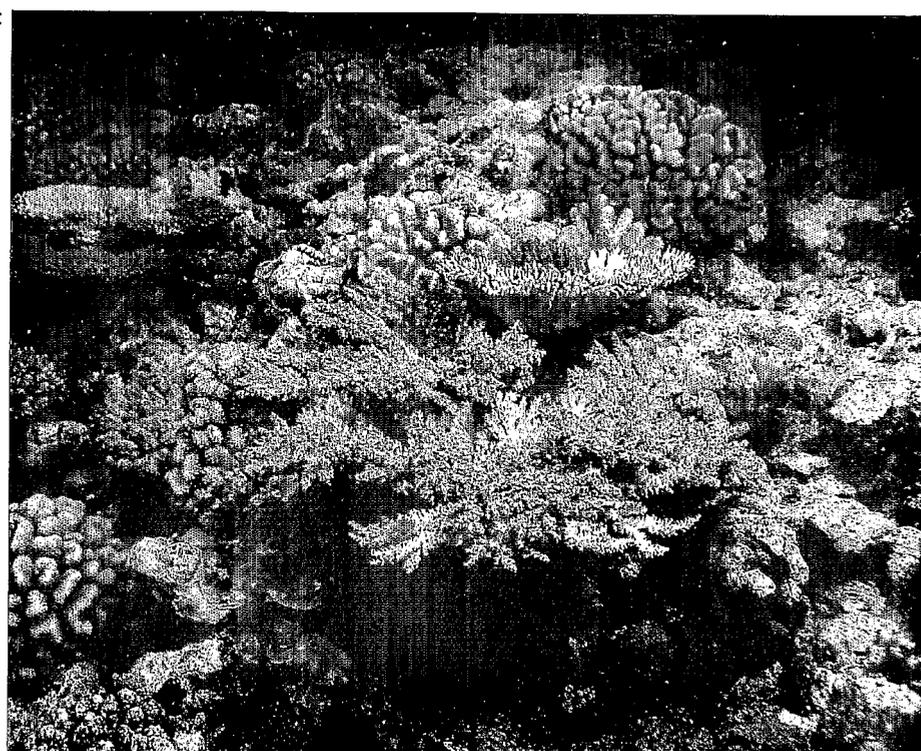
Figure 4. La conjonction entre une température océanique élevée et un rayonnement solaire excédentaire serait à l'origine de l'hécatombe observée en 1991 parmi les récifs des îles de la Société. Les quatre clichés suivants permettent de suivre l'évolution d'une colonie d'*Acropora* entre avril 1991 (A), mai (B), juin (C) et juillet 1991 (D). Le phénomène de fluorescence-blanchissement semble avoir atteint un pic vers le milieu du mois de mai (90 % des *Acropora* et 35 % des *Pollicopora* touchés). En juin, la fluorescence diminue, signifiant que les colonies coralliennes reconstituent leur stock de micro-algues, en général à partir de la périphérie. En juillet, la plupart des coraux ayant auparavant atteint le stade du blanchissement total se recouvrent d'algues brunes filamenteuses, signe qu'ils sont morts. La mortalité totale serait de l'ordre de 30 % pour les *Acropora* et donc de l'ordre de 15 % pour l'ensemble des colonies coralliennes du récif nord de Tahiti. (Clichés ORSTOM, J. Orepuller)



thelles et donc une reprise de la couleur et donc du métabolisme autotrophe est possible. Toutefois, l'espérance de survie des coraux fluorescents et blancs, que l'on peut considérer comme « malades », dépend des espèces, les *Acropora* étant les plus sensibles avec une mortalité évaluée à 30 % en septembre 1991. Ce sont également les *Acropora* qui ont présenté les fluorescences les plus vives et les plus diversifiées : ce phénomène de fluorescence apparu en même temps que le blanchissement lui-même (mais jamais sur les mêmes colonies) résulterait d'une activation de pigments chromatophores présents dans les tissus des polypes et brutalement exposés en pleine lumière à cause du

départ des couches externes de zooxanthelles (fig. 1). Quand elle a eu lieu, la mortalité a frappé aussi bien des coraux fluorescents que des coraux blancs. Déjà en 1983, des observations essentiellement d'origine américaine⁽⁵⁾ faites sur les côtes du Pacifique (Panama, Galapagos, Philippines) et des Caraïbes faisaient part d'un phénomène de blanchissement des coraux (voir « L'étrange disparition des récifs coralliens » dans *La Recherche* de décembre 1983). Des coraux blancs et quelques coraux fluorescents jaunes furent également observés à Tahiti pour la première fois et personne en Polynésie n'a oublié que c'est au cours du premier semestre de cette année-là que six cy-

