



HAL
open science

The coral reef communities at Saint-Gilles la Saline in 1987 (Reunion Isl., S.W. Indian Ocean).

Odile Naim

► **To cite this version:**

Odile Naim. The coral reef communities at Saint-Gilles la Saline in 1987 (Reunion Isl., S.W. Indian Ocean).. The Journal of Nature (Bourbon Sciences), 2006, 18 (1), pp.13-33. hal-00764600

HAL Id: hal-00764600

<https://hal.science/hal-00764600>

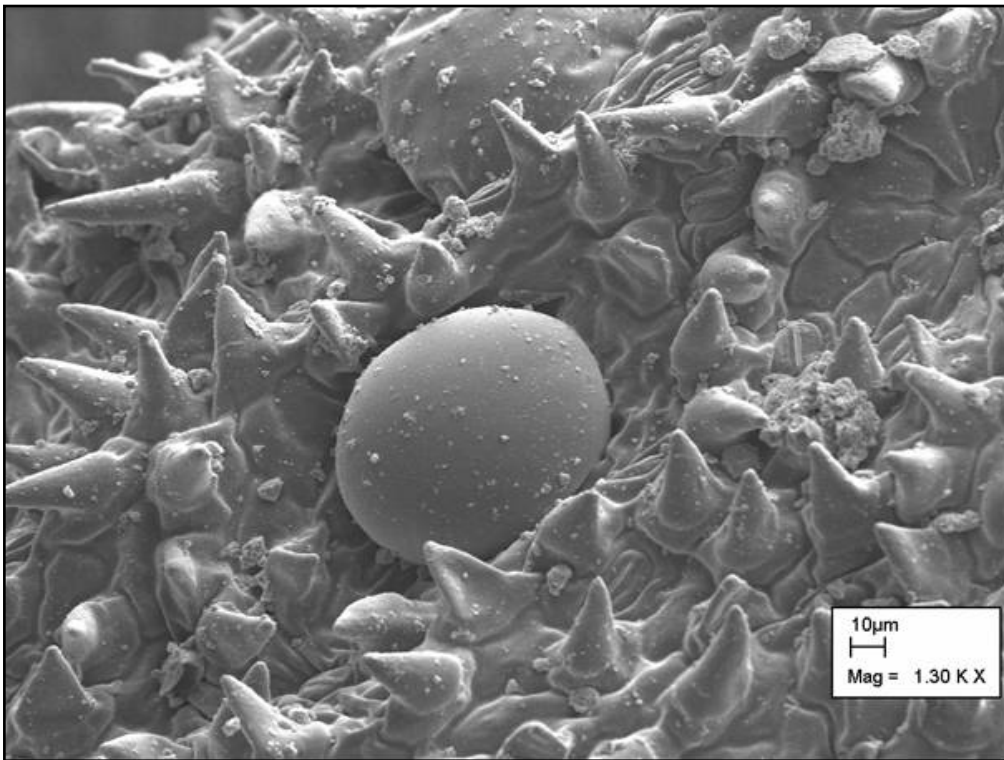
Submitted on 13 Dec 2012

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

THE JOURNAL OF NATURE

LE JOURNAL DE LA NATURE



Tome 18, n°1, 2006

**BOURBON SCIENCES
TECHNEDIT**

THE JOURNAL OF NATURE

LE JOURNAL DE LA NATURE

Volume 18, n°1, 2006

Tome 18, n°1, 2006

ISSN 0985-0856

coden JNJNE8

Tome 18, n°1, 2006

**BOURBON SCIENCES
TECHNEDIT**

Rédacteur en Chef: Pr Farid CHEMAT

Editor-in-chief

Directeur : Pr. Bernard VIDAL

Director

BOURBON SCIENCES

Faculté des Sciences, Université de La Réunion, 15 avenue René Cassin, BP 7151
97715-Saint Denis messag. cedex 9, La Réunion, France (D.O.M.)

TECHNEDIT

8 rue du Faubourg Poissonnière, 75005 Paris, France.

TABLE DES MATIERES - CONTENTS

Tome 18, n°1, 2006

Synthèse sous ultrasons d'amides insaturés et substitués	
Bernard GARRIGUE ; Adyl OUSSAID et Stéphane MAZIERES	3
The structure of coral reef communities at Saint Gilles La Saline in 1987 (Reunion, Mascarene Archipelago, SW Indian Ocean)	
Odile NAIM	13
Science et société : le mauvais ménage	
Bernard Vidal	33
Elaboration et caractérisation de matériaux microporeux de structure pentasil de type ZSM-5	
Djamel NIBOU et Samira AMOKRANE	45

Synthèse sous ultrasons d'amides insaturés et substitués

Bernard GARRIGUES^a ; Adyl OUSSAID^b et Stéphane MAZIERES^a

(a) Laboratoire d'hétérochimie Fondamentale et Appliquée
Université Paul Sabatier UMR 5069, 118 Route de Narbonne 31062 Toulouse Cedex France

(b) Faculté Pluridisciplinaire de Nador, Université Mohammed Premier
B.P : 300, 62700 Selouane Nador Maroc

Résumé : Nous présentons dans ce travail la synthèse sonochimique d'amides insaturés et substitués. Les réactions effectuées impliquent un mécanisme qui procède par addition conjuguée d'un halogénure d'alkyle sur un acrylamide tertiaire en présence du couple Zn/Cu en milieu aqueux.

Mots-clés : ultrasons / amides insaturés substitués / Zn/Cu

Synthesis of unsaturated substituted amides under sonochemical conditions

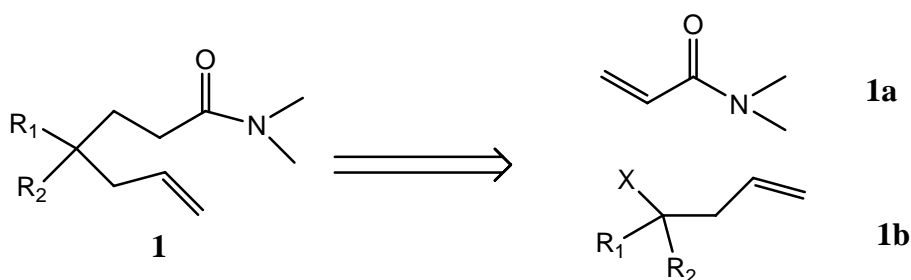
Summary : We present in this work the sonochemic synthesis of unsaturated substituted amides. The mechanism involved in these reactions is a conjugate addition of an alkyl halide on a tertiary acrylamide using Zn/Cu in aqueous solution.

Keywords : ultrasounds / unsaturated substituted amides / Zn/Cu

1. INTRODUCTION

Les réactions de la chimie organique susceptibles d'être modifiées par la sonication sont nombreuses et diverses. Si au départ ce sont surtout les processus organométalliques qui ont été étudiés, un élargissement du domaine est apparu au fur et à mesure que la compréhension des phénomènes progressait¹.

Les amides insaturés substitués présentent un grand intérêt en synthèse organique. Nous nous proposons dans ce travail, d'aborder le premier exemple de leur synthèse sonochimique. La méthode qui nous a paru la plus simple et la plus rapide consiste en une addition conjuguée d'un halogénure d'alkyle sur un acrylamide tertiaire selon le principe ci-dessous (fig-1). Cette réaction doit pouvoir s'effectuer sous conditions sonochimiques par la méthode utilisant le couple zinc/cuivre en milieu aqueux.



Les acrylamides tertiaires sont en principe d'accès facile, mais nous verrons par la suite que ce n'est pas toujours le cas. Il nous a donc fallu résoudre le problème de leur préparation. En second lieu, le synthon **1b** dans lequel X est de préférence un halogène, peut dériver d'un alcool homoallylique, lui-même obtenu par allylation d'un composé carbonylé en présence de zinc, selon la figure 2 :

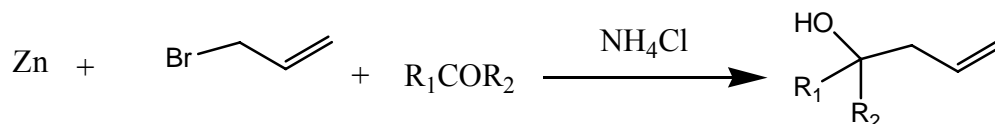


Fig-2

L'étape principale de la synthèse faisant appel à une réaction de type organométallique sous ultrasons, nous ferons en premier lieu un bref commentaire concernant ce type de réaction.

L'effet favorable de l'irradiation ultrasonore sur les réactions utilisant un métal est bien connu dans la littérature et les références sont nombreuses dans ce domaine^{2,3,4}. Les halogénures d'alkyle peuvent entre autres s'additionner suivant une réaction douce sur une grande variété de liaisons oléfiniques activées en présence du couple zinc/cuivre⁴. Cette réaction a l'avantage de se produire en milieu aqueux. (Fig-3) :

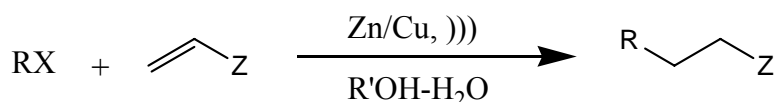


Fig-3

La réaction commence par la formation du couple zinc/cuivre, à partir de poudre de zinc et d'iodure de cuivre dans le solvant de la réaction. Le mélange initial gris blanchâtre devient noir intense en quelques minutes. Cette étape est probablement une oxydo-réduction, favorisée par les ultrasons, et le dépôt de cuivre sur le zinc (cémentation) est responsable de la réactivité de celui-ci.



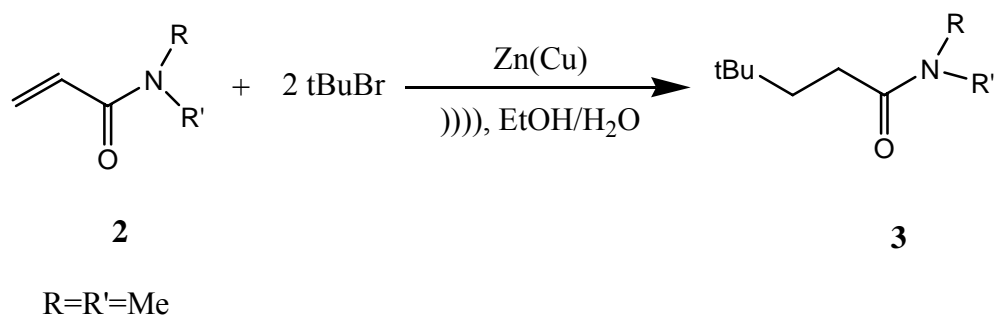
$$E \text{Zn/Zn}^{2+} = -0,76 \text{ eV}$$

$$E \text{Cu/Cu}^{2+} = +0,24 \text{ eV}$$

Le dérivé halogéné et le système insaturé sont ensuite additionnés. L'halogénure subit très probablement une réduction donnant lieu à un radical anion, puis un radical, qui est la véritable entité réactive.

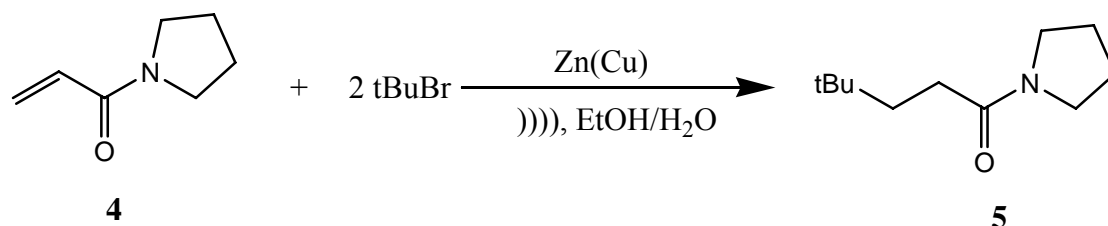
Tout d'abord nous avons cherché à effectuer l'addition conjuguée de divers groupements sur des acrylamides tertiaires. D'après la littérature, la méthode décrite dans le paragraphe précédent n'a été appliquée qu'une seule fois au cas des amides, en l'occurrence l'acrylamide lui-même. Il nous fallait donc vérifier dans un premier temps, la validité de cette méthode sur les amides tertiaires.

Le premier essai que nous avons réalisé consistait en l'addition de bromure de tertio-butyle sur le N,N-diméthyl acrylamide (Fig-4) :

**Fig-4**

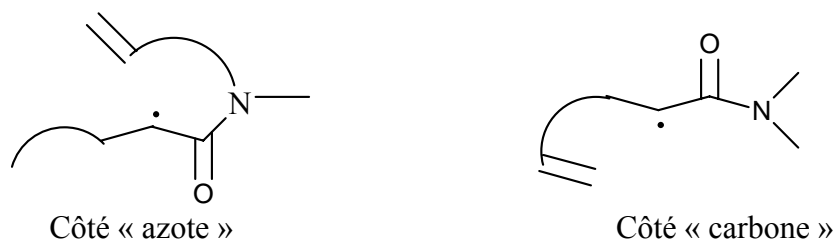
Après la préparation du couple Zn/Cu sous sonication, l'acrylamide en solution dans l'éthanol est ajouté au couple précédent puis le dérivé bromé est additionné progressivement, sous sonication. Au bout d'une heure le produit d'addition **3** est obtenu avec un rendement de 80%, il a été caractérisé par RMN ^1H et RMN ^{13}C .

Un second essai concernant l'addition de tBuBr sur la N-propényl pyrrolidine **4** a été réalisé (Fig-5).

**Fig-5**

Le composé a été préparé **4** lui même à partir de la pyrrolidine et du chlorure d'acryloyle, suivant la méthode décrite par Soai⁵. Sa préparation a lieu en présence d'une solution aqueuse de soude 1 M et d'éther à 0°C. L'acrylamide obtenu est isolé et caractérisé avec un rendement de 68% après purification. Sa réaction avec le bromure de tertio-butyle et le couple Zn/Cu conduit au produit d'addition attendu **5** avec un rendement (non optimisé) de 50%. Il a été caractérisé par les méthodes spectroscopiques usuelles.

Sur des substrats originaux tels que les amides **6**, **8** et **10** nous avons effectué l'addition du bromure de tertio-butyle comme décrit précédemment. La présence d'une insaturation soit dans l'un des substituants de l'atome d'azote, soit dans la chaîne carbonée elle-même, nous laisse supposer que l'intermédiaire radicalaire (Fig-6) peut se cycliser selon un processus 5-exo trig en lactame, pour conduire à un dérivé cyclique saturé.

**Fig-6**

Dans le cas des réactions qui suivent, nous n'avons pu observer cette cyclisation que dans un seul cas et de façon très minoritaire.

A partir de l'amide **6** (Fig-7), l'addition conjuguée a eu lieu avec un rendement de 52% en produit isolé.

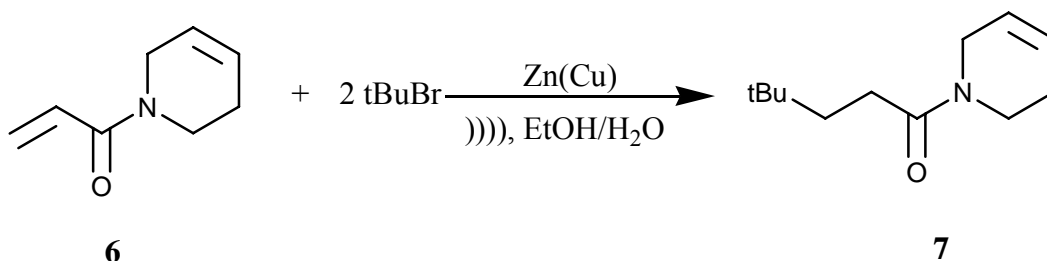
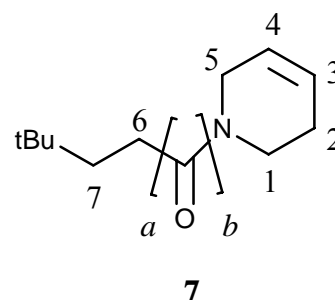


Fig-7

L'analyse par CPV donne les résultats suivants : un pic minoritaire (dosage par CPG : 15%) correspondant à l'amide initial du fait que la réaction est incomplète ainsi qu'un pic correspondant à une masse de 195 attribué au produit d'addition **7**. D'après les fragmentations observées sur le spectre de masse correspondant à ce pic nous en avons déduit que la cyclisation n'avait pas eu lieu. En effet, les fragments caractérisés lors de l'étude par spectrométrie de masse confirment la forme linéaire du produit d'addition **7** :

$m/z = 110$ (M -tBu-CH₂-CH₂), fragmentation *a*
 $m/z = 82$ (M -tBu-(CH₂)₂-CO.), fragmentation *b*



Ce composé **7** a par ailleurs été qui est caractérisé par les méthodes spectroscopiques usuelles après purification.

A partir de l'amide **8** la réaction sonochimique avec le bromure de tertibutyle (Fig-8), conduit à un résultat dont l'interprétation par l'analyse GC/MS est plus complexe.

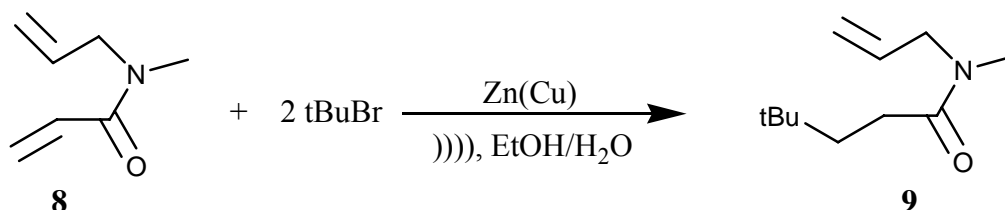
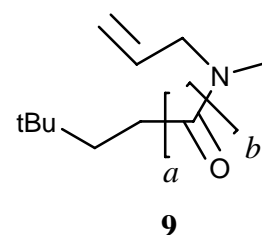


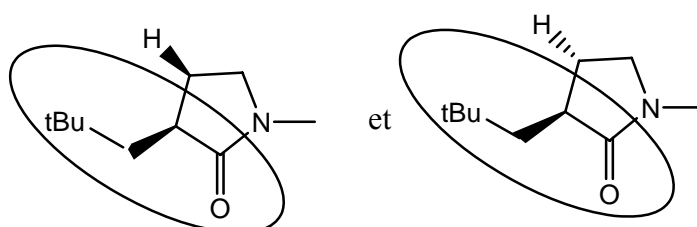
Fig-8

Dans ce cas, la réaction est complète, car on ne retrouve aucune trace de l'amide de départ, mais il y a trois pics correspondant chacun à un isomère de masse de 183. Le pic majoritaire (dosage par CPG : 95%) correspond au produit linéaire (**9**) dont les principaux fragments issus de l'étude par spectrométrie de masse sont :

$m/z = 85$ (tBu-CH₂-CH₂.), fragmentation *a*
 $m/z = 113$ (tBu-(CH₂)₂-CO.), fragmentation *b*



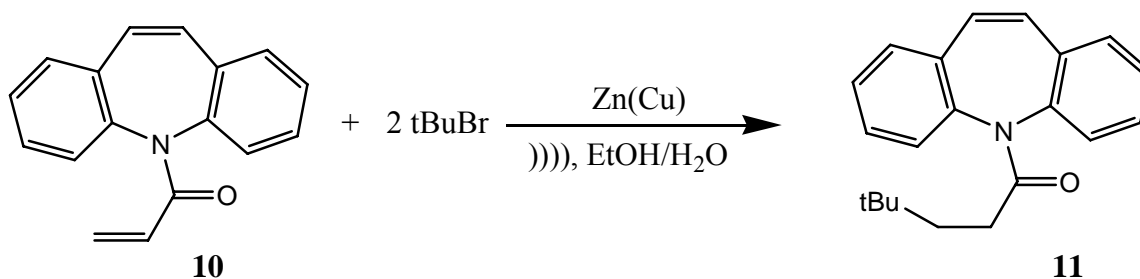
Les deux autres pics largement minoritaires (dosage par CPG : 5%) avec des temps de rétention voisins sont également présents. Pour ces deux produits, on observe sur leur spectre de masse le fragment de masse $m/z = 112$ qui correspond à la formation de cétène (tBu-CH₂-CH=CO). Leurs fragmentations étant identiques, nous pouvons affirmer qu'il s'agit de deux diastéréoisomères. Ces structures présentent vraisemblablement une forme cyclique :



Les deux formes ouvertes et cyclisées ont par ailleurs été caractérisées par IR. Dans la région d'absorption des groupes carbonyles, deux pics sont présents, correspondant à un groupe amide tertiaire ($\nu_{\text{CO-N}} = 1645 \text{ cm}^{-1}$, intense), et un groupe lactame ($\nu_{\text{CO-N}} = 1689 \text{ cm}^{-1}$, faible). Par ailleurs, dans les formes cycliques, la vibration correspondant à l'insaturation ($\nu_{\text{C=C}}$) n'est pas présente.

Le fait que la cyclisation soit nettement minoritaire peut s'expliquer par la durée de vie trop courte du radical qui se réduit et se protone avant de pouvoir réagir sur l'insaturation, ou par une géométrie non favorable en raison de la distance entre le radical et la double liaison.

Un dernier essai (Fig-9), consiste en la réaction de l'amide **10** sur le bromure de tertibutyle. L'analyse GC/MS du produit brut met en évidence le pic correspondant à l'amide de départ (247) et le pic correspondant au pic du produit d'addition **11** (305). Ce dernier est récupéré avec un rendement de 45 % après purification. La linéarité de **11** est confirmée par RMN ¹H.



Dans tous les cas, le fait qu'aucun produit secondaire ne soit formé laisse espérer qu'une optimisation des conditions opératoires pourra améliorer les rendements. Par exemple la vitesse d'addition de l'halogénure au mélange réactionnel, la concentration de l'halogénure, le solvant, sont des paramètres importants qui peuvent influencer la réaction.

Ce travail a montré la grande réactivité des acrylamides tertiaires dans des conditions sonochimiques, et a permis d'obtenir des amides substitués saturés ou insaturés. La variété des motifs utilisés laisse penser une généralisation de ce type de réaction, à d'autres structures.

L'addition conjuguée d'un halogénure sur un système conjugué, sous ultrasons et en utilisant le couple Zinc/Cuivre en milieu aqueux s'avère être une méthode de synthèse intéressante, dont l'étude est à développer.

2. PARTIE EXPERIMENTALE

2.1. Généralités

- Ultrasons

Les réactions sonochimiques ont été réalisées soit à l'aide d'un bac à ultrasons de type Pulsatron 200 (Kerry Ultrasound), [bac de 5,751 thermostaté par une circulation d'eau, basse fréquence (38kHz), flux énergétique 1 à 2 W/cm², seuil acoustique 85 dB], soit à l'aide d'une sonde de 8 mm de diamètre, Ultrason-Annemasse, 30 kHz, 150W et un réacteur à double paroi (afin de pouvoir thermostatier).

