

Un Outil pour l'Océanographie Opérationnelle dans l'Atlantique Tropical et Sud

LE NOR-50

Navire Océanographique Rapide



Document de Position

Version 3.0

13 Février 2001

Jacques SERVAIN
Philippe MARCHAND

Jacques SERVAIN Chef du Projet PIRATA

Centre IRD de Bretagne
B.P. 70 29280 Plouzané
Tél : 02 98 22 45 06
Fax : 02 98 22 45 14
E-mail : Jacques.Servain@ird.fr

Philippe MARCHAND Chef du Projet Coriolis

Ifremer B.P. 70 29280 Plouzané
Tél : 02 98 22 41 26
Fax : 02 98 22 41 35
E-mail : Philippe.Marchand@ifremer.fr

Ce document contient une proposition que ses auteurs jugent utile de faire connaître dans le cadre de leurs responsabilités respectives au sein des programmes qu'ils dirigent (PIRATA et Coriolis). Au stade actuel (février 2001) de la réflexion, ce document n'engage pas nécessairement les organismes auxquels ils appartiennent.

SOMMAIRE

Résumé

- 1- Introduction : Vers l'océanographie opérationnelle
- 2- Le cas de l'Atlantique tropical et ses besoins en observations
 - 2.1 *PIRATA*
 - 2.2 *Argo - Coriolis*
- 3- Une solution pour l'Atlantique tropical et Sud : Un navire dédié
- 4- Proposition d'un navire océanographique rapide : le NOR-50
 - 4.1 Le concept MES : Monocoque Elancé Stabilisé
 - 4.2 Caractéristiques du NOR-50
- 5- Plans et figures
- 6- Comparaison des principales caractéristiques et des coûts pour trois types de N/Os
- 7- Estimation de la charge de travail annuelle moyenne du NOR-50 basé à Natal (Brésil)
 - 7.1 *Entretien du réseau PIRATA (4,5 mois)*
 - 7.2 *Entretien du réseau Argo dans l'Atlantique de 20°N à 40°S (2 mois)*
 - 7.3 *Campagnes océanographiques légères complémentaires (3 mois)*
- 8- Schéma de financement possible du projet NOR-50
- 9- Recommandations finales au niveau du développement et de la gestion du projet NOR-50

Remerciements

Références

ANNEXE

Résumé

L'océanographie opérationnelle est une discipline nouvelle, encore dans l'enfance. Elle deviendra dans les années à venir une activité à part entière, complémentaire mais distincte des activités de recherche. Parmi les missions de l'océanographie opérationnelle, celles intéressant les bassins océaniques dans leur ensemble devront principalement répondre aux besoins de la communauté internationale pour l'étude et la prévision du climat à l'échelle saisonnière. Le caractère opérationnel implique des moyens adaptés, économiques, sûrs, et pérennes, ainsi qu'une grande rapidité d'intervention permettant de réduire le temps navire.

Compte tenu des coûts importants – en investissement et en exploitation - des navires océanographiques (N/Os) classiques, les auteurs examinent dans le présent document ce que peut apporter l'utilisation d'un navire océanographique rapide, (au moins le double de la vitesse des navires classiques), capable d'assurer des missions d'océanographie légère (principalement des mesures physico-chimiques à l'interface air-mer) et aussi, de déployer des instrumentations semi-lourdes (ex. mouillages de surface ancrés au fond de la mer).

Cette démarche s'appuie sur un double constat :

i) La prévention et la limitation des désastres naturels sont désormais à l'ordre du jour. C'est ainsi que la coopération internationale pour la connaissance en temps réel de la variabilité climatique s'est notablement renforcée, ainsi que la recherche sur les méthodes d'évaluation que suscite la Convention Cadre sur le Changement Climatique. L'Atlantique tropical est d'ores et déjà reconnu comme l'un des chantiers majeurs au sein de l'océan mondial (Programme PIRATA et projet Argo). Le climat des régions continentales adjacentes (ex. Sahel du côté africain, Nordeste du côté américain) est en effet largement dépendant des variations climatiques affectant diverses régions de l'Atlantique tropical. C'est aussi sur la région de l'Atlantique tropical que naissent les cyclones sévissant ensuite sur les Antilles et le sud des Etats Unis. On sait aussi qu'il existe une liaison climatique forte entre cette région océanique de l'Atlantique tropical et les régions plus septentrionales (ex. NAO-Europe de l'Ouest) et celles de l'Indo-Pacifique (ex. ENSO). Par ailleurs, et surtout à cause du manque crucial d'observations in-situ, on connaît mal l'impact climatique de l'Atlantique sud (pourtant ouvert sur le reste du monde océanique), tant à l'échelle régionale qu'à l'échelle globale.

ii) Malgré l'effort important des trois pays qui y participent pour l'instant, (Brésil, France, Etats Unis), les méthodes utilisées aujourd'hui pour développer et maintenir le réseau d'observations météo-océaniques in-situ PIRATA sur l'Atlantique tropical sont largement inappropriées, souvent sur-dimensionnées (ex. utilisation du N/O Atalante pour une mission PIRATA dans le Golfe de Guinée), et souffrent de leur manque de souplesse. De plus, elles sont coûteuses, non pérennes et par trop dépendantes de faits extérieurs (stratégiques, économiques, voire politiques). Enfin, elles sont difficilement gérables sur le long terme ; ceci deviendra encore plus évident avec le développement probable de ce type de réseau sur d'autres régions océaniques.

Les auteurs proposent ici un moyen à la mer directement adapté au cas de l'Atlantique tropical et sud (mais qui pourrait tout aussi bien convenir à d'autres régions dans d'autres circonstances). Ce moyen dédié serait affecté de façon nominale à deux activités complémentaires : Le Programme PIRATA et la surveillance in-situ ("Argo") de l'Atlantique sud, région très peu documentée, contrairement à celle de l'Atlantique nord, largement parcourue par de nombreux navires de commerce et de recherche.

On fournit dans ce document de position un descriptif succinct (physique et financier) d'un Navire Océanographique Rapide de 50 m (nom de code: "NOR-50"). Il est basé principalement sur des études préliminaires élaborées antérieurement au sein de l'Ifremer (lorsqu'il s'agissait, il y a quelques années, de développer un concept de navire rapide destiné aux transports de passagers) Cette étude est reprise ici pour répondre au changement d'échelle qu'implique l'océanographie opérationnelle : assurer rapidement et à faible coût des missions nombreuses, dispersées sur des distances trans-océaniques. Le principe retenu est celui d'un monocoque élancé, stabilisé par deux ailerons actifs. Des ballasts d'eau de mer permettent, lorsque le navire s'enfonce, une forte stabilité à l'arrêt (le monocoque devient alors un trimaran) et, lorsque le navire s'allège, une vitesse élevée (22 nœuds en vitesse de croisière). Le pont arrière (équipé d'une grue et d'un portique) permet le stockage et la manœuvre pour déployer et/ou relever quatre mouillages de type ATLAS, tels qu'ils sont actuellement utilisés dans le programme PIRATA. Des équipements classiques et spécifiques permettent des mesures dynamiques et physico-chimiques en continu ou par échantillonnage.

Outre sa grande rapidité, et donc sa capacité d'intervention rapide, le NOR-50 se caractérise aussi par ses faibles coûts d'investissement et de fonctionnement au regard des moyens "classiques" actuels. Prenant comme références le N/O Antéa (catamaran de l'IRD de 34 m) et le N/O Le Suroît (monocoque de l'Ifremer de 56 m), le NOR-50 "coûte" 0,875 Antéa ou 0,175 Suroît en terme d'investissement. En terme d'exploitation, le rapport est aussi favorable. C'est ainsi que, prenant comme exemple une campagne type PIRATA, le coût d'utilisation du NOR-50 est 0,59 fois le coût de cette même campagne lorsqu'elle est assurée par le N/O Antéa, et 0,36 fois lorsqu'elle est effectuée par Le Suroît. Pour d'autres missions opérationnelles (de type Argo), la différence est encore plus flagrante (rapports respectivement de 0,38 et 0,29).

Le lecteur trouvera dans ce document de position un argumentaire scientifique et chiffré permettant d'imaginer la charge annuelle de travail du NOR-50, et son coût d'exploitation, si celui-ci est basé à Natal, à l'extrémité est de la pointe du Brésil, c'est-à-dire à proximité du «centre de gravité» du bassin de l'Atlantique tropical. Pour avoir une charge annuelle de travail représentative, on a inclus le maintien du réseau PIRATA dans son ensemble (lorsque celui-ci sera complet : environ 22 bouées ATLAS), ainsi que le déploiement de plusieurs dizaines de flotteur-profileurs Argo dans l'Atlantique entre 20°N et 40°S, en suivant les recommandations d'un maillage 3° en longitude x 3° en latitude. En complément de ces activités spécifiques PIRATA et Argo (respectivement 4,5 et 2 mois par an), il est prévu que le reste du «temps actif», le NOR-50 puisse être utilisé environ 3 mois par an pour des activités d'océanographie dite "de surface" avec mesures physico-chimiques complémentaires.

Ce navire étant consacré à des travaux utiles à l'ensemble de la communauté internationale, les auteurs préconisent que le NOR-50 soit financé et géré dans un cadre international, tant au niveau de l'investissement initial (35 MF, soit 5,34 MEuros), qu'en ce qui concerne son exploitation ultérieure. Il a été possible, depuis plusieurs années, d'établir des accords de coopération dans différents domaines de la météorologie spatiale, de la climatologie et de l'océanographie : modélisation climatique (ECMWF) ou moyens spatiaux d'observation (Topex/Poseidon, Jason-1&2) ; Le moment est venu de proposer que l'océanographie opérationnelle se dote à son tour de moyens navigants gérés en commun avec autant de succès. Le NOR-50 peut être un exemple emblématique pour ce nouveau type de collaboration internationale, qui sera bénéfique, en dernier ressort, aux populations riveraines.

Un calendrier d'exécution du projet est également proposé, avec comme objectif une exploitation régulière du NOR-50 aux alentours de 2004-2005, c'est-à-dire au moment où l'océanographie opérationnelle devrait véritablement prendre son envol à l'échelle globale.

1- Introduction : Vers l'océanographie opérationnelle

A l'orée du 21^{ème} siècle nous entrons dans ce qu'il est convenu d'appeler " l'océanographie opérationnelle " dont le but est de fournir des informations prédéfinies aux usagers. Les sujets traités sont très divers : les marées, l'estimation des stocks de poissons, la surveillance de la qualité du milieu, la surveillance et la prévision des glaces, la météorologie marine et la prévision des états de mer, les courants, la prévision climatique saisonnière. Si la plupart de ces sujets sont traités et fournissent périodiquement des informations utiles depuis longtemps, il n'en va pas de même pour les courants globaux, la prévision climatique saisonnière. Ces deux thèmes "hauturiers" intéressent l'océan mondial et sont encore au stade de la recherche. Prenant exemple sur la météorologie, elle-même opérationnelle depuis plusieurs décennies, l'océanographie opérationnelle hauturière nécessite le déploiement et l'entretien en milieu marin d'un réseau d'instruments météo-océaniques autonomes transmettant ses mesures en temps réel (" mode opérationnel ") via des systèmes satellitaires (ex. le système Argos). C'est en particulier grâce à une surveillance globale du système océan-continent-atmosphère-glace, et à l'assimilation de ces observations dans des modèles couplés de circulation générale, que l'on pourra faire un pas décisif dans la prévision climatique à l'échelle saisonnière (quelques mois à l'avance).

