

ACADEMIE DE MONTPELLIER

UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNIQUES DU LANGUEDOC

THESE

présentée à l'Université des Sciences et Techniques du Languedoc

pour obtenir le diplôme de DOCTORAT D'ETAT

Spécialité: Océanologie biologique

Biologie, écologie, exploitation et gestion
rationnelle des trocas (*Trochus niloticus* L.)
de Nouvelle Calédonie

par

William BOUR

Soutenu le 9 février 1989 devant le Jury composé de

MM. M. AMANIEU Président

L. LAUBIER Rapporteur

J.C. LE GUEN Rapporteur

P. NIVAL

L. THALER

à mon épouse **MARTINE**

SOMMAIRE

	<u>Pages</u>
AVANT-PROPOS.....	7
INTRODUCTION.....	9
Première Partie : LE MILIEU.....	22
Chapitre I : LA NOUVELLE-CALEDONIE ET SES LAGONS.....	23
1 - Présentation de la Nouvelle-Calédonie.....	23
1.1. Présentation géographique.....	23
1.2. Présentation géologique.....	23
1.3. Présentation climatique.....	26
1.4. Présentation démographique.....	27
2 - Les lagons de la Nouvelle-Calédonie.....	27
2.1. Description générale.....	27
2.2. Les formations récifales.....	28
3 - Caractéristiques physiques des eaux lagunaires.....	30
3.1. Hydrodynamisme.....	30
3.2. Données hydrologiques.....	31
4 - Caractéristiques biologiques des lagons.....	33
4.1. Le milieu pélagique.....	33
4.2. Le milieu benthique sédimentaire.....	33
4.3. Le milieu benthique récifal.....	34
Chapitre II : LE BIOTOPE DES TROCAS.....	37
1 - Description générale.....	37
1.1. Le milieu corallien favorable aux trocas.....	37
1.2. Répartition bathymétrique.....	37
1.3. Répartition de la côte au récif barrière.....	40
1.4. Particularismes en Nouvelle-Calédonie.....	40
2 - Description détaillée par l'analyse d'inertie.....	42
2.1. Méthode d'échantillonnage.....	42
2.2. Analyse d'inertie utilisée.....	43
2.3. Résultats de l'analyse.....	44

	<u>Pages</u>
Chapitre III : CARTOGRAPHIE DU BIOTOPE PAR TELEDETECTION.....	52
1 - Evaluation de la surface d'un biotope.....	52
1.1. Nécessité de cartographier et d'estimer la surface d'un biotope.....	52
1.2. Techniques classiques.....	52
1.3. Cartographie par télédétection.....	53
2 - Les images du satellite SPOT.....	54
2.1. Caractéristiques de SPOT.....	54
2.2. Les images SPOT.....	55
2.3. Simulation SPOT en Nouvelle-Calédonie.....	55
3 - Traitement de l'image simulée SPOT du récif Tétémbia..	58
3.1. Principe du traitement d'image.....	58
3.2. Application au récif Tétémbia.....	59
4 - Cartes thématiques du récif Tétémbia.....	65
4.1. Thèmes généraux.....	65
4.1.1. Analyse des thèmes.....	65
4.1.2. Evaluation des surfaces.....	66
4.2. Thèmes fonds durs.....	67
4.2.1. Analyse des thèmes.....	67
4.2.2. Evaluation des surfaces.....	67
4.3. Bilan des résultats.....	68
Seconde Partie : LA BIOLOGIE.....	69
Chapitre I : ANATOMIE, BIOMETRIE.....	70
1 - Description morphologique et anatomique.....	70
1.1. La coquille.....	70
2.2. L'animal.....	70
2.2.1. L'appareil respiratoire.....	74
2.2.2. L'appareil circulatoire.....	74
2.2.3. L'appareil digestif.....	74
2.2.4. L'appareil excréteur.....	74
2.2.5. Le système nerveux.....	75
2.2.6. L'appareil reproducteur.....	75

	<u>Pages</u>
2 - Biométrie.....	79
2.1. Relations morphométriques.....	79
2.2. Formation de la carène.....	82
Chapitre II : REPRODUCTION, FECONDITE, DEVELOPPEMENT LARVAIRE..	85
1 - Modalités de la reproduction.....	85
2 - Cycle sexuel et fécondité.....	85
2.1. Méthodologie de l'étude.....	85
2.1.1. Echantillonnage.....	85
2.1.2. Traitement de l'échantillon.....	86
2.1.3. Paramètres mesurés.....	86
2.2. Analyse des résultats.....	93
2.2.1. Sex-ratio.....	93
2.2.2. Cycle saisonnier de la reproduction.....	93
2.2.2.1. Stades de maturité et RGS mensuels.....	93
2.2.2.2. Stades de maturité et RGS hebdomadaires.....	99
2.2.3. Fécondité.....	101
3 - Développement larvaire.....	105
4 - Taille à la première maturité.....	105
Chapitre III : CROISSANCE, MORTALITE NATURELLE.....	107
1 - Etude de la croissance par marquage.....	107
1.1. Opérations de marquage.....	107
1.2. Stations de marquage et résultats des recaptures.....	109
1.3. Etablissement de la courbe de croissance.....	113
1.3.1. Méthode d'estimation des paramètres L_{∞} et K	114
1.3.2. Résultats obtenue pour L_{∞} et K	115
1.3.3. Comparaison entre stations.....	116
1.3.4. Choix d'une courbe de croissance moyenne.....	122
1.3.5. Comparaison avec d'autres auteurs.....	125
2 - Etude de la mortalité naturelle.....	129
2.1. Présentation du modèle.....	129
2.2. Méthode d'estimation des paramètres.....	132
2.3. Résultats.....	135
2.4. Discussion.....	139

	<u>Pages</u>
Troisième Partie : L'EXPLOITATION.....	140
Chapitre I : PECHE ET EXPORTATIONS.....	141
1 - Evolution depuis le début du siècle.....	141
2 - Evolution récente de la pêche et de sa réglementation.	143
3 - Place de la Nouvelle-Calédonie sur le marché mondial des trocas.....	143
Chapitre II : DYNAMIQUE DU STOCK, EXPLOITATION RATIONNELLE, ESSAIS D'AQUACULTURE.....	146
1 - Prospection des récifs et platiers favorables aux trocas pour l'évaluation de la ressource.....	146
1.1. Plan d'échantillonnage.....	146
1.2. Technique d'échantillonnage.....	146
1.3. Moyens à la mer pour la prospection.....	148
1.4. Chronologie des opérations de terrain.....	148
2 - Résultats de la prospection; établissement des données de base.....	148
2.1. Méthodes de calcul des données de base.....	148
2.1.1. La densité.....	148
2.1.2. Mesure des surfaces.....	150
2.1.3. Nombre d'individus et biomasse de la population - Stock exploitable.....	150
2.2. Présentation des résultats.....	151
2.2.1. Cas des îles Loyauté et de l'île des Pins.....	151
2.2.2. Lagons de la Grande Terre.....	152
2.3. Validité des données de base.....	157
3 - Analyse statistique et étude de la dynamique du stock de trocas.....	157
3.1. Approche synthétique ou globale.....	158
3.2. Approche analytique ou structurale.....	158
3.2.1. Principe de l'analyse des cohortes.....	159
3.2.2. Analyse des cohortes du stock de trocas...	159
3.2.3. Résultats du modèle structural (Analyse des cohortes).....	160
3.2.3.1. Effectifs par âges ($N_{i,j}$).....	160
3.2.3.2. Coefficient de mortalité par pêche ($F_{i,j}$).....	160
3.2.3.3. Biomasses exploitables déduites des effectifs calculés par l'analyse des cohortes.....	165

	<u>Pages</u>
4 - Propositions d'aménagement de la pêche.....	168
4.1. Principaux résultats à considérer pour les mesures d'aménagement.....	168
4.1.1. La biomasse exploitable.....	168
4.1.2. L'effort de pêche.....	169
4.2. Les moyens de la gestion rationnelle.....	169
4.3. Avantages et inconvénients de ces moyens.....	170
4.3.1. Le quota annuel.....	170
4.3.2. Nombre de pêcheurs.....	170
4.3.3. Fermeture totale de la pêche pour une longue durée ou à une période de l'année (en saison chaude, période de la repro- duction).....	170
4.3.4. Cantonnements ouverts par rotation.....	171
4.3.5. Limitation des tailles.....	171
4.4. Stratégie en deux phases.....	172
4.4.1. Phase transitoire.....	172
4.4.2. Phase de production soutenue.....	173
5 - Essais d'aquaculture.....	173
5.1. Intérêt de la production de trocas en bassins...	173
5.2. Essai réalisé en Nouvelle-Calédonie.....	174
CONCLUSIONS.....	177
BIBLIOGRAPHIE.....	179
ANNEXES.....	190

AVANT - PROPOS

Je voudrais ici exprimer ma profonde gratitude aux Personnalités qui ont bien voulu participer à ce jury afin de juger ce travail. Tout d'abord à Monsieur le Professeur AMANIEU qui siège en tant que Président; l'intérêt qu'il a porté à ce travail, réalisé aux antipodes, m'a permis de le mener à son terme dans d'excellentes conditions.

Mes très chaleureux remerciements également aux Rapporteurs de ce jury, Messieurs les Professeurs L. LAUBIER et J.C. LE GUEN qui ont eu la tâche ingrate de juger mon travail dans un délai très court. J'ai plaisir à rappeler ici que cette étude des trocas me fut confiée par Monsieur le Professeur LE GUEN lorsqu'il présidait aux destinées de l'océanographie biologique à Nouméa.

Mes vifs remerciements à Monsieur le Professeur P. NIVAL, dont j'ai été l'élève et que je retrouve avec joie aujourd'hui, ainsi qu'à Monsieur le Professeur THALER qui m'honore de sa présence au sein de ce jury.

Je voudrais exprimer également ma gratitude aux nombreux collègues de Nouméa qui de près ou de loin m'ont aidé à élaboré ce travail.

En particulier, Monsieur R. GRANDPERRIN, auprès de qui j'ai trouvé les plus vifs encouragements à entreprendre cette synthèse et qui n'a jamais été avare de conseils judicieux.

Je tiens à remercier également tout particulièrement Messieurs P. CHARDY et F. GOHIN de l'IFREMER qui ont contribué à mener à bien certains aspects de ces recherches.

Monsieur C. HOFFSCHIR a pris une part très importante dans toute la partie technique de cette étude, dans des conditions parfois difficiles. Qu'il en soit vivement remercié ici.

La rédaction de ce mémoire n'aurait pu être menée à bien sans l'aide et la persévérance de Mademoiselle H. GESBERT; je lui exprime toute ma reconnaissance.

Je n'aurai garde d'oublier les équipages du N.O. VAUBAN et de la vedette DAWA commandés par Messieurs P. FURIC et R. PRONER, ainsi que nos collègues plongeurs, Messieurs G. BARGIBANT et P. TIRARD; et, bien sûr, les collègues en charge de la cartographie, Mesdames M. LE CORRE et V. SERVY ainsi que Monsieur Y. PENVERN; de la reprographie et du service photo, Messieurs J.P. MERMOUD et P. RIBERE. Leur aide à tous fut des plus précieuses, je les en remercie.

INTRODUCTION

Les trocas (*Trochus niloticus* L.), anciennement appelé troques (de trochus : toupie), fournissent depuis plus d'un siècle la matière première indispensable à l'industrie des boutons de nacre et à la joaillerie artisanale. Ces gros gastéropodes marins produisent en effet des coquilles coniques dont la nacre épaisse est particulièrement appropriée au façonnage des boutons et des petites pièces décoratives. L'invasion des matières plastiques n'a pas supprimé la demande de trocas ; bien au contraire, le regain d'intérêt pour les matières naturelles en a fait un produit de luxe dont la demande ne cesse de croître depuis une dizaine d'année.

Les trocas vivent en eau peu profonde sur les récifs coralliens de la zone intertropicale indo-ouest Pacifique. La Nouvelle-Calédonie, entourée par un vaste lagon ponctué de nombreux récifs, constitue un important réservoir de trocas du Pacifique. Elle occupe dans le monde le troisième rang des pays producteurs, après l'Indonésie et la Papouasie Nouvelle-Guinée.

Le troca exploité dans l'Indo-Pacifique a pour nom scientifique : *Trochus niloticus* L. Le nom d'espèce évoquant le Nil est dû à une erreur d'Aldrovandus qui, lors de la première description en 1606, l'a confondu avec un autre gastéropode du fleuve égyptien (Hedley, 1917). Linnée a repris le nom "niloticus" en 1767; depuis, d'autres auteurs lui ont attribué des noms divers; parmi ceux-ci, citons :

- Trochus spinosus* Gmelin 1791
- Trochus flammeus* Bolten, 1798
- Trochus zebra* Perry, 1811
- Trochus marmoratus* Lamark, 1822
- Astralium pagodus* Wood, 1879
- Trochus montebelloensis* Preston, 1914

En résumé, sa classification s'établit comme suit :

Phylum : MOLLUSCA
Classe : GASTROPODA
Sous-classe : PROSOBRANCHIA
Ordre : ARCHAEOGASTROPODA
Super-famille : TROCHACEA
Famille : TROCHIDAE
Genre : TROCHUS
Espèce : NILOTICUS

La distribution naturelle des trocas, liée à la présence de formations récifales, est comprise dans la ceinture inter-tropicale, entre les îles Andaman de l'Océan Indien et les îles Fidji et Wallis du Pacifique. L'aire naturelle dans le Pacifique ouest était limitée par un axe oblique allant de Palau à Wallis. Depuis 1927, de nombreuses transplantations ont été réalisées avec succès et ont permis d'agrandir très loin vers l'est l'habitat actuel des trocas. (figure 1).

Les trocas vivent sur les récifs coralliens et plus précisément sur les platiers constitués de débris de coraux morts. Les densités maximales sont généralement présentes sur les dalles massives de corail mort parsemées de blocs de coraux recouvert d'une fine pellicule constituée de petites algues, de diatomées et de foraminifères. Les gros trocas habitent principalement la partie récifale exposée au vent, sauf si la topographie du platier de bordure est trop uniforme (Smith, 1979). Leur pied musculeux leur permet d'adhérer fortement au substrat et, par conséquent, de résister à une forte agitation hydrodynamique tout en bénéficiant d'une oxygénation optimale. La tranche bathymétrique favorable à cette espèce se situe dans les dix premiers mètres (Gail, 1957), mais il est possible de trouver des trocas jusqu'à 24 m (Mc Gowan, 1956).

Une ségrégation des tailles existe depuis le littoral jusqu'au bord du récif. Les jeunes trocas se trouvent principalement

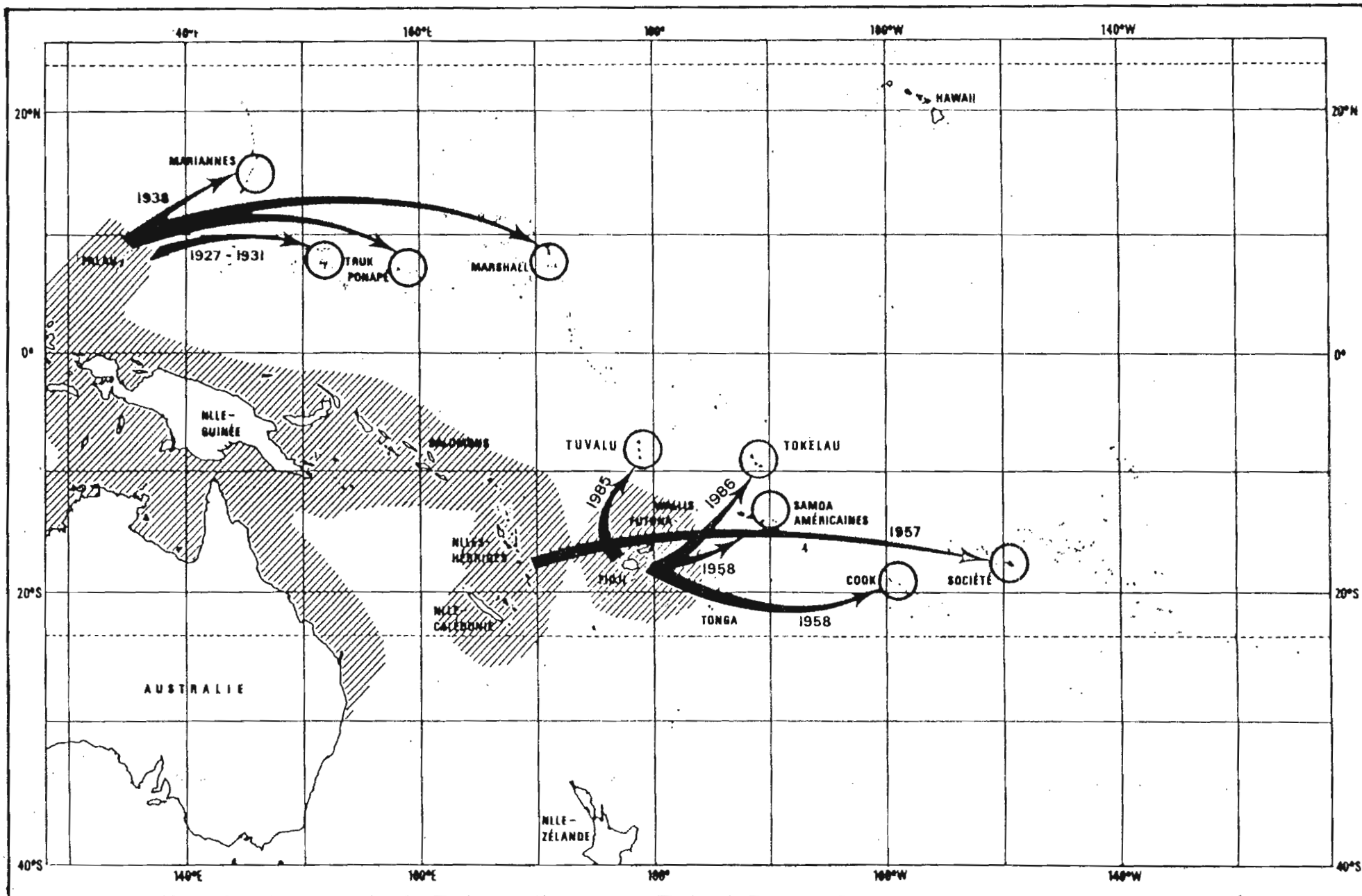


Figure 1 : Transplantations de trocas dans divers archipels du Pacifique ouest-tropical. (La zone hachurée est l'aire de répartition naturelle).

sur les platiers intertidaux et les plus âgés dans la zone subtidale et la pente récifale. Cette ségrégation est très probablement expliquée par la dispersion des larves au cours de leur stade pélagique. La lente migration des trocas au cours de leur croissance vers la crête puis la pente externe du récif pourrait être d'origine trophique. Les besoins énergétiques pour ces animaux, dont la coquille atteindra 150 à 200 g en quatre années, sont certainement très importants; or, l'épibiose végétale dont ils se nourrissent est plus abondante sur la bordure externe du platier récifal. Il n'est pas exclu que les trocas eux-mêmes, par leur migration trans-récifale, profitent des phénomènes d'enrichissement des zones privilégiées du récif, expliqués par la théorie de l'endo-upwelling (Rougerie, *et al.* 1986).

La radula des trocas comporte environ 150 dents. Elle permet donc le broutage du film épibiotique recouvrant les débris de coraux morts. Asano (1944) a trouvé dans les contenus stomacaux de 20 spécimens, mesurant de 60 à 75 mm, des Foraminifères, des Cyanophycées et Phaeophycées en abondance et d'autres petites algues rouges et vertes en moindre proportion, mélangées à une grande quantité de sable.

Les trocas sont à sexes séparés mais aucun caractère sexuel secondaire externe ne permet de les distinguer. Il faut casser l'apex de la coquille pour faire apparaître la gonade qui, à maturité, est de couleur vert foncé chez la femelle et blanc laiteux chez le mâle. Amirthalingam (1932) note une différence sur les coupes longitudinales des coquilles d'adultes : les cavités de la coquille mâle sont plutôt ovales avec des angles obtus alors que chez la femelle, elles seraient plus anguleuses et les angles moins obtus.

La fécondation est externe, les gamètes sont donc émis dans l'eau de mer ambiante à une période liée aux phases de la lune. Le comportement de reproduction et le développement larvaire des trocas sont bien connus depuis les travaux de Heslinga

et Hillmann (1981) à Palau et de Nash (1985) sur la Grande Barrière australienne.

Deux ou trois jours avant la ponte, l'activité nocturne des trocas augmente. Les mâles émettent en premier leurs gamètes ce qui peut déclencher la ponte des femelles dans les dix à soixante minutes qui suivent. Chaque femelle expulse des oeufs pendant 10 à 20 minutes.

La ponte a lieu toute l'année sur les récifs de Micronésie, d'Australie et aux îles Andaman (Rao, 1937). Une saison de ponte est bien marquée en Nouvelle-Calédonie, pendant les mois chauds d'octobre à avril (Bour *et al.*, 1988); elle serait donc en rapport avec la température ambiante de l'eau de mer. Le réchauffement artificiel de l'eau est d'ailleurs un moyen facile pour déclencher la ponte de trocas en bassin.

La ponte est nocturne; elle se produit en général pendant les jours de nouvelle lune mais elle a pu être observée au cours des nuits de pleine lune sur les récifs de la Grande Barrière de Corail australienne (Nash, 1985).

Les oeufs fécondés sont recouverts d'un épais chorion qui protège l'embryon, future larve trochophore. Après l'éclosion, cette trochophore développe une coquille larvaire (protoconque) et nage vers la surface grâce à un velum cilié; elle est devenue une larve véligère lécitotrophe (se nourrissant sur ses réserves au cours de cette phase planctonique). Au bout de quelques jours, la véligère va se fixer sur un substrat favorable, perdre son velum (métamorphose) et commencer à ramper sur son pied en se nourrissant d'algues microscopiques. La coquille juvénile (téléconque) opaque et denticulée commence sa première spire à la suite de la coquille larvaire translucide et lisse.

Heslinga et Hillmann (1981) ainsi que Nash (1985) ont fait des observations comparables sur la chronologie du développement larvaire des oeufs obtenus en bassins d'élevage (Tableau 1).

Tableau 1 : Chronologie du développement larvaire des oeufs de trocas

Stade	Heslinga et Hillmann (1981) (Durée après fécondation)	Nash (1985)
Première division	30 minutes	55 minutes
Eclosion (trochophore)	12 heures	12-14 h.
Début protoconque	13 heures	13-14 h.
Début stade véligère	20 heures	21 h.
Début stade juvénile	60 heures	60 h.

La durée de la phase planctonique peut être beaucoup plus longue et dépasser la semaine pour certaines véligères. Cette variabilité joue sûrement un rôle important dans la dispersion des larves et la colonisation de récifs éloignés du milieu parental. Heslinga et Hillmann (1981) ont montré que des véligères placées dans de l'eau de mer filtrée peuvent conserver leur couronne ciliée jusqu'à trois semaines alors que la métamorphose peut être induite par l'adjonction d'algues rouges coralliennes ou d'agents chimiques tels que l'acide gamma-aminobutyrique. Un chimiotactisme particulier permettrait donc aux véligères de reconnaître un milieu favorable pour sédimenter et se métamorphoser, avant épuisement de leurs réserves nutritives.

La vie postlarvaire des jeunes trocas est connue à partir des cohortes obtenues en aquaculture. La croissance les deux premiers mois est tributaire des ressources en nourriture disponible sur les parois de bassins; elle peut varier du simple au double au cours de cette période (Heslinga et Hillmann, 1981). La courbe moyenne présente une forme sigmoïde caractéristique d'une croissance postlarvaire assez lente jusqu'à l'âge de quatre mois. La survie en captivité est particulièrement bonne; elle est de l'ordre de 20 % entre l'éclosion et l'âge de deux mois, elle se maintient autour de 10 % à quatre mois.

Les zones récifales principalement colonisées par les trocas, lorsque le substrat est favorable, sont, nous l'avons vu, les platiers peu profonds souvent exondés à marée basse et les premiers mètres de la pente récifale; cette répartition conditionne la pêche qui se fait soit à pieds soit en plongée apnée.

L'animal est séparé de la coquille après cuisson ce qui a pour effet de détacher le muscle columellaire. Une autre technique pratiquée en Australie consiste à faire sortir la chair par une forte pression d'eau, ce qui évite la phase de cuisson. Une lame spiralée à extrémité tranchante a été utilisée en Nouvelle-Calédonie pour extraire l'animal frais avec un minimum de lésion; cette technique délicate ne peut s'appliquer qu'à des échantillons, pour l'étude de la maturité par exemple.

Les principales pêcheries commerciales actuelles du Pacifique sud sont :

- les îles et archipels de Micronésie : Palau, Yap, Guam, Saipan, Truck, Ponape,
- La Papouasie Nouvelle-Guinée,
- les îles Salomon,
- le Vanuatu,
- la Nouvelle-Calédonie,
- Fidji,
- la Polynésie Française,
- les îles Cook.

Certaines pêcheries résultent de transplantations de trocas effectuées plusieurs décennies auparavant. C'est le cas des archipels de Micronésie à partir du stock naturel de Palau et des îles situées à l'est de Fidji (fig.1).

Le tableau 2, compilé par Gillett (1985), donne un excellent résumé de ces opérations. On constate que ces transplantations, commencées dans les années 30-40 en Micronésie, ont surtout été réalisées dans les années 50-60 et redeviennent d'actualité depuis

Tableau 2 : Transplantations de trocas dans les îles du Pacifique.
(Gillett, 1987)

PACIFIC ISLANDS TROCHUS INTRODUCTIONS - COMPILED BY R. GILLETT, FAO/UNDP SUVA

Date	Areas	Details	Source
Before 1927	Palau to Truk Palau to Ponape	Unsuccessful attempt.	MacGowan 1957
1927-1931	Palau to Truk	Total of 6724 shells transferred in bait wells of skipjack boats; 5 years elapsed before judged successful. First harvest 1939, greatest annual harvest (1952) 230 tons	McGowan 1957 McGowan 1958
1937	Palau to Phoenix Is.	No details of transfer available; 1986 status unknown to Kiribati officials. Probably mistaken as Enderbury (Phoenix) could have been confused with Enderby (Pulawat, Truk)	Bour et al. 1982 Onorio, per. comm.
1939	Palau to Saipan Palau to Ponape Palau to Satawan	2974 shells transferred; 6745 shells transferred; greatest harvest (1951) 180 tons; 5000 shells transferred; success not known.	McGowan 1957 McGowan 1958
1939 <u>or</u> 1940	Yap to Ulithi	Very successful.	McGowan 1957, 1958 McCoy, per. comm.
1930	Palau and Yap to various sites in Caroline Is.	Japanese Govt. and private companies transferred shells to many islands including Ngulu, Ngatik, Mokil, Pulawat. Transfers to Sorol, Woleai, Ifaluk, Kapin-gamarangi, and Nukuoro not successful.	McGowan 1957
1939	Palau to Jaluit	Shells transferred to other atolls of the Marshalls including Majuro and Ailinglaplap; transfer to Ebon not successful.	McGowan 1957 Bour et al. 1982
1940s or Early 1950s	Ponape to Kostae	Unsuccessful operation.	McGowan 1958
Early 1950s	Saipan to Guam	Shells transplanted by two fishermen; very successful.	Smith, per. comm.
1952	? to Hawaii	39 shells released in Kaneohe bay.	Katekaru, per. comm.

Tableau 2 (suite 1)

Date	Areas	Details	Source
1957	Fiji(Viti Levu) to Aitutaki	2 transfers; one in sea water, other damp in crates (40 shells); seaplane used; trochus population plentiful in 1965. First harvest 1981 (200 tonnes).	Van Pel 1957 Devambeze 1960 Sims 1984 Powell,per.comm.
1957	Vanuatu to Tahiti	1200 shells shipped in circulatory water tanks. 40 survived the 15 days trip.	Yen 1985 Yen,per.comm.
1958	Fiji to American Samoa	No details available.	Bour et al. 1982
1958	New Caledonia to Tahiti	40 shells transferred by aircraft in damp sacks. First harvest 1971; greatest annual harvest (1973) 261 tonnes.	Van Pel 1957 Anon. 1972, Powell 1960
1959	Ponape to Kosrea	500 live trochus released at 13 locations	Gawal 1982
1963	Guam to Hawaii	750 trochus released in Kaneohe Bay; 1967 survey showed trochus surviving, but no indication of reproduction observed; some trochus observed in 1970.	Katekaru,per.comm. Kanayama, 1967
1963	Tahiti to Moorea	No details available.	Anon. 1972
1964	Tahiti to Raiatea	No details available.	Anon. 1972
?	Tahiti to Tuamotu and Austral Is.	No details available.	Anon. 1972
1981-1983	Aitutaki to southern Cook Is.	Palmerston Is, 3000 shells transferred, abundant at date of report. Manuae, 500 shells, uncommon in 1985; Mitiaro, 300 shells, rare/extinct; Atiu, 300 shells, rare/extinct; Mangaia, 300 shells, rare; Rarotonga, 200 shells, rare/extinct.	Sims 1984
1982	Aitutaki to Rakahanga and Manihiki	Shells carried on deck in wet sacks. Unsuccessful; all dead before arrival.	Sims 1985
1983	Yap to Woleai	2000 trochus transplanted. All died in transit.	Fagolimul and Price 1987
1984	Yap to Woleai and Fachaulap	4.708 shells transferred, 12 died en route	Fagolimul and Price 1987
1985	Yap to Ifalik and Eaurpik	1979 shells transferred; 90 died en route	

Tableau 2 (suite 2)

Date	Areas	Details	Source
1985	Aitutaki to Northern Cook Is.	Penrhyn, 439 shells, carried 6 days in bait tank; Manihiki, 398 shells, carried 9 days in bait tank; Rakahanga, 693 shells, carried 10 days in bait tank; Pukapuka, all dead, carried 13 days in bait tank.	Sims 1985
1985	Aitutaki to Suvarrow	460 shells carried for 3 days in flooded skiff; very low mortality.	Sims, per. comm.
1985	Fiji (Viti Levu) to Funafuti	181 shells transferred in 3 air shipments; successful; larger transfer planned.	Parkinson 1984 Pita 1985 Adams, per. comm. Batty, per. comm.
1986	Aitutaki to Northern Cook Is.	1200 trochus shipped using flooded skiff on domestic vessel. Very good survival rate.	Dashwood, per. comm.
1986	Fiji (Viti Levu) to Tokelau	1029 shells transferred; 584 sent by ship via Western Samoa; 161 flown to Western Samoa to join original shipment; 284 flown direct to Fakaofu and parachuted.	Gillett 1986
1986	Yap to Eaurpik, Elato, Lamotrek and West Fayu	3,125 shells transferred, 22 died en route	Fagolimul and Price 1987
1987	Aitutaki to Suvarrow	1,000 shells transferred via Flooded skiff, no mortality	Sims, per. comm.

1981. Dans le passé, les introductions se sont faites sur de longues distances, en opérations inter-archipels pourrait-on dire; elles ont porté loin vers l'est l'aire de répartition naturelle de l'espèce. Actuellement, en parallèle, se développent des opérations intra-archipels visant à peupler les îles voisines du premier point d'introduction.

Les bonnes connaissances actuelles sur la biologie des trocas et leurs exigences écologiques permettent d'envisager des introductions qui ont de meilleures chances de réussite que par le passé. Une opération récente entre Fidji et Tokelau (Gillett, 1986) a montré l'importance des précautions à prendre dans la manipulation et les conditions de transport des coquilles, en particulier dans l'oxygénation de l'eau si le délai de route dépasse deux jours.

Jusqu'à présent, aucune conséquence nuisible patente n'a été signalée à la suite de ces transplantations. Seul Sims (1984) note une compétition possible avec *Turbo setosus* sur Aitutaki (Iles Cook). Ce constat favorable conduit à encourager de nouvelles introductions comme le fait Parkinson (1984) pour Tuvalu.

La production mondiale de coquilles de trocas varie selon les auteurs entre 3000 et 6000 tonnes par an.

En dehors du Pacifique sud, les autres pays producteurs sont l'Indonésie, les Philippines, l'Inde et la Thaïlande.

Le tableau 3 résume les chiffres donnés par Carleton (1984) dans une étude économique consacrée aux trocas, en particulier pour le marché japonais.

Ce tableau montre que les pays du Pacifique sud ont fourni environ les 2/3 du marché japonais et que cette production globale est restée relativement stable pour la période considérée en dépit des fluctuations de production de chacun des pays concernés.

Tableau 3 : Importations de trocas au Japon (d'après Carleton, 1984)

	1977	1978	1979	1980	1981	1982
Tonnages importés (T)	1806	2579	1893	2214	2088	2069
Origine Asie (%)	34	33	36	28	36	35
Origine Pac.Sud (%)	66	67	64	72	64	65

Par exemple, la part de la Nouvelle-Calédonie a oscillé entre 5 et 33 %, celle des îles Salomon entre 8 et 22 %.

En dehors du Japon, les autres pays importateurs sont : Singapour, Hong-Kong, l'Espagne, l'Italie, la France et le Royaume-Uni.

La qualité de la coquille varie avec les zones de production. C'est le troca indonésien, appelé "Macassar", qui est considéré comme le meilleur pour la qualité de sa nacre; il sert de standard pour fixer le prix des autres qualités. Son prix d'achat par le Japon était de 1000 US \$ la tonne métrique en 1977. En 1982, il valait près de 2000 US \$ alors que les trocas du Pacifique sud étaient achetés entre 1200 et 1650 US \$ la tonne métrique. Cette déquote tend à se réduire à la suite de la baisse de production indonésienne. De 44 % en 1977, elle est actuellement de l'ordre de 25 %.

Les trocas symbolisent bien le type de ressource biologique parfaitement adaptée à l'économie des pays insulaires du Pacifique sud. En effet, l'exploitation des trocas présente les avantages suivants :

- la pêche ne demande pas de moyen sophistiqué.

- le produit important est la coquille de nacre, donc une matière biologique renouvelable et non périssable. La chair est le sous produit mais elle constitue une source alimentaire de complément pour les pêcheurs.

- les coquilles sont exportables; elles sont donc une source de devises dans le cadre d'un marché international très demandeur.

- des ateliers artisanaux de façonnage des coquilles fournissent des emplois et procurent une plus-value importante.

- l'aire naturelle de répartition de l'espèce peut être augmentée par des transplantations sur les récifs peu ou pas colonisés par les trocas.

En contrepartie, cette ressource exige une gestion rigoureuse de l'exploitation car les stocks sont fragiles et leur reconstitution peut être lente.

PREMIERE PARTIE

LE MILIEU

CHAPITRE I

LA NOUVELLE CALEDONIE ET SES LAGONS

1 - Présentation de la Nouvelle-Calédonie

1.1. - Présentation géographique

Le Territoire de Nouvelle-Calédonie est compris entre les longitudes 161°E, 167°E et les latitudes 18°S, 23°S, si l'on exclu les plateaux coralliens éloignés des Chesterfield et de Bellona à l'ouest et deux îlots volcaniques, Matthew et Hunter, à l'est (figure 2).

L'île principale, appelée la Grande Terre, mesure 400 km de long et a une largeur moyenne de 50 km. Sa superficie est de 16 900 km².

Les autres îles entourant la Grande Terre (figure 3) sont par ordre d'importance :

- à l'est : les Iles Loyauté (Ouvéa, Lifou, Maré)
- au sud : l'île des Pins
- au nord : les Iles Bélep.

La Grande Terre est formée essentiellement d'une chaîne centrale de montagnes, avec de larges plaines côtières à l'ouest et des versants plus accentués sur la côte est. Les deux principaux sommets sont proches des extrémités de l'île : le Mont Panié au nord culmine à 1628 m et le Mont Humboldt au sud atteint 1618 m.

1.2. - Présentation géologique

L'île principale fait partie d'un grand géosynclinal, la

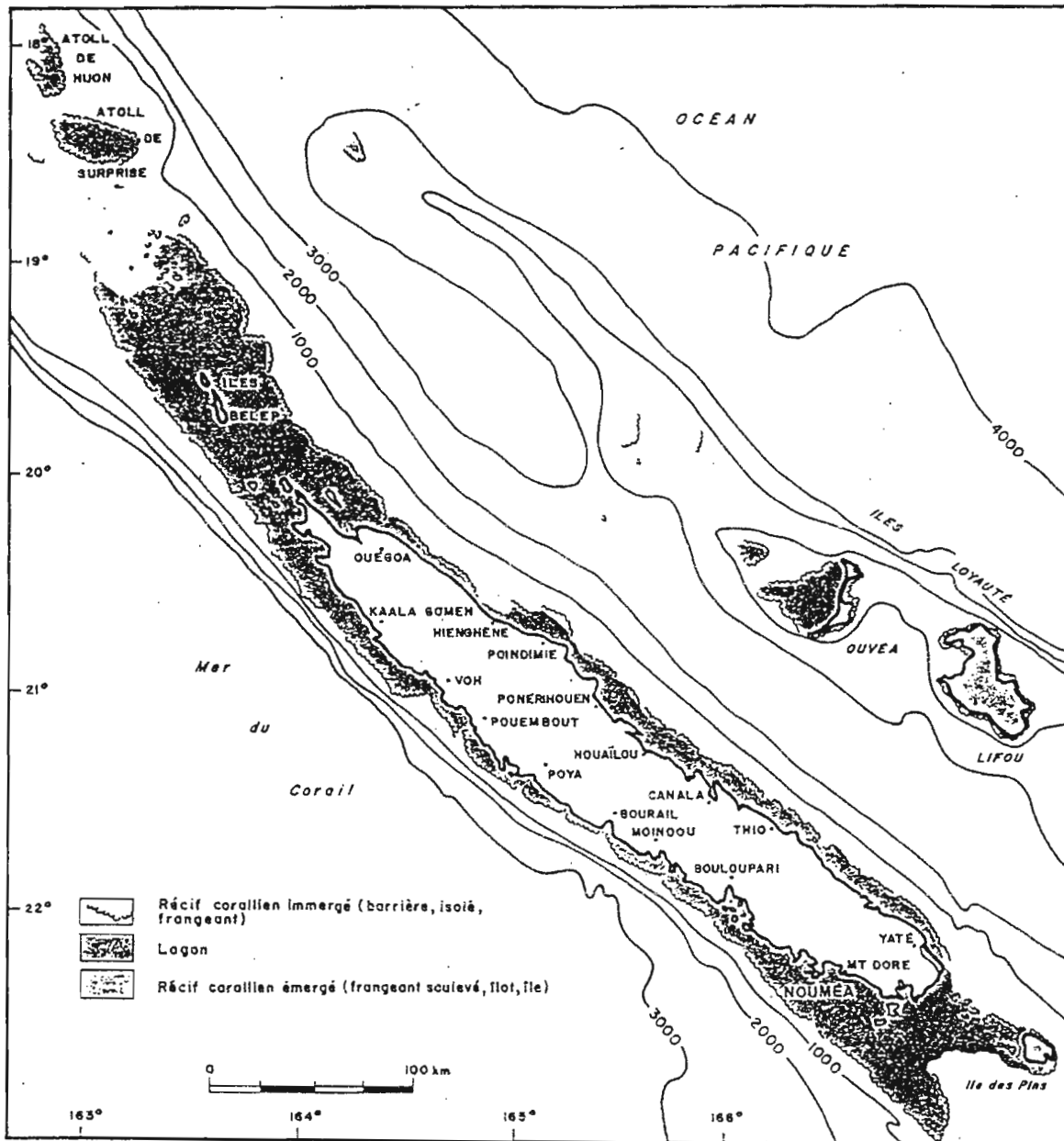


Fig. 3 - Les lagons de la Nouvelle Calédonie.
(d'après Richer de Forges et al., 1987).

ride de Norfolk, qui prolonge la Nouvelle-Zélande vers le nord - ouest (figure 2). A l'ère secondaire, cet ensemble était accolé à la côte australienne, l'ensemble appartenant au continent de Gondwana. Au début de l'ère tertiaire, l'ouverture de la mer de Tasman a séparé la ride de Norfolk du continent australien. Actuellement, la Nouvelle-Calédonie est située sur la plaque indo-australienne qui plonge sous la plaque Pacifique dans une zone située à moins de 60 km des îles Loyauté. Des mouvements tectoniques ont donc provoqué un basculement de la Grande Terre et un soulèvement des îles Loyauté (Richer de Forges *et al.*, 1987).

1.3. - Présentation climatique

Le climat est tropical mais présente de nombreuses particularités locales du fait du relief et de la situation par rapport aux vents dominants.

Suivant la saison, été austral (décembre à mars) ou période fraîche (avril à novembre), les températures moyennes passent par un maximum en février compris entre 25 et 29° suivant le lieu et un minimum en juillet, entre 18 et 21°.

Le régime habituel des vents est celui des alizés de secteur est. La direction, plus ou moins modifiée par le relief, varie entre l'est-nord est et le sud-est. Les alizés soufflent plus de 200 jours par an à Nouméa; leur vitesse moyenne varie entre 8 et 15 noeuds. Ils sont généralement faibles en début de matinée et se renforcent pendant la journée pour atteindre leur valeur maximale entre 14 et 17 heures (Conand, 1987).

Des perturbations venant des hautes latitudes provoquent parfois des vents violents de secteur ouest. Ces "coups d'ouest" pouvant atteindre 35 à 40 noeuds sont peu fréquents mais ont un impact important sur la morphologie récifale. De même, les dépressions tropicales et les cyclones que la Nouvelle-Calédonie peut subir entre décembre et avril occasionnent des modifications encore mal connues des biotopes récifaux et lagonaires.

La pluviométrie est très inégale d'une côte à l'autre. La Côte Est reçoit de 2000 à 3000 mm d'eau par an; la Côte Ouest n'enregistre, suivant la zone, que 900 à 2000 mm et les variations interannuelles peuvent être importantes. Les fortes précipitations se produisent généralement au cours de l'été austral car elles sont liées au passage des perturbations tropicales.

1.4. - Présentation démographique

La population du Territoire de Nouvelle-Calédonie est actuellement voisine de 160 000 habitants pour une superficie de 19 100 km². La répartition est très inégale puisque Nouméa, la capitale, et ses environs regroupent la moitié de cette population.

La pêche professionnelle est peu développée; elle est pratiquée par moins d'un millier de personnes; elle sert à alimenter le marché local de Nouméa et exporte des thons de palangriers.

La pêche artisanale de subsistance et de plaisance est par contre pratiquée sur tout le littoral avec les techniques les plus variées, allant de l'épervier au fusil sous-marin. Les seuls produits des lagons exportés ne concernent pas les poissons mais des produits typiques du Pacifique sud : les holothuries, les trocas et les crabes de palétuviers.

2 - Les lagons de la Nouvelle-Calédonie

2.1. - Description générale

Une longue barrière corallienne d'environ 1600 km de long entoure la Grande Terre, l'Île des Pins et les Îles Bélep. Elle délimite un grand lagon que l'on subdivise actuellement en plusieurs lagons formant des entités géographiques et morphologiques distinctes (Richer de Forges *et al.*, 1987).

La surface totale du grand lagon est de l'ordre de 23 000 km². On y distingue, en relation avec la tectonique particulière décrite plus haut :

- Des baies profondes dues aux transgressions marines et au basculement de l'île (Hopley, 1982).
- Des récifs soulevés à Yaté et à l'Île des Pins.
- Un récif barrière bien développé et interrompu seulement par des passes sur la Côte Ouest. Sur la Côte Est, le récif barrière est beaucoup plus discontinu et certaines parties restent submergées lors des fortes marées basses.
- Des îlots coralliens alignés à l'intérieur du lagon sud-ouest correspondent à des vestiges de récifs barrières (Thomassin, 1984).

2.2. - Les formations récifales

Les constructions récifales immergées ont une superficie d'environ 8000 km² (Atlas de Nouvelle-Calédonie, 1983). La barrière récifale (figure 3) est éloignée de la côte d'une distance variant de quelques kilomètres à 65 km environ; elle délimite un grand lagon dont la profondeur ne dépasse pas une quarantaine de mètres.

Plusieurs grands types de facteurs interfèrent dans l'édification des récifs coralliens (Thomassin et Richard, 1984) :

- la topographie de la plate forme insulaire,
- les fluctuations du niveau marin,
- la variation des vents dominants au cours du temps,
- la tectonique locale.

La figure 4 montre de façon théorique la construction des complexes récifaux quaternaires, anciens et actuels, en Baie de Saint-Vincent (sud-ouest de la Grande Terre).

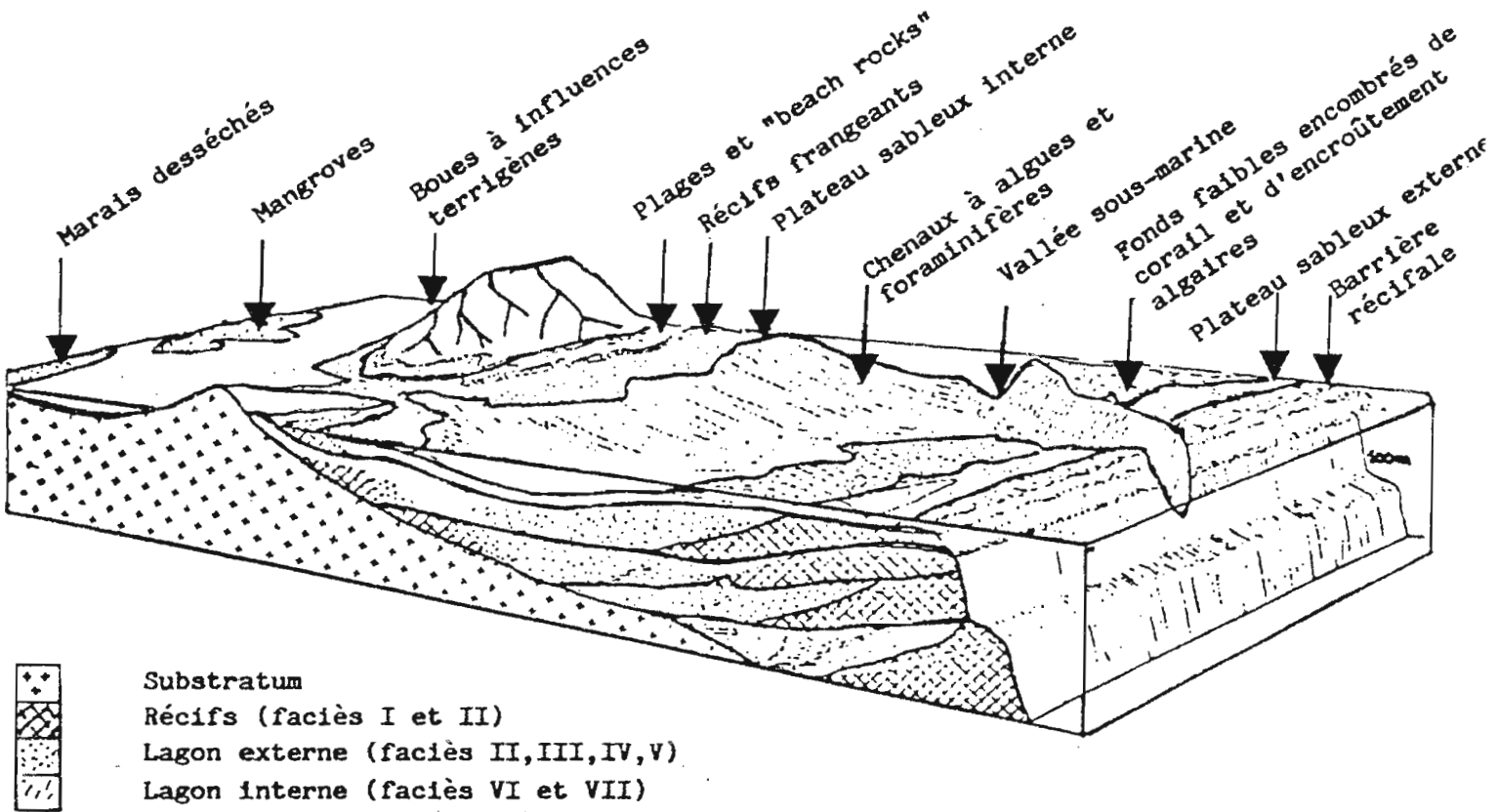


Figure 4 - Schéma théorique de la construction des complexes récifaux quaternaires, anciens et actuels, au niveau de la baie de Saint-Vincent SW de la Nouvelle Calédonie (d'après Coudray, 1977).

L'âge de l'installation des coraux sur la Nouvelle-Calédonie correspond au Pleistocène (quaternaire ancien) (Coudray, 1975). Au cours du quaternaire, le niveau de la mer a varié, provoquant des émergences et des immersions de la couronne corallienne. Lors de la dernière régression (Würm), il y a 18 000 ans environ, le niveau marin est descendu jusqu'à - 120 m par rapport au zéro actuel. Les cours d'eau ont alors entaillé le lagon émergé, créant des vallées, des canyons (figure 4) et des passes dans le récif barrière (Dugas, 1974; Coudray, 1975). La transgression holocène a submergé les anciennes constructions du lagon et en a édifié de nouvelles. Cependant les vallées, les canyons et les passes, qui n'ont pratiquement pas été remblayés, sont restés tels quels depuis la dernière régression.