- Chromatographie phase gazeuse

Les analyses par CPG sont réalisées sur chromatographe Delsi Di 200 sur colonne SE 30 à température programmée (60°C→260°C).

Les analyses par GC/MS ont été effectuées sur un spectromètre Hewlett-Packard MS 5989 couplé à un chromatographe GC 5890 (colonne capillaire HP1, 12m×0,2mm, film méthylsilicone, impact électronique).

- Chromatographie

Les chromatographies analytiques sur couche mince ont été effectuées sur gel de silice (Kieselgel 60 F₂₅₄, 0,25mm) sur feuille d'aluminium (Merck) et révélés en lumière ultraviolette ou par une solution (5%) de phosphomolybdate dans l'éthanol.

- Résonance magnétique nucléaire (R.M.N)

Les spectres R.M.N¹H ont été enregistrés sur un appareil Bruker AC 80 MHz et AC 250 MHz. Tous les déplacements chimiques exprimés en partie par million (ppm), sont donnés par rapport au tétraméthylsilane.

Les spectres de R.M.N¹³C ont été tracés sur spectromètre Bruker AC 250 MHz. Le solvant deutéré utilisé pour l'enregistrement des spectres de R.MN ¹H et ¹³C est indiqué pour chaque spectre.

- Infrarouge

Les spectres d'absorption infrarouge ont été réalisés sur un spectromètre Perkin Elmer 257. Les échantillons liquides sont examinés en film et les solides en dispersion dans KBr.

- *Préparation du couple Zn/Cu*

Dans un erlenmeyer de 25 ml, on mélange sous argon 500 mg (8 mmoles) de poudre de zinc et 356 mg (2,4 mmoles) d'iodure cuivreux, auxquels on ajoute 2 ml d'eau distillée.

On sonique alors pendant 3 min, le mélange initial gris devient noir intense.

Composé 3 : N,N-diméthyl pentanamide

Au couple Zn/Cu préparé comme ci-dessus, on ajoute 1 mmole (0,099 g) de diméthylacrylamide **2** en solution dans 1 ml d'éthanol. 2 mmoles (0,274 ml) de bromure de tertio-butyle dilué dans 2 ml d'éthanol sont ensuite additionnées progressivement sous sonication. Au bout d'une heure, le mélange réactionnel est filtré sur célite, lavé avec une solution saturée de chlorure d'ammonium, et extrait à l'éther. La phase organique est séchée sur sulfate de magnésium, puis le solvant est évaporé. Le produit d'addition **3** est obtenu avec un rendement de 80%.

RMN ¹H (250 MHz, CDCl₃) :

2,96 (s, 3H) ; 2,90 (s, 3H) ; 2,21 - 2,28 (m, 2H) ; 1,47 - 1,54 (m, 2H) ; 0,88 (s, 9H)

RMN ¹³C (250 MHz, CDCl₃) :

173,78 ; 30,08 ; 38,88 ; 37,35 ; 35,44 ; 29,11 ; 29,04 ppm

LR :

2952 ; 2865 ; 1654 ; 1475 cm⁻¹

Composé 4 : N-propénoyl-pyrrolidine⁵

5 mmoles (0,417 ml) de pyrrolidine sont ajoutées sous atmosphère d'argon à 4 ml d'une solution aqueuse de soude 1 M, puis on additionne goutte à goutte à 0°C ; 5 mmoles (0,41 ml) de chlorure d'acryloyle diluées dans 7 ml d'éther éthylique. On laisse sous une forte agitation à 0°C pendant 45 min puis 2h15' à température ambiante. On lave alors avec une solution aqueuse saturée de chlorure d'ammonium puis on extrait au chloroforme. La phase organique est séchée sur sulfate de magnésium puis on évapore les solvants. L'acrylamide **4** est obtenu avec un rendement de 68% après purification sur colonne de silice (éluant : acétate d'éthyle/hexane).

RMN ¹H (80 MHz, CDCl₃) :

6,3 - 6,4 (m, 2H) ; 5,5 - 5,7 (m, 1H) ; 3,4 - 3,6 (m, 4H) ; 1,7 - 2,2 (m, 4H)

RMN ¹³C (250 MHz, CDCl₃) :

164,29 ; 128,78 ; 127,03 ; 46,46 ; 45,74 ; 26,01 ; 24,17 ppm

LR :

3050 ; 2973 ; 2875 ; 1650 ; 1645 cm⁻¹

Composé 5 : N-(4,4-diméthyl)pentanoyl pyrrolidine

Le mode opératoire est identique à celui de composé **3**. La réaction de l'acrylamide **4** avec le bromure de tertio-butyle et le couple Zn/Cu conduit au produit d'addition attendu **5** avec un rendement de 50% après purification.

RMN ¹H (250 MHz, CDCl₃) :

3,39 - 3,42 (m, 4H) ; 2,00 (m, 2H) ; 1,83 - 1,91 (m, 4H) ; 1,30 - 1,83 (m, 2H) ; 0,88 (s, 9H)

LR :

2955 ; 2870 ; 1635 ; 1434 cm⁻¹

GC/MS :

m/z = 183 (M⁺)

Composé 6 : N-propényl-(1,2,5,6 tétrahydro)pyridine

Le mode opératoire est identique à celui du composé **4** (à partir du chlorure d'acide correspondant). Il a été obtenu avec un rendement de 76% après purification sur colonne de silice (éluant : acétate d'éthyle/hexane).

RMN ^1H (80 MHz, CDCl_3) :

5,6 - 6,0 (m, 1H) ; 6,0 - 6,8 (m, 2H) ; 5,5 - 5,9 (m, 2H) ; 3,8 - 4,2 (m, 2H) ; 3,4 - 3,7 (m, 2H) ; 2,1 - 2,3 (m, 2H)

IR :

3036 ; 2920 ; 2840 ; 1641 ; 1611 ; 1434 cm^{-1}

GC/MS :

$m/z = 137 (\text{M}^+)$

Composé 7 : N-(4,4-diméthyl)pentanoyl-(1,2,5,6 tétrahydro)pyridine

La réaction de l'acrylamide **6** avec le bromure de tertibutyle et le couple Zn/Cu en milieu aqueux conduit au produit d'addition **7** avec un rendement de 52% après purification sur colonne de silice (éluant : acétate d'éthyle/hexane).

RMN ^1H (80 MHz, CDCl_3) :

5,5 - 5,9 (m, 2H) ; 3,8 - 4,1 (m, 2H) ; 3,5 - 3,8 (m, 2H) ; 2,2 - 2,5 (m, 1H) ; 2,1 - 2,3 (m, 2H) ; 1,4 - 1,7 (m, 2H) ; 0,9 (s, 9H)

IR :

3035 ; 2952 ; 2864 ; 1638 ; 1438 cm^{-1}

GC/MS :

$m/z = 195 (\text{M}^+)$

Composé 8 : N-méthyl-N-(2'-propényl)propénamide

Le mode opératoire est identique à celui du composé **4** (à partir du chlorure d'acide correspondant). L'amide **8** a été obtenu avec un rendement de 66% après purification sur colonne de silice (éluant : acétate d'éthyle/hexane).

RMN ^1H (80 MHz, CDCl_3) :

6,14 - 6,53 (m, 2H) ; 5,50 - 5,55 (m, 1H) ; 5,55 - 5,71 (m, 1H) ; 4,99 - 5,11 (m, 2H) ; 3,83 - 3,95 (m, 2H) ; 2,88 (s, 3H)

IR :

3082 ; 2932 ; 1651 ; 1613 ; 1415 cm^{-1}

GC/MS :

$m/z = 125 (\text{M}^+)$

Composé 9 : N-méthyl-N-(2'-propényl)propanamide

La réaction de l'acrylamide **8** avec le bromure de tertibutyle et le couple Zn/Cu en milieu aqueux conduit au produit d'addition linéaire **9** et un produit cyclique.

RMN ^{13}C (250 MHz, CDCl_3) :

167,72 ; 166,86 ; 128,02 ; 127,75 ; 132,57 ; 132,39 ; 127,55 ; 117,35 ; 116,66 ; 52,11 ; 50,17 ; 34,71 ; 33,67 ppm

IR :

3080 ; 2953 ; 1415 cm^{-1}

ν_{CON} (forme cyclique) = 1689 cm^{-1}

$\nu_{\text{C}=\text{C}}$ et ν_{CON} (forme linéaire) = 1645 cm^{-1}

GC/MS :

$m/z = 183 (\text{M}^+)$

Composé 11 :

Le mode opératoire est identique à celui du composé **9** à partir de l'amide **10**. Il a été isolé après purification sur une colonne de silice (éluant : acétate d'éthyle/hexane) avec un rendement de 45%.

RMN ^1H (80 MHz, CDCl_3) :

7,33 - 7,44 (m, 8H) ; 6,94 (s, 1H) ; 6,93 (s, 1H) ; 2,00 (m, 2H) ; 1,46 (m, 2H) ; 0,72 (s, 9H)

RMN ^{13}C (250 MHz, CDCl_3) :

174,17; 140,56; 135,04; 133,54; 131,53; 127,32; 38,99; 29,27; 28,90 ppm

I.R :

3023 ; 2952 ; 2859 ; 1645 ; 1662 cm^{-1}

GC/MS :

$m/z = 305$ (M^+)

$m/z = 194$ [$\text{M}^+ - \text{tBu}(\text{CH}_2)_2\text{CO}$]

P.F.: 95 – 96°C

Bibliographie

- 1- Einhorn, C ; Einhorn, J ; Luche, J.L., *Synthesis* ., **1989**, 787
- 2- Luche, J.L., *Ultrasonics*., **1987**, 25, 40
- 3- Pétrier, C ; Luche, J.L., *J. Org. Chem.*, **1985**, 50, 910
- 4- Dupuy, C ; Pétrier, C ; Sarandeses, L.A ; Luche, J.L., *Synth.commun.*, **1991**, 21, 643
- 5- Soai, K ; Machida, H ; Yokota, N., *J. Chem. Soc. Perkin , Trans I.*, **1987**, 1909

**THE STRUCTURE OF CORAL REEF BENTHIC COMMUNITIES
AT SAINT-GILLES LA SALINE IN 1987
(REUNION, MASCARENE ARCHIPELAGO, S.W. INDIAN OCEAN)**

Odile NAIM

Laboratoire d'Écologie marine, Université de la Réunion, BP 7151, 97715 Saint-Denis Cedex Messag
09, La Réunion, France (DOM)

odile.naim@univ-reunion.fr ; naim.odile@wanadoo.fr

Résumé : Cette étude porte sur la structure des communautés benthiques caractérisant le platier récifal de Saint-Gilles la Saline, le récif corallien frangeant le plus développé de l'île de la Réunion (9 km de long sur 550m au plus large). Cent vingt-neuf transects de 30 m de long ont été étudiés le long de 17 radiales allant de la plage au front récifal. L'abondance des communautés fixées (algues, coraux,...) a été quantifiée le long de transects linéaires (10m) tandis que les densités d'oursins, d'holothuries et de poissons demoiselles territoriaux *Stegastes* ont été quantifiées sur des « transects-ceinture » (10m x 2m). Une classification empruntée à la phyto-sociologie, basée sur la dominance des coraux durs, cyanophycées et algues molles, puis une Analyse en Composantes Principales (ACP), utilisant nombre de variables tant biotiques qu'abiotiques, ont montré que deux types de communautés s'opposent: l'une, ACR, est dominée par des coraux appartenant au genre *Acropora* (espèces dominantes : *A.formosa* et *A.humilis*) entourés de peu d'algues molles, de nombreux oursins, notamment sur le platier récifal (PR) (esp.dominantes : *Echinometra mathaei* et Diadematidae ; max: 60 per m²), et de rares holothuries dans la dépression d'arrière-récif, tandis que l'autre, MAS, est dominée par des coraux submassifs (*Montipora circumvallata* et *Porites (Synaraea) rus*) en compétition avec des cyanophycées et algues molles; sur le PR, les oursins sont quasi-absents et dans la dépression d'arrière-récif, ils restent rares tandis que les holothuries sont abondantes (max: 5 per m²). ACR est considérée comme la communauté de PR en climax tandis que MAS constituerait la structure dégradée de ACR due à une eutrophisation de faible ampleur (dystrophie).

Abstract : This study documents the structure of benthic communities on the Saint-Gilles La Saline coral reef flat, the most highly evolved fringing reef of Reunion, a high volcanic island belonging to the Mascarene Archipelago. A total of 17 radials and 169 line transects were surveyed along the 9-km-long reef flat. A phyto-sociological classification based on the algal and hard coral dominance, and a "Principal Component Analysis" (PCA) based on substrate categories and densities of echinoderms and *Stegastes* (sedentary fish species) both opposed two types of benthic communities (1) a first one dominated by a living and diverse *Acropora* community (mainly *A. formosa* and *A. humilis*) with inconspicuous coverage of fleshy algae and high densities of sea-urchins (*Echinometra mathaei* and Diadematidae) on the reef flat, here named ACR, and (2) a second one (MAS) consisting of a submassive coral community (mainly *Montipora circumvallata* and *Porites (Synaraea) rus*) in competition with abundant fleshy algae and cyanophytes, with a few sea-urchins on the reef flat and high densities of holothuroids (mainly *Holothuria atra*) on the back reef. The ACR community is considered here to be the community in climax, while the MAS community, less abundant, is hypothesized to be the structure degraded by a dystrophy of the system.

Mots-clés: récifs coralliens, récifs frangeants, platiers récifaux, communautés benthiques, coraux, algues, oursins, holothuries, autotrophie, hétérotrophie, dégradation, eutrophisation

Key-words: coral reefs, fringing reefs, reef flats, benthic communities, corals, algae, sea urchins, holothurians, autotrophy, heterotrophy, degradation, eutrophication

INTRODUCTION

Over the last twenty years or so scientists have become increasingly concerned by degradation of coral reef communities around the world. Several long-term studies have shown considerable disturbances within the structure of coral reef communities, generally due to human activities (Muzik, 1985, at Okinawa, Japan; Rogers, 1985, and Gittings *et al.*, 1992, in the Caribbean; Brodie & Furnas, 1992, on the Great Barrier Reef; Fagerstrom, 1992, in French Polynesia, in the Pacific; Mergner *et al.*, 1992 at Aqaba, in the Red Sea; Wilkinson *et al.*, 2004, World).

Coral reefs at Reunion have been studied for 30 years (Naim *et al.*, 2000; Conand, 2002; Conand *et al.*, 2002). On the coral reef complex of Saint-Gilles la Saline, the subject of the present study, Bouchon (1981) and Faure (1982) recorded an abundant and diversified coral community. In 1983, Guillaume *et al.* first recorded a severe coral degradation on the reef while underlining an increase in macroalgal coverage. Later, Cuet *et al.* (1988) showed that (1) submarine groundwater discharge (SGD) occurs on the reef flat studied, (2) SGD was enriched with nutrients, and (3) reef areas subject to these enriched SGD were characterized by a high macro-algal coverage. The purpose of this study, carried out in 1987, is to pinpoint the structures characterizing the benthic communities at that time along the 9-km section of the Saint-Gilles la Saline reef flat.

Sites and methods

LOCATION AND PHYSIOGRAPHY OF THE REEF

The high volcanic island of Reunion is a very young island, 2.1 million years old; its highest point is the Piton des Neiges 3,069 m; its surface area 2,512 km² (Montaggioni and Faure, 1980). The island lies 21°07'-19°40' South and 55°13'-61°13' East, and, with Mauritius and Rodrigues, forms the Mascarene Archipelago. Its very narrow and discontinuous fringing reefs lie along the dry western and southern coasts. The Saint-Gilles la Saline reef is a complex composed of two parts (1) the Saint-Gilles reef, North of the Hermitage pass (the surface area of the reef flat *sensu lato* (see definition below) is 0.86 km²; max. width is 350 m; the reef front is 3.70 km long) and (2) the la Saline reef, South of the same pass, which is the largest Reunion reef (the surface area of the reef flat *s.l.* is 2.03 km²; max. width is 520 m; the reef front is 4.25 km long) [Fig. 1].

ENVIRONMENTAL CONDITIONS

Reefs at Reunion are exposed to strong hydrodynamic interferences. In the cool season (June to August), southeast trade-winds (7-11 km.h⁻¹) generate a southeast swell (1-2 m high) that affects most of the coast. During the hot season (November to February), winds and swells are weak (less than 6 km.h⁻¹; maximum 0.5 m high) but occasional cyclones (whirlwinds of 120-250 km.h⁻¹; swells of 4-11 m amplitude) profoundly modify these calm abiotic features. The reef is also affected by 3-5m-high swells, mainly South-West, generated by polar depressions starting in the Marion Island region (in the Roaring Forties). Tides are semi-diurnal. The range, greatly modified by swells, varies from 0.10 m (neaps) to 0.95 m (springs) (Piton, 1992). Rains on the dry watershed (annual rainfall = 570 mm), occur mainly between December and March. In 1986-87, the annual temperature of waters ranged from 23.5°C to 31.6°C on reef flats (Cuet, 1989). Sediments are of biotic origin, and no sedimentation is noticeable on the reef, except in front of the ravines when run-off from the land occurs during storms.

GEOMORPHOLOGY OF THE REEF COMPLEX, TERMINOLOGY

From North to South, the reef can be divided into three sections [Fig. 1]:

(I) The first section, identified as AB, is narrow (width 200 m from the beach to the reef front) and exposed to rough conditions. A very narrow sandy channel, less than 5 m wide, separates the reef flat from the beach;

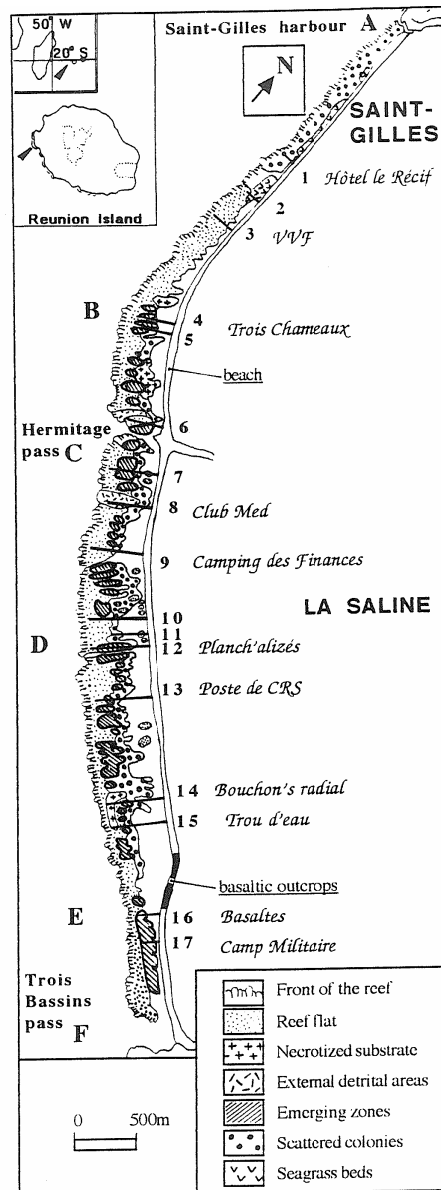


Figure 1: Map of the Saint-Gilles la Saline reef complex. Location of the radial lines.

(II) The second section, identified as BE and lying in a north-westerly direction, is broader (width 350-550 m). Given the geomorphology of the reef, we have followed the work of Montaggioni & Faure (1980) on it but with a simplified terminology [Fig. 2]. We prefer to

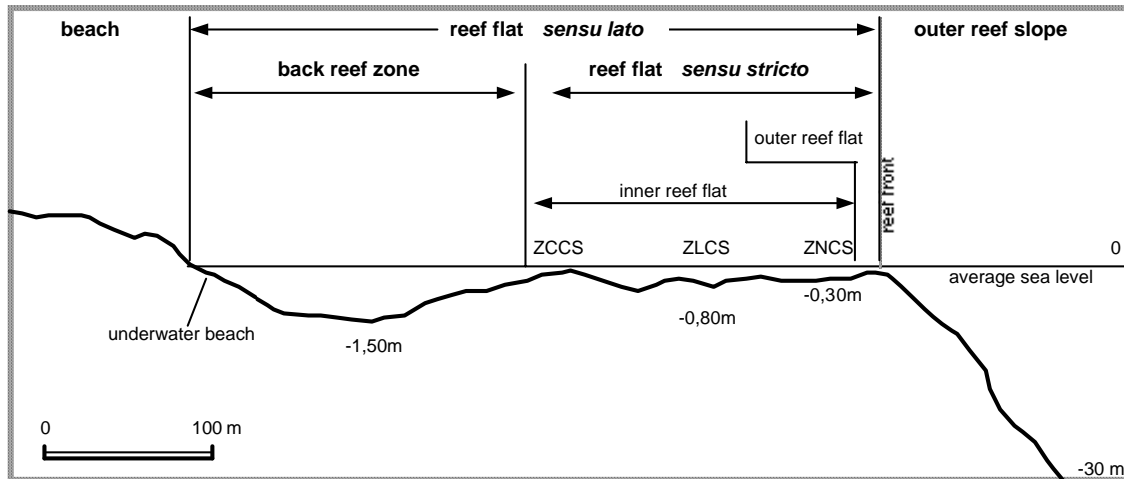


Figure 2: Reef profile on section BE of the Saint-Gilles la Saline reef.

ZCCS = Zone of coalescent coral strips, ZLCS = Zone of large coral strips, ZNCS = Zone of narrow coral strips.

consider the reef's geomorphology taking into account the functioning of its different sections that take the form of belts, perpendicular to the most limiting factor, the swell.

From the reef front to the beach, we have defined the "reef flat *sensu lato* (*s.l.*)". This zone can be roughly divided into two major sections (1) the "reef flat *sensu stricto* (*s.s.*)" (width 250-350 m; depth 0.1-0.8 m), which is the "coral zone", characterized by at least 25% of coral coverage, (2) the "back reef zone" (width 150-250 m; depth 0.8-1.5 m), where detritic material is dominant. Generally, a "zone of scattered coral heads" constitutes the transition between the reef flat *s.s.* and the back reef area, but we have integrated it into the back reef.