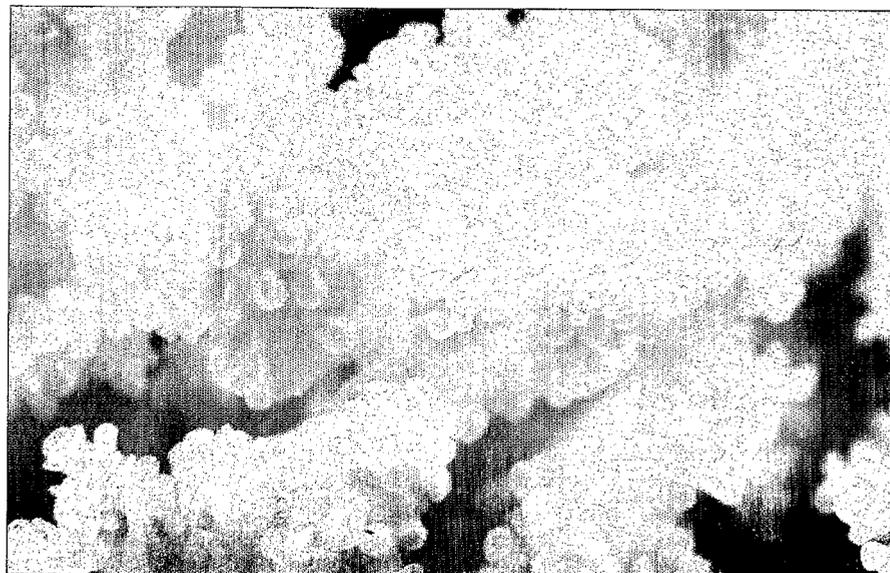
clones successifs balayèrent les archipels, faisant des victimes et causant de lourds dégâts. Le responsable de cette anomalie climatique majeure fut identifié aisément, tout autour du bassin Pacifique : il s'agissait d'un phénomène de type ENSO (El Niño-Southern Oscillation), ainsi nommé car il associe un déséquilibre du champ de pression sur le Pacifique sud⁽⁶⁾ avec l'apparition du courant chaud El Niño sur les côtes du Pérou. Des eaux chaudes, originaires du Pacifique ouest et central et refluant vers l'est-sud-est à cause de la faiblesse des vents alizés, engendrent alors une anomalie thermique de 3° à 5° Celsius ; il parut d'emblée logique de relier le blanchissement des coraux à cet ex-



L a fluorescence des coraux 1

La fluorescence des coraux est bien connue depuis sa mise en évidence par le docteur Catala⁽¹⁶⁾ créateur en 1948 de l'Aquarium de Nouméa en Nouvelle-Calédonie. Cette fluorescence peut être qualifiée d'artificielle car elle ne s'observe que par forte irradiation des coraux avec une lampe à ultraviolet : les fluorescences obtenues couvrent toutes les longueurs d'ondes visibles, du violet à l'orange. Les tissus des coraux ainsi irradiés se sclérosent lentement et les colonies finissent par mourir. Le phénomène de fluorescence observée sur les coraux des îles de la Société en fin d'été 1991 est naturel, n'avait jamais été noté auparavant et concerne essentiellement le genre *Acropora* (voir photo ci-dessous). Cette fluorescence qui peut persister plusieurs mois

serait générée par des pigments chromatophores présents à l'intérieur des polypes coralliens ayant perdu (ou expulsé) une partie ou la totalité de leurs micro-algues symbiotes (zooxanthelles). La disparition de cette barrière de protection conduirait donc à une irradiation en profondeur des tissus coralliens par les rayons ultraviolets avec réémission sur des longueurs d'ondes plus grandes, de l'énergie lumineuse incidente. Le phénomène a une certaine instabilité qui se traduit par des changements de couleur, du rose au bleu, ou du jaune au rose en l'espace de quelques semaines. En juillet (hiver austral), une fraction importante des coraux fluorescents avait tendance à reprendre sa couleur normale.



cédent thermique, affectant les cent premiers mètres de l'océan Pacifique central et oriental. Le cinquième congrès sur les récifs coralliens⁽⁷⁾, organisé à Tahiti en 1985 par l'antenne du Muséum national d'histoire naturelle et de l'Ecole pratique des hautes études de Polynésie française, permit d'instaurer un premier débat sur le sujet. Les observations faites depuis et la gravité du problème écologique posé permettent de penser que l'affaire ne fait que commencer, tant il paraît difficile d'identifier une série de causes responsables de la « maladie ou mort blanche ».