La taille et l'histoire complexe des édifices récifaux calédoniens expliquent que l'on trouve pratiquement tous les grands types morphologiques :

- les récifs frangeants,
- les récifs de lagons,
- les récifs barrières,
- les atolls (Huon et Surprise).

3 - Caractéristiques physiques des eaux lagunaires

3.1. - Hydrodynamisme

Le régime des marées est semi-diurne avec un marnage n'excédant pas 1,80 m. Le courant de marée peut dépasser 2 noeuds à proximité des passes et des flots.

La houle du large étant cassée par la barrière récifale, l'agitation de surface est donc créée par les vents dominants; elle prend l'aspect d'un clapot court et haché, parfois très gênant pour la navigation.

3.2. - Données hydrologiques

L'eau de mer qui entre dans le lagon par dessus la barrière récifale ou par les passes subit des modifications dues aux apports des rivières et à l'action de l'atmosphère par évaporation et échanges thermiques.

Le tableau 4 donne les fourchettes observées des principaux paramètres hydrologiques des eaux du large (Mer de Corail) et de la partie sud-ouest du lagon.

La circulation océanique autour de la Grande Terre induit, en régime d'alizés de sud-est, sur la Côte Ouest une dérive générale des eaux vers le nord-ouest et, sur la Côte Est, une circulation inverse portant au sud-est. Les eaux baignant les deux côtes sont donc d'origine différente; il s'ensuit qu'à latitude égale, la température du lagon est peut avoir deux degrés de plus et que la salinité y sera moindre car les eaux proviennent du centre de la Mer de Corail.

Des "upwellings" peuvent se produire le long du récif barrière, selon l'orientation du vent et la configuration de courants locaux. Certains ont été détectés, par radiométrie aéroportée, le long du grand récif ouest et au voisinage de la passe de la Havannah. Ils ont une grande importance pour la fertilité du lagon car les eaux profondes qu'ils y introduisent sont riches en sels nutritifs.

Les températures des eaux des lagons suivent le cycle saisonnier; elles sont minimales en août-septembre et varient entre 20° et 22°; elles atteignent les valeurs maximales de 27° à 29° en février.

La salinité varie de façon importante dans les baies soumises à l'influence des cours d'eau; elle est maximale en période d'étiage (octobre/novembre) et minimale en avril après les fortes

	Mer du Corail (eau de surface)	Lagon (partie sud-ouest)
Courants (surface) m/s	0 - 1	0 3 (passes)
Température °C	21 - 26	20 - 27
Salinité ‰	34,5 - 36	33 - 36
Oxygène ml/l dissous	4 - 6	2 - 6
pH	8,2 - 8,4	8,0- 8,4
Phosphate : PO_4 mmol/m ³	0,1 - 0,3	0,1- 0,3
Nitrate : NO_3 mmol/m ³	0,1 - 0,6	0,1- 0,6
Nitrite : NO_2 mmol/m ³	0,0 - 0,1	0,0- 1,0
Silicate : SiO_3 mmol/m ³	1,5 - 2,5	1,5- 15
Chlorophylle a mg/m ³	0,3 - 0,7	0,3- 1,5

Tableau 4 - Valeur moyenne des principaux paramètres hydrologiques en Mer du Corail et dans le lagon calédonien.

précipitations de saison chaude. Les salinités mesurées dans différentes parties du lagon ont des valeurs comprises entre 33 et 36‰.

4 - Caractéristiques biologiques des lagons

4.1. - Le milieu pélagique

Des mesures de teneurs en chlorophylle sont réalisées chaque semaine depuis 1980 sur une radiale allant de Nouméa au grand récif. Elles sont plus élevées que dans le milieu océanique mais n'atteignent pas les valeurs élevées des régions tropicales à upwelling. La saisonnalité n'est pas très marquée; des maxima apparaissent en début de saison froide et peuvent être liés à l'augmentation observée au large pendant cette saison grâce à la remontée de la nutricline (Conand, 1987).

Le zooplancton présente une saisonnalité plus marquée; les fortes densités s'observent au début de la saison chaude, de novembre à janvier (Binet, 1984).

Les poissons pélagiques se divisent en poissons de petites tailles (sardines, prêtres, chinchards...) et poissons de moyennes et grandes tailles. Les Scombridés et les Carangidés sont les principales familles pour ces deux dernières catégories. Plusieurs espèces de requins fréquentent également les eaux des lagons.

4.2. - Le milieu benthique sédimentaire

Les mangroves à palétuviers occupent les fonds de baies et les embouchures de rivières sur environ 20 000 hectares. Elles sont plus développées sur la Côte Ouest que sur la Côte Est. Elles jouent un rôle très important dans l'économie lagonaire en servant de nurserie pour de nombreuses espèces et en filtrant la charge solide des rivières. C'est une des raisons pour lesquelles les eaux

lagonaires restent relativement claires et transparentes même le long de la ligne de côte (Rougerie et Wauthy, 1986).

Les fonds sédimentaires du lagon sud-ouest sont classés en trois grands types (Richer de Forges, 1987) :

- fonds vaseux côtiers sous influence terrigène,
- fonds blancs sous influence corallienne,
- "fonds de lagons", situés entre les deux précédents; ils sont sablo-vaseux avec une dominance d'algues vertes.

La flore et la faune de ces fonds, décrites par les principales espèces rencontrées, sont détaillées dans le tableau 5.

4.3. - Le milieu benthique récifal

Les édifices récifaux très variés, du simple pinacle corallien à la barrière récifale, abritent une faune marine abondante.

Du côté du large, sous les brisants, les aspérités sont colonisées par la gamme variée des hexacoralliaires (*Montipora*, *Echinopora*) et les surplombs servent d'abris aux langoustes et cigales de mer.

Vers l'intérieur du lagon, les fonds sableux, parfois envahis de Phanérogames et d'algues vertes, alternent avec les "patates" ou pinacles coralliens souvent constituées de blocs disloqués de coraux anciens (*Porites*, *Platygyra*) sur lesquels repoussent des coraux ramifiés (*Acropora*, *Pocillopora*). Ces massifs offrent de multiples abris aux anémones, comatules, étoiles de mer (*Protoreaster*), oursins et à une grande variété de poissons et de crustacés.

Le tableau 6 indique les principales espèces caractéristiques des biotopes coralliens en Nouvelle-Calédonie.

Types de fonds	Espèces fréquentes dans les peuplements	Fonds envasés	Fonds gris ou "fonds de lagon"	Fonds blancs
	ALGUES		<i>Halimeda incrassata</i> <i>Halimeda cylindracea</i> <i>Caulerpa taxifolia</i> <i>Udotea sp.</i>	<i>Cyanophyceae</i>
	SCLERACTIMIAIRES LIBRES		<i>Heteropsammia michelini</i> <i>Trachyphyllia geoffroyi</i> <i>Cycloseris cyclolites</i>	
	MOLLUSQUES	<i>Rhinoclavis sordidula</i>	<i>Cerithium rostratum</i> <i>Strombus luhuanus</i> <i>Bractechlamys varillum</i>	<i>Rhinoclavis fasciata</i> <i>Strombus gibberulus</i> <i>Terebellum terebellum</i>
	ECHINODERMES (* fousseurs)	* <i>Brissopsis luzonica</i> <i>Astropecten polyacanthus</i>	* <i>Maretia planulata</i> <i>Gymmachinus epistichus</i> <i>Pentaceraaster alveolatus</i> <i>Echinaster luzonicus</i> <i>Protoreaster nodosus</i> <i>Euretaster insignis</i> <i>Halodeima edulis</i> <i>Thelenota ananas</i> <i>Stichopus chloronothus</i>	* <i>Laganum depressum</i>
	CRUSTACES (souvent liés aux épibioses)	<i>Myra fugax</i> <i>Hexapus sexpes</i> <i>Macrophthalmus latreilli</i>	<i>Leucosia neocaledonica</i> <i>Parthenope hoplonotus</i> <i>Oncinopus araneus</i> <i>Buena proteus</i> <i>Hyastenus sebae</i>	<i>Randallia eburnea</i> <i>Portunidae</i> <i>Calappidae</i>

Tableau 5 - Cortèges d'espèces fréquentes dans les grands types de fonds du lagon sud-ouest

Tableau 6 : Espèces caractéristiques des biotopes coralliens des lagons de Nouvelle Calédonie

	Récifs littoraux et bordures 0 - 5 mètres	Grand Récif et pente interne 0 - 10 mètres	Extérieur du Grand Récif 10 - 60 mètres
Algues et phanérogames	<i>Acetabularia</i> <i>Padina</i> <i>Caulerpa</i>	<i>Porolithon</i> <i>Chlorodesmis</i> <i>Turbinaria</i>	<i>Peyssonellia</i> <i>Halimeda macrobala</i>
Eponges	<i>Cliona</i>		<i>Petrosia</i> <i>Verongia</i>
Cnidaires	<i>Acropora</i> , <i>Fungia</i> <i>Sarcophyton</i> <i>Porites</i>	<i>Pocillopora</i> <i>Montipora</i> , <i>Porites</i> <i>Millepora</i>	<i>Styaster</i> <i>Distichopora</i> <i>Melitheia</i> , <i>Mopsea</i> <i>Dendrophyllia</i>
Echinodermes	<i>Linckia laevigata</i> <i>Diadema setosum</i> <i>Acanthaster planci</i>	<i>Heterocentrotus</i> <i>Laganum depressum</i>	<i>Actinopyga flammea</i> <i>Ophiotrix purpurea</i>
Mollusques	<i>Cypraea errones</i> <i>Conus crosseanus</i> <i>Trochus niloticus</i>	<i>Turbo petholathus</i> <i>Cypraea caput serpentis</i> <i>Tridacna maxima</i>	<i>Conus merletti</i> <i>Nautilus macromphalus</i> <i>Cypraea childreni</i>
Crustacés	<i>Thalamita</i> , <i>Grapsus</i> <i>Panulirus ornatus</i>	<i>Panulirus penicillatus</i> <i>Parribacus caledonicus</i>	<i>Panulirus longipes</i>
Poissons	<i>Plectropomus leopardus</i> , <i>Diploprion bifasciatum</i> <i>Scolopsis bilineatus</i>	<i>Thalassoma</i> , <i>Scarus</i> <i>Gorgasia</i>	<i>Naso lituratus</i> <i>Cephalopolis urodelus</i> <i>Nemateleotris</i>
Divers	<i>Laticauda</i> <i>Spirobranchus</i>		<i>Polycarpa aurata</i>

CHAPITRE II

LE BIOTOPE DES TROCAS

1 - Description générale

1.1. - Le milieu corallien favorable aux trocas

Ce gastéropode, dont l'activité est essentiellement nocturne, fuit les fortes luminosités. Il trouve donc un milieu favorable pour se dissimuler sur les platiers coralliens peu profonds constitués de blocs et débris de coraux morts. Son mode de locomotion et son régime alimentaire le conduisent à rechercher les surfaces lisses comme les dalles massives ou les blocs de grande taille, recouverts d'un film épibiotique. Il trouve également une niche favorable dans les anfractuosités de coraux massifs comme les *Porites* des pentes récifales (figure 5).

La conséquence sur la distribution de l'espèce est une répartition en taches de forte abondance sur certaines parties du platier récifal. Il y a phénomène de surdispersion.

1.2. - Répartition bathymétrique

Les trocas vivent en abondance depuis la zone intertidale des récifs jusqu'à une profondeur de 10 mètres environ. Des trocas ont été trouvés, nous l'avons vu, jusqu'à 24 m sur les pentes mais les densités deviennent très faibles au-delà des dix premiers mètres. Heslinga (1984) a trouvé une forte corrélation négative entre la densité moyenne des trocas de Palau (Micronésie) et les tranches bathymétriques de 1 à 7 m, (figure 6).

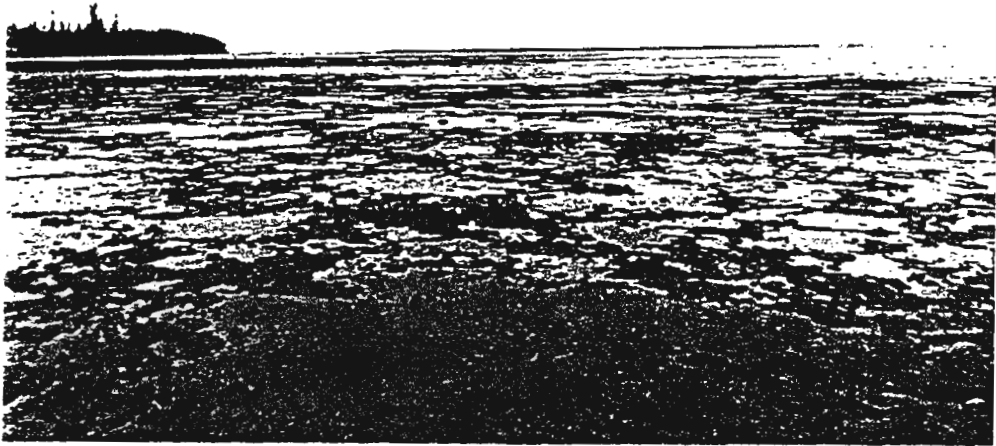


Fig. 5 - Platiers coralliens favorables aux trocas.
(sud de la Grande Terre).

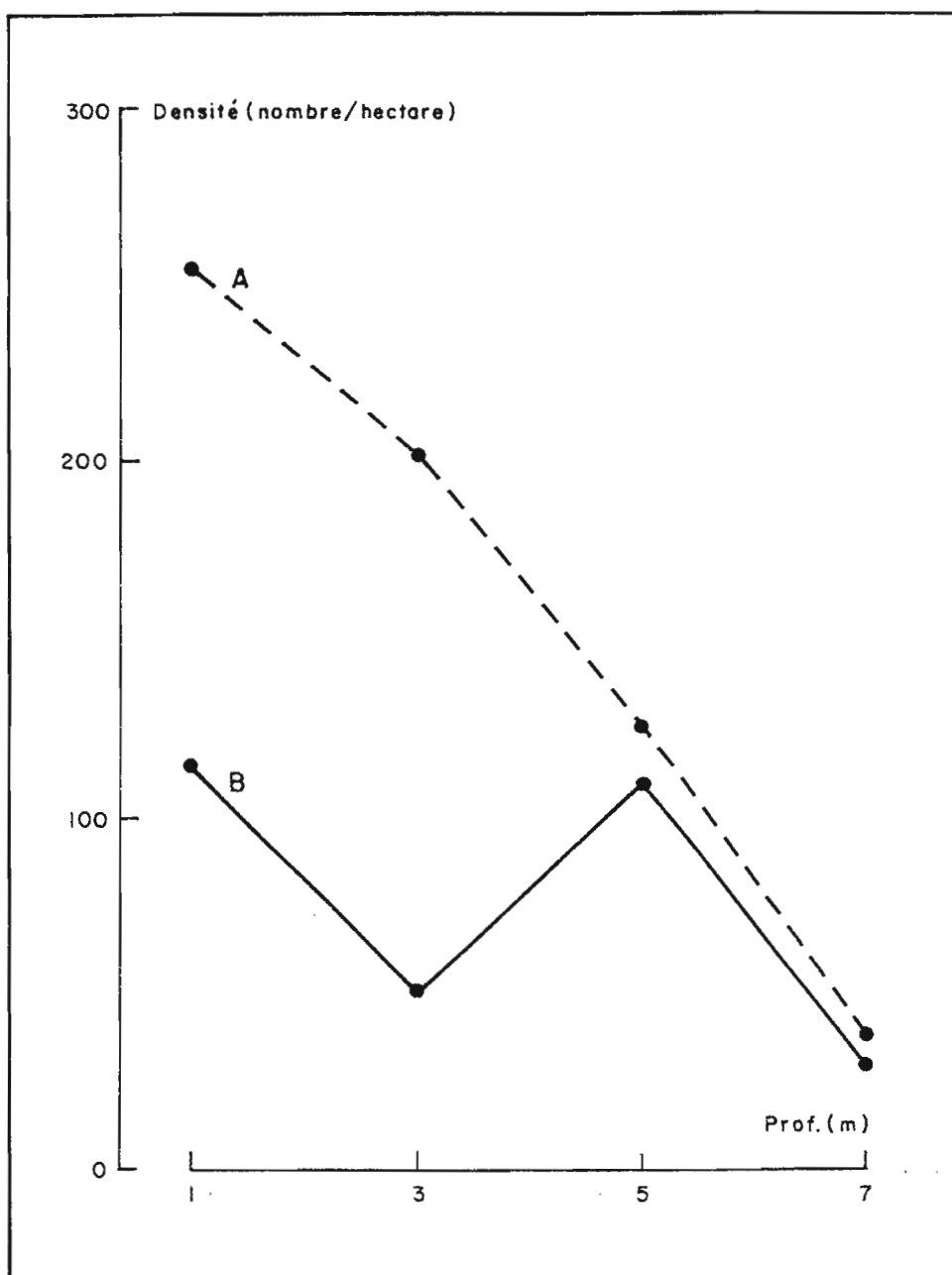


Fig. 6 - Relation profondeur et densité moyenne des trocas de Palau.
A : zones exploitées - B : sanctuaires.

1.3. - Répartition de la côte au récif barrière

Une ségrégation des classes de tailles de trocas depuis le littoral jusqu'au tombant récifal a été constatée par de nombreux auteurs. Par exemple, sur le platier d'Unia, au sud-est de la Grande Terre, une grande proportion de jeunes trocas occupe la partie côtière du platier et les plus âgés se trouvent en grande majorité sur la dalle récifale, près des brisants (figure 7). Cette ségrégation est très probablement expliquée par la dispersion des larves au cours de la phase pélagique; la sédimentation puis la fixation des larves doit être favorisée par l'atténuation des courants et de l'hydrodynamisme sur la partie interne du platier. La lente migration des trocas vers la crête puis la pente externe du récif pourrait être d'origine trophique. L'épibiose végétale comprenant des foraminifères, des cyanophycées et d'autres algues, est en général plus abondante sur la bordure externe. L'agitation de la mer sur cette zone procure une bonne oxygénation et empêche la prolifération d'algues filamenteuses néfastes à la reptation des trocas.

Des études de colonisation des récifs, après transplantation aux îles Cook, ont montré (Sims, 1985) que les trocas occupent de préférence la partie centrale du platier de l'atoll, aussi bien du côté au vent que du côté sous le vent et que la densité diminue rapidement vers les endroits de forte agitation.

1.4. - Particularismes en Nouvelle-Calédonie

Lors des expériences de marquage des trocas qui seront décrites plus loin, on a constaté la présence de ces derniers sur des éboulis rocheux côtiers, donc sur un substrat non corallien (Bour *et al.*, 1982). La croissance des coquilles sur ce milieu s'est révélée particulièrement faible. Il est facilement compréhensible que, en dépit d'une nourriture algale présente, les ressources en calcium fournies habituellement par le corail mort sont déficientes sur ces rochers non calcaires.

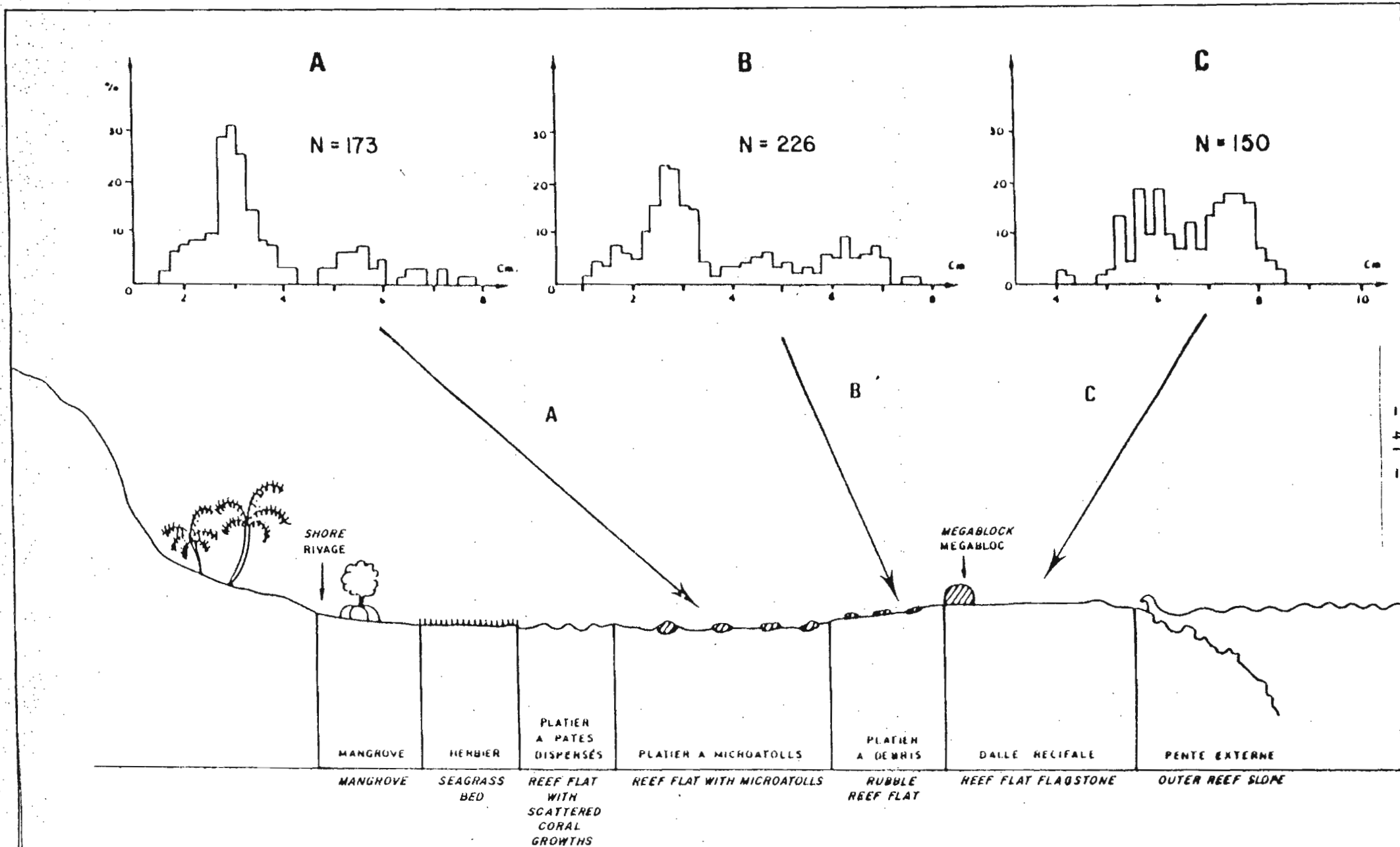


Figure 7 : Répartition des tailles de trocas sur le platier d'Unia (Nouvelle Calédonie).

Un autre trait particulier est la disparition à l'Île des Pins et aux Îles Loyauté, de *Trochus niloticus* au profit d'un autre trochidae, *Tectus pyramis* ou troca blanc lequel n'a aucune valeur marchande. Il est possible que le vrai troca, consommé sur ces îles, se soit raréfié au point d'être évincé par son cousin qui, ailleurs, est en faible abondance.

2 - Description détaillée par l'analyse d'inertie

2.1. - Méthode d'échantillonnage

La prospection réalisée en 1983 et 1984 pour l'évaluation des biomasses (voir plus loin, 3^e partie) a donné lieu à des observations écologiques systématiques à chaque station. Étant une retombée de la prospection, ces observations ont été notées suivant un codage de 1 à 5 recommandé par la Commission du Pacifique Sud (Dahl, 1980). Les éléments suivants ont été codés en fonction de leur pourcentage de couverture :

Substrat :

- Dalle continue
- Dalle caverneuse
- *Porites* arasés
- Débris fins
- Débris grossiers
- Plaques de sable

Madréporaires et Alcyonidés :

- Coraux massifs vivants
- Coraux massifs morts
- Coraux branchus vivants
- Coraux branchus morts
- Coraux mous massifs
- Coraux mous foliacés

L'échelle des pourcentages de couverture permettant une estimation visuelle rapide est la suivante :

1 = 1 à 5 %	2 = 6 à 30 %
3 = 31 à 50 %	4 = 51 à 75 %
5 = 76 à 100 %	

2.2. - Analyse d'inertie utilisée

Après quelques essais de comparaison entre les corrélations de rang normées et les corrélations de Spearman, c'est l'analyse en composantes principales utilisant la corrélation de Spearman qui a été retenue. En conséquence, les données quantitatives telles que la densité et la taille modale ont également été codées.

Le facteur d'agitation de la mer (Hydrodynamisme) a été codé en cinq niveaux de force (Tableau 7).

Tableau 7 : Codage de l'hydrodynamisme

Niveaux	Modes	Caractéristiques
0	Très calme	Sous le vent, pas de houle, pas de courant
1	Peu battu	Sous le vent, houle faible, courant faible
2	Battu	Au vent, clapot moyen, courant moyen
3	Battu + courant	Au vent, clapot déferlant, courant fort
4	Très battu + courant fort	Au vent, grosse houle, courant fort

(courant faible \leq 0,5 noeuds)

(0,5 < C. moyen \leq 1,5 noeuds)

(courant fort > 1,5 noeuds)

Au total, la matrice des données a regroupé 15 facteurs (colonnes) et 238 stations (lignes).

Les stations ont été affectées d'un indicateur de type de récif, dans le but de visualiser leur ventilation sur les axes principaux :

BE = bordure et pente du récif barrière
BI = platier et pente interne du récif barrière
RO = récif d'îlot
RL = récif de lagon
PF = platier frangeant

2.3. - Résultats de l'analyse

La matrice des corrélations entre facteurs est donnée dans le tableau 8. Les valeurs propres et les pourcentages d'inertie associés sont classés dans le tableau 9.

Les figures 8, 9, 10 montrent la répartition des facteurs et des stations sur les axes principaux pris deux à deux.

Les principaux résultats observés sur ces figures sont les suivants :

. L'axe 1 regroupe les facteurs : Densité, Taille modale, Coraux vivants et sélectionne les stations BE, PF et RO pro-parte; à l'opposé, il regroupe : Hydrodynamisme, Débris et Sable et sélectionne en partie les stations BI et RL.

. L'axe 2 regroupe : Densité, Dalles, Débris, Coraux morts, avec également des stations BI; à l'opposé, il regroupe les Plaques de sable, les Coraux mous, avec les stations RL et RO pro-parte.

. L'axe 3, de moindre intérêt, regroupe la Dalle continue, les Coraux massifs morts avec des stations BI et à l'opposé la Dalle caverneuse et l'Hydrodynamisme avec des stations BI et BE.

Tableau 8 : ACP. Corrélations des facteurs.

(voir légende commune fig. 8, 9 et 10)

	Dens																			
Dens	1																			
Mod	0,23	1																		
Hyd	-0,31	-0,03	1																	
Dcav	0,06	0,08	0,06	1																
Dcon	-0,03	0,13	0,08	-0,21	1															
Para	-0,08	-0,06	0,02	-0,08	-0,04	1														
Dgro	-0,02	-0,04	0,11	-0,17	0,06	-0,08	1													
Dfin	-0,03	0,02	0,06	-0,06	0,03	-0,01	0,12	1												
Sab	-0,31	-0,20	0,09	-0,29	-0,09	-0,04	0,18	0,08	1											
Cmv	0,17	0,03	-0,11	-0,23	-0,13	0,11	-0,43	-0,15	-0,01	1										
Cmm	0,07	0,11	-0,10	-0,03	0,10	-0,01	0,06	-0,03	-0,02	-0,10	1									
Cbv	0,19	0,03	-0,14	-0,07	-0,11	-0,05	-0,11	0,01	-0,25	-0,06	-0,11	1								
Cbm	0,07	0,08	0,01	-0,07	0,06	-0,01	0,13	0,05	-0,04	-0,13	-0,04	0,10	1							
Comm	-0,04	0,04	-0,02	-0,10	-0,04	-0,02	-0,18	-0,08	0,05	0,20	0,02	-0,06	-0,08	1						
Comf	0,07	0,05	-0,11	0,02	-0,07	-0,02	-0,16	-0,07	0,02	-0,04	-0,06	-0,06	-0,08	-0,03	1					

Val. propres	% d'inertie	% d'inertie cumulés	Baton brise
1.9796	13.197	13.197	3.3182
1.6801	11.200	24.398	2.3182
1.3749	9.166	33.564	1.8182
1.2649	8.433	41.996	1.4849
1.1607	7.738	49.734	1.2349
1.0561	7.040	56.774	1.0349
.9895	6.597	63.371	.8682
.9527	6.351	69.722	.7254
.8766	5.844	75.566	.6004
.8448	5.632	81.198	.4893
.7623	5.082	86.280	.3893
.7107	4.738	91.018	.2984
.6353	4.235	95.253	.2150
.4738	3.159	98.412	.1381
.2382	1.588	100.000	.0667

Tableau 9 : ACP. Valeurs propres et pourcentages d'inertie associés.

Légende commune aux figures 8, 9 et 10

Facteurs

DENS	: Densité
MOD	: Taille modale
HYD	: Hydrodynamisme
CBV	: Coraux branchus vivants
CBM	: Coraux branchus morts
CMV	: Coraux massif vivants
CMM	: Coraux massif morts
COMF	: Coraux mous foliacés
COMM	: Coraux mous massifs
PARA	: Porites arasés
DCON	: Dalle continue
DCAV	: Dalle caverneuse
DEGRO	: Débris grossiers
DFIN	: Débris fins
SAB	: plaques de sable

Stations

BE	: Platier externe récif barrière
BI	: Platier interne récif barrière
RO	: Récif d'ilot
RL	: Récif de lagon
PF	: Platier frangeant

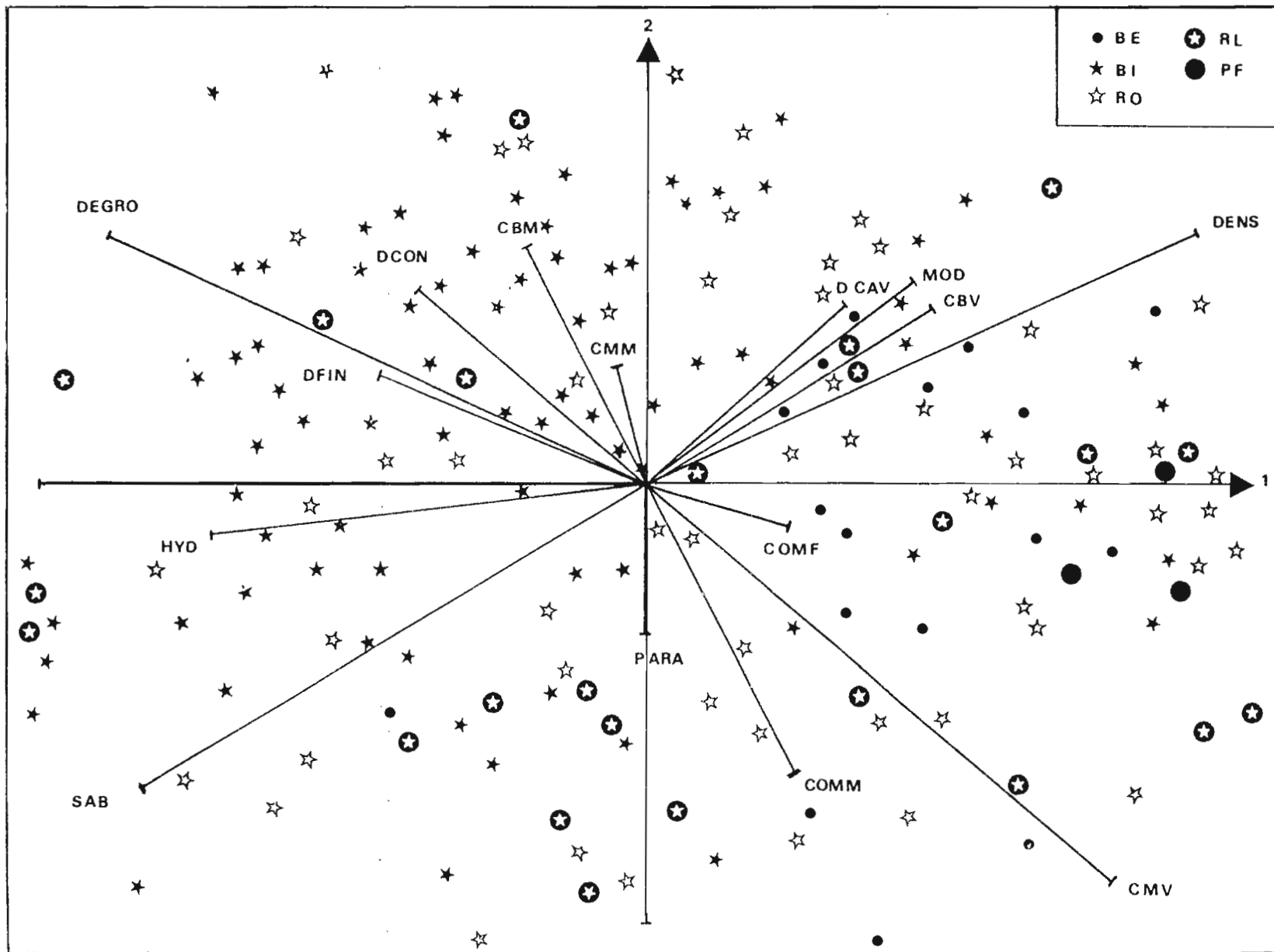


Fig. 8 - ACP. Projection des facteurs et des stations sur les composantes 1 et 2.

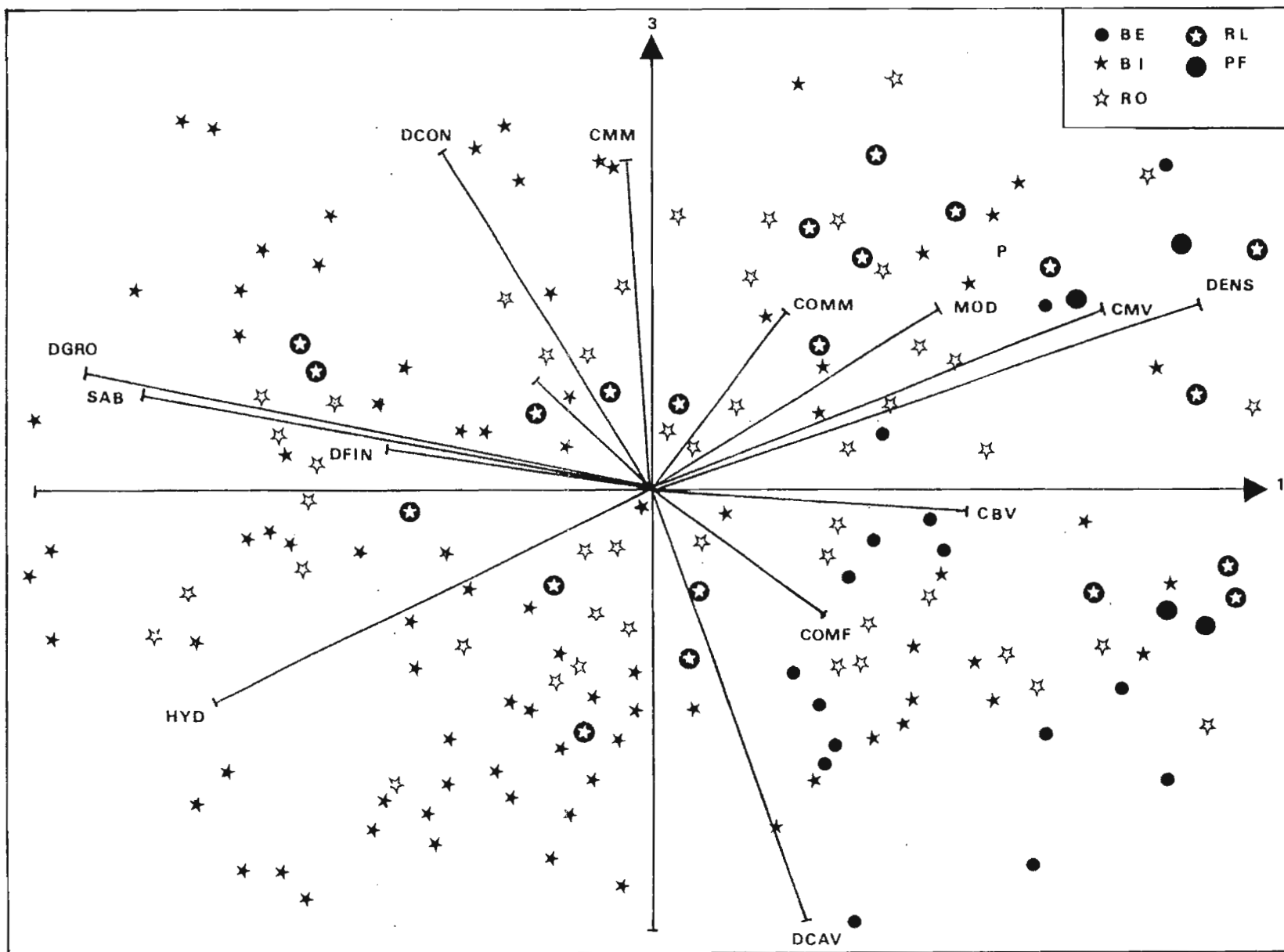


Fig. 9 - ACP. Projection des facteurs et des stations sur les composantes 1 et 3.

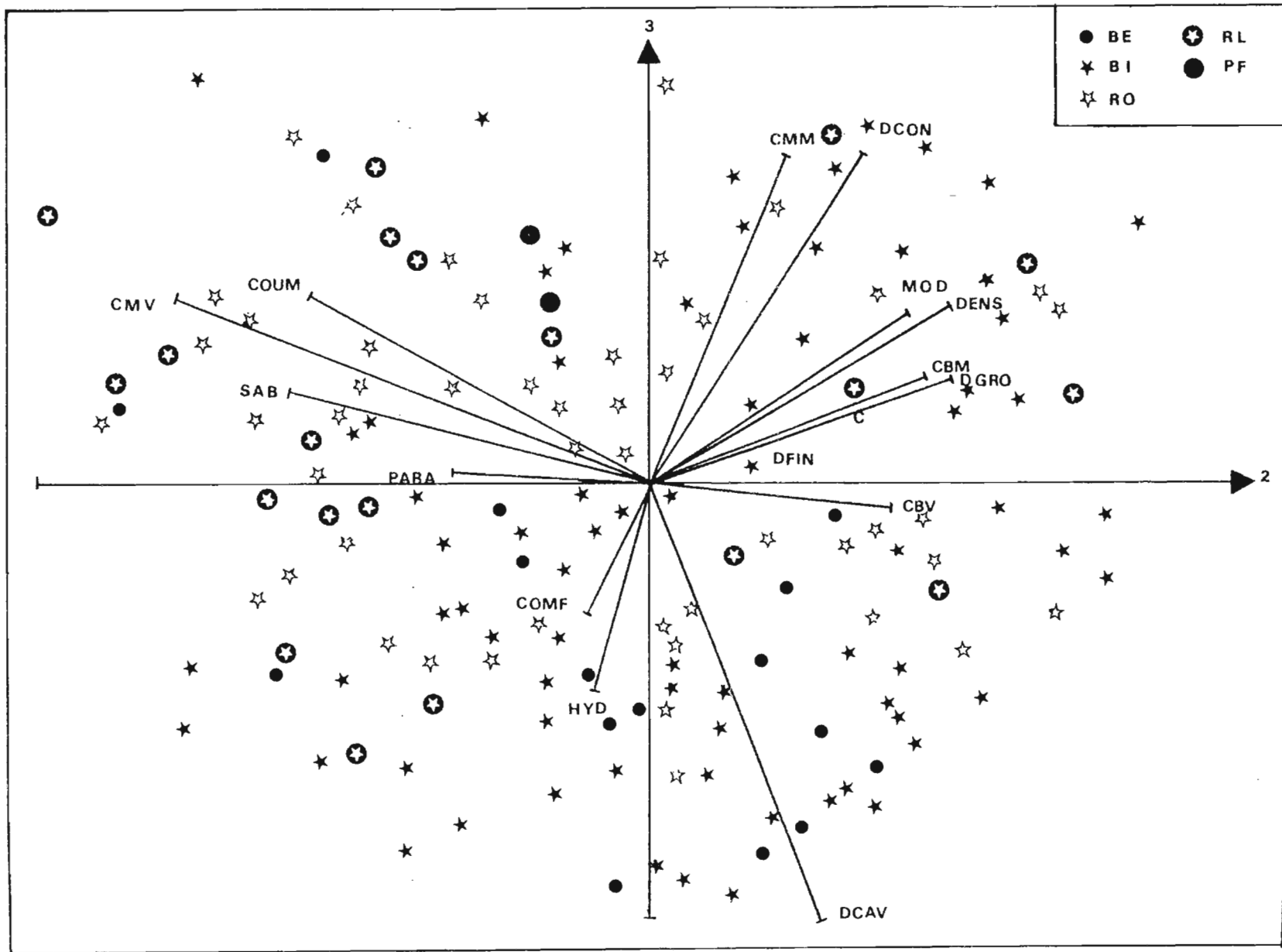


Fig. 10 - ACP. Projection des facteurs et des stations sur les composantes 2 et 3.

L'interprétation que l'on peut faire de ces résultats reflète la grande complexité du milieu corallien et la diversité, dans son substratum et sa composition faunistique, du biotope favorable aux trocas. Il peut paraître surprenant que la densité soit corrélée positivement avec la présence de coraux vivants; il s'agit en fait des bordures externes du récif barrière (BE) et des récifs frangeants où de nombreux coraux vivants poussent sur la dalle plus ou moins caverneuse qui abrite les trocas. Ces zones sont d'accès difficile, en particulier sur le récif barrière à cause des brisants, ce qui peut expliquer que l'on peut y mesurer des densités élevées de gros trocas (en effet, la Taille modale est aussi corrélée positivement, ce qui confirme la ségrégation des tailles évoquée plus haut).

L'hydrodynamisme élevé est bien en liaison avec les Débris grossiers et les Plaques de sable; il apparaît en corrélation négative avec la Densité. Ce milieu fortement agité, au substrat instable (il s'agit souvent de levées détritiques), ne convient pas aux trocas même si ces derniers peuvent résister à des courants de plusieurs noeuds.

Les récifs d'îlots sont beaucoup moins regroupés que les autres types; il est possible qu'ils puissent présenter tous les facteurs descriptifs utilisés et, par conséquent, représentent un type bâtard qu'il n'y aurait pas lieu de retenir pour une autre analyse.

CHAPITRE III

CARTOGRAPHIE DU BIOTOPE PAR TELEDETECTION

1 - Evaluation de la surface d'un biotope

1.1. - Nécessité de cartographier et d'estimer la surface d'un biotope

Une ressource exploitée comme les trocas fait généralement l'objet d'une étude quantitative visant à mieux connaître la biomasse exploitable pour établir un schéma rationnel d'exploitation.

L'estimation d'une biomasse peut s'obtenir, pour une espèce benthique, par des mesures de densités sur le terrain et le calcul de la surface favorable à cette espèce. C'est cette méthode que nous avons utilisée en 1983-1984 pour quantifier le stock de trocas calédonien (voir plus loin, 3^e partie).

La mesure de l'aire du milieu favorable doit être précédée d'une cartographie aussi précise que possible des frontières de ce milieu.

1.2. - Techniques classiques

La cartographie du biotope se fait le plus souvent à partir de photos aériennes dont l'échelle est connue. Elles sont d'un grand secours dans le cas d'un biotope récifal de Nouvelle-Calédonie car les cartes marines actuelles ne donnent pas un dessin précis des récifs du lagon.

Nous avons pu travailler sur une couverture aérienne réalisée en 1982 par l'IGN⁽¹⁾; les photos sont au 1/40.000è.

La cartographie du biotope favorable au troca exige des efforts de photo-interprétation assez fastidieux en raison, nous l'avons vu au chapitre précédent, des caractéristiques variées que présente ce biotope. La qualité même de la photo IGN, par la précision des détails, est une entrave au tracé exact des limites recherchées. Nous le verrons, l'image satellitaire apporte, entre autres, le lissage nécessaire à une bonne interprétation.

La carte étant réalisée à une échelle connue, l'estimation de la surface s'obtient facilement avec un planimètre ou éventuellement par pesée de la découpe des aires recherchées dans un matériau homogène. La planimétrie reste la méthode la plus rapide mais est peu précise pour les petites surfaces.

1.3. - Cartographie par télédétection

Depuis de nombreuses années, les satellites américains LANDSAT servent à cartographier le domaine terrestre; leurs données ont été utilisées dans le domaine corallien, dès 1975, par une équipe australienne qui travaillait sur la Grande Barrière. Les résultats n'étaient pas à la mesure de l'attente uniquement à cause de la moyenne résolution des images fournies par la famille LANDSAT.

L'arrivée en 1986 du satellite français SPOT, avec une résolution 16 fois meilleure a permis de fonder de nouveaux espoirs sur les images numériques envoyées du ciel par le satellite.

SPOT est également un satellite conçu pour étudier le domaine terrestre. Nous pouvons néanmoins utiliser ses données pour les platiers immergés des récifs coralliens car ces derniers sont

(1) IGN : Institut Géographique National.

recouverts par quelques mètres d'eau généralement très transparente. Nous pouvons dire que nous travaillons sur du "pseudo-terrestre". Si le biotope des trocas se situait au-delà d'une dizaine de mètres de profondeur, les images SPOT ne seraient pas adaptées à son étude.

2 - Les images du satellite SPOT

2.1. - Caractéristiques de SPOT

. Satellite à défilement : il observe la totalité de la planète à une altitude d'environ 800 km, avec une périodicité de 26 jours, en visée verticale. La possibilité de visée oblique peut ramener à quelques jours la périodicité d'observation d'un même point. Le satellite est héliosynchrone (toute observation aura lieu à la même heure solaire).

. La scène SPOT : les deux télescopes identiques de SPOT observent chacun une bande de terrain de 60 km de large. Ces bandes sont arbitrairement tronçonnées tous les 60 km de trace au sol. Une scène SPOT est donc l'ensemble des mesures effectuées sur une zone terrestre de 60 x 60 km. La grille SPOT, établie par SPOT Image⁽¹⁾, permet de connaître la zone géographique couverte par chaque scène.

. Les données de la scène SPOT : les capteurs du satellite mesurent les radiances de la lumière réfléchiée par le sol selon trois fenêtres étroites du spectre visible (canaux XS1 et XS2) et proche infra-rouge (canal XS3). Une mesure panchromatique (tout le visible) constitue le canal XP (tableau 10).

(1) SPOT Image : Société qui commercialise les données SPOT.

2.2. - Les images SPOT

La technologie des capteurs SPOT permet de diviser la scène, prise verticalement, en 3000 x 3000 points élémentaires, appelés pixels (contraction de picture élément), pour les canaux dits couleurs (XS1, XS2 et XS3) et 6000 x 6000 pixels pour le canal panchro (XP). (Tableau 10).

Chaque pixel sera donc affecté de quatre mesures correspondant aux quatre canaux et représentera un carré au sol :

- de 20 m de côté pour les canaux couleur
- de 10 m de côté pour le canal XP.

Cette correspondance pixel/carré de terrain détermine la résolution au sol. SPOT est dit à haute résolution car c'est actuellement la meilleure, pour ce type de satellite civil.

Le canal panchro, qui fournit des niveaux de gris, améliore d'un facteur 4 la résolution au sol, ce qui est avantageux pour certaines applications.

Une scène correspond donc, pour chaque canal, à une matrice de chiffres. Nous aurons 9 millions de valeurs pour chaque canal couleur et 36 millions pour le canal XP. Les images SPOT vont correspondre à la visualisation analogique de ces valeurs, soit sur un écran cathodique, soit sur un support photographique.

Les techniques de traitement d'images satellitaires reposent toutes sur le principe de l'analyse informatique des matrices de chiffres évoquées plus haut. Même si l'on traite une fraction de scène, la taille de ces matrices exigent des ordinateurs dont la puissance de calcul et la taille des mémoires sont très élevées.

2.3. - Simulation SPOT en Nouvelle-Calédonie

Avant le lancement du satellite SPOT, des simulations d'images ont été effectuées. Ces simulations sont réalisées selon

la filière radiométrique (Lannelongue, 1981), par acquisitions aériennes en haute altitude de données à l'aide d'un radiomètre "Daedalus". Par traitement au sol les données sont reformatées pour recréer une radiométrie équivalente à celle des canaux de SPOT.

En décembre 1983, était coordonnée par le GDTA⁽¹⁾ une campagne SPOT sur la Nouvelle-Calédonie. Cette campagne était menée avec le concours de divers organismes, SHOM⁽²⁾, IFREMER⁽³⁾, ORSTOM⁽⁴⁾, BRGM⁽⁵⁾.