The reef flat *sensu stricto* can be summarily divided into 2 sub-zones (**A**) an *outer reef flat*, just behind the reef front, made up of a very narrow and shallow compact platform, exposed to high wave-energy (width less than 100 m; depth 0.1 m); (**B**) an *inner reef flat*, the largest part of the reef flat *s.s.* (width 200 m-300 m; depth in sandy channels 0.2-0.8m). From the ocean to the back reef, the inner reef flat can be divided into 3 sub-zones (**B.1**) a *zone of very narrow and shallow coral strips* [ZNCS, Fig. 2, width 50 m-100 m; depth 0.2 m; coral strips 0.2-0.5 m wide, 1-3 m long]; (**B.2**) a *zone of large coral strips* [ZLCS, Fig. 2, width 100-150 m; depth 0.8m, in sandy channels; coral strips 1-3 m wide, 2-10 m long]; (**B.3**) shoreside, a *zone of coalescent coral strips* [(ZCCS, Fig. 2, width 50 m; depth in sandy channels 1.0 m] emerging first at low tide. At Saint-Gilles la Saline the outer reef flat is often lacking, replaced by a flat pavement with rare coral colonies, as is the ZCCS.

(III) The narrow third section, identified as EF, has the same geomorphology as part AB, but is less exposed to oceanic swells.

BENTHIC COMMUNITY ASSESSMENT

Community structure was assessed along 17 radial lines (rad. in this text), perpendicular to the front of the reef, running from the outer limit of the inner reef flat to the beach [Fig.1]. Due to strong hydrodynamism, it was not possible to stretch line transects on the outer reef flat or on the northern part of the reef complex. Consequently information was rarely collected on the outer reef flat, and only qualitative data on the northern part of the reef.

The study was carried out in March-April 1987, at the end of the rainy season, when algal biomass is at a maximum (Semple, 1997). Estimation of community coverage was made using the line intercept method (Loya, 1972; Lucas & Seber, 1977). On each radial line, a total of 169 independent line transects, each 10 m in length and parallel to the front of the reef, were run at fixed intervals of 30m to estimate the percentage cover of major benthic categories such as live and dead coral, macroalgae, damselfish territories, and sand and rubble on each site. Moreover, on each radial, a qualitative assessment was made according to the relative abundance and/or dominance of cyanophytes, epilithic algal communities (EAC), macroalgae, dead substrates covered with macroalgae, living submassive corals, total *Acropora*, and living and recently dead *Acropora*, using the following classification: class 0, absent; class 1, very rare; class 2, rare; class 3, abundant; class 4, very abundant; class 5, totally dominant. Stony corals are described using Veron's nomenclature (2000).

Densities of echinoids and holothuroids (clearly visible) were censused per 20 m² (a 1-m strip on either side of all 10-m line transects). Each population density was expressed by number of individuals per 10 m² of reef surface.

CLASSIFICATION of radials

First, a classification of all radials, based on qualitative indices, was established according to one of Guinochet's methods (1973, p. 17). Then mean averages of substrate coverage and echinoderm densities were classified using the "Principal Component Analysis" (PCA) (following Benzecri, 1973). To compare the radial lines, after first separating reef flat and back reef data, we used coverage and density averages of all transects on one radial line, the mean being considered as the data's centre of gravity.

RESULTS

General assessment

Distribution and abundance of communities vary consistently between the different sites along the reef flat. Two radial lines have some particularities: rad. 2 runs through a seagrass bed, and rad. 8, shoreward, runs over a coral reef flat up to the underwater beach, and, seaward, over an area covered with dead thickets of *Acropora* [Fig. 1].

Coral community

Hard corals

Part AB. Most of the substratum is consolidated by crustose red algae and forms a flat pavement typical of agitated habitats. Dominant corals (10 to 30% coverage) are composed of massive *Porites* (*Porites*) *lutea*, large branched *Pocillopora* (mostly *verrucosa*) and low digitate and corymbose *Acropora* (*A.humilis* group). In front of grooves in the reef where currents are strong, *Millepora tenella* forms colonies, developing into micro atolls when more than 0.5 m in diameter. Further South, on radial lines 1, 2 and 3, can be found the first small low-arborescent *Acropora formosa* strips (1m long). The back reef zone is reduced to a very narrow sandy channel (less than 5 m in width).

Part BE. The inner reef flat supports an *Acropora*-dominated community of diverse forms and species [Fig. 3 top graph]. On the ZNCS, the corymbose group of *Acropora humilis* is dominant. On the ZLCS (deeper and calmer), the arborescent group of *Acropora formosa*

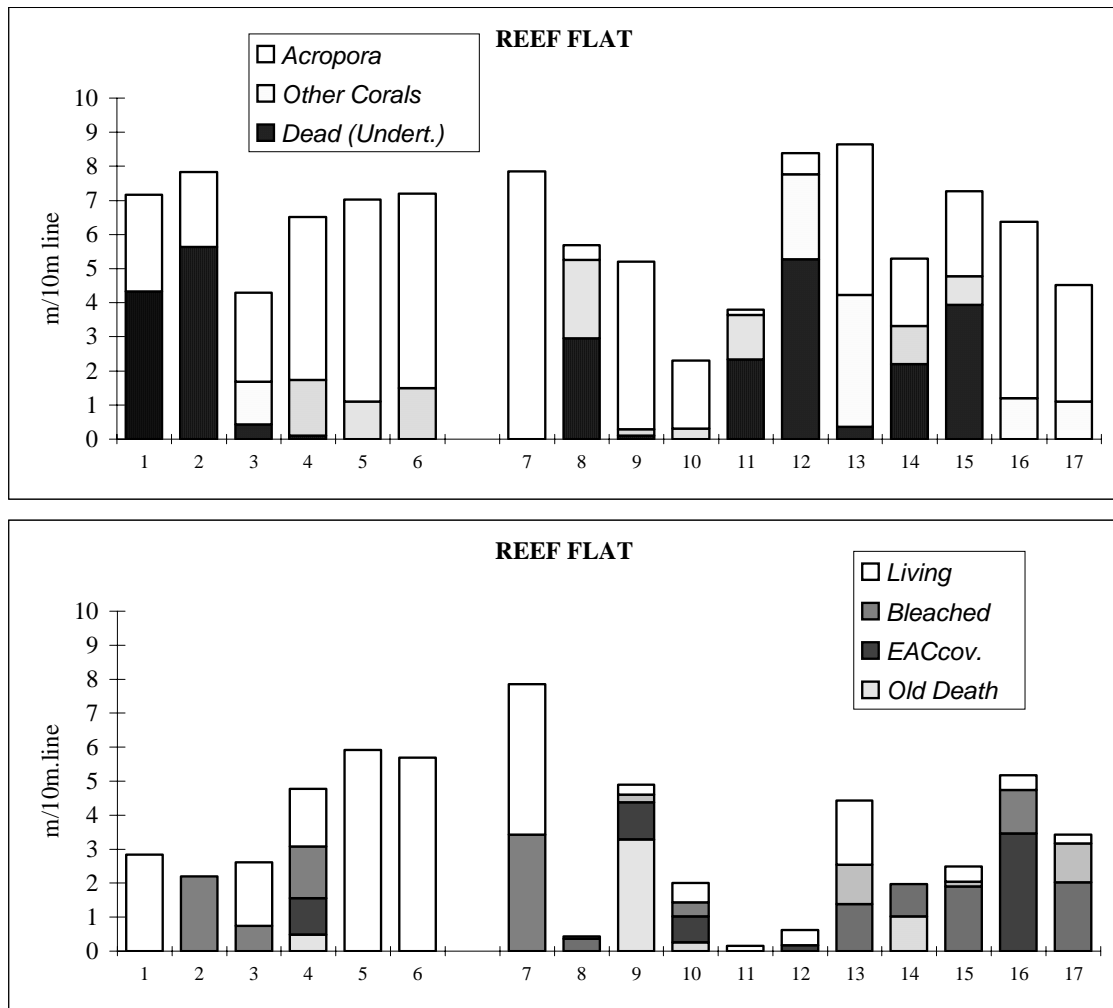


Figure 3: Mean of total coral coverage (top graph) and *Acropora* coverage (bottom graph) on each radial line. Undeter. = undetermined, EACcov. = EAC-covered.

becomes dominant, surrounded by numerous metric colonies of *Montipora circumvallata*. Shoreward, especially in the CD part, the arborescent *Acropora* colonies coalesce into a belt of intertwined structures (ZCCS) emerging at low tides. On the back reef zone, colonies are sparse and dominated, in coverage, by *Porites (Porites) lutea* and *P. (P.) nigrescens*, and, in number, by *Millepora exaesa*. Rounded bushes of *Acropora formosa* characterize the zone of scattered colonies.

An exception in this “*Acropora* pattern” occurs at two locations: “Club Med” (rad.8) and “Planch’Alizés” (rad.12 & 13) where dominant living corals appear to be submassive (Fig. 3 top graph). At Planch’Alizés, on the ZNCS (this zone does not exist in Club Med), most of the corals are dead and covered by algae (see also Chabanet, 1994). At Planch’Alizés and Club Med, on the ZLCS, *Montipora circumvallata* and *Porites (Synaraea) rus* dominate in coverage, and *Pocillopora damicornis* in number of colonies, and are in competition with abundant fleshy and filamentous algae and cyanophytes (see below) and grow in finger-like form.

On rad.13, numerous corallites (mostly of *Porites (Porites) nigrescens*) indicate the presence of strong currents and rarity of sandy areas. On rad.14 (the “Petit trou d’eau” site, studied by Bouchon, 1981), the ZCCS is distinguished by plurimetric macrocolonies of *Pavona divaricata*, surrounded by coral strips of the *Acropora formosa* group. On the back reef zone, metric colonies or micro-atolls of *Porites (Porites) lutea* and *P.(P.) cylindrica* occur.

Part EF. The inner reef flat of the southern part of the reef complex is largely covered by Acroporids, which belong to the *formosa* group and form compact bushes. This compact and arborescent formation leaves scant room for very narrow sandy channels.

Coral degradation affects all this reef, mainly the *Acropora* community [Fig. 3 bottom graph]. On rad.9, more than 90% of coral coverage is dead. Moreover, just prior to this survey, a bleaching phenomenon had occurred. All bleached corals were already dead and perfectly white. All the bleached corals censused belonged to the *Acropora* genus (31.4% of the total *Acropora* cover on the whole reef). No coral bleaching occurred on the back reef.

Soft corals

Soft corals, abundant on the outer reef flat where *Lobophytum* is dominant and occurs around grooves and passes, are few and far between on the inner reef flats, and are not censused on the line transects.

PRIMARY PRODUCERS COMMUNITY

The seagrass community

On the shoreward side of the AB inner reef flat, the *Syringodium isoetifolium* seagrass fosters subtidal semi-circular metric banks. They form a barrier between the underwater beach and the reef flat *s. s.* [Fig. 1]. Some metric patches of *S. isoetifolium* can be observed on plot CE in the reef flat and back reef zones, but this facies is inconspicuous and extremely variable in coverage and quantity, and over time. On reef flats seagrass never forms large meadows like in Mauritius.

The algal community

Cyanophytes. They are very abundant on rad. 8, 12, 16 and 17 (qualitative assessment). The dominant and perennial species, *Lyngbya majuscula*, spreads out between the branches of the corals, and fills out the gaps in coral coverage: in some places the corals are literally invaded by its woven filaments.

Crustose coralline algae. The photophilic *Hydrolithon onkodes* encrusts most of the dead horizontal sub-emerging surfaces. Besides, *Lithophyllum sp* colonizes the vertical parts of the dead substrates giving them a knobbed facies. In plot AB, the leafy and fragile crusts of *Mesophyllum crispensens* may be locally abundant but they totally disappear to the South. This Melobesiae tends to envelop submetric living coral colonies, such as *Acropora formosa*, *Porites lutea* and *Millepora tenella*, that, afterwards, are still alive but almost totally wrapped into its crispy calcareous thallus, which we have personally never seen elsewhere in almost 30 years' experience. In back reef habitats of sector CE, *Lithophyllum sp*, when encrusting coral rubble, forms a delicately branched framework. Locally, these rhodoliths can cover 100% of the substratum, as observed on rad. 12.

Fleshy algae. The mean coverage of the two dominant macroalgae *Hypnea valentiae* and *Turbinaria ornata*, is shown in Fig. 4. Seasonal occurrence of algae is described in detail in Naim (1993) and Semple (1997). In April, on rad. 8, 11, 12 and 15 on the reef flat, large fleshy

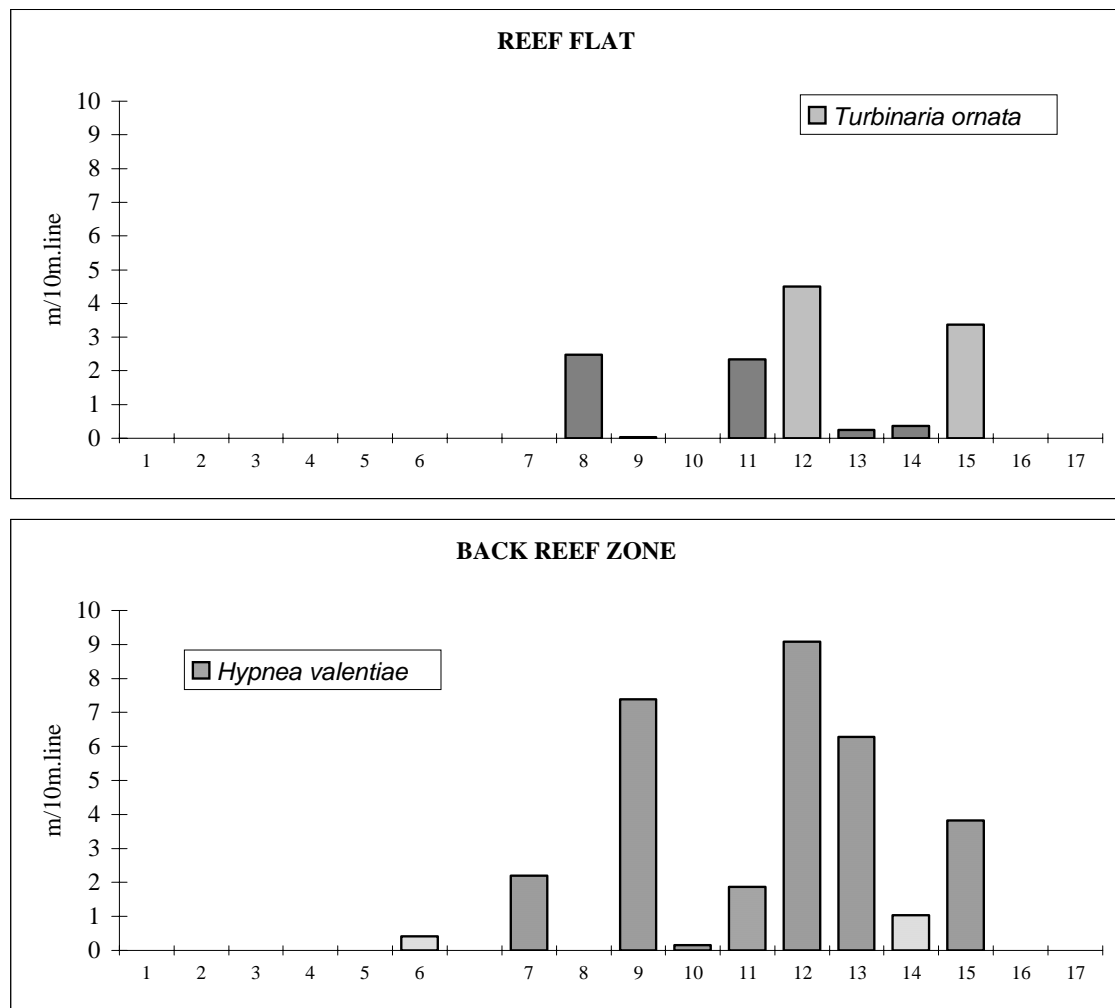


Figure 4: Mean of the *Turbinaria ornata* coverage on reef flat dead corals (top graph) and the *Hypnea valentiae* coverage on back reef detritic substrates (bottom graph) on each radial line.

macrophytes, notably *T. ornata*, abound on dead emerging coral surfaces, overgrowing the perennial *Hydrolithon onkodes*, *Lobophora variegata* and *Dictyosphaeria setchellii*. In the back reef zone, *H. valentiae* abounds on rad. 9, 12, 13, 15 and tends, in places, to overgrow all substrata. Nevertheless, only small coral colonies can be overgrown as the thallus of this alga is made up of softly interlaced filaments. On the oceanic side [not indicated] on rad. 8, *H. valentiae* entirely covers the detritic zone. Fleshy brown algae (*Dictyota spp* and *Padina spp*) are particularly abundant around the seagrass beds [not indicated].

Epilithic algal communities (EAC). Diverse and luxuriant assemblages at the same time of small filamentous algae (turf) and of crustose coralline algae, described by Wanders (1977) and collectively called epilithic algal communities *sensu* Hatcher (1981), characterize the territories defended by herbivorous damselfish. On the ZLCS, the predominant species of territorial damselfish was *Stegastes nigricans* (95-99% of total territories, Letourneur, pers. comm.). The *Stegastes nigricans*' territories tend to occur among the open thickets of *A. formosa* (rad. 16, 17) and on the more sheltered parts of the inner reef flat, along rad. 7, 13 [Fig. 5]. On rad.8 and 12, where *Acropora* is scarce or absent, *Stegastes nigricans*' territories are likely to be found on *Pocillopora damicornis*, *Montipora circumvallata*, *Porites (Synaraea) rus* and *Porites (Porites) lutea*.

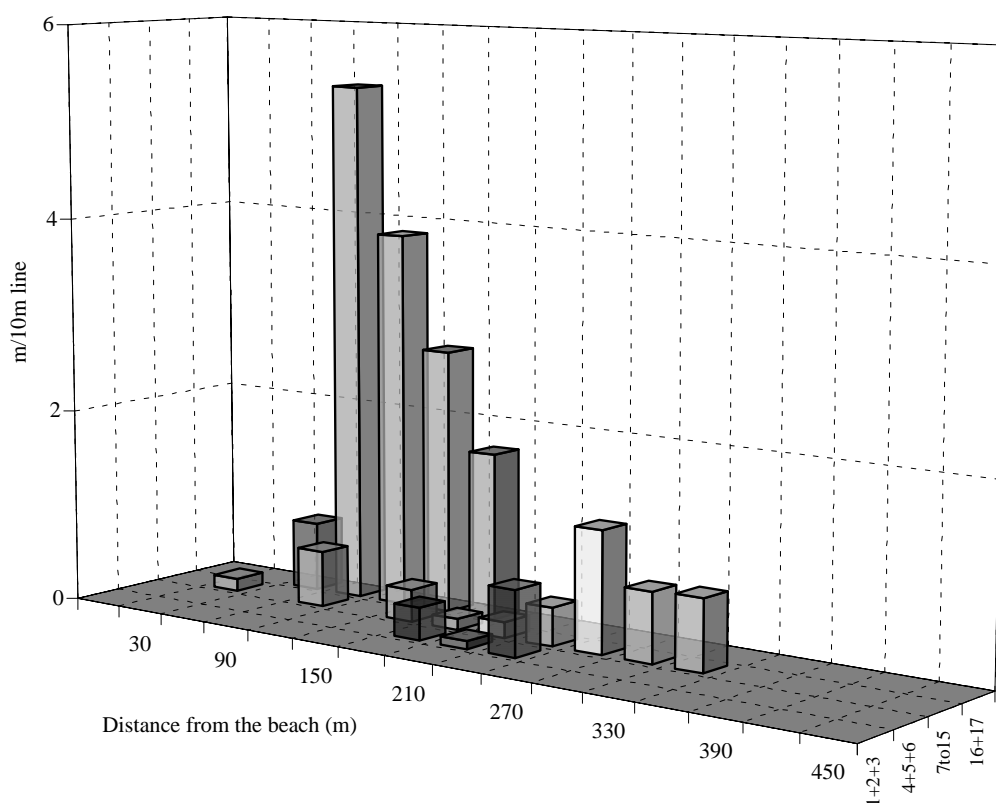


Figure 5: Mean coverage of damselfish territories, according to the distance from the beach (radials have been grouped, zone AB=1+2+3, zone BC=4+5+6, zone CE=7 to 15, zone EF=16+17).

ECHINODERM COMMUNITY

Echinoids

At least six species of shallow-water sea-urchins are to be found on the Saint-Gilles la Saline reef: *Echinometra mathaei*, *Diadema setosum*, *Echinothrix savignyi*, *Tripneustes gratilla*, *Toxopneustes pileolus* and *Stomopneustes variolaris*. Some very rare Cidaridae were censused. *Echinometra mathaei* is the dominant species by number [Fig. 6]. In shallow habitats subject to tidal flow influence, it is often aggregated by the hundred and may colonize either standing dead coral skeletons on the reef flat (rad. 4, 5 and 15) or subtidal beach rocks (rad. 4, 16, 17). The density of this species is certainly underestimated: night densities of *E.mathaei* appear to be at least 3 times as high as day densities, due, in part, to the presence of abundant juveniles that hide from daylight. *Diadema setosum* is characteristic of the BC reef flat, but remains sparse, as does *Toxopneustes pileolus* on back reefs. Nevertheless, *T.pileolus* is locally frequent on rad.13 (1 or more per 100 m²). *Tripneustes gratilla* is common on the back reefs (1 per 20 m²), and may abound in seagrass beds. *Echinothrix savignyi* is ubiquitous on the top of the spur-and-groove area of the outer reef slope except on rad.12 and 13 where it is conspicuously lacking.