On va uniquement s'intéresser ici à la dimension hauturière de cette océanographie opérationnelle, et ce pour le domaine océanique de l'Atlantique des zones tropicales et subtropicales. Notre propos se situe donc dans le cadre de l'observation de la variabilité climatique sur cette région, et concerne les missions océanographiques qui sont et seront développées à l'échelle de ce bassin.

Une organisation internationale se met progressivement en place pour répondre au besoin global d'observations in-situ, mais aussi satellitaires, sans oublier leur gestion optimale à la fois scientifique et économique. Il s'agit principalement des programmes GOOS et Argo, avec quelques unes de leurs composantes régionales et nationales telles Euro-GOOS (la composante européenne de GOOS) et Coriolis (la composante française d'Argo sur l'Atlantique dans un premier temps et qui concentre l'ensemble des données in-situ en temps réel pour le projet de modélisation Mercator). Pour de plus amples informations sur ces programmes on se référera à leurs sites Web respectifs (www.eurogoos.org, www.argo.ucsd.edu, www.ifremer.fr/coriolis, www.mercator.com.fr).

Dans la section suivante (Section 2) nous revenons sur les missions de l'océanographie opérationnelle dans le cas de l'Atlantique tropical, puis nous proposons (Section 3) les grands traits d'une solution d'un navire océanographique dédié à la zone de l'Atlantique tropical et sud. Le concept et les caractéristiques techniques de ce navire (NOR-50) sont ensuite décrits de manière chiffrée (Section 4) et graphique (Section 5). Le document se poursuit (Section 6) par une comparaison chiffrée entre 3 types de navire différents dont le NOR-50, ceci pour deux types de mission différentes (PIRATA et Argo), et une estimation de la charge de travail en Atlantique tropical et sud (Section 7). Il suggère des pistes pour son financement (Section 8) et se termine (Section 9) par quelques recommandations relatives aux conditions de la mise en route d'un tel projet, sa phase de réalisation, son fonctionnement en routine et l'établissement d'un calendrier prospectif.

2- Le cas de l'Atlantique tropical et ses besoins en observations

A l'échelle de l'océan mondial le travail à accomplir dans le cadre de l'océanographie opérationnelle est gigantesque. Un partage et une coordination des tâches au niveau international est donc indispensable. C'est ainsi qu'au niveau national, la France a choisi tout particulièrement d'expérimenter ses compétences en matière d'observations et de simulations sur le domaine de l'Atlantique Nord : Gyroscope (projet européen mettant en œuvre 80 flotteur-profileurs), premiers déploiements de flotteur-profileurs Coriolis dans le cadre Argo, premières modélisations de Mercator. Cependant, grâce notamment à l'action historique de l'IRD (ex ORSTOM), les interventions françaises ont été et sont encore nombreuses, et souvent décisives, dans la zone intertropicale de l'Atlantique. C'est pourquoi notre domaine privilégié est ici l'Atlantique tropical, mais on peut aussi y adjoindre l'Atlantique sud. Cette dernière région, contrairement à l'Atlantique nord, est en effet dramatiquement dépourvue de moyens et systèmes d'observations météo-océaniques in-situ et un effort tout particulier doit y être entrepris. Le programme Coriolis prévoit d'ailleurs de déployer des flotteur-profileurs dès 2003 dans cette zone.

2.1 *PIRATA*

En ce qui concerne l'Atlantique tropical proprement dit, le programme PIRATA (Servain et al., 1998) (www.brest.ird.fr/pirata/piratafr.html) est un réseau pilote d'observations météo-océaniques in-situ se situant actuellement entre le "mode recherche" et le "mode opérationnel". PIRATA a en effet été instauré fin 1997 au niveau international (Brésil, France, Etats-Unis) sous les auspices conjoints de CLIVAR et de GOOS. La participation française dans PIRATA se fait principalement par l'intermédiaire de l'IRD, qui répond ainsi à sa mission d'aide au développement des pays de la ceinture tropicale atlantique. Le CNRS, Météo-France et l'Ifremer ont participé, et pour les deux derniers cités participent encore à des degrés divers, à la mise en place, au développement et au maintien du réseau PIRATA dans la partie est du bassin (essentiellement le Golfe de Guinée).

Le réseau original d'observations PIRATA se compose actuellement d'une douzaine de bouées ATLAS ancrées dans l'Atlantique tropical (Fig. 1). Ces bouées sont de véritables stations météo-océaniques mesurant en des points clés de l'Atlantique tropical les différents paramètres du transfert énergétique entre l'atmosphère et la couche de mélange océanique (jusqu'à 500 m de profondeur). Le réseau PIRATA original sera complété progressivement jusqu'à compter une vingtaine de bouées d'ici 2002-2003 par une série de trois extensions vers les côtes africaines et américaines (Fig. 2), en s'appuyant notamment sur la participation de pays limitrophes (ex. le Maroc, le Sénégal et l'Afrique du Sud pour ce qui concerne les extensions du réseau vers l'est). Le programme PIRATA dans son ensemble a pour vocation de devenir vraiment opérationnel à l'issue d'une phase de consolidation de son schéma original qui démarre début 2001 et prendra fin vers 2005.

La durée nominale de fonctionnement en mer d'un système ATLAS est d'environ un an. Cela veut dire qu'à intervalles réguliers d'environ 12 mois nous sommes dans l'obligation de relever chacun des systèmes ATLAS dans sa totalité (excepté le lest de 2 tonnes qui est perdu et reste au fond de l'eau). Nous procédons alors immédiatement au déploiement d'un autre système ATLAS au même endroit. Les divers éléments

mécaniques du mouillage (flotteur, tripodes, câble acier, câble nylon, accastillage, ...) qui viennent d'être relevés sont ensuite nettoyés, testés, éventuellement réparés et repeints, etc. Ce travail peut se faire dans une quelconque base terrestre PIRATA. Quant aux capteurs et autres composants électroniques qui viennent eux aussi d'être relevés, ceux-ci sont immédiatement expédiés au laboratoire (actuellement le PMEL à Seattle, USA) où ils sont très précisément testés, re-calibrés, éventuellement réparés ou échangés. L'ensemble de ces éléments (mécaniques et électroniques), ainsi qu'un stock de batteries neuves peuvent ensuite retourner sur le terrain quelques mois plus tard pour une nouvelle opération de mouillage. Ceci demande bien sûr une excellente coordination au niveau de la rotation du matériel entre divers sites (Seattle, Abidjan, Brest, Natal, Fortaleza, Dakar, Port Gentil, Pointe Noire, ...) et diverses équipes, ce qui est souvent loin d'être toujours le cas, notamment en raison des délais d'acheminement par containers (quelques fois aléatoires), et parfois de petits « soucis » douaniers.

A noter que les principales contraintes technologiques pour une durée nominale de un an (en tout état de cause inférieure à 15 mois) d'un système ATLAS en mer sont les suivantes :

- Durée de vie des batteries (l'élément le plus consommateur d'énergie étant la transmission quotidienne des données via le système Argos)
- Salissures chimiques et biologiques de certains capteurs (conductivité, rayonnement solaire, pluie, ...)
- Dérive électronique de certains capteurs (conductivité en particulier).

Lorsque le réseau PIRATA sera complet (environ 22 sites ATLAS), la charge annuelle de temps bateau pour sa maintenance, avec le passage au minimum une fois par an sur chacun des sites (qui est, on vient de le voir, la durée nominale des instrumentations embarquées sur les bouées ATLAS), nécessitera l'équivalent d'environ 6 mois d'un navire océanographique classique avec une vitesse de croisière de 11 nœuds (ex. N/Os " L'Antéa " ou " Le Suroît ", ...). Cependant, et ainsi que cela est déjà effectué pour le réseau similaire TAO/TRITON sur le Pacifique, on sait qu'il est indispensable, pour une maintenance optimisée du réseau, de visiter les sites plus d'une fois par an, notamment dans les zones soumises au vandalisme lié à la pêche thonière (par exemple le long de l'équateur dans le Golfe de Guinée). Outre cet aspect, dommageable mais réel, une seconde visite annuelle peut être mise à profit pour éventuellement échanger un capteur (de surface) et/ou des batteries défectueuses. Ce surcroît de temps-bateau alourdira d'autant la charge annuelle qui est alors estimée à 8 mois de navire océanographique classique. D'un autre côté ce surcroît de temps-bateau peut être utilisé pour des opérations complémentaires (ex. mouillage et récupération de flotteurs divers, échantillonnages variés, etc.).

2.2 **Argo - Coriolis**

Le programme Argo prévoit de déployer 3000 flotteur-profileurs dans l'océan mondial d'ici 2004 (Figs. 3 et 4). Ce nouveau réseau, qui donnera des informations en temps réel sur la structure thermo-haline des 2000 premiers mètres, va révolutionner notre observation aujourd'hui très partielle de l'océan. Ce réseau a vocation à être pérennisé comme ce fut le cas pour le réseau de bouées ancrées TAO du Pacifique dans les années 1990, et, nous l'espérons, le réseau PIRATA au terme de sa phase de consolidation (vers 2005).

En ce qui concerne plus précisément l'Atlantique, environ 600 flotteur-profileurs devront être déployés d'ici 2004. La France participe activement à cet effort international au travers du projet Coriolis, en développant des instruments (flotteur-profileur PROVOR), en réalisant un centre de données opérationnelles Coriolis (à Brest), et en ayant un planning de déploiement de 300 flotteur-profileurs d'ici 2004, soit la moitié de l'effort international pour cette région.

Les flotteur-profileurs ayant une durée de vie d'environ trois ans, il faudra déployer environ un millier de flotteurs par an dans l'océan mondial pour maintenir une densité constante d'observations. Les navires d'opportunité (navires marchands pour l'essentiel) devraient pouvoir constituer à priori un moyen privilégié de déploiement (en particulier dans l'Atlantique nord). C'est en tout cas l'hypothèse forte qui est retenue par rédacteurs du projet Argo au niveau international. Permettons-nous d'en douter quelque peu, et ceci pour deux raisons principales :

- (i) d'une part, force est de constater que la bonne volonté des officiers et des équipages des navires de commerce envers les scientifiques se perd. Maintenant, ils sont d'origines très diverses, souvent mercenaires sous des pavillons de complaisance, et la plupart du temps très difficiles à motiver, même financièrement, car tel ou tel avec qui on peut établir un accord de collaboration risque de débarquer quelques semaines plus tard dans un port quelconque et il ne transmettra pas forcément les consignes à son remplaçant, ou bien celui-ci ne se sentira pas obligé de les appliquer. Par ailleurs, l'actuelle tendance à une réduction drastique du nombre d'officiers et de marins à bord, autant pour raison économique que par conséquence d'automatisation, n'abonde pas dans le sens d'une disponibilité accrue des équipages dans une collaboration nouvelle et supplémentaire avec les scientifiques.
- (ii) il n'est pas prouvé d'autre part que la dispersion océanique naturelle permettra d'obtenir partout le maillage régulier d'environ 3° en longitude x 3° en latitude souhaité (cf. Fig.4). Il faudra bien aller sur le terrain pour "combler les trous", en particulier dans les zones océaniques peu fréquentées et/ou de maintenance internationale difficile (ex. le Golfe de Guinée, ainsi que de larges zones "désertiques" dans l'Atlantique sud). Plusieurs mois de navire seront alors nécessaires chaque année pour l'Atlantique (voir section 7) et beaucoup plus si on envisage de récupérer tout ou partie des flotteurs sous la pression environnementaliste.