La campagne de simulation a compris l'acquisition de données sur 31 axes de vols interceptant les milieux terrestres et lagunaires principalement sur la moitié sud de l'île. Le 17 décembre était acquis l'axe n° 22 à 9h.36 (basse mer, coefficient 0,6) sur le récif Tétémbia, partie du grand récif extérieur situé sur la Côte Ouest au nord de la passe de Uitoé (figure 11).

Tableau 10 : Spécifications techniques du capteur SPOT

	Mode multibande	Mode panchromatique
Bandes spectrales	XS1 0,50 - 0,59 μm XS2 0,61 - 0,69 μm XS3 0,79 - 0,89 μm	XP 0,51 - 0,73 μm
Résolution	20 x 20 m	10 x 10 m
Nb. de pixels/ligne	3000	6000
Longueur d'une ligne	60 km	60 km

-
- (1) GDTA : Groupement pour le Développement de la Télédétection Aérospatiale.
(2) SHOM : Service Hydrographique et Océanographique de la Marine.
(3) IFREMER : Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer.
(4) ORSTOM : Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération.
(5) BRGM : Bureau des Recherches Géologiques et Minières.

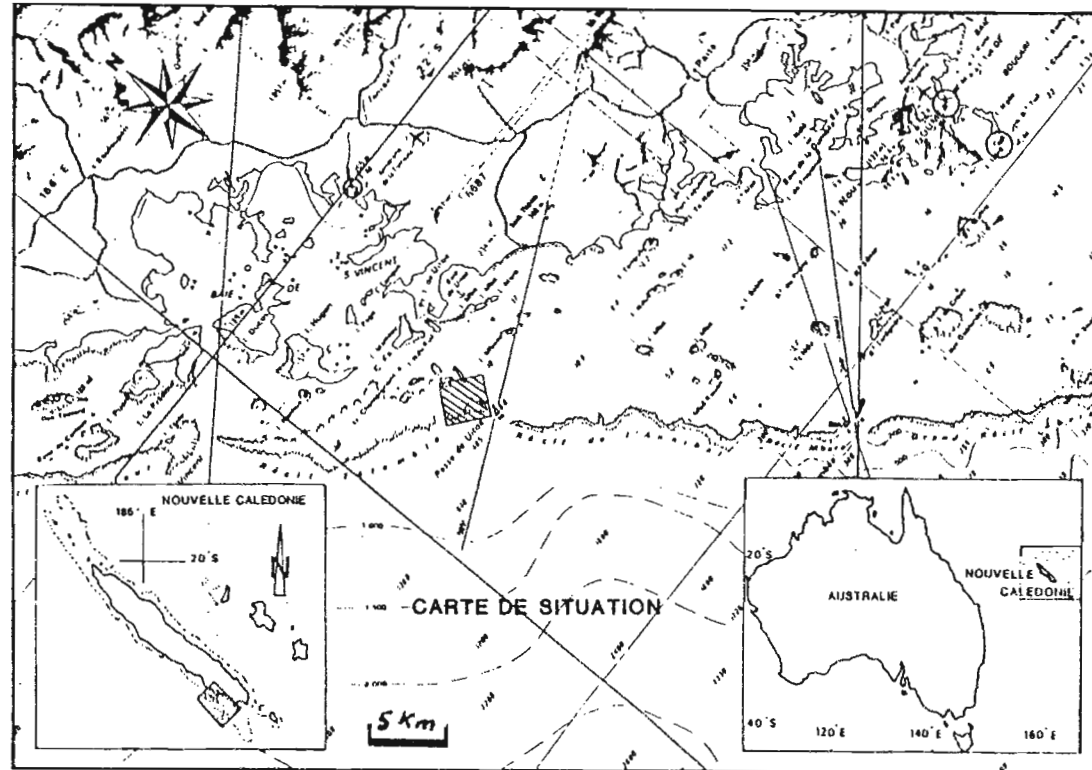


Fig. 11 - Carte de situation.

3 - Traitement de l'image simulée SPOT du récif Tétémbia

3.1. - Principe du traitement d'image

Le type de cartographie qui nous préoccupe est dit "thématique" puisqu'il faut séparer des milieux homogènes, ou considérés comme tels, les uns des autres; chaque milieu identifié est un thème qui correspond souvent à des associations faunistiques et floristiques spécifiques d'un milieu écologique.

Le principe général du traitement thématique est de réaliser une classification des pixels de la scène, afin de réduire la masse de données originelles et d'aboutir à un document cartographique exploitable. La classification se fonde sur trois notions:

- le choix d'affectation d'un élément à une classe donnée,
- la similarité entre les éléments d'une même classe,
- la séparabilité interclasse.

Les outils mathématiques utilisés pour résoudre ces problèmes sont ceux des méthodes statistiques classiques avec l'avantage de pouvoir visualiser en fin de calcul le résultat sur l'image.

Les milieux naturels et les objets visibles par le satellite donnent des réponses sélectives sur les trois canaux couleur; l'art de la classification sera de définir sur chaque canal des boîtes dans lesquelles seront mis les pixels considérés comme appartenant aux thèmes recherchés. Pour atteindre ce but, on travaille d'abord sur une fraction de l'image dont on connaît les caractéristiques géographiques et topographiques (par des études sur le terrain et/ou par des photos aériennes). On demande à l'ordinateur de ventiler tous les pixels de cette petite zone sur un histogramme croisé dont les axes sont, par exemple les deux premiers canaux. Le tri des pixels, donc le cloisonnement du nuage de points de l'histogramme en ensembles thématiques, sera obtenu par

des méthodes statistiques classiques (par exemple, la méthode du maximum de vraisemblance). On parle de classification supervisée car se sont toutes les connaissances que possède le manipulateur de son terrain qui vont le guider vers un tri correct des pixels dans des boîtes dont les limites (en niveaux radiométriques) donnent ce que l'on appelle les signatures spectrales des thèmes.

Le résultat visuel de cette classification sera une carte simplifiée de la petite zone d'étude (appelée parcelle d'entraînement) où une couleur unique et parfaitement arbitraire aura été affectée à tous les pixels d'un thème. Cette première carte thématique se présentera sous la forme d'une mosaïque colorée identifiant les thèmes recherchés.

Cette première étape doit, dans la mesure du possible, être suivie de contrôles sur le terrain (vérité-terrain) pour retoucher éventuellement la classification. Lorsque l'on estime satisfaisant l'accord entre la réalité et la carte de la parcelle d'entraînement il est possible de généraliser la classification retenue à l'ensemble des pixels de la scène SPOT. La carte thématique de toute la scène concerne alors plusieurs milliers de km²; là encore des contrôles de terrain sont nécessaires avant d'obtenir la carte thématique définitive.

3.2. - Application au récif Tétémbia

L'image SPOT simulée du récif Tétémbia a été traitée au laboratoire de télédétection de l'IFREMER, Centre de Brest, en 1984. Le système de traitement d'image était composé d'un ordinateur spécialisé COMTAL, relié à un ordinateur classique HP 1000. Le logiciel GIPSY a été mis au point par le laboratoire informatique de l'IFREMER.

La puissance du traitement interactif de l'image réside dans la possibilité de remplacer les canaux par des combinaisons

mathématiques de ces derniers. Les pixels seront alors triés selon leur coordonnées sur ces nouveaux pseudo-canaux.

Une retombée fort utile du traitement thématique est le dénombrement par l'ordinateur des pixels d'un thème donné; le pixel correspondant à une surface au sol connue (400 m^2 pour les canaux couleur en visée verticale de SPOT), il est donc aisé de calculer la surface occupée par un thème sur la scène SPOT.

En raison de la corrélation relativement importante des deux canaux XS1 et XS2 ($r = 0,6$, 250 000 pixels) une analyse en composantes principales voit l'axe principal n° 1 emporter 90 % de la variance totale ce qui n'est pas favorable à une classification thématique. Mais la structure en "boomerang" de l'histogramme bidimensionnel construit à partir des canaux XS1 et XS2 (figure 12) montre qu'une représentation en coordonnées polaires dans le plan de l'histogramme permet de mieux répartir l'information que la représentation en coordonnées cartésiennes (XS1, XS2). En effet :

- la distance à l'origine est directement liée à la bathymétrie en raison de l'absorption du rayonnement lumineux avec l'épaisseur d'eau traversée,

- l'angle polaire permet de différencier les deux grands types de milieux : les fonds durs de couleur brune, proches du canal rouge (XS2) et les fonds meubles de couleur bleu-vert, proches du canal vert (XS1).

On crée donc deux néo-canaux, en combinant les deux images d'origine :

$$\sqrt{(XS1)^2 + (XS2)^2} = \text{Néo-canal 1}$$

$$\text{arctg}(XS2/XS1) = \text{Néo-canal 2}$$

Le calcul de la corrélation entre les deux images obtenues n'est plus que $r = 0,2$. Une analyse en composantes principales

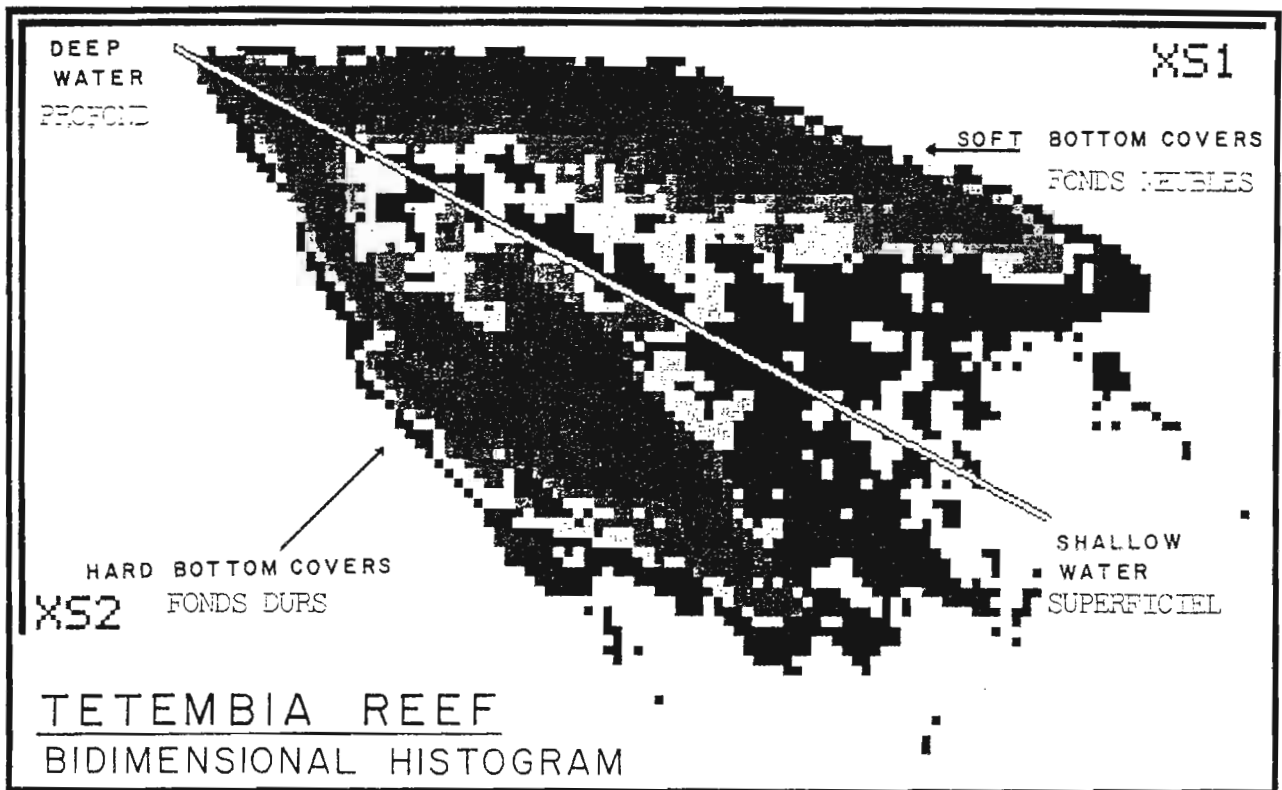


Fig. 12 - Analyse de l'histogramme sur les canaux XS1 et XS2.

réalisée sur les deux néo-canaux fournit 60 % de la variance totale sur l'axe principal numéro 1 et 40 % sur le second.

En raison de la décorrélation obtenue il est possible, par seuillages simples des valeurs sur les deux néo-canaux de définir cinq classes de pixels et de calculer la surface de ces classes conformément à la figure 13. Par la suite on isole les pixels de la classe reconnue comme "platier corallien" correspondant à la zone faiblement immergée (0-2 m) que l'on classe après analyse en composantes principales. On identifie alors cinq nouvelles classes et leurs surfaces respectives (figure 14).

La classification supervisée peut ne retenir que les thèmes présentant un intérêt pour l'étude. Par exemple, on créera ce que l'on appelle un masque sur la mer profonde ou sur la terre émergée pour ne conserver que les pixels relatifs à un platier récifal immergé. Ce masque se fait très facilement en seuillant les canaux et en mettant en noir tous les pixels situés en deçà et au-delà des seuils. On obtient un "détourage" informatique des zones à cartographier.

Les limites du traitement thématique des images SPOT sont liées à la résolution au sol. Il est illusoire de vouloir séparer des objets au sol dont la surface est inférieure à celle d'un pixel. L'effet de contraste apporte néanmoins un correctif à cette limite : une route, par exemple, fait rarement 10 m de large et pourtant elle s'observe très bien sur une image SPOT; le contraste entre la route et le paysage va influencer une série de pixels qui vont redessiner la route, à une échelle exagérée en largeur, bien entendu. La superposition de l'image panchro (canal XP) à une carte thématique permet bien souvent d'apporter beaucoup de finesse et de piqué à cette carte.

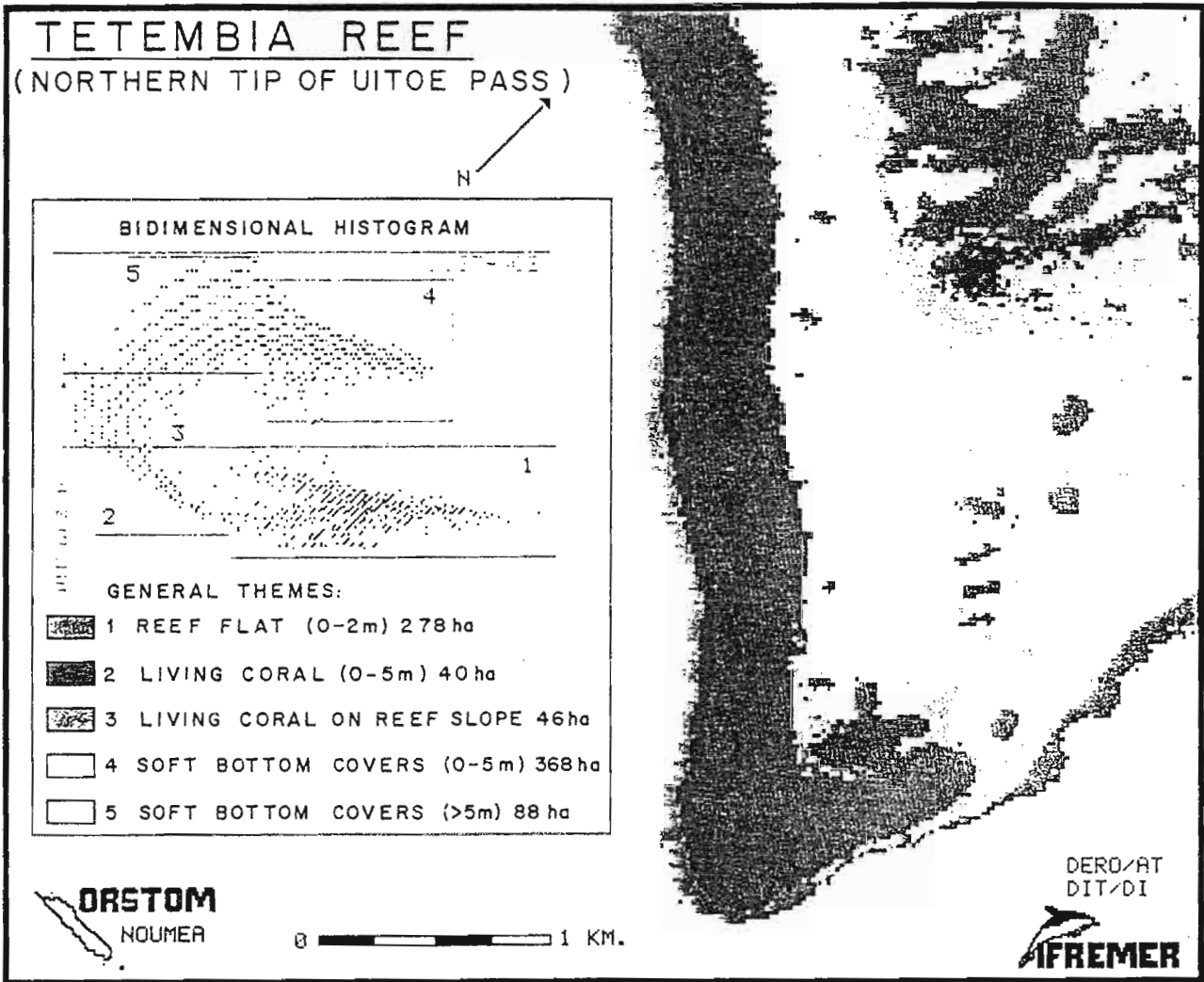


Fig. 13 - Récif Tétembia. Thèmes généraux.

- 1 : Platier corallien
- 2 : Coraux vivants
- 3 : Coraux vivants de pente
- 4 : Fonds meubles (0 - 5 m)
- 5 : Fonds meubles (> 5 m).

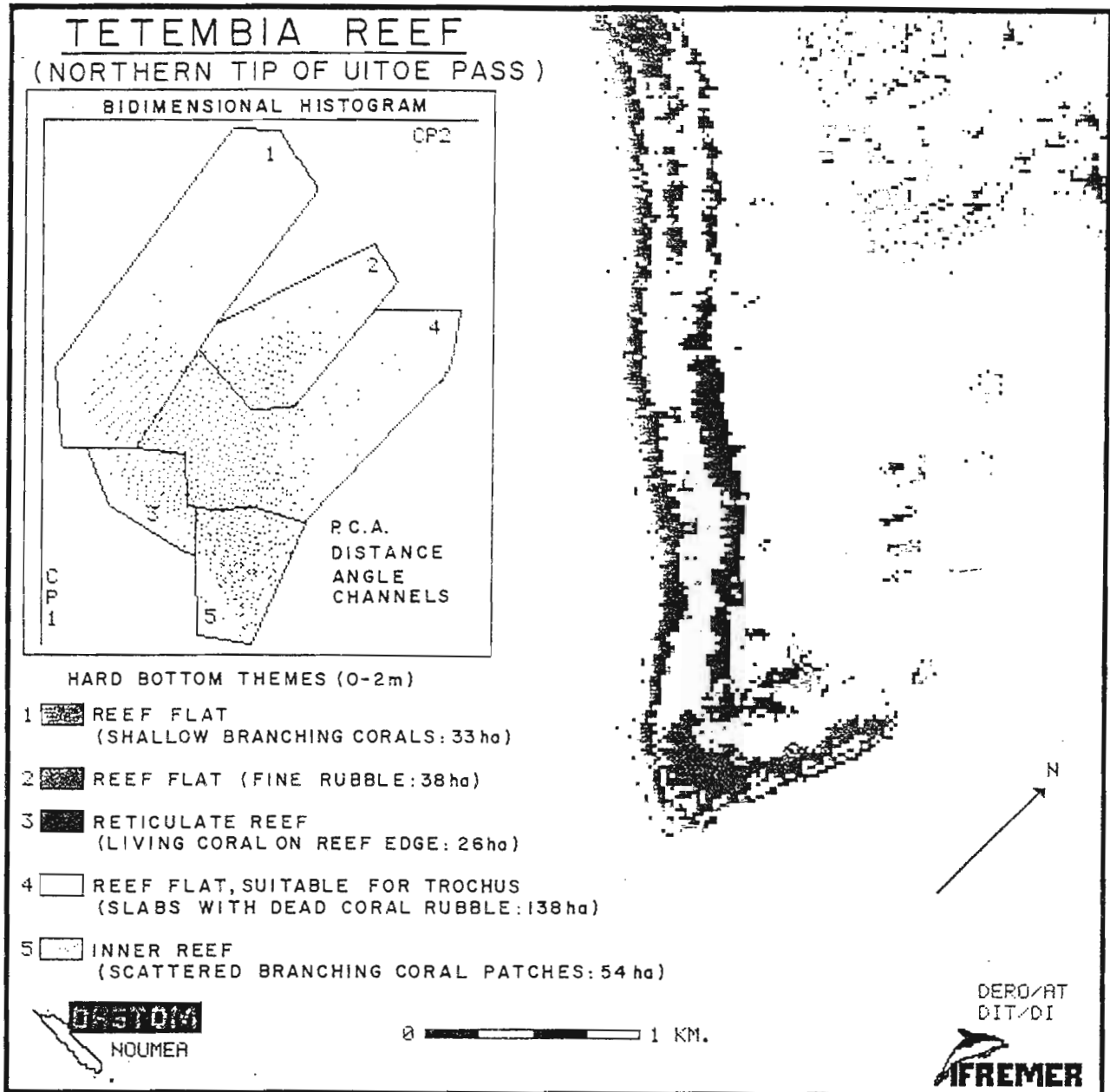


Fig. 14 - Récif Tétémbia. Thèmes fonds durs (0 - 2 m)

- 1 : Platier corallien. (Coraux branchus peu profonds)
- 2 : Platier corallien. (Débris fins)
- 3 : Platier réticulé. (Coraux vivants de bordure)
- 4 : Platier favorable aux trocas. (Dalles recouvertes de débris coralliens)
- 5 : Pente interne. (Coraux branchus en taches).

4 - Cartes thématiques du récif Tétémbia

Les deux cartes thématiques obtenues ont fait l'objet de contrôles sur le terrain. Ils ont permis en particulier de modifier la légende des thèmes qui avait été établie provisoirement au Centre de Brest.

4.1. - Thèmes généraux (Fig. 13)

4.1.1. - Analyse des thèmes

Une première carte, issue du traitement des histogrammes bidimensionnels, a été réalisée sans connaissance détaillée préalable du récif Tétémbia. On peut donc admettre qu'une certaine objectivité a présidé à l'élaboration de cette carte.

Les vérifications sur le terrain suscitent les observations suivantes :

. le traitement a séparé de façon satisfaisante les "thèmes" fonds meubles et fonds durs.

. les fonds durs, peu immergés (0-2 m) (thème 1), ont effectivement une structure semblable sur le platier externe et sur le platier réticulé interne : dalles massives plus ou moins recouvertes de débris et parsemées de taches de coraux branchus (*Acropora*) plus denses vers la périphérie.

. les coraux vivants ont aussi été bien identifiés (thèmes 2 et 3). Ils constituent la partie supérieure de la zone à éperons sillons de la pente externe mais également la base du platier réticulé. L'observation de la photo aérienne de l'IGN en noir et blanc montre bien que cette partie sud du récif Tétémbia constitue un vaste chenal de circulation de l'eau du lagon au cours des marées. Cette circulation a détruit l'extrémité du platier réticulé

dont il ne reste que quelques gros pâtés témoins. Il est compréhensible que le mouvement important de l'eau dans cette zone favorise la croissance des coraux à l'extrémité du platier réticulé et autour des pâtés témoins.

. les fonds meubles ont été séparés en deux thèmes (4 et 5). L'examen de la photo IGN montre l'influence de la bathymétrie sur cette division, leurs natures étant semblables. Ils sont constitués de sable très blanc, sans herbier, plus ou moins criblés de taches d'*Acropora*. L'hydrodynamisme a surcreusé le sédiment entre les deux plus gros pâtés coralliens. Ce petit chenal a été correctement identifié par le traitement.

4.1.2. - Evaluation des surfaces

Le traitement informatique de l'image fournit le nombre de pixels constituant chaque thème. Connaissant la surface au sol d'un pixel, il est aisé de connaître la surface occupée par chacun des thèmes. Les résultats radiométriques ont été comparés aux surfaces mesurées par planimétrie sur la photo IGN dont l'échelle est connue : la fluctuation est respectivement de 16 % pour le platier corallien (thème 1) et 15 % pour les fonds meubles (thèmes 4 et 5). Dans les deux cas l'image SPOT donne une surface plus grande. Il est difficile de dire quelle méthode est plus proche de la vérité car chacune est entâchée d'imprécisions :

- l'image SPOT n'est pas corrigée géométriquement,
- la limite radiométrique du thème est difficile à projeter sur la photo IGN (aspect synthétique de l'image traitée),
- les multiples détails de la photo IGN empêchent le tracé précis du platier (aspect complexe et diversifié de la réalité),
- imprécision de la planimétrie pour des surfaces réduites mesurées sur la photo IGN.

4.2. - Thèmes fonds durs (Fig. 14)

4.2.1. - Analyse des thèmes

Le thème général "fonds durs" a pu être subdivisé en cinq thèmes bionomiques qui, confrontés à la vérité-terrain, appellent les remarques suivantes :

. La bordure externe du récif barrière (thème 1), correspond à un platier de madréporaires branchus de petites tailles mais de haute densité (bourrelets) et très faiblement immergés à marée basse, donc apportant une réponse élevée dans le canal rouge.

. Les coraux vivants sont également représentés par les thèmes 3 et 5. Le premier correspond aux parties restées vivantes en bordure du platier réticulé. Le second identifie bien le platier interne composé de pâtés dispersés de coraux branchus (*Acropora*). La bathymétrie ne semble pas en cause pour la distinction de ces deux zones mais plutôt la densité des pâtés coralliens.

. Le platier récifal (thèmes 2 et 4) a la structure classique de dalles plus ou moins cavernueuses recouvertes de débris grossiers de coraux branchus. Le thème 2 correspond à la partie la moins immergée de ce platier; sa forte réflectance est encore augmentée par la présence de débris fins et de sable blanc. Le thème 4 est le biotope favorable au développement des trocas.

4.2.2. - Evaluation des surfaces

Elles sont présentées dans le tableau 11.

Tableau 11 : Surfaces obtenues sur l'image SPOT et sur la photo IGN.

<u>Surfaces obtenues</u>		
<u>Planimétrie sur photo IGN</u>		<u>Images SPOT</u>
Thème 1	: 26 ha	33 ha
Thème 2	: 16 ha	30 ha
Thème 3	: 5 ha	26 ha
Thème 4	: 124 ha	130 ha
Thème 5	: 43 ha	54 ha

La concordance est bonne pour les grandes surfaces homogènes (thèmes 1, 4 et 5) et mauvaise pour les petites surfaces dispersées (thèmes 2 et 3). (La planimétrie est imprécise pour ces petites surfaces).

4.3. - Bilan des résultats

Ces premiers traitements, obtenus à partir de données simulées SPOT sur le domaine récifal peu immergé, sont encourageants. En effet :

- le biotope recherché (favorable aux trocas) a été correctement identifié.

- les traitements ont permis une bonne discrimination des différents milieux en lissant modérément les détails de composition faunistique, démontrant ainsi tout l'intérêt des données satellite haute résolution.

- les surfaces des différents biotopes sont ainsi connues avec une précision raisonnable et suffisante pour notre problème.

- le milieu récifal, immergé sous quelques mètres d'eau, présente l'avantage, par rapport aux milieux terrestre, d'avoir une plus faible corrélation entre XS1 et XS2 du fait même de la couche d'eau qui sert de filtre au canal rouge (XS2); par ailleurs les coraux vivants donnent une signature élevée dans ce canal. Ces raisons, parmi d'autres, expliquent les bons résultats obtenus avec seulement deux canaux.

SECONDE PARTIE

LA BIOLOGIE

CHAPITRE I

ANATOMIE, BIOMETRIE

1 - Description morphologique et anatomique

1.1. - La coquille

Trochus niloticus possède une coquille conique, turbinée, dextre; elle est régulièrement conique chez les jeunes puis s'évase en formant une sorte de carène chez les adultes. La columelle est tordue, avec un profond sillon spiralé; il n'y a pas d'ombilic. La coquille mise à nue présente des taches rouges vermillon et vert sombre sur fond blanchâtre ou rose pâle. L'ouverture est oblique avec bords régulièrement amincis et fragiles. Les stries d'accroissement sont très fines; sur la face aplatie, perpendiculairement à l'axe, on observe de faibles sillons réguliers concentriques. L'opercule est corné, circulaire, multispéré, de couleur ambrée foncée (Risbec, 1930).

2.2. - L'animal (figures 15 et 16)

Il rampe sur un pied très large qui lui permet d'adhérer fortement au substrat pour résister à l'assaut de la houle. Il est de couleur verdâtre sur le dessus. La tête comporte un mufle court surmonté de replis en deux lobes constituant des palmettes céphaliques. A droite et à gauche des palmettes se trouvent les tentacules. Ces derniers sont courts avec une portion élargie jusqu'à l'oeil et une portion effilée strictement tentaculaire. La région céphalique est encadrée par les replis épipodiaux. Le mufle, les épipodes, les tentacules et tout le dessus de la cavité céphalique sont recouverts par un pigment marron brunâtre.

Derrière la tête et le pied, se trouve la masse viscérale terminée en tortillon et dont le manteau secrète la coquille. La cavité palléale s'étend très en arrière jusqu'à la région péricardique.

Légende commune aux figures 15 et 16

A	: anus
AI	: anse intestinale
AIM	: anse intestinale montante
AID	: anse intestinale descendante
A GO ♂	: aspect gonade ♂
BR	: branchie
C	: cartilage
C.G	: cavité glandulaire
C.P	: cavité péricardique
C.S	: caecum spiral
E	: estomac
G	: glande hypobranchiale
G.D	: glande digestive
GO	: gonade
G.P	: glande péricardique
M	: manteau
M.C	: muscle columellaire
O	: oesophage
O.G	: orifice génital
OO	: oocytes
OP	: opercule
O.R	: orifice du rein gauche
P	: pied
R	: rectum
R.C	: région céphalique
R.D	: rein droit
R.D.G	: rein droit glandulaire (vert)
R.G	: rein gauche
RA	: radula
R.O	: replis oesophagiens
R.S	: sac radulaire
V	: ventricule

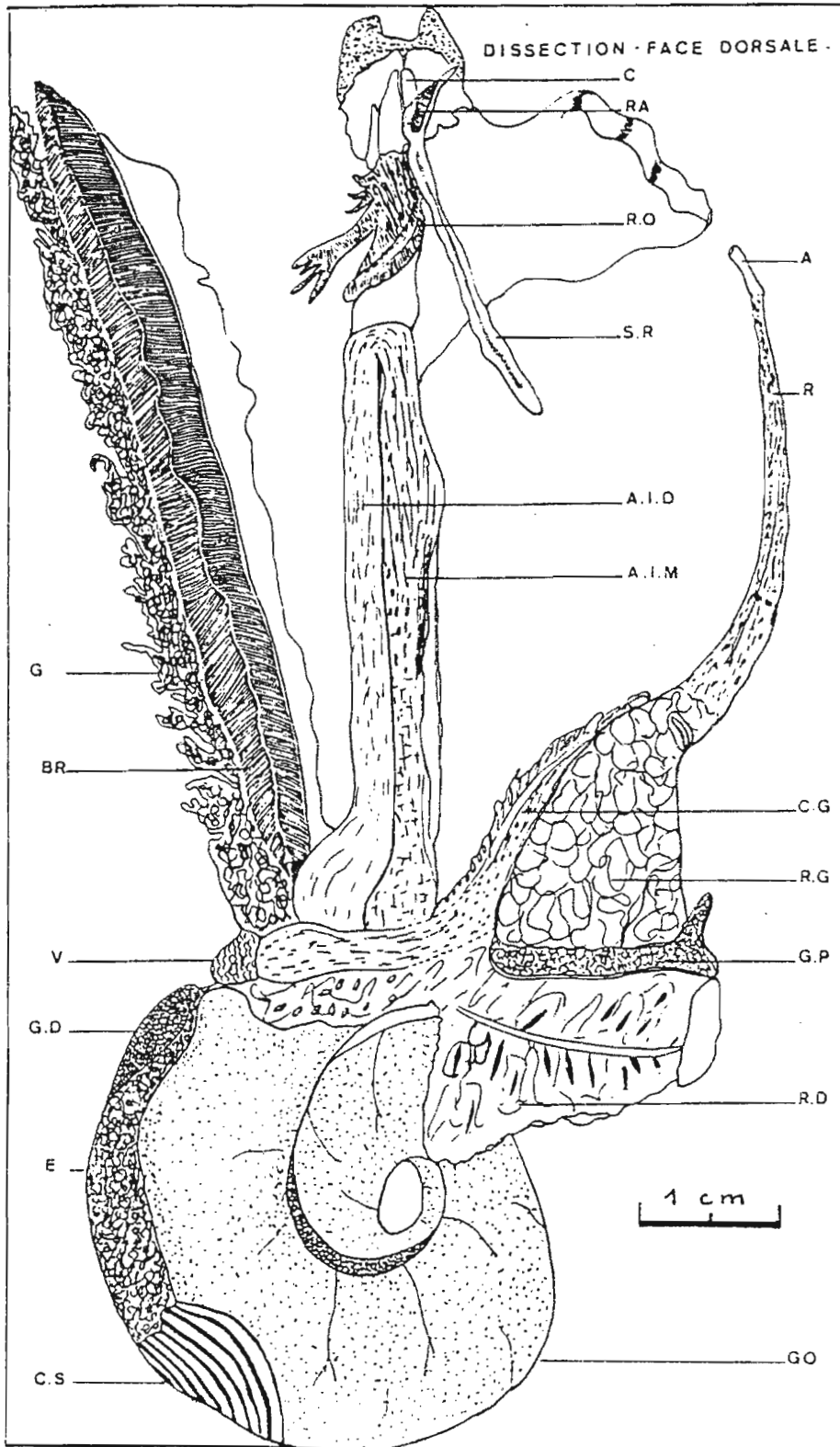


Figure 15 : Anatomie du troca.

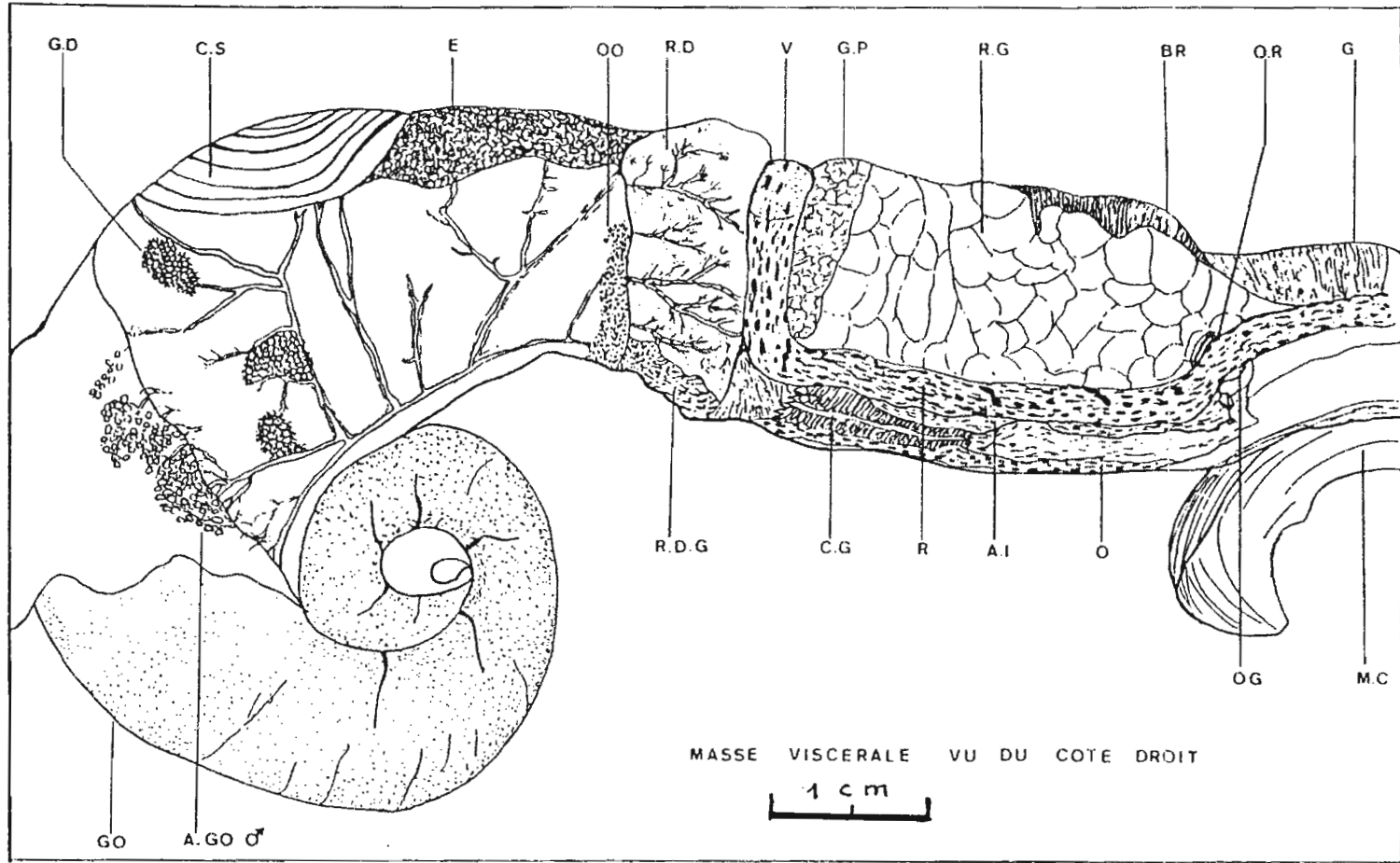


Figure 16 : Anatomie du tortillon.

2.2.1. - L'appareil respiratoire

La branchie est très longue (figure 15) et bipectinée, avec une extrémité libre (Aspidobranche). En association avec la branchie, on constate la présence d'une glande muqueuse ou hypo-branchiale de coloration blanchâtre dont le rôle est l'élaboration d'un mucus agglomérant les particules en suspension et les déchets pour en faciliter l'évacuation (Drollet, 1978).

2.2.2. - L'appareil circulatoire

Le sang est oxygéné au niveau de la branchie grâce aux hémocyanines contenues dans l'hémolymphe. Les oreillettes le transmettent au ventricule qui le propulse dans des artères se ramifiant dans le mésenchyme. Deux grosses artères sortent du ventricule, une pour la région antérieure, une autre pour le tortillon (aorte viscérale). L'appareil circulatoire n'est donc pas clos; le sang, après avoir circulé dans les lacunes est ramené par un tronc veineux à la branchie. Le ventricule est traversé de part en part par le rectum.

2.2.3. - L'appareil digestif

L'oesophage présente de nombreux replis en sa partie antérieure; il est recouvert partiellement par l'anse intestinale. L'estomac, de couleur brune, est suivi d'un coecum spiral. Le rectum est étroitement associé au rein gauche et l'anus est situé très haut dans la cavité palléale, à l'extrémité d'un tube libre. La glande digestive située dans le tortillon est de couleur brun foncé.

2.2.4. - L'appareil excréteur

Le rein droit, de couleur jaunâtre, comporte à sa surface

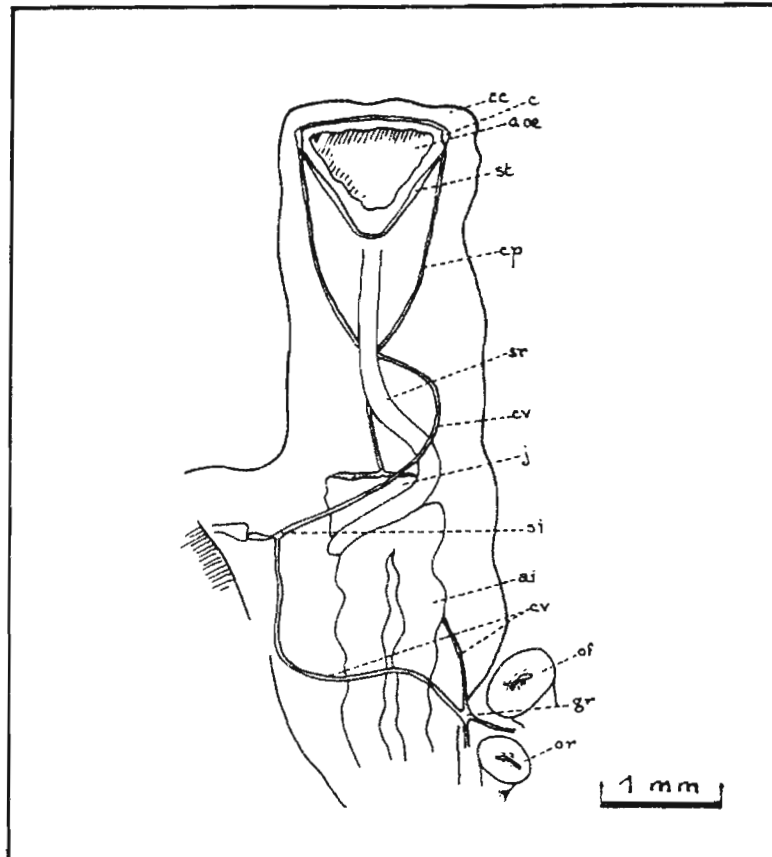
une riche vascularisation. Il possède une vaste poche ventrale et une partie spongieuse verdâtre à rôle excréteur. Au sommet de la cavité péricardique, on distingue une glande péricardique claire surmontée du rein gauche de coloration brun-rouge. Ce dernier possède un orifice excréteur en forme de boutonnière s'ouvrant à gauche du rectum.

2.2.5. - Le système nerveux

Il est très peu développé par rapport à la taille de l'espèce (figure 17); les nerfs et les ganglions sont de taille réduite. La commissure cérébroïde est longue et mince. Des cérébroïdes partent : en avant, les nerfs de la bouche; latéralement, le nerf optique; ventralement, la commissure labiale. La commissure stomato-gastrique partant des cérébroïdes entoure étroitement l'oesophage jusqu'à son débouché au-dessus du bulbe. Il n'y a pas de ganglions buccaux distincts mais deux renflements fusiformes s'étendent sur presque toute la longueur des connectifs. Les connectifs cérébro-pédieux et cérébro-palléaux sont très allongés. Ils forment un triangle isocèle avec la commissure cérébroïde. Le ganglion supra-intestinal est peu renflé; il émet un nerf (osphradial) qui se rend au frein de la partie libre de la branchie (Risbec, 1930).

2.2.6. - L'appareil reproducteur (figures 18 et 19)

La gonade recouvre la glande digestive (hépatopancréas) et une partie de l'estomac; elle s'étend jusqu'à l'extrémité du tortillon dont elle recouvre la face externe. Elle est de couleur verte chez la femelle (coloration des ovocytes) et blanchâtre chez le mâle. Les ovocytes accumulés en arrière du rein droit glissent dans la partie inférieure de la cavité rénale dont la paroi est recouverte de glandules vert clair. L'ensemble de la cavité glandulaire s'amincit et s'accole fortement au rectum. Les gamètes



Légende de la figure 17

cc : commissure cérébrofide, c : ganglion cérébrofide,
o.oe : orifice oesophagien, st : commissure stoma-
togastrique, cp : connectifs cérébro-palléal et cé-
rébropédieux, sr : emplacement du sac radulaire,
cv : commissure viscérale, j : jabot sectionné,
si : ganglion supra-intestinal, ai : anse intesti-
nale, gv : ganglion viscéral, of : orifice femelle,
or : orifice rénal.

Figure 17 : Système nerveux (d'après Risbec, 1930)

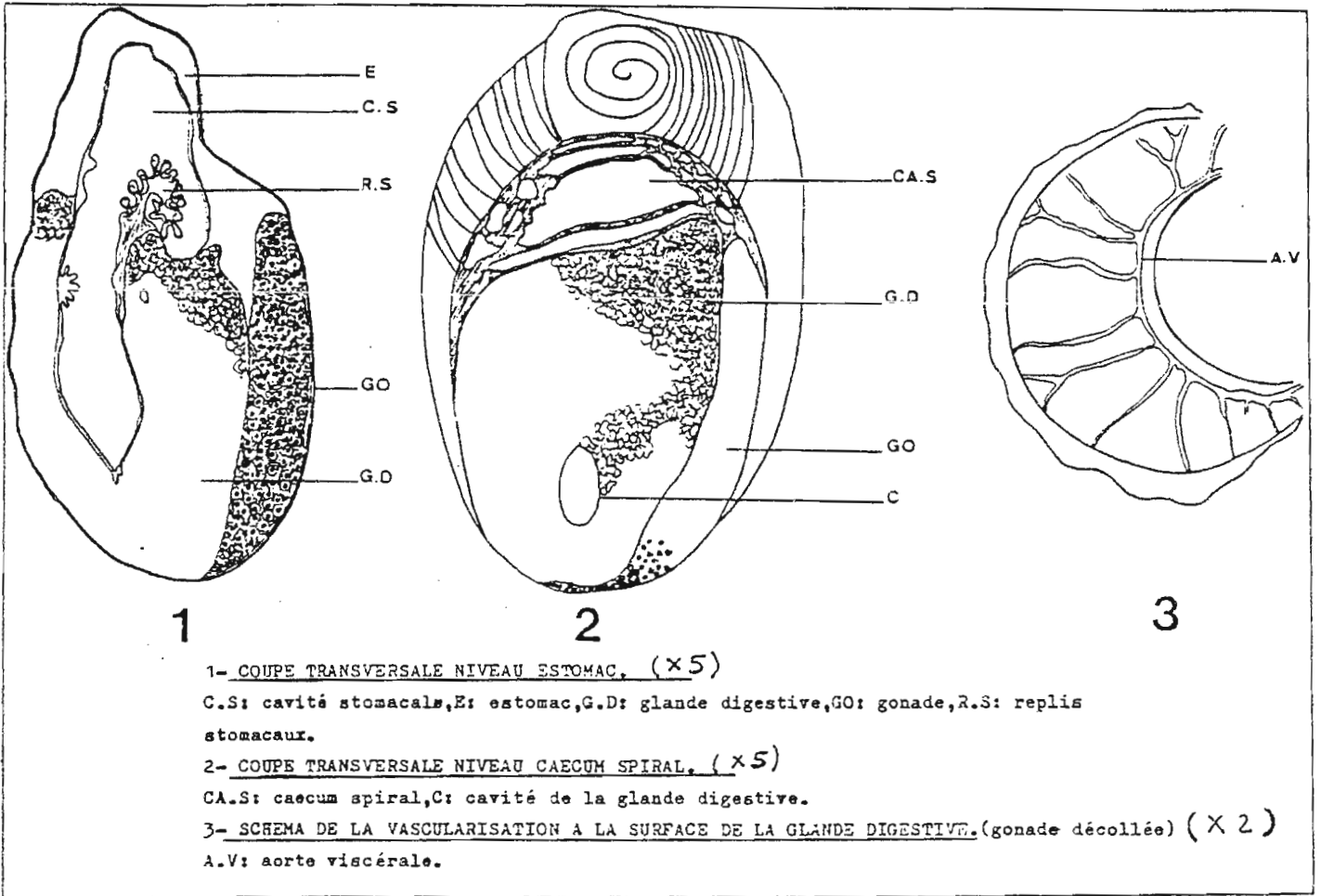


Figure 18 : Coupes transversales du tortillon.