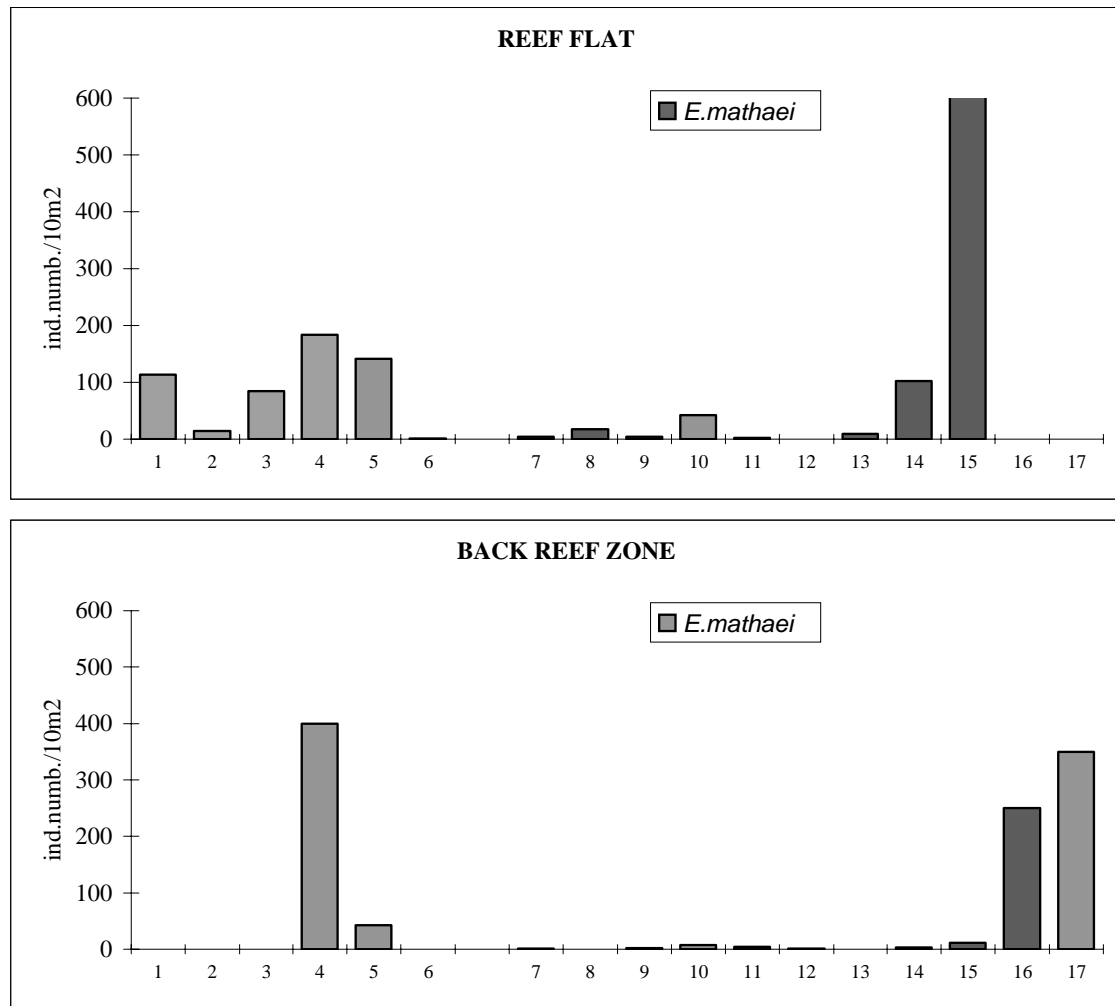


Figure 6: Mean density of *Echinometra mathaei* on the inner reef flat (top graph) and on the back reef zone (bottom graph) on each radial line.

Aggregations composed of twenty individuals of *Stomopneustes variolaris* are observed wherever freshwater discharge occurs.

Holothuroids

Seven species of holothuroids are censused: *Holothuria atra*, *H. leucospilota*, *H. nobilis*, *Actinopyga echinites*, *A.mauritiana*, *Stichopus chloronotus* and *Synapta maculata*. Many species are hidden and thus not recorded. *H. leucospilota* and *A. echinites* are dominant on the reef flat *s.s.* (the latter particularly in seagrass beds), *H. atra* and *H. leucospilota* on the back reef [Fig. 7]. *H. leucospilota* is highly characteristic of rad. 9 to 13 and *H. atra* of rad. 10, 11, 12. Due perhaps to intertidal currents, numerous *H. atra* (over 30 per m²) are to be found, often observed packed together with rhodoliths on rad.12. *Stichopus chloronotus*, that is scarce on the reef, abounds (more than 10 per m²) north of rad. 16, where fresh water springs at the base of basaltic rocks. On both sites, the high abundance of *H. atra* and *S. chloronotus* is clearly due to the abundance of young recruits, resulting from the fission of adults (Conand and Ridder, 1990; Conand *et al.*, 1998).

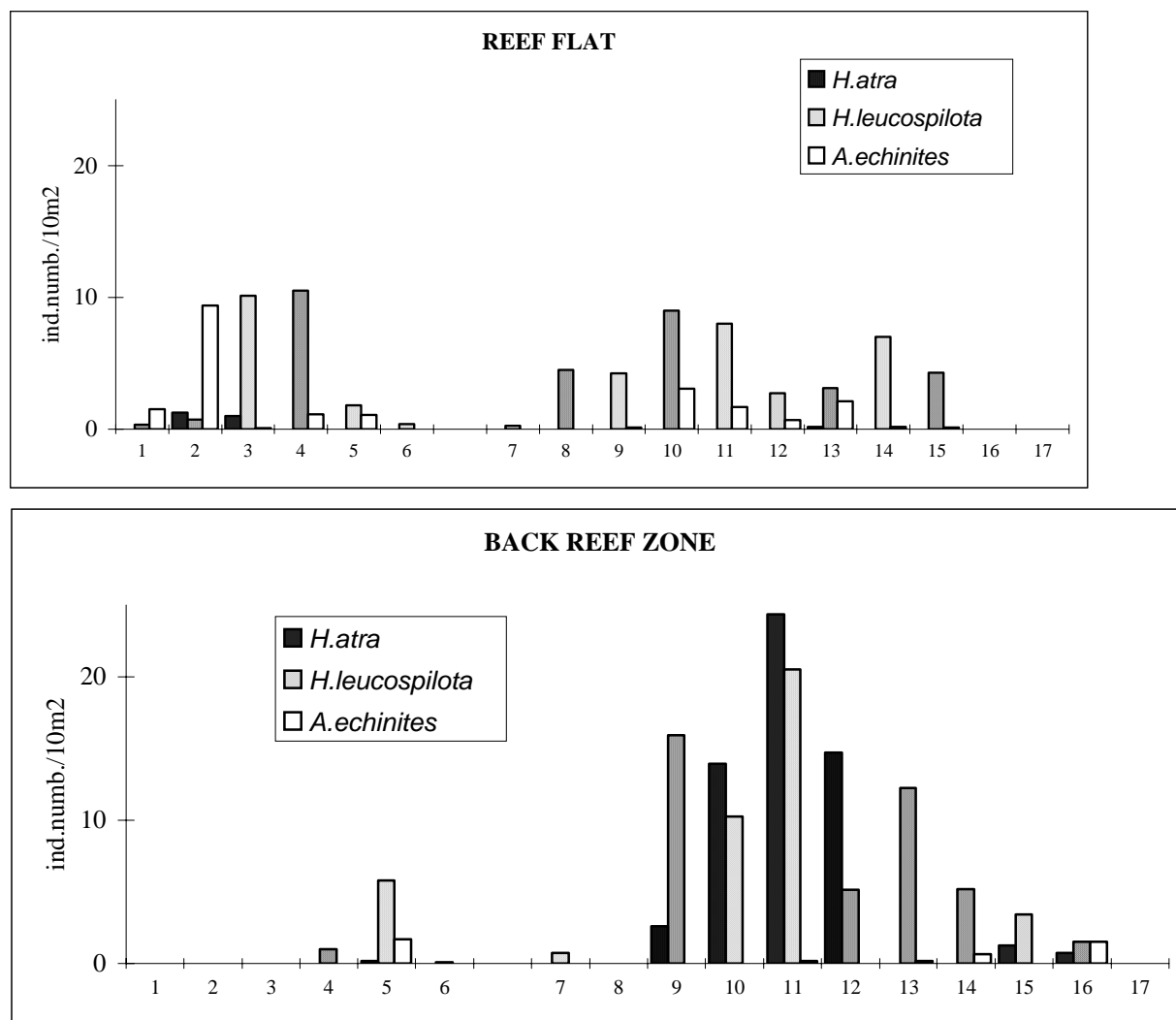


Figure 7: Mean density of *Holothuria atra*, *H. leucospilota* and *Actinopyga echinites* on the inner reef flat (top graph) and on the back reef zone (bottom graph) on each radial line.

Holothuria pervicax, *H. cinerascens*, *H. close to flavomaculata* and *Stichopus horrens* are particularly abundant around seagrass beds.

AFFINITIES BETWEEN RADIALS DEFINED BY PHYTO-SOCIOLOGICAL METHODS

The radial lines were classified according to the dominant assemblages in their communities using a phyto-sociological method (Guinochet, 1973). This classification [Fig. 8]

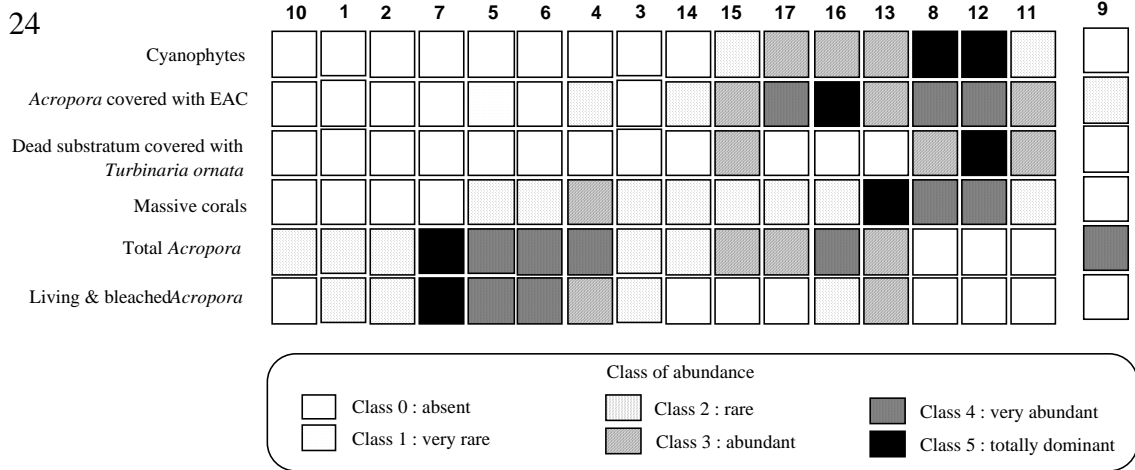


Figure 8: Classification of reef flat communities on each radial line, determined by phyto-sociological methods (qualitative assessment).

highlights two kinds of communities on the Saint-Gilles La Saline reef flat *s.l.*: one characterized by abundant cyanophytes, EAC, macroalgae, submassive corals, but no Acroporid (rad. 8, 11, 12, 13) and a second characterized by living and dead Acroporids, the rare occurrence of cyanophytes, algae, and EAC (rad. 4, 5, 6, 7). This classification highlights three sectors on the reef: the Hermitage Nord sector (rad. 4, 5, 6, 7), predominantly characterized by an Acroporid structure without algae, the Club Med sector (rad.8), and the Planch'Alizés sector (rad. 11, 12, 13), characterized by submassive corals and an abundance of primary producers.

MULTIVARIATE ANALYSIS ON SUBSTRATE CATEGORIES AND ECHINODERM DENSITIES

The results of the PCA analysis, processed using the mean of variables (substrate categories and density of the three dominant echinoderms, *H. atra*, *H. leucospilota* and *E. mathaei*) calculated on every radial line, are given for the back reef in Fig. 9 and for the reef flat in Fig. 10.

The back reef zone

PCA of the back reef data shows [Fig. 9] that axes 1 and 2 explain 60% of the variance. Factor 1 (F1), accounting for 37% of the variance, is largely determined by the opposition between the occurrence of a high algal coverage (*Hypnea valentiae*) and a high density of the holothuroid *H. leucospilota* set against the occurrence of a bare substratum and a high density of the *E. mathaei* sea-urchin. Factor 2 (F2), accounting for 23% of the variance, depends mainly upon the opposition of a high coverage of living corals (*Acropora* and others) set against a high coverage of *Hypnea valentiae*. In the back reef zone, three groups of radials are highlighted in the plane F1/ F2: the first group (rad. 9, 12 and 13) is clearly characterized by high algal coverage and holothuroid density, but no bare substratum and no sea-urchins. On the other hand, the second group (rad. 4, 16 and 17) is characterized by a bare substratum and a high density of sea-urchins, with no fleshy algae and no holothuroids. The third group (rad. 5 and 14) is characterized by a high coverage of living *Acropora* as opposed to the first group (particularly rad. 9), which is characterized by algae and holothuroids. Factor 3, accounting for 13% of the variance, is defined by the opposition between very high coverage of EAC-covered dead *Acropora* (rad.7), and high densities of *Echinometra mathaei* (rad.4).

The reef flat *sensu stricto*

Axes 1 and 2 explain only 37% of the variance [Fig. 10], indicating that features of the reef flat habitats are less evident or more diversified than the back reef ones. Axis 1 (explaining 21% of the variance) opposes an association between algal coverage and submassive corals other than *Acropora* (rad. 8, 11 and 12) and an *Acropora* coverage that is either living or recently bleached (rad. 7 and 17). Axis 2 (15% of the variance) is determined by the opposition of an EAC-covered dead *Acropora* community (rad. 16) and a living *Acropora* community (rad. 3).

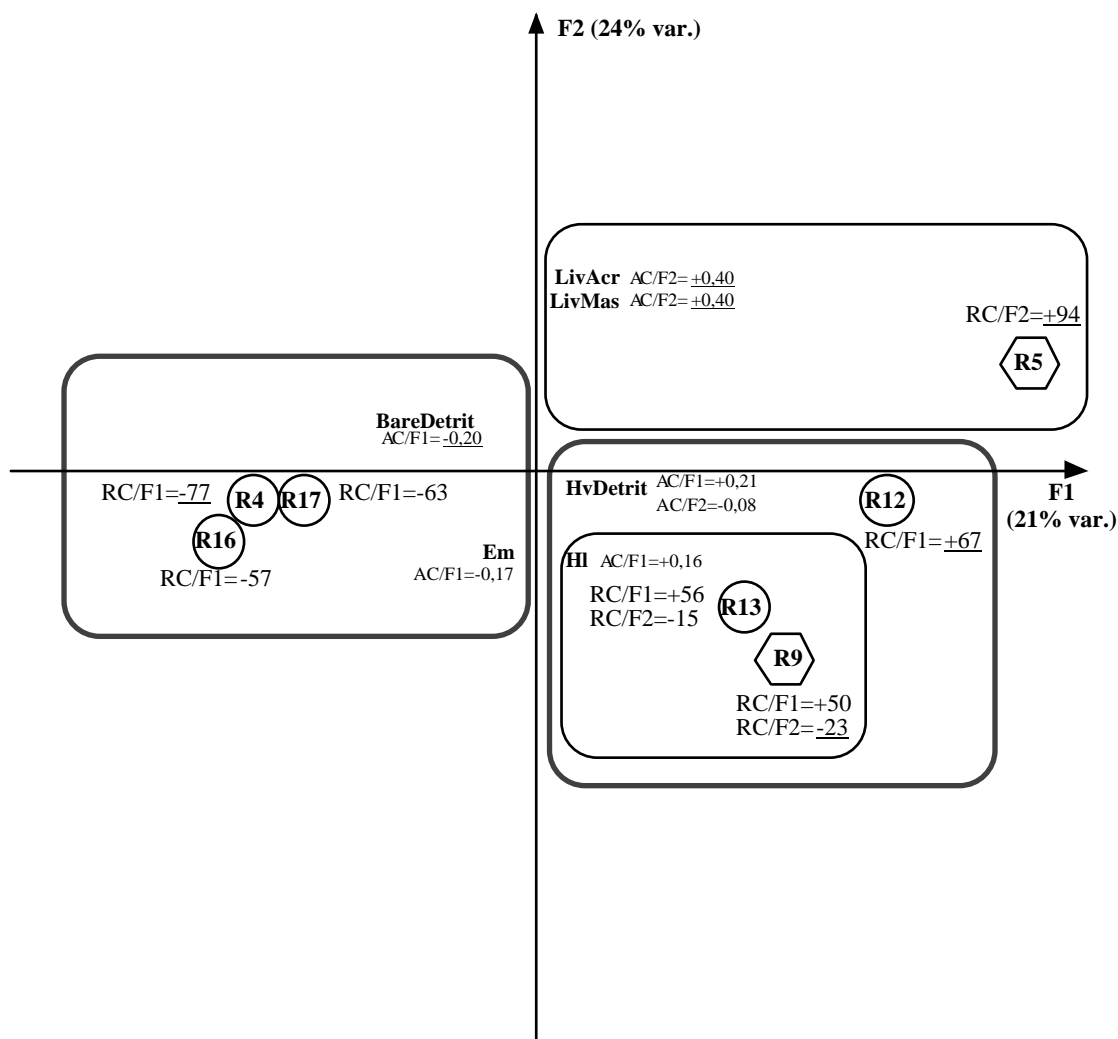


Figure 9: Principal component analysis on back reef data (Axes F1/F2). AC = absolute contribution and RC = relative contribution, R1 = radial 1.

Variables: BareDetrit = Bare Detritic substrates, Em = High density of *Echinometra mathaei*; HI = High density of *Holothuria leucospilota*; HvDetrit = Detritic substratum covered by *Hypnea valentiae*; LivAcr = living *Acropora*; LivMas = Living submassive and massive corals.

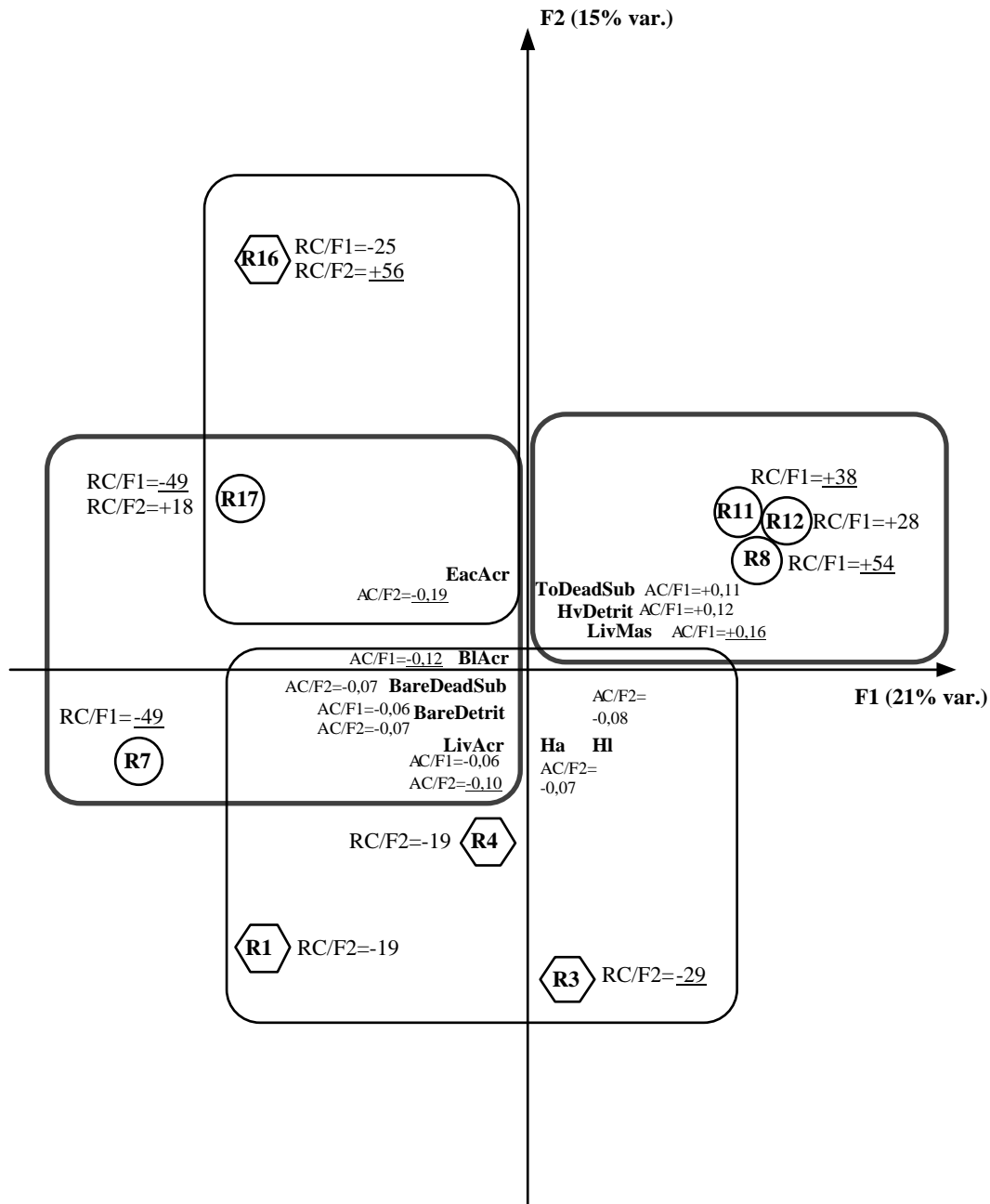


Figure 10: Principal component analysis on reef flat data (Axes F1/F2). AC = absolute contribution, RC = relative contribution, R1 = radial 1.

Variables: BareDeadSub = Bare dead substratum, BareDetrit = Bare Detritic substrates; BlAcr = Bleached *Acropora*; EacAcr = *Acropora* covered with EAC; Ha = High density of *Holothuria atra*; HI = High density of *Holothuria leucospilota*; HvDetrit = Detritic substratum covered by *Hypnea valentiae*; ToDeadSub = Dead substratum covered by *Turbinaria ornata*; LivAcr = living *Acropora*; LivMas = Living submassive and massive corals.

Discussion

STRUCTURE OF THE COMMUNITY

The opposition of two kinds of structure characterizes the Saint-Gilles la Saline reef flats *s.l.* The first structure, here named ACR, can be described as a coral community dominated by Acroporids (mainly from the *A. humilis* and *A. formosa* groups), the absence of macroalgae, and high densities of sea-urchins on the reef flat. The second structure, here named MAS, is composed of submassive living corals (mainly *Montipora circumvallata* and *Porites (Synaraea) rus*) in competition with algae and

cyanophytes; sea-urchins are absent from the reef flat, and holothuroids abundant in the back reef, as recorded by Conand *et al.* (1998) on urchins and Mangion *et al.* (2004) on holothurians. Both community structures were also highlighted by Chabanet (1994) on the ZNCS of rad. 4, 8 and 12, and are still prevalent on the reef (Chabanet *et al.*, 2002).

Competition between corals and fleshy, crustose macroalgae and cyanophytes, appears to be one of the biotic factors best characterizing the MAS community on the inner reef flat (Naim, 1993). However, despite this fierce competition, coral coverage has now persisted for almost 20 years (Naim *et al.*, in prep.), like that recorded by McCook on the Great Barrier Reef (2001).

ALGAL BIOMASS, NUTRIENT ENRICHMENT, HERBIVORY

It is well known that the balance between algae and corals on reefs is controlled by nutrient availability and herbivore activity (Littler & Littler, 1985; Littler *et al.*, 1992; Steneck, 1988, review; Stimson *et al.* 2001; Szmant, 2001). Blooms of benthic algae are a well-known response to nutrient enrichment (Smith *et al.* 1981; Lapointe & Clark, 1992; Lapointe, 1997). At Reunion, Cuet *et al.* (1988) showed that occurrence of nutrient-enriched submarine groundwater discharge on the reef flat is closely correlated with the occurrence of MAS. In 1997, Semple compared the annual variation of coverage and biomass of macroalgae on rad.4 (ACR) and rad.12 (MAS). On the reef flat, he showed that in ACR macroalgal biomass was negligible, while in MAS the summer biomass was comparable with the biomass recorded in Kaneohe Bay, Hawaii, on one of the areas most affected by a high nutrient enrichment (sector CE, Smith *et al.*, 1981).

