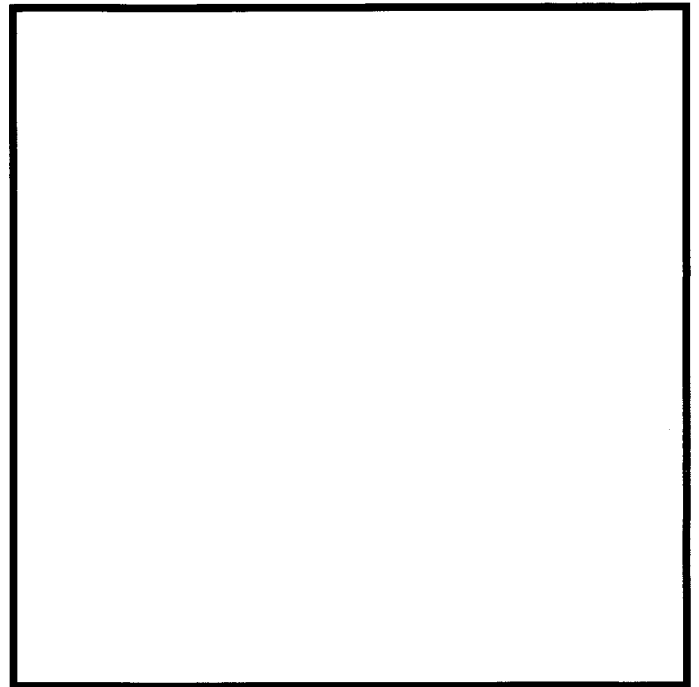


# ANTARCTIQUE



PROGRAMME BELGE  
DE RECHERCHES SCIENTIFIQUES  
SUR L'ANTARCTIQUE

**PREMIÈRE PHASE (1985-1989)**

**RAPPORT DE SYNTHÈSE**

## TABLE DES MATIERES

AVANT-PROPOS .....	III
RÉSUMÉ OPÉRATIONNEL .....	IV
<b>1 <u>CADRE D'ACTION</u></b>	
<b>1.1 <u>INTRODUCTION</u></b> .....	1
<b>1.2 <u>ASPECTS POLITIQUES</u></b> .....	1
1.2.1 RÉGIME INTERNATIONAL DE L'ANTARCTIQUE .....	1
1.2.2 PLACE OCCUPÉE PAR LA BELGIQUE .....	4
<b>1.3 <u>ASPECTS SCIENTIFIQUES</u></b> .....	7
<b>1.4 <u>ASPECTS ÉCONOMIQUES</u></b> .....	10
1.4.1 RESSOURCES VIVANTES .....	10
1.4.2 RESSOURCES MINÉRALES .....	10
1.4.3 AUTRES .....	12
<b>1.5 <u>DÉVELOPPEMENTS RÉCENTS</u></b> .....	14
<b>2 <u>CONTENU DU PROGRAMME</u></b>	
<b>2.1 <u>MOTIVATIONS</u></b> .....	15
<b>2.2 <u>OBJECTIFS</u></b> .....	16
<b>2.3 <u>CHOIX OPÉRATIONNELS</u></b> .....	16
2.3.1 BUDGET .....	16
2.3.2 DURÉE, GESTION ET COORDINATION .....	17
2.3.3 DOMAINES ET THÈMES DE RECHERCHE .....	19
<b>3 <u>DÉROULEMENT DU PROGRAMME</u></b>	
<b>3.1 <u>SUIVI DES RECHERCHES</u></b> .....	22
<b>3.2 <u>COOPÉRATION INTERNATIONALE</u></b> .....	22
<b>3.3 <u>CAMPAGNES EN ANTARCTIQUE</u></b> .....	24

<b>3.4 <u>RÉSULTATS DES RECHERCHES</u></b> .....	28
3.4.1 ECOLOGIE PLANCTONIQUE .....	28
3.4.2 GÉOCHIMIE MARINE .....	32
3.4.3 GÉOPHYSIQUE MARINE .....	33
3.4.4 GLACIOLOGIE - CLIMATOLOGIE .....	34
<b>3.5 <u>DIFFUSION</u></b> .....	40
<b>4 <u>BILAN GLOBAL</u></b> .....	41
<b>5 <u>ANNEXES</u></b>	
5.1 <u>PUBLICATIONS</u> .....	45
5.2 <u>RÉFÉRENCES</u> .....	49
5.3 <u>LISTE DES ACRONYMES</u> .....	51

## AVANT-PROPOS

Le présent rapport vise à dresser un tableau d'ensemble de l'action entreprise par la Belgique en vue de concrétiser sa présence dans l'effort scientifique international sur l'Antarctique au cours de la période 1985/89.

Les buts, les modalités et les résultats de cette action ne peuvent être analysés et compris sans faire appel, outre bien entendu aux aspects strictement scientifiques, au contexte politique et économique international dans lequel s'inscrit plus largement toute activité scientifique nationale ayant l'Antarctique pour cadre.

C'est à ces divers aspects et à leurs implications au niveau de la Belgique qu'est consacrée la partie CADRE D'ACTION de ce rapport.

Les caractéristiques détaillées du Programme font l'objet de la deuxième partie, CONTENU DU PROGRAMME.

Une troisième partie, DEROULEMENT DU PROGRAMME, rend compte des divers aspects de son exécution et principalement des campagnes en Antarctique et des résultats des recherches.

Le BILAN GLOBAL du Programme est présenté dans la dernière partie du rapport.

Ce rapport a été préparé par le responsable actuel du Programme (M. S. Caschetto).

Il a été approuvé par le Comité Interdépartemental d'Accompagnement du Programme en date du 15 août 1990.

## RÉSUMÉ OPÉRATIONNEL

Le Programme de recherches scientifiques sur l'Antarctique a été conçu à l'initiative du Ministre de la Politique scientifique, et élaboré par les SPPS sous la forme d'une action thématique coordonnée, à caractère national et pluriannuel. Il a été mis en oeuvre en application de la décision du Conseil des Ministres du 29 juillet 1985.

Il comporte dix thèmes de recherche conformes aux priorités scientifiques reconnues au plan international, et qui couvrent quatre domaines: l'écologie planctonique, la géochimie marine, la géophysique marine et la glaciologie-climatologie.

Les recherches ont débuté le 1<sup>er</sup> octobre 1985 et ont été clôturées le 31 janvier 1989. Leur exécution a été confiée à des équipes de pointe, en impliquant les six universités complètes du pays. La gestion globale, la coordination des recherches et la diffusion de leurs acquis ont été confiées aux SPPS. Le suivi du Programme a été dévolu à un comité interdépartemental.

Un budget total de 91 585 000 FB a été prévu pour toute la durée du Programme (octobre 1985 - octobre 1989).

Cette formule a été retenue en vue de concrétiser la volonté de la Belgique de rester présente sur la scène internationale dans le domaine de la recherche scientifique sur l'Antarctique.

En dépit de l'absence de moyens logistiques propres et malgré des moyens budgétaires limités, le Programme a démontré son caractère opérationnel.

Cet effort a été apprécié très favorablement tant au niveau de la communauté scientifique internationale qu'au niveau du Traité sur l'Antarctique.

La coopération internationale a été largement développée et a notamment permis l'intégration des scientifiques belges dans des campagnes organisées à l'étranger. D'une manière générale, elle a donné lieu à des collaborations pluridisciplinaires suivies et qui se sont traduites au niveau des publications scientifiques du Programme.

Les recherches ont abouti à un corps de connaissances cohérent, original et conforme à la problématique scientifique moderne de l'Antarctique.

La rencontre des objectifs fixés a été principalement due au niveau d'excellence des équipes chargées des recherches. L'effort de diffusion du contenu et des acquis du Programme, ainsi qu'une gestion et une coordination appropriées ont également largement contribué à ce résultat.

Le Programme a ainsi permis de renforcer la crédibilité de la Belgique au sein du Traité.

# 1 CADRE D'ACTION

## 1.1 INTRODUCTION

Les activités de recherche sur l'Antarctique sont classiquement rattachées à la science fondamentale. Elles y occupent cependant une place à part, en raison de leurs interactions spécifiques avec le contexte politique et dont l'ampleur ne se rencontre ailleurs que dans certains domaines particuliers de la R&D, tels que le domaine spatial et celui des télécommunications.

La recherche scientifique et la politique dont l'Antarctique<sup>(1)</sup> fait l'objet sont animées de motivations et de finalités d'inspiration réciproque. Elles agissent l'une vis-à-vis de l'autre à la fois comme plate-forme de développement et comme cadre d'action.

Cette interaction conditionne simultanément la conception, la mise en oeuvre, l'exécution et les objectifs des activités scientifiques sur l'Antarctique au point qu'il serait illégitime d'en évaluer le déroulement et les résultats selon les critères habituellement adoptés pour la science fondamentale ou a fortiori pour la R&D.

D'autres facteurs interviennent également dans l'évaluation, en particulier les contraintes logistiques qui déterminent en grande partie le déroulement des campagnes sur le terrain.

Ces considérations ont été analysées conjointement aux données d'ordre scientifique et économiques pour évaluer l'opportunité d'une relance des recherches belges ainsi que pour en concevoir les modalités de mise en exécution.

## 1.2 ASPECTS POLITIQUES

### 1.2.1 RÉGIME INTERNATIONAL DE L'ANTARCTIQUE

Le statut de l'Antarctique est régi par un traité international fondé sur la règle du consensus et où la science joue un rôle intégrateur capital. Ce traité ne dispose d'aucune autonomie financière ni d'aucune structure administrative permanente. Son fonctionnement est assuré par la tenue de Réunions Consultatives biennales.

Divers facteurs dont la conjonction est propre à l'Antarctique, ont contribué à instaurer un régime politique de cette nature:

---

(1): Il s'agit ici de toute la zone située au Sud du 60<sup>ème</sup> degré de latitude sud. Outre le continent proprement dit, elle englobe donc également la partie méridionale de l'Océan Atlantique, de l'Océan Indien et de l'Océan Pacifique. Ces trois régions océaniques forment une unité cohérente du point de vue océanographique, et à laquelle on donne le nom d'Océan Austral. Ce sens global sera celui utilisé tout au long du rapport.

(i) historiquement, l'Antarctique n'a jamais été peuplé et il est par conséquent considéré comme potentiel d'expansion territoriale pour certains pays bien que toute forme de colonisation humaine permanente y reste encore impossible;

(ii) de nombreuses disciplines scientifiques y trouvent un champ d'étude unique;

(iii) cette région revêt une importance stratégique. Le Passage de Drake assure le trafic des navires de fort tonnage auxquels le canal de Panama est mal adapté, et il deviendrait la seule solution en cas de blocage de ce canal. De plus, certains Etats sont préoccupés par la vulnérabilité de leurs flancs méridionaux dans l'hypothèse d'une agression venant de l'Antarctique;

(iv) l'Antarctique recèle des ressources marines vivantes dont le potentiel économique, d'ailleurs exploité depuis longtemps, pourrait s'avérer énorme, et il n'est pas exclu qu'il renferme des ressources minérales.

Néanmoins, sept Etats<sup>(1)</sup> ont fait valoir de manière formelle et unilatérale des prétentions territoriales sur des secteurs précis de l'Antarctique. D'un autre côté, l'URSS et les USA se réservent le droit d'émettre un jour des revendications non spécifiées.

Le recouvrement des secteurs revendiqués par l'Argentine, le Chili et le Royaume-Uni a donné lieu entre 1942 et 1957 à de graves incidents. En 1959, afin de désamorcer la tension alors jugée capable de mettre la paix mondiale en péril, douze Etats<sup>(2)</sup> réunis à Washington ont adopté un régime international, le Traité sur l'Antarctique, entré en vigueur en 1961.

Son objectif premier est de garantir l'utilisation de l'Antarctique à des fins exclusivement pacifiques. Ses principes fondamentaux sont: la démilitarisation; l'interdiction de procéder à des essais nucléaires ou d'y stocker des déchets radioactifs; la liberté de recherche scientifique; la promotion de la coopération scientifique.

La clef de voûte du Traité réside dans le consensus politique qu'il maintient autour de la question des revendications territoriales. En effet, le Traité instaure le "gel" des prétentions de souveraineté sans se prononcer sur le problème de leur reconnaissance. De plus, tant qu'il restera en vigueur, en principe indéfiniment<sup>(3)</sup>, aucune nouvelle revendication n'est admise.

---

(1): Argentine, Australie, Chili, France, Norvège, Nlle Zélande, Royaume-Uni.

(2): Les sept états précités plus l'Afrique du Sud, la Belgique, le Japon, l'URSS et les USA.

(3): Contrairement à une opinion fort répandue, aucune date d'expiration n'est stipulée par le Traité. En particulier, 1991 correspond simplement à l'entrée en vigueur d'une modification de la procédure de révision du fonctionnement du Traité. Aucune disposition du Traité ne prévoit par ailleurs l'obligation d'en réviser le fonctionnement à une date fixée.

Ce régime s'est avéré parfaitement viable jusqu'ici<sup>(1)</sup>.

Le consensus pour établir un régime international de cette nature a pu être atteint grâce au rôle joué par la recherche scientifique.

Le succès de l'"International Geophysical Year" (1957/58) a démontré que la coopération scientifique offrait aux Etats désireux de manifester une présence nationale sur le terrain, un cadre d'action acceptable pour tous. L'IGY a été l'inspirateur du régime acté par le Traité.

Les douze pays qui ont ratifié le Traité, devenant ainsi les Parties Consultatives dites "signataires", sont d'ailleurs ceux qui avaient pris une part importante dans la réussite de l'IGY.

En offrant un moyen honorable et non-conflituel de cautionner tacitement une présence nationale sur le terrain, la science a rendu possible la création du Traité, et contribue depuis à en assurer le fonctionnement. Elle constitue en effet un centre d'intérêt prioritaire autour duquel le Traité est en mesure d'instaurer le consensus interne et d'asseoir une certaine légitimité externe.

La science est l'un des principaux vecteurs de la politique menée par les PC du Traité et par les membres qui désirent accéder à ce statut. Elle procède dans ce cas d'une motivation politique, et de ce fait, son développement est très largement le fruit de soutiens gouvernementaux.

Il faut néanmoins garder à l'esprit que le Traité n'a pas la vocation d'un organisme scientifique.

---

(1): La guerre des "Falklands-Malvinas" survenue en 1982 entre l'Argentine et le Royaume-Uni ne constitue pas une exception (pour rappel cet archipel est en dehors de la zone d'application du Traité).



## 1.2.2 PLACE OCCUPÉE PAR LA BELGIQUE

Grâce aux efforts scientifiques qu'elle avait déployés dans le cadre d'une politique de prestige, et notamment lors de l'IGY, la Belgique a pu contribuer à l'avènement du Traité. Elle s'est vue de ce fait automatiquement nantie du statut de Partie Consultative "signataire" du Traité.

A partir des années 70, l'effort scientifique de la Belgique s'est relâché au moment précis où l'on assiste à un regain international de l'intérêt envers l'Antarctique.

Ce regain s'observe dans divers secteurs:

(i) dans le domaine scientifique, des pays comme le Brésil, la Chine, l'Inde et la RFA consacrent l'équivalent de milliards de FB à l'établissement de bases sur le continent, la création d'instituts polaires ou l'affrètement de navires. Ils viennent ainsi rejoindre le cercle des pays traditionnellement présents dans ce domaine, lesquels développent également leurs activités. On assiste parallèlement à un accroissement notable du nombre des articles scientifiques publiés sur l'Antarctique (12 000 en 1970; 30 000 en 1982);

(ii) la protection de l'environnement devient une préoccupation croissante qui se traduit par la création de deux instruments spécifiques: la "Convention for the Conservation of Antarctic Seals" (Londres, 1972) et la "Convention for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources" (Canberra, 1980);

(iii) au plan politique, un nombre grandissant d'Etats deviennent membres du Traité. De 12 lors de son entrée en vigueur, ils passent à 39 en 1989, l'augmentation étant surtout sensible à partir de 1980 (Fig.1). Le nombre de PC, inchangé jusqu'en 1977, s'accroît de 92% entre 1980 et 1989. Toutefois, en termes relatifs, il apparaît que le pouvoir décisionnel au sein du Traité s'est d'abord régulièrement restreint jusqu'en 1984 pour amorcer ensuite une tendance à l'élargissement (Fig.1).