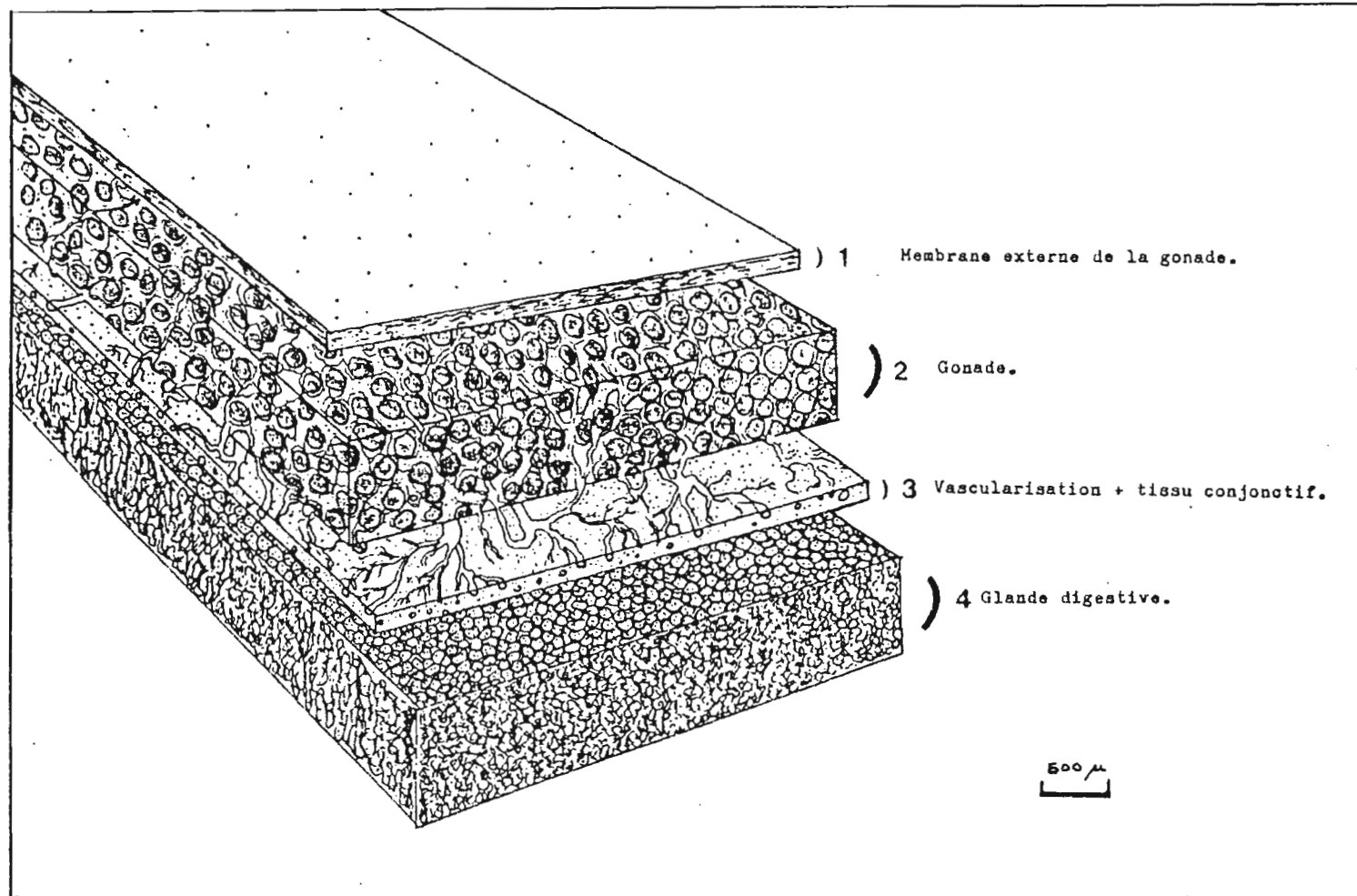


Figure 19 : Coupe schématique du tortillon au niveau de la gonade.

arrivent à l'orifice de ponte en passant par une zone terminale dépourvue de glandules. Les gamètes matures sont collectés dans la gonade au niveau de la partie accolée à la columelle puis évacués par le conduit rénal droit.

2 - Biométrie

2.1. - Relations morphométriques

Des relations classiques ont été calculées pour le troca néo-calédonien. Ces relations permettent d'estimer la taille ou le poids de différentes parties de l'espèce à partir d'une mesure commode à obtenir; ici le diamètre basal. Elles faciliteront également l'établissement des modèles statistiques utilisés dans la troisième partie pour l'analyse de l'exploitation des trocas.

La coquille est, nous l'avons vu, le produit commercial majeur, la chair restant un sous-produit d'intérêt commercial très mineur. Par conséquent, le traditionnel coefficient de condition, utilisé pour la partie comestible des fruits de mer, n'a pas été étudié.

Le tableau 12 présente les principales relations morphométriques calculées sous forme de régressions. On distinguera :

- la régression linéaire entre le diamètre et la hauteur de la coquille

- les régressions linéarisées (par la transformation Log de la variable dépendante) du poids, en fonction du diamètre, suivant différentes expressions.

Tableau 12 : Paramètres des relations biométriques établies pour les trocas de Nouvelle Calédonie

Variables Y	X	Sexe	Effectif	Coeff. correl.	Pente	Ordonnée origine	Erreur stand.Pente
Hc	D	M	64	0,90	0,61	22,7	0,036
Hc	D	F	64	0,92	0,59	24,7	0,030
Log Pt	D	M+F	96	0,97	2,82	-7,43	0,084
Log Pc	D	M+F	100	0,97	3,09	-8,62	0,074
Log Pa	D	M+F	100	0,92	2,24	-6,33	0,095

D : Diamètre de la coquille

Hc : Hauteur de la coquille

Pt : Poids total

Pc : Poids de la coquille

Pa : Poids de la chair

La distinction des sexes pour la relation Diamètre/Hauteur a été faite dans le but de rechercher une éventuelle allométrie entre eux. Le résultat n'est pas significatif (t, 0,01); la hauteur de la coquille ne permet donc pas de séparer les sexes.

La relation Diamètre/Poids total est importante pour nos travaux; elle s'exprime par :

$$Pt = 5,93.10^{-4} D^{2,82}$$

Le coefficient d'allométrie 2,82 est significativement différent de 3 (test t, 0,05). La relation entre ces deux variables ne peut être considérée comme isométrique.

La figure 20 montre la courbe moyenne théorique de la relation taille/poids total pour l'intervalle 5,4 - 11,4 cm du diamètre. L'intervalle de confiance de la courbe est représenté. Les tableaux de correspondance taille/poids total et réciproque sont donnés au tableau 19 (voir chap. croissance).

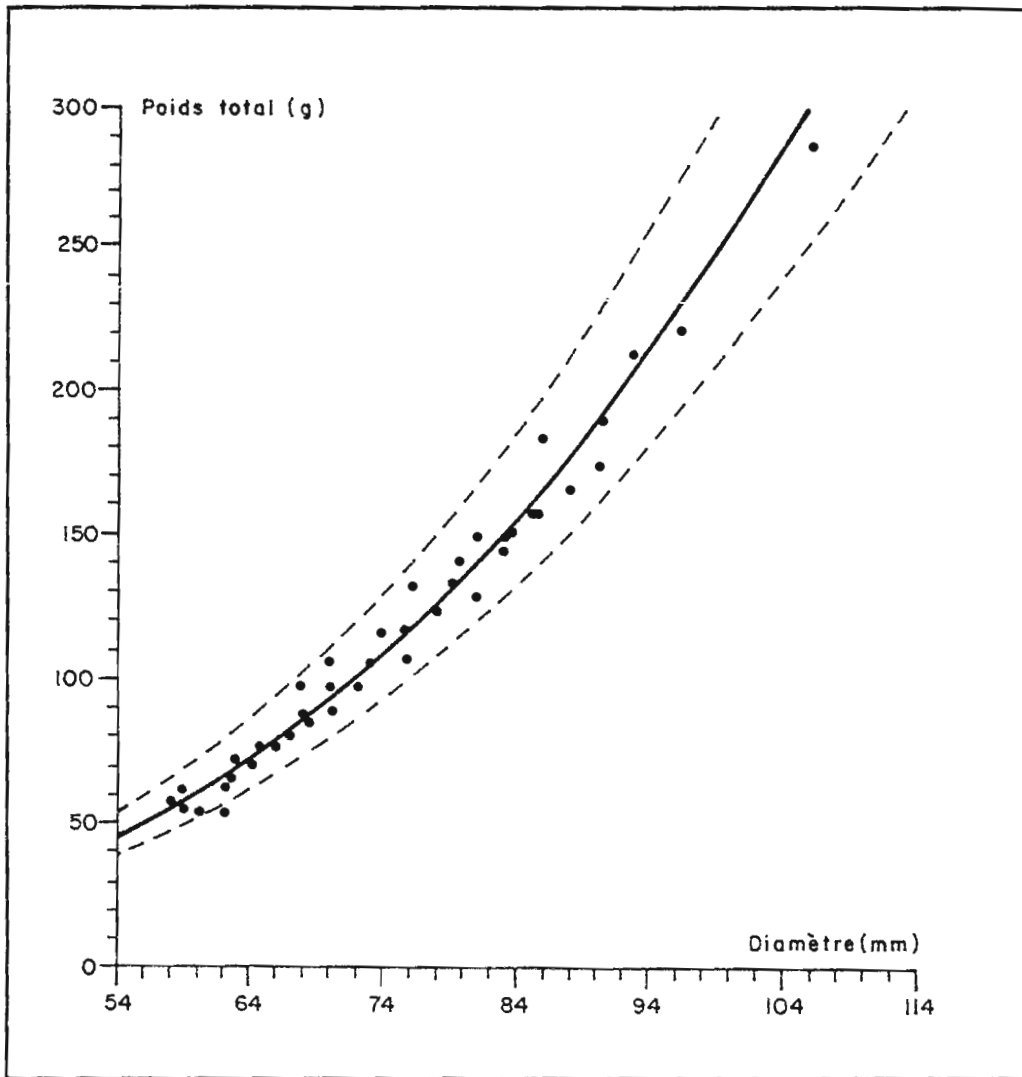


Fig. 20 - Courbe moyenne taille/poids total.

2.2. - Formation de la carène

Les jeunes trocas de Nouvelle Calédonie présentent une coquille de forme conique régulière, l'angle au sommet restant fixe au cours de l'enroulement des spires. Puis, à partir d'une certaine taille, on observe un épaississement du bord externe de la dernière spire provoquant un bourrelet de nacre appelé carène. Afin de déterminer la taille moyenne d'apparition de cette carène, une centaine de coquilles, de tailles variées, a fait l'objet de deux mesures d'angles (figure 21) : l'angle au sommet du stade juvénile (Petit Angle) et l'angle au sommet mesuré lorsque les côtés deviennent tangents aux bords de la carène (Grand Angle).

L'intersection des droites de régression taille/Grand Angle et taille/Petit Angle donne la taille moyenne de début de formation de la carène : 6,5 cm de diamètre (figure 22).

Ce phénomène n'est pas général pour tous les trocas de l'Indo-Pacifique. La carène ne se forme pas sur les trocas indonésiens, ni sur ceux d'Okinawa (Japon), de Palau (Micronésie) ou du Vanuatu. Elle semble liée aux conditions d'hydrodynamisme du lieu où vit l'espèce. Les trocas sont souvent abondants en mode battu dans les lagons calédoniens; la carène est un facteur d'alourdissement de la coquille, elle favorise donc la résistance à la houle. Nous avons déjà évoqué la lente migration des adultes vers la pente externe du récif, la plus agitée. Il est commun de trouver de gros trocas munis d'une épaisse carène dans les sillons du tombant extérieur du récif barrière. La taille moyenne de début d'apparition de la carène (6,5cm) est très proche de la taille à la première maturité calculée plus loin (cf. Chap. II). Il n'est donc pas exclu que la maturité sexuelle déclenche la formation de la carène et amorce la migration vers le bord externe du platier, libérant ainsi l'espace pour les générations suivantes.

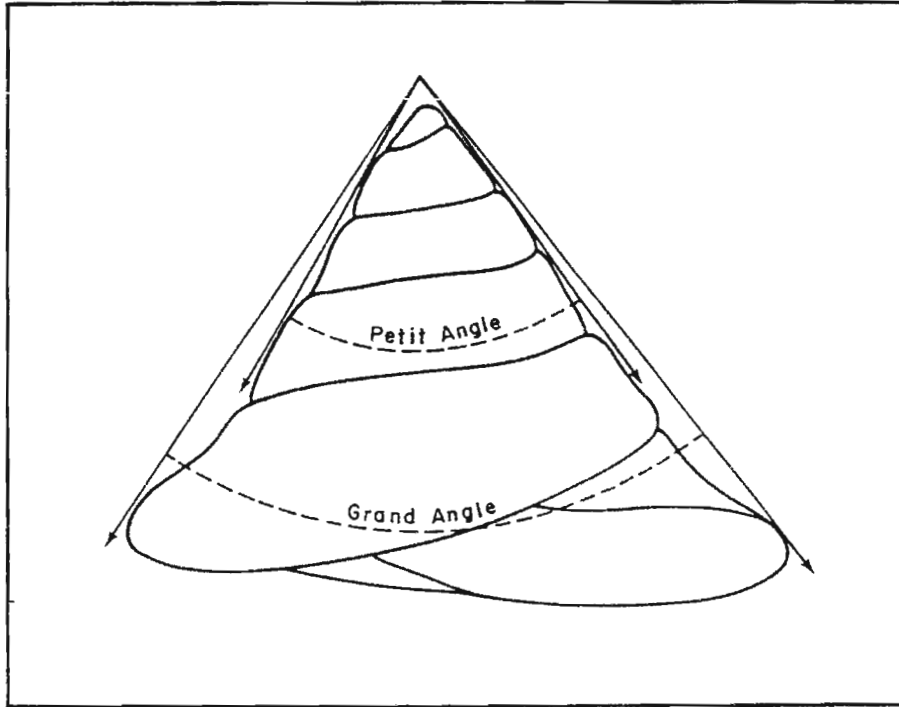


Fig. 21 - Angles mesurés pour l'étude de la carène.

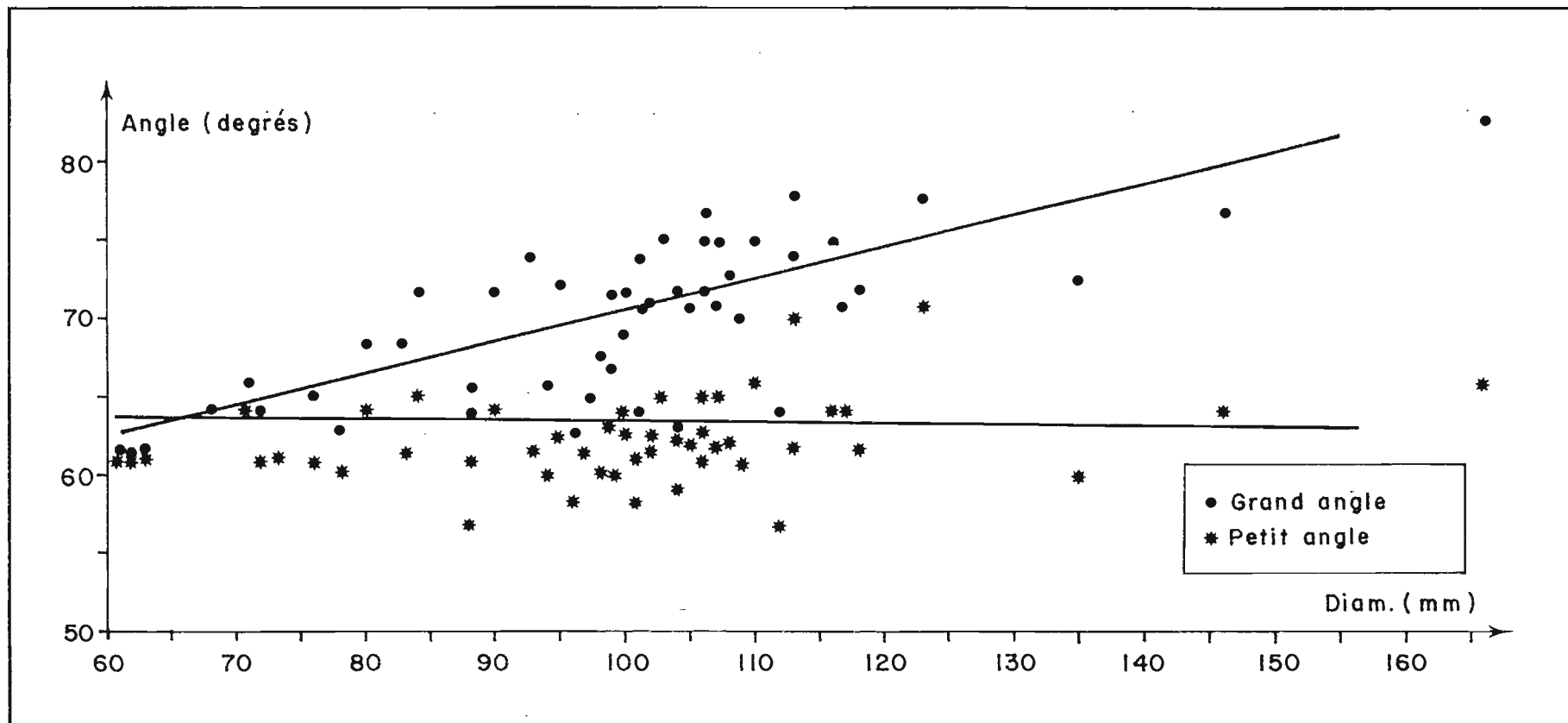


Fig. 22 - Détermination de la taille de début de formation de la carène.

CHAPITRE II

REPRODUCTION, FECONDITE, DEVELOPPEMENT LARVAIRE

1 - Modalités de la reproduction

Les gamètes sont émis la nuit dans l'eau de mer ambiante à une période liée aux phases lunaires; en général, la ponte se produit pendant les jours de nouvelle lune mais elle a été observée au cours des nuits de pleine lune sur les récifs de la Grande Barrière de Corail australienne (Nash, 1985). Des travaux d'élevage en bassins (Heslinga & Hillman, 1981), (Nash, 1985), ont permis de mieux connaître le comportement des trocas en reproduction :

- Deux ou trois jours avant la ponte, l'activité nocturne des trocas augmente. Les mâles émettent en premier leurs gamètes ce qui, dans les 10 à 60 minutes, peut déclencher la ponte des femelles; l'émission des ovocytes dure de 10 à 20 mm.

- Nash (1985) a remarqué deux modes d'émission des gamètes : l'un, dit actif, donne lieu à une extension verticale du siphon vers la surface et à une expulsion forcée des produits sexuels, l'autre, dit passif, correspond à un écoulement régulier des gamètes par le siphon sans posture particulière. Ces faits observés en bassins, s'ils existent également dans le milieu naturel, peuvent avoir des conséquences utiles pour la dispersion des oeufs.

2 - Cycle sexuel et fécondité

2.1. - Méthodologie de l'étude

2.1.1. - Echantillonnage

L'observation de la maturation sexuelle des trocas a été réalisée en effectuant un échantillonnage mensuel d'environ trente trocas de tailles variées, entre septembre 1982 et juin 1985. Afin de mieux définir la chronologie des pontes, l'échantillonnage est devenu hebdomadaire entre novembre 1985 et mars 1987. Les échantillons ont été prélevés à l'Ilot Amédée (figure 23) qui possède un platier récifal très favorable aux trocas et dont le statut de parc marin nous assurait la continuité et l'homogénéité d'un échantillonnage possible sur une longue période.

2.1.2. - Traitement de l'échantillon

Les trocas supportent bien l'exondation; les mesures pouvaient donc s'effectuer plusieurs heures après la pêche, en les conservant à + 10°C. Après mesure du grand diamètre de la coquille et pesée totale de chaque troca, l'animal frais est extrait grâce à une lame en acier inox spiralée, tranchante sur un bord (figure 24); cet outil, mis au point afin de léser au minimum l'animal, permet de sectionner le muscle columellaire qui fait adhérer fortement l'animal à sa coquille. La cuisson, généralement pratiquée pour obtenir ce résultat, rendait impossible l'observation et la pesée des glandes reproductrices.

2.1.3. - Paramètres mesurés

Sex-ratio

Le dimorphisme sexuel n'est perceptible qu'une fois la glande reproductrice mise à nue. Aucun caractère sexuel secondaire ni mesures allométriques ne permettent de distinguer les sexes des coquilles pêchées. La glande femelle est de couleur vert foncé (dès les premiers stades de maturité); la glande mâle est de couleur crème, blanc grisé aux premiers stades. Une technique de distinction rapide du sexe d'un troca adulte sans le sacrifier a

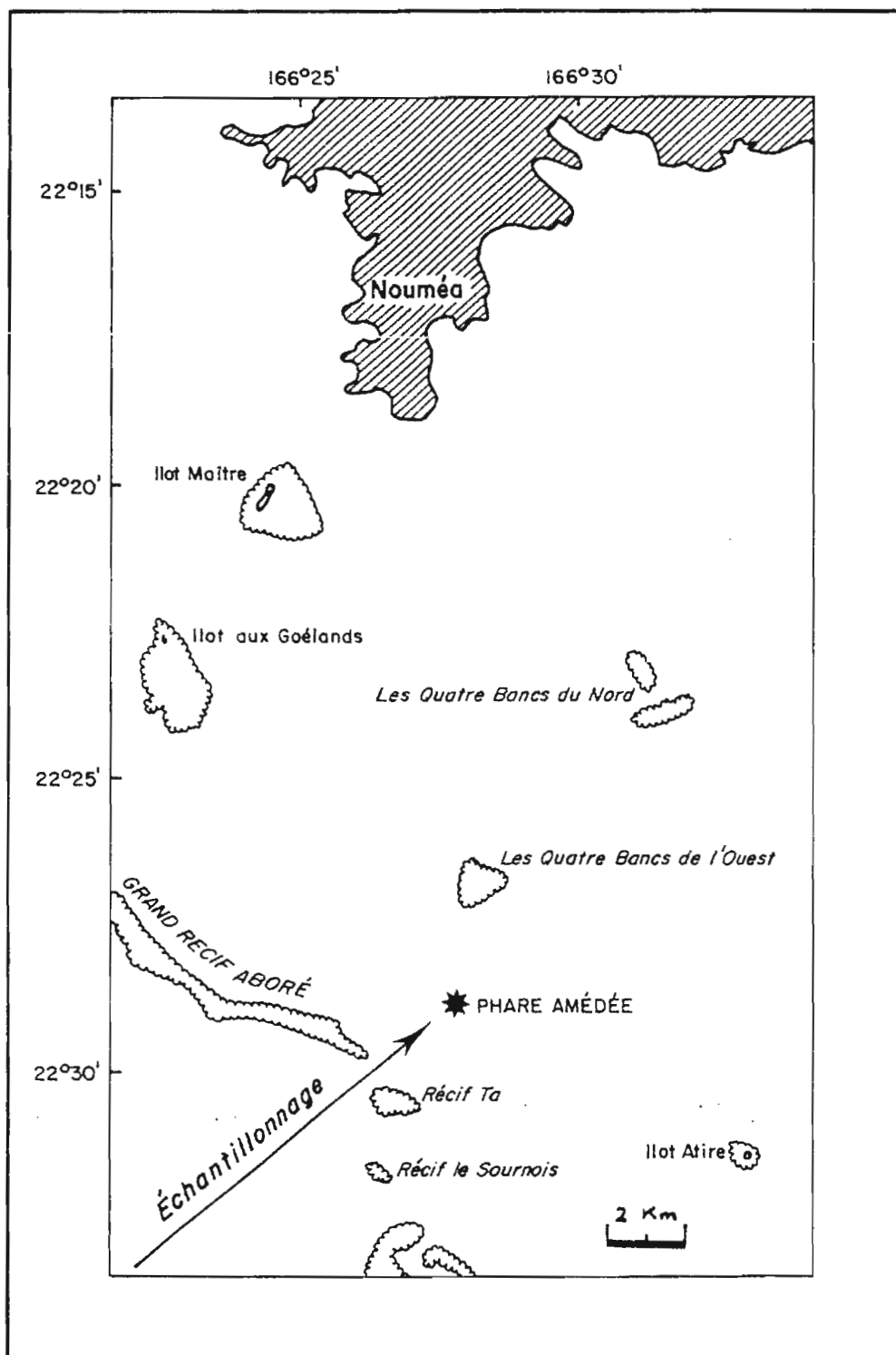


Fig. 23 - Station de prélèvement des échantillons récoltés pour l'étude de la fécondité.



Fig. 24 - Lame inox utilisée pour sectionner le muscle columellaire.

été mise au point récemment (Hoffschir, 1988). Elle consiste à récupérer quelques gouttes d'eau contenue dans la cavité paléale pour un examen au microscope; la présence fréquente de spermatozoïdes, plus rarement d'ovocytes, permet un diagnostic fiable à 99 % pendant la saison de reproduction.

Index gonado-somatique

La totalité de la gonade est séparée du reste du corps par dissection; c'est une opération délicate, exigeant quelques précautions car la gonade est accolée en lame à l'hépatopancréas dont la texture est très molle. La pesée au centigramme du poids total de l'animal puis celle de la gonade entière permettent le calcul du rapport gonado-somatique (RGS).

Stades de maturité

L'examen macroscopique de la gonade permet de fixer le stade de maturité. Les critères diffèrent selon le sexe mais nous avons défini dans les deux cas six stades de maturité dont les caractéristiques sont données dans le tableau 13.

Distribution de tailles des ovocytes

Dans l'échantillon, on sélectionne une dizaine d'individus femelles de tailles variées; un fragment de gonade est prélevé, chaque fois dans une même zone. Le fragment est pesé au centigramme puis placé dans un pilulier contenant du liquide de Gilson. Il faudra plusieurs mois au Gilson pour dissoudre le stroma ovarien et durcir les ovocytes; il sera alors possible de procéder au comptage et à la mensuration des ovocytes. La mesure des tailles est effectuée au microscope à micromètre. Le comptage est réalisé par sous-échantillonnage dans une cuvette de Dolfus.

L'ensemble des données est présenté au tableau 14.

Tableau 13 : Stade de maturité des gonades de trocas

Stade 1 : Immature

Gonade incolore non différenciée

Stade 2 : Début de maturation

Épaississement de la gonade; ovocytes invisibles à l'œil nu. Légère coloration verte. Diam. moyen des ovocytes $\leq 100 \mu$.

Présence de filets blanc à la surface de la glande digestive.

Stade 3 : Maturation

Gonade fine, bien colorée; ovocytes visibles à l'œil nu. Vascularisation entre les ovocytes. Diamètre moyen des ovocytes : 175μ .

Gonade recouvre totalement la glande digestive. Début d'accumulation du liquide spermatique. Coloration blanc-cassé.

Stade 4 : Fin de maturation

Gonade épaisse, nombreux ovocytes visibles sur toute la surface de la gonade. Coloration vert foncé. Diamètre moyen des ovocytes : 180μ .

Gonade épaisse, forte accumulation du liquide spermatique. Coloration blanc-laiteux.

Stade 5 : Pré-ponte

Gonade renflée, membrane externe tendue. Libération des ovocytes par incision, se détachent bien entre eux. Une pression sur la gonade fait sortir des ovocytes par l'orifice de ponte. Forte coloration vert foncé. Diamètre moyen des ovocytes : 190μ .

Gonade renflée, membrane externe très tendue par accumulation du liquide spermatique. La gonade recouvre davantage la glande digestive. Coloration blanc-laiteux.

Stade 6 : Post-ponte

Gonade vide et flasque; reste quelques ovocytes matures non expulsés avec des produits nécrotiques. Présence de nombreux ovocytes de petites tailles ($\emptyset 40$ à 60μ) en previtellogénèse

Gonade flasque de coloration brune avec taches plus sombres dues à un reste de liquide spermatique en dégradation.

Tableau 14 : Résultats de l'échantillonnage fécondité.

DIAM : diamètre
 PANI : poids animal
 PGON : poids gonade
 RGS : rapport gonado-som.
 FEC : fécondité abs.
 PTOT : poids total
 PCOQ : poids coquille
 EGON : poids de l'échantillon
 STMAT : stades de maturité

DIAM	PTOT	PANI	PCOQ	PGON	EGON	RGS	STMAT	FEC10-3	FEC/PGON	FEC/PTOT	FEC/PANI	FEC/PGON
117	473	75,20	398	2,19	,42	2,91	3	60	27397	127	798	27,40
107	402	59,80	342	1,97	,46	3,29	3	96	48731	239	1605	48,73
69	123	25	98	,92	,20	3,68	3	28	30435	228	1120	30,43
113	505	67,70	437	2,30	,36	3,39	3	202	87826	400	2984	87,83
108	426	61,40	365	2,37	,46	,75	3	109	45992	256	1775	45,99
118	542	74,70	467	5,04	,67	6,75	3	376	74603	694	5033	74,60
111	470	69,40	401	1,14	,21	1,64	3	3	2632	6	43	2,63
113	488	75,80	412	2,22	,46	2,93	3	137	61712	281	1807	61,71
110	472	66,40	405	4,40	,31	6,63	3	14	3182	30	211	3,18
103	379	56,20	323	2,31	,71	4,11	3	48	20779	127	854	20,78
91	262	41,90	220	2,25	1,09	5,38	3	127	56444	485	3031	56,44
109	482	66,20	416	1,81	1,02	2,73	3	21	11602	44	317	11,60
103	418	58	360	1,58	1,15	2,72	3	29	18354	69	500	18,35
107	409	63,20	346	1,98	,86	3,13	3	86	43434	210	1361	43,43
115	544	77,80	467	4,91	1,32	6,32	4	267	54379	491	3432	54,38
117	553	77,40	476	3,07	,76	3,96	4	103	33550	186	1331	33,55
119	578	81,90	496	2,27	,63	2,77	6	0	0	0	0	0
120	515	75	441	3,30	1,06	4,40	4	114	34545	221	1520	34,55
120	565	80,90	484	5,84	1,53	7,22	4	338	57877	598	4178	57,88
116	505	77,70	427	4,48	1,23	5,78	4	217	48438	430	2793	48,44
117	515	71,90	443	7,15	1,54	9,94	4	501	70070	973	6968	70,07
123	562	94,30	467	9,82	1,96	10,41	4	561	57128	998	5949	57,13
115	451	81,70	370	9,14	1,66	11,19	4	573	62691	1271	7013	62,69
101	365	64,60	301	11,52	1,64	17,83	5	823	71441	2255	12740	71,44
105	382	55,40	327	5,66	,63	10,22	4	287	50707	751	5181	50,71
110	466	64	402	4,54	1,08	7,08	4	206	45374	442	3219	45,37
120	568	78	491	5,39	1,01	6,91	4	284	52690	500	3641	52,69
94	285	47,50	238	3,98	,76	8,38	3	176	44221	618	3705	44,22
112	490	82,50	408	8,63	1,19	10,47	4	496	57474	1012	6012	57,47
120	552	87,20	465	14,14	1,63	16,22	5	815	57638	1476	9346	57,64
119	552	85,50	466	15,48	2,11	18,10	5	1038	67054	1880	12140	67,05
101	370	56,40	314	7,24	1,36	12,83	4	498	68785	1346	8830	68,78
77	148	28,50	120	4,69	,94	16,43	4	511	108955	3453	17930	108,96
120	522	78,60	444	10,73	1,84	13,65	5	1308	121901	2506	16641	121,90
112	481	61,20	420	9,94	1,42	16,25	5	809	81388	1682	13219	81,39
115	482	70,60	411	9,99	1,61	14,14	5	1099	110010	2280	15567	110,01
119	486	65,80	420	3,72	,68	5,66	4	630	169355	1296	9574	169,35
113	482	62,60	420	11,07	2,02	17,68	5	637	57543	1322	10176	57,54
111	448	50,80	397	3,08	,71	6,06	3	168	54545	375	3307	54,55
109	476	64,50	412	4,56	,87	7,07	3	327	71711	687	5070	71,71
121	579	84,50	495	7,12	1,05	8,43	4	624	87640	1078	7385	87,64
111	472	66,40	406	4,80	,67	7,23	3	443	92292	939	6672	92,29
112	510	71,30	439	5,30	,78	7,43	3	552	104151	1082	7742	104,15
120	537	77,60	459	2,70	,59	3,48	3	83	30741	155	1070	30,74
126	576	89,80	486	2,80	,62	3,11	3	82	29286	142	913	29,29
119	568	90,30	477	4,72	1,32	5,22	3	340	72034	599	3765	72,03
117	497	70,60	425	3,04	1,07	4,30	3	185	60855	372	2620	60,86
115	511	62,50	448	2,16	,89	3,46	3	143	66204	280	2288	66,20
111	416	65,10	351	3,13	,85	4,81	3	155	49521	373	2381	49,52
112	457	73,90	383	3,08	1,03	4,17	3	114	37013	249	1543	37,01

<u>DIAM</u>	<u>PTOT</u>	<u>PANI</u>	<u>PCOG</u>	<u>PGON</u>	<u>EGON</u>	<u>RGS</u>	<u>STMAT</u>	<u>FEC10-3</u>	<u>FEC/PGON</u>	<u>FEC/PTOT</u>	<u>FEC/PANI</u>	<u>FEC/PGON</u>
119	567	72,30	495	4,16	,84	5,75	3	351	84375	619	4855	84,38
113	510	73,50	436	5,02	1,26	6,83	4	370	73705	725	5034	73,71
103	380	55,10	325	3,50	,87	6,35	3	140	40000	368	2541	40
98	291	56	235	3,27	1,02	5,83	3	222	67890	763	3964	67,89
119	564	72,30	492	5,20	1,16	7,19	3	341	65577	605	4716	65,58
118	611	80,10	530	8,37	1,79	10,45	5	806	96296	1319	10062	96,30
113	549	70,40	479	4,65	,81	6,61	4	234	50323	426	3324	50,32
109	438	61,80	376	6,12	1,40	9,90	4	603	98529	1377	9757	98,53
113	522	68,90	453	3,86	1,27	5,60	4	236	61140	452	3425	61,14
122	702	99,60	602	11,38	1,99	11,42	5	1296	113884	1846	13012	113,88
116	510	75,70	434	15,23	2,60	20,12	5	1935	127052	3794	25561	127,05
102	429	65,90	363	12,04	2,40	18,27	5	1507	125166	3513	22868	125,17
101	341	62,40	279	10,31	2,13	16,52	5	1344	130359	3941	21538	130,36
118	499	74,20	425	12,71	1,33	17,13	5	1478	116286	2962	19919	116,29
92	232	59,20	173	12,52	2,30	21,15	5	897	71645	3866	15152	71,65
85	209	45,50	163	5,80	1,65	12,74	4	550	94828	2632	12088	94,83
83	186	42,80	143	5,29	1,33	12,35	4	616	116446	3312	14393	116,45
82	172	31,20	141	3,11	,63	9,97	4	318	102251	1849	10192	102,25
80	190	39,70	150	6,87	1,62	17,30	5	762	110917	4011	19194	110,92
110	437	67,10	370	12,50	2,05	18,60	5	1910	152800	4371	28465	152,80
92	255	56,10	199	11,40	2,24	20,30	5	1207	105877	4733	21515	105,88
88	232	32,60	199	5,50	1,27	16,90	4	592	107636	2552	18160	107,64
85	203	34,10	169	4,90	1,10	14,40	4	535	109184	2635	15689	109,18
86	218	36,20	181	7,80	1,68	21,50	5	773	99103	3546	21354	99,10
112	498	84,10	414	22,63	2,53	26,91	5	3084	136279	6193	36671	136,28
117	535	83,60	452	20,33	2,81	24,32	5	2518	123856	4707	30120	123,86
114	532	87,30	444	24,17	2,88	27,69	5	3248	134381	6105	37205	134,38
114	493	84,70	408	21,46	2,72	25,34	5	2777	129404	5633	32786	129,40
105	355	64,10	291	16,04	2,14	25,02	5	1688	105237	4755	26334	105,24
119	552	84,50	468	23,23	2,45	27,49	5	3478	149720	6301	41160	149,72
118	595	100,60	495	29,11	2,51	28,94	5	3966	136242	6666	39423	136,24
109	392	72,80	319	18,16	2,34	24,95	5	2368	130396	6041	32527	130,40
98	280	55,20	225	12,88	2,21	23,33	5	1583	122904	5654	28678	122,90
125	637	105,20	532	30,74	2,67	29,22	5	4057	131978	6369	38565	131,98
123	633	98,30	534	11,31	1,64	11,50	5	1473	130239	2327	14985	130,24
125	631	106,10	525	16,68	2,02	15,72	5	1949	116847	3089	18369	116,85
121	703	83,70	619	8,90	1,60	10,63	5	1064	119551	1514	12712	119,55
110	500	71,40	429	8,96	,88	12,55	5	1136	126786	2272	15910	126,79
102	330	59,10	270	8,21	,90	13,89	5	832	101340	2521	14078	101,34
83	179	38,90	140	7,07	1,16	17,17	5	839	118670	4687	21568	118,67
120	546	81,10	465	6,72	,91	8,28	4	561	83482	1027	6917	83,48
93	263	33,10	230	6,05	,35	18,28	5	643	106281	2445	19426	106,28
107	394	55,30	339	7,51	,39	13,56	5	701	93342	1779	12676	93,34
118	525	92,30	432	25,40	2,12	27,51	5	3532	139055	6728	38267	139,06
113	447	67,10	380	9,20	1,65	13,71	5	1006	109348	2251	14993	109,35
112	573	63,70	510	9,27	,98	14,55	5	1093	117907	1908	17159	117,91
110	395	67,50	327	12,24	1,16	18,13	5	1874	153105	4744	27763	153,10
100	324	43,50	281	4,01	,65	9,22	4	336	83791	1037	7724	83,79
96	272	41,20	231	3,14	,84	7,62	3	327	104140	1202	7937	104,14

2.2. - Analyse des résultats

2.2.1. - Sex-ratio

La figure 25 montre la fluctuation du sex-ratio observée au cours de 34 mois d'échantillonnage mensuel ainsi que la moyenne mensuelle des sex-ratio hebdomadaires pour la période 1985/87. Dans 77 % des cas, le nombre des mâles est plus élevé que celui des femelles; le sex-ratio est significativement différent de 1:1. Son évolution ne semble pas s'établir selon un cycle déterminé, lié à la saison par exemple, mais il est à noter que trois fois de suite, on observe en décembre un excédent de femelles suivi par une situation inverse dès le mois suivant. Cette période étant le début de la saison chaude, favorable à la reproduction comme nous le verrons plus loin, on peut s'interroger sur une capacité éventuelle des trocas à changer de sexe ou bien à un comportement différent des sexes sur le substrat lors de la reproduction; en effet la pêche des coquilles se faisant à vue, la capture du sexe qui devient le moins cryptique sera favorisée. Cette hypothèse est étayée par l'observation de trocas en captivité; avant l'émission des gamètes, les individus ont tendance à se diriger vers la surface en gravissant les parois du bassin (Nash, 1985).

2.2.2. - Cycle saisonnier de la reproduction

Alors que *Trochus niloticus* ne présente pas de période de repos sexuel sur la Grande Barrière de Corail (Nash, 1985), aux îles Palau (Heslinga & Hillmann, 1987), et aux îles Andaman en Inde (Rao, 1937), un cycle saisonnier de la reproduction existe en Nouvelle Calédonie comme le montre l'évolution différentielle des pourcentages des stades de maturité et l'étude du RGS.

2.2.2.1. - Stades de maturité et RGS mensuels

La figure 26 montre clairement l'alternance d'une période

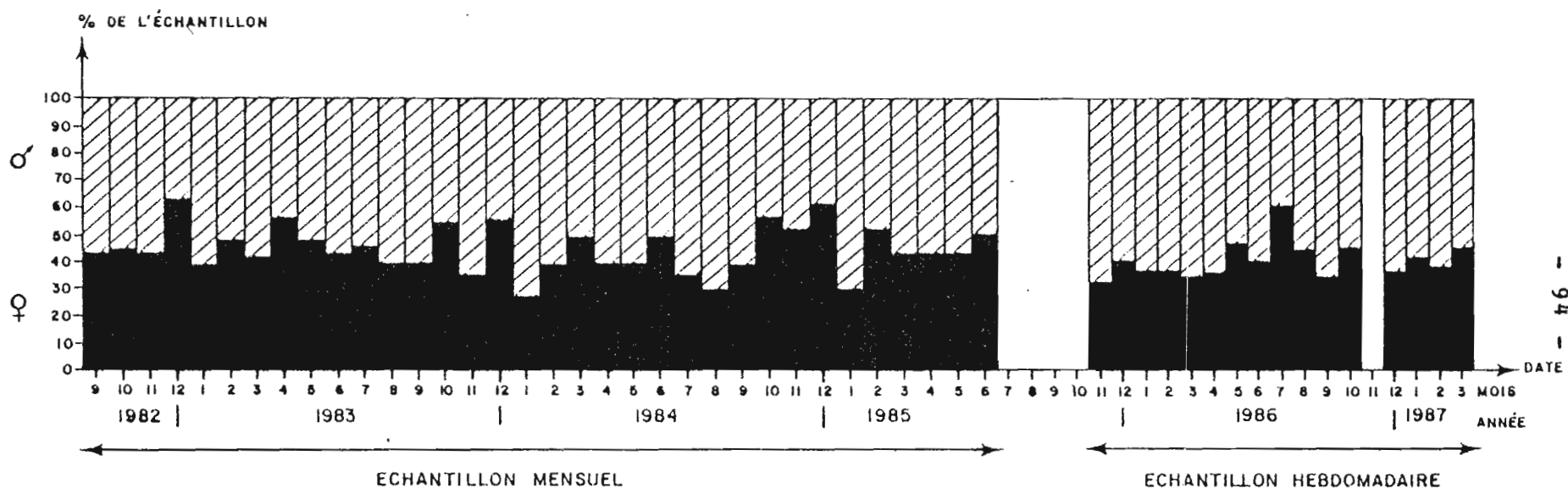


Figure 25 : Etude du sex-ratio.

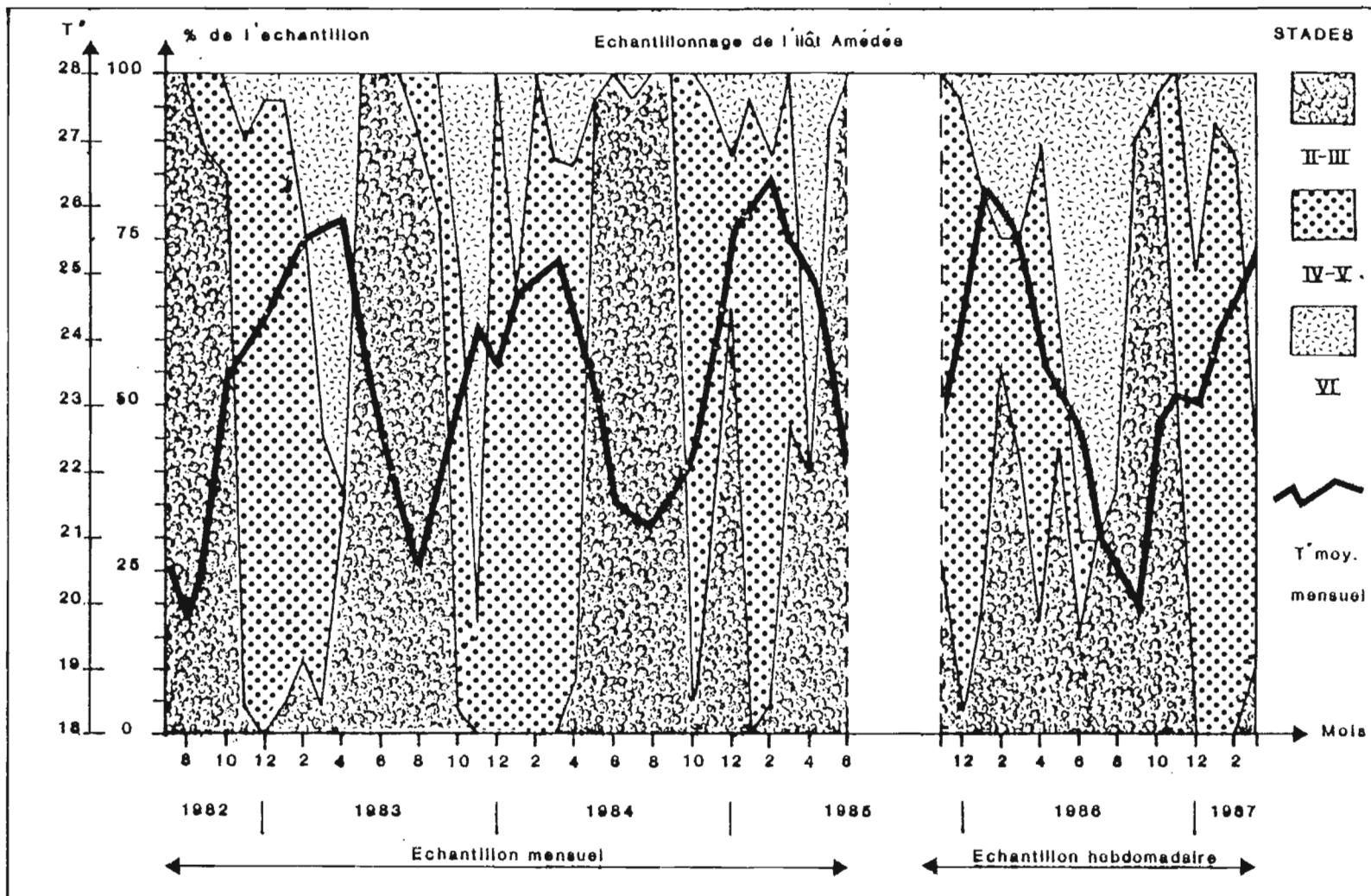


Figure 26 : Evolution mensuelle des stades de maturité.

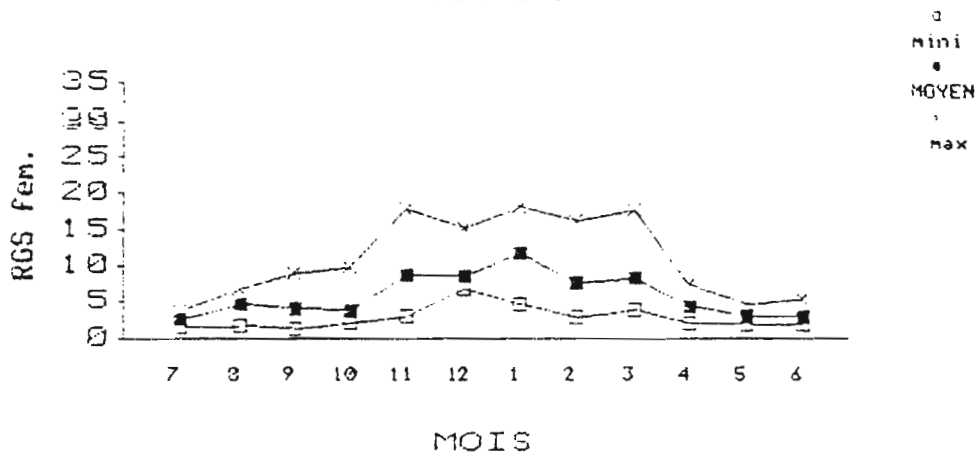
de repos sexuel des trocas (stades II et III) entre mai et octobre; elle est suivie d'une rapide maturation des gonades (stades IV et V) puis d'indices de pontes (stades VI) au cours d'une saison de reproduction qui se déroule donc entre novembre et avril. Ces deux périodes correspondent à l'alternance de l'hiver et de l'été australs, bien marqués en Nouvelle Calédonie par la variation de la température des eaux lagunaires.

La courbe de température moyenne, superposée à l'évolution des stades, confirme la liaison étroite entre le réchauffement des eaux et l'apparition des stades de maturité. Si le réchauffement est précoce, le stade IV peut apparaître dès le mois d'octobre (c'était le cas en 1983 et 1984); l'eau ambiante doit dépasser le seuil de 22°C pour que se déclenche la maturation des gonades, d'après les cinq cycles observés sur la figure 26.

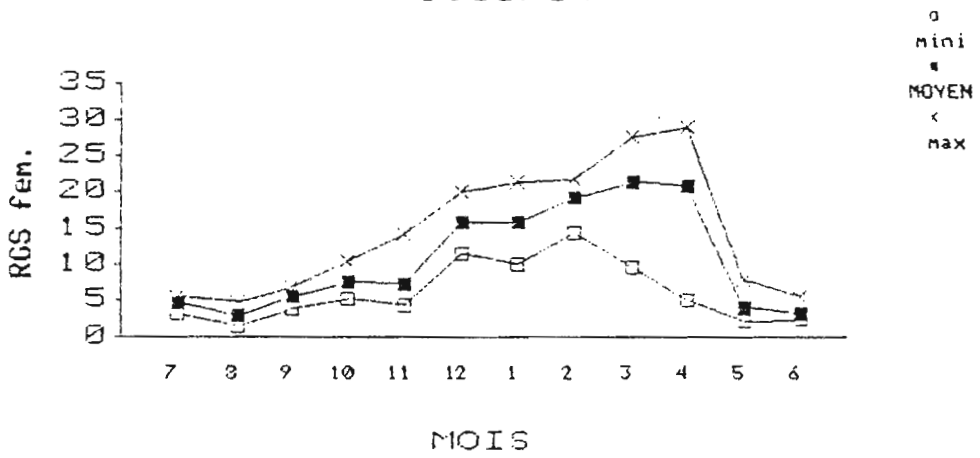
La rapidité du réchauffement ou du refroidissement semble jouer un rôle dans la durée du cycle de reproduction; en effet, la courbe du refroidissement marque un ralentissement en mars-avril 1986 ce qui peut expliquer la persistance des stades IV, V et VI jusqu'en juin, donc des pontes tardives au début de l'hiver austral.