3- Une solution pour l'Atlantique tropical et sud : Un navire dédié

Nous avons vu dans la section précédente que la maintenance annuelle (optimisée) du réseau PIRATA complet nécessiterait la mobilisation de 8 mois de navire océanographique classique. Par ailleurs on peut doré et déjà estimer à 3-4 mois par an l'utilisation d'un N/O classique (à vitesse de 11 nœuds) pour ce qui concerne la couverture Argo d'une partie de l'Atlantique sud.

Dans l'état actuel de nos ressources en moyens bateaux, on ne voit pas comment l'ensemble de cette charge de temps-bateau pourra être assurée autrement que par une organisation lourde nécessitant la complémentarité de plusieurs navires océanographiques de différentes nationalités (France, Brésil, Maroc, Afrique du Sud,

Sénégal, etc.), avec, on l'imagine, toutes sortes de difficultés liées à la disponibilité des navires, aux activités scientifiques concurrentielles, voire des difficultés politico-économiques (ex. les récents événements de Côte d'Ivoire). Il apparaît d'ores et déjà que ce système sera difficilement gérable, et ceci à divers niveaux, qu'ils soient scientifiques, économiques, humains ou politiques. Si cette solution peu opérationnelle devait être retenue, il faudra malheureusement s'attendre à ce que des pans entiers des réseaux PIRATA et Argo deviennent inopérants durant des laps de temps plus ou moins longs.

Nous pensons qu'il est possible de remédier à ce type de problèmes. L'objectif des auteurs de ce document est de proposer à la communauté scientifique océanique, et ceci sous leurs propres domaines de responsabilités (PIRATA pour JS, Coriolis pour PM), une solution devant faciliter et optimiser les opérations d'océanographie opérationnelle dans l'Atlantique tropical et l'Atlantique sud (disons pour fixer les idées entre la latitude des Antilles et celle au sud de l'Argentine, ou encore des côtes marocaines aux côtes sud-africaines). Dans notre esprit, et au-delà de la communauté scientifique océanique française, nous nous adressons à la communauté océanique multi-nationale (une version en anglais de ce document est actuellement en préparation), avec comme désir la possibilité de faire intervenir, outre la France, non seulement certains pays de la Communauté Européenne (Allemagne, Espagne, Portugal, Grande Bretagne, ...), mais aussi d'autres pays intéressés dans le programme au sens large (USA, Brésil, autres pays d'Amérique du Sud et d'Afrique de l'Ouest).

Caractéristiques des missions opérationnelles type PIRATA et Argo :

Les missions océanographiques opérationnelles se distinguent des missions océanographiques classiques :

- Elles sont répétitives, pérennes et doivent s'adapter rapidement à une multitude d'aléas (d'ordre matériel, économique, voire politique) liés à la maintenance du réseau d'observations.
- Elles mettent en œuvre des équipements autonomes légers (ex. flotteur-profileurs PROVOR du réseau Argo) et semi/lourds (ex. bouées ATLAS du réseau PIRATA) et un personnel scientifique restreint (3 à 4 personnes)
- Elles couvrent des étendues océaniques à l'échelle d'un bassin (ex. Atlantique tropical).
- Le temps de transit est prépondérant sur le temps en station.

Types de navires possibles

Il est légitime de s'interroger sur le type de navire le mieux adapté à la réalisation de ces missions opérationnelles. Examinons ces différents types de navire :

a/ Navires océanographiques hauturiers (classiques)

Conçus pour réaliser des missions scientifiques souvent sophistiquées, ils sont trop polyvalents, trop lents, trop chers, disposant d'une capacité d'accueil de scientifiques sur-dimensionnée pour accomplir des missions opérationnelles répétitives.

b/ Navires de servitude

Utilisés principalement pour les opérations de maintenance des plate-formes pétrolières off-shore, les "supplies" sont des bateaux peu sophistiqués, lents et pas forcément moins chers en coût d'utilisation que des N/Os de type "Le Nadir " ou "le Suroît". De plus ces navires sont souvent uniquement disponibles dans les zones pétrolières et peuvent être dramatiquement démunis d'équipement indispensable à une mission spécifique (ex. sondeur grand-fond indispensable pour les opérations de mouillage PIRATA, grue de mise à l'eau). Leur disponibilité est difficilement garantie dans le contexte des interventions pétrolières.

c/ Navires de pêche

Les thoniers ou bien des chalutiers hauturiers peuvent être utilisés occasionnellement pour des missions de largage simple d'instrumentations légères. Mais leur mise en oeuvre au plan économique et social n'est pas évidente (réticences entretenues de la plupart des équipages, voire des armateurs, vis-à-vis de la communauté scientifique). C'est une solution plus économique que le navire océanographique mais qui reste bâtarde, un navire de pêche étant d'abord conçu pour pêcher !

d/ Navire spécialement conçu pour ce type de mission

L'utilisation d'un navire dédié à ce type d'opérations [sur l'Atlantique tropical et sud] permettrait de centraliser l'approche scientifique du réseau d'observations. Un tel navire dédié serait un atout appréciable pour anticiper les charges (y compris en fonction des aléas), pour éviter de jongler avec les affrètements internationaux et pour diminuer les coûts (transport de matériel, aires de stockage, frais de douanes, etc. ...) et rentabiliser les aptitudes humaines (équipage spécialisé, ingénieurs, scientifiques). Les missions opérationnelles sur l'Atlantique tropical et sud pourraient occuper au moins un navire dédié spécialement conçu (voir Section 7). C'est cette solution qui est esquissée ci-après.

4- Proposition d'un Navire Océanographique Rapide : le NOR-50

Le critère d'optimisation principal d'un navire opérationnel doit être le coût récurrent des missions qui lui sont confiées. Il faut aussi bien sûr que le volume des missions opérationnelles justifie l'utilisation à temps plein d'un tel navire, ce qui ne semble pas faire de doute à l'horizon de quelques années, pour l'Atlantique.

Les missions opérationnelles nécessitant beaucoup de transit, on s'intéressera à un navire rapide, ce qui n'a de sens que s'il est léger. Or la simplicité des missions à accomplir mettant en oeuvre du matériel léger et semi-lourd permet précisément d'envisager un navire de capacité d'emport réduit, donc de déplacement léger et de coût sensiblement plus faible que celui des navires océanographiques classiques.

Nous adopterons les spécifications fonctionnelles suivantes pour un tel navire océanographique rapide (NOR-50) :

- *Type de mission opérationnelle :*

- Mouillage d'au moins 4 bouées PIRATA/ATLAS
 - Déploiement régulier d'instruments autonomes légers (bouées, flotteur-profileurs Argo...)
 - Missions légères d'océanographie (mesures physico-chimiques)
- *Spécifications :*
- Mouillage d'au moins 4 bouées PIRATA/ATLAS
 - Autonomie : 5.000 nautiques (trans-océanique)
 - Vitesse : 22 nœuds en croisière (double de celle d'un N/O classique)
 - Capacité d'emport : 15 tonnes (ex. 4 bouées PIRATA/ATLAS complètes)
 - Equipage : 10 personnes, plus 4 scientifiques

4.1 Le concept MES : Monocoque Elancé Stabilisé

Dans le cadre du programme interministériel MENTOR (Marchand, 1994), en collaboration avec plusieurs architectes et chantiers navals, l'Ifremer a piloté entre 1990 et 1993 des études comparatives de grands ferries rapides (une centaine de mètres, 40 nœuds, plus de 500 passagers et 150 voitures pour des applications telles que la desserte de la Corse). Un concept particulièrement intéressant en terme de performances et de tenue à la mer a été proposé à cette occasion : le MES (Monocoque Elancé Stabilisé, appelé aussi "Monofast") qui a fait l'objet d'un dépôt de brevet en 1991, d'une étude d'avant projet et d'études approfondies en bassin des carènes. Une version plus petite (35 m, 200 passagers, 25 noeuds destinée à la desserte d'îles en mer difficile comme Ouessant) a été ensuite étudiée avec le concours du cabinet d'architecture naval Paul Lucas.

Nous disposons donc aujourd'hui d'une base architecturale solide et chiffrée de navire rapide qui nous semble pouvoir répondre à la spécification ci-dessus.

Le concept MES :

Le MES étudié dans le cadre du programme MENTOR rappelé plus haut, est un "monocoque-trimaran" composée d'une coque très élancée flanquée de deux petits flotteurs latéraux qui lui donnent sa stabilité au repos, quand la coque principale est ballastée (et enfoncée), c'est alors un trimaran. En route, le navire est vidé de son ballast, les flotteurs latéraux sortent de l'eau et le navire devient un monocoque élancé stabilisé par deux ailerons latéraux pilotés, immergés sous les flotteurs. En transformant le trimaran en monocoque stabilisé en route, on remédie ainsi au principal défaut des trimarans dont une fraction importante de la résistance à l'avancement est liée à la traînée des flotteurs à nombre de Froude élevé. Le MES est donc un navire plus performant que le trimaran, tant au plan de la vitesse que du confort à la mer en mer agitée.

Exemple de trimarans rapides :

Plusieurs trimarans rapides ont déjà été construits, tels "Ilan Voyager " de 21 m, " Ocean Alchemist " de 30 m, et " Cable and Wireless " de 35 m. Ce dernier, bien que faiblement motorisé a même réalisé en 1998 un tour du monde à la vitesse moyenne de 16,5 nœuds (cf Figure en annexe). Par ailleurs, la marine militaire anglaise s'intéresse de près au concept de grand trimaran en particulier pour des raison de performance à la mer supérieures au monocoque équivalent. Un prototype de 100 m , le "triton" a été lancé en 2000 pour des essais en grandeur réelle. La marine américaine elle-aussi s'intéresse aussi aux trimarans rapides.

Avec le MES, nous pensons qu'il est possible de faire encore mieux que le trimaran rapide, et autres engins monocoques ou catamarans :

- un monocoque classique (coque archimédienne pas trop élancée pour rester stable) devrait être sur-motorisé (donc peu économique), sauf si sa coque est planante auquel cas il sera particulièrement inconfortable sur mer formée ;
- bien que performant en vitesse, le catamaran ne procurera pas le même confort qu'un trimaran sur houle formée (on a l'expérience de l'Antéa !).
- dans les deux cas, les monocoques planants rapides et les catamarans qui transportent des passagers le long des côtes ont de fortes limitations d'activité en terme d'état de mer.