Later, Naim and Cuet (2003) showed that ACR disappears when nitrate is higher than 1.3 μM , and MAS appears when NO_3^- is higher than 3.5 μM . Regular back reef water sampling showed that nitrate is lower ($p < 0.0001$) on one of the sites dominated by ACR ($0.73 \pm 0.62 \mu\text{M}$) than on one of the sites dominated by MAS ($3.23 \pm 1.93 \mu\text{M}$). Therefore, we can say that ACR appears to turn gradually into MAS when the NO_3^- concentration increases from 1 to 3 μM on the back reef.

CORAL FEATURES

Comparing coral features described by Smith *et al.*, 1981, in the eutrophical lagoon of Kaneohe Bay and in MAS, reveals that the dominant corals in Kaneohe Bay were *Montipora verrucosa*, *Porites compressa* and *Pocillopora damicornis*, while in MAS they are *Montipora circumvallata*, *Porites (Synaraea) rus* as well as *Pocillopora damicornis*. In Kaneohe Bay, Banner (1974) mentioned the finger-like growth of the corals; MAS corals grow the same way.

Compared to the calm and turbid Kaneohe Bay, the Saint-Gilles la Saline reef has clear waters due to its exposed conditions. Nevertheless, in the hot season, during calm periods, SGD and reef waters tend to stagnate on MAS (rad.8, 12 and 13) before going through reef grooves or passes (see map of SGD occurrence in Cuet *et al.*, 1988; their Td = rad. 12). During these periods of summer stagnation, MAS waters evidently turn into a “soup” of primary producers and cyanophyte filaments. Turbidity, as well as the competition with the ever-present *Lyngbya majuscula*, could lead the corals to grow in “fingers”. So ecological conditions are not at their best for hard corals in summer (Naim, 1993).

Nowadays, due to the launching of a sewage plant close to the Hermitage Pass, the nutrient enrichment in reef waters is far lower, although still higher in MAS than in ACR (Mioche, 1998) and the two community structures, ACR and MAS, are still persistent.

SEA-URCHINS AND GRAZING

In this study, the occurrence of a high coverage of macroalgae and EAC is strongly inversely correlated with a high density of sea-urchins on the back reef zone, but less so on the reef flat. As echinoid grazing is considered to be one of the major controlling factors of shallow-water algal communities (Sammarco, 1982, Hughes *et al.*, 1987), the MAS community apparently denotes incontestable undergrazing and a reduced herbivory, which can lead to macroalgal dominance (McClanahan *et al.*, 1999; Mc Cook, 1999; Thacker *et al.*, 2001). As to the possible ecological factors eliminating *Echinometra mathaei* and Diadematidae in MAS, Bak (1985) found in the Caribbean that the sea-urchin larvae seem to avoid algae, and to have a preference for relatively clean reef substrata, such as produced by *Diadema* grazing. Corroborating this, on the Saint-Gilles la Saline reef flat, young sea-urchins are numerous where large densities of *E.mathaei* occur, due to either a large breeding stock of adults or large algae-free patches on the reef, or both. The number of sea-urchins

can also be determined by their predators like molluscs and fish: Chabanet *et al.* (1997) showed that the Balistidae *Rhinecanthus aculeatus*, considered as one of the dominant fish predators of sea-urchins in Kenyan lagoons (McClanahan & Shafir, 1990), is much more abundant on sections with a MAS structure. Thus both nutrient-enrichment and undergrazing are prevalent in MAS, and may favour a long-term presence of a macroalgal component in the community.

EPILITHIC ALGAL COMMUNITIES (EAC)

In terms of reef substratum occupied, damselfish territories are a major component of the Saint-Gilles la Saline inner reef flat (Letourneur, 1996). In Moorea, French Polynesia, damselfish territories were only censused on standing skeletons of dead *Acropora* (Done *et al.*, 1991). On the Saint-Gilles la Saline reef, damselfish appear to establish their territories by colonizing either dead Acroporids in ACR, as against dead submassive and massive corals in MAS. EAC in MAS has been deemed a facies of degradation of the reef (Naim, 1993). Furthermore, Lison de Loma & Harmelin-Vivien (2002) suggested a positive influence of the *Stegastes nigricans* activity in nutrient enrichment of the MAS reef waters: organic carbon and nitrogen release by the fish was greater in MAS than in ACR.

METABOLISM OF THE COMMUNITIES

After analyzing the metabolism of ACR (rad.5) and MAS (rad.12), Mioche (1998) showed that the ACR functioning appears to be autotrophic while MAS's appears to be heterotrophic, based no doubt on food webs resulting from the decomposition of algal and cyanophyte biomass (Mioche & Cuet, 2003). In MAS, Mioche (1998) showed that oxygen values were very low at the end of the night and Naim (1993) showed that corals, particularly Acroporids, were dying during summer. Thus, the rarity of Acroporids and perhaps of Diadematidae and *E. mathaei* sea-urchins may be due, in part, to hypoxia in the MAS heterotrophic system. As the physiological response of marine organisms to hypoxia is a broad subject (Herreid, 1980, Diaz & Rosenberg, 1995), further investigations into levels of populations are still needed to prove that hypoxia due to dystrophy may be a key factor determining the MAS structure.

Furthermore, Mioche *et al.* (2002) demonstrated a positive correlation between the existence of a flourishing ACR-type coral community and sand accumulation, and the existence of a MAS-type community and sand disappearing on neighbouring beaches. This is particularly serious in the context of an island where the narrow coastal zones have no other protection than narrow coral reefs.

Conclusion

The MAS community appears to be the result of summer stagnation of nutrient-enriched outgoing reef waters. Consequent eutrophication in the system may lead the coral community to shift from an *Acropora*-dominated community with inconspicuous algae to a *Montipora-Porites* (*Synaraea*)-dominated one, in competition with algae and cyanophytes. But as, in MAS, these submassive corals are still alive and dominant, since Acroporids are not totally absent, and as sites where MAS occurs are largely open to the ocean this structure is considered here to be the result of a "light eutrophication", more aptly termed "dystrophy". ACR, which is the dominant structure on the reef flat, can be considered as the climassic structure of the community (Naim, 2002). MAS, then, can be considered as the degraded structure, due to chronic dystrophy.

Nowadays, rapid human expansion results in an increase in threats to the South-Western Indian Ocean coral reefs (Souter & Linden, eds., 2005), and ought to attract the attention of scientists to the climassic and degraded coral reef structures. In Mauritius and the Seychelles, I have personally observed the same ACR and MAS structures, MAS structure always being associated with nutrient enrichment (Cuet, not published).

Species that are present in ACR but not in MAS may be used as sentinels for oligotrophy, just as MAS constituents may indicate sites with nutrient enrichment. MAS structure also indicates that some species of corals show far greater tolerance of variation in environmental factors than others, and this can be used by management strategies and restoration projects in perturbed areas. A study integrating the environmental factors, detailed structure and stability of these communities is ongoing.

Acknowledgements

I would like to thank the following colleagues for taxonomic terminology: Dr T. Le Campion-Alsumard (cyanophytes), Dr C.E. Payri and Dr E. Ballesteros (fleshy algae). My thanks to Dr T. Done,

Dr M. Guillaume, Dr P. Chabanet and Dr C. Tourrand for helpful comments, to D. Choussy for helping with data processing. This research was supported by the *Conseil Régional de la Réunion* and by the Ministry of National Education and Scientific Research.

References

- Bak, R.P.M., 1985. Recruitment patterns and mass mortalities in the sea urchin *Diadema antillarum*. *Proc. 5th Intern. Coral reef Congr.*, Tahiti, Polynésie française **6**: 267-272.
- Banner, A.H., 1974. Kaneohe Bay, Hawaii: urban pollution and a coral reef ecosystem. *Proc. 2nd Intern. Coral Reef Symp.*, Brisbane, Australia **2**: 685-702.
- Benzecri, J.P., 1973. L'analyse des données, Dunod, Paris, 619p.
- Bouchon, C., 1981. Quantitative study of the scleractinian coral communities of a fringing reef of Reunion Island (Indian Ocean). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **4**: 273-288.
- Brodie, J. & Furnas, M., 1992. Long-term monitoring programs for eutrophication and the design of a monitoring program for the Great Barrier Reef. *Proc. 7th Intern. Coral reef Symp.*, Guam, Micronesia **1**: 77-84.
- Chabanet, P., 1994. *Étude des relations entre les peuplements coralliens et les peuplements ichthyologiques sur le complexe récifal de Saint-Gilles la Saline*. Doct. en Environnement marin, Univ. Aix-Marseille III., 200pp
- Chabanet, P., Bigot, L., Naim, O., Garnier, R., Tessier, E., Moyne-Picard, M., 2002. Coral reef monitoring at Reunion island (Western Indian ocean) using the GCRMN method. *Proc. 9th Intern. Coral reef Symp.*, Bali **2**: 873-878.
- Chabanet, P., Ralambondrainy, H., Amanieu, M., Faure, G. & Galzin, R. 1997. Relationships between coral reef substrata and fish. *Coral Reefs* **16**: 93-102.
- Conand, C., 2002. Marine ecology of la Réunion: an overview of recent research. *Ambio*, **31** (7-8): 4p.
- Conand, C., Armand, J., Dijoux, N., Garryer, J., 1998. Fission in a population of *Stichopus chloronotus* on Reunion Island, Indian Ocean. *South Pacif. Bull.* **10**: 15-23.
- Conand, C., Cuet, P., Naim, O., Mioche, D., 2002. Des coraux sous surveillance. *Pour la Science*, **298**: 75-81.
- Conand, C., De Ridder, C., 1990. Reproduction asexuée par scission chez *Holothuria atra* (Holothuroidea) dans des populations de platiers récifaux. In: *Echinoderm research* (eds De Ridder, C., Dubois, P., Lahaye, M.C., Jangoux, M.). Balkema, Rotterdam, Pp 71-76.
- Conand, C., Heeb, M., Peyrot-Clausade, M., Fontaine, M.-F., 1998. Evaluations of bioerosion by two types of the sea urchin *Echinometra mathaei*, on several sites of a fringing reef in La Réunion Island (Indian Ocean) and comparison with other sites. In: *Echinoderms*: San Francisco, Mooi, R. & Telford, M. (eds). Balkema, A.A. Rotterdam, Pp. 699-615.
- Cuet, P., 1989. *Influence des résurgences d'eau douce sur les caractéristiques physico-chimiques et métaboliques de l'écosystème récifal à La Réunion*. Doct. en Environnement marin, Univ. Aix-Marseille III, 204pp
- Cuet, P., Naim, O., Faure, G. & Conan, J-Y., 1988. Nutrient-rich groundwater impact on benthic communities of la Saline fringing reef (Reunion Island, Indian Ocean): preliminary results. *Proc. 6th Intern. Coral reef Symp.* Townsville, Australia **2**: 207-212.
- Diaz, R.J. & Rosenberg, R., 1995. Marine benthic hypoxia: a review of its ecological effects and the behavioural responses of benthic macrofauna. *Oceanogr. and Mar. Biol. : an Annual Review* **33**: 245-303.
- Done, T.J., Dayton P.K., Dayton A.E. & Steger R., 1991. Regional and local variability in recovery of shallow coral communities: Moorea, French Polynesia and central Great Barrier Reef. *Coral Reefs* **9** (4): 183-192.
- Fagerstrom, J.A., 1992. Reef flat community dynamics, Tiahura, Moorea Island, French Polynesia : I. Degradation 1971-1987. *Proc. 7th Intern. Coral reef Symp.*, Guam, Micronesia **2**: 762-768.

- Faure, G., 1982. *Recherche sur les peuplements de Scléactiniaires des récifs coralliens de l'Archipel des Mascareignes (Océan Indien Occidental)*. Doct. ès Sciences, Univ. Aix-Marseille II, **1**, 206pp
- Gittings, S.R., Deslerzes, K.J.P., Hagman, D.K. & Boland, G.S., 1992. Reef coral populations and growth on the Flower Garden Banks, Northwest Gulf of Mexico. *Proc. 7th Intern. Coral reef Symp.*, Guam, Micronesia **1**: 90-96.
- Guillaume, M., Payri, C.E. & Faure, G., 1983. Blatant degradation of coral reefs at la Reunion Island (West Indian Ocean). *Intern. Soc. for Reef Studies*, Ann. Meeting 8-9/12/1983, Nice, France, abstract vol. **28**.
- Guinochet, M. (1973). *Phytosociologie*. Masson ed., 227p.
- Hatcher, B.G., 1981. The interaction between grazing organisms and the epilithic algal community of a coral reef : a quantitative assessment. *Proc. 4th Intern. Coral reef Symp.*, Manila, Philippines **2**: 515-524.
- Herreid, C.F., 1980. Hypoxia in invertebrates. *Comparative Biochemistry and Physiology* **67A**: 311-320.
- Hughes, T.P., Reed, D.C. & Boyle, M.-J., 1987. Herbivory on coral reefs: community structure following mass mortalities of sea urchins. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol* **113**: 39-59.
- Lapointe, B.E., 1997. Nutrient thresholds for bottom-up control of macro-algal blooms on coral reefs in Jamaica and southeast Florida. *Limnol. Oceanogr.* 42: 1119-1131.**
- Lapointe, B.E. & Clark, M.W., 1992. Nutrient inputs from the watershed and coastal eutrophication in the Florida Keys. *Estuaries* **15**(4): 465-476.
- Letourneur, Y. 1996. Dynamics of fish communities on Reunion fringing reefs, Indian Ocean. I. Patterns of spatial distribution. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* **195**: 1-30.
- Littler, M.M. & Littler, D.S., 1985. Factors controlling relative dominance of primary producers on biotic reefs. *Proc. 5th Intern. Coral reef Symp.*, Tahiti, Polynésie française **4**: 35-39.
- Littler, M.M., Littler, D.S. & Lapointe, B.E., 1992. Modification of tropical reef community structure due to cultural eutrophication : the southwest coast of Martinique. *Proc. 7th Intern. Coral reef Symp.*, Guam, Micronesia **1**: 335-343.
- Lison de Loma, T. & Harmelin-Vivien, M., 2002. Summer fluxes of organic carbon and nitrogen through a damselfish resident, *Stegastes nigricans* (Lacépède, 1803), on a coral reef flat at la Reunion (Indian Ocean). *Mar. Freshwat. Res.* **53**: 169-174.
- Loya, Y., 1972. Community structure and species diversity of hermatypic corals at Eilat, Red Sea. *Mar. Biol.* **13**: 100-123.
- Lucas, H.A. & Seber G.A.F., 1977. Estimating coverage and particle density using the line intercept method. *Biometrika* **64** (3): 618-622.
- Mangion, P., Taddei, D., Frouin, P., Conand, C., 2004. Feeding rate and impact of sediment reworking by two deposit feeders *Holothuria leucospilota* and *Holothuria atra* on a fringing reef (Reunion Island, Indian Ocean). In: *Echinoderms* : München, Heizeller & Nebelsick (eds). Taylor & Francis Group, Londres, pp. 311-317
- McClanahan, T.R. & Shafir, S.H., 1990. Causes and consequences of sea urchin abundance and diversity in Kenyan coral reef lagoons. *Oecologia* **83**: 362-370.
- McClanahan, T.R., Aronson, R.B., Precht, W.F. & Muthiga, N.A., 1999. Fleshy algae dominate remote coral reefs of Belize. *Coral Reefs* **18**: 61-62.
- Mc Cook, L.J., 1999. Macroalgae, nutrients and phase shifts on coral reefs : scientific issues and management consequences for the Great Barrier Reef. *Coral Reefs* **18**: 357-367.
- McCook, L.J., 2001. Competition between corals and algal turfs along a gradient of terrestrial influence in the nearshore central Great Barrier Reef. *Coral Reefs* **19**: 419-425.
- Mergner, H., Schumacher, H. & Kroll, D.K., 1992. Long-term changes in the coral community of a fore reef area near Aqaba (Red Sea) : 1976-1989. *Proc. 7th Intern. Coral reef Symp.*, Guam, Micronesia **1**: 104-109.

- Mioche, D., 1998. *Aspects du cycle de la matière sur les récifs frangeants de l'île de la Réunion (Océan Indien) : signature des dégradations et mécanismes de l'eutrophisation*. Doct. en Écologie marine, Univ. Réunion, 292pp.
- Mioche, D., Troadec, R., Germain, N., Esbelin, C., Tourrand, C., Psaradellis, M., Naim, O., Coudray, J., 2002. Relations entre l'équilibre sédimentaire des plages, la structure des communautés et le budget des carbonates dans l'écosystème coralline de la Réunion. *J.Nat.*, **14** (1) : 35-43
- Mioche, D. & Cuet, P., 2003. Community metabolism on the reef flats at Reunion (Indian Ocean): natural versus anthropogenic disturbance. *Proc. 9th Intern. Coral Reef Symp.* Bali, Indonesia **1**: 431-436.
- Montaggioli, L.F. & Faure, G., 1980. Les récifs coralliens des Mascareignes (Océan Indien). *Collections des Travaux du Centre Universitaire, Université de la Réunion*, 151pp
- Muzik, K., 1985. Dying coral reefs of the Ryukyu Archipelago (Japan). *Proc. 5th Intern. Coral reef Congr.*, Tahiti, Polynésie française **6**: 483-490.
- Naim, O., 1993. Seasonal responses of a fringing reef community to eutrophication (Reunion Island, Western Indian Ocean). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **99**: 307-315.
- Naim, O., 2002. *Acropora formosa* (Dana, 1846) (Anthozoa, Scleractinia) a species structuring coral reef flat communities (Reunion, S.W. Indian Ocean). *The Journal of Nature (Reunion)*, **14** (3): 27-36.
- Naim, O., Cuet, P., 2003. Benthic community structure versus nitrate input at Reunion (SW Indian Ocean). *Proc. 9th Intern. Coral reef Symp.*, Bali, summary.
- Naim, O., Cuet, P. & Mangar, V., 2000. The Mascarene islands. In : *Coral reefs of the Indian Ocean : their Ecology and Conservation* (eds. McClanahan, T., Sheppard, C., Obura, D.O.), Oxford Univ. Press, Pp. 353-381.
- Piton, B., 1992. Variations du niveau moyen de la mer à la Réunion. Causes et conséquences. *Bull. Océanogr. et Pêche* **23**: 1-8.
- Rogers, C.S., 1985. Degradation of Caribbean and Western Atlantic coral reefs and decline of associated fisheries. *Proc. of the 5th Intern. Coral reef Symp.*, Tahiti, Polynésie française **6**: 491-496.
- Sammarco, P.W., 1982. Echinoid grazing as a structuring force in coral communities: whole reef manipulations. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* **61**: 31-55.
- Semple, S. 1997. The use of temporal variations in algal cover and biomass as a tool for the quantification of the degree of eutrophication of a fringing coral reef in Reunion Island, S.W. Indian Ocean. *Oceanol. Acta* **20** (6): 851-861.
- Smith, S.V., Kimmerer, W.J., Laws, E.A., Brock, R.E. & Walsh, T.W., 1981. Kaneohe Bay sewage diversion experiment : perspectives on ecosystem responses to nutritional perturbation. *Pacif. Sci.* **35** (4): 279-395.
- Souter, D., Lindén, O., eds, 2005. *Coral reef degradation in the Indian Ocean (CORDIO) Status report*. 3 vol.
- Steneck, R.S., 1988. Herbivory on coral reefs : a synthesis. *Proc. 6th Intern. Coral reef Symp.*, Townsville, Australia **1**: 37-49.
- Stimson, J., Larned, S.T. & Conklin, E., 2001. Effects of herbivory, nutrient levels, and introduced algae on the distribution and abundance of the invasive macroalga *Dictyosphaeria cavernosa* in Kaneohe Bay, Hawaii. *Coral Reefs* **19** (4): 343-357.
- Szmant, A.M., 2001. Why are coral reefs world-wide becoming overgrown by algae? "Algae, algae everywhere, and nowhere a bite to eat!". *Coral Reefs* **19** (4): 299-302.
- Thacker, R.W., Ginsburg, D.W. & Paul, V.J., 2001. Effects of herbivore exclusion on coral reef macroalgae and cyanobacteria. *Coral Reefs* **19** (4): 318-329.
- Veron, J.E.N., 2000. *Corals of the world*. Austr. Inst. of Mar. Sci. Publisher, 3 vol., 1381pp
- Wanders, J.B.W., 1977. The role of benthic algae in the shallow reef of Curacao (Netherland Antilles) III. The significance of grazing. *Aquat. Bot.* **3**: 357-390.
- Wilkinson, C., ed., 2004. *Status of coral reefs of the world, 2004*. Austr. Inst. of Mar. Sci. Publisher

SCIENCE ET SOCIÉTÉ : LE MAUVAIS MÉNAGE

Bernard Vidal

Université de La Réunion, 15 avenue René Cassin, BP 7151, 97715-Saint-Denis messag cedex 9. La Réunion, France. vidal@univ-reunion.fr

La société a peur du scientifique

Les reproches que l'on adresse aux scientifiques

À l'époque contemporaine, c'est certainement l'aventure de Lyssenko dans les années 30-60 du siècle dernier, qui est la plus emblématique en ce qui concerne l'interférence de la politique avec la science.¹⁻⁴ L'inculture de Lyssenko et celle des dirigeants au plus haut niveau de l'URSS les poussaient à se méfier du scientifique, des spécialistes, aux discours desquels ils ne comprenaient rien.⁵ Les responsables soviétiques haïssaient tout particulièrement les universitaires, qui n'étaient jamais d'accord avec l'application des principes marxistes au champ scientifique. Les communistes français, de même, étaient vigilants :

« Le marxisme en tant que philosophie n'est donc pas une démarche ultime destinée à coiffer les sciences, mais une science, la plus générale. Le marxisme n'est pas une puissance étrangère à la science, mais au contraire l'alliée du savant dans ses recherches. »^{6a}

« Il n'y a pas d'extériorité de la politique par rapport à la science, mais lien intime... le Parti Communiste a une fonction scientifique à remplir : la transformation de la société ; et qu'il ne peut donc pas être indifférent ni à la fécondité des voies de recherche scientifiques, ni à l'orientation possible des résultats acquis vers des entreprises marquant les étapes de l'édification communiste, ni même à la production de la science fondamentale... »^{6b}

On ne peut donc laisser le scientifique choisir les voies de sa recherche, le laisser folâtrer en ayant comme seul but l'assouvissement de ses pulsions intellectuelles. Il manipule des concepts qui peuvent poser problème au marxisme proclamé science suprême, d'où les violences contre les généticiens dans les années 30-40, les attaques contre la chimie quantique à la fin des années 40 en URSS.⁷⁻⁸ Le scientifique doit chercher dans la bonne direction, une direction où il sera utile au communisme et au prolétariat. Il doit mettre en place une science prolétarienne.