Les figures 27a et 27b analysent les fluctuations du RGS des trocas femelles au cours des cinq cycles échantillonnés. La courbe du RGS moyen reste relativement stationnaire jusqu'au quatrième trimestre puis augmente de manière importante pour ensuite présenter une ou plusieurs oscillations pendant toute la saison chaude, le mois de mai marquant généralement le retour à la stabilité du RGS. La valeur 10 % du RGS marque la borne supérieure de cette stabilité puisqu'elle n'est jamais franchie par les échantillons examinés pendant la saison fraîche. En revanche, au cours de la saison de reproduction, le RGS peut redescendre à un très faible niveau si la proportion d'individus en post-ponte (stade VI) est importante. Les courbes du minimum et du maximum mensuels présentent des écarts importants, ce qui peut s'expliquer par la

1982/83



1983/84



1984/85

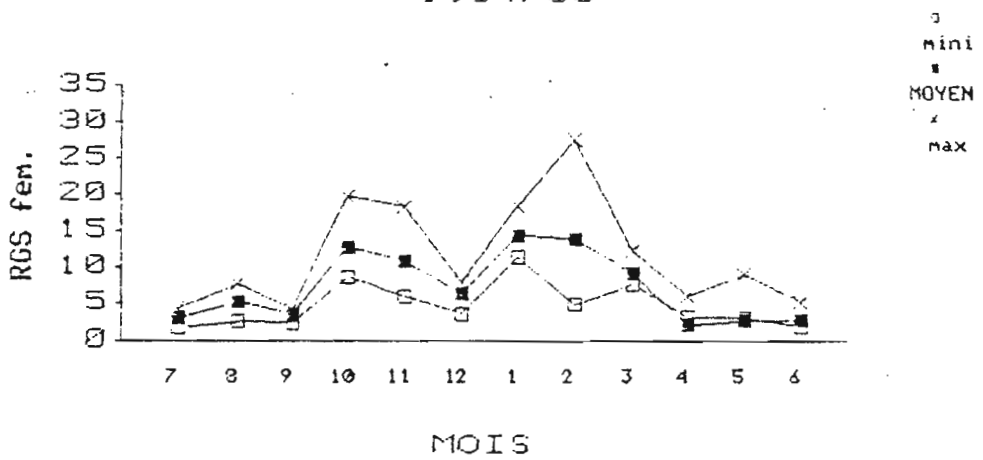


Figure 27a : Evolution du RGS par cycle de reproduction.

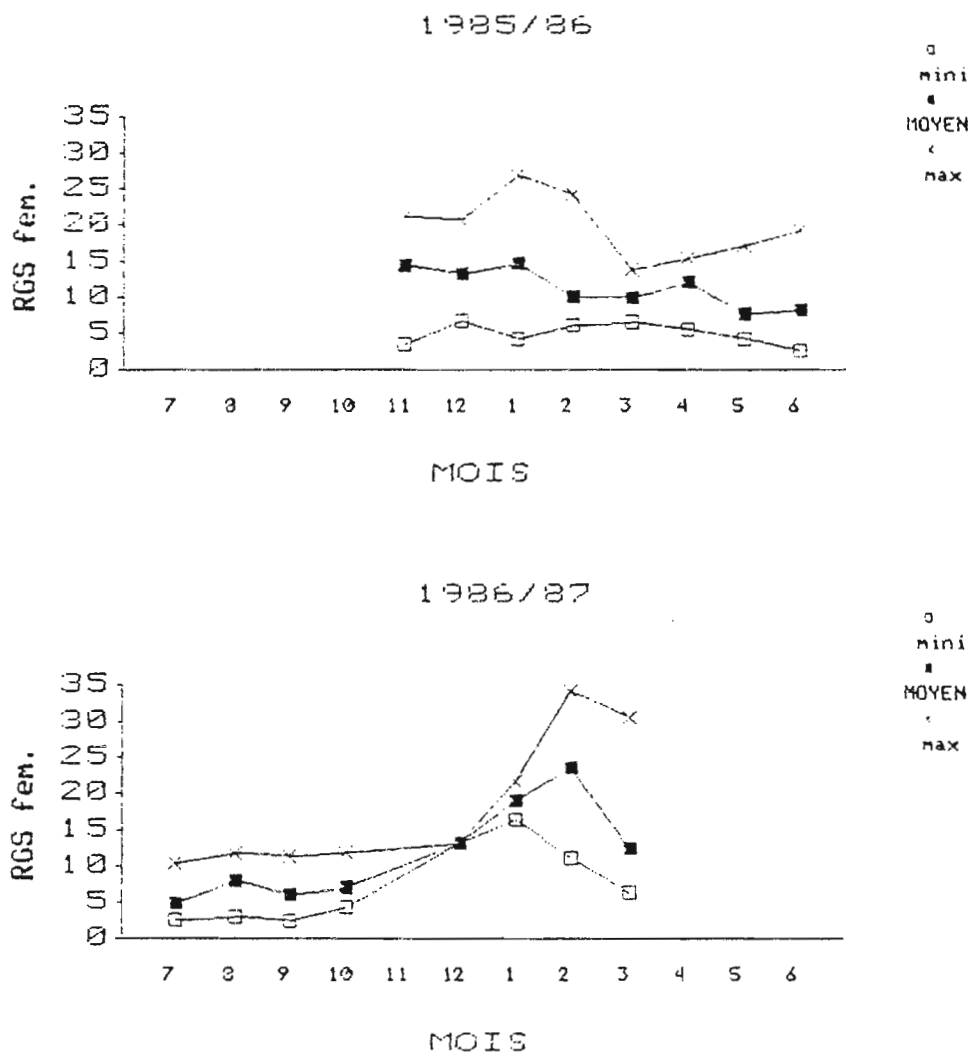


Figure 27b : Evolution du RGS par cycle de reproduction.

ponte de contingents de trocas femelles pour chaque lunaison favorable. Cette hypothèse est confirmée par des observations en bassins; Nash (1985) estime qu'une femelle peut pondre tous les deux à quatre mois.

L'échantillonnage mensuel n'est pas bien adapté à la détermination des dates de ponte puisqu'il peut recouvrir deux lunaisons. Pour cette raison, un échantillonnage hebdomadaire a été entrepris en novembre 1985 et a pu être poursuivi jusqu'en mars 1987.

2.2.2.2. - Stades de maturité et RGS hebdomadaires

La figure 28 présente l'évolution différentielle des stades de maturité observée sur l'échantillonnage hebdomadaire. Comme précédemment, la courbe de température moyenne, mesurée à l'flot Amédée figure également. On observe au cours du mois de novembre 1985 une augmentation rapide du nombre de femelles entrées en maturation puis la ponte de certaines d'entre elles jusqu'à la fin du mois de janvier 1986. La température est croissante au cours de cette période; le palier amorcé en février fait place à une situation plus nuancée durant laquelle de nombreuses femelles recommencent un cycle de maturation tandis que d'autres effectuent leur ponte; une des plus importantes est marquée par une forte proportion de stades VI, en mars 1986. La température hebdomadaire diminue au cours de ce mois de mars mais elle enregistre un réchauffement inhabituel, de près de 1°C, à la fin du mois d'avril. Cette anomalie explique probablement un retour important de stades IV et V à la fin du mois d'avril. Comme nous l'avions constaté sur les échantillons mensuels, une ponte particulièrement tardive s'est produite au milieu du mois de juin 1986.

L'échantillonnage hebdomadaire a permis de mieux préciser le rôle de la température moyenne ambiante (en particulier l'influence d'un réchauffement temporaire au voisinage de la borne

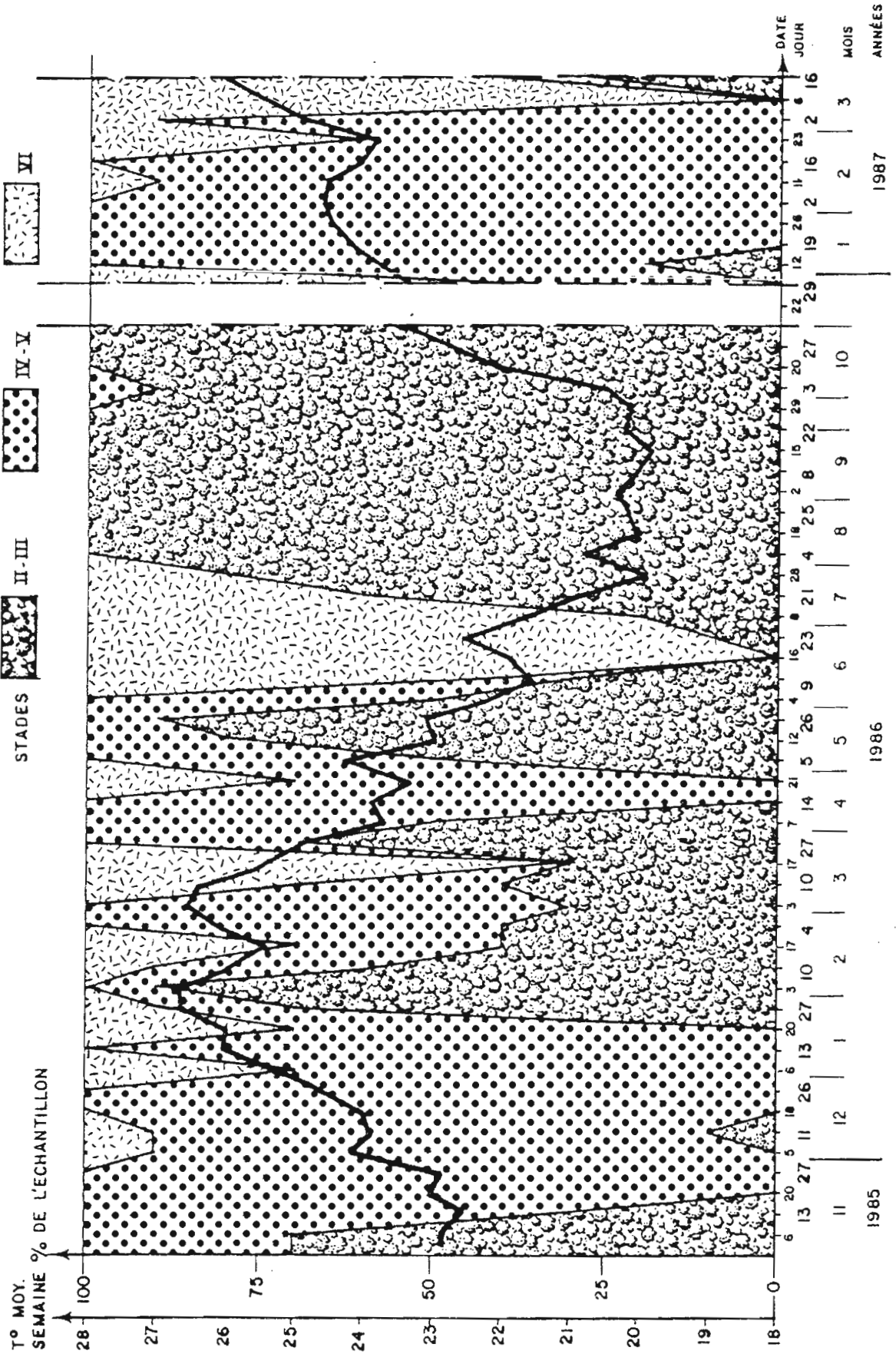


Figure 28 : Evolution hebdomadaire des stades de maturité.

22°C) sur la durée de la saison de ponte. Le suivi mensuel de la figure 26 ne permet pas de relier nettement la ponte tardive de juin au facteur température. La figure 27 décrit une situation thermique très différente entre le premier trimestre 1986 et celui de 1987. Le réchauffement a été très tardif au cours de cette dernière année; en dépit de ce phénomène, la saison de ponte a pu se dérouler normalement; la rapidité du réchauffement n'a donc en définitive qu'un rôle mineur dans le processus de maturation des femelles, à condition que le seuil de 22°C soit franchi.

2.2.3. - Fécondité

Le dénombrement des ovocytes contenus dans les fragments d'ovaires traités au liquide de Gilson permet de calculer les paramètres de fécondité des trocas en fonction de leur taille. Les femelles échantillonnées sont réparties en six classes de taille, de 71 mm à 130 mm de diamètre (Tableau 15).

Le tableau 13 des stades de maturité indique l'évolution de la taille moyenne des ovocytes, par stade : 175 µm au stade III, 180 µm au stade IV, 190 µm au stade V.

La fécondité individuelle absolue est définie comme le nombre d'ovocytes de la plus grande taille modale au stade de pré-ponte. Si n est ce nombre d'ovocytes extrait d'un poids d'ovaire p , la fécondité individuelle absolue (F_a) s'exprime donc en fonction du poids total de la gonade P_g :

$$F_a = n \cdot P_g/p$$

La fécondité relative est le rapport de la fécondité absolue d'un individu au poids de la gonade :

$$Fr(go) = F_a/P_g = n/p$$

ou bien, au poids de l'animal (P_a) dégagée de sa coquille :

$$Fr(ani) = F_a/P_a$$

Afin de faciliter les calculs, les paramètres de fécondité sont exprimés en nombres d'ovocytes X 10⁻³ (par gramme de gonade ou de chair pour les valeurs relatives).

Le tableau 15 résume les résultats établis pour les six classes de tailles analysées.

Tableau 15 : Fécondités moyennes observées par classe de taille.

Classes (mm)	Féc. abs.(Fa) en 10 ⁻³ ovo.	Fécondités relatives (Fr) en 10 ⁻³ ovo./g	
		Poids gonade Fr(go)	Poids animal Fr(ani)
71-80	762	111	5080
81-90	806	109	5131
91-100	1082	102	5270
101-110	1418	119	4361
111-120	1923	112	4335
121-130	1968	122	3593

Les variations individuelles peuvent être importantes; l'écart-type pour la classe 111-120 mm est de 1145. La plus forte fécondité absolue observée avoisine les quatre millions d'ovocytes. Une telle variabilité est connue chez d'autres invertébrés (Hancock, 1962). Les raisons évoquées mettent en avant le rythme de croissance (la variabilité est grande chez les trocas), la disponibilité de nourriture donc les fonctions métaboliques, d'éventuelles infestations parasitaires et la densité de la population ayant un effet direct par l'existence de stress et un effet indirect sur les disponibilités trophiques.

La traduction graphique du tableau 15 (figures 29, 30 et 31), conduit à formuler un certain nombre d'observations :

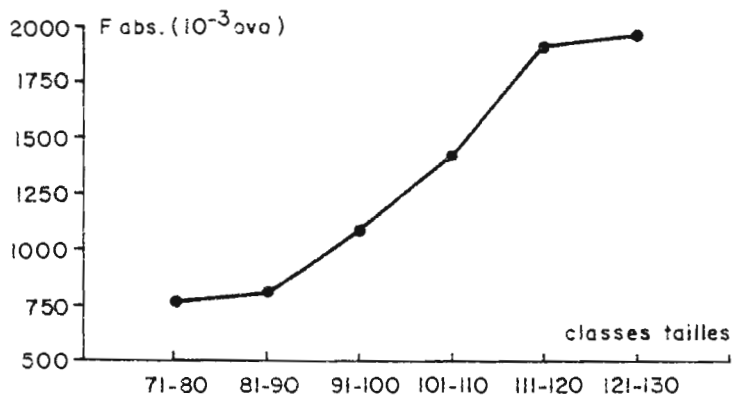


Fig. 29 - Courbe de la fécondité absolue.

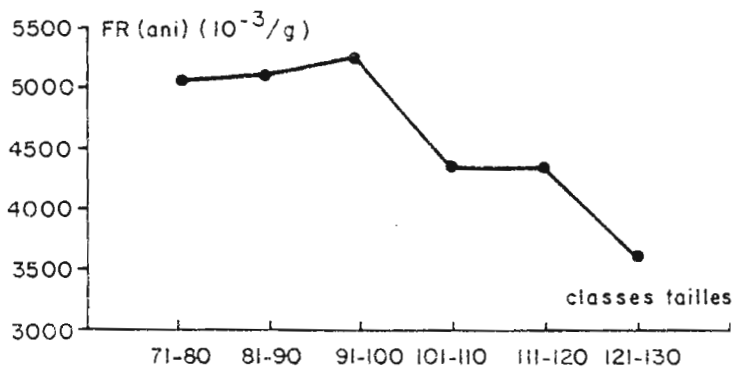


Fig. 30 - Courbe de la fécondité relative (par g de chair)

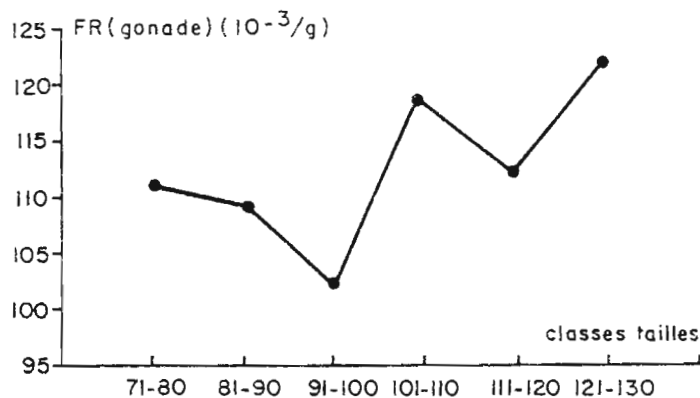


Fig. 31 - Courbe de la fécondité relative (par g de gon.)

a/ La fécondité absolue montre une augmentation exponentielle avec la taille jusqu'à la classe 111-120 mm; au-delà, intervient une stabilisation voisine de 2 millions d'ovocytes.

Ces chiffres sont en accord avec ceux obtenus par d'autres auteurs. Heslinga (1981) estime à 2 millions d'oeufs le contenu de la gonade d'une femelle de 100 mm de diamètre. Nash (1985), sans préciser la taille, estime la fécondité absolue entre 0,5 et 2.10^6 ovocytes.

Une observation directe a été faite à la station d'aquaculture de St. Vincent dans le cadre des opérations de production de naissain de trocas, réalisées en collaboration avec l'IPREMER. Une femelle de 121 mm isolée en bassin a pondu en une nuit 1,8 millions d'oeufs.

L'équation de la courbe de fécondité absolue F (10^{-3} ovocytes) en fonction de la taille (diamètre D mm) de la coquille, pour sa partie exponentielle, a été établie par régression linéaire entre les Log. des deux variables.

$$\text{Ln } F = 2,21 \text{ Ln } D - 312,6$$

$$\text{soit : } F = D \text{ Expo. } 2,21/312,6$$

entre 70 et 110 mm

b/ La fécondité relative rapportée au poids de l'animal est légèrement croissante pour les trois premières classes de tailles (intervalle : 71 à 100 mm); elle décroît ensuite de façon prononcée pour les trois classes suivantes. Cette observation laisse supposer que la gonade atteint son potentiel reproductif maximum lorsque l'individu mesure environ 100 mm.

c/ La fécondité relative rapportée au poids de l'ovaire est sensiblement le reflet inverse de la précédente puisque la croissance de la gonade est disjointe de celle de l'animal. La construction du stroma ovarien doit prendre le pas sur la gaméto-

genèse jusqu'à la taille de 100 mm puis inversion du processus après cette taille. On retrouve ici, indirectement, l'augmentation exponentielle de la fécondité absolue.

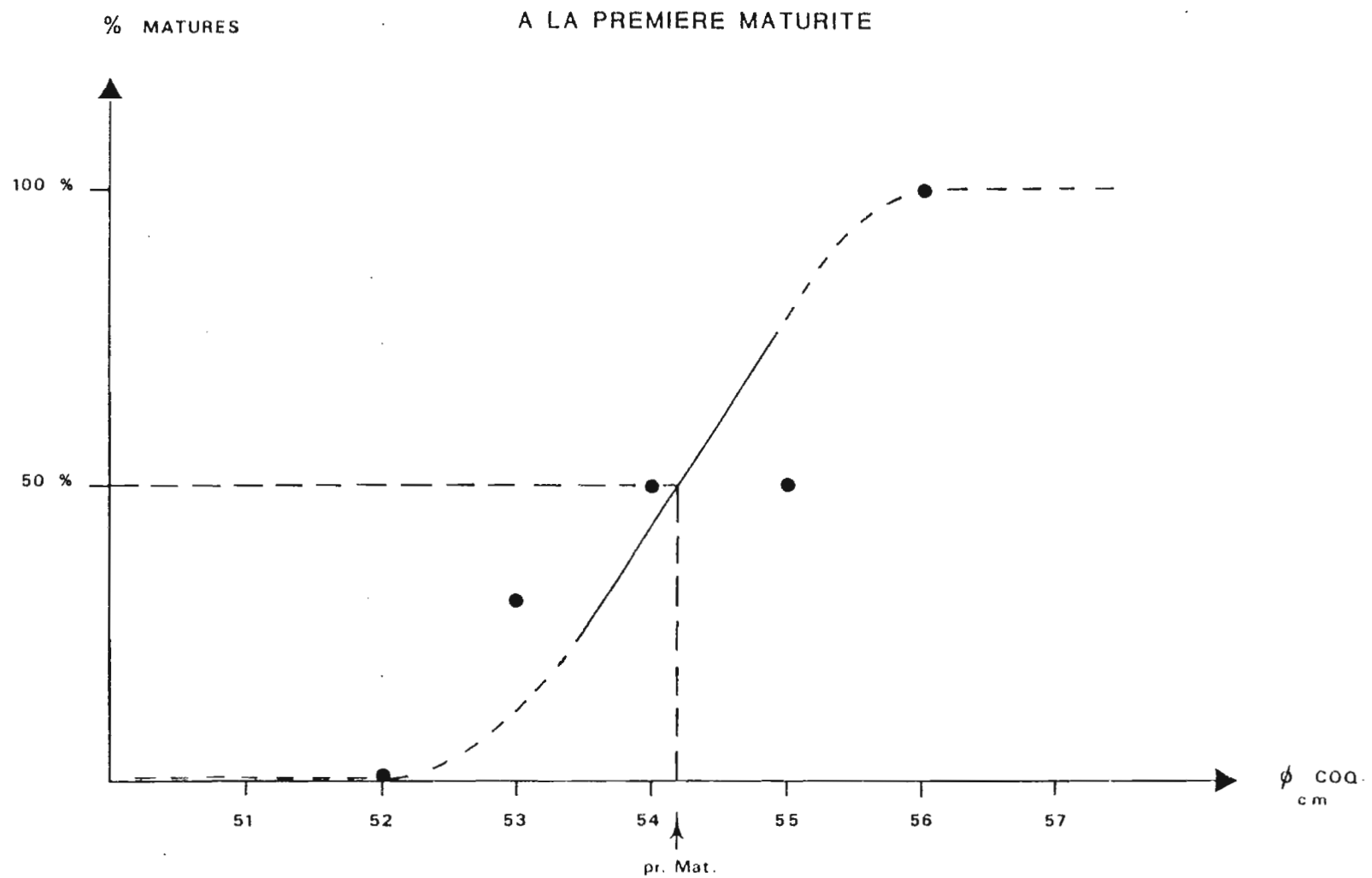
3 - Développement larvaire

Les grandes lignes du développement larvaire depuis l'oeuf fécondé, ont été déjà décrites dans l'introduction. Ces connaissances sont issues de travaux d'élevage des trocas en bassins (Heslinga & Hillmann, 1981; Nash, 1985). Des essais similaires ont été conduits en Nouvelle Calédonie (cf. troisième partie). Ils confirment le développement non planctotrophe (ou lécitotrophe) de la larve et la brièveté de la phase planctonique qui ne dépasse pas trois jours dans les conditions d'élevage.

4 - Taille à la première maturité

Parmi les trocas examinés dans les échantillons fécondés, très peu d'entre eux associaient une petite taille et un stade de maturité avancé. La figure 32 montre à partir de ces quelques échantillons, le pourcentage d'individus matures (stades III, IV et V) par classes de tailles de 1 cm. Le niveau 50 % fixe donc la taille moyenne à la première maturité à 5,41 cm. Ce résultat concorde avec ceux obtenus par d'autres auteurs : 50-60 mm (Nash, 1985), 55-65 mm (Heslinga & Hillmann, 1981).

Figure 32 - DETERMINATION DE LA TAILLE DES TROCAS



CHAPITRE III

CROISSANCE, MORTALITE NATURELLE (Etude réalisée en collaboration avec F. GOHIN)

1 - Etude de la croissance par marquage

La méthode du marquage, avec remise en liberté dans le milieu naturel et recaptures périodiques, est une méthode de choix pour des animaux faciles à recapturer et relativement sédentaires. Cette technique donne de bonnes informations sur la croissance, lorsque les taux de recaptures ne sont pas négligeables, et peut fournir, par ailleurs, quelques indications sur les déplacements des animaux.

1.1. - Opérations de marquage

La technique utilisée est voisine de celle décrite par Gail (1958) qui, après divers essais, a retenu le marquage des coquilles avec des rondelles colorées, fixées par un rivet sur la dernière spire.

Nous avons préféré individualiser chaque coquille par une étiquette plastique portant un numéro. La fixation est réalisée par une vis après perforation de la coquille à l'aide d'une perceuse électrique (fig. 33).

Les trocas supportent très bien l'exondation pendant quelques heures ce qui permet d'effectuer les opérations de marquage à terre ou sur le pont d'un bateau. Le diamètre maximum à la base de la coquille est noté pour chaque troca, avant sa remise en liberté.

Les premiers essais ont été réalisés avec des vis à bois

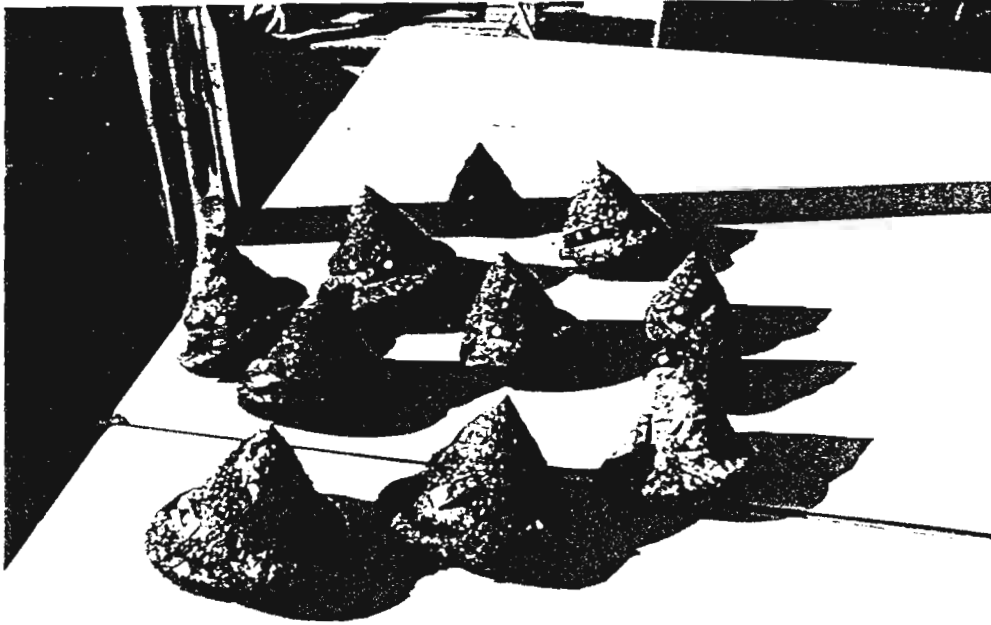


Fig. 33 - Troca marqué à l'aide d'une vis fixée sur la coquille



Fig. 34 - Premiers essais de marquage. La vis en laiton gêne la croissance régulière de la coquille.

en laiton. La corrosion n'a pas été l'obstacle majeur mais, ces vis étant pointues, le comblement de la face interne de la perforation par dépôt de nacre s'effectuait difficilement (fig. 34), d'où un ralentissement certain de la croissance. Les vis métalliques ont pu être remplacées par des vis téflon à extrémité arrondie. D'autre part, le trou, au lieu d'être percé perpendiculairement à la paroi a été fait tangentiellement à la dernière muraille de la coquille (fig. 35). Ceci limite les risques d'aspérité rencontrés pour le mollusque lorsqu'il s'étire à l'extérieur.

La technique, ainsi améliorée, s'est révélée très efficace car des trocas marqués ont pu être retrouvés après 38 mois de liberté. Les étiquettes faites à partir de rubans plastiques sont un peu fragiles et peuvent être avantageusement remplacées par des étiquettes poinçonnées en aluminium, ou en matière plastique épaisse (Bour & Grandperrin, 1985).

1.2. - Stations de marquage et résultats des recaptures

Les marquages ont pu être réalisés en six stations du Territoire (fig. 36). Le choix géographique a été commandé par les possibilités de visites périodiques et par l'absence théorique de pêche, comme au Phare Amédée ou à la Réserve biologique Merlet. En effet, le caractère sédentaire des trocas autorise une recapture directe et non pas par l'intermédiaire des pêcheurs comme c'est généralement le cas pour les poissons.

Les stations, deux au nord, quatre au sud, sont représentatives des types d'édifices récifaux et du milieu rocheux côtier où peuvent se développer les colonies de trocas.

Le tableau 16 résume les opérations de marquage et des recaptures successives pour les six stations.

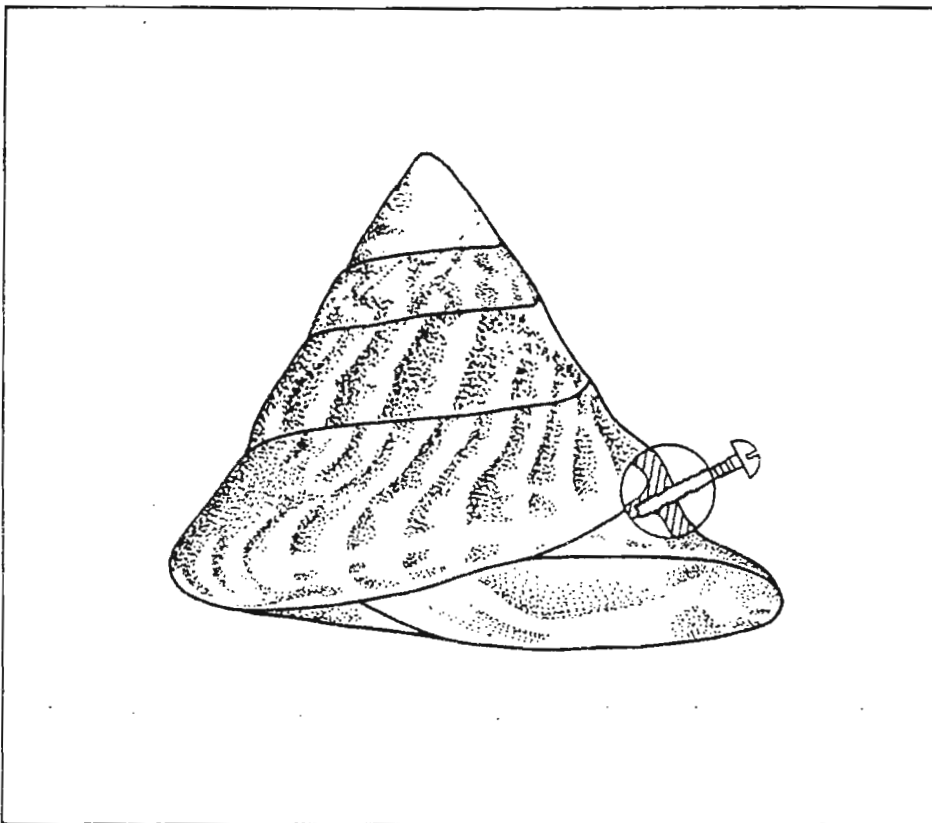


FIGURE 35—POSITION DE LA VIS EN TEFLON, ADOPTÉE POUR LIMITER LA PERTURBATION DE LA CROISSANCE, DUE AU MARQUAGE

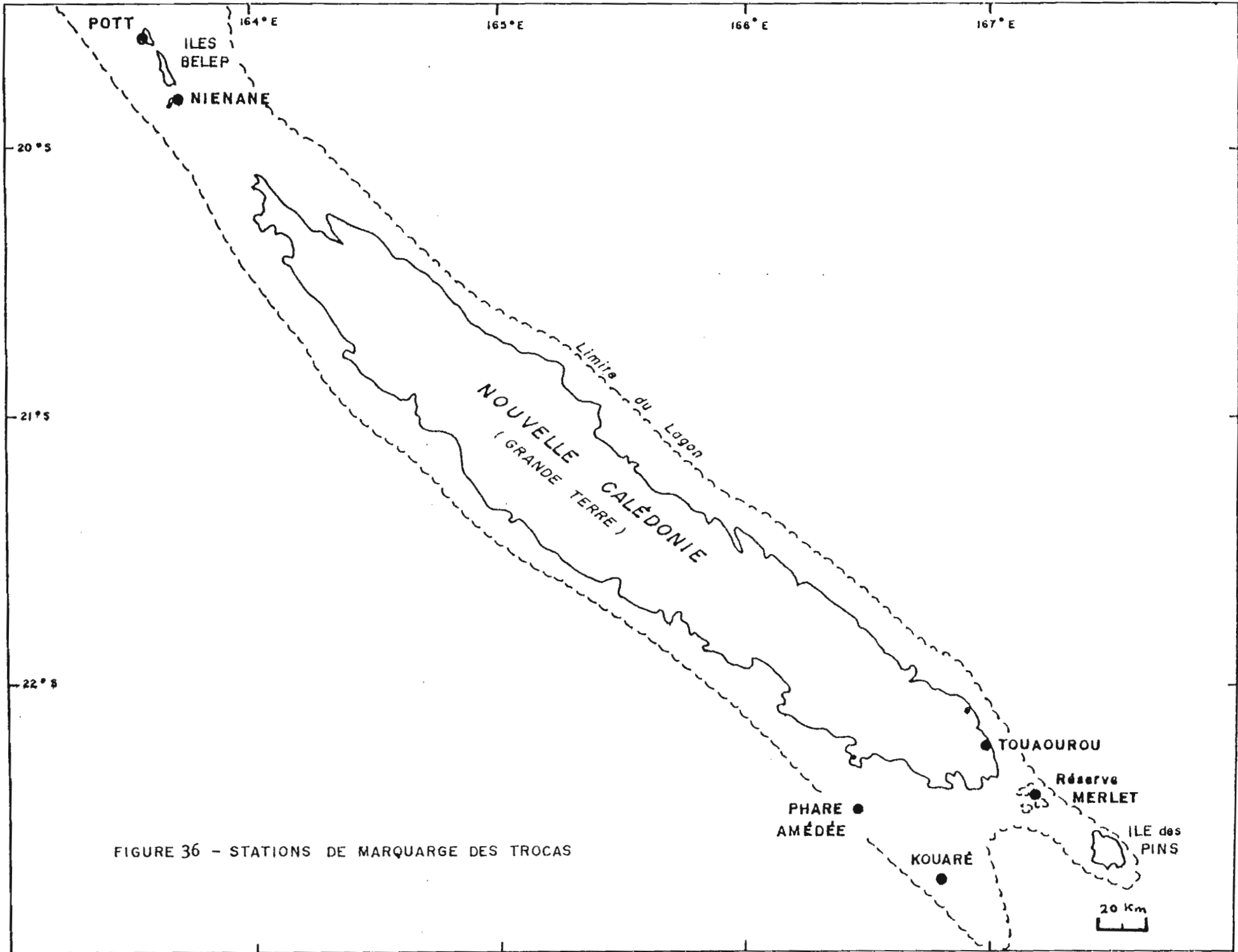


FIGURE 36 - STATIONS DE MARQUAGE DES TROCAS

Tableau 16 - Résumé des opérations de marquage et recaptures de trocas
entre juin 1978 et octobre 1981.

* Les trocas recapturés vivants sont remis en liberté après mensuration.

Stations	N° marquage	Nombre trocas marqués TM	N° recapture	Temps liberté depuis marquage (mois)	Nombre de Trocas recapturés *		Total trocas recapturés T R	Taux de recapture TR / TM %
					Vivant V	Mort M		
PHARE AMEDEE	1	107	1	5	39	11	50	47
			2	8	23	2	25	23
			3	15	6	0	6	6
	2	96	1	6	42	3	45	47
			2	9	40	2	42	44
			3	13	21	0	21	22
RESERVE MERLET	1	122	1	10	44	9	53	43
			2	18	17	3	20	16
			3	38	3	1	4	3
	2	35	1	8	16	2	18	51
			2	28	11	1	12	34
KOUARE	1	133	1	11	27	3	30	23
			2	21	2	0	2	2
TOUAOUROU	1	90	1	2	11	0	11	12
			2	4	11	1	12	13
NIENANE	1	180	1	10	35	1	36	20
POTT	1	162	1	10	13	8	21	13
TOTAL		931						

1.3. - Etablissement de la courbe de croissance

Le modèle de Von Bertalanffy a été utilisé car il s'adapte généralement bien, en prenant quelques précautions, aux données de croissance observées et peut être facilement utilisé ensuite dans les modèles d'évaluation des stocks. Sans reprendre dans le détail la théorie, bien décrite dans Gulland (1969), nous pouvons dire que l'équation de Von Bertalanffy permet d'évaluer des taux de croissance pour une tranche de vie de l'animal étudié qui nous intéresse et d'établir une relation moyenne taille/âge utile à la législation de la pêche.

L'équation générale pour une dimension linéaire L de l'animal est, en fonction du temps t :

$$L = L_{\infty} (1 - e^{-K(t - t_0)})$$

Les trois paramètres à définir sont :

- a) L_{∞} : valeur de L pour un taux de croissance nul; en effet, $\frac{dL}{dt} = K (L_{\infty} - L)$ est nul pour $L = L_{\infty}$
- b) K : constante proportionnelle à la vitesse de croissance. Elle caractérise la rapidité avec laquelle l'espèce étudiée croît en taille vers sa valeur maximale.
- c) t_0 : âge théorique pour lequel $L = 0$.

Si l'échantillonnage couvre bien tous les âges, L_{∞} sera proche de L_m , longueur maximale moyenne prise par l'espèce. En cas de pêche intensive, seuls les jeunes sont échantillonnés, ce qui exclut une évaluation de L_m et fournit un L_{∞} théorique permettant de décrire au mieux la croissance de ces jeunes individus (Le Guen, 1973).

Le paramètre t_0 peut être évalué si l'on possède quelques données absolues reliant âge et taille. Les travaux d'écloserie de trocas en bassins (voir plus loin) ont fourni ce type de données. En admettant que le modèle de Von Bertalanffy s'applique aux jeunes âges, t_0 a été estimé à environ 1 mois. Nous fixerons arbitrairement $t_0 = 0$ puisque l'erreur sur l'âge des adultes ne dépassera pas quelques semaines.

1.3.1. - Méthode d'estimation des paramètres

L_∞ et K

Chaque opération de marquage a fourni un fichier rendant compte de la croissance observée du diamètre maximum des coquilles, pour la ou les recaptures effectuées à chaque station.

En cas de recaptures successives, les trocas marqués ont pu être mesurés plusieurs fois car ils étaient remis en liberté après mensuration. Afin d'éliminer au maximum l'effet du traumatisme du marquage, les calculs ont pris en compte, à part la première recapture, la taille mesurée lors de la recapture précédente et la durée de liberté correspondante plutôt que la croissance cumulée depuis le marquage.

Pour les coquilles âgées, nous avons parfois enregistré des croissances négatives; la tentation est forte d'éliminer de telles données mais ce serait alors privilégier les erreurs de lecture par excès, donc d'augmenter artificiellement le rythme de croissance.

L'estimation des paramètres de la courbe de Von Bertalanffy, a été réalisée grâce à un programme écrit en Basic et utilisant la méthode des moindres carrés du programme BGC⁴ de P.K. Tomlinson (FAO, 1971).

Bien que la dimension mesurée sur les trocas soit un diamètre, nous la noterons par la lettre L pour, en particulier, utiliser la notation classique L_∞ .

Pour un temps de liberté Δt , la méthode va estimer K et L_{∞} qui minimisent la somme Q établie à partir des n couples $(L_{t_i}, L_{t_i + \Delta t_i})$ représentant le diamètre au marquage (ou recapture précédente) et la nouvelle valeur du diamètre au temps $t_i + \Delta t_i$.

$$Q = \sum_{i=1}^n (L_{t_i + \Delta t_i} - L_{t_i} e^{(-k \Delta t_i)} + L_{\infty} (L - e^{(-k t_i)}))^2$$

On obtient ainsi l'estimateur du maximum de vraisemblance pour K et L_{∞} si :

$$L_{t_i + \Delta t_i} = L_{t_i} e^{(-K \Delta t_i)} + L_{\infty} (1 - e^{(-K \Delta t_i)}) + \epsilon$$

où : ϵ suit une loi normale $N(0, \sigma^2)$, σ^2 indépendant de L_{t_i} et Δt_i .

1.3.2. - Résultats obtenus pour L_{∞} et K

La méthode de Tomlinson a été appliquée aux données de chacune des stations, puis aux données regroupées. Le tableau 17 présente les couples (L_{∞}, K) obtenus dans chaque cas :

Tableau 17 : Couples de valeurs (L_{∞}, K) pour les différents lieux de marquage et tous lieux confondus

Stations	L_{∞}	K
Phare Amédée 1	12,97	0,15
Phare Amédée 2	12,41	0,22
Merlet 1	12,60	0,28
Merlet 2	13,13	0,30
Kouaré	11,09	0,54
Touaourou	8,49	0,62
Niénane	12,69	0,11
Pott	8,68	0,48
Toutes stations confondues	13,30	0,16

Les paramètres K et L_{∞} sont très variables d'une station à l'autre. C'est une situation normale puisqu'ils permettent d'ajuster au mieux le modèle de Von Bertalanffy aux données observées pour des échantillonnages de trocas fort différents. En

effet, les classes de tailles échantillonnées varient d'une station à l'autre (fig. 37a,b,c,d,e,f) et les sites choisis pour les marquages présentent des différences.

Phare Amédée : cuvettes récifales près du tombant d'un récif frangeant d'ilot. Zone calme.

Merlet : cuvettes récifales d'un récif du large, environnées de corail vivant. La zone est soumise à l'agitation du ressac.

Kouaré et Pott : dalles récifales de récifs frangeants. Zone assez battue.

Niénane : éperon d'éboulis rocheux non coralliens. Zone abritée.

Touaourou : platier de récif frangeant. Zone calme.

1.3.3. - Comparaison entre stations

Afin de comparer les croissances entre les différentes stations, il a paru intéressant de fixer L_{∞} à la valeur 13,3 cm calculée pour l'ensemble des données.

Deux raisons essentielles autorisent cette généralisation:

- 1°/ Le modèle $L = 13,3 (1 - \exp(-Kt))$ n'a plus qu'un paramètre (K) inconnu; il continue néanmoins à décrire de façon satisfaisante la croissance. La figure 38 permet de voir comment se répartissent les croissances observées et la courbe moyenne calculée avec $L_{\infty} = 13,3$ et $K = 0,24$, obtenu pour la station Merlet. Les taux de croissance observés pour chaque troca marqué se répartissent fort bien autour du modèle, quelles que soient les classes de tailles.
- 2°/ Les comparaisons entre stations devraient se faire en comparant les croissances dans des intervalles identiques de tailles observées et sans hypothèse sur les paramètres. Mais en raison du nombre réduit des marquages à chaque

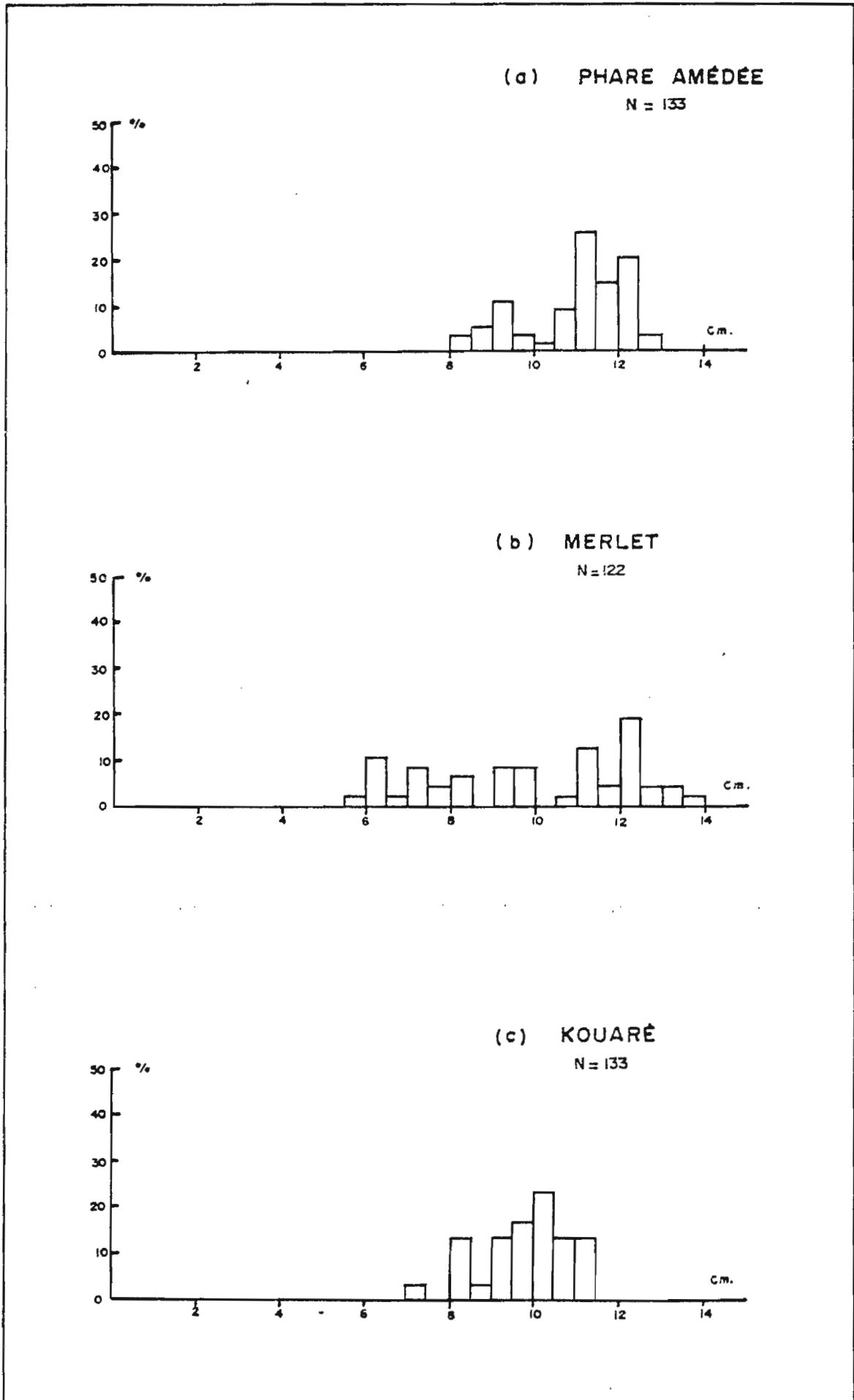


FIGURE 37 -(a,b,c) DISTRIBUTION DE TAILLES DE TROCAS MARQUÉS POUR CHAQUE STATION

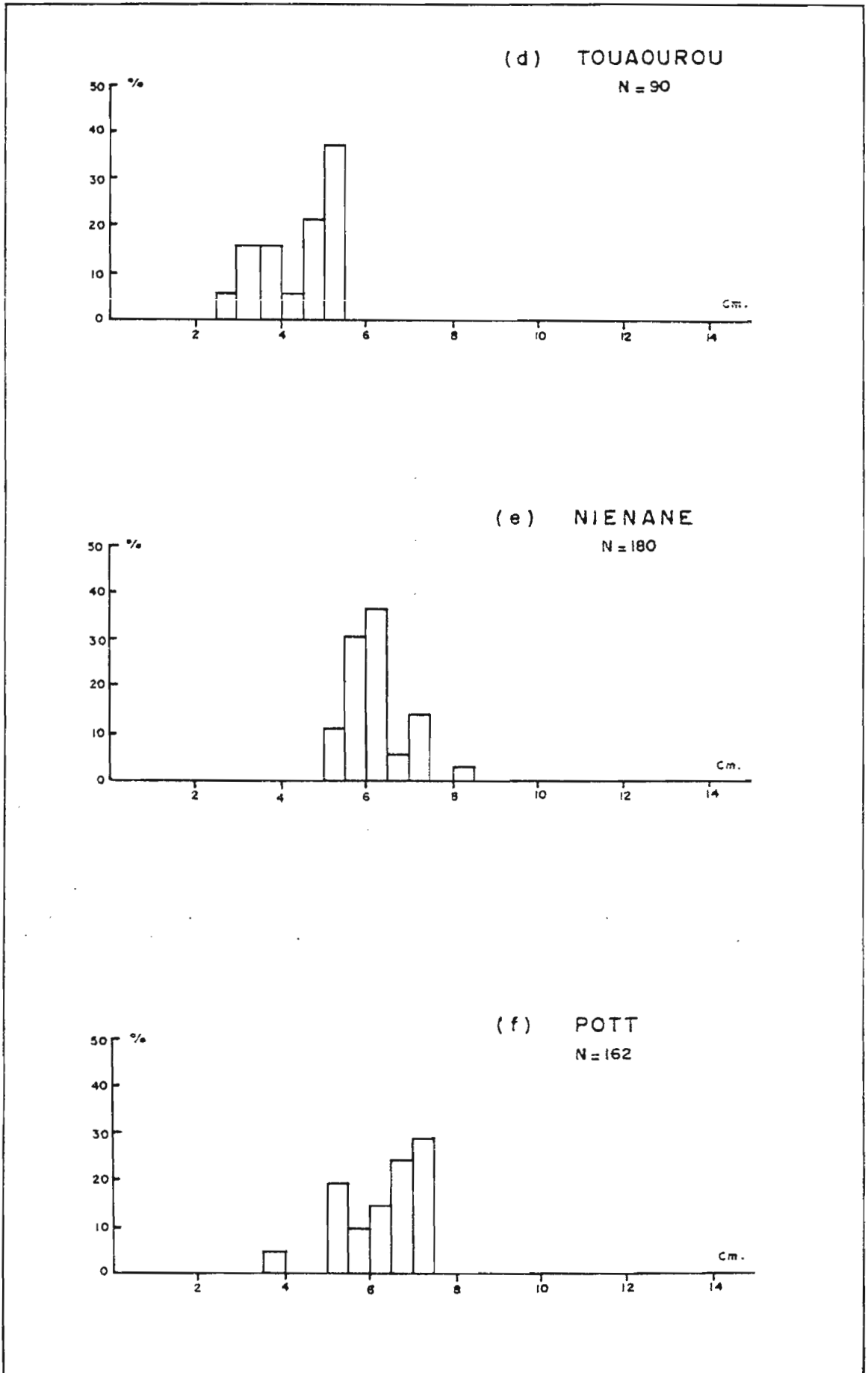


FIGURE 37 - (d,e,f) DISTRIBUTION DES TAILLES DE TROCAS MARQUÉS POUR CHAQUE STATION

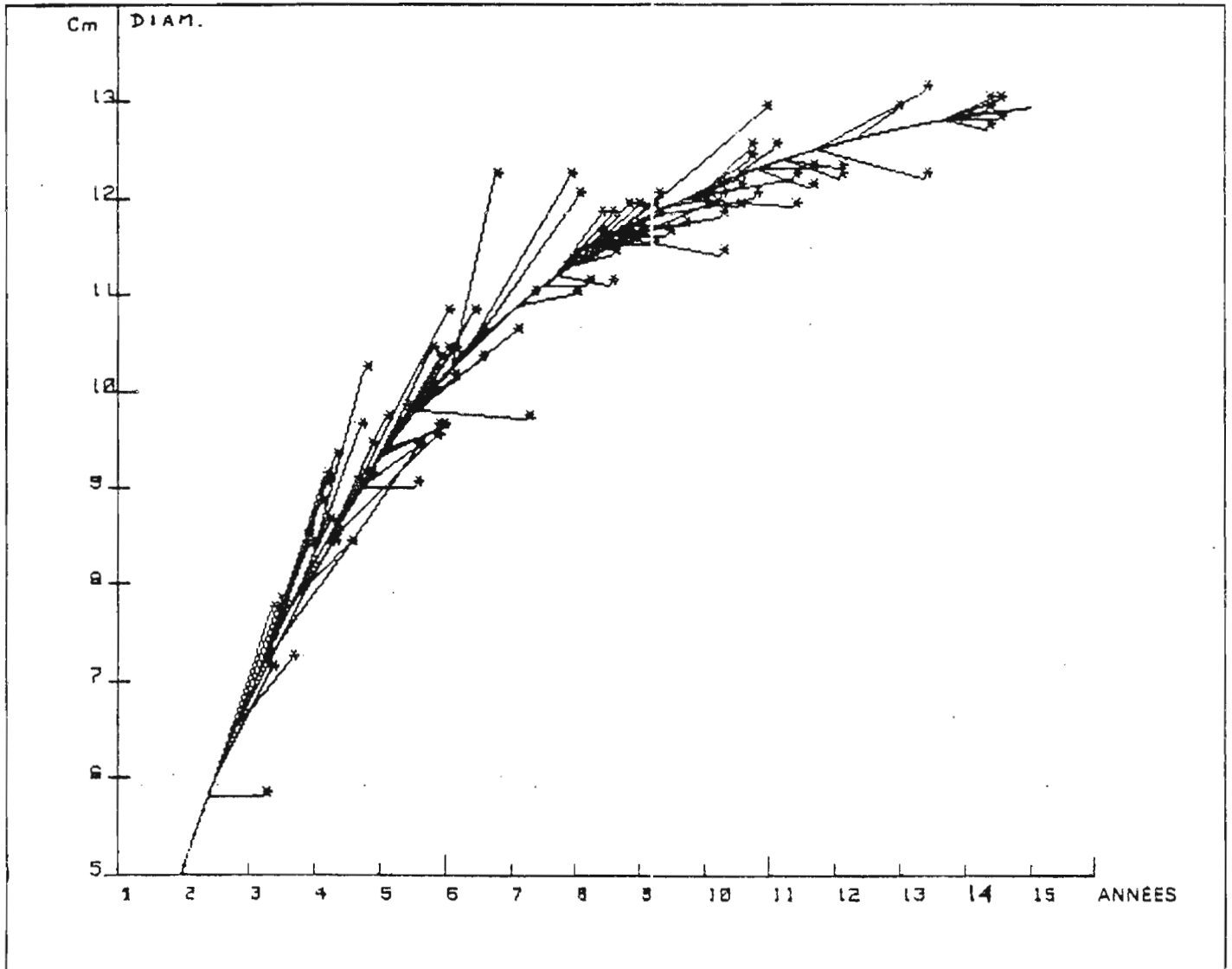


Figure 38 - Taux de croissance observés et courbe de croissance calculée pour la station MERLET.
(Les segments de droite représentent les accroissements en diamètre observés dans l'intervalle marquage/recapture).

station, les classes de tailles observées se recouvrent peu; il est donc nécessaire de créer un modèle qui permette d'extrapoler en dehors de l'intervalle d'observation, pour comparer les stations entre elles. Les marquages de Touaourou sont typiques à cet égard.