(iv) à partir des années 80, l'Antarctique apparaît régulièrement à l'ordre du jour de réunions d'organismes politiques internationaux et en particulier des Nations Unies, qui publient en 1984 un rapport exhaustif sur ce sujet. Le Parlement Européen abordera ce thème en 1987 (rapports MOORHOUSE, 1987 et MUNTINGH, 1987);

(v) l'opinion publique se sensibilise aux questions antarctiques et principalement à la vulnérabilité de cet environnement, tandis que les médias spéculent sur le potentiel économique de la région.

Il convient de souligner que le regain de l'intérêt scientifique est principalement lié à deux facteurs:

(i) la volonté d'un nombre croissant d'Etats d'accéder au statut de PC. Pour rappel, le Traité prévoit d'accorder le statut de PC, statut auquel le pouvoir décisionnel est assujéti, à tout Etat devenu membre du Traité par accession «...aussi longtemps que cette Partie contractante démontrera son intérêt envers l'Antarctique en y menant des recherches scientifiques substantielles comme l'établissement d'une base scientifique ou l'envoi d'une expédition scientifique. » (Art.IX, alinéa 2). A noter que ce statut ne constitue donc pas un

acquis définitif pour ces Etats, à l'inverse du cas des "signataires";

(ii) à partir des années 70, le Traité fait l'objet de critiques externes de la part de pays en voie de développement qui situent sa politique dans la perspective nord-sud. Ces critiques sont ressenties comme une menace envers la stabilité de tout le Système du Traité sur l'Antarctique<sup>(1)</sup>, et que les PC s'efforcent de désamorcer en mettant en avant la nécessité du maintien d'un régime international stable, seul à même d'assurer une utilisation pacifique de l'Antarctique fondée sur la promotion des sciences. En conséquence, la plupart des PC accroissent leur effort de recherche scientifique.

Dans ce contexte, en relâchant ses activités scientifiques la Belgique cessait de répondre entièrement à l'attente de ses partenaires du Traité.

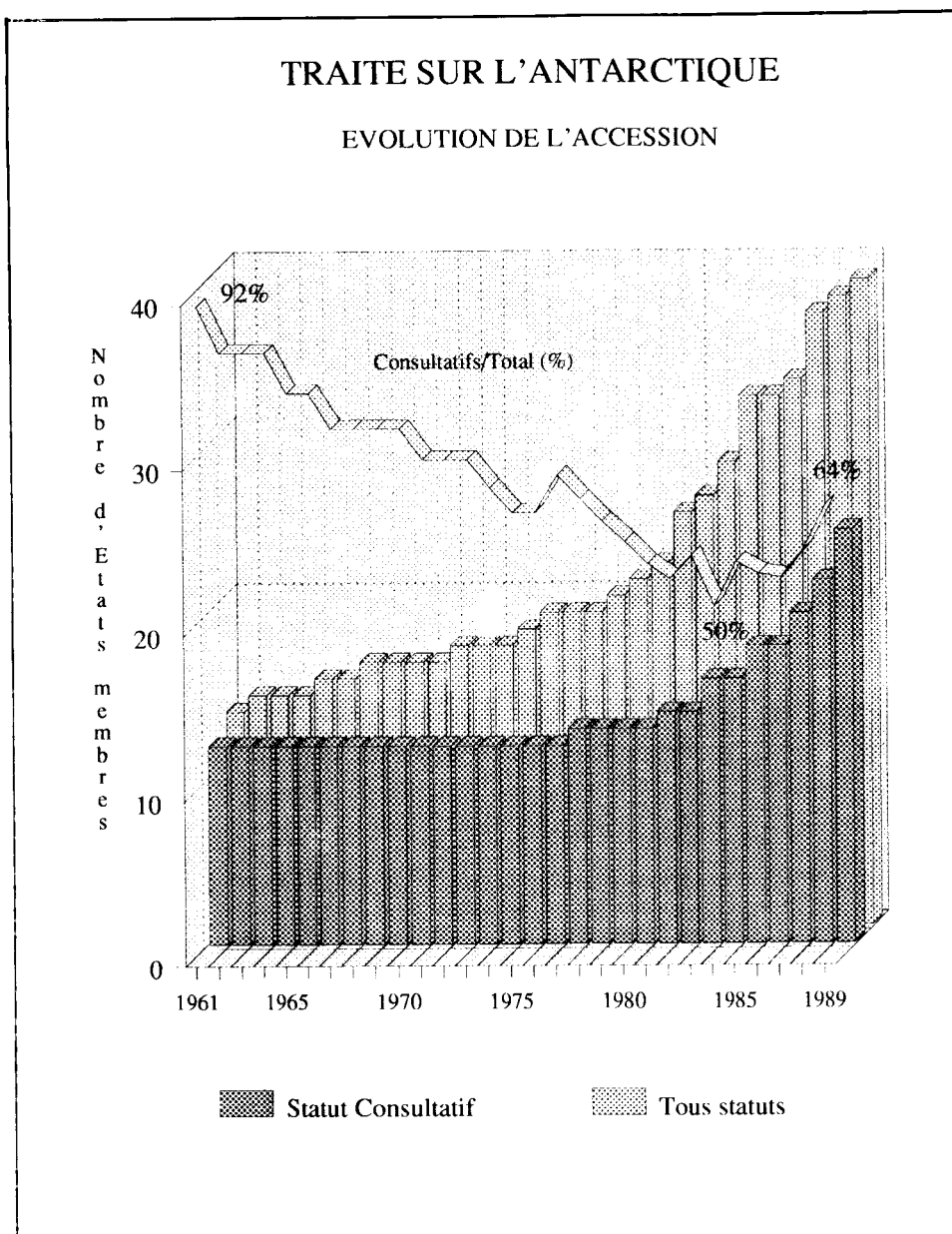
La signature du Traité de Washington en 1959 a permis de "geler" les prétentions de souveraineté émises par certains Etats à l'égard de l'Antarctique.

Ce Traité constitue un régime international qui assure l'utilisation pacifique de l'Antarctique sous forme, principalement, d'activités scientifiques. Sa légitimité, son fonctionnement et sa cohésion reposent en grande partie sur ces activités.

Jusque dans les années 70, la Belgique a maintenu l'effort scientifique qui lui avait permis d'accéder au pouvoir décisionnel au sein du Traité dès l'origine.

Un relâchement ultérieur de cet effort s'est produit à un moment où est apparu un regain d'intérêt international à l'égard de l'Antarctique. La recherche scientifique en particulier a connu un développement considérable au niveau international, en raison de la volonté de certains pays d'accéder au statut de PC, tandis que les PC s'efforcent de maintenir la stabilité du Système.

(1): Le Traité proprement dit, les mesures adoptées conformément à celui-ci ainsi que les Conventions sur la Conservation des Phoques (CCAS) et sur la Conservation des Ressources Marines Vivantes (CCAMLR) forment ce qu'on appelle le Système du Traité sur l'Antarctique (STA).



**Figure 1:** Evolution cumulative par année, du nombre d'Etats membres du Traité depuis son entrée en vigueur. ("Tous statuts": total des membres, tous statuts confondus. "Statut Consultatif": fraction de la catégorie précédente correspondant au nombre de membres ayant le Statut Consultatif). La surface en forme de ruban ("Consultatifs/Total") représente la proportion entre les deux catégories. Elle montre une forte tendance à la concentration, en termes relatifs, du pouvoir décisionnel depuis l'entrée en vigueur du Traité jusqu'en 1984. A partir de 1984, la tendance s'inverse brusquement, témoignant de l'ouverture du Traité.

### 1.3 ASPECTS SCIENTIFIQUES

L'Antarctique est le siège d'une série de phénomènes naturels remarquables dont l'étude est susceptible de contribuer au progrès général des sciences. Tel est par exemple le cas dans le domaine de la tectonique des plaques.

La recherche sur l'Antarctique peut également avoir des retombées dépassant le cadre de cette région, comme par exemple une meilleure compréhension de l'évolution du climat terrestre à travers l'analyse des signaux paléo-climatiques non-perturbés qui sont archivés dans les glaces. Cette région est en effet la seule au monde à avoir subsisté dans son intégrité pratiquement originelle.

Nous savons néanmoins aujourd'hui que les activités humaines, si elles venaient à s'y développer de manière incontrôlée, pourraient provoquer des altérations graves du milieu.

Les écosystèmes marins semblent particulièrement vulnérables à la pollution. Les conditions hydrodynamiques et météorologiques de l'Océan Austral font que la production primaire ne s'y développe en abondance que dans de strictes limites d'espace et de temps. La majorité des êtres vivants ont développé des stratégies alimentaires qui leur permettent de s'adapter à cette fugacité de la nourriture. Des réserves internes sont ainsi constituées en peu de temps, qui leur permettent de survivre durant les longues périodes de l'année où la nourriture est rare. Dans certains cas, la reproduction est synchronisée en conséquence. On comprendra donc aisément qu'une pollution du type déversement d'hydrocarbures pourrait avoir des conséquences écologiques graves.

Des perturbations minimales, mais réelles s'observent déjà aux alentours de certaines bases scientifiques (déchets solides enfouis dans la neige; métaux lourds dans les lichens) (ANONYME, 1989). On a également observé la présence de traces de plomb dans les neiges (BOURTON and GÖRLACH, sous presse) et de DDT dans la graisse et les oeufs de manchots (FIFIELD, 1987), polluants vraisemblablement acheminés via la circulation atmosphérique ou océanique.

Une politique de gestion rationnelle du milieu conçue dans une optique de protection de l'environnement s'impose, objectif qui rencontre un consensus international unanime.

A plus grande échelle, la mise en évidence de la diminution de l'ozone stratosphérique sous l'effet de l'apport de divers polluants halogénés (CFC, halons, tétrachlorure de carbone, méthylchloroforme) depuis les régions industrialisées, a déclenché une prise de conscience mondiale sur le caractère global et l'équilibre délicat des conditions régnant sur Terre.

Ce phénomène a également mis en évidence l'intérêt de l'Antarctique en tant que référentiel pour l'étude de la pollution.

Parmi les principaux domaines de recherche classiquement abordés dans cette région on peut citer:

### (i) LA CLIMATOLOGIE:

L'Antarctique joue un rôle déterminant dans la régulation du climat terrestre. La calotte glaciaire empêche le continent d'emmagasiner la chaleur solaire, de sorte qu'il agit comme une énorme pompe à chaleur alimentée par l'intermédiaire de la circulation atmosphérique et océanique. Leurs régimes propres sont respectivement la turbulence anticyclonique et la convection baroclinique. Mais des mécanismes particuliers interviennent aux interfaces. La banquise isole l'océan de l'atmosphère durant une bonne partie de l'année; les deux circulations n'interfèrent alors pas, et les échanges par évaporation/précipitation ne se produisent plus. Au-dessus de la calotte glaciaire, les vents subissent des effets de gravité. L'ensemble de ces phénomènes indique que l'on ne peut comprendre le climat terrestre sans connaître les mécanismes du bilan thermique au-dessus de l'Antarctique et des échanges thermiques Océan Austral/atmosphère.

### (ii) LES SCIENCES ATMOSPHÉRIQUES:

Le Pôle Sud constitue le lieu privilégié pour étudier les interférences entre les ondes électro-magnétiques et le plasma d'origine solaire, d'une part, et la magnétosphère, l'ionosphère et la thermosphère, d'autre part. Ces interférences peuvent être à l'origine de répercussions économiques néfastes (détérioration de composants micro-électroniques ou de cellules solaires des satellites; distorsion de l'imagerie satellitaire radar; altérations des communications à hautes fréquences via les satellites géostationnaires). La modélisation de la circulation de la haute atmosphère permet quant à elle de mieux comprendre le fonctionnement du climat terrestre. Dans le domaine de la physico-chimie de la stratosphère, les chercheurs s'efforcent de comprendre les mécanismes responsables de la raréfaction de l'ozone, phénomène qui a amené une prise de conscience mondiale du caractère global de certaines pollutions.

### (iii) L'OCÉANOLOGIE:

Environ la moitié des masses d'eaux profondes de tous les océans se forment autour de l'Antarctique et conservent des propriétés physico-chimiques que l'on peut identifier jusque dans l'Atlantique Nord, et qui sont déterminantes dans la régulation de la productivité des océans. Le courant circumpolaire assure le lien entre la circulation des eaux des océans Atlantique, Pacifique et Indien. L'Océan Austral joue également un rôle majeur dans l'enfouissement global de composés chimiques comme le CO<sub>2</sub> ou la silice. Dans le domaine de la biologie, il offre un terrain unique pour étudier des adaptations métaboliques et des stratégies alimentaires. L'écologie quant à elle, constitue la base d'une exploitation rationnelle des ressources marines vivantes. Elle contribue aussi à améliorer la connaissance générale du fonctionnement des écosystèmes. Grâce à une approche intégrée (hydrodynamique, géochimie, écologie, météorologie, glaciologie etc...) on peut espérer établir une politique de gestion rationnelle de l'environnement.

#### (iv) LA GLACIOLOGIE:

Les études de la calotte glaciaire comportent trois grands aspects: (i) les modèles de simulation de la dynamique des glaces en fonction de leurs interactions avec l'atmosphère et l'océan, qui fournissent le moyen d'établir des scénarios de variation du niveau des mers pour différentes conditions climatiques; (ii) les analyses de la composition isotopique et de la teneur en CO<sub>2</sub> le long de carottes de glace, qui permettent de retracer les variations simultanées de ce gaz et de la température atmosphérique au cours des derniers 160 000 ans; à partir de la corrélation observée, il est possible de tenter de prédire l'évolution future du climat en fonction de la pollution atmosphérique par le CO<sub>2</sub>; (iii) les analyses des teneurs en métaux dans les carottes de glaces, qui fournissent le témoignage de l'exportation des effets de la pollution industrielle au cours du temps. D'un autre côté, les glaces marines sont étudiées dans le cadre de leur rôle climatique, comme mentionné ci-dessus. Leur extension et leur retrait saisonniers font l'objet de modèles de simulation destinés à assurer la sécurité de navigation. Les biologistes s'intéressent quant à eux aux phénomènes hydrodynamiques, à la pénétration lumineuse et à l'apport de nutriments qui sont conditionnés par ces variations saisonnières, et dont la production primaire dépend.

#### (v) LES SCIENCES DE LA TERRE:

La géologie et la géophysique s'attachent principalement à reconstituer les événements liés à la fragmentation et à la séparation du super-continent Gondwana, qui voici 170 millions d'années, regroupait l'Afrique du Sud, l'Amérique du Sud, l'Australie, l'Inde et Madagascar autour du continent antarctique (dérive des continents). Ce phénomène est important pour comprendre la dynamique de la croûte terrestre (tectonique des plaques) et la distribution géographique de la faune et de la flore. L'évaluation d'un éventuel potentiel minier repose également sur ces sciences.

L'Antarctique est un champ d'investigation privilégié pour la recherche scientifique:

(i) il est le siège d'un grand nombre de phénomènes naturels dont la compréhension est susceptible de contribuer significativement à l'amélioration générale des connaissances scientifiques;

(ii) il renferme des archives paléo-climatiques dont l'analyse permet de reconstituer les mécanismes climatiques globaux et partant, de simuler l'évolution future du climat;

(iii) il constitue un environnement de référence pour l'étude des phénomènes de pollution.

De son côté, la recherche scientifique permet d'établir les bases d'une politique de gestion rationnelle de l'environnement de l'Antarctique.

## 1.4 ASPECTS ÉCONOMIQUES

### 1.4.1 RESSOURCES VIVANTES

Les ressources vivantes de l'Antarctique sont circonscrites au milieu marin. Leur exploitation économique se limite actuellement au krill (crustacés proches des crevettes) et aux poissons. On pêche également des céphalopodes mais uniquement à titre exploratoire.

Le Japon et l'URSS sont responsables chaque année de quelque 98% du total des captures de krill. Celles-ci sont en moyenne de l'ordre de 300 000 tonnes/an (ANONYME, 1988), ce qui représente 0.4% du total annuel mondial de la pêche. Les débouchés commerciaux actuels sont faibles: le krill n'est pas encore entré dans les habitudes alimentaires, et son coût de production est grevé par les conditionnements spéciaux auxquels il doit être soumis dans les heures qui suivent sa capture afin d'être apte à la consommation.

Sous l'angle prospectif, le krill monopolise néanmoins l'attention par sa biomasse, par son accessibilité à proximité de la surface de la mer sous forme d'essaims géants, et par sa composition biochimique (chitine, vitamines, protéines, acides gras, enzymes).

En ce qui concerne les poissons, le total des captures s'élève en moyenne à 100 000 tonnes/an. Bien que ces captures soient d'un niveau modeste, elles ont été identifiées par les experts du CCAMLR comme la cause directe de la diminution spectaculaire de la biomasse de certaines espèces, observée dès 1975, et qui a incité le CCAMLR à établir des quotas spécifiques de capture.