La relation entre un excédent thermique de fin d'été et la dépigmentation

(8) B. Brown, « Coral bleaching », numéro spécial Coral Reefs, 8, 4, 1990.
 (9) E.H. Williams et L. Bunkley-Williams, Atoll Research Bulletin, 335, 71, 1990.
 (10) T.J. Goreau et A.H. MacFarlane, Coral Reefs, 8, 4, 1990.
 (11) D. Fisk et T. Done, Proc. of the 5th Inter. Coral Reef Cong. Tahiti, 6, 149, 1985.
 (12) T.J. Goreau et al., NOAA Report, 137, 60, 1991.

partielle ou totale des coraux semble cependant bien établie sur un plan statistique, mais pas sur un plan physiologique, puisqu'on ignore qui, de l'hôte animal ou des algues symbiotes, se trouve gravement perturbé jusqu'à entraîner ce véritable suicide de la colonie. Dans un numéro spécial de la revue *Coral Reefs* consacrée au « Coral Bleaching »⁽⁸⁾, la quasi-totalité des auteurs retiennent le stress thermique comme cause essentielle du blanchissement, en particulier lorsque les eaux océaniques atteignent ou dépassent 29 °C, et sont donc supérieures de 2 à 3 °C au maximum estival normal. De fait, les années ENSO 1983 (très fort), 1987 (moyen) furent les stress où les observations de décolorations furent les plus nombreuses dans le Pacifique est et central et aux Caraïbes. De plus, une initialisation du phénomène pourrait intervenir l'année précédant une forte anomalie ENSO⁽⁹⁾ et des séquelles subsister l'année suivante : nous l'avons constaté autour de Tahiti durant l'été austral 1984, après le blanchissement modéré de l'été 1983 où 10 à 20 % des espèces furent touchées. Ainsi, bien qu'étroitement inféodés à la ceinture intertropicale, les coraux constructeurs de récif seraient décimés pour quelques degrés de trop, ce qui est difficile à expliciter au niveau du métabolisme. Et comme le font remarquer T.J. Goreau et A.H. MacFarlane⁽¹⁰⁾ (GLOBAL Coral Reef Alliance, New York) « on ne sait pas ce qu'il y a entre l'excédent de température et la mort des colonies coralliennes ». Un contre-exemple est d'ailleurs troublant : il s'agit d'un cas de blanchissement, observé par D. Fisk et T. Done, de l'Australian Institute for Marine Science (AIMS) de Townsville en Australie, sur le grand récif barrière australien en 1982, alors que les températures océaniques étaient normales.

Pour ces chercheurs⁽¹¹⁾, le facteur léthal serait plutôt lié au rayonnement solaire et à un excès d'ultraviolet. Le cas actuel de la Polynésie est lui-même intrigant et peut se résumer ainsi : phénomène de fluorescence-blanchissement massif sur les pentes externes des récifs barrières et les pâtés coralliens des lagons des îles de la Société (16 à 18° sud) ; température océanique ayant atteint 29° 5 sur 70 mètres d'épaisseur en avril, soit 1,5° de plus que la température moyenne en avril en prélude à un épisode ENSO bien développé fin 1991-début 1992 (fig. 2) ; pas de blanchissement (ni de fluorescence) sur les atolls des Tuamotu (14 à 23° sud) bien que le champ thermique soit identique à celui des îles de la Société.

Cependant, allant dans le sens d'un rôle prépondérant joué par la température, des évaluations récentes, témoignant d'une augmentation de la fréquence des

épisodes ENSO dans le Pacifique et de la cyclogenèse dans le Pacifique central, indiqueraient une tendance au réchauffement de l'océan tropical. Que cette tendance soit consécutive à une accentuation de l'effet de serre résultant des rejets de gaz carbonique et de méthane par les activités humaines est encore l'objet de larges controverses.