La figure 39 montre (pour les trocas de cette station dont les diamètres échantillonnés vont de 3 à 6 cm) :

- les taux de croissance empirique τ obtenus pour chacun des trocas marqués

- deux droites d'équation $\frac{dL}{dt} = K (L_{\infty} - L)$

avec (1) $L_{\infty} = 13,30$ }
 $K = 0,28$ } (L_{∞} fixé et K déduit)

et (2) $L_{\infty} = 8,49$ }
 $K = 0,62$ } (L_{∞} et K calculés par la méthode de Tomlinson)

Rappelons que ces droites ne sont pas de simples régressions calculées sur les τ empiriques.

Si l'on admet que les rapports τ sont de bonnes approximations des taux $\frac{dL}{dt}$, les droites (1) et (2) sont également acceptables, face à la grande variabilité des valeurs de τ ; mais la droite (1) a toutefois le mérite de ne pas entraîner de croissance nulle pour des trocas de 9 cm, comme c'est le cas de la droite (2) !

Ainsi, le fait de fixer L_{∞} et de calculer pour chaque station le seul paramètre K :

- fournit un modèle simple à un paramètre,
- décrit de façon satisfaisante la croissance pour toutes les classes de tailles échantillonnées dans les stations,
- permet d'extrapoler les résultats d'une station, aux classes de tailles non représentées dans la station.

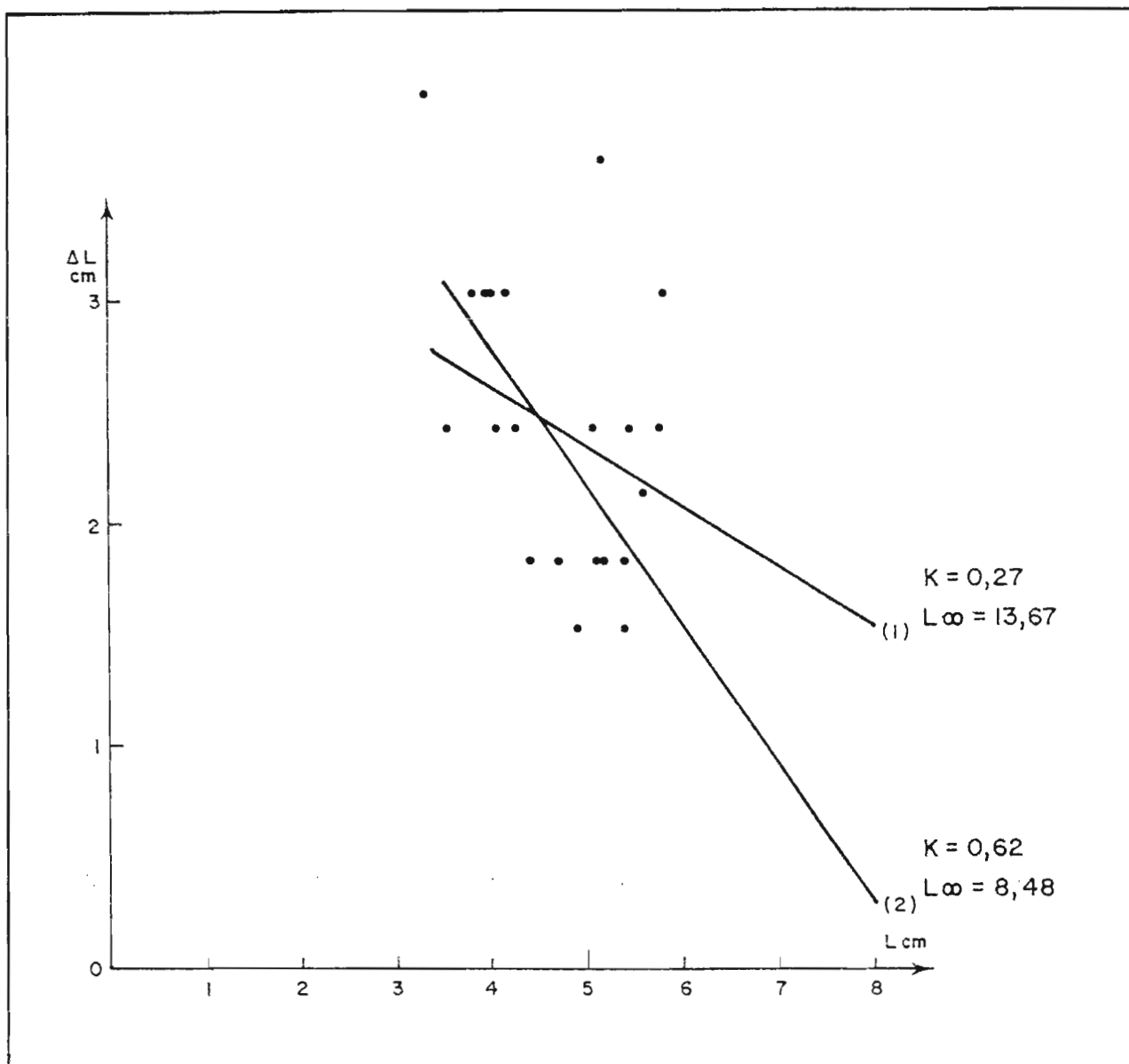


Fig. 39 - Taux de croissance empirique et droites des taux d'accroissements calculés pour L_{∞} fixé (1) et L_{∞} calculé (2) à la station Touaourou.

L_{∞} étant fixé à 13,30, le paramètre K a été calculé pour cinq stations caractéristiques d'un site particulier (tableau 18).

Tableau 18 : Comparaison du paramètre K pour différents sites

Stations	Nature du site	K (int. conf. à 95 %)
Touaourou	Platier Récif frangeant	0,28 \pm 0,04
Phare Amédée	Cuvettes récifales Récif frangeant	0,15 \pm 0,03
Merlet	Cuvettes récifales Récif du large	0,24 \pm 0,04
Kouaré	Dalles récifales Récif frangeant	0,15 \pm 0,03
Niénane	Rochers non coralliens	0,10 \pm 0,02

En première approximation, la croissance des trocas a été plus rapide à Touaourou et Merlet qu'au Phare Amédée et à Kouaré. Elle semble particulièrement lente à Niénane.

Les sites où ont été effectués les marquages ne sont pas caractéristiques de faciès récifaux bien précis; il serait hasardeux de généraliser mais nous pouvons dire qu'il n'est pas étonnant d'observer une croissance plus rapide sur platier et cuvettes récifales, zones généralement fréquentées par les trocas. Les rochers non coralliens ne semblent pas très favorables mais ils constituent un site rarement rencontré envahi par les trocas.

1.3.4. - Choix d'une courbe de croissance moyenne

Nous avons vu précédemment qu'un paramètre L_{∞} commun à toutes les stations ne modifiait que dans une très faible mesure la concordance croissance théorique-données observées, pour toutes

les classes de tailles; le choix d'une courbe de croissance moyenne conduit à sélectionner une valeur de K, également commune. Le traitement de l'ensemble des données (celles de Niénane exclues car le site composé de rochers est très particulier) a donné :

$$K = 0,19$$

La figure 40 montre le bon ajustement des données observées pour toutes les stations avec la courbe moyenne définie par $L_{\infty} = 13,30$ et $K = 0,19$.

Nous retiendrons donc les formules suivantes pour connaître l'âge t en fonction du grand diamètre basal L et réciproquement:

$$\text{Relation Taille/Âge} : L = 13,3 (1 - e^{-0,19t})$$

$$\text{Relation Âge/Taille} : t = \frac{1}{0,19} \text{Ln} \frac{(13,3 - L)}{13,3}$$

(L en cm)

(t en années)

Le tableau 19 résume ces relations par pas d'un an.

Tableau 19 : Relation Age/Taille et réciproque

AGE (ans)	TAILLE (cm)	TAILLE (cm)	AGE (ans)
1	2,3	3	1,4
2	4,2	4	1,9
3	5,8	5	2,5
4	7,1	6	3,1
5	8,2	7	3,9
6	9,0	8	4,8
7	9,8	9	5,9
8	10,4	10	7,3
9	10,9	11	9,2
10	11,3	12	12,2

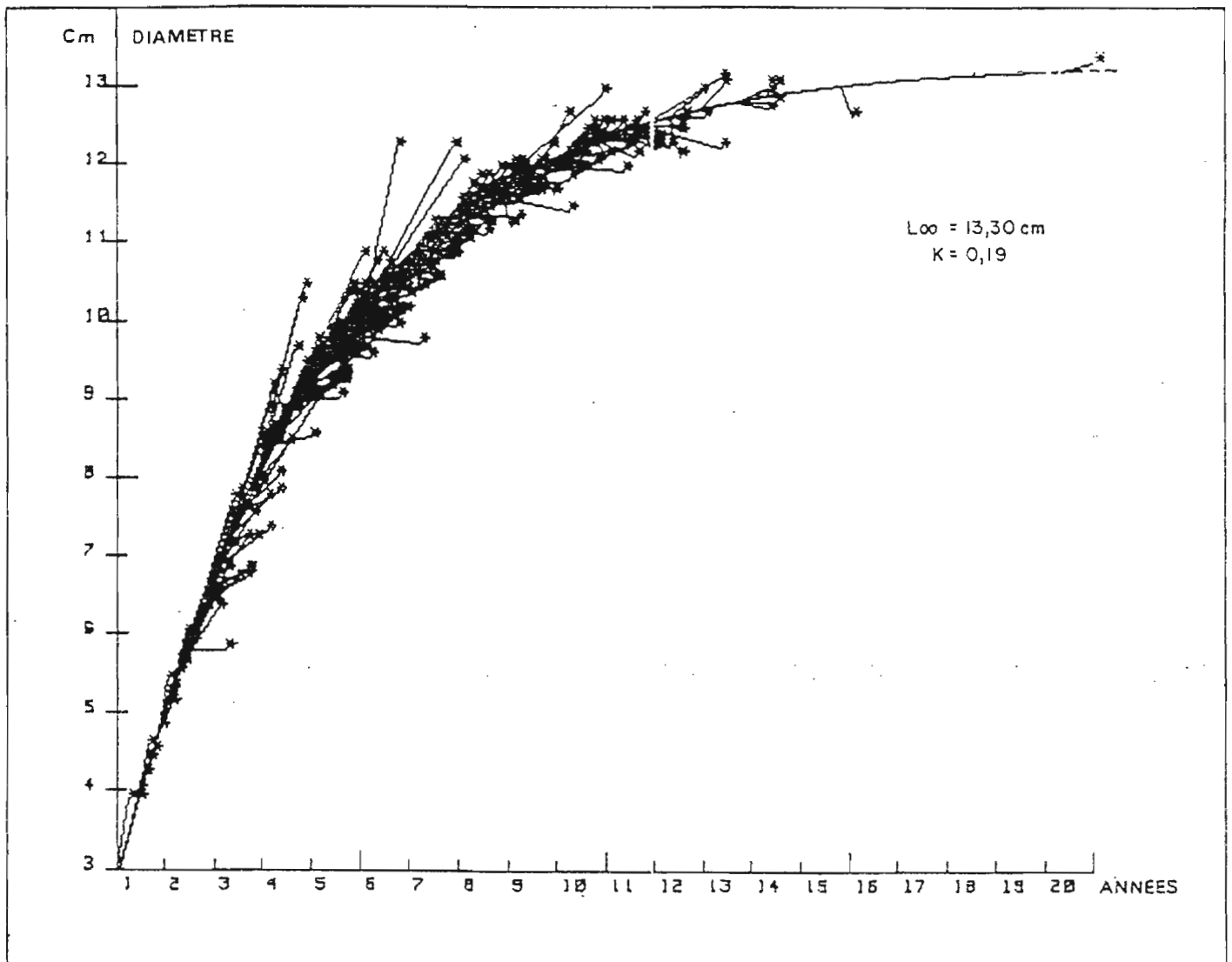


Fig. 40 - Taux de croissance observés et courbe de croissance moyenne pour toutes les stations (Niémane exclue).
(Les segments de droite représentent les accroissements en diamètre observés dans l'intervalle marquage/recapture).

1.3.5. - Comparaison avec d'autres auteurs

Tous les auteurs ont utilisé la méthode du marquage. Le type de marque utilisé a évolué avec les matériaux disponibles à l'époque de l'expérience.

Citons entre autre :

Inde, Rao (1936)	: plaque et fil de cuivre passé dans un trou de la coquille.
Palau, Asano (1940)	: plaque d'argent.
Nouvelle Calédonie, Gail (1958)	: plaque et rivet d'aluminium.
Australie, Nash (1985)	: étiquette plastique et colle époxy.
Japon, Ken Honma (1987)	: étiquette plastique et fil de nylon.

La grandeur mesurée pour suivre la croissance était également pour ces auteurs le grand diamètre de la base de la coquille. Rao a tenté d'utiliser l'accroissement de la spire mais sans grand succès. Les recaptures ont été espacées de un à six mois selon les auteurs et étaient renouvelées tant que le taux de recapture ne devenait pas négligeable.

Les courbes obtenues dans des régions variées par ces auteurs sont représentées sur la figure 41.

Les travaux récents ont utilisé le modèle de Von Bertalanffy; les paramètres K et L_{∞} donnent une idée de la grande variabilité des croissances observées : K est compris entre 0,11 et 0,66; L_{∞} va de 8 à 16 cm. Les valeurs de K les plus élevées donc les vitesses de croissance les plus rapides s'observent dans les régions inter-tropicales où les eaux conservent des températures élevées toute l'année. C'est le cas des Iles Andaman, en Inde, à Palau, en Micronésie, sur la Grande Barrière australienne et à Vanuatu.

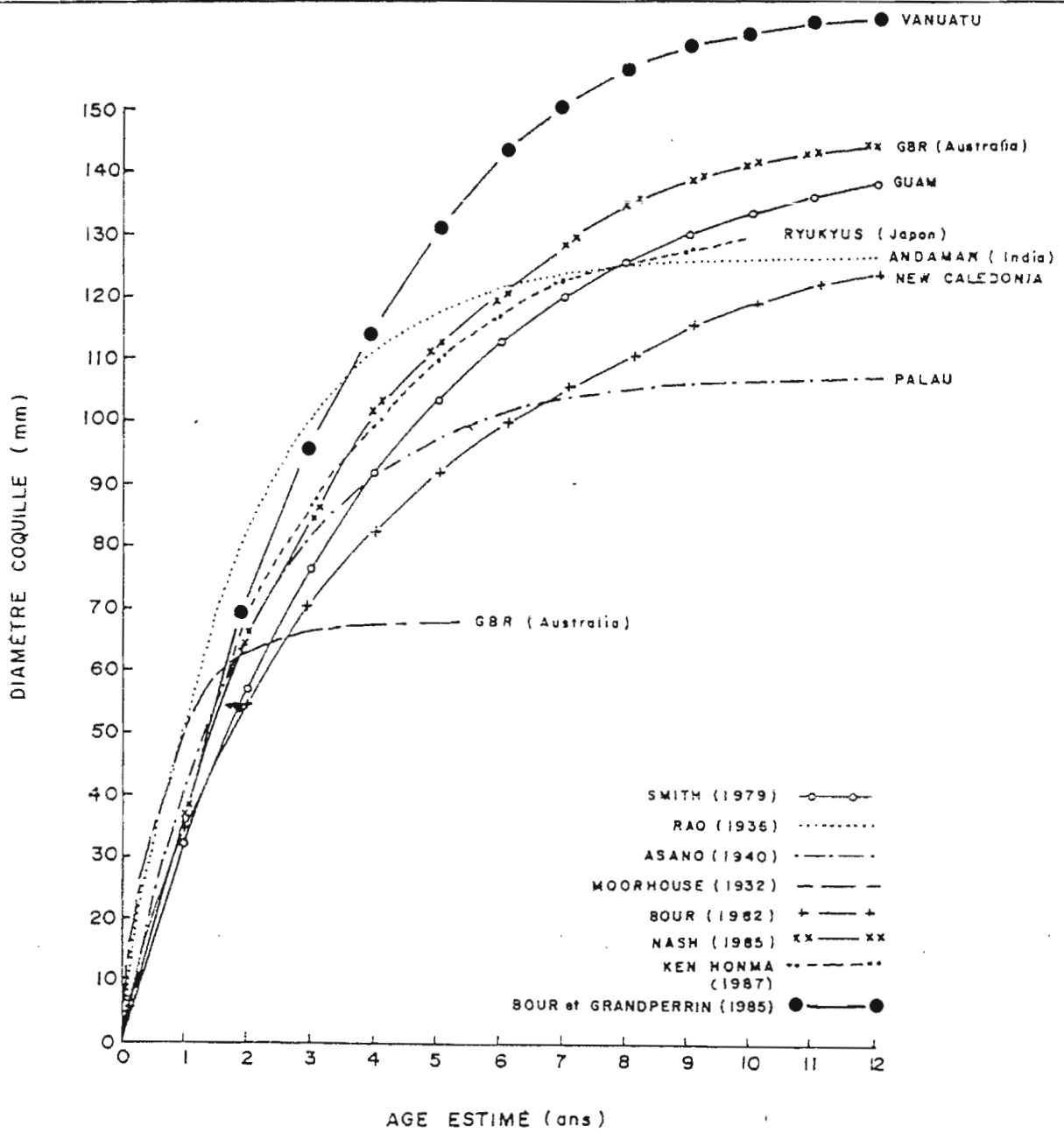


Figure 4f : Croissance des trocas adultes.

Les accroissements publiés par Gail (1958) pour des trocas néo-calédoniens sont plus élevés que ceux fournis par notre courbe moyenne mais ils sont très voisins des accroissements décrits par la courbe obtenue pour la station Touaourou seule (figure 42). Il est possible que les marquages effectués par Gail aient eu lieu dans des sites aussi favorables que celui de Touaourou et représentent ainsi un cas particulier; la publication de Gail ne fournit pas d'élément permettant de trancher.

Les plus grandes tailles de trocas observées dans le milieu naturel vont de 15 à 16,5 cm de diamètre (un individu de cette dernière taille a été pêché dans le lagon de l'île d'Ouvéa, Nouvelle Calédonie; il serait âgé de plus de 20 ans).

Une croissance différentielle entre mâle et femelle n'a pas été formellement établie. Rao et Raja (1936) avaient trouvé une croissance plus rapide pour les femelles, Nash (1985) a trouvé l'inverse.

La croissance des trocas semble donc très dépendante de l'environnement : température de l'eau (latitude, saison), qualité du substrat et nourriture disponible. Heslinga (1981) a obtenu en élevage des coquilles de 6 cm en un an, une croissance deux fois plus rapide que dans le milieu naturel.

A l'appui de la forte relation environnement - croissance, l'opération de marquage réalisée à Vanuatu (ex - archipel des Nouvelles Hébrides) (Bour et Grandperrin, 1985) est très représentative. Le marquage a été effectué avec la même technique qu'en Nouvelle Calédonie mais à une station unique composée de larges dalles récifales en mode assez battu. Ces gastéropodes sont très recherchés à Vanuatu; afin d'assurer quelques recaptures, un communiqué en trois langues (anglais, français, bichlamar) a été diffusé par Radio-Vanuatu et des lettres ont été expédiées aux Présidents des Comités des Terres. En dépit de ces précautions, au bout d'un an, seulement 6 trocas sur 194 étaient pêchés lors d'une

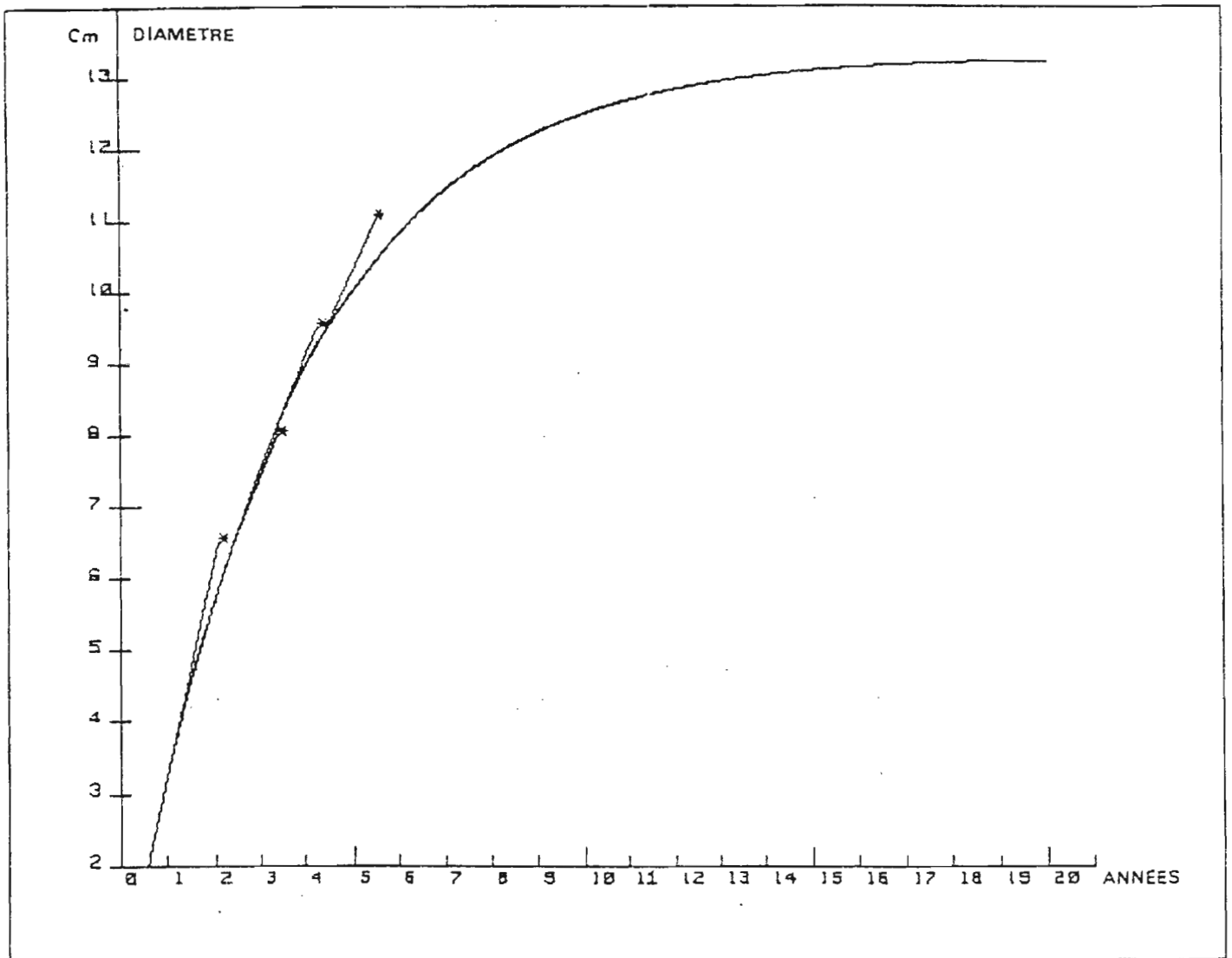


Fig. 42 - Taux de croissance observés par GAIL (1958) comparés à la courbe de croissance calculée pour TOUAOUROU.
(Les segments de droite représentent les accroissements en diamètre observés dans l'intervalle marquage/recapture).

troisième recapture. La croissance a toutefois pu être établie avec les paramètres suivants :

$$L_{\infty} = 16,3 \text{ cm}$$

$$K = 0,32$$

A l'évidence, il s'agit d'une croissance particulièrement rapide, elle surpasse même celle obtenue dans une région plus équatoriale comme Guam (figure 41). Les conditions de cette station à Vanuatu étaient particulièrement favorables : algues encroûtantes abondantes, houle modérée, faible profondeur du platier, température moyenne de l'ordre de 27°. Les conditions optimales pour l'espèce étaient probablement réunies à cet endroit.

2 - Etude de la mortalité naturelle

Dans chacun des secteurs où ont été effectuées les mesures de croissance par recapture, plusieurs trocas marqués ont été recapturés morts. On a élaboré un modèle tenant compte du fait que ces animaux laissent sur place, après leur mort, une coquille vide.

2.1. - Présentation du modèle

On considérera dans la présentation du modèle trois pêches de recapture sur un échantillon de N trocas marqués.

a) Les paramètres de mortalités et de migration

- M': taux de mortalité naturelle, supposé indépendant de l'âge du troca.
- F': taux de "disparition" du secteur de marquage. Il comprend la mortalité par pêche, la migration hors de la zone prospectée, la dissimulation totale (c'est-à-dire

le fait pour l'animal de se cacher de façon si efficace qu'il ne pourra plus jamais être vu), la perte de marque.

Ainsi sachant que le troca est vivant dans la station de marquage à l'instant t_0 , 3 évènements sont possibles à l'instant t .

1) Le troca est vivant et sur le lieu de marquage

$X(t - t_0) = \exp(-(F' + M')(t - t_0))$ est la probabilité de cet évènement.

2) Le troca est mort de mort naturelle (et par hypothèse resté sur les lieux de marquage)

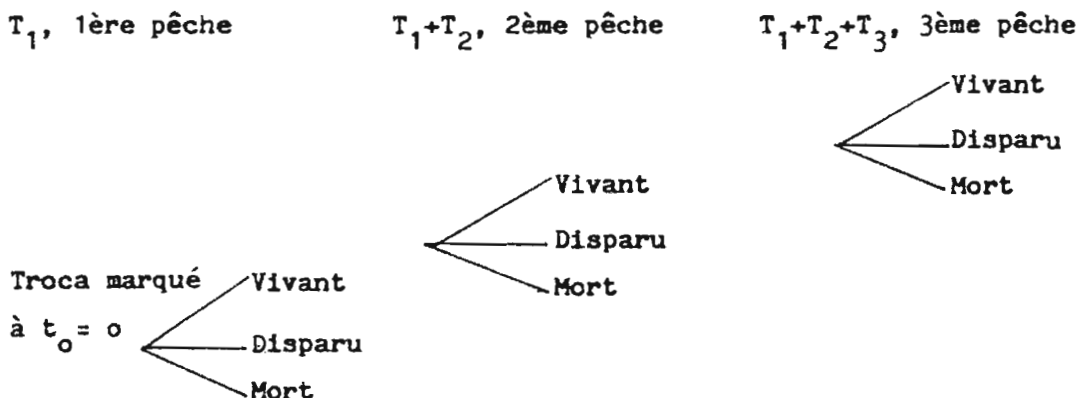
$$M(t - t_0) = \frac{M'}{M' + F'} (1 - \exp(-(F + m)(t - t_0)))$$

3) Le troca a disparu

$$F'(t - t_0) = \frac{M'}{M' + F'} (1 - \exp(-(F + m)(t - t_0)))$$

b) Les différents cas possibles lors des pêches de recaptures.

Pour l'ensemble des n pêches de recaptures (séparées par des intervalles de temps T_1, T_2, \dots, T_n), les évènements suivants sont envisageables :



Si on considère les 3 états successifs d'un animal au cours de 3 pêches de recaptures, 7 cas sont possibles :

- C_1 : Vivant, Vivant, Vivant
- C_2 : Vivant, Vivant, Disparu
- C_3 : Vivant, Vivant, Mort
- C_4 : Vivant, Disparu
- C_5 : Vivant, Mort
- C_6 : Disparu
- C_7 : Mort

On a :

$$\begin{aligned}P(C_1) &= X(T_1 + T_2 + T_3) \\P(C_2) &= X(T_1 + T_2) F(T_3) \\P(C_3) &= X(T_1 + T_2) M(T_3) \\P(C_4) &= X(T_1) F(T_2) \\P(C_5) &= X(T_1) M(T_2) \\P(C_6) &= F'(T_1) \\P(C_7) &= M(T_1)\end{aligned}$$

Certains trocas ne sont pas vus lors de la première pêche de recapture mais lors de la seconde ou la troisième. On déduit de cela de précieux renseignements sur les taux de recaptures p_1, p_2, p_3 .

- On notera :
- $q_i = 1 - p_i$
 - 2 = le troca est vu vivant
 - 1 = le troca est vu mort
 - 0 = le troca n'est pas vu

Les trocas morts et vus ont été retirés du lieu de marquage.

Les 12 cas suivants se sont présentés lors des pêches de recaptures, et leur probabilité sont explicitées :

- p (1) : $P(2,0,0) = X(T_1) p_1 [F'(T_2) + X(T_2) Q_2 [(F'(T_3) + Q_3 (1 - F'(T_3)))] + M(T_2) Q_2 Q_3]$
- p (2) : $P(0,0,0) = F'(T_1) + M(T_1) Q_1 Q_2 Q_3 + Q_1 X(T_1) [F'(T_2) + M(T_2) + M(T_2) Q_2 Q_3 + Q_2 X(T_2) (F'(T_3) + (1 - F'(T_3)) Q_3)]$
- p (3) : $P(2,2,0) = p_1 p_2 X(T_1 + T_2) [F'(T_3) + (1 - F'(T_3)) Q_3]$
- p (4) : $P(1) = p_1 M(T_1)$
- p (5) : $P(2,2,2) = p_1 p_2 p_3 X(T_1 + T_2 + T_3)$
- p (6) : $P(0,2,0) = q_1 p_2 X(T_1 + T_2) [F'(T_3) + (1 - F'(T_3)) Q_3]$
- p (7) : $P(2,1) = p_1 p_2 X(T_1) M(T_2)$
- p (8) : $P(0,1) = q_1 p_2 M(T_1 + T_2)$
- p (9) : $P(2,0,1) = X(T_1) M(T_2 + T_3) p_1 q_2 p_3$
- p (10) : $P(0,2,2) = X(T_1 + T_2 + T_3) q_1 p_2 p_3$
- p (11) : $P(0,0,2) = X(T_1 + T_2 + T_3) q_1 q_2 p_3$
- p (12) : $P(2,0,2) = X(T_1 + T_2 + T_3) p_1 q_2 p_3$

3 autres cas sont possibles : (2,2,1), (0,2,1), (0,0,1).

2.2. - Méthode d'estimation des paramètres

L'échantillon de N trocas suivra une loi multinomiale de probabilités $p(1), \dots, p(15)$.

Si $n(i)$ est le nombre de trocas dans le cas i , on a :

$$P(n(1), \dots, n(12) / p_1, p_2, p_3, M', F') = \frac{\pi}{n(1)! \dots n(12)!} \frac{p(i)^{n(i)} x N!}{n(1)! \dots n(12)!}$$

On cherchera les valeurs $(p_{o1}, p_{o2}, p_{o3}, m_o, f_o)$ maximisant la valeur $P(n(1), \dots, n(12) / p_1, p_2, p_3, M', F')$.

On notera χ_o l'estimateur dans R^5 : $(p_{o1}, p_{o2}, p_{o3}, M'o, F'o)$.

Soit φ la fonction de vraisemblance :

$$\begin{aligned}\varphi(p_1, p_2, p_3, M, F) &= \log \left(\prod_{i=1}^{12} [p(i/p_1, p_2, p_3, M, F)]^{n(i)} \right) \\ &= \sum_{i=1}^{12} n(i) \log (p(i/p_1, p_2, p_3, \dots))\end{aligned}$$

On cherchera la valeur x_0 où la fonction φ atteint son maximum.

(x_0 est l'estimateur du maximum de vraisemblance).

La recherche d'un extremum d'une fonction de plusieurs variables est en général difficile. Les vallées, cols, ... sont autant de pièges où les algorithmes de convergence s'égareront.

Deux méthodes ont été combinées :

- La méthode de Newton-Raphson
- La méthode du gradient.

a) La méthode de Newton-Raphson

Si x_n est la valeur au $n^{\text{ième}}$ pas de l'algorithme, la méthode de Newton nous propose :

$$x_{n+1} = x_n - (H(x_n))^{-1} G(x_n)$$

où

$G(x_n)$ est le gradient au point x_n

$H(x_n)$ est la matrice des dérivées de second ordre au point x_n .

Les coordonnées du vecteur $G(x_n)$ sont les suivantes :

Si on note $x = (x_1, x_2, x_3, x_5)$

$$\frac{\partial \varphi(x)}{\partial x_j} = - \sum_{i=1}^{12} \frac{n(i)}{p(i/x)} \frac{\partial p(i/x)}{\partial x_j}$$

où les $p(i/x)$ données précédemment nous permettent d'obtenir les formules des dérivées partielles.

$$\frac{\partial^2}{\partial x_j \partial x_k} (\chi) = - \sum_{i=1}^n \frac{n(i)}{p(i/x)} \left[\frac{\partial^2 p(i/x)}{\partial x_j \partial x_k} - \frac{1}{p(i/x)} \frac{\partial p(i/x)}{\partial x_j} \frac{\partial p(i/x)}{\partial x_k} \right]$$

La méthode de Newton permet d'atteindre la valeur x_0 annulant le gradient.

(Rappelons qu'en dimension 1 on utilise la formule :

$$x_{n+1} = x_n - \frac{f(x_n)}{f'(x_n)}$$

lorsqu'on recherche la valeur x_0 telle que $f(x_0) = 0$).

Dans le cas d'une fonction de plusieurs variables, nous posons :

$$x_{n+1} = x_n - (H(x_n))^{-1} G(x_n)$$

Le domaine de convergence de la méthode n'est pas très vaste, aussi pour chaque valeur x_{n+1} calcule-t-on $\varphi(x_{n+1})$ et lorsque $\varphi(x_{n+1}) < \varphi(x_n)$ on pose alors $H_n^k(i,j) = H_n(i,j)$ si $i \neq j$ et $H_n^k(i,i) = H_n(i,i) \lambda^k$

où $\lambda = 2$ et

$$x_{n+1}^k = x_n + (H_n^k(x_n))^{-1} G(x_n)$$

Si $(x_{n+1}^2) < (x_n)$ on calcul $\varphi(x_{n+1}^3) \dots$

enfin si $\varphi(x_{n+1}^6) < \varphi(x_n)$

on utilise pour le calcul de x_{n+1} la méthode du gradient.

b) La méthode du gradient

$$x_{n+1} = x_n + C G(x_n)$$

où

$C = 10^{-5}, 10^{-3}, 10^{-2}$ suivant la valeur de $\|G(x_n)\|$.

2.3. - Résultats

L'estimateur χ_o , à 4 ou 5 paramètres suivant le nombre de recaptures (2 ou 3), a été calculé à partir :

- du nombre de trocas obtenus dans les divers cas possibles définis précédemment,
- des intervalles de temps entre les pêches.

On a ensuite comparé les résultats observés (c'est-à-dire le nombre de trocas observés correspondant à chaque cas possible aux valeurs moyennes prédites à partir de l'estimateur χ_n . En effet, N étant le nombre d'individus échantillonnés, le nombre de trocas observés dans le cas i de probabilité

$P (1/P_o1, P_o2, P_o3, M'o, F'o)$ sera d'espérance
 $N \times P (1/P_o1, P_o2, P_o3, M'o, F'p)$.

a) Résultats dans le cas de marquages ayant donné lieu à deux recaptures

Trois stations de marquage présentent ces conditions Touaourou, Kouaré et le 2ème marquage de la réserve Merlet.

On notera que le bon ajustement entre les valeurs prédites et obtenues ne signifie pas que le modèle utilisé soit parfait. Cela peut être simplement dû au fait que nous calculons 4 paramètres à partir d'un petit nombre de valeurs observées. A la limite, il nous importe peu que P2 (taux de recapture calculé pour la deuxième pêche) soit éloigné de sa valeur réelle. Contrairement au cas "3 recaptures", où certains animaux peuvent être observés à la 3ème pêche et non à la seconde, nous n'avons aucune contrainte particulière sur P2. La variation de P2 par rapport à P1 peut aussi bien signifier :

- une variation réelle d'efficacité de la pêche
- des taux de disparition f différents entre la première et la seconde période.

Dans le cas du marquage effectué dans la réserve Merlet, il n'existe pas de maximum au sens strict de la fonction Ψ . En particulier, l'augmentation de P2 jusqu'à 1 (pour les valeurs des autres paramètres annulant les dérivées de premier ordre) ne fait qu'augmenter la valeur de la fonction de vraisemblance Ψ . On a choisi de fixer arbitrairement P2 à 0,95 et de calculer en fonction de cette contrainte les autres paramètres.

Les résultats apparaissent sur le tableau 20.

b) Résultats dans le cas de marquages
ayant donné lieu à trois recaptures

Trois stations ont donné lieu à 3 pêches de recapture; deux sont situées près de l'îlot Amédée. Le premier de ces deux marquages fournit un taux de mortalité très élevé ($M' = 0,024$). L'écart entre le nombre de trocas trouvés morts (11) lors de la première pêche et la valeur prédite à partir de l'estimateur χ_0 (6,8) est largement dû à la mortalité ayant fait suite au marquage. La technique de marquage (la première utilisée dans notre étude) a entraîné une mortalité supplémentaire non négligeable. L'estimation de la valeur M' de la mortalité naturelle calculée à partir des données du premier marquage effectué au Phare Amédée semble donc devoir être rejetée.

La troisième station est située dans la réserve Merlet.

Lors de la première recapture effectuée à la réserve Merlet, 5 trocas furent retrouvés sans étiquette mais présentant encore la vis du marquage. On a considéré qu'ils suivaient le cas (2,0,0). F' comprend dans le cas présent l'effet de la recapture puisque ces animaux ne sont pas remis en liberté. Trois trocas ont été retrouvés sans étiquette lors de la troisième pêche. On a augmenté le nombre des trocas suivant le cas (2,2,2) de 3 et diminué celui du cas (2,2,0) d'autant.

Le tableau 21 montre les résultats obtenus.

Tableau 20 : Estimation de la mortalité naturelle.
(cas de 2 recaptures).

	MERLET		TOUAOUROU		KOUARE	
	Nombre de trocas marqués	35		92		141
Nombre de trocas vus au moins une fois.	24		20		36	
Intervalle de temps en mois : T1 ; T2.	7,7 ; 20		2 ; 2,3		10,6 ; 10	
Nombre de trocas dans les différents cas :	Prédits	Réels	Prédits	Réels	Prédits	Réels
2,0	7.9	7	7.7	8	31.3	31
0,0	10.4	11	72.2	72	104.9	105
2,2	9.3	9	3.0	3	1.5	2
1	.8	2	.2	0	2.8	3
0,2	4.3	5	8.2	8	.3	0
2,1	1.3	1	.1	0	.1	0
0,1	1.0	0	.7	1	.1	0
Paramètres						
P1		.68		.27		.85
P2		.97		.72		.16
M'		.0050		.0070		.0039
F'		.028		.407		.118

Notation :

2 : le troca est vu vivant

1 : le troca est vu mort et retiré de la station

0 : le troca n'est pas vu

N.B. : Le point décimal "anglo-saxon" (Ex : .028) a été utilisé pour éviter les confusions avec la description des cas possibles (Ex : 2,0,1).

Tableau 21 : Estimation de la mortalité naturelle.
(cas de 3 recaptures).

(1) en plaçant ceux qui ont été retrouvés sans étiquette dans des cas estimés.

(2) en considérant non vus ceux qui ont perdu leur étiquette.

	MERLET		PHARE AMEEDÉ 1		PHARE AMEEDÉ 2	
Nombre de trocas marqués	122		107		96	
Nombre de trocas vu au moins une fois.	63		61		58	
Intervalles de temps en mois : T1 ; T2 ; T3.	10; 7,7;20		5;3;7		6;3;4	
Nombre de trocas dans les différents cas	Prédits	Réels (1) (2)		Prédits	Réels	
2,0,0	27.9	33	28	20.3	22	
0,0,0	61.1	59	64	49.3	46	
2,2,0	13.4	7	10	12.1	13	
1	7.3	9	9	6.8	11	
2,2,2	2.4	6	3	2.8	1	
0,2,0	1.9	4	4	4.9	7	
2,1	1.7	2	2	1.4	0	
0,1	.9	1	1	2.1	2	
2,0,1	1.4	1	1	1.1	0	
0,2,2	.4	0	0	1.1	2	
0,0,2	.2	0	0	.9	0	
2,0,2	1.5	0	0	2.2	3	
Paramètres						
P1	.87			.71	.73	
P2	.62			.56	.91	
P3	.67			.43	.65	
M'	.0098			.024	.0072	
F'	.0669			.102	.0781	

2.4. - Discussion

A partir des stations de marquage ayant donné lieu à 2 ou 3 recaptures, les valeurs suivantes de la mortalité naturelle ont été calculées.

Merlet	1	0,0098	Touaourou	0,0070	Phare Amédée	0,0072
	2	0,0050	Kouaré	0,0039		

Les raisons pour lesquelles les mortalités calculées peuvent être différentes sont nombreuses :

a) Les calculs de M' sont effectués sur un petit nombre d'individus.

Le nombre de trocas trouvés morts est, par station, toujours très faible.

b) On n'a pas tenu compte :

- de l'effet de l'âge
- de l'effet du marquage
- du déplacement possible des coquilles après la mort.

La première raison peut paraître essentielle, d'autant plus que les mortalités calculées semblent équilibrées autour de la valeur moyenne 0,0068. Cette valeur moyenne \bar{M}' a été calculée de la façon suivante :

$$\bar{M}' = (0,0098 \times \sqrt{63} + 0,0072 \times \sqrt{58} + 0,005 \times \sqrt{24} + 0,0039 \times \sqrt{36} + 0,007 \times \sqrt{20}) / (\sqrt{63} + \sqrt{58} + \sqrt{24} + \sqrt{20} + \sqrt{36}) = 0,0068$$

\bar{M}' est la valeur moyenne mensuelle du taux de mortalité naturelle; la valeur établie par station ayant été pondérée par la racine carrée du nombre de trocas vus à cette station.

Soit S_m le taux de survie mensuel et M_m le coefficient de mortalité correspondant, leur relation avec \bar{M}' est la suivante :

$$\bar{M}' = 1 - S_m = 1 - e^{-M_m t}$$

On en déduit M_m pour $t = 1$ mois :

$$e^{-M_m t} = 1 - \bar{M}' = 0,9932$$

$$M_m = 0,00682$$

Sur la base annuelle, la mortalité naturelle M est égale à :

$$M = 0,0682 \times 12 = 0,08184$$

Nous prendrons $M = 0,10$ comme estimation de la mortalité naturelle des trocas dans la suite de l'exposé. Les effectifs des individus marqués et recapturés sont trop faibles pour donner un intervalle de confiance à cette estimation; elle se situe heureusement dans une gamme de valeurs tout à fait plausibles pour des invertébrés marins.

TROISIEME PARTIE

L'EXPLOITATION

CHAPITRE I

PECHE ET EXPORTATIONS

1 - Evolution depuis le début du siècle

L'intérêt commercial pour les trocas a débuté en Nouvelle-Calédonie vers 1907. Angot (1959) a écrit : " A cette époque, il suffisait de se promener sur les trottoirs récifaux à marée basse et de ramasser, parfois à la pelle et au rateau, les innombrables coquillages qui tapissaient les légères anfractuosités du corail".

La figure 43 montre l'évolution des exportations de coquilles depuis cette époque. La courbe en dents de scie traduit la fragilité du stock de trocas dont la capture est relativement aisée, même en plongée. La pêche commerciale a connue deux interruptions importantes : pendant la seconde guerre mondiale et durant ce qu'il est convenu d'appeler le "boom" du nickel des années 60. La fin de la guerre et la crise minière de 1973 ont été suivies d'exportation record de trocas faisant suite à un repos prolongé du stock.

La fragilité du stock a rapidement été diagnostiquée par les scientifiques de l'époque. Dès 1930, les Professeurs Risbec et Gruvel demandaient aux Autorités du Territoire de prendre des mesures de protection pour stopper une exploitation trop intense à leurs yeux.