4.2 Caractéristiques du MES (NOR-50)

Pour obtenir à la fois une vitesse élevée et un grand rayon d'action avec une puissance motrice raisonnable, le NOR-50 reprend le concept monocoque élancé stabilisé, MES exposé précédemment. Un rapide dimensionnement à partir des études réalisées antérieurement nous conduit aux caractéristiques suivantes :

Principales caractéristique du NOR-50

Longueur	51.8	m
Largeur maxi	14.4	m
Tirant d'eau	2.10	m
Déplacement léger	90	t
Déplacement moyen	138	t
Motorisation	1500	kW
Vitesse moyenne	22.0	nds
Carburant en soute (gasoil)	57	t
Autonomie	5000	nm

Autres caractéristiques du NOR-50

LPP	49.2	m
Largeur au pont coque centrale	6.50	m
Largeur à la flottaison	3.25	m
Ratio L/B	15	
Franc-bord avant/milieu	2.95	m
Creux/flottaison	1.63	m
Hauteur CG/flottaison	1.09	m
Surface mouillée coque centrale	186	m ²
Volume coque centrale	125	m ³
Ratio Vol/L ³ en (litres/m ³)	1.09	
Déplacement à mi-charge	138	t
Réserve carburant	4	t
Carburant utilisable/machines	50	t
Carburant utilisable/groupes	3	t

Performances

Les calculs ont été faits dans les conditions suivantes :

- Configuration MES (NOR-50) avec petits flotteurs et ailerons latéraux
- Vitesse 22 nœuds ; Delta 138 t ; Rendement propulsif global : 0.60

R/Delta	43.4	kg/t
P remorquage	668	kW
P motrice, mer calme	1116	kW
P motrice, mer agitée (+ 15%)	1283	kW
P installée (22 nds à 85 % MCR)	1500	kW
Distance franchissable à 20 nds	5200	nm
Distance franchissable à 22 nds	4600	nm

Confort à la mer

C'est une qualité essentielle pour un long-courrier. Le NOR-50 présente des caractéristiques favorables au confort :

- Monocoque non planant à carène fine (pas de "slamming", cognement dans les vagues)
- Centre de gravité très bas
- Stabilisation en roulis correcte en option trimaran et très efficace avec l'option MES

1. En configuration trimaran classique, la stabilisation passive est assurée par flotteurs latéraux. Les flotteurs sont dimensionnés pour donner un comportement en roulis comparable à celui d'un monocoque.
2. En option MES, la stabilisation active est assurée par des ailerons latéraux. Le volume immergé des flotteurs est plus faible. Avantages sur l'option trimaran seule : moins de traînée, moins d'excitation en roulis.
3. Stabilisation passive au port et en station océanographique par enfoncement (ballastage) de la coque centrale. Les 2 ballasts disposés en avant et en arrière des réservoirs de gasoil se remplissent et se vident automatiquement en fonction de la vitesse (vide-vite en position ouverte fixe). Dans ce qui suit (voir figures) nous avons chiffré la version MES.

Descriptif complémentaire et fonctionnalités

Pont de travail / stockage

- Dimensions : 16 x 6 m, surface : 95 m²
- Stockage pour 4 bouées PIRATA/ATLAS (diam. 2.30 m) et environ une trentaine de bobines de câbles (1/4 acier et 3/4 nylon),
- ou emplacement pour 1 container de 20 pieds

Moyens de levage/mouillage

- Grue latérale, force 3 t à 4 mètres
- Portique arrière oscillant vers l'arrière pour relever la bouée, treuil

(l'étude détaillée de la manutention des charges PIRATA dont le lest de 2.2 T reste à faire)

Locaux techniques

- Poste de contrôle arrière (vue sur le pont de travail, commandes barre et moteurs)
- Un laboratoire " humide " 10 m², un laboratoire " sec " 11 m²
- Timonerie avec zone NAV (table à cartes, appareils, rangements)
- Réserve 11 m² avec compartiment froid , atelier mécanique 10 m²

Locaux des personnels

- Pont supérieur : carré et salle à manger 4.5 x 6 m (27 m²)
- Pont inférieur : cuisine 6 m², sanitaires, toilettes
10 cabines indépendantes assurant au total 14 couchages

Machine, propulsion, direction

- Moteur principal arrière, 1500 kW, réducteur
- Ligne d'arbre peu inclinée (2°), hélice axiale, gouvernail suspendu
- Moteur d'appoint à l'avant, 150 kW, transmission en Z
- Propulseur d'étrave ou hélice avant sur " pod " orientable pour le positionnement

Génération électrique

- Groupe électrogène 50 kvA à l'arrière
- Alternateur 50 kvA entraîné par le moteur avant
- Génératrice de secours au dessus du compartiment machine avant

Estimation de coût de construction

Cet avant-projet a été remis au chantier OCEA (Les Sables d'Olonne) pour une première approche du coût. Le budget pour le navire seul serait de 30 MF, auquel il serait prudent d'ajouter des études spécifiques à ce prototype, de l'ordre de 5 MF. Ce prix est à comparer aux 40 MF du N/O " L'Antéa " et aux 200 MF estimés du N/O de classe " Le Suroît ".

5- Figures (voir pages suivantes) et Plans (voir en annexe)

- Dessins 3D couleur pris sous divers angles (voir pages 17 à 19)
 - o Figure 5 : Vue générale de $\frac{3}{4}$ arrière tribord
 - o Figure 6 : Vue de $\frac{3}{4}$ avant bâbord par dessus
 - o Figure 7 : Vue de $\frac{3}{4}$ avant tribord par dessous
 - o Figure 8 : Vue de $\frac{3}{4}$ arrière bâbord par dessous
 - o Figure 9 : Zoom de l'arrière, vue de $\frac{3}{4}$ arrière tribord
- Plans d'ensemble au 1/100^{ème} (voir fichiers norp1.gif et norp2.gif en annexe)
 - o Plan 1 : Coupe longitudinale/ponts
 - o Plan 2 : Plan 3 vues
 - o Annexe : Autres trimarans civils



Figure 1 : Mise à l'eau d'une bouée ATLAS à bord du N/O La Thalassa

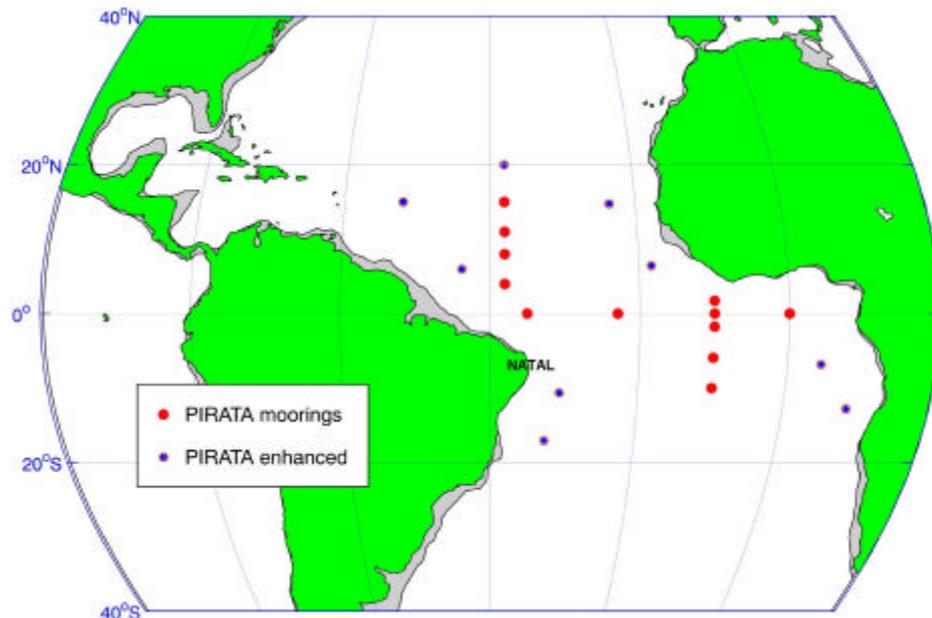


Figure 2 : Réseau original PIRATA (ronds rouges) et schéma (actuellement en cours de discussion) des extensions prévues (ronds bleus)

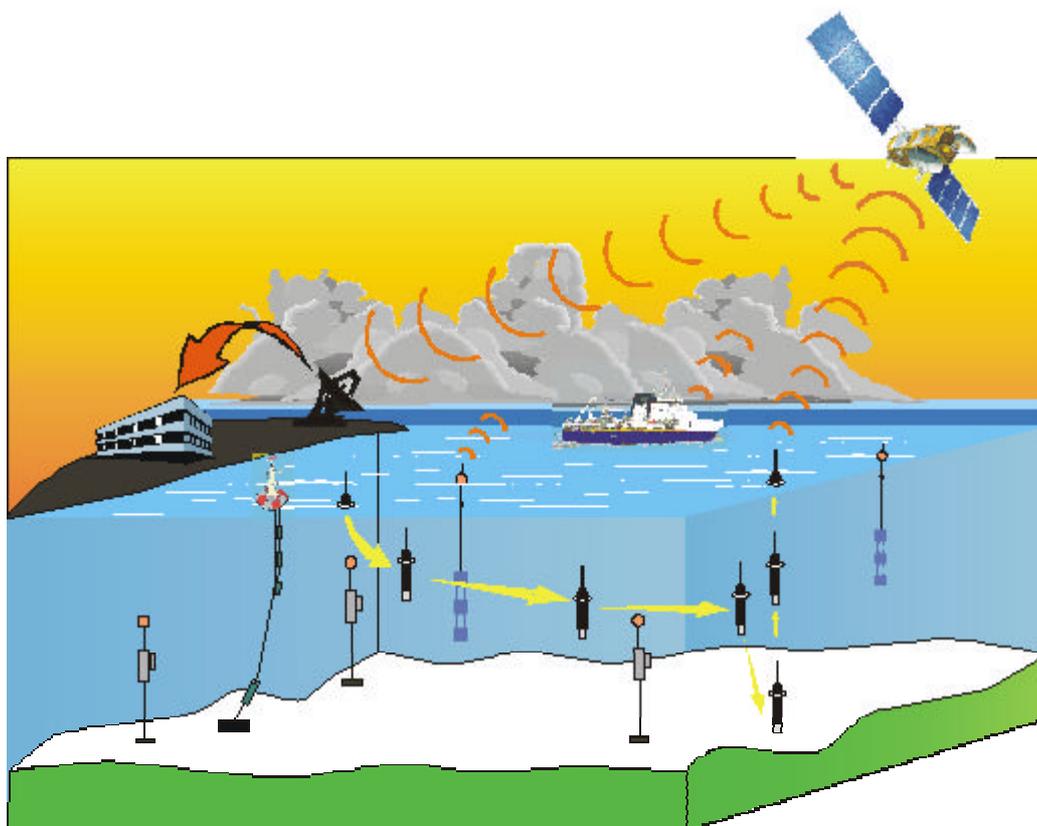


Figure 3 : Schéma du dispositif Argo (et PIRATA)

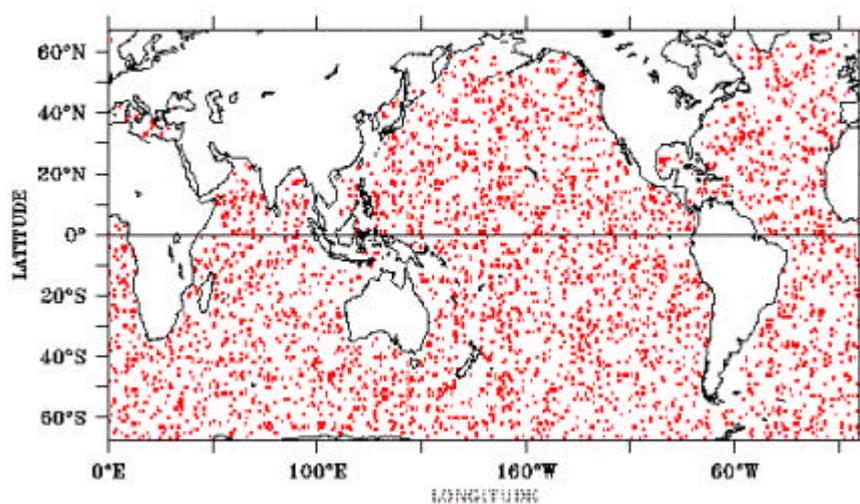


Figure 4 : Distribution souhaitée des 3000 flotteur-profileurs Argo à l'échelle globale