L'ordre de grandeur du seuil maximal de la pêche mondiale est actuellement estimé à 100 millions de tonnes/an. A cet égard, malgré les incertitudes considérables des données biologiques, on estime que le krill offre un potentiel économique réel. En effet, la biomasse et la production annuelle du krill sont considérables, avec des valeurs respectivement comprises entre 44 et 7 500 millions de tonnes, et entre 25 et 2 250 millions de tonnes selon les auteurs (KNOX, 1983). Il convient dès lors de ne pas négliger d'évaluer soigneusement un potentiel économique de cette ampleur, et particulièrement sous l'aspect alimentaire.

En comparaison, les perspectives économiques s'avèrent assez étroites pour ce qui est des poissons, même si leur valeur marchande devait se maintenir à un niveau supérieur à celle du krill comme c'est le cas actuellement.

### 1.4.2 RESSOURCES MINÉRALES

Sur la base de l'opinion convergente émanant d'experts internationaux en la matière (ZUMBERGE, 1979; BEHRENDT, 1983; BEHRENDT and MASTERS, 1983; ROWLEY et al., 1983; GARRETT, 1985; HAYES, 1985; QUILTY, 1985) et par ailleurs reprise par les Nations-Unies dans leur rapport de 1984, on peut établir le constat suivant:

(i) la prospection de la partie émergée du continent a mis à jour l'existence de nombreux indices minéraux mais en l'absence de plus amples données géologiques qui indiqueraient le contraire, ils doivent être considérés comme exempts de toute perspective

économique en raison de leur quantité et de leur qualité trop faibles;

(ii) a ce jour, on ne connaît que deux gîtes minéraux suffisamment importants<sup>(1)</sup> pour donner lieu à exploitation s'ils se trouvaient dans n'importe quel autre continent. Mais pour se trouver en Antarctique, ils sont à ranger parmi les ressources conditionnelles<sup>(2)</sup>;

(iii) l'existence d'épaisses séries sédimentaires dans des bassins tels ceux de la Mer de Weddell, de Ross ou de Bellingshausen est considérée comme un facteur en principe favorable à la présence d'hydrocarbures (pétrole, gaz). Ces bassins ont fait l'objet d'explorations géophysiques tant de la part des scientifiques que des pétroliers:

- en 1972/73, le navire scientifique "Glomar Challenger" a réalisé des forages dans les sédiments du plateau continental de la Mer de Ross mettant ainsi en évidence des traces de méthane et d'éthane mais qui ne constituent pas l'indication de la présence d'un gisement;

- en 1986, la mission de la Nouvelle Zélande auprès des Communautés Européennes a annoncé la découverte de résidus asphaltiques dans les sédiments de la Mer de Ross, en signalant que tout en n'ayant pas de signification économique, ces résidus témoignaient que les roches étudiées avaient effectivement contenu un jour du pétrole et des gaz échappés ensuite;

- la présence d'hydrocarbures formés sous l'effet de la température a été signalée dans le Détroit de Bransfield (WHITICAR et al., 1985);

- des sondages sismiques ont été menés par l'"Australian Bureau of Mineral Resources", l'Institut Fédéral Allemand pour la Géoscience et les Ressources Naturelles, l'Institut Français des Pétroles et la "Japan National Oil Company". Les rares travaux dont les conclusions ont été rendues publiques confirment l'intérêt pétrolier potentiel des bassins sédimentaires mentionnés.

(iv) les spéculations émises vers la fin des années 70 sur le potentiel de l'Antarctique en hydrocarbures ont été en partie dictées par la crise pétrolière de 1973/74. Par la suite, en effet, on a évalué que le seuil de rentabilité pour du pétrole off shore qui serait extrait dans le contexte propre à l'Antarctique, se situerait entre 60\$ et 85\$ le baril;

(v) pour le reste, il convient de parler de ressources spéculatives. Les arguments en faveur de leur probable existence sont:

---

(1): Il s'agit de charbon et de fer découverts dans les "Prince Charles Mountains" et les "Transantarctic Mountains".

(2): Les "ressources conditionnelles" représentent les gîtes de faible intérêt économique en raison des difficultés d'extraction, du marché des matières premières ou d'incertitudes légales. Les "réserves" sont les ressources évaluées (étude détaillée de la teneur, des réserves, et des structures) et économiquement exploitables. Par ailleurs, les ressources non identifiées se divisent en "hypothétiques" et en "spéculatives" selon qu'il s'agit de districts miniers connus ou à découvrir (US BUREAU OF MINES AND US GEOLOGICAL SURVEY, 1980). L'appartenance d'un gîte donné à l'une de ces catégories est fonction des conditions prévalant au moment de la classification.



- les analogies géologiques avec les continents voisins rattachés à l'Antarctique voici quelque 170 millions d'années (dérive des continents), et où sont exploités divers gisements;

- le fait que l'observation géologique directe est limitée (à peine 2% de la surface totale du continent est libre de glace) et que ce continent représente un dixième de la surface totale des terres émergées.

(vi) de toute manière, même si l'on venait à découvrir des ressources minérales susceptibles d'exploitation (réserves), on se trouverait confronté à une série de problèmes (extraction, transport, sécurité du personnel, protection de l'environnement, régime d'exploitation etc...) pour lesquels aucune solution concrète n'est prévisible à moyen terme.

Au plan belge, l'intérêt envers ces ressources potentielles n'a jamais été manifeste, comme c'est également le cas à l'égard des ressources marines vivantes.

### 1.4.3 AUTRES

L'utilisation de l'eau douce emprisonnée sous forme d'icebergs fait l'objet de travaux de R&D alimentés par des investissements internationaux ("Iceberg Transport International Ltd.", "Icebergs for the Future"). Malgré l'énormité des investissements initiaux impliqués par le transport des icebergs, l'exploitation de l'eau ainsi produite pourrait s'avérer rentable à long terme. Les perturbations hydrodynamiques et écologiques qu'impliquerait vraisemblablement ce type d'exploitation constituent de toute manière un obstacle réel.

Des concentrations de nodules polymétalliques se rencontrent dans l'Océan Austral le long d'une bande située au Sud du 60ème parallèle sud et pouvant atteindre quelque 500 km de large. Le principal intérêt des nodules des fonds marins réside dans leur teneur en cuivre, cobalt et nickel. Or l'on sait que dans les nodules du Pacifique ces teneurs diminuent régulièrement depuis l'équateur vers l'Antarctique, ce qui permet de croire que l'Océan Austral ne constitue sans doute pas une région favorable à cet égard. De plus, les conditions météorologiques qui règnent la plupart du temps dans cet océan rendraient les opérations d'extraction des nodules extrêmement aléatoires.

Pour mémoire, on peut citer parmi les ressources potentielles, l'énergie éolienne et l'énergie géothermique, mais dont l'intérêt serait purement local (alimentation des bases scientifiques par exemple).

Enfin, certains pays d'Amérique du Sud considèrent le tourisme comme une rentrée de devises à ne pas négliger. Toutefois, le tourisme est regardé avec beaucoup de suspicion par les autres membres du Traité en raison des risques de dégradation de l'environnement.

Il ressort en substance, qu'à ce stade, les conditions ne sont pas réunies pour que les activités de pêche dans l'Océan Austral puissent être menées de manière rentable et rationnelle.

On peut dire également qu'à ce jour aucune ressource minérale économiquement exploitable n'a encore été identifiée en Antarctique. De plus, l'état actuel du marché des matières premières et sa probable évolution à moyen terme ne plaident pas en faveur du passage à l'exploration minière en Antarctique.

Le potentiel économique de cette région, qui se révèle d'ailleurs encore trop aléatoire et vraisemblablement hors de portée pour un pays de la taille de la Belgique, ne fait pas l'objet d'une attention prioritaire de sa part.

## 1.5 DÉVELOPPEMENTS RÉCENTS

Il convient de noter que les PC ont élaboré une Convention sur la réglementation des activités relatives aux ressources minérales (CRAMRA), dont l'Acte final a été signé à Wellington le 2 mai 1988 et qui met au point un régime contraignant quant à ces activités.

La prise de conscience accrue des problèmes écologiques a éveillé des doutes chez un certain nombre de pays PC. Plusieurs ont renoncé à signer cette convention, y compris certains pays dont l'accord exprès est indispensable.

La Belgique s'est refusée à signer la Convention et a adopté une loi qui interdit à ses ressortissants toute activité de prospection, exploration et exploitation des ressources minérales (loi du 23 octobre 1989 - Moniteur belge du 20 janvier 1990).

Notre pays partage les vues de la France et de l'Australie qui souhaitent que l'Antarctique devienne un parc naturel - terre des sciences et qu'il bénéficie d'un régime global de protection de l'environnement.

## 2 CONTENU DU PROGRAMME

### 2.1 MOTIVATIONS

Au début des années 80, les activités scientifiques de la Belgique se trouvaient dans une phase de réduction notable. Ce relâchement prenait d'autant plus de relief qu'un regain international de l'intérêt envers l'Antarctique se développait au même moment. Le phénomène était particulièrement manifeste au niveau des recherches scientifiques, dont le développement traduisait la volonté des PC d'adopter une attitude unanime dans la défense du Traité.

On a donc assisté à un effritement de la position de la Belgique au sein du Traité, comme en ont fait état les délégués des Affaires étrangères aux Réunions Consultatives du Traité.

Sous l'angle strictement scientifique, l'Antarctique présentait certes un intérêt pour la Belgique, mais au même titre que nombre d'autres régions terrestres, au demeurant moins éloignées, au propre comme au figuré. Quant à l'acquis scientifique belge dans ce domaine, il ne pouvait se prévaloir d'un caractère d'excellence qui aurait justifié un effort de soutien de la part du Gouvernement. On pouvait donc dire que ce domaine ne constituait pas une priorité scientifique.

Au plan économique, la Belgique ne s'était jamais investie ni dans l'exploration ni dans l'exploitation des ressources naturelles de l'Antarctique.

Bien que la Belgique ne nourrisse aucune aspiration politique ou économique de s'affirmer comme puissance antarctique, elle a néanmoins jugé opportun de maintenir son rôle au sein du STA.

Compte tenu du rôle joué par la science dans le cadre du Traité, la mise en oeuvre de recherches au plan national s'imposait comme le moyen adéquat pour renforcer la crédibilité de la Belgique.

Le cadre national de ces recherches est une formule dictée à la fois par les impératifs inhérents au Traité sur l'Antarctique et par le fait qu'aucun programme international autonome n'a vu le jour jusqu'ici.

## 2.2 OBJECTIFS

Il a été rappelé ci-avant comment les activités scientifiques et politiques se sont développées en véritable symbiose depuis la création du Traité sur l'Antarctique, en 1959, et comment l'opportunité de procéder à la relance des recherches scientifiques belges s'est imposée dans ce contexte en termes essentiellement politiques.

Conjointement à cet aspect politique, il a été délibérément opté pour des objectifs qui soient compatibles avec l'ensemble de la politique scientifique du pays.

Un Programme de recherches scientifiques sur l'Antarctique a donc été mis en oeuvre à cette fin, sous la forme d'une action thématique nationale coordonnée ayant l'envergure suffisante pour rencontrer les objectifs fixés tout en restant dans une enveloppe budgétaire raisonnable.

Les objectifs de l'action de relance scientifique belge sur l'Antarctique, tels qu'ils ont été approuvés par le Conseil des Ministres réuni le 29 juillet 1985, sont les suivants:

*(i) renforcer en Belgique un noyau de compétence et d'expertise permettant à notre pays d'être présent dans les activités scientifiques mises en oeuvre au niveau mondial pour l'étude de l'Antarctique, conformément à l'esprit du Traité sur l'Antarctique;*

*(ii) axer l'essentiel de l'effort de recherche autour de deux domaines principaux qui, conformément à un large consensus international, réclament un effort de développement prioritaire en raison de l'étendue de leurs implications pratiques et compte tenu de l'état des connaissances; ces deux domaines sont l'écologie du plancton qui conditionne toute la chaîne alimentaire marine, et la glaciologie en relation avec ses implications climatologiques, soit précisément deux domaines où existe un potentiel scientifique belge de valeur;*

*(iii) apporter une "valeur ajoutée" scientifique aux recherches en cours dans un certain nombre d'équipes universitaires d'excellence (actives notamment dans des programmes internationaux de R&D et dans des programmes d'"Action de Recherche Concertées") en veillant, par une gestion et une coordination appropriées, à ce que les activités menées par elles dans le cadre international aient des retombées dans des domaines d'intérêt concret pour la Belgique (tels que l'océanologie, la climatologie, la télédétection).*

## 2.3 CHOIX OPÉRATIONNELS

### 2.3.1 BUDGET

Le financement du Programme était à charge des crédits prévus au budget des Services du Premier Ministre - secteur politique scientifique - titre II - article 01.01.01. Le budget total a été fixé à 91 585 000 FB pour toute la durée de la Première Phase du Programme (octobre 85 - octobre 89).

L'ensemble des crédits de fonctionnement et de personnel directement alloués aux dix équipes chargées de la réalisation des recherches s'est élevé au total à 62% du budget total de la Première Phase (Fig.2, poste "recherches"). Pour chaque équipe, le budget a permis de couvrir le salaire d'un assistant ainsi que les frais de fonctionnement (en moyenne, environ 1/5 des frais de personnel) durant une période de trente-six mois.

D'autres frais directement liés aux recherches (missions à l'étranger et en particulier les campagnes en Antarctique, analyses isotopiques, données de télédétection, etc...), ainsi que dans une moindre mesure des frais généraux de gestion (publications, journées d'études, etc...) ont été prévus à concurrence de 19% du budget total (Fig.2, poste "frais communs").

Les frais d'acquisition du matériel et des instruments scientifiques nécessaires aux équipes pour mener à bien leurs recherches ont correspondu à 7.5% du budget total (Fig.2, poste "équipements"). Ces deux derniers postes ont été gérés par les SPPS.

Les 7.5% restants du budget ont été prévus pour couvrir les frais en personnel de gestion sur une période de trois ans et dix mois.

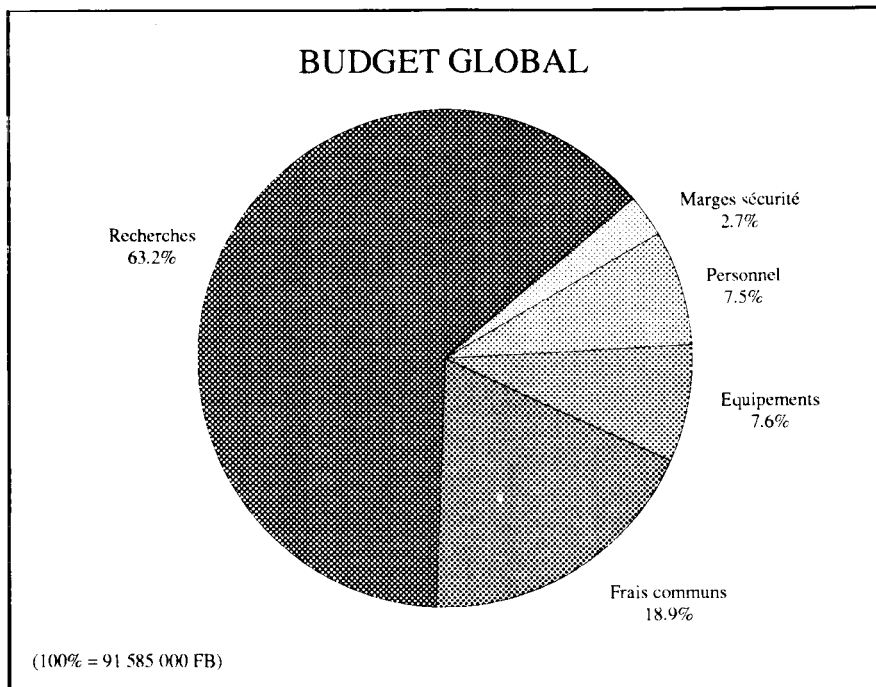
La répartition budgétaire entre les quatre domaines de recherche du Programme (Fig.3) a été le reflet d'options conformes aux priorités scientifiques internationales.