Ce réchauffement serait de 0,5 °C par décennie aux Caraïbes⁽¹²⁾ où il se traduit par des températures océaniques de fin d'été proches de 30 °C, du même ordre que celles observées en Polynésie en mars et avril 1991 par Robert Gérard dans le cadre du programme Hydroclimat de l'ORSTOM-Tahiti. Le très haut niveau de productivité primaire des coraux implique que les zooxanthelles bénéficient d'une irradiation solaire optimale, ce qui explique que les colonies les plus productives se trouvent dans les dix mètres supérieurs des récifs barrières. Mais dans le même temps, les coraux s'exposent au rayon-

U ne surveillance continue des récifs polynésiens

Le programme Agencement temporel des populations et des peuplements (EPHE-CNRS), du Département sciences de la vie, sous la direction des professeurs B. Salvat et R. Galzin, a pour but de relever quantitativement chaque année les peuplements des récifs de quelques sites sélectionnés en Polynésie française, dont Moorea, l'île sœur de Tahiti. Un plan d'échantillonnage a été élaboré pour tous les chercheurs de l'équipe qui ont des spécialités taxonomiques différentes. L'analyse numérique des données permettra de voir, en fonction des perturbations naturelles et anthropiques (dont les événements catastrophiques), l'agencement dans le temps de ces populations. Le programme se déroule sur plusieurs années car les récifs vivent à un rythme de variabilité dépassant largement l'année. Le phénomène de blanchissement du début 1991 est donc suivi quantitativement dans le détail.

nement ultraviolet (UV-A [320-400 nm] et UV-B [280-320 nm]) dont on connaît l'effet nocif pour les êtres vivants, des bactéries aux vertébrés. Bien que l'océan soit un filtre efficace, on admet que 50 % des UV-B pénètrent jusqu'à 5 mètres et 10 % jusqu'à 25 mètres, dans une eau très claire de type océan tropical oligotrophe⁽¹³⁾. Le polype corallien est donc soumis à des contraintes opposées entre la nécessité de recevoir de l'énergie lumineuse et le risque de subir une photo-inhibition, voire une nécrose par excès de rayonnement UV comme cela est déjà démontré sur les végétaux terrestres. Ce point avait d'ailleurs intrigué des biologistes, comme W.C. Dunlap et B.E. Chalker de l'AIMS, qui

finirent par trouver la clef de l'énigme⁽¹⁴⁾ : les coraux se protègent des rayons UV en sécrétant leurs propres anti-solaires à base d'acides aminés et représentés par des mycosporines et des palythines. Ces molécules bloquent les UV-B aux longueurs les plus dangereuses entre 300 et 320 nm. Cependant, cette protection peut s'avérer insuffisante si la quantité d'UV-B reçue dépasse la dose habituelle, et c'est ce qui paraît s'être passé sur la grande barrière australienne où un blanchissement est apparu au cours du premier trimestre 1982 pendant une période d'« ensoleillement » élevé (+20 %), et donc d'irradiation UV excédentaire⁽¹¹⁾. De la même façon, les îles de la Société ont subi au cours du premier trimestre 1991 une durée d'insolation excédentaire en relation avec une saison des pluies inférieure à la moyenne. Dans le même temps, la nébulosité était supérieure à la moyenne sur les Tuamotu, par suite d'un déplacement vers cet archipel de la bande nuageuse liée à la zone de convergence des alizés du Pacifique sud⁽¹⁵⁾. Cet écart d'insolation pourrait ainsi rendre compte du fait que les récifs des îles de la Société ont été touchés par le phénomène, et pas ceux des Tuamotu.

De nombreux auteurs font état de l'impact des UV sur le métabolisme corallien. A l'aquarium de Nouméa, en Nouvelle-Calédonie, une fluorescence spectaculaire des coraux, dont le mécanisme intime n'est pas élucidé, a été obtenue *in vitro* par irradiation par lampes UV : ce phénomène, découvert dans les années 1950 par le docteur Catala⁽¹⁶⁾, continue d'émerveiller les visiteurs mais cache un risque mortel pour les coraux irradiés. Comme le confirme la directrice actuelle de l'aquarium, Pascale Joannot, des coraux *Euphyllia* et *Goniopora* irradiés ont tendance à perdre rapidement leurs zooxanthelles ; de même une colonie de coraux *Faviidae* récoltée dans le lagon à 20 °C et placée dans un bac à 29 °C a blanchi rapidement et est morte.