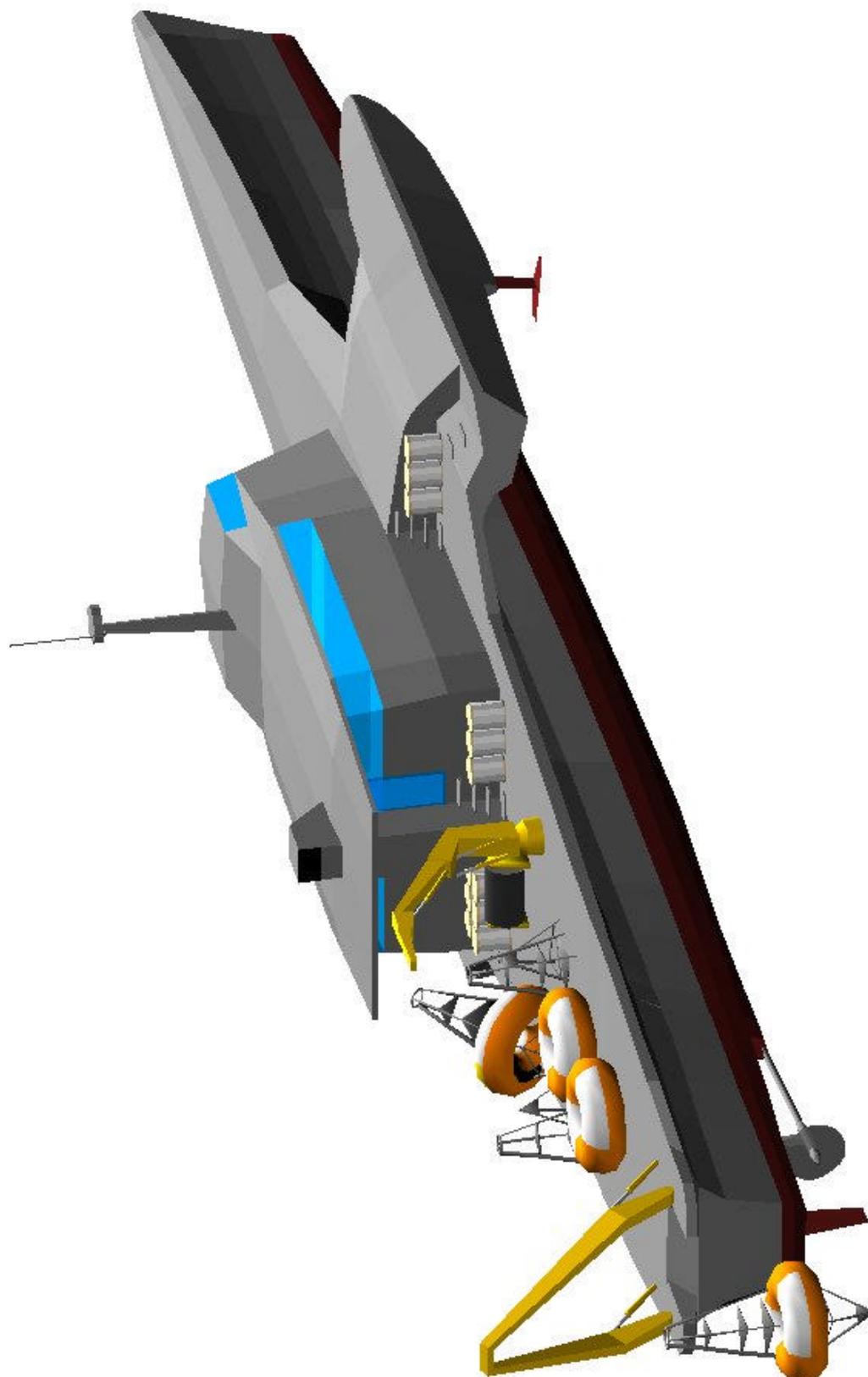


Figure 5 : Vue générale de $\frac{3}{4}$ arrière tribord

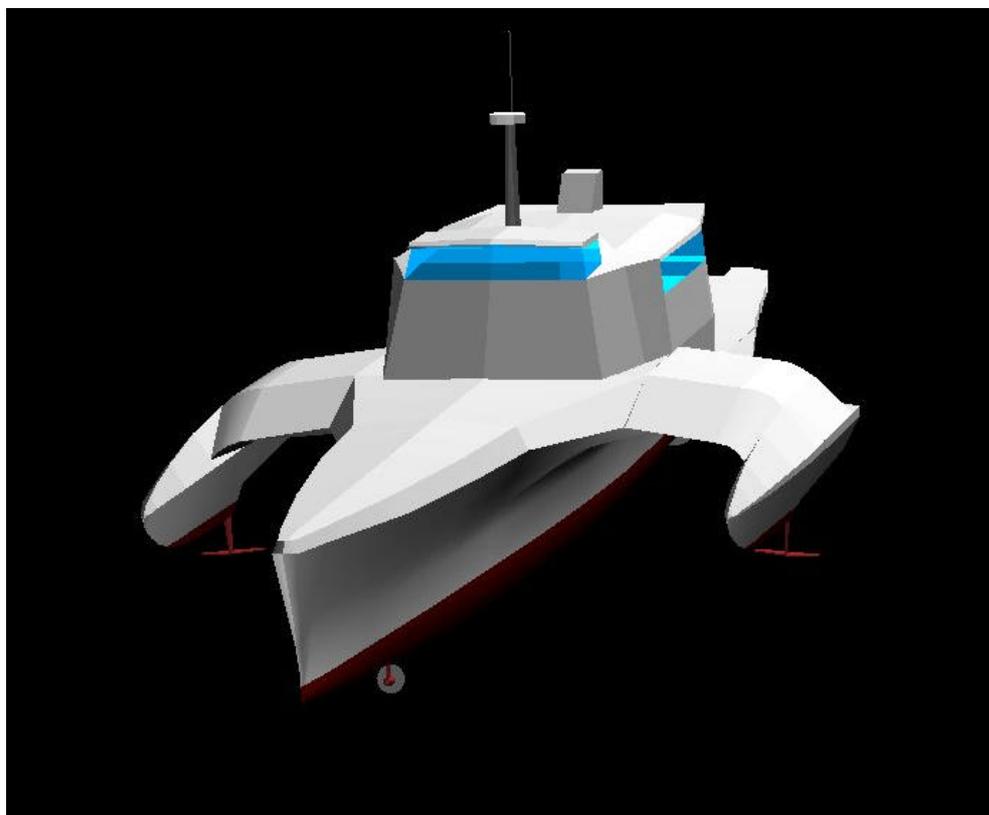


Figure 6 : Vue de $\frac{3}{4}$ avant bâbord par dessus

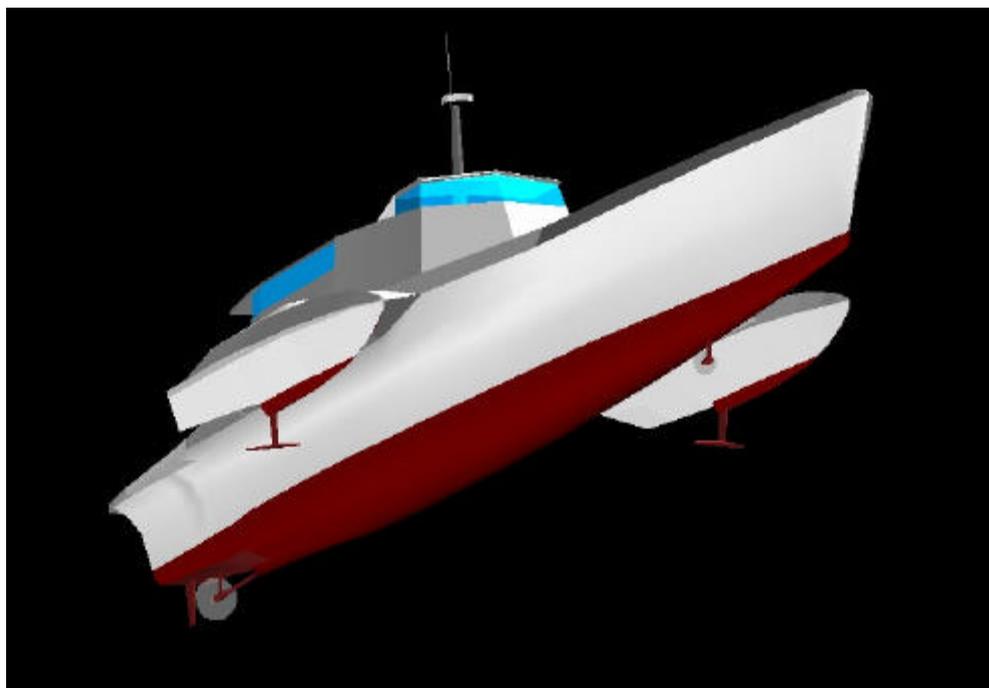


Figure 7 : Vue de $\frac{3}{4}$ avant tribord par dessous

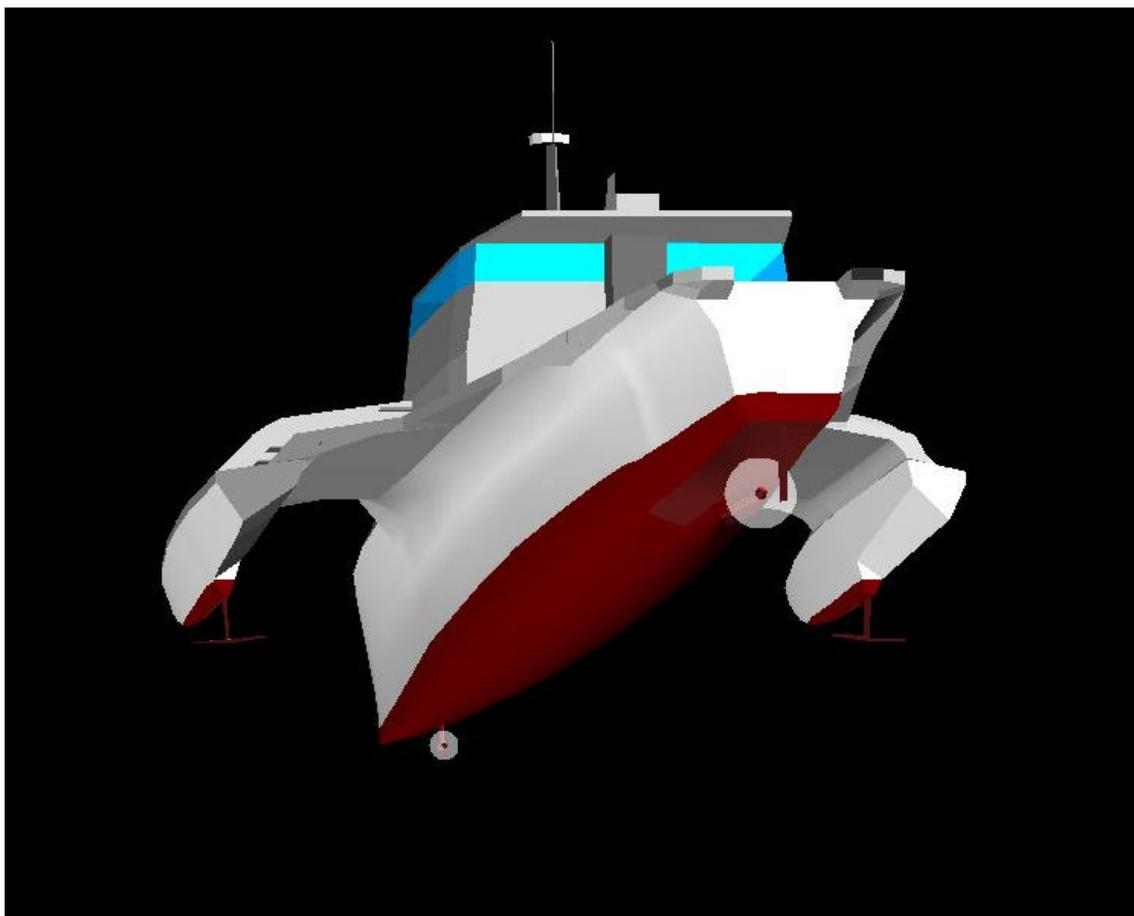


Figure 8 : Vue de $\frac{3}{4}$ arrière bâbord par dessous



Figure 9 : Zoom de l'arrière, vue de $\frac{3}{4}$ arrière tribord

6- Comparaison des principales caractéristiques et des coûts pour trois types de N/Os