Après Lyssenko en URSS, c'est en Occident que les scientifiques se sont heurtés aux manœuvres visant à les contrôler. Cela s'est fait, entre autres, sur une base d'inculture. En effet, alors que nous baignons dans une société scientifique et technologique, au milieu d'éléments qui soutiennent une certaine rationalité et prouvent une adéquation de la science avec le comportement de la nature, la superstition elle aussi est omniprésente, parce que l'inculture scientifique est dans les médias, chez les « intellectuels », dans l'esprit de tous les citoyens, dans l'esprit des politiques. Ainsi, les scientifiques n'accèdent en général à aucun poste de responsabilité dans les gouvernements, autres que ceux ciblés science, et ce n'est

même pas toujours le cas. En 1986, la direction de la NASA, composée de non scientifiques, malgré les mises en garde criées par les scientifiques, soutiers de la base, qui soutenaient que la navette Challenger pouvait exploser, a imposé le décollage. La navette a explosé.

Si le marxisme a pu se prétendre *La* théorie scientifique par excellence, c'est parce que Marx et Engels eux-mêmes étaient incultes sur le plan scientifique. Ce n'est pas la lecture de quelques livres sur les sciences naturelles, ni des éléments d'algèbre mal assimilés, qui ont pu leur donner une compréhension de la démarche scientifique. *L'Anti-Dühring* de Engels est particulièrement caricatural à cet égard.⁹ La pensée marxiste, la politique marxiste, sont parvenues à contrôler, à s'inféoder l'activité scientifique, mais, le seul fait qu'ils postulaient une science suprême — le marxisme —, montre que les théoriciens marxistes n'ont pas compris ce qu'était la science.

Les politiques sont parvenus à dominer les scientifiques, se servant, comme pression sur eux, des crédits dont ils ont besoin, tout en manipulant parfois contre eux la foule, ainsi que les médias qui organisent le comportement de celle-ci et ses votes. Ce fut ainsi tenté en 2004, lorsque l'orchestration d'un rapport officiel commandé pour la circonstance, venant alourdir une série d'autres rapports antérieurs, voulut déstabiliser le CNRS devant l'opinion, pour justifier la baisse des moyens affectés à cet organisme.

Le peuple considère que les catastrophes écologiques sont provoquées par le scientifique, et non par celui qui mésuse, pour gagner plus d'argent, de la connaissance que les scientifiques ont élaborée, et qui est à la disposition de tous. Les scientifiques sont la cause de ce que le paysan abuse d'engrais et de pesticides, parce que les scientifiques ont fait la recherche qui a conduit à trouver des engrais et des pesticides efficaces. Les scientifiques sont la cause de ce que les paysans polluent les nappes phréatiques avec leurs lisiers de porcs et les chargent ainsi en nitrates, parce que les nitrates sont des « produits chimiques », même s'il est « naturel » qu'ils se trouvent dans le lisier de porc. Les scientifiques sont la cause de ce qu'il y a de la dioxine dans le poulet, parce que la dioxine est un « produit chimique », même s'il est parfois « naturel ». Échappe à la suspicion celui qui a mélangé de l'huile de vidange, isolant de transformateur électrique, à l'huile alimentaire destinée aux aliments des poulets. Hiroshima, Tchernobyl, sont attribués aux scientifiques, mais, pour Hiroshima, pas aux politiques, pas aux militaires qui ont développé l'arme atomique et l'ont lancée — eux étaient des démocrates qui ont combattu des dictatures —, pour Tchernobyl pas aux politiques qui ont imposé, par souci d'économie, une solution dangereuse. On est allé jusqu'à attribuer les méfaits des bombardements en Irak et en Serbie dans la dernière décennie du 20^{ème} siècle à la Science qui polluerait les champs de bataille, mais pas aux militaires qui font les guerres, ni aux politiques qui les déclarent. Il faut un bouc-émissaire aujourd'hui, comme il en fallait à Lyssenko autrefois pour masquer ses échecs. Le scientifique n'ayant aucun pouvoir est tout désigné.

On reproche à la science les biotechnologies, parce qu'elles sont quelque chose de mystérieux, d'encore moins compréhensible que les autres activités scientifiques. La tomate améliorée génétiquement, le maïs, ressemblent aux mêmes espèces « naturelles », mais elles sont dotées de nouvelles qualités. N'est-ce pas de la magie ? De l'alchimie ? N'a-t-on pas gommé des qualités apparentes pour les remplacer par d'autres comme essayait de le faire l'alchimiste ?¹⁰ Ce que l'on doit en fait reprocher aux biotechnologies, ce n'est pas la connaissance qu'elles représentent, ni le magnifique outil qui est mis à la disposition de l'homme, c'est l'appétit de certains de leurs promoteurs, et de réveiller le courroux d'idéologues, encore englués dans les théories marxistes du milieu et les pulsions antigénétiques de Lyssenko. Ces idéologues se muent volontiers en moralistes, cherchant à

susciter des comités d'éthique et à les infiltrer pour mieux contrôler, brider la recherche scientifique.

En septembre 2002 s'est tenu un sommet du développement durable à Johannesburg, comme s'était tenu le Sommet de la Terre à Rio en 1992. Le lobby ETC Group,¹¹ a mené une croisade anti-OGM sous le nom de RAFA. ETC a peur aussi des nanotechnologies. Il soutient que ces technologies sont dangereuses pour la vie, même s'il est incapable d'avancer un argument pour le prouver. Elles sont dangereuses parce qu'elles sont nouvelles. Elles consistent à manipuler des atomes — mais c'est ce qu'a toujours fait le chimiste —. Or, l'ADN, comme tout ce qui existe dans l'univers, est fait d'atomes, conclusion : les nanotechnologies ont une incidence génétique. Elles sont pires que les manipulations génétiques, car ces dernières n'ont d'effet que sur des gènes, qui sont des assemblages d'atomes. Les nanotechnologies pourraient aller fouiller au sein même des gènes et affecter leurs composants fondamentaux : « Le pouvoir des nanotechnologies dépasse celui de la génétique, car toute la matière est concernée. » Ils exigent donc que s'arrêtent les recherches dans ce domaine. Dans leur inculture américaine basique, avec le raccourci nécessaire pour que chacun ait un slogan à ânonner, les militants de l'ETC Group crient : « No small matter ! », comme si toute matière n'était pas « petite » !

Le contrôle totalitaire sur le scientifique et la science

L'irrépressible pulsion de contrôler le scientifique, de surveiller ses activités, la contestation de la science a acquis une force dans les pays occidentaux, à partir du milieu des années soixante du 20^{ème} siècle, du fait d'une contestation globale des valeurs de la société. Il y a eu la contestation étudiante, le mouvement hippy, une montée de mysticisme fondée sur une vague religiosité en remplacement du christianisme, une émergence de sectes de plus en plus nombreuses, les écologismes radicaux. Il s'agit en général, d'une incertitude viscérale devant l'avenir, le changement. Ces peurs ont été exploitées par l'URSS dans les années soixante à quatre-vingt-dix, qui a soutenu les mouvements visant à les propager en Occident. Les « Verts » allemands avaient adopté pour mot d'ordre : « Plutôt rouges que morts ! ». Mais être rouge c'était être mort. Le succès au 20^{ème} siècle du courant anti-scientifique est analogue à celui du marxisme au 19^{ème}. Ils sont tous deux le fruit de la haine qu'une partie de la société occidentale se porte à elle-même.

On s'interroge aussi sur l'utilité de la recherche, sur sa rentabilité. Est-ce que l'on contrôle bien l'argent donné aux chercheurs ? Cet argent est-il bien employé au bénéfice des entreprises, au bénéfice des financiers, au bénéfice du peuple, au bonheur de l'humanité ? Mais qu'est-ce que le bonheur ? Comment évaluer une recherche médicale en bénéfices pour le boutiquier, en qualité de vie ? Comment chiffrer la rentabilité d'une recherche fondamentale, dont vont dépendre dans cinquante ans des applications inconnues ? Comment choisir entre recherche fondamentale et recherche appliquée qui s'épaulent mutuellement ? Il n'est pas possible de développer l'une sans l'autre. Promouvoir de grandes actions de recherche appliquée, du fait d'une pulsion de *praxis*, conduit à des gaspillages si la recherche fondamentale est trop peu développée dans le secteur concerné. Lyssenko a participé à la ruine de l'agriculture soviétique, entre autres par manque de connaissances théoriques, et parce qu'il voulait trop rapidement faire de la recherche appliquée.

Les organismes de recherche ne sont-ils pas dangereux pour le pouvoir « démocratique ». Quelle est leur priorité ? La science pour quoi et pour qui ? Pour nous dominer ? Question

emblématique de la confusion entre ce que font les scientifiques dans leurs laboratoires et les pouvoirs que d'autres qu'eux tirent des connaissances scientifiques, que les chercheurs publient dans les journaux de recherche et qui sont à la disposition de tous.

C'est aussi le scientifique que l'on rend responsable du fait que les besoins fondamentaux de l'homme ne sont pas tous assurés. Il faut transformer les scientifiques en militants d'ONG, et en mères Thérèse. Il y aurait un « pouvoir scientifique » qu'il faudrait faire plier. Voici ce qu'écrivait Federico Mayor, de l'UNESCO, en 1999, et qui est toujours valable :

« Les exclus de ce nouveau « pouvoir scientifique » doivent se faire entendre. Par exemple, les habitants des 600 000 villages privés d'électricité ou les deux milliards d'êtres humains sans accès à l'eau potable sont en droit d'exiger de la recherche qu'elle leur apporte des réponses adaptées à leurs — si faibles — moyens. Au-delà, l'humanité entière est en droit d'exiger que la recherche porte en toute première priorité sur les mécanismes des dérèglements planétaires et les voies pour les pallier. Au-delà aussi, tous les citoyens sont en droit d'exiger une meilleure compréhension des mécanismes d'inégalités et d'exclusion qui minent peu à peu la paix et la démocratie. »¹²

Le scientifique serait quelqu'un qui « doit » quelque chose à la société. Un chef d'entreprise lui, ne doit rien. Il ne doit que faire des bénéfices pour lui, en mettant toutes les forces de la société à son service. Un scientifique devrait-il avoir comme seul but de se consacrer aux malheurs des autres, aux pulsions de profit des autres ? Soulignons que la science, telle qu'elle est aujourd'hui, est le fruit de la civilisation occidentale, avec des contributions très importantes certes d'autres civilisations, mais depuis quatre siècles, la science est presque exclusivement occidentale. L'état de contingence de la science est donc consubstantiel à la culture occidentale, avec la marque des individus qui ont construit cette contingence. Pourquoi, alors, exigerait-on que les misères spécifiques à d'autres cultures, ou pour lesquelles la misère, le développement, sont des concepts qui n'ont pas de signification, soient éradiquées par la science, fruit d'une culture étrangère ? L'Occidental a-t-il un devoir spécifique envers les autres, comme s'il avait découvert La Culture absolue, court-circuitant le « Sens de l'histoire », coiffant tout le monde au poteau ? Aurait-il découvert la Culture à laquelle toutes les autres devraient arriver, ou auraient dû arriver, la Culture archétypale, qu'il doit donc aux autres ? Aurait-il de ce fait un devoir d'ingérence ? Un devoir d'évangélisation scientifique et démocratique ? Un devoir que les autres n'auraient pas envers lui ?

N'en déplaise à Mayor, le moteur de la recherche n'est pas la pulsion de se dévouer pour le reste de l'humanité. C'est là une conception caricaturalement naïve. Le moteur de la recherche scientifique est la curiosité que ressent l'être humain face à ce qu'il ne connaît pas ou n'explique pas. C'est la recherche de l'esthétique dans l'intelligibilisation et l'explication du monde.

Quelles sont les voies de recherche fructueuses

Nul ne sait quelles sont les voies de recherche fructueuses. Si le scientifique les connaissait il connaîtrait le futur, et personne ne s'amuserait à chercher dans des voies stériles. La seule méthode efficace a été de ne négliger, si possible, aucune voie. Entre autres parce qu'il n'y a pas de déterminisme dans les voies de la science; chaque chercheur impose sa personnalité. Après lui la science est engagée sur une voie qui n'était pas prévisible avant. La naïveté de croire qu'il y avait un déterminisme dans la découverte scientifique, déterminisme

qui imposait la prééminence du « milieu » au sens marxiste du terme, est morte avec la mort de l'URSS. Il y a certes des lignes de force qui rendent plus probable telle ou telle direction d'évolution, mais il n'y a pas d'absolu scientifique auquel nous devrions parvenir. Il n'y a pas de tabernacle qui contiendrait un livre sacré sur lequel seraient inscrites les lois de la nature. Nous devrions rechercher le tabernacle, et parcourir le grimoire pour acquérir la Connaissance. C'est l'homme qui fait la science, pas la nature ni le milieu.

Les marxistes pensaient avoir trouvé La loi de la nature : le matérialisme dialectique. Ils pensaient savoir dans quelle voie il fallait faire de la recherche, une recherche appliquée, en vertu de la *praxis*. Lyssenko a appliqué la Méthode sans succès. Le résultat est là. Nul ne sait quelle est la voie infaillible.

Nombreuses sont les inventions utiles à l'humanité qui ont été des conséquences de recherches fondamentales menées pour assouvir une curiosité. Ainsi, imaginons qu'à la fin du 19^{ème} siècle, lassés par les blessures accumulées, par la mortalité lors des guerres, les militaires aient voulu inventer une méthode pour trouver l'implantation dans le corps de projectiles tels que balles, éclats d'obus etc. La démarche à suivre, en terme du primat de la recherche finalisée, aurait été peut-être de réunir tous les meilleurs chirurgiens, ou d'enquêter auprès d'eux, pour recueillir leurs avis et leurs suggestions. On peut être certain qu'aucun d'entre ces chirurgiens n'aurait trouvé les Rayons X. Précisément, les Rayons X ont été trouvés par des physiciens qui avaient la curiosité de regarder ce qui se passe quand on envoie des décharges électriques entre deux électrodes, dans des ampoules de verre imparfaitement vidées de leur atmosphère. Les parois de ces ampoules, à la grande surprise de tous, émettaient de la lumière. Celle-ci était produite par quelque chose qui semblait provenir de l'une des deux électrodes : les « rayons cathodiques » (qui étaient des électrons). Ensuite, les physiciens s'aperçurent que certaines de ces radiations, produites dans des ampoules ayant une structure spécifique, étaient différemment absorbées par les parties « molles » ou « dures » du corps humain. Ce qui permettait lorsqu'on intercalait un bras entre une plaque photographique et l'ampoule, d'obtenir l'image de l'os qui se voyait sous une densité lumineuse différente de celle de la chair. On pouvait voir où il était cassé et si le membre contenait un projectile. On pouvait examiner aussi l'état du foie, du cœur, des poumons etc. Les chirurgiens que l'on aurait réunis en congrès auraient-ils pu dire : « Tiens, aujourd'hui on invente les Rayons X » ?

La bonne conscience universelle et son poids sur la science

L'UNESCO, avec son organe de presse *Le courrier de l'UNESCO*, est un organisme clef pour apprécier la bien-pensance. Le numéro de mai 1999, où s'exprimait Mayor, était consacré au thème : « À qui profite la science ? » V.V. Krishna ¹³ y citait comme grands malheurs de l'humanité attribuables à la science : Hiroshima, Tchernobyl, Bhopal, des classiques, mais il s'aventurait aussi à attribuer à la science toutes les catastrophes du travail : catastrophes minières, catastrophes des transports. Il mettait donc certainement en cause : la voiture, le train, l'avion. Pourquoi pas la diligence qui provoque des morts quand elle verse dans le fossé ? La roue est l'élément fondamental de ces moyens de transport, faut-il en condamner l'invention ? Et le cheval qui désarçonne son cavalier, envoie des ruades ? L'équitation est une connaissance dangereuse. Combien de guerres qui se sont faites à cheval ? Et combien de guerres qui se sont faites à pieds ? Faut-il couper les pieds à l'espèce humaine ? Lui enlever sa cervelle ?

Krishna reprochait à la science d'être évaluée en termes de critères de marché quand il s'agit d'orienter et évaluer la recherche. On ne peut pas reprocher au scientifique ce qui est une des conditions de son esclavage. On ne peut reprocher à l'esclave le bénéfice que fait l'esclavagiste en le vendant : « la science est de moins en moins considérée comme un bien « public » ». Certes, mais Platon, Aristote, Descartes, Newton, Lavoisier, qui ont bâti la science, savaient-ils que la science est un bien public ? Krishna veut aussi prôner le fait que les chercheurs doivent avoir la responsabilité sociale de préserver la science des intérêts commerciaux, qui eux sont assis sur l'idée que la connaissance est un bien privé. Que doivent-ils donc faire pour cela ?

En URSS, il fallait développer une science prolétarienne, adaptée aux besoins de l'idéologie marxiste. Aujourd'hui, pour les uns, il faut des scientifiques qui accroissent le bonheur de l'humanité. Pour d'autres, des scientifiques qui accroissent les bénéfices de l'entreprise. Krishna, quant à lui, outre du bonheur de l'humanité, se préoccupe d'éthique : la révolution de l'information menacerait la vie privée. Mais en quoi la science informatique serait-elle coupable, et non pas ceux qui espionnent la vie privée des autres ? L'invention du feu nous a amené des catastrophes, faut-il nous séparer du feu ?

Il faut, pour Krishna, un nouveau processus démocratique permettant de définir un contrat social entre science et société, de façon à imposer une science « citoyenne », et il cite quatre conditions nécessaires. A) il faut supprimer le pouvoir de décision monopolisé par une élite politique et scientifique, souvent liée aux intérêts du secteur privé. Où est cette élite scientifique qui serait de mèche avec le pouvoir industriel ? B) il faut faire piloter la science par des mouvements pour une science citoyenne, des groupes de défense des droits sociaux [Quels incultes scientifiques y mettra-t-on ?]. C) il faut mieux redistribuer les revenus [Ceux des scientifiques ? Lorsqu'un scientifique obtient un prix Nobel, il gagne un million d'euros une fois dans sa vie. Un chef d'orchestre avec une petite notoriété internationale gagne 0,75 millions d'euros chaque année. Les vingt meilleurs joueurs de tennis, gagnent chacun deux fois plus. Les vingt meilleurs cyclistes du tour de France gagnent plus d'un millions d'euros par an (2005). Et le meilleur scientifique du monde gagne un million d'euros une fois dans sa vie]. D) Il faut associer les communautés tribales isolées des pays du Sud aux commissions officielles. Effectivement, pour attirer l'inspiration, il faudrait faire la danse de la pluie avant de prendre une décision sur les problèmes climatiques. En Afrique du Sud, la sécurité sociale rembourse aux sorciers consultations, amulettes et gris-gris. Ne sourions pas, il s'agit de médecines naturelles, et on remboursait bien en France les prescriptions d'homéopathie.

Et Krishna d'ajouter : « Les valeurs scientifiques et démocratiques sont étroitement liées. » C'est précisément ce que voulaient imposer par la violence le marxisme et Lyssenko, mais rien n'est plus faux. La science est le fruit d'efforts qui se sont déroulés sous bien des régimes différents : monarchies, systèmes totalitaires, théocraties, démocraties de toutes sortes...

Le serment d'Hippocrate du chercheur

Il faut enchaîner le scientifique par un serment. Le but serait de le responsabiliser « face aux conséquences inconnues de ses découvertes ». Si ces conséquences sont inconnues comment savoir qu'elles sont mauvaises ? Et dans combien de temps le seront-elles ? Comment Einstein aurait-il su que ses recherches sur une équation relative à la probabilité d'absorption ou d'émission de lumière par des atomes, allaient donner le laser, des imprimantes bien innocentes et des systèmes de guidage de bombes ? Comment Thomson,

aurait-il pu savoir, en 1897, alors qu'il découvrait l'électron, que celui-ci allait être à l'origine d'une technologie : l'électronique, qui fait fonctionner 90% de nos facilités de civilisation, radios, télévisions, appareils médicaux, voitures, ordinateurs, mais qui est utilisée aussi dans l'industrie de l'armement ?

L'UNESCO, lit-on encore dans *Le courrier de l'UNESCO* a mis en place une *Fondation Valencia du Troisième Millénaire*, présidée par un juge Sud-Africain : Richard Goldstone, qui a rédigé une *déclaration universelle des responsabilités et des devoirs humains*. Voici dans son article 12 :

« Les communautés scientifiques ont le devoir d'agir dans le plein respect de la vie et du bien-être de tout être humain ; elles ont le devoir de prendre toutes les mesures nécessaires — y compris l'adoption d'un code d'éthique — afin d'éviter que les résultats des recherches scientifiques ou technologiques soient utilisés pour menacer la paix et la sécurité ou les droits humains et les libertés fondamentales. A titre individuel, les chercheurs et scientifiques ont le devoir, en tout temps, de mener leurs recherches dans le respect de principes éthiques stricts ; ils ont le devoir d'informer le public de toute recherche potentiellement dangereuse ou contraire aux règles d'éthique, dont ils auraient connaissance. »

Big Brother est là. Il est intéressant de noter l'appel à la délation. Cependant, Goldstone ne définit pas ce que sont les « principes éthiques stricts ». Dépendent-ils d'une transcendance ? Car seule une transcendance s'impose à l'homme et peut définir des principes éthiques « stricts ». Les principes éthiques auxquels il est fait allusion, relèvent en fait du rapport de force de la société contre le scientifique qui devra adopter les idées reçues de son époque s'il veut vivre en paix. Il devra ne rien trouver. En effet, une recherche peut être telle qu'elle aboutit à des concepts, à des idées qui sont en opposition avec les dogmes de l'époque, avec « des principes éthiques stricts » de l'époque. Que pense d'ailleurs le Vatican de l'éthique stricte suivie par les chercheurs qui ont élaboré la « pilule » ? Aurait-on dû ne pas faire de recherche sur la maîtrise de la conception, parce que le Vatican a des « principes éthiques stricts » sur ce point ? Une découverte novatrice est, précisément, novatrice. Elle change une façon de penser qui était jusqu'alors la référence, et qui s'inscrivait dans l'éthique admise jusqu'à ce jour, et la remplace par une autre façon de penser, qui amène son éthique avec elle, différente de la précédente, et avec laquelle elle peut entrer, ou non, en conflit. Contrôler le scientifique pour exiger de lui une éthique, qu'elle soit marxiste, catholique ou autre, est la négation de la recherche même. Celle-ci doit aboutir à la découverte du nouveau, de quelque chose qui change ce qui existe, qui transfigure le paradigme de l'époque, pour amener une construction scientifique plus belle, une meilleure adéquation entre la théorie que pense l'esprit, et le phénomène, que conceptualise la théorie. La recherche est un moyen d'agir contre le politiquement correct, mort de la liberté de penser. Ceux qui profitent d'une société, veulent que perdure leur société, la façon dont ils pensent ; et toute idée nouvelle doit être empêchée. Il faut bâillonner le chercheur.