### 2.3.2 DURÉE, GESTION ET COORDINATION

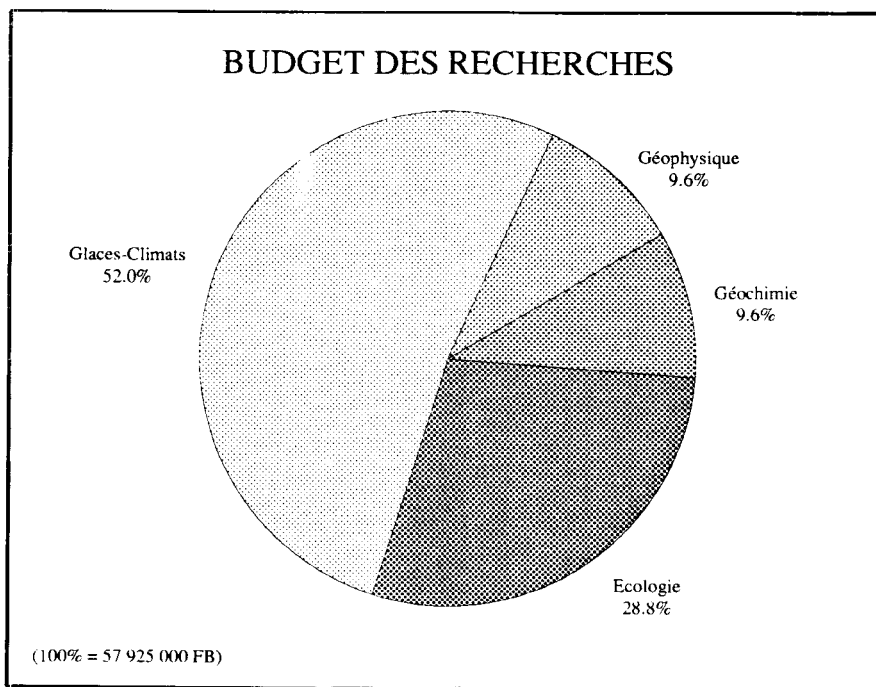
La Première Phase du Programme a débuté le 1<sup>er</sup> octobre 1985 et s'est terminée le 31 octobre 1989. L'achèvement de toutes les recherches a été prévu par le calendrier du Programme pour le 31 décembre 1988. Les dix derniers mois ont été consacrés à la clôture administrative du Programme. Par ailleurs, en raison d'impératifs liés aux dates des campagnes en Antarctique, certaines recherches ont dû être prolongées jusqu'au 31 janvier 1989.

La gestion et la coordination du Programme ont été assurées par les SPPS au sein d'une équipe de gestion sous la responsabilité du directeur opérationnel du Programme national R&D "Etude des ressources terrestres et marines par satellite".

Parmi les tâches dévolues à cette équipe on peut citer: le lancement des contrats de recherche; la coordination et le suivi des recherches; la gestion budgétaire; l'intégration des chercheurs à des campagnes en Antarctique organisées à l'étranger; la diffusion nationale et internationale des objectifs et des acquis du Programme; l'organisation de réunions; la préparation de rapports et documents d'information; les acquisitions d'équipements destinés aux équipes; la préparation de la Seconde Phase, etc...



**Figure 2:** Répartition entre les différents postes budgétaires du Programme.



**Figure 3:** Répartition budgétaire entre les domaines de recherche du Programme.

Le suivi de l'exécution du Programme a été confié au Comité Interdépartemental d'Accompagnement arrêté par le Gouvernement pour le Programme national R&D "Etude des ressources terrestres et marines par satellite". Il est présidé par le Secrétaire général des SPPS, et est composé de représentants de sept départements:

- Affaires économiques
- Affaires étrangères
- Agriculture
- Défense nationale
- Santé publique et Environnement
- SPPS
- Travaux publics.

### 2.3.3 DOMAINES ET THÈMES DE RECHERCHE

La plupart des programmes nationaux de recherche sur l'Antarctique couvrent un vaste éventail de domaines et de thèmes. Outre ceux évoqués au point 1.3, il n'est pas rare de rencontrer également la biologie et la géologie terrestres, la météorologie, la médecine en milieu polaire, la résistance des matériaux, ou encore, la géochimie des météorites. La mise en oeuvre de programmes de cette envergure implique des moyens budgétaires et un potentiel humain considérables.

Dans le cas de la Belgique, avec une enveloppe budgétaire annuelle limitée à environ 30 000 000 FB, il a été opté pour un effort de recherche focalisé sur quelques domaines prioritaires et qui mette l'accent sur la coordination des travaux. L'essentiel des recherches a en effet été consacré à deux domaines qui constituent des priorités internationales en raison de l'état des connaissances et de leurs implications globales au niveau de la gestion rationnelle de l'environnement et des mécanismes qui contrôlent les conditions régnant sur Terre. Il a de plus été veillé à ce que les thèmes de recherche fassent un tout cohérent. Des recherches plus limitées ont également été menées dans deux autres domaines afin de garantir une couverture scientifique raisonnable (Fig.3).

Il a également été tenu compte du potentiel scientifique disponible et le choix s'est effectué en fonction de la capacité opérationnelle et du niveau d'excellence des équipes de recherche.

Enfin, vu la nécessité d'assurer les travaux de terrain par le biais de l'intégration des chercheurs belges à des campagnes en Antarctique organisées à l'étranger, le choix s'est autant que possible reporté sur l'océanologie, après avoir rencontré les critères précédents. Il est en effet de tradition que le pays organisateur d'une campagne océanographique invite un certain nombre de scientifiques étrangers.

Les thèmes de recherche ont été établis en fonction des priorités définies par la communauté scientifique internationale dans le but de formuler les connaissances nécessaires pour répondre à deux besoins majeurs:

(i) assurer la gestion rationnelle de l'Antarctique dans une optique de préservation de cet environnement très vulnérable à d'éventuelles activités humaines;



(ii) évaluer les effets à l'échelle de la planète de phénomènes naturels comme les échanges thermiques avec les continents et les océans voisins, la formation des eaux océaniques profondes, les variations climatiques, etc...

Sur ces bases, les projets de recherche du programme, qui relèvent de quatre domaines scientifiques, ont été établis comme suit:

## 1. ÉCOLOGIE PLANCTONIQUE

### 1.1. BIOCHIMIE DE LA NUTRITION DU PHYTO- ET DU BACTÉRIOPLANCTON

Dr G. BILLEN, ULB

Etude biochimique des processus nutritionnels du phyto- et du bactérioplancton, et modélisation de ces processus en fonction des paramètres environnementaux, dans le but d'évaluer leurs implications dans la production globale des écosystèmes côtiers et océaniques.

### 1.2. BIOCHIMIE ET ÉCODYNAMIQUE DU ZOOPLANCTON

Dr J.H. HECQ, ULg

Etude de l'évolution qualitative et quantitative, dans l'espace et dans le temps, du contenu lipidique du zooplancton en fonction des conditions alimentaires et physiques de l'océan austral, dans le but de mieux comprendre le fonctionnement de la chaîne alimentaire marine océanique par comparaison avec les milieux côtiers.

### 1.3. ECOTOXICOLOGIE ET ACTIVITÉ PLANCTONIQUES

Dr C. JOIRIS, VUB

Etude des mécanismes de transfert des polluants organiques stables et du mercure dans le plancton, et évaluation de la respiration du phytoplancton et de sa production, en relation avec leur rôle dans la chaîne alimentaire des écosystèmes océaniques et côtiers.

## 2. GÉOCHIMIE MARINE

### BIOGÉOCHIMIE DU BARYUM

Dr F. DEHAIRS, VUB

Evaluation de la nature et de l'importance des effets dus à la dégradation de la matière organique dans le cycle biogéochimique du baryum en vue de l'utilisation des éléments-traces dans l'étude de la circulation océanique.

### 3. GÉOPHYSIQUE MARINE

#### STRATIGRAPHIE SÉISMIQUE ET DYNAMIQUE DES ARGILES

Dr J.P. HENRIET, RUG

Application de la sismique réflexion à l'étude de la nature et des structures de déformation des couches géologiques de la frange marine côtière de l'Antarctique, en vue d'évaluer le rôle respectif des facteurs régionaux et locaux dans la genèse des sédiments péri-antarctiques.

### 4. GLACIOLOGIE - CLIMATOLOGIE

#### 4.1. COMPOSITION ISOTOPIQUE DES GLACES DE REGEL

Prof. R. SOUCHEZ, ULB

Etude théorique et expérimentale du fractionnement isotopique de l'oxygène et de l'hydrogène lié à la fusion et au regel des glaces, en relation avec l'interprétation paléo-climatologique de la composition isotopique des glaces, et avec l'évaluation de la vitesse de formation des glaces.

#### 4.2. INTERACTIONS OcéAN-GLACE-ATMOSPHÈRE

Prof. A. BERGER, UCL

Modélisation mathématique des relations entre la formation de l'eau profonde de l'océan et de la glace marine dans la zone péri-antarctique, d'une part, et l'action du vent originaire de la calotte glaciaire, d'autre part, pour l'étude du climat.

#### 4.3. DYNAMIQUE DE LA CALOTTE GLACIAIRE

Prof. H. DECLEIR, VUB

Développement de modèles d'interactions entre l'épaisseur de la calotte glaciaire, l'écoulement des glaciers et les variations du niveau de la mer en Antarctique, en vue d'évaluer les implications climatiques de ces interactions.

#### 4.4. MODÉLISATION DES MERS DE GLACE

Modélisation mathématique de l'évolution dans le temps et dans l'espace, des zones marginales de la banquise, en vue de connaître la distribution de la concentration des glaces entre le coeur du pack et la frontière de l'océan libre:

##### 4.4.1. MODÈLE DYNAMIQUE DE CIRCULATION OcéANIQUE

Prof. J. BERLAMONT, KUL.

##### 4.4.2. MODÈLE THERMODYNAMIQUE ET DYNAMIQUE DE LA GLACE

Dr G. PICHOT, UGMM.

### **3 DÉROULEMENT DU PROGRAMME**

#### **3.1 SUIVI DES RECHERCHES**

Le suivi des recherches a été réalisé par l'équipe de gestion du Programme sur une base périodique et sur une base ponctuelle.

Les rapports semestriels d'avancement ont permis d'évaluer le respect du calendrier des tâches confiées à chaque équipe compte tenu notamment des aspects pratiques et logistiques. D'une manière générale, la tenue des campagnes en Antarctique organisées par d'autres pays et auxquelles les chercheurs belges ont pris part, a nécessité des adaptations parfois significatives des calendriers des recherches.

En ce qui concerne le contenu scientifique proprement dit, les travaux ont de plus été suivis sur la base de visites des laboratoires des équipes, de réunions de coordination, de rapports scientifiques établis à la moitié de la durée du Programme, ainsi qu'à l'occasion du Colloque national belge sur la recherche antarctique organisé le 20 octobre 1987 par les SPPS.

Au niveau interdépartemental, le Comité d'Accompagnement s'est réuni le 10 juin 1987 et le 17 juin 1988. Les états d'avancement et les évaluations des travaux ainsi que le projet de la Seconde Phase du Programme présentés par l'équipe de gestion du Programme ont été approuvés à l'unanimité.

Par ailleurs, l'état d'avancement du Programme et les activités de la Belgique dans le cadre du Traité sur l'Antarctique ont été soumis et approuvés lors de la réunion du Groupe de Concertation sur la Coopération Internationale du 15 avril 1987.

#### **3.2 COOPÉRATION INTERNATIONALE**

La recherche scientifique sur l'Antarctique est ancrée dans une tradition de coopération internationale depuis le déroulement de l'IGY. Cette tendance s'est considérablement accentuée au cours des dix dernières années en réponse aux besoins nés de l'évolution de la problématique scientifique de cette région.

A partir de 1975 environ, la majorité des pays actifs dans ce domaine ont progressivement entrepris des recherches orientées vers la résolution de problèmes à caractère global comme ceux liés à la protection des écosystèmes, à la circulation atmosphérique et océanique et aux changements climatiques.

Les échelles caractéristiques des phénomènes naturels à étudier et leurs interactions complexes nécessitent la collecte et le traitement par des méthodes élaborées, de vastes séries de données scientifiques.

Les méthodes et les outils scientifiques à mettre en oeuvre (analyses physico-chimiques de pointe; utilisation de systèmes d'acquisition automatiques de données; approche multidisciplinaire intégrée; modélisation mathématique; traitement de données de télédétection; exploitation de banques de données, etc...) font de plus en plus appel à des compétences multiples et de haut niveau.

De telles recherches ne sont plus concevables sans la mise en commun de potentiels scientifiques humains et matériels aussi larges que possible.

Le Programme a été conçu en tenant compte de cette évolution de la recherche scientifique sur l'Antarctique et le développement de liens de coopération a fait l'objet d'un effort important de la part des chercheurs belges et des SPPS.

Les collectes d'échantillons et les mesures de terrain réalisées au cours des campagnes en Antarctique ne constituent donc qu'un des aspects de la coopération internationale développée dans le cadre du Programme. Il convient de souligner que la contribution des scientifiques belges à des réalisations internationales s'est déroulée dans les limites de l'intégration des tâches de recherche fixées par le Programme.

Tout au long du Programme les chercheurs belges ont travaillé de manière directe et suivie avec des chercheurs étrangers en vue de mener à bien de véritables projets conjoints. Des séminaires et des séjours dans des instituts de recherche étrangers, en ont été la principale voie de réalisation.

C'est ainsi qu'un peu plus du quart de toutes les publications scientifiques directement issues du Programme comportent au moins un auteur étranger (voir annexe 5.1).

Les principales institutions étrangères impliquées dans la collaboration avec les chercheurs du Programme sont les suivantes:

Australie:

- Australian Antarctic Division.

Danemark:

- University of Aarhus, Department of Ecology and Genetics.
- University of Copenhagen.

Espagne:

- Centro de Estudios Avanzados de Blanes.

France:

- Centre National de Recherches Météorologiques de Toulouse.
- Institut d'Etudes Marines de Brest.
- Laboratoire de Géochimie Isotopique de Saclay.
- Université P. & M. Curie, Laboratoire de Physique et Chimie Marines.

Israël:

- Tel-Aviv University.

Italie:

- Instituto di Biologia del Mare CNR di Venezia.

Japon:

- National Institute for Polar Research.

Pays-Bas:

- Rijksuniversiteit Utrecht.
- Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee.
- Rijksuniversiteit Groningen.

RFA:

- Alfred Wegener Institut für Polar- und Meeresforschung.
- Christian Albrechts Universität zu Kiel.
- Limnologisches Institut, Universität Konstanz.
- Universität Bremen.

Royaume-Uni:

- British Antarctic Survey.
- Scott Polar Institute of Cambridge.

Suède:

- Göteborg Universitet, Department of Marine Microbiology.

USA:

- National Center for Atmospheric Research of Boulder.
- Naval Postgraduate School of Oceanography.
- University of Alaska.

### **3.3 CAMPAGNES EN ANTARCTIQUE**

Grâce à une coordination appropriée, les recherches prévues par le Programme ont pu être associées de manière cohérente aux activités scientifiques menées par d'autres pays pour donner lieu à des collaborations internationales pluridisciplinaires.

Les SPPS et les équipes de recherche du Programme ont conjointement établi des contacts avec la plupart des pays qui organisent régulièrement des expéditions en Antarctique (Argentine, Australie, Brésil, Chili, France, Japon, RFA, Royaume-Uni, U.S.A.) en vue d'obtenir que les scientifiques belges concernés puissent participer à celles-ci. La participation des SPPS aux Réunions Consultatives du Traité sur l'Antarctique a été déterminante à cet égard.

Il est à noter que certains projets de recherche dans le domaine de la glaciologie-climatologie (KUL, UCL et UGMM) ne nécessitent pas la participation à des campagnes en Antarctique. Il s'agit en effet d'efforts de modélisation mathématique qui exploitent des données numériques accumulées dans la littérature et dans les banques de données.

Les chercheurs belges ont pu procéder, tant en mer que sur le continent, aux observations, mesures et collectes d'échantillons inhérentes aux tâches de recherche prévues par le Programme, en participant aux expéditions organisées durant les étés australs 1986/87 et 1987/88 par l'Australie, la France, le Japon, la RFA et le Royaume-Uni (Tab.I).

La figure 4 reprend à titre d'exemple les zones étudiées dans l'Océan Austral et sur le continent au cours des campagnes organisées durant l'été austral 1986/87 par l'Australie (écologie planctonique), la France (écologie planctonique et géochimie marine), le Japon (glaciologie-climatologie) et la RFA (géophysique marine).

Durant l'été austral 1988/89, par ailleurs, huit scientifiques ont réalisé des travaux de terrain prévus par le Programme en prenant part à la campagne "European Polarstern Study" organisée par l'"Alfred Wegener Institut für Polar-und Meeresforschung" (RFA) et patronnée par l'"European Science Foundation".