- 1- N/O ANTEA
- 2- N/O LE SUROÏT
- 3- N/O NOR-50

	unité	ANTEA	SUROÏT	NOR-50
CARACTERISTIQUES				
longueur	m	35,0	56,0	52,0
largeur	m	11,7	11,0	14,0
déplacement en charge	T	405,0	1130,0	165,0
soute (densité GO=0,9)	T	61,0	117,0	57,0
Vmax	nœud	13,0	13,0	25,0
Vcroisière	nœud	11,0	11,0	22,0
Ppropulsive installée	KW	940,0	1200,0	1500,0
consommation Vcrois	kg/h	160,0	204,0	236,0
	kg/j	3840,0	4896,0	5664,0
autonomie à Vcrois	miles	3800,0	6000,0	4700,0
COÛTS				
investissement	MF	40,0	200,0	35,0
durée de vie	an	20,0	25,0	20,0
amortissement	MF/an	2,0	8,0	1,8
	KF/j	5,5	21,9	4,8
personnel: (équipage//science)		13//3	15//3	10//3
coût équipage	KF/J	20,0	23,0	15,3
frais divers	KF/J	3,0	5,0	3,0

Comparaisons des coûts de fonctionnement pour deux types de mission

- 1- N/O ANTEA
- 2- N/O LE SUROIT
- 3- N/O NOR-50

- A- Mission PIRATA (3 bouées ATLAS)
- B- Mission ARGO (30 flotteur-profilleurs PROVOR)

	Unité	ANTEA	LE SUROIT	NOR-50
MISSION PIRATA 3 bouées ATLAS				
durée transit à Vc	j	11,5	11,5	6,3
durée station	j	1,5	1,5	1,5
durée mission	j	13,0	13,0	8,8
frais personnel (équipage)	KF	260,0	299,0	134,6
amortissement	KF	71,2	284,9	42,2
carburant (2F/kg)	KF	88,3	112,6	71,4
frais divers	KF	39,0	65,0	26,4
COÛT MISSION PIRATA	KF	458,6	761,5	274,6
(prix/jour)	KF	35,3	58,6	31,2
coût relatif		1,7	2,8	1,0
MISSION ARGO 30bouées, 4700n				
durée transit à Vc	j	21,8	17,8	8,9
durée station	j	2,0	1,0	1,0
durée mission (1)	j	23,8	18,8	9,9
frais personnel (équipage)	KF	476,0	432,4	151,5
amortissement	KF	130,4	412,1	47,5
carburant (2F/kg)	KF	167,4	174,3	100,8
frais divers	KF	71,4	94,0	29,7
COÛT MISSION ARGO	KF	845,2	1112,8	329,5
(prix/jour)	KF	35,5	59,2	33,3
coût relatif		2,6	3,4	1,0

(1) L'autonomie de l'ANTEA oblige à une escale et donc un transit forfaité à 4j + 1j au port.

7- Estimation de la charge de travail annuelle moyenne du NOR-50 basé à Natal (Brésil)

Dans cette section nous envisageons une utilisation moyenne annuelle du NOR-50 à partir de sa base de Natal (Brésil). On part du principe que tous les éléments de la programmation opérationnelle de l'Atlantique sont déjà mis en place de manière routinière. On prend donc comme hypothèse de travail les éléments suivants :

- Entretien du réseau PIRATA complet, composé de 22 sites (voir Figs. 2 et 9).
- Entretien du réseau Argo totalement mis en place (un point de mesure réparti idéalement chaque 3° lat. x 3° long.) entre 20°N et 40°S dans l'Atlantique.

On rajoute comme hypothèse de travail que le NOR-50 pourra être utilisé le reste « actif » de l'année (donc hors périodes de carénage d'environ 2 mois) pour des opérations d'océanographiques légères (ex. CTD 0-2000 m, diverses mesures physico-chimiques dans la couche océanique de surface, ...) par des affrètements soit régionaux, soit nationaux ou soit internationaux (voir aussi Section 9).

7.1 Entretien du réseau PIRATA (4,5 mois)

Les contraintes/hypothèses de travail sont les suivantes :

- 22 sites PIRATA (voir Figs. 2 et 10)
- Relevage/mise à l'eau de 4 (maximum) bouées ATLAS par leg
- Un relevage/mise à l'eau annuel pour chacun des 22 sites
- Au minimum un visite annuelle supplémentaire par site
- Départ et retour à Natal (Brésil), avec escale (2 ou 3 jours) si longueur du transit supérieur à 4500 miles
- Vitesse de croisière = 22 nœuds

L'ensemble du réseau est couvert par 6 legs si l'on ne tient compte que des opérations de relevage/mise à l'eau pour chacun des sites. Afin de sécuriser au mieux le réseau, et ainsi d'assurer la visite sur chacun des sites au moins deux fois par an, nous estimons qu'il faut effectuer 3 legs supplémentaires. On arrive donc à un total annuel de 9 legs (voir Fig. 10 et Tableau associé), ce qui représente une durée cumulée d'environ 4,5 mois et une distance cumulée d'environ 45 000 miles. Il est bien entendu que ces 9 legs ne devront pas être effectués tous les uns à la suite des autres et que les travaux de maintenance du réseau PIRATA devront être répartis sur l'ensemble des 12 mois de chaque année, en alternance avec les autres travaux (maintenance du réseau Argo et opérations océanographiques complémentaires).

7.2 Entretien du réseau Argo dans l'Atlantique de 20°N à 40°S (2 mois)

1) Dans la zone non couverte par le réseau PIRATA (15°S-40°S)

S'il est écrit dans les documents Argo (et Coriolis) que la maintenance du réseau Argo devrait être assuré majoritairement par les lanceurs de flotteur-profileurs à partir de navires marchands, on doute fort que ceci soit possible dans toutes les zones océaniques mondiales. Ceci est particulièrement le cas pour la zone de l'Atlantique sud où les routes de navires marchands sont très éparées et laissent apparaître un énorme trou entre l'Amérique du Sud et l'Afrique du Sud (voir Fig. 11). On voit bien que pour être assuré d'avoir un échantillonnage Argo adéquat (c'est-à-dire un profil 0-2000 m suivant un maillage initial 3° latitude x 3° longitude, voir Fig. 4) il sera nécessaire de procéder à la mise à l'eau des flotteur-profileurs à partir de plate-formes spécialement dédiées à cela. Nous pensons que le NOR-50 pourrait tout à fait être utilisé dans le cadre de ces déploiements.

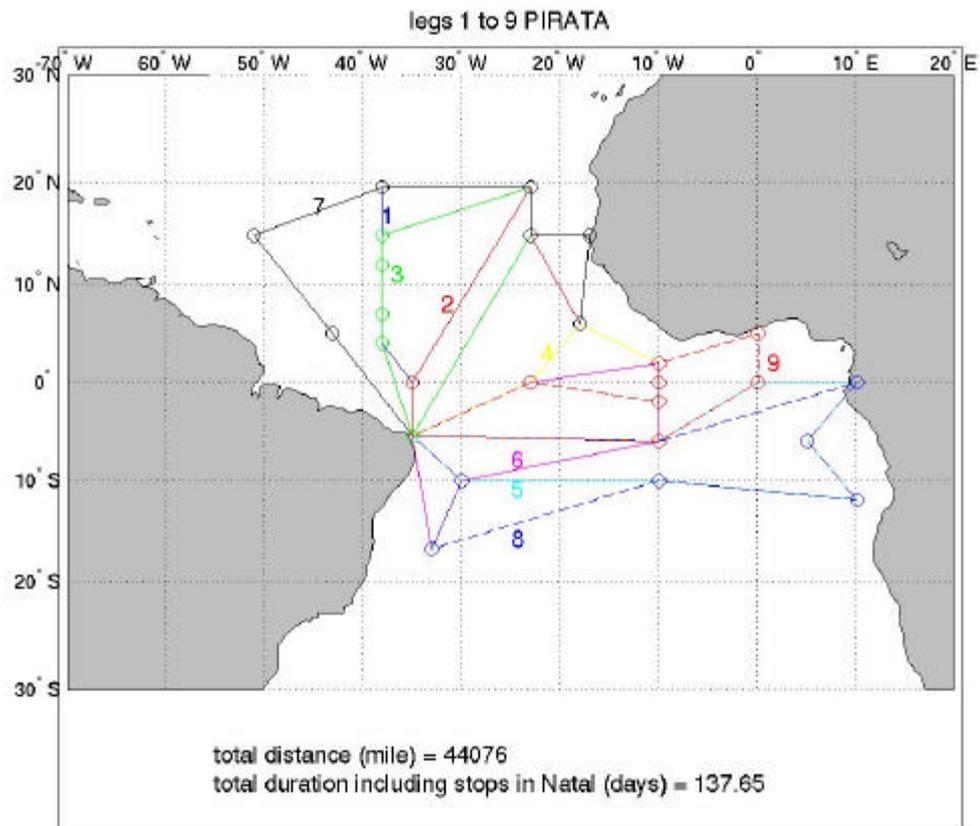


Figure 10 : PIRATA yearly maintenance

N° Leg	Total Cruise Distance (miles)	Total Cruise Duration (days)	Number Depl./Rem. (days)	Number Checkings (days)	Stop Place (days)
1	3925	9.60	4 (1.67)	4 (0.50)	- (0)
2	3878	9.13	4 (1.67)	1 (0.13)	- (0)
3	3867	9.85	3 (1.25)	3 (0.38)	- (0)
4	3765	9.05	4 (1.67)	2 (0.25)	- (0)
5	6503	17.23	4 (1.67)	2 (0.25)	Pte Noire (3)
6	4427	10.13	3 (1.25)	4 (0.50)	- (0)
7	5641	13.56	0 (0)	7 (0.88)	Dakar (2)
8	7132	17.25	0 (0)	6 (0.75)	Pte Noire (3)
9	4937	11.85	0 (0)	6 (0.75)	Abidjan (2)
Number Stops in Natal (days)	-	10 (30)	-	-	-
Yearly TOTAL	44076 miles	137.65 days (4.5 months)	22 Depl./Rem. (9.18 days)	35 Checkings (4.39 days)	3 Stops (9 days)

Duration of 1 Deployment/Removing = 10 hours
 Duration of 1 Checking = 3 hours
 Velocity during the transits = 22 knots