Il ne surprendra personne que dans ce groupe de travail figurait Michel Serres qui s'était fait à l'époque une spécialité de l'antiracisme, ce qui était très courageux de sa part, vu que le racisme est réprimé par la loi. Il s'était fait une spécialité de la Morale. Ce qui est très courageux de sa part, car tout le monde est pour la Morale. Mieux : il s'identifiait à la Morale. Il prenait toutes les idées reçues et en faisait : la Morale, comme cela il ne choquait personne. Tout le monde pouvait se sentir beau moralement, et bon.

Voici ce que devrait jurer l'étudiant qui s'engage dans la voie d'une thèse :

« Pour ce qui dépend de moi, je jure de ne point faire servir mes connaissances, mes inventions et les applications que je pourrais tirer de celles-ci à la violence, à la destruction ou à la mort, à la croissance de la misère ou de l'ignorance, à l'asservissement ou à l'inégalité, mais de les dévouer au contraire à l'égalité entre les hommes, à leur survie, à leur élévation et à leur liberté. »

On exige déjà dans les universités françaises la signature d'une « charte des thèses » non seulement de la part du chercheur, mais de la part de l'universitaire qui doit encadrer sa recherche. Le procédé a ému la communauté universitaire qui s'en est référée au Conseil d'État. Dans un arrêt rendu le 21 décembre 2001 le Conseil d'État retient que la signature exigée de la part de l'universitaire et du doctorant ne peut être que l'attestation qu'ils ont lu la « charte », et non pas un engagement contractuel à suivre les principes de la charte.¹⁴ Le boulet est passé bien près.

La maladie de la vache folle

Examinons ici un jugement concernant l'épizootie d'encéphalite spongiforme bovine, appelée *la maladie de la vache folle*,¹⁵ ou : *la vache folle*. La nourriture donnée aux bovins était en majeure partie composée d'une matière première constituée de déchets carnés. Il fallait chauffer les constituants de la farine pour détruire les éléments biotiques indésirables. Cela avait bien marché, jusqu'au jour où la course au profit, fit diminuer la température nécessaire pour « stériliser » les aliments. Il *semblerait* que ce soit l'origine de la catastrophe. Pour ce qui nous concerne ici, la réaction du bon peuple fut la suivante, pour ne citer que Claude Allègre, ancien ministre :

« On a transformé, avec les farines animales, des herbivores en carnivores, et fait naître l'épouvantable épidémie de la vache folle. »¹⁶

Cette attitude de repli se retrouve au cours de l'histoire des sciences. Au 16^{ème} siècle lorsque, devant les succès de l'alchimie, se fit jour l'idée que l'homme n'avait pas le pouvoir de changer ce que Dieu a fait. Cette attitude survécut jusqu'à ce que les transmutations entre les éléments, fondées sur des prémices théoriques totalement différents de ceux de l'alchimie, deviennent possibles. Au début du 19^{ème} siècle, de même, il était avancé que l'homme ne peut pas faire ce que la nature fait. En conséquence, il était impossible de synthétiser, à partir de leurs éléments, les molécules produites par les végétaux, les animaux. Il fallait un souffle vital que seule la nature pouvait mettre en œuvre. Ce courant de pensée perdit tout support lorsque Wöhler en 1828 produisit de l'urée à partir des éléments dits minéraux, inertes sur le plan vital.^{10a} Plus tard, Berthelot reproduisit et systématisa certaines expériences de synthèse de molécules organiques, en inventa d'autres.¹⁷

Aujourd'hui, il ne faudrait pas nourrir des animaux végétariens avec des aliments synthétisés par des organismes animaux. Nous aurions commis un péché. C'était du cannibalisme (mais le cannibalisme n'est pas inefficace sur le plan nutritif, et il semble d'ailleurs avoir été toujours largement pratiqué, même à l'époque actuelle¹⁸). Nous aurions renversé l'ordre du monde et en aurions été punis. Or, qui nous dit que les végétariens et ruminants ne peuvent pas manger des nourritures carnés, sous prétexte qu'ils n'en trouvent pas dans la nature ? S'ils les digèrent et que cela nous profite, où est donc le mal ?

Ne faire que ce que la nature fait spontanément ?

Si le scientifique se bornait à ne faire que ce que la nature fait spontanément, nous ne mangerions que des aliments produits par la nature sans traitements post-récolte. Nous ne devrions pas faire de pain. Nous ne devrions pas stériliser le lait. Il faudrait le consommer tel qu'il sort du pis de la vache. Encore que le lait produit par la vache soit destiné par nature à son veau et pas à l'homme. Nous ne devrions pas cultiver, puisque l'agriculture est une invention de l'homme, nous ne devrions pas nous livrer à l'élevage des animaux, puisque cela n'est pas inscrit dans la nature. Si nous ne faisons que ce que la nature fait spontanément, nous n'utiliserions pas de médicaments synthétisés et, plus simplement nous ne nous soignerions pas, parce que les maladies viennent de la nature. Si l'ancêtre frugivore de l'homme qui se balançait de branche en branche n'avait pas un jour fait évoluer son régime alimentaire vers les produits carnés, peut-être ne serions-nous pas intelligents aujourd'hui. Nous tous humains, dont les antécédents vikings sont souvent assez peu marqués, et qui de ce fait présentons parfois, adultes, contrairement aux peuples nordiques, un mauvais équipement génétique pour digérer le lait, commettons-nous un péché contre la nature en consommant du lait — nourriture naturelle du petit de la vache, de celui de la chèvre — ? Pouvons-nous aussi manger des œufs, de la viande ? Et tous ces légumes et fruits que l'homme a obtenu par sélection, transformation des plantes de la préhistoire ?

On peut certes s'interroger quant au régime alimentaire de la vache, régime qui ne serait pas naturel, imposé par la perversité du scientifique, mais il faut alors étendre l'interrogation, et se demander si la vache elle-même est bien « naturelle ». Elle est certainement très loin des bovidés de la préhistoire — avant l'invention de l'agriculture et de l'élevage — qui, eux, pouvaient paraître plus naturels que ceux d'aujourd'hui, tant qu'ils n'avaient pas rencontré l'homme. La vache dont on tire le bifetèque est le résultat d'une sélection sur des milliers d'années. Elle est telle que l'homme souhaite qu'elle soit. On fabrique par sélection des vaches avec de gros culs pour avoir beaucoup de bifetèques parce que c'est cela que veut le consommateur. Sans parler d'autres, génétiquement améliorées, qui peuvent produire du lait avec une composition déterminée satisfaisant des besoins précis pour l'alimentation des bébés humains. D'autres même produisent des médicaments. La Nature a été un peu bousculée. Elle a été aiguillée sur des voies où elle ne serait pas allée si l'homme était resté le singe des origines — et pas toujours pour le plus grand bénéfice de l'homme qui a commis bien des ratés ¹⁹ —. Pourquoi les vaches des 20^{ème} et 21^{ème} siècles recevraient-elles les mêmes nourritures que leurs homologues de la préhistoire, et non pas une nourriture qui correspond à ce qu'elles sont, qui correspond à leurs besoins qui sont les nôtres ?

Combien, qui s'effarouchent de l'agression des scientifiques envers les ruminants, de notre transgression alléguée des lois de la nature, ne s'effarouchent pas de la maîtrise chimique de la fécondité des femmes, pratique d'une toute autre ampleur, avec une dimension symbolique profonde, que de nourrir des animaux avec des protéines animales. Là, il faut le reconnaître, avec la maîtrise de la fécondité, la nature en prend un rude coup, et cela contrevient aux « principes éthiques stricts » du Vatican. L'homme se libère de contraintes ancestrales qui touchent à son Être humain. Il se hisse partiellement hors de la nature. Ceci ne va pas d'ailleurs sans que l'on doive se poser la question d'une éventuelle rétroaction de cette dernière. Devrions-nous obéir à la nature, en supprimant toute instruction aux femmes sur le plan sexuel, sous le prétexte que la nature n'a pas prévu de les informer en la matière ? Devons-nous conserver l'écriture, cette science perverse qui a fait tant de ravages ?

Certains trouvent que vacciner est un péché, d'autres que c'est la transfusion sanguine qui est contre nature, d'autres, qu'il ne faut pas manger du porc, d'autres du boudin, pour d'autres c'est le bœuf qui doit être interdit, d'autres sont végétariens, d'autres encore végétaliens, d'autres veulent que nous ne mangions que des vaches nourries exclusivement à la luzerne (qui, elle aussi, n'est certainement pas pleinement naturelle)... Laissons ces pauvres vaches, tout au long de leur vies ruminantes, manger en dehors de tout tabou alimentaire ce qui est le mieux pour nous autres, mangeurs de bifetèques.

La nature de la Nature. Le statut de l'homme.

Faut-il suivre la nature ?

Les vaches ne sont plus naturelles par la faute de l'homme et de la science. Existe-t-il une Nature indépendante de l'homme, comme le croit souvent le bon peuple ? La nature n'est telle qu'elle est pour nous que parce que nous sommes là pour la concevoir, et que nous ne lui posons que les questions que nous pouvons nous-mêmes concevoir. En ce sens, il n'y a pas de nature indépendante de l'homme.

De même, sur un autre plan, si on considère l'autonomie de l'homme par rapport à la nature, l'interaction de celui-ci avec son propre espace vital est telle qu'il est devenu un être partiellement auto-construit. Le naturel pour lui n'existe plus. Il s'est sorti de la nature et il en a sorti la vache aussi. Vouloir obéir à la Nature en tout serait d'abord supprimer la science et peut-être détruire l'homme. Ce dernier n'a pas reçu de moyens de protection contre le froid. Faudrait-il donc ne pas s'habiller en hiver ? Pour donner aux gens qui vivent en France des vêtements presque naturels, en laine par exemple, faudrait-il convertir toute la France en prairies, détruire l'ensemble des villes et maisons, cuisines y compris, et modeler la nature, la transformer donc, lui enlever son Être naturel, afin de faire paître des moutons, et parviendrait-on à habiller tout le monde ? Est-ce bien naturel de tondre des moutons pour s'habiller de leurs propres protections contre le froid ? Est-ce naturel de se chauffer en hiver ?

Le sommeil de la nature, avenir de l'homme ?

Lyssenko prônait l'omnipotence du milieu et utilisait la violence pour faire triompher ses idées. Un écologisme violent, porté par l'agonie du communisme, avec l'excuse de la nature en tant que milieu, lui a emboîté le pas et veut brider la science. Un autre écologisme tourné vers la biologie, outrancier lui aussi, avec une violence implicite se répand. Cet écologisme adopte parfois une déviance idolâtrique envers la nature déifiée. La nature serait un milieu archétypal, qui contiendrait tout sauf l'homme, et qui ne devrait en rien être dérangé. Il existerait une nature totalement indépendante de l'homme. Et c'est un péché que commet le scientifique d'aller importuner la nature en essayant de la comprendre. L'homme, parce qu'il ne serait plus de la nature — et peut-être ne le serait-il plus parce qu'il aurait acquis la conscience au début de l'humanité ce qui l'aurait rendu différent des autres êtres —, réduit à quelques unités, devrait ne vivre que dans des ghettos aussi retirés que possible, dans des espaces aussi minéraux et inhospitaliers qui se puissent trouver, et laisser toute la Terre aux animaux, aux insectes, aux végétaux... Le scientifique aurait-il pour mission alors, en se faisant transparent, concierge de la Terre, de veiller à guérir les blessures que la nature pourrait se faire à elle-même, sans la déranger, sans la transformer, veiller à ce qu'elle soit elle-même dans une identité postulée ? L'homme devrait-il aider la nature à ne pas changer ? L'homme, se mettant comme entre parenthèse, s'inscrirait dans un cheminement de disparition, se suiciderait en quelque sorte en tant qu'espèce.

Derrière tous ces mouvements de pensée, du marxisme de Lyssenko, avec la prééminence du milieu, aux pulsions ultra-naturalistes, avec la déification du milieu, d'une nature sans scientifique d'abord, sans homme ensuite, il y a en fait la même peur que l'homme occidental a de lui-même, la même peur de ce qui le fait homme, c'est-à-dire de la conscience de soi, et la science est le produit le plus élaboré de la conscience. La société doit donc brider la science, pour dissoudre la conscience. Pour les uns, on la bridera en la dépersonnalisant, la « désautonomisant », pour finir par la gommer en enfouissant l'individu dans la Masse qui à son tour se dissoudra dans le milieu et retournera au monde amniotique des origines, lorsque l'homme n'était qu'élément de l'espèce, et ne se ressentait pas encore personne, ni même individu, mais qu'espèce. Il laissera pur le monde que sa venue a dérangé. Pour les autres, c'est en s'effaçant hors de la nature, mettant en sommeil son identité d'homme, que l'homme peut s'absoudre de son péché originel de conscience, et il laissera lui aussi pur le monde que sa venue a dérangé.

Le mauvais ménage

Les causes premières du divorce entre la société et la science tiennent souvent à l'inculture scientifique de la société, aux fantasmes d'utopie, à la volonté de personnes, ayant aspiration à un leadership, d'instrumentaliser la science à leurs besoins. La réponse au problème de l'inculture est-elle la culture ? La science est le modèle le plus simple que les chercheurs ont réussi à ériger pour comprendre la nature. Ils n'en ont pas trouvé de plus simple. S'ils en avaient trouvé un plus simple c'est celui-là qu'ils utiliseraient pour s'épargner des peines. Le scientifique ne pouvant simplifier la science, la société doit comprendre celle-ci dans les termes où elle est énoncée. Certains le peuvent, d'autre non. Or, ce sont ceux qui ne le peuvent pas qui, par raison démocratique, posent problème. C'est ce point-là qui doit faire l'objet d'une réflexion et que doit être mûrie une nouvelle approche permettant au scientifique la liberté dans son travail et sa libre expression.

RÉFÉRENCES

- 1) R. LADOUS, *Darwin, Marx, Engels, Lyssenko et les autres*, Paris, J. Vrin, 1984
- 2) J. KOTEK, D. KOTEK, *L'affaire Lyssenko*, Bruxelles, Éditions Complexe, 1986
- 3) D. BUICAN, *Lyssenko et le lyssenkisme*, Paris, PUF, 1988
- 4) D. LECOURT, *Lyssenko. Histoire réelle d'une « science prolétarienne »*, Paris, PUF, 1995
- 5) J.J. MARIE, *Staline*, Paris, Fayard, 2001, pp. 565-566
- 6) Le Cercle des Chimistes Communistes, *La Nouvelle Critique*, n° 45, 1953, a) p. 69, b) p. 70 (aussi p. 61)
- 7) B. VIDAL, *La liaison chimique : le concept et son histoire*, Paris, J. Vrin, 1989, pp. 242-245
- 8) D.N. KURSANOV et al., *J. Chem. Educ.*, **29**, 2(1952)
- 9) F. ENGELS, *Anti-Dühring* (1878), Paris, Éditions Sociales, 1977. En particulier p. 166 où Engels montre comment la dialectique se cache dans les mathématiques du fait que le carré de a contient à la fois $+a$ et $-a$. Un pur régal illustrant le détournement inepte des concepts mathématiques.
- 10) B. VIDAL, *Histoire de la chimie*, Paris, PUF, 2^{ème} édition, 1998, a) pp. 72-73
- 11) [pas de nom d'auteur], *Science et avenir*, décembre 2002, n° 670, p. 33
- 12) F. MAYOR, *Le courrier de l'UNESCO*, mai 1999, p. 9
- 13) V. V. KRISHNA, *Le courrier de l'UNESCO*, mai 1999, p. 35
- 14) [Pas de nom d'auteur], *Vie Universitaire hebdo*, n°73 du 7 octobre 2002, p. 2
- 15) J-P. DESLYS, A. PICOT, *La vache folle. Les risques pour l'homme*, Paris, Flammarion, 2001
- 16) C. ALLÈGRE, *L'Express*, 2001, n°2597, p. 40
- 17) J. JACQUES, *Berthelot. Autopsie d'un mythe*, Paris, Édition Belin, 1987
- 18) M. MONESTIER, *Cannibales, Histoires et bizarreries de l'anthropophagie, Hier et aujourd'hui*, Paris, Le cherche midi éditeur, 2000
- 19) B. KEEN, *Les aliments trafiqués. Les dessous de la biotechnologie*, Montréal, Les éditions écosociété, 2000

ELABORATION ET CARACTERISATION DE MATERIAUX MICROPOREUX DE STRUCTURE PENTASIL DE TYPE ZSM-5

NIBOU Djamel^a et AMOKRANE Samira^b

^aUniversité des Sciences et Technologie Houari Boumediene, Faculté de Génie Mécanique et Génie des Procédés, Département Sciences des Matériaux.

B.P. 32, El-Alia, Bab-Ezzouar, Alger, ALGERIE (dnibou@yahoo.fr)

^bUniversité des Sciences et Technologie Houari Boumediene, Faculté de Génie Mécanique et Génie des Procédés, Département Génie Chimique et Cryogénie.

B.P. 32, El-Alia, Bab-Ezzouar, Alger, ALGERIE (snibou@yahoo.fr)

Résumé - Dans le présent travail, nous nous sommes intéressés à utiliser une méthode conventionnelle d'élaboration de phases de structures zéolithiques de types pentasils ZSM-5. Cette méthode est basée sur la cristallisation hydrothermale de gels amorphes composés de solutions de silicium et d'aluminium. Les élaborations de ces matériaux solides poreux ont été réalisées dans des autoclaves en acier chemisés en téflon sous différentes conditions opératoires de température de chauffage, temps de contact, pH et agitation du milieu réactionnel. Après cristallisation des échantillons, ces derniers ont subi différentes caractérisations par plusieurs techniques telles la diffraction des rayons X, la microscopie électronique, la résonance magnétique nucléaire, la spectroscopie infrarouge et l'analyse thermique différentielle. La méthode utilisée nous a permis l'obtention de matériaux solides purs, appartenant aux structures des pentasils ZSM-5. La composition de ce matériau est celle d'une zéolithe riche en silicium : 20 Na₂O 1 Al₂O₃ 100 SiO₂ 4.5 TPABr 19 HF 416 H₂O. La porosité de ce matériau est obtenue grâce à l'utilisation de structurant organique le bromure de tétrapropylammonium. L'utilisation de l'acide fluorhydrique HF dans le milieu d'élaboration nous a permis l'obtention de cristaux de formes différentes. Ces cristaux sont obtenus sous forme de losanges allongés.

Mots clés : Zéolithe, ZSM-5, Elaboration, Caractérisation

1. INTRODUCTION

Les zéolithes sont des aluminosilicates hydratés ayant une structure formée par des tétraèdres SiO₄ et AlO₄ mettant en commun leurs atomes d'oxygène formant ainsi un réseau tridimensionnel. La formule structurale générale des zéolithes est du type Me_{x/n} (AlO₂)_x (SiO₂)_y w H₂O où Me est le cation échangeable (qui compense la charge négative excédentaire) de valence n, w est le nombre de molécules d'eau et (x+y) est le nombre total de tétraèdres par maille élémentaire. Chaque tétraèdre AlO₄ porte une charge négative excédentaire compensée, généralement, par un cation alcalin ou alcalinoterreux. Les cations compensateurs se situent dans les canaux et les grandes cavités dites "sodalitiques"[1]. En substituant ces cations par des protons ou par des cations polyvalents, on obtient des catalyseurs acides de surface interne considérable et présentant ainsi, un effet de tamis à caractères catalytiques appréciables [2].

Parmi les aluminosilicates hydratés, on trouve les zéolithes de types pentasils de différentes structures telles la ZSM-5, la ZSM-8, la ZSM-11, la ZSM-23 et d'autres. Toutes ces structures sont obtenues en faisant varier les paramètres de synthèse telles le structurant organique ou template, la composition du gel, le pH, l'agitation, la température de cristallisation et le temps de chauffage [3]. Cependant, la zéolithe ZSM-5, de part sa faible teneur en aluminium, présente de bonnes stabilités chimique et thermique ainsi qu'une acidité de surface

digne d'intérêt. Elle est constituée par une maille élémentaire orthorhombique ayant un système d'anneaux circulaires entrecroisés entre eux selon un ordre bien défini. Son squelette de base consiste en un ensemble de canaux intersectés sinusoïdalement avec un autre ensemble de canaux droits [4]. A cela, il faudrait ajouter, que vue ces faibles dimensions des pores, elle manifeste une grande sélectivité de forme, plus spécialement dans la synthèse d'isomères para des hydrocarbures aromatiques [5]. La formation des zéolithes a lieu généralement dans un milieu contenant, au départ, un mélange binaire composé, au moins, de deux phases : une phase solide et une autre liquide. Différents mécanismes de formation de zéolithes ont été proposés par plusieurs auteurs [6-7]. Certains ont admis que la cristallisation est due à une réorganisation de la phase solide sans que la solution n'intervienne dans le processus. D'autres tels que Barrer [8] supposent que la formation des cristaux des zéolithes a lieu en solution. Elle est due à une réaction de condensation entre les espèces présentes dans la solution.

Le but de ce présent travail est de proposer une méthode d'élaboration favorisant l'obtention de cristaux de pentasil ZSM-5 en milieu fluoré.

2. TECHNIQUES EXPERIMENTALES

2.1. Elaboration

Les échantillons de zéolithes ont été préparés par cristallisation hydrothermale (*tableau 1*) à différentes températures, pH et temps de chauffage dans un autoclave en acier chemisé en téflon à partir de gels de départ ayant différentes compositions molaires : Al_2O_3 (v) SiO_2 (w) Na_2O (x) R (y) HF (z) H_2O .

Tableau 1. Conditions de synthèse et les phases obtenues.