La participation à EPOS a été entreprise compte tenu de l'opportunité de procéder au traitement et à l'interprétation des données ainsi récoltées, dans le cadre de la Seconde Phase du Programme (octobre 1988 - octobre 1992).

La campagne EPOS a porté sur l'étude écologique et biogéochimique du secteur atlantique de l'Océan Austral. Elle a rassemblé à bord du navire de recherches allemand "Polarstern" quelque cent vingt scientifiques provenant de presque tous les pays du Nord et de l'Ouest de l'Europe. EPOS constitue la première étape opérationnelle des activités scientifiques prévues dans le cadre d'un réseau de collaboration intra-européen en science polaire créé par l'ESF en 1986 pour une période tentative de cinq ans. La facilitation de l'accès des petits pays aux moyens logistiques adéquats est l'un de ses objectifs.

L'acceptation dans la campagne EPOS de quatre projets du Programme atteste d'une reconnaissance internationale notable, puisque la sélection opérée par le Comité organisateur d'EPOS a porté sur environ deux cents propositions de participation.

Dans cet ordre d'idées, deux équipes supplémentaires du Programme ont été retenues pour participer aux activités du réseau polaire européen dans les domaines de la géophysique marine et de la glaciologie.

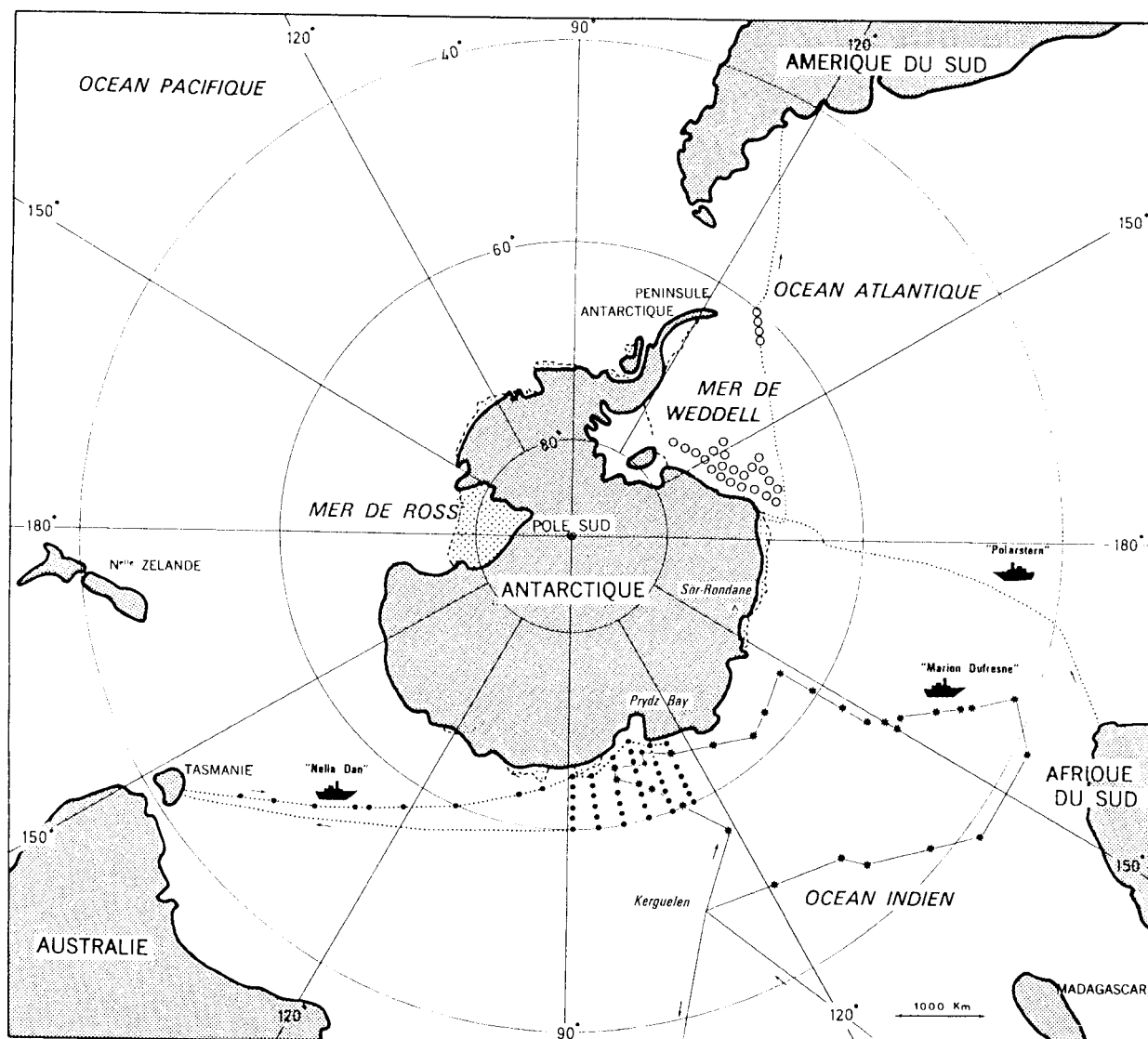
D'une manière générale, l'absence de moyens logistiques propres n'a pas constitué un obstacle à la réalisation des recherches prévues dans le cadre du Programme. Des adaptations ont certes dû être apportées à certaines tâches en raison des impératifs propres aux campagnes étrangères, mais elles n'ont pas compromis la rencontre des objectifs majeurs des travaux. Dans certains cas, elles ont même favorisé le développement de nouvelles pistes de recherche d'un intérêt incontestable.

**Table I:** Participation des scientifiques du Programme à des campagnes en Antarctique. (\*: Campagne avortée suite au naufrage du "Nella Dan").

PERIODE	CAMPAGNE	NAVIRE, BASE (PAYS)	LIEU	PROJET	PARTICIPANTS: INSTITUTION
Nov/86-Mar/87	JARE 28	Syowa (Japon)	Sor Rondane	Dynamique de la calotte glaciaire	H. Declair: VUB L. De Vos: VUB
Déc/86-Mar/87	ANTARKTIS V/4	R/V Polarstern (RFA)	Mer de Weddell, Péninsule Antarctique	Stratigraphie séismique et dynamique des argiles	J.P. Henriët: RUG A. Moons: RUG E. Van Heuverswyn: RUG
Jan/87-Fév/87	INDIGO III	M/V Marion Dufresne (France)	Océan Austral, S-0 de l'Océan Indien	Biogéochimie du baryum	F. Dehairs: VUB L. Goeyens: VUB
Jan/87-Fév/87	INDIGO III	M/V Marion Dufresne (France)	Océan Austral, S-0 de l'Océan Indien	Ecotoxicologie et activité planctonique	M. Frankignoulle: ULg C. Joiris: VUB W. Overloop: VUB
Jan/87-Fév/87	INDIGO III	M/V Marion Dufresne (France)	Océan Austral, S-0 de l'Océan Indien	Biochimie et écodynamique du zooplancton	A. Goffart: ULg J.H. Hecq: ULg
Fév/87-Mar/87	Marine Science Voyage 7	M/V Nella Dan (Australie)	Baie de Prydz	Biochimie de la nutrition du phyto- et du bactérioplancton	G. Billen: ULB S. Mathot: ULB
Oct/87-Déc/87	ANTARKTIS VI/2	R/V Polarstern (RFA)	Détroit de Bransfield à Baie de Marguerite	Stratigraphie séismique et dynamique des argiles	J.P. Henriët: RUG E. Van Heuverswyn: RUG
Nov/87-Déc/87	Marine Science Voyage 4 (*)	M/V Nella Dan (Australie)	Hobart à Baie du Commonwealth	Biochimie de la nutrition du phyto- et du bactérioplancton	S. Mathot: ULB E. Stainier: ULB
Nov/87-Mar/88	BAS 87/88	Damoy, Rhotera (Royaume-Uni)	George VI Sound	Composition isotopique des glaces de regel	J.L. Tison: ULB
Oct/88-Nov/88	EPOS Leg 1	R/V Polarstern (RFA)	Mer de Weddell orientale	Biochimie et écodynamique du zooplancton	A. Goffart: ULg
Oct/88-Nov/88	EPOS Leg 1	R/V Polarstern (RFA)	Mer de Weddell orientale	Ecotoxicologie et activité planctonique	J.M. Bouqueneau: ULg C. Joiris: VUB W. Overloop: VUB
Nov/88-Jan/89	EPOS Leg 2	R/V Polarstern (RFA)	Confluence Mer de Weddell/Mer d'Ecosse	Biochimie de la nutrition du phyto- et du bactérioplancton	S. Becquevort: ULB C. Lancelot: ULB S. Mathot: ULB
Nov/88-Jan/89	EPOS Leg 2	R/V Polarstern (RFA)	Confluence Mer de Weddell/Mer d'Ecosse	Biogéochimie du baryum	F. Dehairs: VUB L. Goeyens: VUB

L'intégration des chercheurs belges s'est avérée relativement aisée si l'on tient compte que les places à bord des navires et dans les bases scientifiques font l'objet d'une compétition sévère entre les ressortissants des pays organisateurs. Il est même arrivé qu'une équipe déjà impliquée dans une campagne, ait dû décliner l'invitation d'un autre pays.

Les principaux facteurs qui ont contribué à ce phénomène sont d'une part, le niveau d'excellence internationalement reconnu de la plupart des équipes belges, et d'autre part, le caractère prioritaire des thèmes de recherche du Programme.



**Figure 4:** Zones étudiées au cours des campagnes de l'été austral 1986/87 organisée par l'Australie (•: "Nella Dan"), la France (\*: "Marion Dufresne"), le Japon (▲: Sor Rondane) et la RFA (○: "Polarstern").



### 3.4 RÉSULTATS DES RECHERCHES

Les développements et les résultats complets des recherches menées dans le cadre de la Première Phase ont fait l'objet d'une publication spécialisée éditée en automne 1989 <sup>(1)</sup>.

Il s'agit d'un ouvrage à caractère strictement scientifique reprenant en trois volumes un ensemble de dix textes élaborés par les équipes du Programme, chacune à titre de synthèse des travaux qui lui ont été confiés. Les chercheurs des équipes en sont explicitement les auteurs.

Les textes ont été conçus et rédigés selon des critères comparables à ceux adoptés pour des articles soumis pour parution dans des revues scientifiques spécialisées. Par leur contenu et leur terminologie, ils s'adressent plus particulièrement à un public de chercheurs.

Pareille formule a été retenue afin de disposer d'un matériel d'information ayant le niveau requis pour témoigner de manière crédible, tant auprès de la communauté scientifique qu'auprès des décideurs liés au STA, de la concrétisation de la volonté de la Belgique de contribuer au développement de la connaissance scientifique de l'Antarctique.

Cette publication peut être considérée comme la source d'information de référence à laquelle nous renvoyons le lecteur désireux de se faire une opinion scientifique directe et circonstanciée sur les résultats des recherches de la Première Phase du Programme.

#### 3.4.1 ECOLOGIE PLANCTONIQUE

##### 3.4.1.1 *BIOCHIMIE DE LA NUTRITION DU PHYTO- ET BACTÉRIOPLANCTON*

Une approche expérimentale a été développée pour l'étude, à un niveau physiologique fin, de la dynamique du phyto- et du bactérioplancton dans la région de la Baie de Prydz. Les données de terrain ont été obtenues au cours de la campagne "Marine Science Voyage 7" organisée en 1987 par l'Australie.

Le contrôle de la photosynthèse et de la croissance du phytoplancton par la lumière et la température a été étudié en détail pour les communautés des zones océaniques ouvertes et pour celles des zones marginales de fonte des glaces.

Un modèle conceptuel a été développé qui permet de prédire les principaux traits des variations de la biomasse et de l'activité du phytoplancton à partir de la connaissance des caractéristiques physiques de l'environnement, au premier rang desquelles figure la stabilité de la colonne d'eau.

---

(1): "Belgian Scientific Research Programme on Antarctica, Scientific Results of Phase One (Oct 85 - Jan 89)", S. Caschetto (Ed). Vol.I: Plankton Ecology; Vol.II: Marine Geochemistry & Marine Geophysics; Vol.III: Glaciology - Climatology.

Ces volumes peuvent être obtenus sur simple demande auprès des SPPS.

Ce modèle tient compte de la cinétique des processus métaboliques qui contrôlent la formation des composés cellulaires fondamentaux ainsi que leur consommation par la respiration et l'excrétion cellulaires. L'effet cinétique intégré de la lumière reçue est introduit dans le modèle de manière réaliste grâce aux fluctuations d'intensité en fonction des mouvements verticaux dans la couche de mélange.

Son principal intérêt est de fournir un indicateur réaliste du potentiel alimentaire pour les maillons supérieurs de la chaîne trophique. Il permet l'évaluation de la croissance du phytoplancton, c'est-à-dire de la formation effective de biomasse, et non de la seule photosynthèse comme c'est le cas de la quasi totalité des modèles développés ailleurs.

L'application de ce modèle aux différents habitats de l'Océan Austral en fin de période estivale a fourni des valeurs de production primaire nette (croissance du phytoplancton) de l'ordre de 20 à 25 mgC/m<sup>2</sup>/jour en zone océanique ouverte, et de 30 à 250 mgC/m<sup>2</sup>/jour en zone marginale.

Il s'agit là des premières estimations rigoureuses de production primaire nette jamais réalisées dans l'Océan Austral.

Il a également pu être montré que contrairement à la théorie classique de Sverdrup, la "profondeur critique" (profondeur où croissance et autocatabolisme se compensent) est déterminée simultanément par la profondeur de la couche mélangée, les propriétés optiques de l'eau, la température et la physiologie.

La dynamique de la voie trophique bactérienne hétérotrophe a été étudiée selon une démarche analogue.

L'interprétation conjointe des mesures directes de terrain et des mesures expérimentales sur la physiologie des bactéries a permis d'infirmer le concept précédemment admis selon lequel la matière organique ne subirait qu'une dégradation minimale dans les eaux de l'Océan Austral d'où elle serait exportée vers les basses latitudes par la circulation océanique.

En effet, le rôle de l'activité bactérienne dans l'utilisation de la matière organique produite par la production primaire s'est révélé être aussi important dans l'Océan Austral que dans les écosystèmes marins tempérés. Toutefois, il a été montré qu'un délai plus long (de l'ordre d'un mois) existe entre le développement du phytoplancton et celui du bactérioplancton.

Enfin, des simulations effectuées à partir d'un modèle mathématique du développement du bactérioplancton en réponse à celui du phytoplancton ont confirmé la validité de l'étude dynamique développée de la sorte.

### 3.4.1.2 BIOCHIMIE ET ECODYNAMIQUE DU ZOOPLANCTON

L'étude de la distribution et de la spéciation biochimique du contenu en lipides du zooplancton en fonction des variables d'état de l'environnement a été abordée selon une approche intégrant trois aspects: l'hydrodynamique, la description des communautés planctoniques et la biochimie.

Les recherches ont été menées dans le secteur de l'Océan Austral correspondant à l'Océan Indien, lors de la campagne INDIGO III organisée en 1987 à bord du navire français Marion Dufresne. Les mesures le long de la colonne d'eau (température, salinité, nitrates, phosphates, silice) ont été réalisées en trente stations réparties entre le Nord de la Convergence Subtropicale et la limite septentrionale de la banquise. La biomasse, les pigments chlorophylliens, la teneur en protéines et en lipides ont été déterminés sur des échantillons de plancton récoltés le long de la colonne d'eau ainsi que dans les eaux de surface.

La mesure des pigments chlorophylliens par HPLC, a permis d'établir la répartition spatiale de la biomasse du phytoplancton. Les maxima de la concentration en chlorophylle active observés dans les eaux de surface se sont avérés liés aux principaux systèmes frontaux présentant des caractéristiques de convergence (Convergence Subtropicale et Convergence Antarctique). Le long de la colonne d'eau, il a pu être montré que les accumulations de phytoplancton étaient liées aux gradients verticaux de densité caractéristiques de la dynamique de ces systèmes.

Dans les zones interfrontales, la biomasse phytoplanctonique, cantonnée dans les eaux superficielles, s'est révélée très faible malgré l'abondance en nutriments.

La distribution de la composition floristique et faunistique des communautés planctoniques récoltées à -5 m de profondeur, a révélé la prédominance du zooplancton dans la zone de la Convergence Antarctique. Au Sud de la latitude 55°S, le phytoplancton domine.