Différentes réglementations sont entrées en vigueur à partir des années 50 :

- Depuis 1916, fermeture de la pêche six mois par an, voire une année entière (1956-57).
- Taille minimum de capture : 8 cm de diamètre basal puis 10 cm en 1957, retour à 8 cm, et, actuellement, taille autorisée entre 9 et 12 cm.

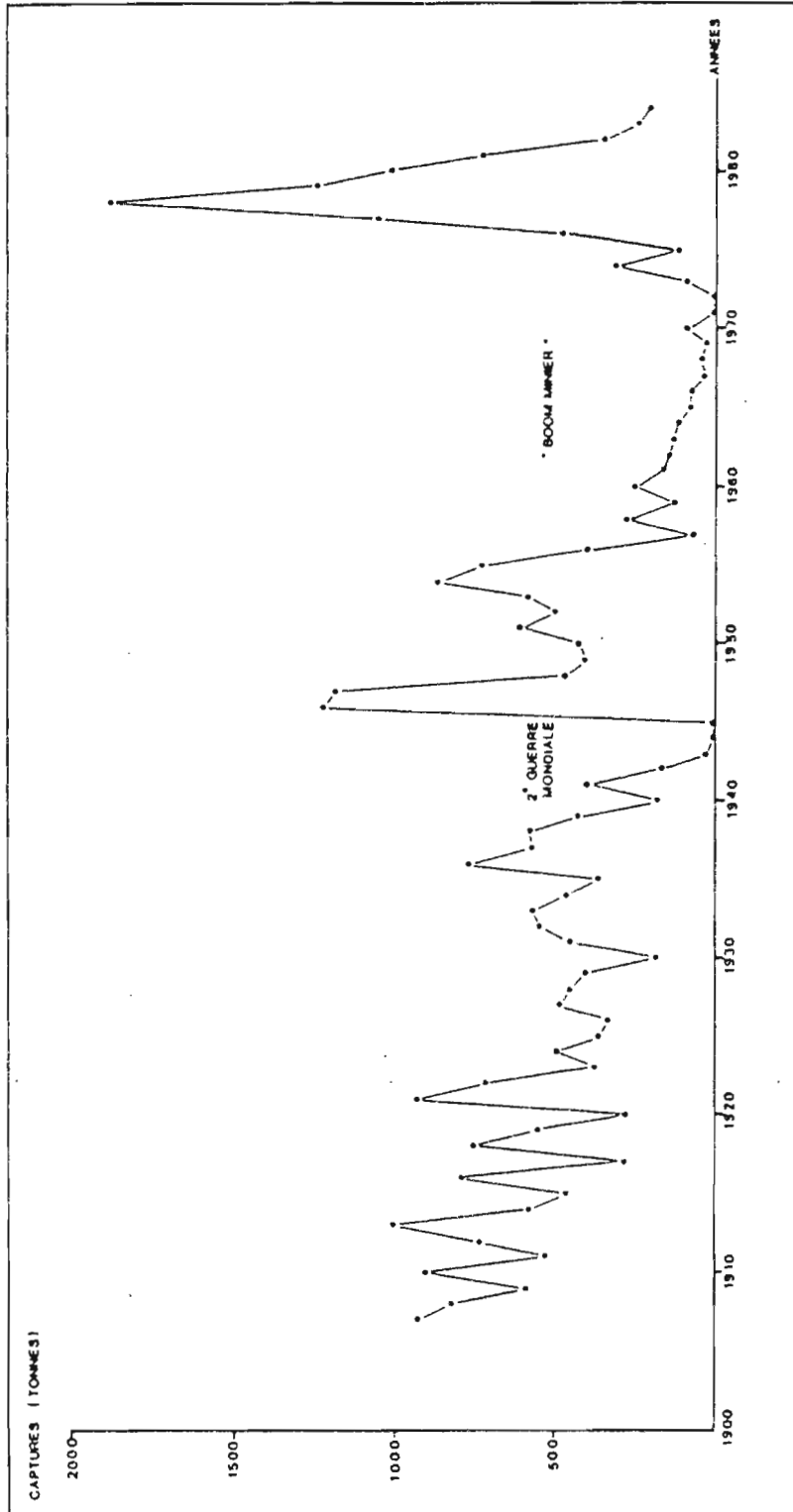


Fig. 43 - Evolution des captures de trocas entre 1907 et 1984.

Faute d'avoir disposé à l'époque des possibilités d'approche de la dynamique des populations, il est difficile d'apprécier l'impact réel de ces mesures qui ont probablement été bénéfiques au sens strict de la conservation de l'espèce mais pas obligatoirement au sens de l'exploitation.

2 - Evolution récente de la pêche et de sa réglementation

La pêche des trocas offrait une activité rémunératrice aux nombreuses personnes atteintes par la crise de l'industrie minière qui a débuté vers 1973. Les moyens techniques (bateaux, matériel de plongée) devenus extrêmement performants, ont favorisé la montée en flèche des tonnages de coquilles exportées. Si l'on ajoute à ces éléments la réglementation unique du diamètre minimum resté à 8 cm, on comprend la chute rapide des captures qui a succédé au niveau record de 1915 tonnes exportées en 1978, soit environ le tiers de la production mondiale à cette époque.

L'étude de la croissance a permis au Service des Pêches local de prendre, en 1983, la mesure conservatoire suivante, en attendant une étude approfondie du stock lui-même : la pêche est autorisée pour les tailles comprises entre 9 et 12 cm. La maturité intervenant vers 6 cm, le troca peut donc se reproduire environ deux saisons avant d'entrer dans la phase exploitable. La taille plafond protège les plus gros trocas car leur coquille épaisse est généralement dépréciée mais leur potentiel reproducteur reste élevé.

3 - Place de la Nouvelle-Calédonie sur le marché mondial des trocas

La production mondiale de coquilles de trocas varie selon les auteurs entre 3000 et 6000 tonnes par an.

En dehors du Pacifique sud, les autres pays producteurs sont l'Indonésie, les Philippines, l'Inde et la Thaïlande.

Le tableau 22 résume les chiffres donnés par Carleton (1984) dans une étude économique consacrée aux trocas, en particulier pour le marché japonais.

Tableau 22 : Importations de trocas au Japon (d'après Carleton, 1984)

	1977	1978	1979	1980	1981	1982
Tonnages importés (MT)	1806	2579	1893	2214	2088	2069
Origine Asie (%)	34	33	36	28	36	35
Origine Pac. Sud (%)	66	67	64	72	64	65
Origine Nlle. Cal. (%)	29	33	32	20	13	8

Ce tableau montre que les pays du Pacifique sud ont fourni environ les 2/3 du marché japonais et que cette production globale est restée relativement stable pour la période considérée en dépit des fluctuations de production de chacun des pays concernés. Par exemple, la part de la Nouvelle-Calédonie a oscillé entre 8 et 33 %.

En dehors du Japon, les autres pays importateurs sont : Singapour, la République Fédérale d'Allemagne, Hong-Kong, l'Espagne, l'Italie, la France et le Royaume-Uni.

La qualité de la coquille varie avec les zones de production. C'est le troca indonésien, appelé Macassar, qui est considéré

comme le meilleur pour la qualité de sa nacre; il sert de standard pour fixer le prix des autres qualités. Son prix d'achat par le Japon était de 1 000 US \$ la tonne métrique en 1977. En 1982, il valait près de 2 000 US \$ alors que les trocas du Pacifique sud étaient achetés entre 1 200 et 1 650 US \$ la tonne métrique.

CHAPITRE II

DYNAMIQUE DU STOCK

EXPLOITATION RATIONNELLE

ESSAIS D'AQUACULTURE

1 - Prospection des récifs et platiers favorables aux trocas pour l'évaluation de la ressource

1.1. - Plan d'échantillonnage

L'évaluation de la population de trocas présente dans le lagon néo-calédonien, dont, rappelons le, la surface excède 20.000 Km², devait être le résultat d'un échantillonnage de mesures de densités sur l'ensemble du lagon; c'est-à-dire d'un très grand nombre de valeurs de densité réparties au hasard, permettant d'établir des moyennes et des extrapolations sur toutes les formations récifales favorables à l'espèce. La notion stochastique de ce plan est importante car si l'on avait privilégié, comme le fait le pêcheur, les zones où il y a du troca, on aboutissait fatalement à une surestimation de la population.

La radiale ou transect a fait ses preuves en matière d'écologie marine. Cette technique permet de valoriser au mieux le temps passé sous l'eau pour la quantification des organismes sédentaires (Marsh et al., 1984). Chaque mission faisait l'objet d'un tirage au sort des radiales réalisables pendant la durée de cette mission, parmi toutes celles possibles (platiers à trocas) dans la zone prospectée.

1.2. - Technique d'échantillonnage

Au cours d'une mission, les emplacements des sites d'échantillonnage étaient donc définis au hasard dans la zone étudiée mais

le nombre de sites était adapté à la taille du récif échantillonné et aux moyens d'investigation.

Les prospections ont été faites en plongée libre, parfois à pieds sur les platiers exondés. Quelques plongées en scaphandre ont permis d'estimer que 99 % de la population de trocas occupe la tranche bathymétrique 0-10 m.

Sur chaque site d'échantillonnage, on effectue :

une radiale : L'équipe constituée de deux plongeurs explore un couloir d'environ deux mètres de large, pendant un temps déterminé, généralement une vingtaine de minutes. La radiale est orientée au hasard ou à contre-courant, si ce dernier est sensible. Pour connaître la distance parcourue, un compteur équipé d'une grande hélice, appelé "flowmeter", est tenu à la main par l'un des plongeurs. Le dispositif est tel que le flowmeter s'oriente dans l'axe de la nage quand le plongeur avance, dans ce cas le compteur enregistre des tours d'hélice; en cas d'arrêt, le flowmeter prend par gravité une position perpendiculaire, ce qui stoppe l'hélice. Les deux plongeurs ramassent les trocas découverts pour les mesurer à bord de l'embarcation. Si le courant est sensible, un retour dans le sens du courant est effectué sur une distance voisine afin d'estimer son incidence sur la mesure du flowmeter.

une station fixe : Un point du site est pris au hasard, il est matérialisé par un petit corps mort et une bouée. La surface circonscrite par un cercle d'environ 3 mètres de rayon est soigneusement prospectée car des trocas sont dissimulés sous les blocs et dans les cavernes du substrat. Cette station fixe permet d'apprécier la partie cryptique de la population de trocas et de corriger en conséquence la mesure de densité observée lors de la radiale. Pour chaque site d'échantillonnage des indications sur le substrat et les types de coraux sont notés. Les trocas récoltés sont mesurés au millimètre près et remis dans leur milieu. On a donc, par site, une densité et un échantillonnage de tailles des trocas. Les coquilles inférieures à 30mm n'ont pas été relevées car leur échantillonnage

correct exigerait d'autres techniques et leur biomasse dans la population est négligeable. Site et station sont repérés par la même bouée, on parlera indifféremment de site ou de station dans la suite du texte, à propos des mesures de terrain.

1.3. - Moyens à la mer pour la prospection

En fonction de l'éloignement et de la difficulté d'accès des récifs, trois moyens à la mer ont été utilisés :

- Embarcation légère (Zodiac), équipée d'un moteur HB de 25CV et d'un moteur de secours de 5CV. Son transport par route, sur une remorque, a permis de réaliser les missions côtières sur la Grande Terre.
- Les zones inaccessibles par route ou éloignées de la côte ont été prospectées grâce aux moyens navigants de l'ORSTOM, le N.O. "Vauban" (chalutier de 24 m) et le N.O. "Dawa" (vedette de 10 m).

1.4. - Chronologie des opérations de terrain

Les différentes missions sont résumées dans le tableau 23. Au total, 312 stations sont réparties dans le lagon, entre l'île Surprise et le récif Cimenia de la corne sud, et autour des îles du Territoire.

2 - Résultats de la prospection - Etablissement des données de base

2.1. - Méthodes de calcul des données de base

2.1.1. - La densité

Pour chaque site, la surface échantillonnée représente un rectangle de deux mètres de large et de longueur égale à la distance parcourue le long de la radiale. Le nombre de trocas récoltés est converti en nombre de trocas par 1000 m²; cette valeur représente

Tableau 23 - Résumé des missions de la prospection (cf. Carte 1)
(voir en Annexe le détail de chaque mission)

Missions	Secteur du LAGON entre :	Dates	Nb.de stations
DT 1	VOH - GOMEN	9 au 12 mars 1982	20
DT 2	ILE DES PINS	4 au 10 novembre 1982	4
DTV 3	OUVEA - LIFOU	22 août au 2 sept. 1983	29
DTZ 1	TONTOUTA - BOULOUPARI	12 au 14 octobre 1983	10
DTZ 2	LA FOA - BOURAIL	5 au 9 décembre 1983	12
DTZ 3A DTZ 3B	BOULOUPARI - LA FOA BOURAIL - POYA	3 au 10 janvier 1984	15 10
DTV 4	TAO - BALABIO	28 fév. au 11 mars 1983	29
DTZ 5	POYA - VOH	16 au 19 avril 1984	10
DTV 6	NOUMEA - CAP NDOUA	14 au 18 mai 1984	45
DTZ 7	VOH - KAALA-GOMEN	18 au 22 juin 1984	12
DTZ 8	KAALA-GOMEN - POUM	16 au 20 juillet 1984	12
DTV 9	Cap NDOUA - PORT BOUQUET	6 au 10 août 1984	12
DTZ 10	PORT BOUQUET - CANALA	20 au 24 août 1984	14
DTV 11	POUM - BELEP	3 au 14 sept. 1984	30
DTZ 12	CANALA - TOUHO	8 au 12 octobre 1984	12
DTZ 13	TOUHO - TAO	5 au 9 novembre 1984	12
DTZ 14	NOUMEA - TONTOUTA	17 au 20 décembre 1984	10
DTV 15	ILE SURPRISE	4 au 11 janvier 1985	14
TOTAL			312

DT : Densité Trocas

DTZ : Mission avec Zodiac

DTV : Mission avec le N.O. VAUBAN

la densité calculée pour la station : D (Cette valeur peut, au besoin, être corrigée par les observations de la station fixe dont la surface est d'environ 30 m²).

2.1.2. - Mesure des surfaces

L'évaluation de la population en nombre de trocas nécessite une estimation de la surface des milieux récifaux qu'ils occupent.

Pour chaque mission, il a été procédé à :

- L'inventaire des récifs barrières, récifs de lagon, platiers d'îlots et platiers frangeants, susceptibles d'abriter des trocas.
- L'évaluation de la surface de ces formations récifales et l'attribution à chacune d'elles d'une valeur de densité, selon la loi de proximité si elles ne comportent pas de station. Un récif de grande taille a généralement été échantillonné par plusieurs radiales; dans ce cas, c'est la moyenne des densités obtenues qui lui a été attribuée.

Les surfaces ont été mesurées par planimétrie sur des cartes marines, des photos aériennes de l'IGN et, pour trois cas précis, sur des images satellitaires traitées en cartographie thématique.

Les structures récifales des cartes marines récentes (série 6000 : au 1/60.000ème environ) présentent un dessin assez exact puisqu'il provient d'éléments photographiques. Pour les cartes plus anciennes, les photos aériennes (missions IGN de 1976 et de 1982) ont été d'un grand secours pour l'évaluation des surfaces.

2.1.3. - Nombres d'individus et biomasse de la population - Stock exploitable

Les densités et les surfaces permettent l'estimation du

nombre total de trocas. Le poids moyen de chaque échantillon a été calculé à partir d'une relation taille/poids de la coquille vide, établie antérieurement lors des études de croissance. Il était en effet illusoire de chercher à peser correctement les trocas de l'échantillon à bord du Zodiac. D'autre part, la mesure des tailles a permis d'établir le pourcentage de trocas ayant la taille autorisée (entre 9 et 12 cm). A chaque densité, un poids moyen et un pourcentage ont donc fourni une estimation du poids total de coquilles vides et du poids de coquilles vides exploitables. La chair du troca représente en moyenne 15 % en poids, il est donc facile de remonter aux poids vifs. Comme la valeur intéressante est le poids de coquilles vides exportables, nous appellerons biomasse totale le poids des coquilles du nombre total évalué des trocas et biomasse exploitable (ou stock exploitable) le poids des coquilles de trocas dont le diamètre est supérieur à 8 cm, pour les années 1978 à 1982, et compris entre 9 et 12 cm pour 1983 et 1984.

2.2. - Présentation des résultats

2.2.1. - Cas des îles Loyauté et de l'île des Pins

L'absence de trocas aux îles Loyauté était connue et a été confirmée par une mission du N.O. "Vauban" à Beautemps Baupré, Ouvéa et Lifou. Les 29 stations ont toutes été négatives, seul un gros troca de 16 cm a été découvert sur la pente, au nord d'Ouvéa, en dehors des radiales. Une mission du N.O. "Dawa" à l'île des Pins a donné le même résultat. La niche écologique du troca exploité, le *Trochus niloticus*, semble occupée dans ces îles par un autre Trochidae, le *Tectus pyramis* ou troca blanc, que l'on trouve en quantité importante. Malheureusement, ce dernier n'a pas de valeur marchande.

On peut s'interroger sur cette absence de trocas dans les grandes îles du Territoire qui présentent pourtant des platiers favorables. Nous n'avons pas d'explication étayée par des observations; nous pouvons cependant émettre quelques hypothèses.

Les trocas ont toujours été consommés dans les tribus; à une époque reculée, la facilité de sa récolte devait contribuer à en faire une denrée de base. Ces animaux à sexes séparés, ont dû voir diminuer rapidement le recrutement des juvéniles consécutif à l'éclaircissement de la population parentale. Il est possible que des cyclones aient également contribué à la faiblesse du recrutement jusqu'à un seuil irréversible. Un repeuplement naturel par des larves venues de la Grande Terre semble difficile en raison de l'éloignement des îles Loyauté et des forts courants de la Passe de la Sarcelle qui contribuent à isoler biologiquement l'île des Pins. Seule une réintroduction de trocas adultes par l'homme permettrait peut être de reconstituer une population, dans la mesure où le troca blanc ne poserait pas un problème de compétition alimentaire et spatiale.

2.2.2. - Lagons de la Grande Terre

Le tableau 24 résume les données obtenues pour chaque mission. Les missions ont été regroupées par grandes zones lagunaires; dont la somme des poids de coquilles dresse le bilan de la ressource en 1984. Le tableau 25 donne des indications sur le nombre de coquilles, leur poids et les pourcentages par zones.

Les limites des grandes zones lagunaires ont été établies en fonction de leurs caractéristiques géographiques mais tiennent compte également de l'importance des trocas pour les communautés humaines qui peuplent ces zones.

La figure 44 présente les quatre grandes zones lagunaires avec la répartition de la densité moyenne calculée pour chaque mission et la contribution respective de ces zones, en surface et en biomasse totale et exploitable, au bilan général.

L'examen de ces données de base appelle les commentaires suivants :

Tableau 24-Résultats de la prospection par mission et regroupement en Grandes Zones Lagonaires.

Grandes zones Lagonaires	Missions	Densité moyenne Nb/10 ³ m ²	Nombre de coquilles total	Poids coquilles total (kg)	Poids coquilles exploitable (Kg)
S - SW 319 km ²	DT Z 1	6,5	522 694	35 666	176
	DT Z 2	0,8	530 942	160 231	152 731
	DT Z 3	11,0	243 903	61 468	29 236
	DT V 6	9,6	2 354 297	475 063	199 381
	DT Z 14	10,8	483 564	87 363	19 018
	TOTAL	5,8	4 135 400	819 791	400 542
N - W 852 km ²	DT Z 5	3,9	304 628	106 552	52 334
	DT Z 7	7,6	576 189	111 750	35 668
	DT Z 8	4,4	232 136	68 212	36 357
	DT V 11	82,7	1 931 638	219 595	5 865
	DT Z 15	-	-	-	-
	TOTAL	19,7	3 044 591	506 109	130 224
N - E 366 km ²	DT V 4	23,6	3 936 261	1 022 994	455 319
	DT Z 13	14,3	501 788	153 025	86 782
	TOTAL	19,0	4 438 049	1 176 019	542 101
S - E 232 km ²	DT V 9	14,3	1 950 587	634 715	288 000
	DT Z 10	30,1	579 342	169 851	76 109
	DT Z 12	33,4	2 134 947	525 790	273 753
	TOTAL	25,9	4 664 876	1 330 356	637 862
TOTAL : 1 769 km ²		17,6	16 282 916	3 832 275	1 710 729

Tableau 25 - Résumé des résultats de la prospection, en valeurs et en pourcentages, par grandes zones lagunaires.

Grandes zones lagunaires	Surface (x 1000 m ²)	%	Nombre coquilles total	%	Poids vif total (kg)	%	Poids coquilles total (kg)	%	Poids coquilles exploitable (9 < Ø < 12) (kg)	%
S - SW	319 013	18	4 135 400	25	950 957	21	819 791	21	400 542	23
N - W	851 553	48	3 044 591	19	587 086	13	506 109	13	130 224	8
N - E	366 235	21	4 438 049	27	1 364 182	31	1 176 019	31	542 101	32
S - E	231 609	13	4 664 876	29	1 543 212	35	1 330 356	35	637 862	37
TOTAL	1 768 410	100	16 282 916	100	4 445 437	100	3 832 275	100	1 710 729	100

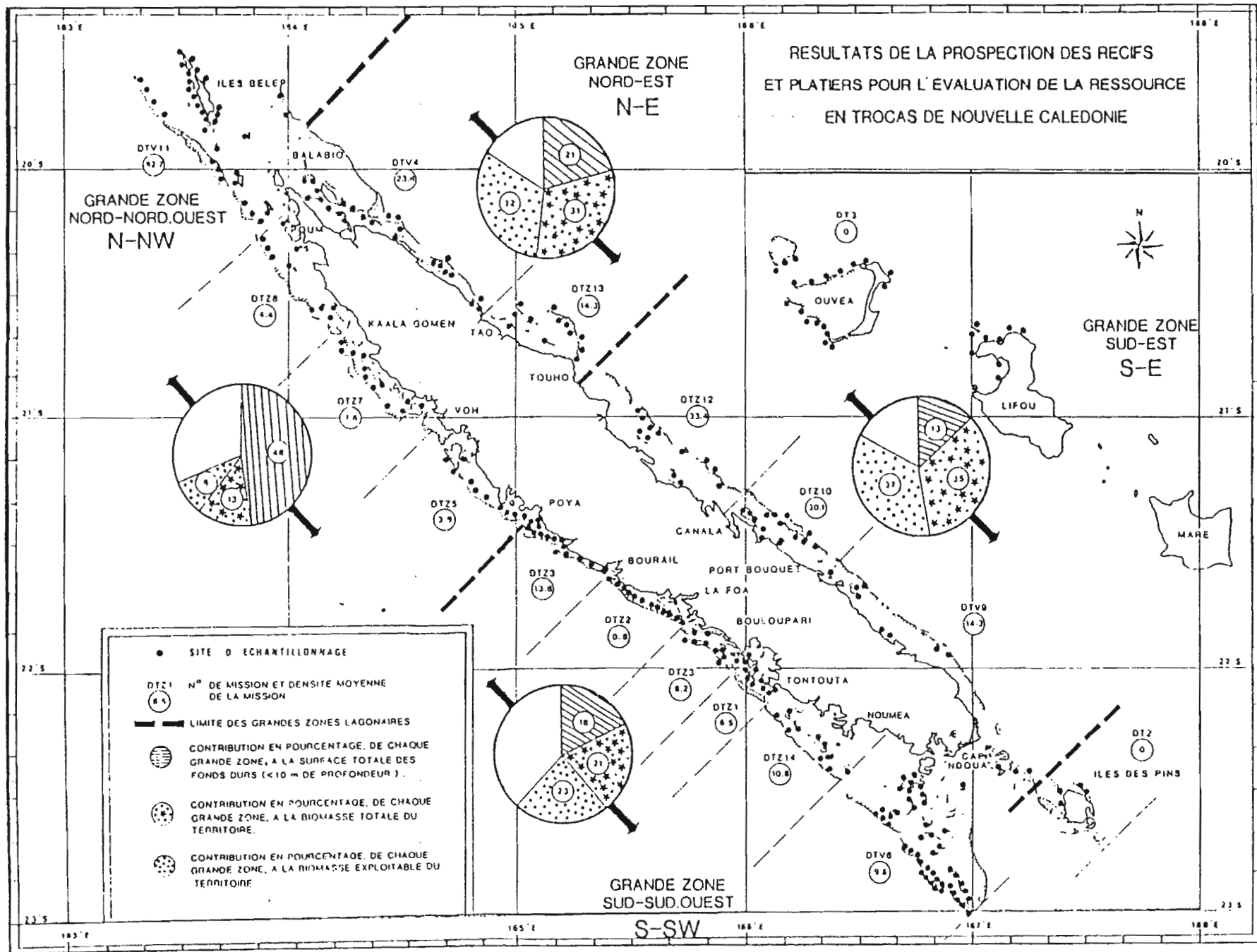


Figure 44

. l'éventail des densités moyennes (Tableau 24) est caractérisé par des valeurs faibles pour les deux grandes zones de la côte ouest (S-SW et N-W) sauf pour les îles Bélep où l'on enregistre la densité la plus élevée du Territoire (82,7) et des valeurs au moins deux fois plus élevées sur la côte est (grandes zones : N-E et S-E).

. les pourcentages montrent que la zone N-W renferme la plus faible fraction de la biomasse de coquilles bien qu'elle représente près de la moitié de la surface récifale. Cette situation s'explique par la présence dans cette zone de deux grands récifs barrières très pauvres en trocas : le Grand Récif de Cook et le récif des Français. De plus, les récifs de la région Koné-Poum ont subi des pêches intensives entre 1977 et 1980. On constate déjà dans ce cas précis que la surpêche des trocas pendant quelques années est encore sensible quatre ans après.

. plus du tiers de la biomasse se trouve donc, en 1984, dans la zone S-E. C'est en effet une zone peu habitée dans sa partie sud et dont l'économie est principalement orientée vers des activités minières. Dans la région de Yaté, les tribus pratiquaient en 1983-84 un arrêt volontaire de la pêche pendant quelques mois de l'année.

. les grandes zones s'ordonnent, pour la biomasse exploitable, dans le même ordre que pour la biomasse totale, avec un chiffre particulièrement faible pour la zone N-W.

. le lagon de la Grande Terre offre une superficie de 1800 km² de fonds durs susceptibles d'accueillir des trocas. Cette surface est un peu inférieure au dixième de la surface totale du lagon, évaluée à environ 20.000 km². La population totale est évaluée à seize millions trois cent mille trocas qui, en poids, donne une biomasse totale de 3800 tonnes dont seulement 45 % seraient exploitables selon la législation en vigueur.

2.3. - Validité des données de base

Seule une série d'échantillonnages de mesures de densité réalisé pour chaque radiale aurait permis de faire une étude statistique complète des données établies précédemment; le temps passé sur le terrain serait vite devenu prohibitif. Les radiales de la mission DTZ3 ont été doublées, ce qui a permis d'avoir une erreur-type de 19 % sur la densité moyenne de chaque radiale. Statistiquement parlant, l'intervalle de confiance à 95 % de chance serait donc de l'ordre de ± 38 % pour chaque densité. Cette valeur doit être surévaluée puisque, pour chaque radiale, nous ne disposons que de deux estimations de la densité. Les autres sources d'erreurs sont liées à l'estimation des surfaces, aux extrapolations des densités et à l'évaluation du poids moyen de l'échantillon de trocas, pour le calcul des biomasses. Le schéma stochastique du plan de prospection nous permet de penser que ces erreurs sont faibles vis-à-vis de l'erreur sur la mesure de densité. Les biomasses seraient donc comprises dans un intervalle de confiance de ± 38 %, ce qui n'est pas gênant pour l'ordre de grandeur recherché. L'analyse de la dynamique du stock qui va suivre montrera d'ailleurs que les biomasses obtenues ne sont pas aberrantes.

3 - Analyse statistique et étude de la dynamique du stock de trocas

En matière de prévisions d'espèces pêchées, il faut faire appel à des modélisations mathématiques, basées sur des données échantillonnées; ces modèles sont, par essence, une approximation de l'évolution d'une ressource exploitée, soumise à des mécanismes complexes qu'il est généralement impossible de quantifier dans leur totalité.

La modélisation, comme toute réflexion, balance entre l'analyse et la synthèse; l'approche synthétique ou globale conduit à des bilans avec un signal d'entrée, la pression de pêche, et un

signal de sortie, la taille du stock; l'approche analytique ou structurale cherche à reconnaître un certain nombre de rouages fondamentaux et à préciser leur articulation (Laurec et Le Guen, 1981).

3.1. - Approche synthétique ou globale

Les données statistiques, compilées pour cette étude sur les trocas, se prêtent mal à l'utilisation d'un modèle global, type Schaefer par exemple. En premier lieu, l'effort de pêche doit être connu avec une bonne précision pour le mettre en relation de façon satisfaisante avec la capture; or, dans notre cas, l'effort de pêche n'a pu être évalué qu'avec les autorisations de pêche aux trocas, délivrées par embarcation et dont le rôle d'équipage n'est pas toujours connu. A cette estimation, échappe la pêche occasionnelle, importante pour les tribus et les villages, et la pêche professionnelle non déclarée. En second lieu, un modèle global suppose que l'on étudie un stock soumis à une pression de pêche répartie au hasard sur des fonds de pêche dont l'aire ne fluctue pas trop dans le temps. Dans le cas des trocas, la variation spatio-temporelle de l'effort est importante (fluctuations de l'intérêt local pour les trocas, difficultés variées d'accès aux fonds de pêche...); la pêcherie peut-être considérée, dans ces conditions, comme appliquée à des mini-stocks n'ayant probablement pas des caractéristiques identiques; en particulier, le coefficient de capturabilité n'est pas constant comme l'exige le modèle global.

3.2. - Approche analytique ou structurale

Ce type de modélisation est plus exigeant en paramètres et demande une bonne connaissance de la croissance et de la structure en âges des captures mais il n'a pas besoin des hypothèses de base du modèle global, évoquées plus haut.

L'étude antérieure de la croissance et de la mortalité naturelle des trocas (Bour et al, 1982) ainsi que les distributions de fréquences de tailles obtenues au cours de la prospection, nous permettent le calcul des données entrant dans le modèle analytique.

3.2.1. - Principe de l'analyse des cohortes

Le modèle analytique ou structural, ainsi nommé car il repose sur la structure en classes d'âges du stock, reconstitue l'histoire de l'évolution numérique de chaque classe d'âge, ce qui correspond à l'historique d'une cohorte, déduit des valeurs connues l'année la plus récente. Le calcul repose sur l'enchaînement, pour chaque classe d'âge, d'un effectif ayant produit une certaine capture numérique, lequel est lui-même le résultat d'un effectif antérieur soumis à une mortalité par pêche.

3.2.2. - Analyse des cohortes du stock de trocas (Tableau 4)

Les données utilisées pour cette analyse sont les suivantes :

. captures numériques (i,j (âge i, année j), ventilées par âge, pour les années 1978 à 1984. La ventilation a été réalisée à partir de la clé taille/poids/âge (en annexe).

. effectifs des classes d'âge de 1984 obtenus à la suite de la prospection (N_i , 84).

. coefficients de mortalité par pêche, (F_i , 84) pour chaque classe d'âge de 1984, estimés à partir des captures et effectifs précédents.

. coefficients de mortalité par pêche, ($F_{12,j}$) estimés à partir des échantillonnages de tailles effectués en docks sur les trocas destinés à l'exportation.

. coefficient de mortalité naturelle; il avait été évalué à la suite du travail sur la croissance par marquage. Il est supposé constant quel que soit l'âge et égal à $M = 0,10$.

Le tableau 26 présente les résultats de l'analyse des cohortes. A partir des données décrites plus haut et, par rétro-calcul, les cases sont complétées en diagonales des $N_{i,j}$ et $F_{i,j}$. Les flèches du tableau montrent l'évolution reconstituée et présumée de chaque cohorte depuis son état en 1978. La notion de cohorte recouvre un fait bien réel pour les trocas car la saison de ponte a lieu de novembre à avril (Bour et al, 1985) créant ainsi une génération annuelle visible dans les distributions de fréquences de tailles des jeunes individus.

3.2.3. - Résultats du modèle structural (Analyse des cohortes)

3.2.3.1. - Effectifs par âge ($N_{i,j}$)

Si l'on suit la décroissance, chaque année, d'une cohorte, par exemple celle dont l'effectif figure à l'angle supérieur gauche du tableau (cohorte de 4 ans en 1978), on constate qu'après six ans d'exploitation (le calcul donne l'effectif en début d'année), son importance numérique a diminué d'environ dix fois. Ce déclin, causé par la pêche et la mortalité naturelle, donne une idée de la raréfaction relativement rapide des coquilles soumises à une exploitation intensive comme ce fut le cas au cours de la période considérée.

3.2.3.2. - Coefficients de mortalité par pêche ($F_{i,j}$)

Le tableau montre que, d'une année sur l'autre, la pression de pêche sur une classe d'âge peut varier considérablement. En particulier, les trocas de 11 ans ont subi une mortalité par pêche très forte en 1978, 79 et 80 ($F > 1,0$); elle a nettement régressé

Tableau 26 : Analyse des cohortes (mortalité naturelles M = 0,10)

TAILLES AUTORISEES		au-dessus de 80 mm					de 90 à 120 mm		\bar{F}_i (par âge)
AGE i	ANNEE j	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	
4	DIAMETRE 76-85 (mm)	Ni, j= 4781 Fi, j= 0,23 Ci, j= 684	5 818 0,51 2 223	4 460 0,29 1 084	5 602 0,24 673	1 917 0,19 314	2 700 0 0	2 605 0 0	0,29
5	86-95	2 984 0,38 766	3 419 0,41 1 058	3 160 0,51 1 214	3 008 0,27 688	4 005 0,45 620	1 435 0,13 170	2 443 0,07 145	0,31
6	96-100	2 705 0,61 920	1 850 0,57 647	2 057 0,50 770	1 709 0,41 376	2 069 0,24 224	2 316 0,07 116	1 140 0,10 100	0,35
7	101-110	2 074 1,35 1 112	1 330 1,07 643	949 0,89 392	1 125 0,34 233	1 024 0,76 413	1 468 0,49 242	1 954 0,11 203	0,71
8	111-115	547 0,92 245	485 0,32 128	411 0,15 52	389 0,11 37	722 0,11 72	434 0,18 69	814 0,08 59	0,26
9	116-119	685 1,26 356	197 1,75 116	317 0,27 47	320 0,07 17	315 0,15 19	585 0,08 40	326 0,11 32	0,52
10	120-123	904 2,21 570	176 0,94 80	31 0,45 11	219 0,04 8	271 0,11 17	246 0,31 62	488 0,12 53	0,59
11	124-126	609 2,91 405	90 1,35 48	62 2,23 39	18 0,46 6	190 0,07 8	220 0,20 37	163 0,20 31	1,10
12	127-129	924 0,44 174	30 0,55 12	21 0,63 9	6 0,57 4	10 0,58 4	177 0,14 22	163 0,12 18	0,43

ensuite pour se stabiliser à $F = 0,2$. Il est vrai qu'à partir de 1983, la nouvelle réglementation a contribué à la protection de cette classe d'âge. Ces fluctuations au fil des années soulignent le caractère changeant de cette pêcherie qui a très probablement une répartition géographique de l'effort de pêche variable d'une année à l'autre, ce qui entraîne l'exploitation de mini-stocks dont la composition en âges est différente. Le coefficient moyen pour chaque classe d'âge de la mortalité par pêche (\bar{F}_i) donne des indications sur les catégories de trocas les plus exploités. La figure 45 montre que la mortalité par pêche tend à croître pour les trocas âgés et que les classes 7 ans (10 à 11 cm) et 11 ans (environ 12,5 cm) sont les plus touchées. L'explication est simple pour les premiers : ils correspondent à une taille de troca appréciée par les façonniers de la nacre. Pour les seconds, l'intérêt des coquilles lourdes (elles sont payées au poids) apporte un élément explicatif ainsi que la recherche de gros trocas pour en consommer la chair, sinon nous avons déjà noté que les grosses coquilles, perforées par les parasites, sont dépréciées sur le marché de la nacre.

Afin de connaître l'impact de la nouvelle réglementation de 1983 sur la mortalité par âge, nous avons porté sur la figure 45 la courbe de la moyenne des F par âge calculée entre 1978 et 1982 et celle de la moyenne des F par âge de 1983 et 84. La première courbe est très voisine de celle des moyennes générales et confirme les remarques précédentes mais, comparée à la seconde, elle montre que la taille plancher de 9 cm n'a pas modifié sensiblement le profil de la pression de pêche par âge; par contre, la taille plafond de 12 cm, a protégé de façon substantielle les trocas âgés de 9 ans et plus.

Bien que fournissant des coquilles de qualité médiocre, les gros trocas ont été activement exploités. Leur protection, grâce à la taille plafond, est à conserver car la fécondité (évaluée en nombre d'ovocytes) de ces individus reste prépondérante au sein de la biomasse féconde, comme le montre la figure 46.

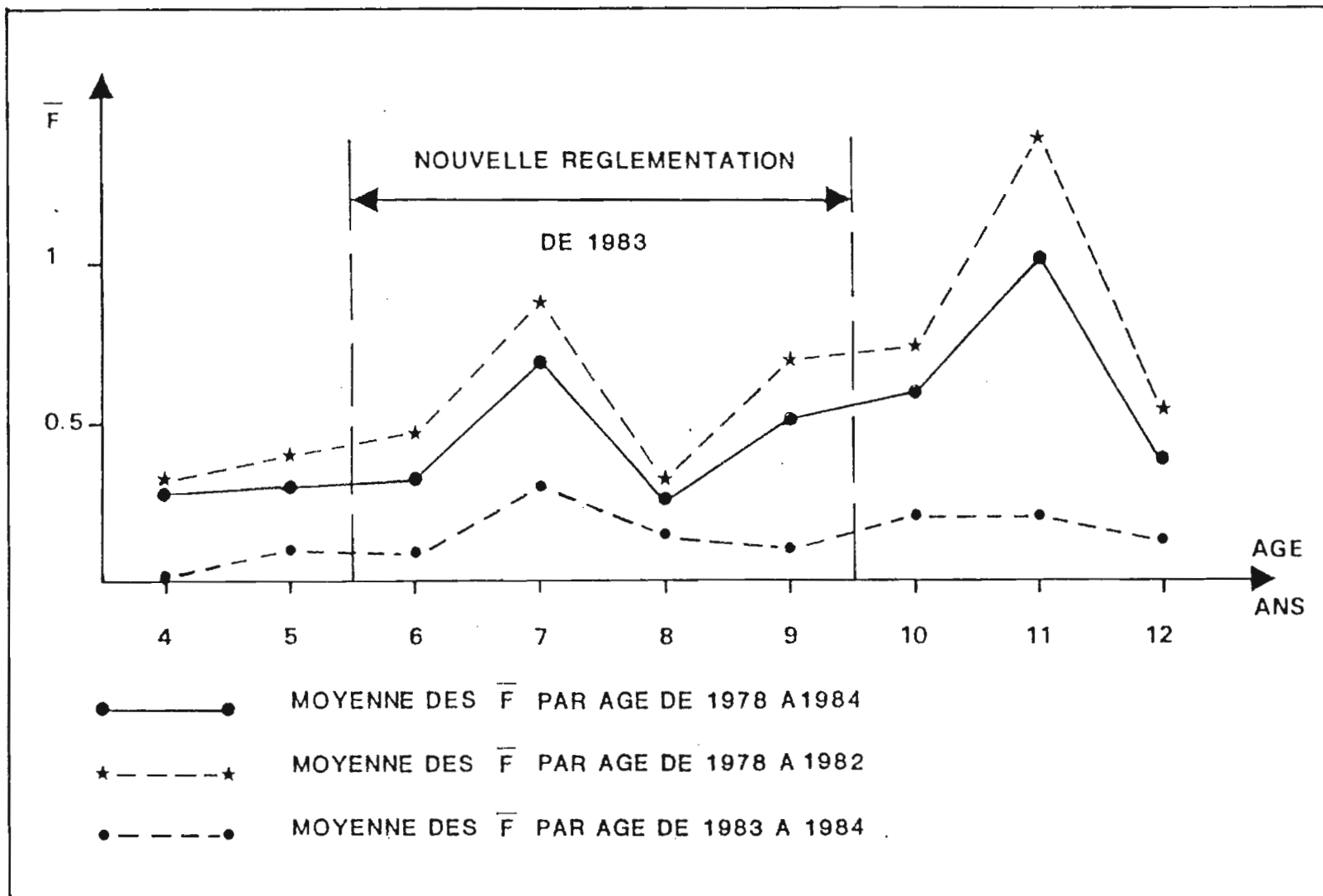


Figure 45 : Comparaison des évolutions du coefficient de mortalité par pêche F par classe d'âge. Incidence de la réglementation de 1983.

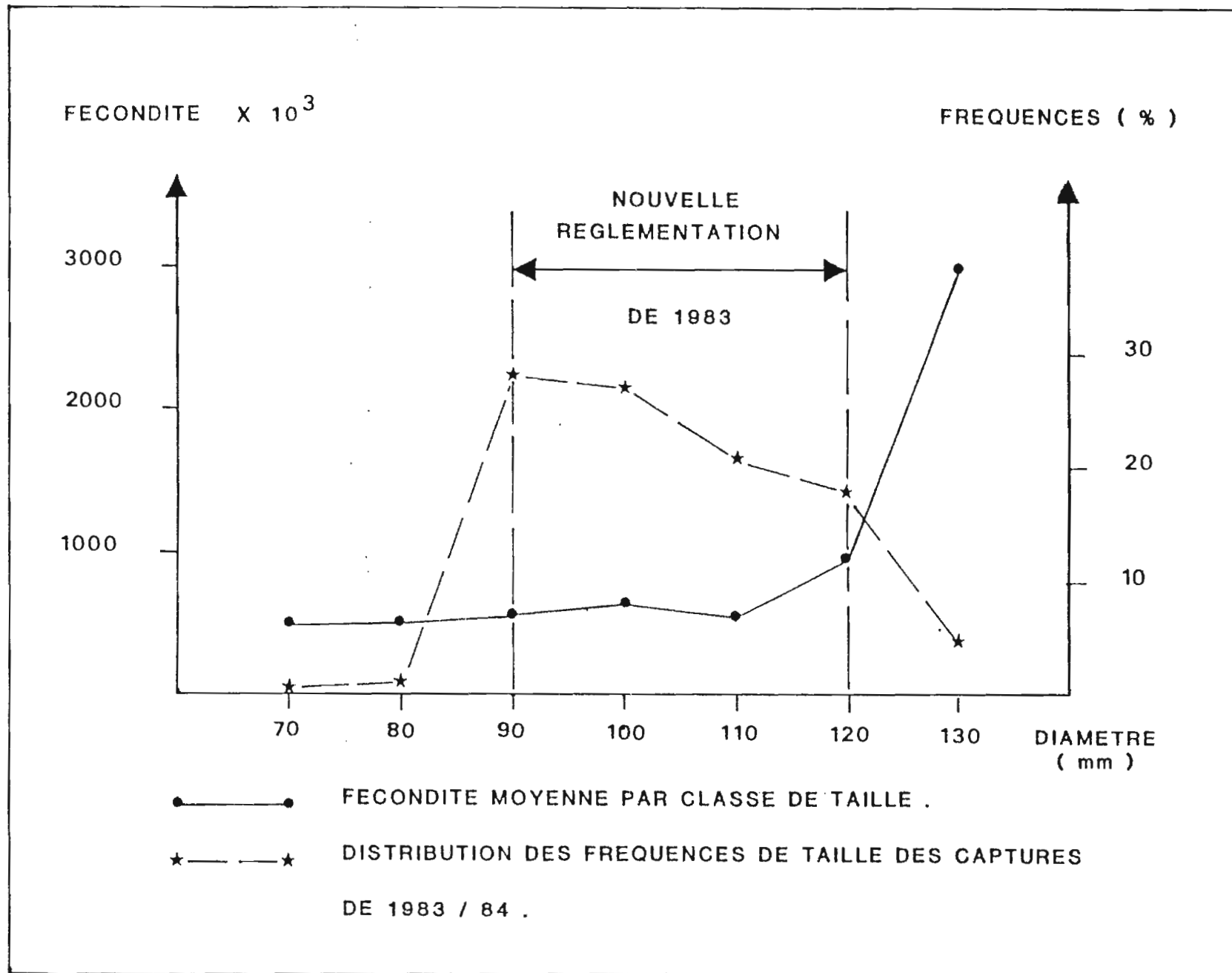


Figure 46 : Relation taille/fécondité (en nombre d'ovocytes).
 Influence de la taille plafond autorisée sur le
 du stock parental.

3.2.3.3. - Biomasses exploitables déduites des effectifs calculés par l'analyse des cohortes

La clé taille/poids/âge nous donne le poids moyen de la coquille d'un troca pour chaque classe d'âge. Connaissant les effectifs moyens pour chaque âge et chaque année, il nous a été possible de calculer la biomasse exploitable totale moyenne pour chaque année. (Les effectifs obtenus par l'analyse des cohortes correspondent aux effectifs en début d'année; nous avons calculé les effectifs moyens pour en déduire les biomasses).

Le tableau 27 résume l'information maintenant connue sur le stock de trocas, depuis 1978 : Effort de pêche, capture réelle, coefficient moyen de mortalité par pêche, biomasse exploitable moyenne. En halieutique, il est conseillé de s'en tenir à un taux d'exploitation E ne dépassant pas 50 % or, $E = F/F + M$ (M : mortalité naturelle), nous obtenons $F = 0,10$ pour ce niveau d'exploitation. La dernière ligne du tableau donne la capture escomptée dans ces conditions pour chacune des biomasses moyennes annuelles. On peut la qualifier d'optimale et de soutenue car, pour un niveau de biomasse donnée, elle assure une production qui ne met pas le stock en péril.

La figure 47 reprend les principales données précédentes pour en montrer l'évolution. L'examen de cette figure montre, en particulier, que, depuis la nouvelle réglementation, \bar{F} est devenu très proche de sa valeur considérée comme optimale de 0,10. La biomasse moyenne, qui avait diminué de moitié après l'exploitation intensive de 1978, commençait dès 1981 à se stabiliser autour de 2000 tonnes grâce à la diminution importante des captures réelles. La forte baisse de \bar{F} depuis 1983 a un effet favorable sur la biomasse qui montre un accroissement en 1984.

Remarquons que l'effort de pêche (Tableau 27) mesuré en nombre de pêcheurs, qui, nous l'avons vu, n'a qu'une valeur indica-

Tableau 27: Données à prendre en considération pour la gestion rationnelle du stock de trocas.