Dans le cas des coraux irradiés et partiellement blanchis, le retour à des conditions environnementales normales conduit en général à une convalescence et une guérison. L'impact négatif mais naturel des UV a par ailleurs été relié à un risque récent et croissant qui est l'amincissement de la couche d'ozone stratosphérique consécutive à l'action des chlorofluorocarbures (CFC) fabriqués par l'industrie humaine. Ce risque noté par P.L. Jokiel⁽¹⁷⁾ de l'université d'Hawaii est que l'amincissement du bouclier protecteur d'ozone entraîne une augmentation concomitante du rayonnement UV atteignant le sol et l'océan. D'après les données les plus récentes obtenues par un satellite

américain de la NASA et présentées par l'Environmental Protection Agency (EPA), l'amincissement de la couche d'ozone est plus rapide que prévu : la perte en ozone serait de 4 à 5 % depuis 1978 en zone subtropicale, ce qui conduirait à un excédent d'UV de 8 à 10 % au niveau de l'océan⁽¹⁸⁾.

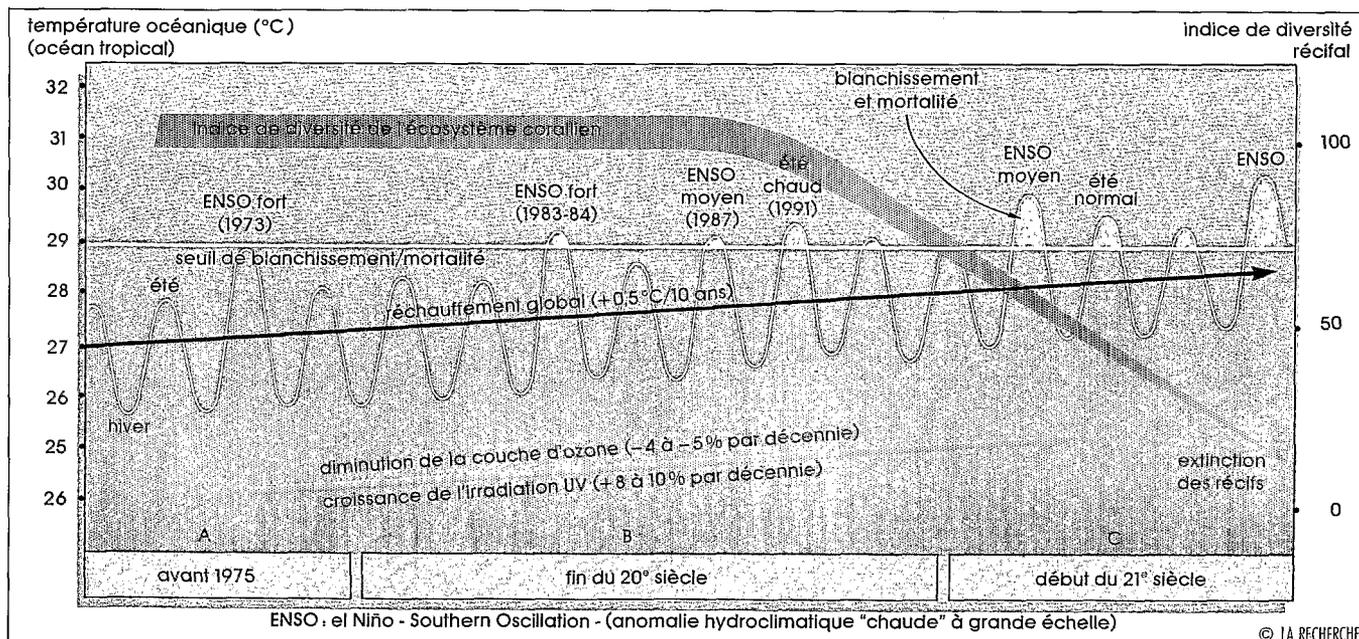
Par ailleurs, il n'est pas exclu que la convection thermique interne ou « endo-upwelling », qui constitue le processus d'alimentation en sels nutritifs neufs nécessaires à la production nette de l'écosystème algo-coralien, puisse subir des fluctuations de régime. A grande échelle de temps, un affaiblissement inopiné, dû à une diminution de la valeur du flux géothermique, peut conduire à la dégénérescence des récifs et atolls qui seraient alors transformés en atolls ennoyés ou guyots (voir « Les atolls oasis » dans *La Recherche* de juillet-août 1990). A courte échelle de temps, on peut envisager une influence des variations du champ thermique

flage, ne décollera plus dans la chaleur de midi. Nous testons actuellement, grâce aux forages réalisés sur un atoll des Tuamotu et sur le récif barrière de Tahiti, la validité de cette hypothèse qui lierait le blanchissement à une carence en sels nutritifs alimentant les zooxanthelles, par un affaiblissement de la convection thermique interne (fig. 3).