L'évolution du rapport protéines/lipides au sein des diverses communautés planctoniques, qui est un indicateur du vieillissement des populations, a permis de rendre compte du développement et de la distribution des biomasses en période estivale. Le mécanisme proposé est le suivant: le retrait saisonnier de la banquise s'accompagne de la formation d'une couche d'eau superficielle stable qui favorise le développement du phytoplancton; à partir de cette source alimentaire, le zooplancton se développe à son tour, mais avec un décalage dans le temps; dès lors, on rencontre des populations zooplanctoniques âgées, au Nord, et des populations phytoplanctoniques jeunes, au Sud.

L'étude du contenu du plancton en acides gras a montré que le maximum d'efficacité de la chaîne trophique se situait dans la zone limitée au Nord par la Convergence Subtropicale et au Sud par la Convergence Antarctique (où chaque compartiment de la chaîne est rapidement consommé par le maillon supérieur avec un temps de renouvellement court), et non à proximité du continent (où la biomasse phytoplanctonique est élevée mais le temps de renouvellement est lent).

### 3.4.1.3 ECOTOXICOLOGIE ET ACTIVITE PLANCTONIQUES

La distribution des polluants stables et les mécanismes de leur accumulation et de leur transfert ont été étudiés dans le plancton récolté dans le secteur de l'Océan Austral correspondant à l'Océan Indien, au cours de la campagne INDIGO III.

Les composés analysés ont été les suivants: pesticides organochlorés (aldrine, DDT, DDE, dieldrine, heptachlore, heptachlorepoxyde, lindane), PCB et mercure total.

Trois régions, distinctes sur le plan hydrographique, ont été considérées: région subtropicale (RST), région antarctique (RANT) et région située au Sud de la Divergence (RSD).

Des teneurs en PCB relativement élevées ont été obtenues en ce qui concerne la matière particulaire (contenant principalement du phytoplancton), avec des valeurs moyennes, exprimées en  $\mu\text{g PCB/g}$  de poids sec, comme suit: 1.43 pour la RST, 0.69 pour la RANT et 0.68 pour la RSD. Toutefois, le nombre d'échantillons considérés étant très différent d'une région à l'autre, et les écarts à la moyenne étant souvent importants au sein d'une même région, il convient d'interpréter ces données avec prudence.

Sur base de la valeur moyenne pour l'ensemble des trois régions, soit 0.75, il est apparu que la teneur en PCB de la matière particulaire était d'un niveau comparable à celui observé dans les zones tempérées, soit en moyenne 0.40 en Mer du Nord par exemple.

Les résultats exprimés par rapport au volume d'eau de mer, n'ont pas révélé de différence significative entre les trois régions. Le taux de contamination moyen ( $1.18 \mu\text{g PCB/m}^3$ ) est apparu plus faible que dans les zones tempérées ( $6.00 \mu\text{g PCB/m}^3$  en Mer du Nord). Cette situation s'expliquerait par l'existence dans l'Océan Austral, d'un taux de contamination plus faible mais qui aboutirait à une teneur en PCB par unité de biomasse plus élevée en raison des faibles biomasses que l'on y rencontre.

Pour le plancton récolté au moyen de filets, les résultats exprimés en poids sec se sont avérés similaires entre les trois régions: 0.37 pour la RST, 0.38 pour la RANT et 0.30 pour la RSD. A l'inverse, des différences marquées sont apparues en termes de concentrations par  $\text{m}^3$  d'eau de mer: 0.01, 0.04 et 0.001, respectivement pour les trois zones. Ces taux de contaminations sont comparables à ceux observés en Mer du Nord pour la matière particulaire et pour le zooplancton. La contribution relative du zooplancton n'a pu être établie avec certitude, en raison de l'hétérogénéité du matériel récolté (mélange phyto- et zooplancton).

Les pesticides organochlorés comme l'aldrine, la dieldrine, l'heptachlorepoxyde et le lindane ont été observés à l'état de traces. Dans certains cas ils ont été indétectables. De tous les organochlorés, le DDT et le DDE ont révélé les teneurs les plus faibles. Des valeurs élevées du rapport DDT/DDE ont été observées qui ont été attribuées à l'utilisation persistante de ces pesticides dans l'hémisphère sud.

Les analyses de la teneur en mercure total ont permis d'aboutir à des conclusions analogues à celles obtenues pour les organochlorés.

## 3.4.2 GÉOCHIMIE MARINE

### 3.4.2.1 BIOGEOCHIMIE DU BARYUM

Divers aspects du cycle biogéochimique du baryum ont été mis en évidence par l'étude de la distribution de la phase aqueuse et particulaire le long de la colonne d'eau. De nouvelles perspectives ont pu être ainsi apportées à l'utilisation du baryum dissous comme traceur des masses d'eaux, d'une part, et du baryum particulaire comme traceur de l'activité biologique, d'autre part.

L'étude a été menée dans le secteur de l'Océan Austral correspondant à l'Océan Indien à bord du navire français Marion Dufresne au cours de la campagne INDIGO III (été austral 1987).

Au Sud de la Convergence Antarctique, la présence d'eaux de fond nouvelles a été mise en évidence grâce à l'analyse de l'évolution du baryum, de la salinité et de la température le long de la colonne d'eau. Cette approche a également révélé l'intrusion dans ces eaux de fond nouvelles, d'eaux profondes enrichies en baryum. L'une des masses d'eaux ainsi formées a pu être identifiée à proximité du fond. L'autre a été détectée sous le maximum de salinité associé au noyau de l'Eau Profonde Nord-Atlantique. Elle est présente dans la majeure partie de la zone située au Sud de la Convergence Antarctique.

Un acquis important de cette étude a été de montrer que les diagrammes "baryum-salinité" permettaient dans certains cas de discriminer les masses d'eaux là où la résolution des diagrammes classiques "température-salinité" ou "silice-salinité" s'avérait insuffisante.

Entre la pente continentale et le Plateau des Kerguelen, la présence d'importants réservoirs de nouvelles eaux de fond a pu être suggérée par l'analyse de leurs teneurs en baryum et en silice. L'interprétation de ce phénomène qui contraste avec la quantité limitée d'eaux de fond nouvelles que l'on peut observer sur la plate-forme continentale, a permis de formuler une hypothèse selon laquelle existeraient, outre la Mer de Weddell et la Mer de Ross, d'autres sites de formation des eaux profondes, plus importants, et situés le long du continent.

En ce qui concerne le baryum particulaire, confirmation a été obtenue que les micro-cristaux de barytine ( $\text{BaSO}_4$ ) en constituent la principale phase porteuse, à l'instar de ce que l'on observe dans les autres océans.

Une anti-corrélation systématique entre le baryum particulaire et l'oxygène a été mise en évidence dans la couche du minimum d'oxygène. A partir de cette observation, il a été proposé que la couche du minimum d'oxygène pourrait se former à partir de la remontée, à proximité de la Divergence, d'eaux profondes initialement pauvres en oxygène qui s'écouleraient ensuite vers le Nord en suivant le Courant Circumpolaire. La sédimentation des particules biogéniques et l'oxydation hétérotrophe de la matière organique interviendraient ensuite pour produire la barytine et pour consommer l'oxygène, comme en témoigne le bilan des nitrates, accentuant ainsi progressivement l'appauvrissement en oxygène.

Les processus biologiques responsables de la production de la barytine dans les eaux de surface ont été identifiés sur la base du taux de reminéralisation hétérotrophe de l'ammonium et des teneurs en chlorophylle et en nitrates. En bon accord avec les mécanismes exposés ci-dessus, ils rendent compte de la formation de barytine par précipitation chimique au sein de micro-environnements sursaturés, et/ou, par sécrétion à l'intérieur des cellules du phytoplancton.

### 3.4.3 GÉOPHYSIQUE MARINE

#### 3.4.3.1 STRATIGRAPHIE SEISMIQUE ET DYNAMIQUE DES ARGILES

Des données de sismique-réflexion à haute résolution ont été obtenues et analysées en étroite collaboration avec des géophysiciens et des géologues de la RFA. Ces données ont été interprétées par les méthodes de la stratigraphie sismique. Les résultats ont été combinés aux données de la tectonique, de la sédimentologie, de la paléo-océanographie et de la paléo-climatologie, fournissant ainsi de nouveaux éléments dans la reconstitution de l'évolution géologique des marges continentales atlantiques de l'Antarctique.

Cette approche intégrée a été appliquée à l'étude de deux environnements géologiques distincts: la marge continentale passive située dans la partie orientale de la Mer de Weddell (campagne ANTARKTIS V/4) et la marge continentale active située à l'Ouest de la Péninsule Antarctique (campagne ANTARKTIS VI/2).

Dans la Mer de Weddell, 2 650 km de profils sismiques à haute résolution ont été réalisés, qui correspondent en partie aux forages géologiques menés au large du "Cape Norvegia" (Leg 113) dans le cadre du "Ocean Drilling Program". Ce site a été retenu par des chercheurs allemands et norvégiens associés à l'équipe belge comme stratotype pour la révision de la stratigraphie sismique intégrée du bassin sédimentaire de la Mer de Weddell.

L'étude de la zone au large du "Cape Norvegia" a débouché sur un nouveau modèle tectonique de la formation de l'Escarpement "Explora-Andenes" et du ressaut externe qui lui est associé. Ce modèle fait appel au mécanisme d'accrétion sédimentaire propre au chevauchement de plaques des marges continentales convergentes.

Une deuxième étude a eu pour cadre la partie distale du "Crary Fan" (Mer de Weddell). La très haute résolution des profils sismiques obtenus sur ce site a permis une analyse détaillée du transport et de la déformation des sédiments. L'évolution paléo-océanographique de la province Sud-Atlantique au cours du Mésozoïque et du Cénozoïque a été reconstituée à partir de l'analyse de surfaces de discordance raccordées aux données géologiques du sondage ODP 693. Elle est venue étayer l'hypothèse de l'amorce du Courant Circumpolaire Antarctique dès le Crétacé supérieur sous l'effet de l'apparition d'un chenal marin dans la chaîne transantarctique. Elle a également suggéré un contrôle climatique des surfaces de discordance cénozoïques.

Dans la Péninsule Antarctique, le Détroit de Bransfield et la Mer de Bellingshausen ont fait l'objet de mesures sismiques totalisant 1 800 km de profils caractérisés par une

pénétration accrue. Ils ont été analysés par les méthodes de la stratigraphie séismique et en tenant compte des données sur les anomalies magnétiques, pour déboucher sur une nouvelle formulation de la dynamique locale de la subduction et de l'expansion des plaques. Les conclusions se sont avérées cohérentes par rapport aux études du sondage 325 du DSDP et aux études réalisées par les Japonais dans la région voisine.

Les profils séismiques obtenus dans les zones de fracture "Anvers" et "Hero" ont permis d'illustrer le phénomène de contraction thermique des plaques, et notamment les aspects de flexure thermique et de diapirisme magmatique.

Ils ont également permis d'identifier la nature et la structure particulières de la crête sous-marine associée à la zone de fracture "Hero". Il a été ainsi établi une série d'implications au niveau de la segmentation de la marge continentale occidentale de la Péninsule Antarctique. Un des nouveaux aspects introduits par cette étude et relatif à cette segmentation, a été de mettre en lumière la probable existence d'un bassin marginal externe ("fore-arc basin") dans la plate-forme du Sud de la zone de fracture "Hero".

### 3.4.4 GLACIOLOGIE - CLIMATOLOGIE

#### 3.4.4.1 COMPOSITION ISOTOPIQUE DES GLACES DE REGEL

Dans l'environnement antarctique, la présence de glace ne résulte pas exclusivement de la transformation de la neige par compaction et recristallisation. La congélation de l'eau, que ce soit à la surface de l'océan, à l'interface glacier-substrat ou à la base de la plate-forme de glace flottante, intervient également. Ce phénomène peut être de nature dynamique, en influençant les modalités de déplacement des glaces, ou de nature thermodynamique, en modifiant les transferts de chaleur.

A cet égard, la connaissance de la vitesse de gel des glaces de congélation est susceptible de nombreuses applications à des études comme celles relatives aux signaux paléo-climatiques des carottes de glace, aux variations saisonnières de la banquise ou aux bilans de masse.

Une méthode originale permettant l'évaluation de la vitesse de gel a été développée au plan théorique et expérimental, et qui est basée sur l'analyse isotopique.

En effet, la composition isotopique de la glace de congélation est fonction de la composition isotopique de l'eau qui lui a donné naissance, du taux de congélation et des coefficients de fractionnement apparents dont les valeurs dépendent essentiellement de la vitesse de gel.

Il a été opté pour une étude des isotopes de l'hydrogène et de l'oxygène parce qu'ils interviennent simultanément dans la détermination de la composition de l'eau initiale.

Des modèles, en système fermé d'abord, en système ouvert ensuite, ont été élaborés afin de simuler la distribution isotopique des rapports deutérium/hydrogène et oxygène<sup>18</sup>/

oxygène<sup>16</sup> au cours de la congélation. Le mélange du réservoir liquide de congélation a été pris en compte pour trois états distincts:

(i) mélange complet par diffusion ou convection;

(ii) comblement par diffusion depuis le liquide restant, de l'appauvrissement en isotopes lourds de l'eau proche de l'interface eau-glace;

(iii) mélange par diffusion dans la couche limite proche de l'interface et mélange complet au-delà.

L'étude de la distribution isotopique de glaces formées dans des conditions contrôlées a permis de tester les modèles et de mettre au point une méthode de détermination de la vitesse de gel.

Des investigations de glaces lacustres formées dans des conditions climatiques bien connues ont fourni un test ultérieur. L'analyse de carottes de glace de mer de la région de "Breid Bay" (Antarctique oriental) a permis de déterminer de manière précise les vitesses de croissance à partir de l'analyse isotopique.

#### *3.4.4.2 INTERACTIONS OCEAN-GLACE-ATMOSPHERE*

La finalité de cette recherche a été de mieux comprendre les mécanismes du climat régional et global à travers l'étude des interactions entre l'océan, la glace marine et l'atmosphère dans la zone côtière de l'Antarctique.

Cette zone se caractérise par l'écoulement le long de la pente de la calotte glaciaire de masses d'air froid pouvant atteindre une vitesse moyenne journalière de 200 km/h. Un tel vent (dit catabatique) peut modifier la situation météorologique à l'échelle synoptique et maintenir des surfaces d'eau libres de glace (polynies). L'eau de surface ainsi refroidie provoque la formation de glace qui s'accompagne d'un rejet de sel dans la couche d'eau sous-jacente. Celle-ci, devenue plus dense, s'écoule en profondeur et participe à la circulation océanique.

La recherche s'est donc focalisée sur la modélisation numérique de la circulation des vents catabatiques le long de pentes idéalisées représentatives du terrain accidenté de l'Antarctique.

Un modèle à deux dimensions en équations primitives et adaptables à des reliefs accidentés par transformation de la coordonnée d'altitude en coordonnée de pression normalisée, a été ainsi développé et couplé à un modèle de bilan énergétique au niveau du sol. Il a été mis en oeuvre dans les conditions de nuit polaire.

Trois premières simulations ont été effectuées dans le cas d'un océan recouvert de glace et pour une topographie représentative de la Terre Adélie. Les résultats ont montré qu'à partir d'un état initial de repos, un vent catabatique se développait rapidement pour atteindre un état de régime au bout de 15 h environ. Une seconde circulation d'air a été mise en évidence au-dessus de la glace marine et dirigée vers le continent. L'analyse des



Dans une première étape, une version 2D du modèle a été intensivement testée et appliquée à la simulation des réactions de la calotte occidentale à la suite du passage d'une période glaciaire à une période interglaciaire. Le régime thermique et la configuration générale de la calotte obtenus au terme d'une évolution simulée sur une période de 100 000 ans ont montré que:

(i) l'instabilité par glissement qu'engendrerait un réchauffement climatique soudain ne semble pas en mesure d'amorcer un écoulement en masse de la calotte antarctique orientale, en raison de l'effet stabilisateur dû à l'advection thermique horizontale;

(ii) le passage à l'interglaciaire conduirait initialement à un accroissement du volume de la calotte, tendance qui s'inverserait ensuite en raison du réchauffement de la base de la calotte;

(iii) ces ajustements se produisent à une échelle de temps de l'ordre de 10 000 ans, ce qui indique que le régime thermo-mécanique de la calotte antarctique actuelle n'est pas stationnaire;

(iv) les élévations typiques dans le centre de la calotte orientale au cours du cycle glaciaire étant de l'ordre de 100 m, le signal paléoclimatique observé dans le sondage de Vostok est essentiellement de nature climatique.