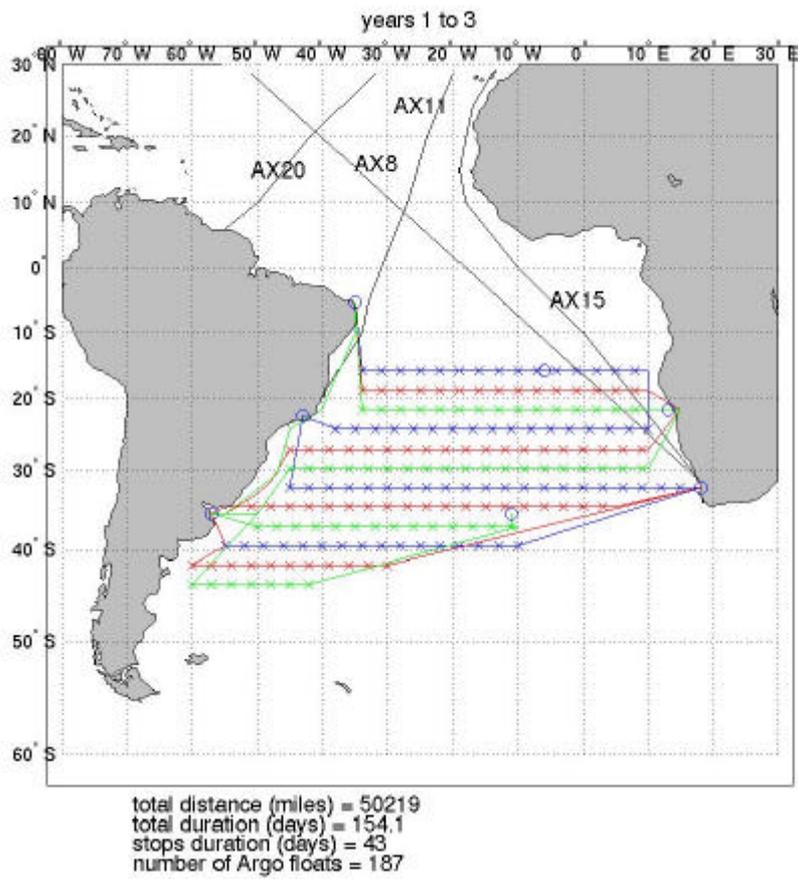


Figure 11 : Argo maintenance (3-year coverage) et rails XBT (AXxx)

Year	Total Cruise Distance Natal-Natal (miles)	Total Cruise Duration Natal-Natal (days)	Number Argo Floats	Stop Places (days)
1	16400	50.3	65	Natal/Sta Helena(2)/Rio de Janeiro(3)/Cape Town(3)/Mar del Plata(3)/Natal(3) (Total = 14 days)
2	17868	54.4	63	Natal/Swakopmund(3)/Mar de Plata(3)/Cape Town(3)/Mar del Plata(3)/Natal(3) (Total = 15 days)
3	15951	49.4	59	Natal/Swakopmund(3)/Mar del Plata(3)/Tristan da Cunha(2)/Mar del Plata(3)/Natal(3) (Total = 14 days)
3-Year TOTAL	50219 miles	154.1 days	187	43 days

Duration of 1 deployment = no time accounted for
 Mean velocity during the transits = 20 knots

Les contraintes/hypothèses de travail sont les suivantes :

- Limite nord de la zone de couverture Argo = sud de la zone de couverture PIRATA ; on prend ici 15°S
- Limite sud de la zone de couverture Argo = aux alentours de 40°S (pour des raisons de sécurité de navigation du NOR-50)
- Un maillage Argo standard de 3° longitude x 3° latitude
- Une durée de vie moyenne des flotteur-profileurs Argo de 3 ans ; ce qui suppose un ré-ensemencement au même endroit une fois tous les trois ans
- Une seule mission annuelle Argo (avec un seul départ et un seul retour à Natal), mais composée de transits multiples s'enchaînant les uns à la suite des autres avec escales intermédiaires
- Longueur de chaque transit limité à 4500 miles ; escale de 2 à 3 jours entre chaque transit
- Vitesse moyenne de croisière de 20 nœuds (moyenne entre 22 nœuds en basses latitudes et 15-18 nœuds en latitudes plus élevées)
- Perte de temps négligeable (non comptabilisée) pour déploiement des flotteurs

L'entretien du réseau Argo dans sa totalité dans la zone décrite ci-dessus est assuré en 3 missions et 3 années (une mission par année). On se référera à la Figure 11 et au Tableau associé pour plus de détails. Chaque mission se décompose en 4 traversées trans-océaniques est-ouest espacées par environ 9° de latitude. La distance parcourue pour chaque mission annuelle est d'environ 16 000 miles, en une durée (Natal-Natal) d'environ 50 jours, avec 4 escales intermédiaires. Le nombre de flotteur-profileurs Argo déployés chaque année sera aux alentours d'une soixantaine, pour un nombre total couvrant cette région d'environ 190.

2) Dans la zone couverte par le réseau PIRATA (20°N-15°S)

Les 9 legs décrits ci-dessus qui serviront à entretenir le réseau PIRATA devraient aussi être utilisés pour ensemercer le réseau des flotteur-profileurs Argo dans cette zone. On estime à environ une dizaine maximum le nombre de flotteur-profileurs Argo qui pourront être déployés au cours de chacun des 9 legs annuel du programme PIRATA. Ce travail supplémentaire n'aura que très peu de conséquences en terme de durée additionnelle. Il n'est donc pas prévu de missions Argo spécifique dans cette région.

3) Ensemencement complémentaire de flotteurs Argo

Occasionnellement, et en dehors des missions PIRATA et Argo proprement dites, un nombre indéterminé (mais relativement faible) de flotteur-profileurs Argo pourraient être déployés par le NOR-50 (ou par d'autres plate-formes) au cours de campagnes océanographiques se déroulant dans la zone d'intérêt (voir ci-dessous).

4) Autres missions

Il n'est pas jugé nécessaire aujourd'hui de récupérer les flotteur-profileurs Argo en fin de vie. La pression environnementale sur une telle exigence peut devenir plus forte à terme. Il est clair qu'un navire rapide serait mieux à même d'y faire face, au moins partiellement.

7.3 Campagnes océanographiques légères complémentaires (3 mois)

Si l'on comptabilise la durée annuelle nécessaire pour le NOR-50 dans son entretien cumulé des réseaux PIRATA et Argo (20°N-40°S) on arrive à un total proche de 6,5 mois. Prenons comme hypothèse qu'un arrêt technique annuel d'environ 2 mois soit dans la norme pour un navire de ce type de conception avancée. Compte-tenu aussi du fait qu'il devrait être procédé à une réserve annuelle de 2 à 3 semaines en cas de nécessité d'interventions rapides et non programmées (ex. en cas d'actes de vandalisme sur un site PIRATA), le NOR-50 serait donc disponible durant environ 3 mois par an pour être utilisé dans des opérations d'océanographies complémentaires.

Ce mode complémentaire d'exploitation du NOR-50 devrait bien sûr être géré suivant un plan de charge global prévu plusieurs mois à l'avance en collaboration avec les instituts et équipes de recherche associées à l'équipe de gestion opérationnelle du NOR-50 (voir aussi Section suivante).

Une contrainte cependant à ne pas perdre de vue : il s'agira ici de travaux d'océanographie légère. Ces travaux seront dimensionnés par la configuration du navire (ex. stockage limité), son mode de fonctionnement (ex. équipage et personnel scientifique réduits), et le type d'instrumentation qui sera installé à bord, soit à demeure, soit de manière occasionnelle. Certaines de ces observations pourront être effectuées en transit de manière automatique, soit à vitesse élevée, soit à vitesse réduite. Certaines autres mesures nécessiteront l'arrêt en station.

La grande vitesse du navire permettra de limiter le temps de transit entre les lieux de départ et/ou d'arrivée et la ou les zone(s) d'étude. De la même manière le quadrillage d'une zone déterminée avec travaux sur zone pourra se faire dans un minimum de temps. Ce dernier point sera appréciable compte-tenu du nombre restreint de chercheurs-ingénieurs pouvant embarquer sur le NOR-50 (au maximum 4) et la charge de travail qui leur sera demandée et qui pourra, à l'occasion, se trouver fortement concentrée dans un faible laps de temps.

Durant ces campagnes complémentaires le NOR-50 pourrait ainsi être affrété par des instituts nationaux (ex. l'IRD, l'INPE, la NOAA, ... en divers endroits du bassin atlantique) et pourrait être utilisé dans le cadre de programmes régionaux voire internationaux (ex. travaux dans la ZEE du Brésil, ou le long des côtes de Angola-Namibie-Afrique du Sud, ...). Les mesures effectuées dans le cadre de ces campagnes complémentaires pourront par exemple permettre un suivi saisonnier "classique" de la dynamique et du contenu thermo-halin des couches superficielles et subsuperficielles de l'océan en certaines zones d'étude. Ces mesures pourront, à l'occasion, être associées à une détermination précise des phénomènes d'interaction océan-atmosphère, en complément direct ou indirect avec d'autres systèmes d'observations, tel le réseau PIRATA.

Le NOR-50 pourra aussi être utilisé de manière très avantageuse dans une optique océanographique que l'on pourrait nommer "de surface", avec répétition de trajets hauturiers mesurant en continu (ou par prélèvements rapides) différents éléments entrant dans le cycle du carbone. La surface de l'océan est en effet intéressante par elle-même, indépendamment des propriétés de l'eau plus profonde, sous plusieurs

aspects. Elle est en contact avec l'atmosphère avec lequel elle échange en permanence de la chaleur et de la vapeur d'eau (ce sont les formes d'échanges dont on a parlé plus haut), mais aussi des gaz. D'autre part, elle reçoit de la lumière, et elle témoigne de la fixation photosynthétique de carbone et de la vie dans la couche euphotique de l'océan (les premiers 50 à 150 m). Enfin, c'est la surface de la mer que " voient " les satellites, et en particulier les capteurs de couleur de l'océan. Ces propriétés confèrent donc à la surface de l'océan un rôle important dans le cycle du carbone, et en font donc une cible stratégique pour l'étude de ce cycle.