D'autres hypothèses ont été également proposées et testées : par exemple, il est connu que les coraux peuvent avoir des maladies d'origine pathogène, comme la maladie à bande noire ou la maladie à bande blanche⁽¹⁹⁾. Ces maladies qui entraînent une lyse des cellules concernées et une nécrose locale des tissus ont une origine pathogène bactérienne prouvée. Aucun lien avec un stress thermique n'a été établi. De plus, les recherches de germes pathogènes dans les coraux dépigmentés ont échoué, de même que les tentatives de contamination entre coraux « ma-

taux de leur métabolisme, par exemple par augmentation de l'insolation, peut entraîner *ipso facto* une augmentation de la quantité d'oxygène libéré. Or on sait qu'au-dessus d'une certaine concentration, l'oxygène est toxique pour les tissus comme cela a été constaté expérimentalement ; dans ce cas le blanchissement des coraux serait un processus interne lié à une exacerbation du métabolisme corallien sous l'effet de facteurs environnementaux particulièrement favorables, hypothèse qui s'oppose donc à celle d'un affaiblissement par carence des apports en sels nutritifs.

Il semble en définitive qu'une conjonction ou synergie entre une température océanique et un rayonnement solaire excédentaires puisse rendre compte du fait que seuls les récifs des îles de la Société (et pas les Tuamotu) ont été victimes de ce phénomène dont la gravité ne peut qu'être partiellement quantifiée (fig. 4). En ce cas, la liaison entre



- (13) J.P. Gattuso, thèse de doctorat, Aix-Marseille, 1987.
 (14) W.C. Dunlap et B.E. Chalker, *Coral Reefs*, 5, 155, 1986.
 (15) *Climate Diagnostics Bulletin*, NOAA, avril 1991.
 (16) R. Catala, *Nature*, 183, 949, 1958.
 (17) P.L. Jokiel, *Proc. 6th Int. Coral Reef Symp. Australie*, 7, 181, 1988.
 (18) R. Pool, *Nature*, 350, 451, 1991.
 (19) A. Antonius, *Proc. of the 5th Inter. Coral. Reef Cong. Tahiti*, 6, 155, 1985.
 (20) J.A. Fagerstrom, *The evolution of reef communities*, Editeur J. Wiley 1987.
 (21) B. Salvat, *Antenne Museum, EPHE*, 1987.
 (22) K. Wyrki, *Pacific Science*, 44, 1, 1990.

océanique sur la vitesse d'ascension des eaux endo-upwellées. En effet, une continuité hydraulique existe entre les eaux océaniques profondes froides et celles qui, pénétrant le socle poreux sont chauffées par le flux géothermique, s'élèvent par flottabilité et débouchent en haut du récif. Une couche océanique de surface plus chaude, donc de densité moindre, pourrait être un facteur défavorable à la dynamique de la cellule de convection thermique en réduisant l'écart de densité entre les deux systèmes. C'est la même chose par exemple pour une montgolfière qui, gonflée avec de l'air chaud, s'élèvera facilement dans l'air frais du matin, et qui, dans les mêmes conditions de gon-

lades » et coraux sains. Les travaux en cours et les cultures de zooxanthelles effectuées par l'équipe de Jean Jaubert à l'observatoire océanologique européen de Monaco devraient permettre des avancées décisives dans ce domaine. Il est possible également que des maladies secondaires puissent se développer sur les coraux affaiblis, aussi bien à l'intérieur des polypes que sur leurs mucus protecteurs, surtout au stade *premortem*. Enfin, une dernière piste de recherche sur le blanchissement est liée à l'activité autotrophe des zooxanthelles elles-mêmes : comme ces micro-algues libèrent de l'oxygène en photosynthétisant de la matière organique, toute élévation du

Figure 5. Nous proposons dans cet article un scénario sur l'évolution temporelle du phénomène de dépigmentation-blanchissement dans l'hypothèse d'un réchauffement global et d'une augmentation de l'irradiation UV. Dans la partie A du schéma, il n'y a pas de mortalité significative par blanchissement avant les années 1975. On voit apparaître un blanchissement à partir des années 1982 en étés anormalement chauds et « ENSOleillés » et durant les années où El Niño se manifeste (partie B). Enfin, survient un blanchissement en été normal (partie C). La répétitivité du phénomène entraîne une dégénérescence accélérée des récifs : l'indice de diversité récifal s'effondre. Dans ce scénario, le seuil de blanchissement est pris à 29 °C, la croissance thermique est de l'ordre de +0,5 °C par décennie et l'augmentation de l'irradiation UV est de 8 % par décennie (9,12,18).