Le modèle 3D complet a été mis en oeuvre pour des conditions géométriques fixes et s'est révélé stable. Des applications préliminaires ont permis de mettre en évidence la distribution géographique de la température basale de la calotte. Il a été notamment confirmé que la Péninsule Antarctique se caractérise par la présence de glaces basales proches de la pression de fusion. De plus, il est apparu que l'ensemble de la calotte pourrait être en phase d'accroissement.

La dynamique de glaciers côtiers du Sør Rondane a été étudiée au cours de l'expédition JARE-28 organisée en 1986/87 par le Japon.

Le relief sous-glaciaire de la zone centrale du Sør Rondane a été cartographié à partir de sondages par gravimétrie et par radar. Un paysage constitué de fjords entaillés par des vallées encaissées a pu être ainsi reconstitué.

Des modèles d'écoulement linéaire 1D ont montré que certains glaciers étaient en passe d'être coupés de la circulation glaciaire générale, phénomène interprété comme l'indice d'une phase de récession glaciaire généralisée dans le Sør Rondane.

Confirmation en a été obtenue par une simulation de la dynamique des glaciers, qui a indiqué que leur épaisseur ne pouvait augmenter sans une avancée vers la bordure continentale. Parmi les scénarios possibles: un abaissement du niveau de la mer (150 m) et de la température (11°C).

#### 3.4.4.4 MODELE DYNAMIQUE DE LA CIRCULATION OCEANIQUE

L'objectif de cette recherche a été de contribuer à la création d'un futur outil opérationnel pour la prédiction de l'extension de la glace de mer en relation avec des applications pratiques comme la sécurité de navigation dans les mers australes.

Un modèle numérique a été mis en oeuvre pour simuler la distribution des courants de surface, de l'élévation de l'eau et de la température de surface dans la Mer de Weddell. Compte tenu de l'objectif fixé, il a été délibérément opté pour une formule assurant un compromis acceptable entre la qualité intrinsèque des données fournies et la simplicité des moyens de mise en oeuvre. En pratique, le modèle a été conçu dans les limites imposées par l'utilisation d'un micro-ordinateur de type 80286 et équipé d'un co-processeur numérique.

Les courants océaniques ont été simulés à l'aide d'un modèle numérique basé sur la résolution des équations de conservation de masse et des équations de quantité de mouvement décrivant la dynamique des eaux de surface selon deux dimensions.

Ces équations ont été intégrées sur la verticale et résolues en fonction du temps. La résolution des équations a été effectuée à l'aide d'un schéma numérique original développé à partir de la méthode dite de "la direction implicite alternée". Il a été possible de cette manière de restreindre le nombre d'opérations de calcul tout en obtenant une bonne stabilité des solutions numériques.

Le modèle a été validé par comparaison à la situation observée dans des zones bien connues, comme la Mer du Nord. Une attention particulière a été consacrée au choix de conditions aux limites réalistes, ainsi qu'à la prise en compte des phénomènes d'advection et de diffusion.

Son application à la Mer de Weddell a abouti à une description raisonnablement satisfaisante des courants dus aux marées et au vent.

#### 3.4.4.5 MODELE THERMODYNAMIQUE ET DYNAMIQUE DE LA GLACE

Un modèle de glace de mer décrivant l'évolution saisonnière de l'épaisseur et de la couverture de la glace océanique a été développé et appliqué à un secteur particulier de l'Océan Austral comprenant la Mer de Weddell et le Passage de Drake.

Le modèle de glace a été conçu en couplant un modèle thermodynamique qui représente les transferts verticaux de chaleur et de sel, dans la glace et les couches océaniques sous-jacentes, avec un modèle cinématique qui rend compte du déplacement en surface de la glace formée localement.

Le modèle thermodynamique de transfert vertical a été articulé autour de trois composantes interdépendantes:

(i) un modèle linéaire des processus de gel et de fonte de la glace marine dus aux échanges énergétiques entre l'atmosphère, la glace et l'océan;

(ii) un modèle de couche mélangée qui définit - en fonction des flux de chaleur et de sel échangés à ses limites - l'état thermodynamique de la couche océanique de surface et des couches sous-jacentes;

(iii) un modèle de chenaux afin de simuler les échanges énergétiques dus à l'existence permanente d'ouvertures au sein de la banquise.

Le modèle dynamique a été limité à sa partie cinématique laquelle décrit le déplacement, sous l'effet du vent et des courants océaniques, de la glace formée par les processus thermodynamiques.

Le bilan énergétique en surface, les échanges de quantité de chaleur et de sel ainsi que les transferts de quantité de mouvement ont été modélisés et/ou paramétrisés à partir:

(i) des moyennes mensuelles de données climatologiques (vent, température de l'air et du point de rosée, couverture nuageuse, chutes de neige);

(ii) des moyennes annuelles de données océaniques (courants de surface, profils moyens de température et de salinité).

A l'exception des courants de surface, qui ont été obtenus à l'aide d'un modèle indépendant, toutes ces données utilisées comme conditions initiales ont été tirées de la littérature. Le cas échéant, leur format a été adapté aux normes inhérentes aux divers modèles.

Les simulations ont été réalisées sur une période de dix ans avec un pas temporel de un jour. Les équations de conservation ont été résolues en coordonnées sphériques selon un maillage de 2° en longitude et 1° en latitude, soit 1736 cellules. La profondeur a été divisée en 12 couches allant de la surface à -5250 m.

Le modèle de glace marine a été appliqué à la Mer de Weddell et au Passage de Drake selon deux approches:

(i) en considérant un nombre limité de couches océaniques et en utilisant les informations thermodynamiques contenues dans l'avant-dernière couche (approche dite "modèle couche");

(ii) en réintroduisant en partie les conditions initiales à chaque pas de calcul mais avec léger amortissement (approche dite "modèle robuste diagnostique").

Les performances des deux approches ont été comparées et les résultats ont montré un bon accord avec les amplitudes des observations d'extension de la glace et avec les flux océaniques moyens échangés entre la glace et l'océan. La méthode "robuste diagnostique" a fourni un épaisseur de glace plus faible que la "méthode couche", mais a assuré une meilleure conservation du sel et de l'énergie.

### 3.5 DIFFUSION

Il a été veillé en premier lieu à ce que les Affaires étrangères aient régulièrement à leur disposition tous les documents et les informations nécessaires à la diffusion du Programme auprès de nos partenaires du Traité sur l'Antarctique. Ceci afin que notre pays puisse faire état de la relance de ses activités scientifiques, conformément à l'objectif majeur du Programme.

A une échelle plus large, le Programme et ses acquis scientifiques ont fait l'objet d'une diffusion nationale ou internationale sous les formes suivantes:

(i) rapports annuels au SCAR, par l'intermédiaire du Comité National Belge pour les Recherches en Antarctique;

(ii) stand international des SPPS à "Flanders' Technology" (brochures, montage audiovisuel);

(iii) presse écrite belge (remise d'un dossier de synthèse sur le Programme et sur les campagnes, en mai 1987);

(iv) organisation du "Belgian National Colloquium on Antarctic Research" (20 octobre 1987) auquel ont été invités des responsables scientifiques de pays avec lesquels s'est développée une coopération étroite (Australie, France, RFA, Royaume-Uni);

(v) publication des Proceedings du Colloque en question;

(vi) publication de trois volumes reprenant l'ensemble des résultats scientifiques du Programme;

(vii) publication de trois brochures d'information sur le Programme;

(viii) présentation par le directeur opérationnel de trois communications orales dans le cadre du Colloque organisé par les SPPS en octobre 1987, de l'Universiteit Derde Leeftijd de la KUL (mars 1988), et du "Colloquium Antarctica: Beschermen of Ontginnen?" organisé le 2 juin 1988 par "Greenpeace";

(ix) réalisation d'un montage vidéo (trois versions, Fr, Nl, anglais) présentant les travaux menés sur le terrain en coopération avec la RFA dans le domaine de la géophysique.

## 4 BILAN GLOBAL

Le projet de relance de la recherche scientifique belge sur l'Antarctique est né en 1985 du constat suivant:

(i) la Belgique avait réduit notablement ses activités scientifiques sur l'Antarctique durant plusieurs années;

(ii) elle cessait ainsi de répondre à l'attente de ses partenaires du Traité;

(iii) à partir des années 70, on avait assisté à un regain de dimension internationale de l'intérêt porté à l'Antarctique, en particulier dans le domaine de la recherche scientifique, et qui contrastait avec le désengagement de la Belgique. Les données disponibles en 1985 indiquaient que la tendance au regain d'intérêt allait se maintenir à moyen terme au moins, ce qui a été confirmé par l'observation, et qui reste d'application à l'heure actuelle;

(iv) la Belgique n'avait aucunement l'intention d'entreprendre une politique de puissance antarctique, ni de s'investir dans l'exploration ou l'exploitation des ressources naturelles de cette région;

(v) au plan strictement scientifique, l'Antarctique représentait certes un intérêt, mais au même titre que nombre d'autres régions lointaines;

(vi) sa qualité de membre fondateur du Traité rendait opportun de contribuer activement à l'amélioration de la connaissance scientifique de cette région.

Dans ces circonstances, il a été volontairement opté pour la mise en oeuvre d'un programme national d'une ampleur limitée. En contrepartie, l'accent a été mis sur la coordination des recherches, la coopération internationale et la qualité des équipes chargées de son exécution. Cette formule a été retenue en vue de concilier quatre impératifs majeurs:

(i) permettre à la Belgique d'honorer l'engagement implicitement lié à sa qualité de PC du Traité sur l'Antarctique et qui a trait au développement de la connaissance scientifique de cette région;

(ii) mettre en oeuvre des moyens budgétaires suffisants pour mener une recherche de niveau crédible, mais dans le respect de l'ensemble des priorités de politique scientifique nationale;

(iii) comporter une perspective de plus-value scientifique en privilégiant les recherches d'intérêt plus direct pour notre pays;

(iv) tirer le meilleur parti du potentiel scientifique d'excellence disponible dans notre pays.

Globalement, le déroulement du Programme a témoigné de **l'adéquation entre les objectifs et les choix opérationnels**.

Les **moyens budgétaires** se sont avérés suffisants pour permettre aux équipes de développer leurs travaux dans des conditions relativement sobres, certes, mais cependant suffisantes pour assurer la rencontre des objectifs fixés par le Programme, et ce en faisant appel à une gestion rigoureuse.

En dépit de l'absence de **moyens logistiques** propres, il a été possible de mener à bien les recherches comportant des travaux de terrain, grâce à la participation des chercheurs belges à des campagnes organisées par l'Australie, la France, le Japon, la RFA ou le Royaume-Uni.

Il doit être souligné qu'il ne s'est jamais agi d'une mise à disposition pure et simple de places vacantes dans des bases ou à bord de navires étrangers. De fait, ce sont de véritables **collaborations axées sur des objectifs communs** qui ont été réalisées par les scientifiques belges et étrangers lors des campagnes.

Que les tâches de recherche, telles que prévues dans le cadre du Programme, aient pu être remplies dans ces conditions, résulte de trois facteurs:

(i) les efforts assurés au plan international par les équipes et les SPPS en matière de **contacts** et de **coordination** pour aboutir à une participation intégrée des scientifiques belges à des campagnes étrangères;

(ii) la concordance des **thèmes de recherche** du Programme avec les préoccupations scientifiques internationales;

(iii) l'attrait suscité par le **savoir-faire** des scientifiques belges.

Fréquemment, les collaborations ont débordé du cadre des campagnes et se sont développées dans une perspective de moyen ou long terme, allant parfois jusqu'à la création d'une structure de coopération, telle le groupe "Geophysical Research of the Antarctic Peninsula" (GRAPE)<sup>(1)</sup>.

La **coopération internationale** a également été développée au niveau des recherches non liées à l'exécution de travaux de terrain par les scientifiques belges.

D'une manière globale, son succès s'est traduit au niveau des **publications scientifiques** issues du Programme, puisqu'environ un quart de la totalité d'entre elles comporte au moins un auteur étranger.

La présence active des scientifiques belges dans des bases terrestres ou sur des navires étrangers s'est accompagnée d'une **"valeur ajoutée"** en ce qu'elle a été la marque la plus tangible pour les scientifiques et les responsables des campagnes étrangers, de l'exis-

---

(1): Alfred Wegener Institut für Polar- und Meeresforschung (Bremerhaven); Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Hannover); University of Bergen (Norway); Renard Centre of Marine Geology - RUG (Gent).

tence d'un effort national de recherche sur l'Antarctique.

En ce qui concerne la **diffusion des acquis scientifiques** du Programme, l'accent a été mis sur la publication d'ouvrages spécialisés plus particulièrement destinés à la communauté scientifique internationale.

Des **documents d'information** sur l'ensemble des aspects du Programme ont par ailleurs été élaborés pour répondre spécifiquement à une diffusion auprès de nos partenaires du Traité sur l'Antarctique. Divers rapports ont été communiqués aux organes liés au Traité.

Le rôle des Affaires étrangères a été déterminant dans la conduite des activités de diffusion.

Par comparaison aux résultats obtenus à l'étranger dans les domaines de recherche correspondants, **les acquis des équipes du Programme** ont débouché sur l'élaboration d'un corps de connaissances cohérent, original et conforme à la problématique scientifique moderne de l'Antarctique.

Un modèle de **fonctionnement global de l'écosystème** a été proposé qui comporte des implications au niveau de la mise en oeuvre d'une politique de gestion rationnelle des ressources marines vivantes. Son principal intérêt est de fournir une vision quantitative des flux de matière à travers les principaux compartiments de la chaîne trophique (phyto-, bactério- et zooplancton) en fonction des variables-clés de l'environnement.

Le modèle a été complété par une **approche écotoxicologique** - qui a montré qu'en dépit de teneurs en polluants stables moindres dans l'environnement antarctique que dans les zones tempérées, le plancton pouvait présenter un degré de contamination plus élevé - et par une **approche biogéochimique** - qui a permis de mettre en évidence la formation de masses d'eaux océaniques nouvelles.

Par ailleurs, **la nature et la structure de bassins sédimentaires** ont été décrites par application de la séismique, et de nouveaux modèles ont été développés en relation avec leur évolution tectonique, sédimentologique et paléo-climatique.

Dans le domaine de la **glaciologie-climatologie**, l'élaboration de modèles mathématiques a débouché sur un ensemble d'acquis complémentaires: (i) une méthode originale de détermination précise de la vitesse de formation des glaces; (ii) la mise en évidence du processus de formation des vents catabatiques et de leur rôle dans la formation des eaux océaniques profondes; (iii) la confirmation de la relative stabilité de la calotte glaciaire en réponse à des variations climatiques; (iv) la simulation raisonnablement réaliste de l'extension saisonnière de la banquise.

On peut donc considérer que le Programme a cadré avec la volonté de la Belgique de **contribuer de manière modeste mais concrète** au développement international de la connaissance scientifique de l'Antarctique.

La "**valeur ajoutée**" aux recherches menées en Belgique, a été de deux types.

En premier lieu, l'étude de systèmes naturels tels ceux de l'Antarctique, a permis de

## 5 ANNEXES

### 5.1 PUBLICATIONS

Sont reprises ci-après les publications scientifiques directement issues du Programme.

BILLEN G., LANCELOT C. and MATHOT S. (1988). Ecophysiology of phyto- and bacterio-plankton growth in the Prydz Bay area during the austral summer 1987, Part II : Bacterio-plankton activity. Proc. of the Belgian Nat. Coll. on Antar. Res., 20 October 1987, Brussels, Belgium, Science Policy Office, 133-146.

DECLAIR H., HUYBRECHTS Ph., DE VOS L. and PATTYN F. (1989). Dynamics of the Antarctic ice cap. In : Belgian Scientific Research Programme on Antarctica, Scientific Results of Phase One (Oct/85-Jan/89). Volume III : Glaciology and climatology, S. Caschetto (Ed.), Science Policy Office, Brussels.

DECLAIR H., NISHIO F. and OHMAE H. (in press). A comparison of ice thicknesses obtained by radio echo sounding and gravimetry in the Sor Rondane, Antarctica. Proc. of the 9th Symp. on Pol. Meteorol. and Glaciol., NIPR, 8-9 December 1987, Tokyo, Japan.

DEHAIRS F. and GOEYENS L. (1988). Dissolved barium and nutrients in the Southern Ocean : their potential use as tracers for the characterization of the different watermasses. Proc. of the Belgian Nat. Coll. on Antar. Res., 20 October 1987, Brussels, Belgium, Science Policy Office, 79-95.