Composition molaire (mole)	Echantillons				
	1	2	3	4	5
Al_2O_3	1	1	1	1	1
(v) SiO_2	100	100	100	4	30
(w) Na_2O	20	20	20	5	1,4
(x) R	1,5	1,55	4,5	-	5,4
(y) HF	-	-	19	-	-
(z) H_2O	1000	1523	416	112	491
pH	8	7,5	7,5	8	8,5
Temps (h)	64	48	24	72	24
T (°C)	170	170	170	100	155
Phase	ZSM-5	ZSM-5	ZSM-5	HS	Bêta

Comme exemple d'élaboration, l'échantillon 3 a été réalisé selon la procédure suivante: dans une chemise en téflon, on fait dissoudre 1,6 g de NaOH (Merck) dans 36g d'eau distillée. Ensuite, on ajoute 7,989g de bromure de tétrapropylammonium (98%, Merck) comme structurant organique (R). Une fois que ce dernier est dissous, on ajoute 0.801g de chlorure d'aluminium hydraté ($\text{AlCl}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$) (Merck). A la solution homogénéisée obtenue, on ajoute graduellement 12g d'aérosil 200 (SiO_2) (Degussa) et 1,8g d'acide fluorhydrique (40%, Prolabo) tout en agitant fortement. Le gel obtenu est chauffé à 170°C pendant 24 h sous pression autogène. Le produit solide de la réaction est filtré puis lavé à l'eau distillée jusqu'à pH neutre et séché à 80°C pendant 12h.

2.2. Caractérisation

Les phases obtenues ont été identifiées par diffraction des rayons X (Philips PW 1800 utilisant la raie $K\alpha$ du cuivre). La morphologie des solides élaborés a été obtenue à l'aide d'un microscope électronique à balayage de type Philips XL 30. Les analyses thermiques (ATD) ont été réalisées à l'aide d'un microanalyseur thermique différentiel de type Sétaram M2. Le mode de vibration des liaisons des phases obtenues a été mis en évidence par spectroscopie infrarouge à l'aide d'un appareil de type Philips PU 9800 à transformée de Fourier. La spectrométrie RMN des noyaux de ^{29}Si et de ^{27}Al (Brucker MLS-300) a été utilisée pour caractériser les divers échantillons. Les déplacements chimiques de référence utilisés sont $(\text{CH}_3)_4\text{Si}$ et CFCl_3 respectivement.

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

Le *tableau 1* montre les conditions utilisées pour l'obtention de la phase ZSM-5 avec la variation de x de 1,5 à 4,5, de z de 416 à 1000 et le temps de chauffage de 24 à 64 h. Dans toutes ces conditions, la phase ZSM-5 a été obtenue pure. Pour des valeurs de v inférieures à 100, les phases hydroxysodalite (HS) et bêta sont obtenues. Le spectre de diffraction des rayons X de la phase ZSM-5 (échantillon 3) est donné dans la *figure 1*. Il est en bon agrément à celui rapporté par Barrer [14], et celui publié dans la collection des spectres de DRX simulés des zéolithes par Treacy et Higgins [9].

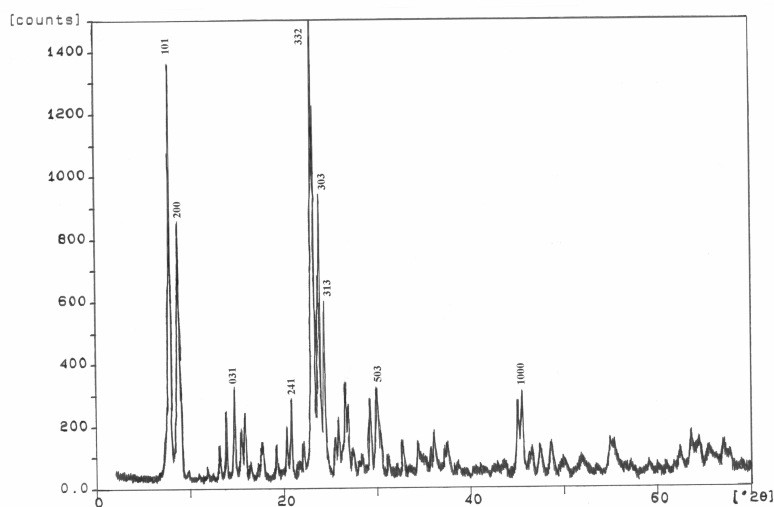


Figure 1. Spectre de diffraction des rayons X de la ZSM-5 élaborée (échantillon 3)

Les micrographies obtenues par microscopie électronique à balayage des échantillons 2 et 3 sont montrées dans la *figure 2*. Des cristaux de différentes morphologies sont observées. En milieu alcalin, les cristaux de ZSM-5 sont obtenus sous forme d'agglomérats sphériques de dimension 5 à 10 μm (échantillon 2). Par contre, en milieu fluoré les cristaux sont sous forme de prismes hexagonaux allongés ayant une dimension entre 25 à 35 μm (échantillon 3). Ainsi, il apparaît que la présence de l'acide fluorhydrique a un effet réel sur la dimension du cristal et sa morphologie.

En effet, dans l'étape de germination, le gel amorphe est dissout partiellement par des agents mobilisateurs qui sont, en général, les ions hydroxydes OH^- jusqu'à la découverte par

Guth et al. [10] de la potentialité des ions fluorures (F^-). Ces derniers jouent le même rôle et interviennent donc dans le milieu réactionnel permettant la formation de grands cristaux tels que ceux de la ZSM-5.

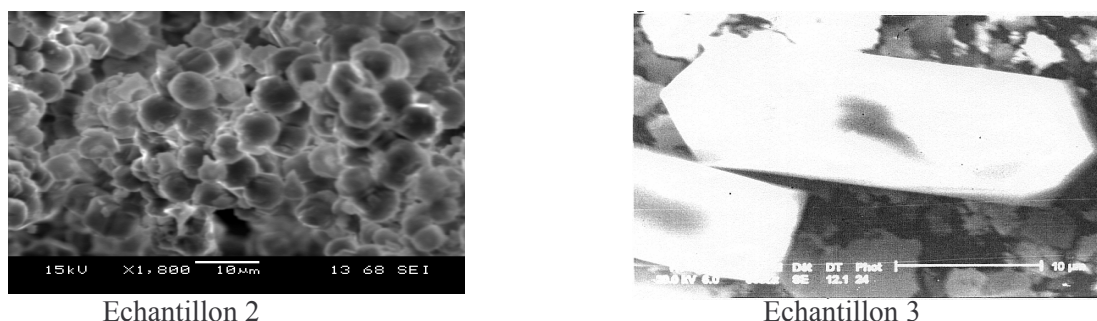


Figure 2. Micrographies des échantillons obtenues par microscopie électronique à balayage

Les bandes d'absorption infrarouge de l'échantillon 3 sont montrées dans la *figure 3*. Ces bandes caractéristiques des zéolithes (1300 à 400 cm^{-1}) sont en concordance avec Breck [11]. La présence de bandes d'absorption à 1447 , 2850 et 2994 cm^{-1} est due à l'agent structurant (R) utilisé pendant le processus d'élaboration.

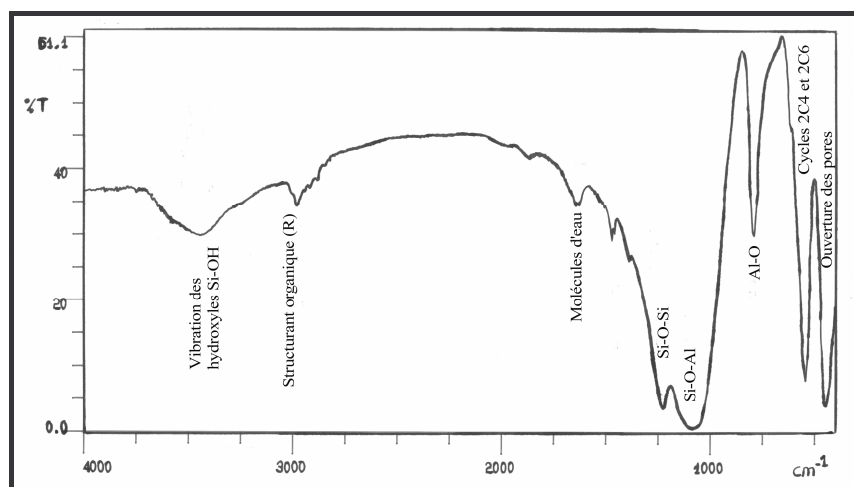


Figure 3. Spectre infrarouge de l'échantillon 3

D'ailleurs, l'analyse thermique différentielle de l'échantillon 3 (*fig.4*) a permis de mettre en évidence le structurant organique occlus dans sa charpente de base. La succession d'effets endothermiques s'étend dans le domaine de température allant de 50 à 460°C . Le départ de l'eau physisorbée s'effectue à partir de 100°C et à 320°C la déshydratation est alors totale. Les pics endothermiques à 400 et 460°C traduisent l'élimination du structurant organique associé aux ions OH^- et ensuite son élimination par décomposition thermique.

La composition chimique du squelette de base de l'échantillon 3 sous forme anhydre est de $\text{Na}_{0,041}\text{Si}_{0,931}\text{Al}_{0,028}$. La charge négative du réseau cristallin de cet échantillon est de $-0,192$. La génération de la charge négative par tétraèdre TO_2 ($T = \text{Si}, \text{Al}$) a été rapportée par Flanigen et al. [12]. Ce résultat montre que la substitution de l'atome de l'aluminium Al a lieu selon le mécanisme: $\text{Al}^{3+} + \text{R}^+ = \text{Si}^{4+}$. Après calcination du matériau pour extraire la matière organique,

la charge compensatrice du cation R^+ donne un proton attaché au squelette sous forme de liaisons des groupements OH.

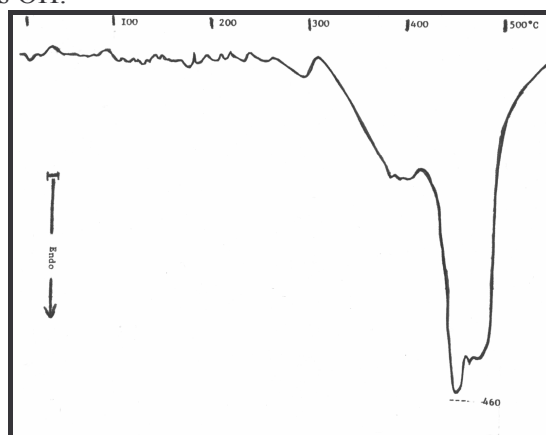


Figure 4. Diagramme thermique différentiel de l'échantillon 3 obtenu sous argon

Les noyaux du silicium et d'aluminium jouent un rôle important dans les études par résonance magnétique nucléaire à angle magique (MAS) des matériaux à base de zéolithes. Ces deux noyaux constituent, en général, la charpente de base TO_2 de ces matériaux.

Ainsi la RMN du ^{29}Si permet de détecter cinq unités structurales de type $Si(OSi)_{4-n}(OAl)_n$, désignées par $Si[nAl]$ (conventionnellement), avec $n = 0$ à 4 dans les zéolithes. Le spectre RMN du ^{29}Si consiste alors en un des cinq pics correspondant aux cinq environnements $Si[nAl]$ possibles dans sa charpente. Ainsi, la valeur de n est liée au nombre d'atomes d'aluminium présents dans la première sphère de coordination du Si. Chaque unité structurale donne également un déplacement chimique (δ) par rapport à une référence de départ (TMS).

Le spectre RMN du ^{29}Si de l'échantillon 3 est présenté sur la *figure 5*. Il présente quatre déplacements chimiques correspondant aux atomes de silicium entourés de 0, 1, 2 et 3 atomes d'aluminium. Ces quatre sites chimiques apparaissent à - 106,33 ppm ($Si(0Al)$), - 101,52 ppm ($Si(1Al)$), - 95,50 ppm ($Si(2Al)$) et - 89,20 ppm ($Si(3Al)$) respectivement. La différence observée d'intensités des signaux RMN du ^{29}Si est liée directement à la concentration relative des unités $Si(nAl)$ présentes dans la structure du matériau.

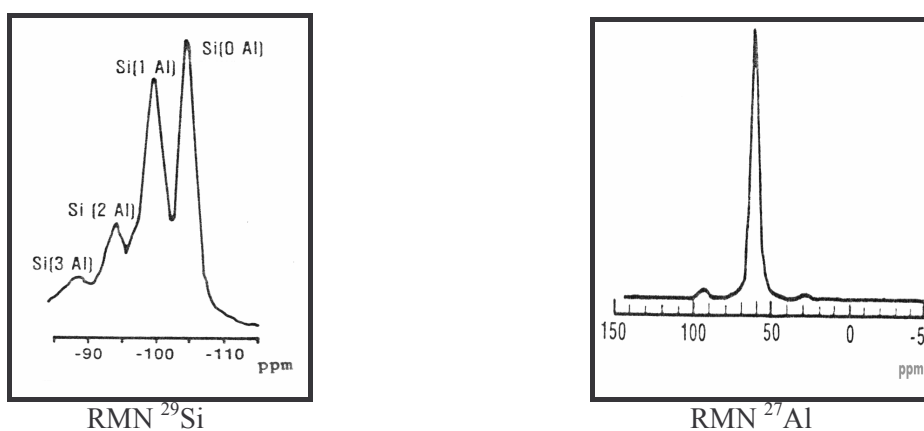


Figure 5. Spectres RMN du solide (MAS) de ^{29}Si et de ^{27}Al de l'échantillon 3

En effet, les travaux de Engelhardt et al. [13] ont montré l'existence de ce type de corrélation sur des matériaux à base de faujasites X et Y de différents rapports molaires Si/Al. L'augmentation de ce rapport provoque une diminution des intensités des signaux des unités Si (nAl) riche en aluminium. Par contre, dans le cas contraire, une augmentation des intensités des signaux Si(nAl) pauvre en aluminium sera observée. L'échantillon 3 présente deux signaux de fortes intensités vers - 106,33 et - 101,52 ppm. Ces derniers correspondent effectivement aux sites pauvres en aluminium Si(0Al) et Si(1Al). Deux autres signaux de faibles intensités [Si(2Al) et Si(3Al)] sont également visibles, correspondant aux sites riches en aluminium. Ceci prouve que l'échantillon 3 contient peu d'aluminium.

Les spectres RMN du noyau ^{27}Al des zéolithes sont en général plus simples que ceux du noyau de ^{29}Si . Ceci est dû au fait qu'il n'existe pas de liaison (Al-O-Al) dans la charpente des zéolithes obéissant ainsi à la loi de Lowenstein. Cette dernière donne les types de liaisons existantes dans le réseau tridimensionnel des zéolithes telles que Si-O-Si et Si-O-Al et la non possibilité de formation de la liaison Al-O-Al. Par conséquent, il n'existe qu'un seul type de site d'aluminium tétraédrique $\text{Al}(\text{OSi})_4$ dans la charpente du matériau et un seul signal correspondant à la coordination de l'aluminium sera visible dans le spectre RMN entre 55 et 68 ppm (par rapport à $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$). La *figure 5* montre le spectre RMN de ^{27}Al de l'échantillon 3. Un seul signal est observé à un déplacement chimique de 59,43 ppm qui correspond ainsi à l'aluminium tétra coordonné.

La méthode de BET a permis la mesure de la surface spécifique ainsi que le volume poreux de l'échantillon 3. L'isotherme d'adsorption de l'azote à 77 K obtenue est de type II. Aucune boucle d'hystérésis n'a été détectée lors de la désorption. L'isotherme devient concave à partir des valeurs de pression relative P/Po supérieures à 0,9-0,95. Ce qui élimine l'existence de mésopores dans le matériau ZSM-5 et confirme par contre, la présence de micropores. Ces derniers ont un volume poreux de l'ordre de 0,285 ml/g et le matériau manifeste une surface spécifique de l'ordre de 520 m²g⁻¹.

4. CONCLUSION

La méthode d'élaboration du matériau de phase ZSM-5 basée sur la voie fluorhydrique favorise l'obtention de gros cristaux de formes prismatiques et pendant un temps de chauffage de 24 h. Ces cristaux manifestent une stabilité à la calcination à des températures supérieure de 600°C.

5. REFERENCES

- [1] D.W. Breck, Crystalline molecular sieves, J. chem. Educ. 41 (12) (1964) 678-684.
- [2] D. Nibou and S. Amokrane, Stud. Surf. Sci. Catal. Series 158 B (2005) 1645-1652.
- [3] A. Dyer. An Introduction to Zeolite Molecular Sieve, Ed. John Wiley (1988) 27-51.
- [4] G.T. Kokotailo, S.L. Lawton, D.H. Olson and W.M. Meier, Nature 272 (1987) 437.
- [5] V. Hulea., A. Azzouz, D. Nibou and E. Dumitriu, J. Soc. Alg. Chim., 2 (2) (1992) 147
- [6] J.P Gilson, Organic and inorganic agents in the synthesis of molecular sieves in Zeolite Microporous Solids: Synthesis, Structure and Reactivity, C. Naccache (Ed.), NATO ASI Series C, Math. Phys. Sci. 352, Kluwer Publishers, Netherlands (1992) 19-48.
- [7] E.J.P. Feijen, J.A. Martens and P.A. Jacobs, Stud. Surf. Sci. Catal. 84 (1994) 3-21.
- [8] R.M. Barrer, Hydrothermal Chemistry of Zeolites, Ed. Academic Press, London (1982) 1-5.
- [9] M.M.J. Treacy and J.B. Higgins, Collection of Simulated XRD Powder Patterns for Zeolites, Fourth Revised Edition, Elsevier, Amsterdam (2001).
- [10] J.L. Guth, H. Kessler, ACS Symp. Series 398, Am. Chem. Soc., (1989) 176-175.
- [11] D.W. Breck, Zeolite Molecular sieves-Structure chemistry and use, Ed. Wiley Interscience,

New York (1974) 588.

[12] E.M. Flanigen, R.L. Patton, *Stud. Surf. Sci. Catal.* 37(1988) 13.

[13] G.U. Engelhardt, E. Lippma, M. Tarmak and M. Mägi, *Inorg. All. Chem.* 482 (1989) 49.

Le Journal de la Nature - The Journal of Nature

RECOMMANDATIONS AUX AUTEURS

◆ **Présentation**

Le journal de la Nature est une revue consacrée aux différents thèmes de la chimie et la biochimie des substances naturelles, aux thèmes de l'environnement et des sciences et technologies agro-alimentaires.

Le Journal comprend des travaux originaux à caractère fondamental et à caractère appliqué. Le caractère fondamental fait appel aux sciences fondamentales (chimie, thermodynamique, biologie, science des matériaux, etc.) pour contribuer à une meilleure compréhension des phénomènes de base des systèmes chimiques et naturels.

Le caractère appliqué concerne des études et réalisations relatives aux procédés et produits des divers secteurs industriels (agro-alimentaire, énergie solaire...). Le journal s'intéresse aussi aux apports des énergies renouvelables à la protection de l'environnement.

◆ **Les contributions peuvent être sous la forme :**

- d'articles présentant un apport significatif et novateur dans le domaine de la recherche et du développement.
- de courtes notes techniques présentant de nouveaux résultats ou testant de nouvelles idées.
- de comptes rendus de conférences, colloques, symposium ou séminaires.

◆ **Langue**

Les articles peuvent être rédigés en anglais ou en français

◆ **Présentation du manuscrit**

Le manuscrit doit être saisi sur du papier standard (préférence A4) en simple interligne avec des marges de 3 cm de chaque côté (sauf en haut 4cm) et en recto seulement. La police doit être du Times New Roman 11. L'impression des articles est réalisée par reproduction directe, ces derniers devront être soumis sous une forme 'camera ready'. Le manuscrit ne devra pas dépasser 5 à 6 pages.

Le manuscrit doit en général comprendre dans l'ordre suivant:

1. Titre:

- Le titre de l'article qui doit être aussi explicite que concis;
- Les noms des auteurs et leur affiliation;
- L'adresse complète et le E-mail si possible.

2. Résumé:

- Le résumé en français ou en anglais, chaque résumé ne doit pas dépasser 250 mots;
- Les mots clés.

3. Texte:

Le texte doit être divisé en chapitres et sous chapitres ayant chacun un titre. Les chapitres et sous chapitres doivent être numérotés de façon cohérente.

4. Remerciements:

S'il y a lieu.

Le Journal de la Nature - The Journal of Nature

5. Nomenclature:

Tous les paramètres cités dans le texte doivent être définis et les unités explicitées. Les symboles utilisés doivent être de type standard (ISO par exemple). Les unités doivent être conformes au système international.

6. Références:

Les références doivent être identifiées dans le texte. Elles sont groupées en fin d'article dans leur ordre d'apparition.

8. Figures:

Les illustrations doivent être numérotées dans le texte en chiffres arabes entre parenthèse, chaque figure doit être aussi explicite que possible. Il ne sera accepté que des dessins au trait (pas de photographies ni de dégradé de gris ou de couleur).

9. Tableaux:

Ils doivent être inclus dans le manuscrit et numérotés en chiffres arabes dans l'ordre de leur apparition dans le texte.

10. Equations

Elles doivent être numérotées en chiffres arabes entre parenthèse, au bord de la marge droite.

◆ Soumission du manuscrit

Le manuscrit doit être envoyé, en trois (03) exemplaires à l'adresse ci-dessous. L'article ne doit ni avoir fait l'objet d'une publication antérieure ni être simultanément soumis (ou publié) dans d'autres revues.

◆ Evaluation du manuscrit

Tout manuscrit est soumis à l'avis deux (02) experts qui jugent de l'intérêt de sa publication. Ces experts peuvent demander des modifications ou des compléments aux auteurs. Dans ce cas, les manuscrits doivent être corrigés et retournés. Toutefois aucune modification majeure ne sera acceptée à ce stade de la publication. Seuls les articles ayant reçus un avis favorable seront acceptés pour publication. Pour tout article accepté pour publication, le manuscrit définitif doit être accompagné de la disquette de saisie ou envoyé par e-mail.

◆ Pour contribuer ou pour avoir plus de détails:

Rédacteur en chef : **Pr. Farid CHEMAT**

UMR A 408 INRA - Université d'Avignon ; 33, rue Louis Pasteur, 84029 Avignon.

Tél.: 04-90-14-44-65 ; Fax: 04-90-14-44-41

E-mail: Farid.Chemat@univ-avignon.fr

Directeur : **Pr. Bernard VIDAL**

Adresse: Université de La Réunion, Faculté des Sciences, 15 avenue René Cassin,
BP 7151, 97715-Saint Denis messag. cedex 9, La Réunion, France (D.O.M.)

Tél: + 262 262 93 81 84 ; + 262 262 93 81 83

Fax: + 262 262 93 81 66 ; + 262 262 93 86 24

E-mail: vidal@univ-reunion.fr

◆ directeur de la publication / publisher : Pr. Jacques Yves CONAN, Bourbon Sciences, Faculté des Sciences, 15 avenue René Cassin, BP 7151, 97715-Saint Denis messag. cedex 9, La Réunion, France (D.O.M.)

ISSN 0985-0856