Récifs coralliens en crise, communauté scientifique sous stress

Le phénomène de blanchissement-fluorescence des coraux intervenu à Tahiti à partir d'avril 1991 (et dont le caractère inopiné et massif traduisait une perturbation majeure de l'écosystème algo-coralien a entraîné un syndrome de nature comparable au sein de la communauté scientifique dite « récifale ». Les chercheurs *a priori* concernés ont révélé un degré de disponibilité étalé sur une large gamme, depuis ceux qui ont sauté dans le premier avion en partance pour Tahiti jusqu'à ceux qui ont estimé qu'il était urgent d'attendre que le phénomène se termine pour pouvoir mieux l'étudier. C'est dans ce contexte que la nomination par le ministre de la Recherche et de la Technologie, Hubert Curien, du docteur Raymond Bagnis, spécialiste des pathologies récifales et de la Ciguatera, comme chargé de mission pour la recherche et la technologie auprès du Haut-Commissaire de la République en Polynésie française a pu jouer un rôle essentiel. En réagissant à chaud comme coordinateur d'actions à entreprendre immédiatement face à cette crise de l'environnement récifal, le docteur Bagnis a su mettre en place une réponse adaptée : réunions de travail dont une à caractère international au centre EPHE-CNRS de Moorea, diffusion de l'information auprès des principaux laboratoires intéressés (français, américains et australiens), obtention d'un financement incitatif par le Haut-Commissaire de la Polynésie. La cellule de crise ainsi constituée de façon pragmatique permettra d'aborder la prochaine saison chaude avec une bonne probabilité de pouvoir étudier le phénomène dès sa phase initiale (dans le cas où il se reproduirait...) et de l'encadrer par des investigations appropriées.

le facteur physique (l'excédent thermique) et la dépigmentation pourrait passer par une diminution du flux de sels nutritifs endo-upwellés. Le fait que ce ne soit pas seulement un « choc thermique » qui puisse être en cause, mais l'altération d'un processus physique essentiel à l'activité de l'écosystème récifal, est compatible avec l'observation que le blanchissement apparaît un à deux mois après les températures maximales, et seulement si celles-ci se maintiennent. Toutefois si le facteur physique létal dominant réside dans l'effet nocif des rayons UV, on peut aussi envisager que l'excès thermique puisse entraîner une diminution quantitative ou qualitative des molécules anti-solaires sécrétées par les coraux soit de façon directe, soit à cause de l'expulsion/mortalité des zooxanthelles. Cette hypothèse est actuellement testée grâce à une coopération, sous la houlette de J.C. Caries du laboratoire d'études et de surveillance de l'environnement (CEA-Tahiti) avec l'Institut polynésien de recherches médicales et l'Australian Institute of Marine Sciences de Towns-

ville en Australie. Dans l'attente de ces résultats, il faut retenir que sur le plan écologique, un effet de seuil létal semble avoir été atteint par les coraux tropicaux dans bon nombre de secteurs récifaux de la planète. *In fine*, les données et arguments développés peuvent permettre d'établir un scénario (fig. 5) prenant en compte le réchauffement planétaire et l'augmentation du rayonnement UV, phénomènes consécutifs à l'activité humaine. Que ce modèle heureusement très spéculatif tende à se vérifier, impliquerait que les acropoles coralliennes récifales où foisonne la vie pourraient devenir rapidement de mornes nécropoles blanchies, dispersées par les tempêtes et les cyclones... Comme nous l'écrivait il y a peu un Polynésien habitant sur un motu (îlot) émergé de la couronne récifale de Bora-Bora et « voisin de platier » de Paul-Emile Victor, « je suis fier d'habiter sur ce qui constitue l'organisme vivant le plus majestueux et le plus ancien de la planète... » Et il avait doublement raison, les communautés bâtisseuses de récifs ayant, sous forme d'archéo-coraux, d'éponges ou de bivalves à zooxanthelles (rudistes), commencé à construire leurs formidables murailles il y a 300 à 500 millions d'années⁽²⁰⁾. Depuis, des extinctions partielles ou totales, comme celle qui, il y a 66 millions d'années, sonna également le glas pour les dinosaures, ont entraîné des mutations brutales des communautés de madrépores bâtisseurs. Pour les coraux actuels, souvent qualifiés de « durs » ou de « pierreux », leur formidable capacité d'adaptation aux mouvements relatifs de leur assise basaltique (isostasie) ou des niveaux marins (eustasie) est bien illustrée par la pérennité d'atolls dont l'âge peut dépasser 50 millions d'années, comme dans les Tuamotu de l'ouest. Les atolls actuels ne sont en effet, comme l'avait proposé Darwin en 1842, que les couronnes vivantes érigées par les petits polypes coralliens autour de volcans aujourd'hui engloutis et aux sommets recouverts par les sables des lagons. En cette fin de xx^e siècle, le bilan de santé des écosystèmes coralliens n'est pas brillant. Les activités humaines sur les récifs ont été recensées avec leur lot de dégradation et de pollution⁽²¹⁾. Même s'il s'agit de phénomènes localisés, prioritairement dans les zones de concentration humaine, force est de constater que celles-ci augmentent sans cesse et que le phénomène se généralise régionalement. En termes géopolitique et économique, il convient de remarquer que cette dégradation d'un écosystème tropical concerne près de cent pays en voie de développement, dont nombre d'entre eux misent actuellement sur le tourisme comme axe priori-