DONNEES \ ANNEES	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984
f Effort de pêche (Nb. de pêcheurs)	85	62	62	123	67	73	70
Y Captures réelles (tonnes)	1915	1245	1012	724	350	241	205
\bar{B} Biomasse exploitable moyenne (tonnes)	3960	2176	1911	1982	2172	2109	2252
\bar{F} Coefficient moyen de mortalité par pêche (estimés à partir des échantillons docks)	0,44	0,55	0,63	0,57	0,58	0,14	0,12
Yop. (tonnes) Capture optimale soutenue pour chaque B soumise à un taux d'exploitation de 50% ($\bar{F} = 0,10$)	396	217	191	198	217	210	225

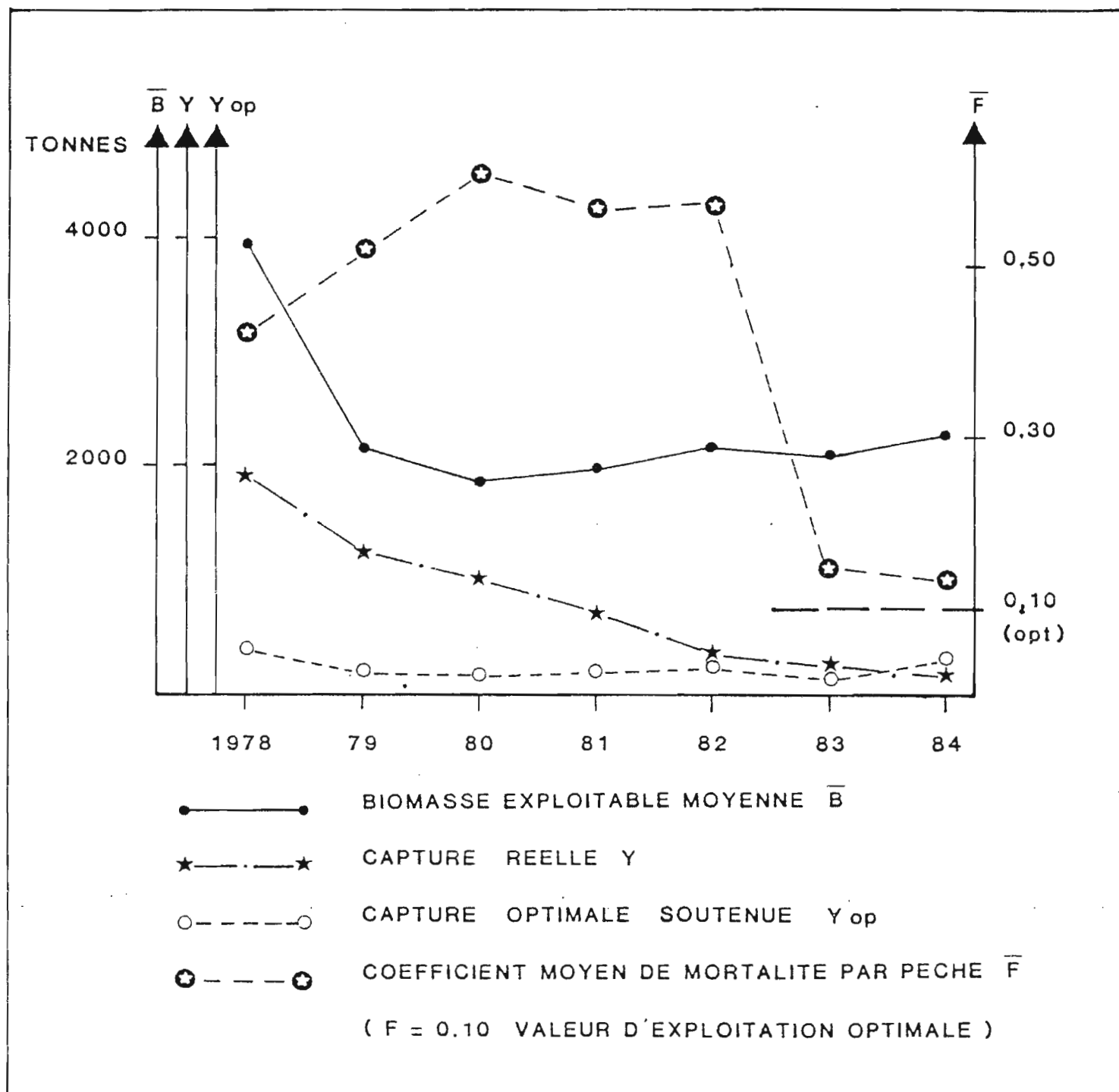


Figure 47 : Evolution des données principales à considérer pour l'aménagement de la pêcherie de trocas.

tive, reste sensiblement constant or les captures n'ont cessé de décroître depuis 1978. L'élément qui relie l'effort de pêche et la mortalité par pêche (évaluée par \bar{F}) s'appelle la capturabilité; elle intègre des notions telles que l'efficience de la pêche et la disponibilité de la ressource. Dans notre cas, il est difficile de déceler une modification de l'efficience de la pêche, par contre la disponibilité a pu baisser considérablement, au moins en certaines zones, ce qui a entraîné la poursuite de la diminution des captures réelles, en dépit d'un effort de pêche apparemment constant. Le fait serait important car il mettrait en évidence une certaine résistance du stock de trocas à l'exploitation excessive et permettrait de n'accorder qu'une faible probabilité à une éventuelle extinction du stock, comme cela a pu être redouté à certaines époques.

La stabilisation puis le début de reconstitution de la biomasse exploitable moyenne observée sur la courbe sont des signes favorables pour tenter, par une gestion adaptée, de faire remonter la biomasse au voisinage de ce qu'elle était en 1978, environ 4000 tonnes. Avec une biomasse de cette ordre, la capture optimale soutenue s'élèverait à 400 tonnes (cinq fois moins que la capture réalisée en 1978); cette valeur doit donc constituer un objectif à atteindre puis un niveau à conserver, par le système du quota par exemple, pour assurer une production soutenue et régulière, comme l'exige généralement une ressource exportée.

4 - Propositions d'aménagement de la pêche

4.1. - Principaux résultats à considérer pour les mesures d'aménagement

4.1.1. - La biomasse exploitable

L'analyse des cohortes a montré que pour revenir à une capture optimale soutenue d'environ 400 tonnes de coquilles exportables, il faut faire revenir la biomasse à son niveau de 1978,

soit 4000 tonnes sur lesquelles s'applique une mortalité par pêche \bar{F} voisine de 0,10. En 1984, la biomasse exploitable est voisine de 2000 tonnes et $\bar{F} = 0,12$; la prise réelle (205 t) est très proche de la capture optimale soutenue (225 t) conservant ce niveau de biomasse. Dans le but de reconstituer la biomasse, il faut envisager une phase transitoire au cours de laquelle la capture annuelle devra être inférieure à 200 tonnes.

4.1.2. - L'effort de pêche

La relation $F = q \times f$, f étant l'effort de pêche exprimé en nombre de pêcheurs, permet de calculer cet effort pour les niveaux de q et de F souhaités. Si nous retenons une capturabilité moyenne de l'ordre de $20 \cdot 10^{-4}$ et un coefficient de mortalité par pêche optimal $\bar{F} = 0,10$, f doit être maintenu au voisinage de $f = 50$ pêcheurs. C'est un nombre inférieur au nombre de pêcheurs déclarés en 1984. Si la capture annuelle est limitée à 100 tonnes, en régime transitoire pour reconstituer la biomasse, chaque pêcheur ne devra pas pêcher plus de deux tonnes par an, soit en moyenne 165 kg par mois. C'est un rendement faible, si on souhaite l'améliorer, il faudra réduire le nombre de pêcheurs. Lorsque la capture pourra être maintenue à son optimum de 400 tonnes, des pêcheurs professionnels pourront vivre de la vente des trocas, ce qui n'est pas possible pendant une période transitoire.

4.2. - Les moyens de la gestion rationnelle

Un Administrateur des pêches, pour arriver aux captures et emplois souhaitables, peut utiliser différents moyens :

- fixation d'un quota annuel.
- fixation du nombre de pêcheurs.
- fermeture de la pêche à une période déterminée de l'année ou pour une longue durée.
- cantonnements ouverts par rotation.
- limitation des tailles.

4.3. - Avantages et inconvénients de ces moyens

4.3.1. - Le quota annuel

- . Avantages: Il peut être maintenant fixé scientifiquement et facilement contrôlé par les services douaniers.
- . Inconvénients: Il faut le répartir entre les pêcheurs. Il pourrait être réparti entre les sociétés exportatrices au prorata de leur activité des sept dernières années; à charge pour elles de le ventiler entre les pêcheurs, par contrat.

4.3.2. - Nombre de pêcheurs

- . Avantages: Il est facile à fixer grâce à la délivrance d'une autorisation de pêche aux trocas, actuellement en vigueur.
- . Inconvénients: Il sera très difficile d'empêcher la pêche non déclarée, principalement la pêche occasionnelle des habitants en tribus.

4.3.3. - Fermeture totale de la pêche pour une longue durée ou à une période de l'année (en saison chaude, période de la reproduction)

- . Avantages: Le contrôle est facile par l'interdiction des exportations. Ce moyen est équitable pour tous les pêcheurs (sauf en cas de stockage illicite).
- . Inconvénients: Ce système a été utilisé dans les années 50 avec peu de succès. Pour être efficace et permettre une reconstitution rapide de la biomasse, la fermeture devrait être complète pendant au moins trois ans consécutifs. C'est le remède de choc que l'on doit pouvoir remplacer par un régime transitoire. La fermeture périodique est mal adaptée à la production d'une ressource vouée à l'exportation.

4.3.4. - Cantonnements ouverts par rotation

- . Avantages : Les quatre grandes zones définies au début de ce rapport, pourraient être la base de cantonnements fermés à la pêche une année sur quatre, en commençant par la plus exploitée, la zone nord-ouest. Cette solution permettrait d'assurer des captures annuelles régulières, donc favorables au marché d'exportation.
- . Inconvénients : Le quota de capture sera attribué pour les trois quarts du biotope, il devra donc être ajusté en conséquence. Le contrôle des cantonnements sera délicat, surtout à proximité des limites. Les flottilles mobiles de pêcheurs seront favorisées par rapport aux pêcheurs sédentaires. De plus, cette réglementation pourrait heurter certaines coutumes locales.

4.3.5. - Limitation des tailles

- . Avantages : Ce moyen est efficace pour circonscrire la phase exploitable de la population et fixer l'âge à la première capture au-delà de l'âge à la première reproduction. L'étude présente a démontré l'efficacité de cette mesure (en particulier celle de la double règle de taille) pour le maintien d'une mortalité par pêche raisonnable et d'un niveau élevé de la fécondité.
- . Inconvénients : Le contrôle est difficile et s'exerce souvent sur les coquillages vides et non sur les animaux vivants; les coquilles hors taille sont perdues pour le stock (et pour l'exportateur, ce qui peut jouer un rôle dissuasif).

Une étude antérieure a montré que le taux de croissance des trocas peut varier considérablement d'un endroit à un autre. Des pêcheurs de la côte Est affirment que leurs trocas ne poussent guère au-delà de 8 à 9 cm. Cette constatation demanderait un contrôle scientifique pour connaître son importance géographique et

quantitatif. Si de grandes superficies de platiers étaient affectées par ce phénomène (ce que la prospection nous conduit à réfuter), la réglementation sur la taille devrait nécessairement en tenir compte.

4.4. - Stratégie en deux phases

Le caractère "surexploitée" de la biomasse des trocas évaluée en 1984 exige des mesures adaptées à une phase transitoire qui, en quelques années devraient amener la biomasse à son niveau optimum de 4000 tonnes exploitables. Arrivée à ce stade, la pêche-rie pourra entrer dans une phase équilibrée autorisant une capture annuelle soutenue d'environ 400 tonnes.

4.4.1. - Phase transitoire

Un quota de capture (ou une limitation du nombre de pêcheurs) associé à une réglementation sur la taille, seront nécessaires au succès de cette phase; son déroulement pourrait être celui du tableau 28.

Tableau 28 - Schéma d'exploitation du stock néo-calédonien pour la gamme de tailles autorisées (entre 9 et 12 cm).

Année	Quota fixé l'année i (tonnes)	Biomasse exploitable l'année i + 1 (tonnes)
1985	100	
1986	150	2 557
1987	150	2 868
1988	200	3 234
1989	300	3 616
1990	400	3 967

Ce schéma montre que la phase transitoire peut durer cinq ans avant d'autoriser la capture optimale de 400 tonnes de coquilles. C'est un plan prévisionnel probablement un peu pessimiste car le taux de croissance moyen utilisé ($G = 1,18$) est plus élevé lorsque la biomasse exploitable est éloignée de son optimum de 4000 tonnes. En matière de gestion halieutique et, en particulier, pour un stock considéré comme fragile, une prospective modérée ne peut être que bénéfique.

4.4.2. - Phase de production soutenue

Un quota optimum de 400 tonnes de coquilles répond à un modèle théorique qui suppose un milieu constant et ne prend pas en compte par exemple une chute brutale du recrutement des juvéniles, à la suite d'accidents climatiques ou autres. Un contrôle régulier du niveau de la biomasse exploitable est indispensable; il peut être appréhendé en terme d'abondance du stock et mesuré par la prise par unité d'effort (P.U.E).

Pour que ce contrôle soit efficace, il est nécessaire de connaître avec précision l'effort de pêche donc le nombre de pêcheurs qui ont produit la capture enregistrée dans l'année. Si cet effort de pêche et la prise totale peuvent être ventilés par grand secteur, l'abondance sera évaluée pour chacun d'eux et la stratégie de pêche pourrait être modulée par secteur. Ces possibilités relèvent toutes du recueil de données statistiques fiables sur les prises et le nombre de pêcheurs, par lieu géographique.

5 - Essais d'aquaculture

5.1. - Intérêt de la production de trocas en bassins

Les travaux de Heslinga et Hillmann (1981) ont montré que l'obtention de juvéniles de trocas en bassins n'exigeait aucun

moyen sophistiqué et que la courbe de mortalité ne rendait pas rédibitoire la production de naissain en vue de repeupler des récifs vidés de leur stock naturel. Les auteurs précédents ont élevé de jeunes trocas jusqu'à l'âge d'un an mais n'ont pas, à notre connaissance, tenté leur transfert dans le milieu naturel.

Dans le but d'explorer cette possibilité de repeuplement, des essais ont été réalisés en Nouvelle-Calédonie avec la collaboration de l'IFREMER.

Un récif dont le peuplement en trocas est trop éclairci ne doit probablement pas assurer un niveau de recrutement suffisant à son maintien et, à terme, finit par laisser le champ libre à d'autres espèces. Le fait d'introduire en un point de ce récif une petite population dont la densité assure des conditions normales pour la reproduction, doit constituer le germe du repeuplement total du récif par la dissémination des larves lors de la phase planctonique.

On pourrait objecter à l'idée précédente qu'un simple transfert d'adultes d'un récif peuplé à un platier surexploité serait un moyen plus rapide d'atteindre l'objectif visé; cette solution est possible pour de petits récifs peu éloignés. Dans le cas particulier de la Nouvelle-Calédonie, cette solution serait coûteuse et alléatoire en raison du grand éloignement des récifs réservoirs (Côte Est) et de ceux à réensemencer (Côte Ouest).

5.2. - Essais réalisés en Nouvelle-Calédonie

En mars 1986, environ trois millions d'oeufs ont été pondus par six femelles placées avec deux mâles dans un bassin de ponte de la station aquacole de St. Vincent, soit plus d'un million d'oeufs par femelle. Après six mois, un millier de juvéniles ont survécu; ils mesuraient entre 2 et 3 mm de diamètre. La figure 48 montre la courbe de croissance observée sur un échantillon de 296 individus. Comparée à la courbe publiée par Heslinga (1981), on

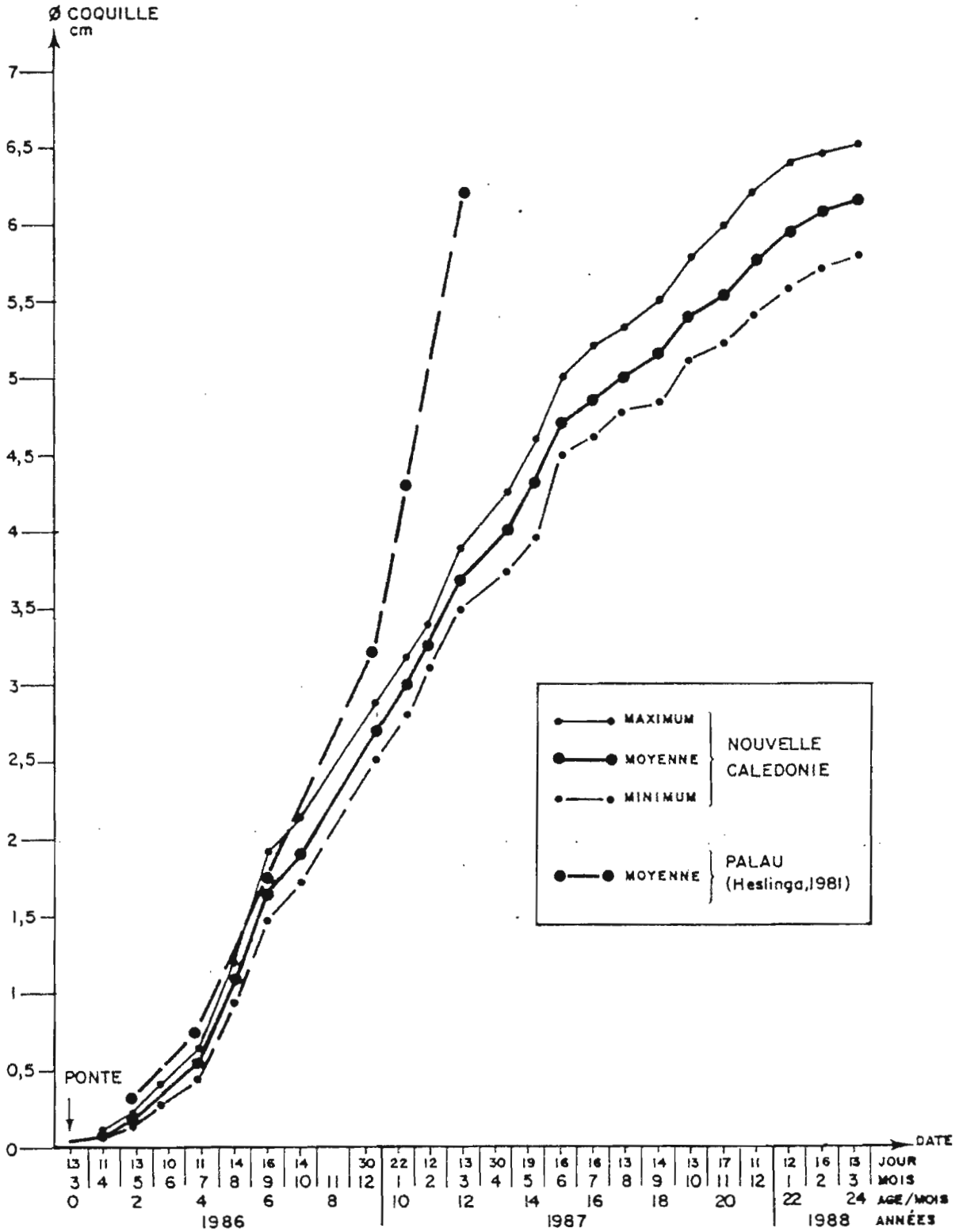


Fig. 48 - Croissance des juvéniles de trocas.

observe une croissance très semblable au cours des six premiers mois puis une nette divergence par la suite. La constance des eaux chaudes de Palau en Micronésie où a eu lieu l'expérience d'Heslinga, est probablement à l'origine de ce phénomène.

CONCLUSIONS

Les trocas constituent une ressource biologique très originale en Nouvelle-Calédonie. La taille et la qualité de la nacre des coquilles ainsi que l'abondance de l'espèce à l'état naturel autorisent une exploitation artisanale orientée vers l'exportation. Paradoxalement, cette ressource vivante fournit une matière première non périssable, échappant aux contraintes de la chaîne de froid, indispensable généralement aux produits de la mer. La vaste ceinture récifale qui entoure la Nouvelle-Calédonie abrite un stock important de trocas et place ainsi ce Territoire parmi les premiers pays producteurs mondiaux. L'analyse d'inertie, conduite sur les facteurs du milieu du biotope favorable, a démontré sa grande variabilité suivant le type de récif observé. Les trocas adultes semblent préférer les platiers externes, recouverts de dalles cavernueuses et soumis à une agitation modérée. La faible profondeur du biotope et les eaux claires qui prévalent dans cette région tropicale, ont facilité l'emploi des techniques nouvelles qu'offre la télédétection pour estimer la superficie des zones potentiellement favorables aux trocas. La cartographie thématique d'un récif par traitement d'image satellitaire offre le double avantage de pouvoir cartographier le biotope recherché et de le situer quantitativement parmi les autres biotopes identifiés. Notre mollusque primitif a donc eu le rare privilège d'être étudié par ces nouvelles techniques spatiales. L'étude biologique de l'espèce a révélé une croissance moyenne relativement lente, fortement influencée par les conditions du milieu. La reproduction est saisonnière; elle a lieu de novembre à avril, pendant la saison chaude; une température ambiante supérieure à 22° semble indispensable au déclenchement de la maturation des gonades. La fécondité absolue est très variable par individu mais augmente avec la taille jusqu'à la classe 111-120 mm où elle se stabilise en moyenne à 2 millions d'ovocytes. La fécondité relative, rapportée au poids de l'animal, indique un potentiel reproductif maximum de la gonade vers la

taille moyenne de 100 mm. Le développement larvaire comporte une phase planctonique lécitotrophe qui ne dépasse pas quelques jours si le substrat favorable est présent. La taille à la première maturité se situe en moyenne à 55 mm de diamètre. Le taux annuel de la mortalité naturelle, évaluée pour les trocas adultes, est égal à 0,1. L'étude du stock exploitable par l'analyse structurale a mis en relief sa grande sensibilité à un taux d'exploitation excessif. La pêche des trocas exige donc une planification et un suivi très strict des captures. Une réglementation autorisant la capture des individus entre 9 et 12 cm s'est révélée positive pour la protection des individus âgés ayant une valeur commerciale faible mais demeurant des géniteurs potentiels. Les trocas possèdent une excellente aptitude à la transplantation, sans risque écologique avéré. L'éclosion et l'élevage de jeunes trocas en bassins ouvrent, par la production de naissain, une voie possible au repeuplement de récifs surexploités et à l'ensemencement de récifs non colonisés par l'espèce. La Nouvelle-Calédonie possède donc, parmi ses nombreuses richesses marines, un coquillage nacrier rustique, adaptable, d'exploitation facile, qui devrait naturellement initier une petite industrie locale de la nacre lui conférant une originalité océanienne dans le Pacifique Sud.

BIBLIOGRAPHIE

- Allan, J. 1947 - The trochus. Fish. Newsl. (Australia), 6(2) : 20-21, 23.
- Amirthalingam, C. 1932a - Correlation of sex and shell structure in molluscs. *Trochus niloticus* Linn. Current Sci. 1:72-73.
- Amirthalingam, C. 1932b. *Trochus niloticus* Linn. in Andaman waters. Nature, 130:98.
- Amirthalingam, C. 1932c. Breeding of trochus and preservation of the beds in the Andamans. Current Sci. 1:31.
- Angot, M. 1958 - Trochus research in New Caledonia. S. Pac. Comm. Quart. Bull. 4:25-28, 33.
- Angot, M. 1968 - Etude du nanisme chez le trocas (*Trochus niloticus*, Linné), coquillage à nacre de Nouvelle Calédonie. Cah. ORSTOM sér. Océanographie 6(2): 33-45.
- Anon., 1950 - Farmllet button factory. Fish. Newsl. (Australia), 9(3): 17.
- Anon., 1951a - Less pearl shell, more trochus. Fish. Newsl. (Australia) 10(3): 7.
- Anon., 1951b - Switch to trochus alarms pearlery. Fish. Newsl. (Australia) 10(8): 7.
- Anon., 1952a - Trochus shells. Fish. Newsl. (Australia) 11(1): 23.
- Anon., 1952b - Pearlery prospect reviewed. Fish. Newsl. (Australia) 11(9): 9.
- Anon., 1972 - Commercial exploitation of trochus, French Polynesia. S. Pac. Comm. Fish. Newsl. 3&4:32.
- Anon., 1980 - The status of management and development of the gastropod and bivalve fishery. Guam Marine Fisheries Advisory Council: 19 pp.
- Anon., 1981a - Tinned trochus makes delicious dishes. S. Pac. Comm. Fish. Newsl. 22:16.
- Anon., 1981b - List of trochus and green snail shell buyers. S. Pac. Comm. Fish. Newsl. 22:17-19.
- Anon., 1982 - Trochus shells - Japan. Overseas Market Report No. 1206, issued by Dept. of Trade and Resources, Canberra.

- Anon., 1983a - Trochus hatchery feasibility study for Vanuatu. S. Pac. Comm. Fish. Newsl. 25:6.
- Anon., 1983b - Trochus transplants carried out in the Cook Islands. S. Pac. Comm. Fish. Newsl. 26:7.
- Anon., 1984a - Trochus tag developed in Palau. S. Pac. Comm. Fish. Newsl. 28:11.
- Anon., 1984b - Australian research worker studies trochus. S. Pac. Comm. Fish. Newsl. 30:13.
- Appukuttan, K.K. 1977 - *Trochus* and *Turbo* fishery in Andamans. Seafood Export Journal, 9(12): 21-25.
- Asano, N. 1937a - On the distribution and variation of top shells in Truk. [in Japanese]. Suisan Kenkyushi (J. Fisheries) 32(5): 255-259.
- Asano, N. 1937b - Report of a survey of suitable sites for transplantation of *Trochus* (Takasegal). I. Saipan Island. [in Japanese]. Nanyo Suisan Jijo (South Sea Fishing News), 1(5): 123-126.
- Asano, N. 1938a - Report of a survey of suitable sites for transplanting *Trochus* (Takasegal). [in Japanese]. Nanyo Suisan Jijo (South Sea Fishing News), 2(8): 105-114.
- Asano, N. 1938b - On the spawning season of *Trochus* (Takasegal). [in Japanese]. Nanyo Suisan Jijo (South Sea Fishing News) 2(9): 126-130.
- Asano, N. 1939a - On the visibility of *Trochus* (Takasegal) when exposed to the air. [in Japanese]. Nanyo Suisan Jijo (South Sea Fishing News), 3(3): 172-174.
- Asano, N. 1939b - On the spawning season of top shell. [in Japanese]. Suisan Kenkyushi (J. Fisheries), 34(1): 36-38.
- Asano, N. 1944 - On the growth of top shell. [in Japanese]. Suisan Kenkyushi (J. Fisheries), 35(4): 92-98.
- Asano, N. 1944 - On the food of top shell (*Tectu (Pyramididae) niloticus* (Linne)) from Palau Islands. [in Japanese]. Kagaku Nanyo (Science of South Seas), 15(: 126-128.
- Asano, N. and N. Kobayashi. 1938 - A basic study of *Trochus*. [in Japanese]. Nanyo Suisan Jijo (South Sea Fishing News), 2(4): 84-86.
- Binet, D. 1984 - Copepodes planctoniques du lagon de Nouvelle-Calédonie : facteurs écologiques et associations d'espèces. Mar. Biol., 82(2): 143-156.

- Birkeland, C. 1978 - Other invertébrates. In "Guam's Reefs and Beaches", ed. R.H. Randall. Univ. Guam Mar. Lab. Tech. Rept. : 48-77.
- Bouchet, P. and W. Bour. 1980 - The trochus fishery in New Caledonia. S. Pac. Comm. Newsl. 20: 9-12.
- Bour, W. 1979 - Trochus fishing in New Caledonia. Working paper No. 11. Eleventh Regional Technical Meeting of Fisheries South Pacific Commission, Noumea, New Caledonia :
- Bour, W. 1984 - Remote sensing and thematic mapping of reefs: Its use for identifying the biotope suitable for trochus. S. Pac. Comm. 16th Regional Tech. Meeting on Fisheries, Nouméa, New Caledonia. Working paper 11. 3 pp.
- Bour, W., F. Gohin and P. Bouchet. 1982 - Croissance et mortalité naturelle des trocas (*Trochus niloticus* L.) de Nouvelle Calédonie. Haliotis, 12: 71-90.
- Bour, W. and R. Grandperrin. 1985 - Croissance des trocas à Vanuatu. Mission ORSTOM de Port-Vila. Notes et Documents d'Océanographie 14: 31 pp.
- Bour, W. and C. Hoffschir. 1985a - Evaluation et gestion de la ressource en trocas de Nouvelle Calédonie. ORSTOM Report, Nouméa, New Caledonia: 28 pp. + tables.
- Bour, W. and C. Hoffschir. 1985b - Assessment and management of the trochus resource in New Caledonia [English version of Bour and Hoffschir 1985a]. South Pacific Commission, 17th Regional Technical Meeting on Fisheries, Noumea, New Caledonia: 15 pp.
- Bour, W. and F. Gohin. 1985 - Trochus shells: a resource for New Caledonia. [English version of Bour, Gohin and Bouchet 1982]. ORSTOM Report, Nouméa, New Caledonia; 18 pp.
- Bour, W., R. Chaume, C. Conand, L. Loubersac and P. Rual. 1985 - Use of high resolution satellite Imagery (SPOT-LANDSAT) in the thematic mapping of three coral reefs of New Caledonia. [Abstract] Proc. Fifth Int. Coral Reef Congress 2:42.
- Bour, W., L. Loubersac and P. Rual. 1985 - Reef thematic maps viewed through simulated data from the future SPOT satellite. Application to the biotop of topshell (*Trochus niloticus*) on the Tetembia Reef (New Caledonia). Proc. Fifth Coral Reef Congress 4:225-230.
- Bryan, P.G. 1975 - Marine survey of Helen Reef, Palau District, April 1975. Unpublished report to the District Administrator, Palau District, U.S. Trust Territory of the Pacific Islands.

- Carleton, C. 1984a - The production and marketing of topshell or button shell from the Pacific Islands. Infofish Marketing Digest, 6/84: 18-21.
- Carleton, C. 1984b - Miscellaneous marine products in the South Pacific: A survey of the markets for specific groups of miscellaneous marine products. South Pacific Forum Fisheries Agency: Honiara, Solomon Islands: 147 pp. + Appendices.
- Chatterjee, S. 1976 - Andaman shell handicrafts. Yojana, 20(13): 70-71.
- Compton, R.H. 1917 - New Caledonia and the isle of Pines. Geographical Journal, 49(2): 81-106.
- Conand, F. 1987 - Biologie et écologie des poissons pélagiques du lagon de Nouvelle Calédonie utilisables comme appât thonier. Thèse Université de Bretagne Occidentale.
- Coudray, J. 1977 - Recherches sur le Quaternaire marin de la Nouvelle Calédonie: état des connaissances et perspectives de recherche. Mem. Géol. Univ. Dijon, 7: 63-72.
- Dahl, A. 1980 - Regional ecosystems survey in the South Pacific area. South Pacific Commission Tech. Pap., 179: 99 pp.
- Daniel, A. and A.S. Rajagopal. 1973 - Molluscs of economic value from Great Nicobar Island. J. Bombay Nat. Hist. Soc. 70 (2): 394-398.
- David, G. 1985 - Pêche de subsistance et milieu naturel. Les mangroves de Vanuatu et leur intérêt halieutique. Mission ORSTOM de Port-Vila. Notes et Documents d'Océanographie, 13: 67.
- Devambe, L.C. 1959 - Survey of Trochus reefs in the central and southern groups of the New Hebrides. S. Pac. Comm. unpublished report: 7 pp.
- Devambe, L.C. 1960 - 1957 trochus transfer to Cooks apparently successful. S. Pac. Bull., 10(4): 31,36.
- Devambe, L.C. 1961 - Report on a supplementary survey of Trochus and green snail reefs in the central and southern groups of the New Hebrides. S. Pac. Comm., unpublished report: 12 pp.
- Dodge, H. 1958 - A historical review of the mollusks of Linnaeus. Part 6. The genus *Trochus* of the class Gastropoda. Bull. Amer. Mus. nat. Hist., 116:153-224.
- Doumenge, F. 1973 - Developing the exploitation of *Trochus niloticus* stocks on Tahiti reefs. S. Pac. Comm. Fish. Newsl., 10: 35-36.

- Dugas, F. et J.P. Debenay. 1978 - Carte sédimentologique et carte annexe du lagon de Nouvelle Calédonie 1/50 000 feuille "Mont-Dore". ORSTOM, notice explicative n° 76 - 20 p.
- Fagolimul, J. 1978 - A survey of YAP outer islands recently seeded with trochus. Report; YAP Dept. of Resources and Development (May 1987).
- Gail, R. 1955 - Rapport au Conseil Général (non publié), IFO, Nouméa: 5 p.
- Gail, R. 1957a - Research on trochus biology and fishing (*Trochus niloticus*). S. Pac. Comm. unpublished report : 8 pp.
- Gail, R. 1957b - Trochus fishing. S. Pac. Comm. Quart. Bull. 7(1): 48-49.
- Gail, R. 1958 - Contribution à l'étude du Troca en Nouvelle-Calédonie. Rapport ORSTOM (non publié), Nouméa, New Caledonia: 43 pp.
- Gail, R. and L. Devambez. 1958 - A selected annotated bibliography of trochus (*Trochus niloticus* Linn.). S. Pac. Comm. Tech. Pap. 111:1-18.
- Gardner, J. 1948 - Bringing in the trochus in the Palau Islands. The Nautilus 61(3): 73-75.
- Gillett, R. 1986 - The transplantation of trochus from Fiji to Tokelau. UNDP/OPE Integrated Atoll Development Project. 28 pp.
- Glucksman, J. and R. Lindholm. 1982 - A study of the commercial shell industry in Papua New Guinea since World War Two with particular reference to village production of trochus (*Trochus niloticus*) and green snail (*Turbo marmoratus*). Science in New Guinea, 9(1): 1-10.
- Gulland, J.A. 1969 - Manuel des méthodes d'évaluation des stocks d'animaux aquatiques. Première partie : analyse des populations. Manuels FAO de science halieutique, 4: 160pp.
- Hancock, D.A. and SIMPSON, A.C. 1962 - Paramètres of marine invertebrate populations. In : The exploitation of natural animal populations. Ed. Le Cren, E.D & Holdgate, M.W., Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Hedley, C. 1917 - The economics of *Trochus niloticus*. Aust. Zool. 1:69-73.
- Heslinga, G.A. 1980a - Report on Palau's trochus hatchery project. S. Pac. Comm. Fish. Newsl. 20:4-8.

- Heslinga, G.A. 1980b - A breakthrough in mariculture promises to bring back trochus. Hawaiian Shell News, 28(4): 1,12.
- Heslinga, G.A. 1981a - Larval development, settlement and metamorphosis of the tropical gastropod *Trochus niloticus* Linnaeus. Malacologia, 20: 349-357.
- Heslinga, G.A. 1981b - Growth and maturity of *Trochus niloticus* in the laboratory. Proc. Fourth Coral Reef Symp. 1: 39-45.
- Heslinga, G.A. and A. Hillmann. 1981 - Hatchery culture of the commercial top snail *Trochus niloticus* in Palau, Caroline Islands. Aquaculture 22: 35-43.
- Heslinga, G.A. and O. Orak. 1984 - A permanent tag for large marine gastropods. Aquaculture 36: 69-172.
- Heslinga, G.A., O. Orak and M. Ngiramengior. 1984 - Coral reef sanctuaries for trochus shells. Marine Fisheries Review 46: 73-80.
- Heslinga, G.A., O. Orak and M. Ngiramengior. 1985 - Coral reef sanctuaries for trochus shells. S. Pac. Comm. Fish. Newsl. 35: 17-20.
- Hoffschir, C. 1988 - Méthode d'identification rapide du sexe des trocas vivants en vue d'aquaculture. Note Technique de l'ORSTOM/Nouméa n° 1, 8 pp.
- Honma, K. 1987 - Growth of coral-reef Gastropods *Trochus niloticus* and *Turbo marmoratus*. Report; Dept. of Mar. Scie. Univ. of the Ryukyus.
- Hooper, A. 1985 - Tokelau fishing in traditional and modern contexts p. 7-38. In L. Ruddle and R.E. Johannes (eds.) The traditional knowledge and management of coastal systems in Asia and the Pacific. UNESCO Regional Office for Science and Technology for Southeast Asia, Jakarta Pusat, Indonesia.
- Hopley, D. 1982 - The geomorphology of the Great Barrier Reef. Quaternary Development of Coral Reefs. Wiley-Interscience Publication, 453 p.
- Inanimiti, Y. and N. Asano. 1939 - Experiments in the transplantation of trochus at Ponape and Jaluit. [in Japanese]. Nanyo Suisan Jijo (South Seas Fish. News) 3(5): 201-217.
- Izumi, M. 1987 - Summary translations of trochus research from South Seas Fisheries news 1937-1939. FAO/UNDP Document 87/2 : 26 pp.
- Johannes, R.E. 1978 - Improving Ponape's reef and lagoon fishery. Mar. Resources Div., Ponape District, U.S. Trust Territory of the Pacific Islands, unpublished report: 28 pp.

- Kataoka, C. 1983 - The progress of the pearl shell fishery in the South Pacific. [in Japanese]. Mem. Fac. Fish., Kagoshima Univ. 32: 1-28.
- Kotaki, Y., Y. Oshima and T. Yasumoto. 1981 - Analysis of paralytic shellfish toxins of marine snails. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 47(7): 943-946.
- Lannelongue, N. et G. Saint. 1987 - Simulation d'images SPOT, filière radiométrique, annexe technique. Fiche F2. GDTA Toulouse.
- Laurec, A. et Le Guen, J.C. 1981 - Dynamique des populations marines exploitées. GSGGS/CNEXO, Rapports Scientifiques et Techniques, n° 45.
- Le Guen, J.C. 1973 - Croissance des Albacores (*Thunnus albacares*). Doc. Scient. CRO Abidjan, IV (3): 1-28.
- Lewis, A.D. (Ed.) 1986 - Fishery Resource Profiles. Information for development planning. Fisheries Division, Ministry of Primary Industry, Suva, Fiji : pp. 13-19.
- Marsh, L.M., R.H. Bradbury and R.E. Reichelt. 1984 - Determination of the Physical Parameters of Coral Distributions Using Line Transect data. Coral Reefs, 2 : 175-180.
- Martens, E. von. 1867 - Conchological gleanings, V. On the different ages of *Trochus niloticus* Linn. and *T. maximus* Koch. Ann. Mag. Nat. Hist., ser., 3(20): 97-103.
- Mass, O. 1975 - Dangerous Waters. Rigby Press: Adelaide.
- McGowan, J.A. 1956 - Current status of the trochus Industry in Micronesia. Unpublished report, Trust Territory of the Pacific Islands: 11 pp. + graphs.
- McGowan, J.A. 1957 - Trochus studies in U.S. Trust Territory. S. Pac. Comm. Quarterly Bulletin 7(2): 22,23,26,32.
- McGowan, J.A. 1958 - The trochus fishery of the Trust Territory of the Pacific Islands. Unpublished report to the High Commissioner, U.S. Trust Territory of the Pacific Islands, Saipan: 46 pp.
- McGowan, J.A. 1959 - The *Trochus niloticus* fishery in Micronesia. Veliger, 1: 26-28.
- Menon, P.M.G. 1976 - Fisheries in the Andamans. Yojana, 20(13) : 63-68.
- Monod, T. 1934 - Notes on the bionomics of *Trochus niloticus* Linn. III. Sur un copépode parasite de *Trochus niloticus*. Rec. Indian Mus. 36: 213-218.
- Montague, P.D. 1915 - Note sur la reproduction des Trocas. Revue Agricole de la Nouvelle Calédonie, 45: 39-43.

- Montilla, J.R. and C.R. Dimen. 1952-1953 - Philippine islands shell used in button manufacturing and the Philippine Islands button industry. Bull. Fish. Serv. Philippines 3/4: 28-34.
- Moorhouse, F.W. 1932 - Notes on *Trochus niloticus*. Sci. Rep. Great Barrier Reef Exped. 1928-29, 3(5): 145-155.
- Moorhouse, F.W. 1933 - The commercial trochus. Rep. Great Barrier Reef Committee, 4(1): 23-29.
- Motoda, S. 1938 - Useful shells in the Palau Islands. [in Japanese] Sapporo Norin Gakkaiho (Jour. Sapporo Soc. Agriculture and Forestry). Year 31, 146: 315-324.
- Muller, R.G. 1973 - Trochus survey - Helen's Reef. Unpublished Report to the District Administrator, Palau District, U.S. Trust Territory of the Pacific Islands: 2 pp.
- Nakajima, K. 1920 - On the top shells in the Palau Islands. [in Japanese]. Suisan Kenkyushi (Jour. Fisheries), 15(4): 47-78.
- Nash, W.J. 1981 - A survey of trochus stocks on selected reefs of the central Great Barrier Reef. Unpublished report submitted to Applied Ecology Pty. Ltd., Canberra: 14 pp.
- Nash, W.J. 1985 - Aspects of the biology of *Trochus niloticus* and its fishery in the Great Barrier Reef region. Unpublished report to the Queensland Dept. of Primary Industries and the Great Barrier Reef Marine Park Authority: x+ 210 pp.
- Nash, W.J. 1986 - Commercial culture of the marine gastropod *Trochus niloticus* in Torres Strait: Its feasibility and prospects. In "Torres Strait Fisheries Seminar, Port-Moresby, 11-14 Feb. 1985", ed. A.K. Haines, G.C. Williams and D. Coates, pp. 133-139. Australian Govt. Publ. Service, Canberra.
- Northern Australian Development Committee, 1946 - Pearl shell, bêche-de-mer and trochus industry of Northern Australia. Northern Australian Development Committee: 104 pp. + Figs., Tables.
- Okajima, K. 1941 - Transplantation of trochus shells in the South Sea Islands. Nanyo Suisan Jijo (South Sea Fish. News). 7(6): 5-12 and 7(7): 9 - 15.
- Panikkar, N.K. 1938 - Recent researches on trochus. Current Sci. 6: 552-553.
- Parkinson, B. 1984 - A report on the potential for the introduction of Trochus (*Trochus niloticus*) to Tuvalu. S. Pac. Comm., Noumea, New Caledonia: 111 + 7 pp.

- Parkinson, B. 1985 - The specimen shell resources of Tuvalu. S. Pac. Comm. Consultant's Report.
- Powell, R. 1960 - Notes on the pearl shell market in the South Pacific. S. Pac. Comm., Noumea, New Caledonia.
- Prashad, B. and H.S. Rao. 1933 - Notes on the bionomics of *Trochus niloticus* Linn. I. On a new species of *Spiroglyphus* (Vermetidae) from the Andamans. Rec. Indian Mus. 35: 409-412.
- Prashad, B. and H.S. Rao. 1934 - Notes on the bionomics of *Trochus niloticus* Linn. II. On two new limpet-like gastropods from the Andaman waters. Rec. Indian Mus. 36: 1-4.
- Randies, W.B. 1905 - Some observations on the anatomy and affinities of the Trochidae. Quart. J. microsc. Sci., new ser. 48: 33-78, plates 4-6.
- Rao, H.S. 1936 - Observations on the rate of growth and longevity of *Trochus niloticus* Linn. in the Andaman Islands. Rec. Indian Mus. 38: 473-499.
- Rao, H.S. 1937 - On the habitat and habits of *Trochus niloticus* Linn. in the Andaman Seas. Rec. Indian Mus. 39: 47-82.
- Rao, H.S. 1939 - Consolidated report on the shell fisheries in the Andamans during the years 1930-35. Zool. Survey India, Calcutta: 130 pp.
- Rao, H.S. and K.C.K.E. Raja. 1936 - A statistical study of the data of growth in shells of *Trochus niloticus* Linn. in Andaman waters. Rec. Indian Mus. 38: 499-503.
- Reid, F. 1954 - The Trochus industry. In "The Romance of the Great Barrier Reef", pp. 182-185. Angus and Robertson: Sydney.
- Richer de Forges, B., G. Bargibant, J.L. Menou, C. Garrigue. 1987 Le lagon sud-ouest de la Nouvelle Calédonie. Observations préalables à la cartographie bionomique des fonds meubles. Rapp. Scient. et Tech. ORSTOM, 45 : 111 pp.
- Risbec, J. 1930 - Etude d'un mollusque nacrier, le troque, *Trochus niloticus* L. Faune des Colonies, 4: 148-189.
- Robert, A. 1900 - Le Troque. In "Zoologie Descriptive" by L. Boutan, Vol. 2, pp. 381-415, text-figs. 493-508.
- Robert, A. 1903 - Recherches sur le developpement des troques. Arch. Zool. exp. gen., ser. 3, 10: 269-538, planches xii-xviii.
- Rougerie, F. and B. Wauthy. 1986 - Le concept d'endo-upwelling dans le fonctionnement des atolls-oasis. Oceanol. Acta, 9,2, 133-148.

- Salvat, B. and C. Rives. 1980 - Coquillages de Polynésie. Les Editions du Pacifique, 2ème ed.
- Seale, A. 1916 - Sea products of Mindanao and Sulu, II. Pearls, pearl shells, and button shells. Philippines J. Sci., sect. D 11: 245-264, plates 1-3.
- Setna, S.B. 1932 - The Andaman shell fishery. J. Bombay Nat. Hist. Soc. 36: 94-100, plates 1-4.
- Sims, N. 1984a - Notes on the ecology of *Trochus niloticus* on Aitutaki, Cook Islands. Unpubl. report, Ministry of Marine Resources, Rarotonga, Cook Is. 17 pp.
- Sims, N. 1984b - The status of *Trochus niloticus* in the Cook Islands: 1984. Working paper No. 18, 16th Regional Technical Meeting on Fisheries, South Pacific Commission, Noumea, New Caledonia: 26 pp.
- Sims, N. 1985a - Report on the trochus seeding voyage to the northern group of the Cook Islands. Ministry of Marine Resources, Rarotonga, Cook Islands.
- Sims, N. 1985b - The abundance, distribution and exploitation of *Trochus niloticus* L. in the Cook Islands. Proc. Fifth Int. Coral Reef Congress 5: 539-544.
- Sims, N. (non daté) - The ecology, abundance and exploitation of *Trochus niloticus* in the Cook Islands. Ministry of Marine Resources, Rarotonga, Cook Islands.
- Smith, B.D. 1979 - Growth rate, abundance and distribution of the topshell *Trochus niloticus* on Guam. M.S. thesis, Univ. of Guam: 24 pp.
- South Seas Government, 1937 - Experiments on transplantation of top shells. Nanyocho Suisan Shikenjo Jigyohohoku (Rep. Fish. Exp. Sta. South Sea Govt.) No. 1 for 1923-1935, Yoshoku-bu (Propagation section): 1-7.
- South Seas Government, 1938 - Experiments on transplantation of top shells. Nanyocho Suisan Shikenjo Jigyohohoku (Rep. Fish. Exp. Sta. South Sea Govt.) No. 3 for 1938, Yoshoku bu (Propagation section): 39-55.
- South Seas Government, 1939 - Experiments on transplantation of top shells. Nanyocho Suisan Shikenjo Jigyohohoku (Rep. Fish. Exp. Sta. South Sea Govt.) No. 2 for 1936-1937, Yoshoku-bu (Propagation section): 121-126.
- South Seas Government, 1941 - Investigation into the ecology of top shells. Nanyocho Suisan Shikenjo Jigyohohoku (Rep. Fish. Exp. Sta. South Sea Govt.) No. 3 for 1938, Yoshoku bu (Propagation section): 69-76.

- Stojkovich, J.O. and B.D. Smith. 1978 - Survey of edible marine shellfish and sea urchins on the reefs of Guam. Aquatic and Wildlife Resources Division, Dept. of Agriculture, Guam, Tech. Rep. 2: 64 pp.
- Talavera, V. and L.A. Faustino. 1931 - Industrial shells of the Philippines. Philippines J. Sci. 45(3): 333-336.
- Tanaka, H. 1938 - Fundamental research on top shell. [in Japanese]. South Sea Fishing, 2(6): 96-97 + 4 Tables.
- Thomassin, B. 1984 - Les récifs coralliens dans l'Indo-Pacifique ouest: Grands types de constructions et successions des phases d'édification. Oceanis, 10(1): 1-49.
- Tomlinson, P.K. 1971 - Prog. BGC4 in : Computer Programs for fish stock assessment. Compiled by Abramson N.J. FAO Techn. Paper N° 201.
- Usher, G.F. 1984 - Coral reef invertebrates in Indonesia: their exploitation and conservation needs. IUCN/WWF Conservation for Development Programme, Project No. 1688: iv + 100 pp.
- Van Pel, H. 1957 - Transplanting trochus in the eastern Pacific. S. Pac. Comm. Quart. Bull. 7(3): 47.
- Vermeij, G.J. 1976 - Interoceanic differences in the vulnerability of shelled prey to crab predation. Nature (Lond.) 260 : 135-136.
- Wells, S.M., R.M. Pyle and N.M. Collins 1983 - The IUCN Invertebrate Red Data Book, pp. 69-77. IUCN, Gland, Switzerland.
- Wright, A. 1986 - An analysis of exports of marine produce from Papua New Guinea for the period 1980 to May 1986 with emphasis on produce collected by small-scale fishermen. Report Dept. of Primary Industry. Fisheries Research Lab. Papua New Guinea.
- Yen, S. 1985 - The exploitation of troca (*Trochus niloticus* L.) in French Polynesia. Proc. Fifth Int. Coral Reef Congress, 5: 557-561.
- Yen, S. and W. Neagle. 1985 - Seafood processing in French Polynesia. S. Pac. Comm. Fish. Newsl., 32: 30-33.
- Yonge, C.M. 1932 - Bionomics of *Trochus niloticus* Linn. Nature 130 (3279): 367.

ANNEXES

ANNEXE 1

Clé Taille/Poids/Age des trocas de Nouvelle-Calédonie

Age (ans)	Diamètre (mm)	Poids moyen coquille vide (g)
1	35 - 50	27
2	51 - 65	56
3	66 - 75	95
4	76 - 85	140
5	86 - 95	200
6	96 - 100	250
7	101 - 110	310
8	111 - 115	390
9	116 - 119	430
10	120 - 123	470
11	124 - 126	520
12	127 - 129	550

EXPORTATIONS DES TROCAS

de 1940 à 1987

ANNEE	TONNES	ANNEE	TONNES	ANNEE	TONNES
1940	176	1956	400	1972	0
1941	399	1957	70	1973	85
1942	163	1958	275	1974	320
1943	24	1959	125	1975	115
1944	5	1960	240	1976	475
1945	0	1961	155	1977	1047
1946	1220	1962	140	1978	1915
1947	1180	1963	125	1979	1245
1948	470	1964	110	1980	1012
1949	400	1965	75	1981	724
1950	425	1966	75	1982	435
1951	600	1967	35	1983	241
1952	500	1968	40	1984	256
1953	580	1969	30	1985	518
1954	860	1970	85	1986	305
1955	730	1971	10	1987	170

réimprimé par le Centre ORSTOM
de Nouméa
Mai 1989