De nombreux exemples d'étude peuvent être détaillés dans ce contexte de missions complémentaires du NOR-50, dont voici une liste absolument non-exhaustive :

- Etudes des zones frontales (ex. la zone frontale du courant du Benguela ou celle du courant des Canaries)
- Etudes de dynamiques particulières (ex. le phénomène de réflexion du courant superficiel dans la zone du CCNE ; la terminaison du CCE dans le fond du Golfe de Guinée)
- Etudes ciblées (ex. la production primaire par les effluents de l'Amazonie)
- Répétitivité (de quelques heures à saisonnière) de mesures faites dans le cadre de l'océanographie de surface le long de trajets prédéfinis (de l'échelle régionale à l'échelle trans-océanique)

Les types de mesures effectuées dans ce cadre d'utilisations complémentaires du NOR-50 pourraient être de diverses natures, et on en énumère quelques unes ci-dessous (liste non exhaustive) :

- **Mesures d'océanographie physique et de météorologie**

Il s'agit là de missions d'océanographie " classique " principalement basées sur l'étude de la dynamique et des propriétés physiques de l'eau de mer :

Un Thermosalinographe de coque sera installé sur le navire permettant des mesures en continu de la température et de la salinité à la surface de la mer. Ces mesures pourront être transmises en temps réel et comparées immédiatement aux mesures satellite de température et (ultérieurement) de salinité de surface

Des lancers de XBT et XCTD pourront être généralisés en route (profils verticaux de température et de salinité de 0 à 1000 m)

Des stations CTD pourront être effectuées (côté bâbord), mais elles seront limitées à une profondeur de 2000 m

Des lancers de ballons-sonde seront possibles à partir des plages avant et/ou arrière

A ce stade du développement technologique il n'est pas certain, que compte tenu de la vitesse élevée du navire (supérieure à 20 nœuds en transit) et son faible enfoncement dans l'eau (pour une traînée minimum à haute vitesse), on puisse utiliser un ADCP de coque pouvant mesurer en continu la structure 3-D du courant dans les 300 premiers mètres, et ce à la vitesse de croisière. Une étude de faisabilité devrait être exécutée auparavant

- **Mesures physico-chimiques à la surface de l'océan**

Les diverses propriétés mesurées, et qui sont énumérées ci-dessous, confèrent à la surface de l'océan un rôle important dans le cycle du carbone, et en font une cible stratégique pour l'étude de ce cycle. Une approche complémentaire consiste à observer les algues qui ont le pouvoir de photosynthèse dans l'océan, afin d'estimer la fixation biologique de carbone, qui représente une inconnue importante dans le cycle du carbone. L'observation de ces algues, et en particulier de leurs pigments photosynthétiques (tels que la chlorophylle), permet de comprendre la variabilité de la plus grosse partie de la fixation biologique de carbone dans l'océan. La couche mélangée de surface, bien éclairée, réalise en effet l'essentiel de la production primaire marine. Outre l'éclairement et la température, un élément important pour le contrôle de la production primaire est la concentration en nitrate, et autres sels nutritifs. Des prélèvements d'eau de surface peuvent être conservés par congélation puis analysés ultérieurement au laboratoire afin de connaître la concentration en sels nutritifs, et de pouvoir identifier les régions ou les périodes où ces sels nutritifs sont présents, voire abondants, à la surface de l'océan. C'est en effet lorsque ceci se produit que le phytoplancton peut se développer rapidement et qu'ont lieu les épisodes d'exportation massive de carbone vers la profondeur. La possibilité, par l'utilisation du NOR-50, d'effectuer ces différents types de mesures à vitesse élevée, et donc de couvrir de grandes surfaces en un temps synoptique, sera un atout supplémentaire dans notre connaissance des processus mis en jeu :

Mesures de la pression partielle de gaz carbonique ($p\text{CO}_2$) en continu et/ou par échantillonnage, soit par méthode classique d'équilibrage air/eau et d'analyse par absorption infra-rouge, soit par capteurs spécifiques tels que celui développé au LODYC en collaboration avec la DT INSU

Mesures en continu de la luminance et de la fluorescence marines. Ces mesures acquises à la surface de l'océan sont d'une grande utilité pour la validation des algorithmes de traitement des données satellite de couleur de l'océan (ex. Programme GeP&CO)

Mesures par échantillonnage et filtration (avec conservation des échantillons à -80°C) de pigments photosynthétiques (tels que la chlorophylle et autres pigments accessoires) qui renseignent sur la nature et l'état de l'écosystème et sur les modalités qui accompagnent son action sur les stocks de carbone de l'eau de mer

Mesures par échantillonnage de la concentration en nitrate, et autres sels nutritifs (avec conservation par congélation)

Mesures de la concentration en fer (un élément important pour la production primaire) sous réserve de possibilité technologique (rendue cependant moins difficile grâce à un navire fabriqué en inox)

Prélèvements phytoplanctoniques et zooplanctoniques de la couche de surface ne nécessitant pas d'enrouleurs de chalut

Certaines de ces techniques de mesure étant d'une mise en oeuvre délicate, elles ne pourront être effectuées que par des techniciens spécialisés.

8- Schéma de financement possible du projet NOR-50

Le NOR-50 sera en grande partie utilisé pour effectuer des opérations utiles à l'ensemble de la communauté internationale. Il semble donc naturel que les coûts de construction et de fonctionnement, soient répartis entre quelques un des pays riverains, en attendant un partage international plus large, lorsque des programmes

tels que GCOS et GOOS entreront enfin dans une phase opérationnelle. Il n'est bien sûr pas possible, au stade actuel, de définir de façon détaillée ce que pourraient être le plan de développement et le schéma d'exploitation d'un tel projet de navire rapide. On peut cependant indiquer ici, de manière non exhaustive, quels sont les organismes, instituts publics et nations susceptibles de prendre part à ce projet :

- France (ex ; Ifremer, IRD, Météo-France, CNRS/INSU, ...)
- Communauté Européenne et certains pays d'Europe (ex. Allemagne, Espagne, Portugal, ...)
- Hors Europe : Instituts régionaux, nationaux et internationaux : ex. INPE et MCT (Brésil), NOAA (USA), Maroc, Afrique du Sud, Argentine, ...

Coûts du projet et sources possibles de financement :

- Investissement initial : 35 MF (5.3 Meuros) à trouver parmi des partenaires internationaux entrant dans le cadre de l'activité opérationnelle PIRATA/Argo, plus (éventuellement) des instituts affréteurs volontaires (" privilégiés ") ;
- Fonctionnement lié à l'activité opérationnelle PIRATA/Argo (~ 7 mois par an ; ~ 100 000 nautiques) : 6 MF (0.9 Meuros) à trouver parmi un consortium des partenaires internationaux entrant dans le cadre de cette activité opérationnelle ;
- Fonctionnement lié à l'activité non opérationnelle (~ 3 mois par an ; xxx miles) : financement assuré par les instituts affréteurs (" privilégiés " ou non) ;
- Coût annuel de l'arrêt technique (2 mois) et des frais annexes : ce financement pourrait (par exemple) être partagé entre le consortium des partenaires internationaux PIRATA/Argo et les instituts affréteurs (non "privilégiés ") de la partie non opérationnelle.

9- Recommandations finales au niveau du développement et de la gestion du projet NOR-50

Mise en place du projet – Construction du navire – Gestion du projet

L'océanographie opérationnelle est une activité qui doit se situer au niveau international. On vient de le dire plus haut, dans le cas d'un projet tel que le NOR-50, il apparaît souhaitable, sinon évident, que ce projet puisse être financé, puis géré, dans un cadre international. On pense à une contribution coordonnée de la Communauté Européenne (dont la France, l'Allemagne, l'Espagne, le Portugal, ...). On pense aussi à d'autres contributions venant d'autres nations du Nord (les USA) et bien sûr des pays directement concernés (au premier chef le Brésil, et certains pays de l'Afrique de l'Ouest et du Sud). Une telle coordination devra être suffisamment souple (les contributions de chacun des pays participants étant nécessairement inhomogènes), et bien identifiée, de façon à atteindre des objectifs clairement pré-établis.

Base océanographique internationale

Afin d'optimiser les travaux scientifiques du NOR-50, et pour assurer une gestion économique du projet, il nous semble tout aussi évident que ce navire puisse être basé dans un lieu à proximité du centre de gravité de son champ d'activité. Ce lieu est déjà identifié, il s'agit de Natal (Etat du Rio Grande do Norte), à la pointe est du Brésil (Fig. 2). Un accord de coopération dans ce sens est déjà en discussion avancée entre d'une part l'IRD et d'autre part l'Institut brésilien INPE (Instituto de Pesquisas Espaciais). Cet organisme possède un Centre important à Natal, et qui sert déjà de base pour PIRATA-Brésil.

Esquisse de calendrier de mise en place du projet NOR-50

- **Février-avril 2001** : Diffusion de ce document (versions française et anglaise) ; Présentation du projet et premières discussions avec partenaires français, européens et non-européens ; Recherche de financement (« hors crédits recherche ») pour une étude détaillée du projet (60 KEuros).
- **Mai-juin 2001** : Réunion de travail (2-3 jours) entre scientifiques, ingénieurs, marins et architectes navals pour une concertation (« spécifications des besoins ») visant à optimiser le cahier des charges du projet (simulation des différents travaux qui seront effectués à bord).
- **Juillet-décembre 2001** : Identification d'un maître d'ouvrage ; Mise en place d'un groupe de travail au niveau international ; Etablissement complet du cahier des charges ; Etude détaillée du projet ; Recherche de subventions.
- **Janvier-juin 2002** : Appel d'offre international pour la construction du NOR-50 ; Elaboration d'une charte internationale d'utilisation du navire ; Mise en place progressive des subventions ; Mise en place des premiers éléments d'une base internationale d'observation du climat de l'Atlantique tropical à Natal (Brésil).
- **Juillet 2002 – fin 2003** : Construction du navire ; Premiers essais ; Développement de la base de Natal ; Signature de la charte par les divers pays participants.
- **courant 2004** : Campagne inaugurale du NOR-50 ; Installation complète de la base à Natal (Brésil).
- **2005 - ...** : Début des travaux en routine (réseau PIRATA, Argo, autres campagnes ...) à partir de Natal.

Remerciements

Ce document de position a bénéficié des résultats d'une étude préliminaire effectuée par l'architecte naval Paul Lucas (juin-novembre 2000) et financée par le Programme PIRATA (Budget IRD). Paul Lucas a repris le concept du MES pour l'adapter aux besoins de l'océanographie opérationnelle en suivant les directives que nous lui avons formulées. Les dessins, esquisses et plans du NOR-50 ont ainsi été élaborés par Paul Lucas. Nous remercions Yves Dandonneau (IRD-LODYC) pour son information éclairée dans le domaine des mesures physico-chimiques. Les cartes associées aux missions annuelles du NOR-50, ainsi que les calculs de distance et de durée, ont été exécutés par Sébastien Cariou (IRD-Brest) suivant une idée de Pascal Le Grand (LPO-Ifremer). Nous sommes heureux d'associer Raymond Zaharia dans nos remerciements et dans sa -déjà actuelle et- future collaboration : sa passion pour les idées novatrices, sa clairvoyance dans son approche nationale et internationale et son aimable disponibilité seront une aide inappréciable dans la mise en place de ce projet.

Références

- Marchand P., 1994 : "MENTOR : Bilan de la phase exploratoire du programme MENTOR, *Colloque Oceano-Sciences*, Toulon, 30-31 mars 1994.
- Marchand P., 1992-1993-1994 : Rapports d'activités du service Navires, Pêche, Aquaculture de la Direction de la Technologie de l'Ifremer.
- Marchand P., 1999 : The Coriolis Proposal, *Oceanobs-99*, St Raphael, 18-22 octobre 1999.
- Brevet MES, 1991 : Navire de type monocoque pourvu d'un dispositif de stabilisation transversale", déposé le 24/12/91 sous le n° 91 16346 au nom de Ifremer et de Paul Lucas (invention de Philippe Marchand et Paul Lucas).
- Servain, J., Busalacchi, A. J., McPhaden, M. J., Moura, A. D., Reverdin, G., Vianna, M., and Zebiak, S. E., 1998 : A Pilot Research Moored Array in the Tropical Atlantic (PIRATA). *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, Vol. 79, N° 10, 2019-2031.

ANNEXES

1/ Plans sommaires du NOR-50

- Plans d'ensemble au 1/100^{ème} (voir fichiers norp1.gif et norp2.gif en annexe)
- Plan 1 : Coupe longitudinale/ponts
 - Plan 2 : Plan 3 vues

2/ Exemple de trimaran rapide (p. 2 du fichier Nigel Irens Design.rtf)