taire de développement. Le phénomène de blanchissement des coraux, corrélé à des anomalies positives des températures de surface des eaux marines, est donc le signe tangible d'un déséquilibre régional affectant à l'échelle planétaire, l'écosystème algo-coralien. Les menaces sont sérieuses pour ce dernier. Se pourrait-il que des écosystèmes aussi magiques que ceux qui constituent les récifs tropicaux, et qui ont résisté à des crises climatiques majeures depuis des dizaines de millions d'années, puissent être réellement menacés de disparition et cette menace pourrait-elle être liée aux activités humaines ? Pour le professeur Alfred Fagerstrom de l'université du Colorado, expert s'il en est dans le décryptage des archives géologiques laissées par les coraux fossiles, notre planète subit actuellement un processus de destruction des espèces dont la vitesse est plus élevée que celle des extinctions passées. En définitive, le succès technologique d'une espèce qui se dit intelligente et sa prolifération anarchique se traduit par un véritable éco-génocide, exacerbé en zone intertropicale. Et comme la survie, même précaire, de l'excédent annuel d'hommes implique *ipso facto* un accroissement des dégagements de gaz à effet de serre et des gaz « ozonocides », ces tendances lourdes vont contribuer inexorablement au réchauffement global et à l'augmentation du rayonnement UV. Pour le professeur Klaus Wyrski de l'université d'Hawaï⁽²²⁾, l'un des fondateurs de l'océanographie tropicale, la montée de 30 à 80 centimètres du niveau océanique, prévisible pour le siècle à venir, ne sera qu'un facteur secondaire de destruction par rapport à l'énorme vague humaine qui va déferler en zone intertropicale. Aurons-nous enfin la clairvoyance de briser le tabou des tabous (ce mot est d'origine polynésienne !) et de poser la question : combien d'hommes peut donc recevoir notre petit vaisseau planétaire, tout en maintenant sa diversité écologique ? Puisse donc la spectaculaire « mort blanche » des coraux constituer un signal d'alarme et susciter une inquiétude salutaire, comme celle exprimée en juillet 1991 au Sénat par Daniel Millaud, sénateur de Polynésie française. ■

POUR EN SAVOIR PLUS

- *Proceedings du Sixième congrès international sur les récifs coralliens, Australie*, 3 tomes, 1988.
- A. Guilcher, *Coral Reef Geomorphology*, J. Wiley, 1988.
- « L'endo-upwelling géothermique », in *ORSTOM-Actualités*, n° 31, 1990.
- L.R. Brown, *L'état de la planète*, Economica, 1989.
- G. Mégie, *Ozone, l'équilibre rompu*, Presses du CNRS, 1989.

LA

RECHERCHE

L'EDITING DES ARN • LE TROISIÈME SEXE
LE CENTENAIRE DE LOUIS DE BROGLIE • LA BUÉE



**LA MORT
DES CORAUX**

M1108 - 245 - 40,00 F



SUISSE: 12 FS MARC. 33 DH TUNISIE: 3300 MIL ESPAGNE: 800 PTAS BELGIQUE: 292 FB CANADA: 5,95 \$ CAMEROUN: 1520 CFA RCCHBY (245) 793-956 (1992) ISSN 0029-5671