DEHAIRS F. and GOEYENS L. (1989). The biogeochemistry of barium in the Southern Ocean. In : Belgian Scientific Research Programme on Antarctica. Scientific Results of Phase One (Oct/85-Jan/89). Volume II, Part A : Marine Geochemistry, S. Caschetto (Ed.), Science Policy Office, Brussels.

DEMUTH Cl. and van YPERSELE de STRIHOU J.P. (1988). Sea-ice simulations in the Weddell Sea. Proc. of the Belgian Nat. Coll. on Antar. Res., 20 October 1987, Brussels, Belgium, Science Policy Office, 195-212.

DEMUTH Cl. and van YPERSELE J.P. (1989). Simulations of the annual sea ice cover in the Weddell Sea. In : Belgian Scientific Research Programme on Antarctica, Scientific Results of Phase One (Oct/85-Jan/89), Volume III : Glaciology and Climatology, S. Caschetto (Ed.), Science Policy Office, Brussels.

DEMUTH Cl., van YPERSELE J.P. and FICHEFET TH. (à paraître). Evolution spatio-temporelle de la glace en mer de Weddell. A paraître dans les "Ateliers de modélisation de l'atmosphère, session 3", Centre National de Recherche Météorologique, Toulouse, 1988.

DE VOS L. and DECLAIR H. (1988). Dynamics of the Antarctic ice cap, Part I : ice thickness measurements related to the damming effect of the Sor Rondane, Dronning Maud Land, Antarctica. Proc. of the Belgian Nat. Coll. on Antar. Res., 20 October 1987, Brussels,



Belgium, Science Policy Office, 213-223.

DE VOS L. and DECLEIR H. (in press). Ice thickness profiles and subglacial relief in the central part of the Sor Rondane, Antarctica, Proc. of the 9th Symp. on Polar Meteorol. and Glaciol., NIPR, 8-9 December 1987, Tokyo, Japan.

FETTWEIS M., BERLAMONT J. and HERMANS I. (1988). 2D simulation of Weddell Sea circulation. Proc. of the Belgian Nat. Coll. on Antar. Res., 20 October 1987, Brussels, Belgium, Science Policy Office, 177-194.

FETTWEIS M., BERLAMONT J. and YU C.S. (in press). Simulation of the currents in polar seas, 21st Int. Conf. on Coast. Engineering, 20-25 June 1988, Malaga, Spain.

FETTWEIS M., YU C.S. and BERLAMONT J. (1989). Flow simulation in the Weddell Sea. In : Belgian Scientific Research Programme on Antarctica, Scientific Results of Phase One (Oct/85-Jan/89), Volume III : Glaciology and Climatology, S. Caschetto (Ed.), Science Policy Office, Brussels.

GALLEE H., BERGER A., SCHAYES G., FICHEFET TH., MARSAT I., TRICOT C. and VAN YPERSELE J.P. (1989). Numerical study of the air sea interactions in the Antarctic coastal zone and their implications on deep sea formation in the case of katabatic wind. In : Belgian Scientific Research Programme on Antarctica, Scientific Results of Phase One (Oct/85-Jan/89), Volume III : Glaciology and Climatology, S. Caschetto (Ed.), Science Policy Office, Brussels.

GALLEE H., SCHAYES G., TRICOT C. and BERGER A. (1988). A simulation of katabatic winds in the Antarctic coastal zone. Proc. of the Belgian Nat. Coll. on Antar. Res., 20 October 1987, Brussels, Belgium, Science Policy Office, 241-259

GOFFART A. and HECQ J.-H. (1988). Distribution of phytoplanktonic parameters in the Indian sector of the Southern Ocean during INDIGO III cruise. Proc. of the Belgian Nat. Coll. on Antar. Res., 20 October 1987, Brussels, Belgium, Science Policy Office, 147-166.

GOFFART A. and HECQ J.-H. (1989). Zooplankton biochemistry and ecodynamics. In : Belgian Scientific Research Programme on Antarctica, Scientific Results of Phase One (Oct/85-Jan/89), Volume I : Plankton Ecology, S. Caschetto (Ed.), Science Policy Office, Brussels.

HENRIET J.P. and MILLER H. (1989). Some speculations regarding the nature of the Explorer-Andenes escarpment. Proc. of the NATO Adv. Res. Workshop on the "Geologic History of the Polar Oceans : Arctic versus Antarctic", Bremen, October 10-14. Kluwer Acad. Pub. Group, Dordrecht.

HENRIET J.P., MILLER H., MEISSNER R., MOONS A., HUWS D., JOKAT W., KAUL N., VAN HEUVERSWYN E. and VERSTEEG W. (1989). Reflection seismic investigations in the Weddell Sea and along the Antarctic Peninsula. In : Belgian Scientific Research Programme on Antarctica, Scientific Results of Phase One (Oct/85-Jan/89), Volume II, Part B : Marine Geophysics, S. Caschetto (Ed.), Science Policy Office, Brussels.

HUYBRECHTS Ph. (1986). A three-dimensional time-dependent numerical model for Polar ice sheets : some basic testing with a stable and efficient finite-difference scheme, Geografisch Instituut, Vrije Universiteit Brussel, Brussels, Internal Report 86-1, 39 pp.

HUYBRECHTS Ph. (1988). Dynamics of the Antarctic Ice Cap, Part II: Sensitivity experiments with a numerical ice sheet model with full thermo-mechanical coupling. Proc. of the Belgian Nat. Coll. on Antar. Res., 20 October 1987, Brussels, Belgium, Science Policy Office, 225-239.

HUYBRECHTS Ph. and OERLEMANS J. (1988). Evolution of the Antarctic Ice Sheet: A numerical study on thermo-mechanical response patterns with changing climate. Annals of Glaciol., Vol.11, 52-59.

JOIRIS C. and OVERLOOP W. (1989). PCB's, organochlorine pesticides and mercury in the lower trophic levels of the Indian sector of the Antarctic marine ecosystem. In : Belgian Scientific Research Programme on Antarctica, Scientific Results of Phase One (Oct/85-Jan/89), Volume I : Plankton Ecology, S. Caschetto (Ed.), Science Policy Office, Brussels.

JOIRIS C., OVERLOOP W., FRANKIGNOULLE M. and BOUQUEGNEAU J.-M. (1988). Preliminary discussion of the results obtained in Antarctica during the austral summer 1986-1987 : plankton ecology and ecotoxicology. Proc. of the Belgian Nat. Coll. on Antar. Res., 20 October 1987, Brussels, Belgium, Science Policy Office, 97-113.

LANCELOT C., BILLEN G. and MATHOT S. (1988). Ecophysiology of phyto- and bacterio-plankton growth in the Prydz Bay area during the austral summer 1987, Part I : Modelling phytoplankton growth. Proc. of the Belgian Nat. Coll. on Antar. Res., 20 October 1987, Brussels, Belgium, Science Policy Office, 115-132.

LANCELOT C., BILLEN G. and MATHOT S. (1989). Ecophysiology of phyto- and bacterio-plankton growth in the Southern Ocean. In : Belgian Scientific Research Programme on Antarctica, Scientific Results of Phase One (Oct/85-Jan/89), Volume I : Plankton Ecology, S. Caschetto (Ed.), Science Policy Office, Brussels.

MEISSNER R., BIALAS J., BITTNER R., HENRIET J.P., HERBER R., VAN HEUVERSWYN E., JOKAT W., KAUL N., PARKER T., LE PAVEC J., PENAUD Y., WEVER Th. and WOHLBERG J. (1988). Die expedition ANTARKTIS-VI mit FS "Polarstern" 1987/1988 : Marin-geophysikalische Untersuchungen. Berichte zur Polarforschung (Reports on Polar Research), 58, 58-67.

MEISSNER R., HENRIET J.P. and the GRAPE-team (1988). Tectonic features northwest of the Antarctic Peninsula : new evidence from magnetic and seismic studies. Ser. Cient. INACH, 38, 89-105.

MILLER H., HENRIET J.-P, JOKAT W. and MOONS A.-M. (1988). High-resolution reflection seismic investigations in the Weddell Sea during the ANTARKTIS V/4 expedition : seismic results. Proc. of the Belgian Nat. Coll. on Antar. Res., 20 October 1987, Brussels, Belgium, Science Policy Office, 65-77.

MILLER H., HENRIET J.P, KAUL N. and MOONS A. (1989). A fine scale seismic stratigraphy of the Eastern margin of the Weddell Sea. Proc. of the NATO Adv. Res. Workshop on the "Geologic History of the Polar Oceans : Arctic versus Antarctic", Bremen, October 10-14. Kluwer Acad. Pub. Group, Dordrecht.

MOELANS D. and DE BRUYN R. (1986). Stromingsmodel van het Continentaal Plat van de Noordzee. International report K.U. Leuven, 28-HY-10, Leuven, 62p.

POISSON A. et CASCHETTO S. (Eds) (1989). Les Rapports des Campagnes à la Mer: MD 53/INDIGO 3, n° 87-01, les Publications de la Mission de Recherche des Terres Australes et Antarctiques Françaises, pp.102.

SOUCHEZ R. and TISON J.-L. (1988). Freezing rate determination by the isotopic composition of the ice : implications in Antarctic studies. Proc. of the Belgian Nat. Coll. on Antar. Res., 20 October 1987, Brussels, Belgium, Science Policy Office, 167-176.

SOUCHEZ R. and TISON J.-L. (1988). Modelling the stable isotope distribution in ice formed by water freezing : implications on global changes. SCOPE Belgium, Proc. Symp. on Belgian Research on Global Change, Brussels, April 22, 1988. A. Cottenie and A. Teller (Eds.), 35-39.

SOUCHEZ R., TISON J.-L. and JOUZEL J. (1987). Freezing rate determination by the isotopic composition of the ice. Geophys. Res. Letters, Vol.14, 599-602.

SOUCHEZ R., TISON J.-L. and JOUZEL J. (1988). Deuterium concentration and growth rate of Antarctic first-year sea ice. Geophys. Res. Letters, Vol.15, 1385-1388.

SOUCHEZ R., TISON J.-L. and LORRAIN R. (1989). Isotopic composition of ice formed by water freezing. In : Belgian Scientific Research Programme on Antarctica, Scientific Results of Phase One (Oct/85-Jan/89), Volume III : Glaciology and Climatology, S. Caschetto (Ed.), Science Policy Office, Brussels.

TISON J.-L. and HAREN J. (1989). Isotopic, chemical and crystallographic characteristics of first-year sea ice from Breid Bay (Princess Ragnhild -Antarctica). Antarctic Science 1 (3), 261-268.

YU C.S., FETTWEIS M. and BERLAMONT J. (1988). A 2D model for tidal flow computations. In : Computational Methods in Water Resources, Vol. 1, Modeling Surface and Sub-Surface Flows, Proc. VII Int. Conf. MIT, USA, June 1988, Celia M.A. *et.al.* (Eds), Elsevier and Computational Mechanics Publication, 281-286.

YU C.S., FETTWEIS M., DE BRUYN R. and BERLAMONT J. (1988). A 2D Model for Steady and Unsteady Flows. In : Computer Methods and Water Resources, 1st int. conf. Marocco 1988, Vol. 2, Computational Hydraulics, Ouazar D., Brebbia C.A. and Barthet H. (Eds), Computational Mechanics Publication and Springer-Verlag, 403-414.

## 5.2 RÉFÉRENCES

ANONYME, 1988. Report of the Seventh Meeting of the Scientific Committee. SC-CAMLR-VII. Hobart, pp 221.

ANONYME, 1989. Waste Disposal in the Antarctic. Report of the SCAR Panel of Experts on Waste Disposal. Austral. Antar. Div./SCAR/ICSU, Kingston, pp 53.

BEHRENDT J.C., 1983. In: Petroleum and Mineral Resources of Antarctica, Behrendt J.C. (Ed.). Are There Petroleum Resources in Antarctica? US Geol. Survey Circular 909. Washington D.C., US Government Printing Office, 3-24.

BEHRENDT J.C. and MASTERS C.D., 1983. Speculations on the Petroleum Resources of Antarctica. US Geol. Survey Pol. Resear. Symp. Abstr., Geol. Survey Circular 911, 3-4.

BOURTON C.F. and GÖRLACH U., in press. In: Speciation of Metals in the Environment, Gücer S. (Ed.). The Occurrence of Heavy Metals in Antarctic and Greenland Ancient Ice and Recent Snow. Springer-Verlag.

FIFIELD R., 1987. International Research in the Antarctic. SCAR-ICSU Press, Oxford, pp 146.

GARRETT J.N., 1985. In: Antarctic Politics and Marine Resources: Critical Choices for the 1980s, Alexander L.M. and Hanson L.C. (Eds). The Economics of Antarctic Oil. Center for Ocean Management Studies, University of Rhode Island, Kingston, 185-190.

HAYES D.E., 1985. In: Antarctic Politics and Marine Resources: Critical Choices for the 1980s, Alexander L.M. and Hanson L.C. (Eds). An Overview of the Geological History of Antarctica with Regard to Mineral Resources Potential. Center for Ocean Management Studies, University of Rhode Island, Kingston, 173-184.

KNOX G.A., 1983. In: Antarctic Resources Policy, F. Orrego Vicuña (Ed.). The Living Resources of the Southern Ocean: A Scientific Overview. Cambridge Univ. Press, 21-60.

MOORHOUSE J., 1987. Report on the Economic Significance of Antarctica and the Antarctic Ocean. European Parliament Session Docs A 2-101/87, pp 19.

MUNTINGH H., 1987. Report on the Protection of the Environment and Wildlife in Antarctica. European Parliament Session Docs A 2-57/87, pp 27.

QUILTY P.G., 1985. In: Australia's Antarctic Policy Options, Harris S. (Ed.). Mineral Resources of the Australian Antarctic Territory, ANARE Resear. Notes 27, Austral. Ant. Div., Kingston, 165-203.

ROWLEY P.D., WILLIAMS P.C. and PRIDE D.E., 1983. In: Petroleum and Mineral Resources of Antarctica, Behrendt J.C. (Ed.). Mineral Occurrences in Antarctica. US Geol. Survey Circular 909. Washington D.C., US Government Printing Office, 25-49.

US BUREAU OF MINES AND US GEOLOGICAL SURVEY, 1980. Principles of a Resource/Reserve Classification for Minerals. US Geol. Survey Circular 831. Washington D.C., US Government Printing Office.

WHITICAR M.J., SUESS E. and WEHNER H., 1985. Thermogenic Hydrocarbons in Surface Sediments of the Bransfield Strait, Antarctic Peninsula. *Nature*, 314, 87-90.

ZUMBERGE J.H., 1979. Mineral Resources and Geopolitics in Antarctica. *Amer. Scientist*, 67, 68-77.

### 5.3 LISTE DES ACRONYMES

<b>BAS</b>	British Antarctic Survey
<b>CCAMLR</b>	Convention on the Conservation of Antarctic Marine Living Resources.
<b>CCAS</b>	Convention for the Conservation of Antarctic Seals.
<b>CFC</b>	Chlorofluorocarbones.
<b>CRAMRA</b>	Convention on the Regulation of Antarctic Mineral Resource Activities.
<b>DDE</b>	Dichlorodiphényldichloroéthylène.
<b>DDT</b>	Dichlorodiphényltrichloréthane.
<b>DSDP</b>	Deep Sea Drilling Project.
<b>EPOS</b>	European Polarstern Study.
<b>ESF</b>	European Science Foundation.
<b>HPLC</b>	High Performance Liquid Chromatography.
<b>IGY</b>	International Geophysical Year.
<b>JARE</b>	Japanese Antarctic Research Expedition.
<b>KUL</b>	Katholieke Universiteit te Leuven.
<b>PC</b>	Partie Consultative du Traité sur l'Antarctique.
<b>PCB</b>	Polychlorobiphényles.
<b>PnC</b>	Partie non-Consultative du Traité sur l'Antarctique.
<b>RUG</b>	Rijksuniversiteit Gent.
<b>SCAR</b>	Scientific Committee on Antarctic Research.
<b>SPPS</b>	Services de Programmation de la Politique Scientifique.
<b>STA</b>	Système du Traité sur l'Antarctique.
<b>UCL</b>	Université Catholique de Louvain.
<b>UGMM</b>	Unité de Gestion des Modèles Mathématiques de la Mer du Nord et de l'Estuaire de l'Escaut (Santé publique et Environnement).
<b>ULB</b>	Université Libre de Bruxelles.
<b>ULg</b>	Université de l'Etat à Liège.
<b>VUB</b>	Vrije Universiteit Brussel.