

APPEL D'OFFRES 2004

Groupe Mission MERCATOR / CORIOLIS

GIP MERCATOR OCEAN

CNES, CNRS/INSU, IFREMER, IPEV, IRD, Météo-France, SHOM

FORMULAIRE DE DEMANDE 2004

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE DU PROJET: Thierry Huck

UNITE DE RATTACHEMENT DU PROPOSANT(intitulé, appartenance, adresse et téléphone, e-mail) :

Laboratoire de Physique des Océans (UMR 6523 CNRS IFREMER UBO)

UBO - UFR Sciences F308, 6 avenue Le Gorgeu, CS 93837, 29238 Brest Cedex 3

Tel.: 02 98 01 65 10 - Fax : 02 98 01 64 68 – email : thuck@univ-brest.fr

Nom du responsable de l'unité : Xavier Carton

Titre du projet : Anomalies annuelles de température et salinité dans l'Atlantique Nord à partir de profils flotteurs et CTD récents et historiques : méthodologie et analyse.

Objectifs du projet : (en réponse à la section 2.3.1 de l'appel d'offre)

- déterminer un cycle saisonnier climatologique moyen de l'Atlantique Nord (et sa période : 1961-1990 ou 1970-2000 ?) qui puisse servir de référence pour calculer des anomalies
- déterminer une méthodologie satisfaisante pour calculer des anomalies annuelles de température et salinité à partir des données CTD et flotteurs
- valider et éventuellement valoriser les données flotteurs acquises lors de la dérive en immersion
- documenter la variabilité interannuelle des propriétés thermohalines de l'Atlantique Nord : entre autre quantifier le réchauffement et la désalinisation de l'Atlantique Nord, le réchauffement et la salinisation de l'eau méditerranéenne, et surveiller l'évolution des eaux centrales comme précurseur des eaux profondes nord-atlantique
- estimer la représentativité climatique des produits opérationnels Coriolis et Mercator : analyses objectives et prévisions
- mettre à disposition des climatologies de température et salinité de l'Atlantique Nord, bien documentées, avec les outils permettant d'adapter le produit à des besoins spécifiques, à partir des données du centre Coriolis

Liste des personnes collaborant au projet (avec indication de leur unité de rattachement) :

Fabienne Gaillard	LPO	Chercheur Ifremer	10%
Thierry Huck	LPO	CR1 CNRS	20%
Catherine Lagadec	LPO	ITA Ifremer	15%
Bernard Le Cann	LPO	CR1 CNRS	collaboration
Herlé Mercier	LPO	DR2 CNRS	collaboration
Virginie Thierry	LPO	chercheur Ifremer	collaboration
Thierry Reynaud	LPO	ingénieur Ifremer	15%
Patrice Bellec	LPO	ITA CNRS	50%

Durée du contrat demandé : 2 ans

Montant demandé : 8700 euro pour 2 ans, soit 4350 euro par an

Visa *obligatoire* du responsable de l'unité : Xavier Carton

Signature du demandeur : Thierry Huck

DOSSIER SCIENTIFIQUE

(environ 5 pages)

1. Intérêt scientifique et adéquation aux objectifs de l'appel d'offre du Groupe Mission Mercator / Coriolis:

1a. Introduction

On doit reconnaître aujourd'hui la difficulté et l'importance scientifique de bien documenter les changements de propriétés de masses d'eau dans le cadre du réchauffement climatique avant de pouvoir les comprendre. Nombres de travaux récentes mettent en évidence des changements significatifs au cours des 50 dernières années :

- réchauffement des eaux de surface (Levitus et al. 2000) et intermédiaires (Gille 2002) ;
- désalinisation dans le nord de l'Atlantique Nord (Antonov et al. 2002, Dickson et al. 2002) ;
- attribution de l'augmentation du niveau de la mer à l'effet stérique et à la fonte des glaces (Cabanès et al. 2001, Miller et Douglas 2004) ;
- salinisation et réchauffement des eaux méditerranéennes (Potter et Lozier 2004).

On voit donc tout l'intérêt de déterminer des champs d'anomalies annuelles de température et salinité pour pouvoir suivre en temps réel leurs propriétés.

Or le manque de données est un problème crucial pour l'océanographie : les 50000 profils collectés en 2003 grâce aux flotteurs profileurs sont un maximum alors que plus de 1000 profils de température, pression et humidité sont collectés quotidiennement par radiosondage dans l'atmosphère (ballon-sonde). Les flotteurs profileurs deviennent la source majeure de mesures in-situ dans l'océan, avec une densité maximale dans l'Atlantique Nord. C'est donc la région où il est le plus approprié de chercher à utiliser ces mesures pour un suivi climatique de la structure thermohaline.

Les produits actuellement disponibles en anomalies annuelles ou interannuelles (World Ocean Atlas 1998, anomalies de températures annuelles 1945-1998 sur 14 niveaux de 0 à 500m, et par pentades 1945-49 à 1992-96 sur 28 niveaux de 0 à 3000m - S. Levitus, NOAA-NODC) ne nous permettent pas d'utiliser des résultats mis à jour régulièrement pour l'interprétation des campagnes de mesures récentes et à venir (OVIDE, EMA).

Dans la plupart des travaux d'analyse, de quantification et d'interprétation des changements climatiques interannuels, voire mésoéchelles, le besoin d'une climatologie fiable (incluant le cycle saisonnier) et évoluant dans le temps (dans le cadre du réchauffement global) se fait sentir :

- inversion des données hydrographiques annuelles dans l'Atlantique Nord (Grit et Mercier 2004) ;
- comparaisons de moyennes annuelles pour les flotteurs et les prévisions de Mercator (Autret et Gaillard 2004) ;
- suivi des propriétés des eaux modales (Thierry et Hascoët 2004) ;
- comparaison de la section Ovide 2002 (Portugal-Groenland) à une climatologie historique moyenne (Auffret et Huck 2003 - voir Figure).

Dans ce dernier cas, la climatologie historique moyenne avait été construite en chaque profil CTD Ovide 2002 en moyennant (sur les niveaux z et sigma) tous les profils issus de la base ayant servi à construire la climatologie de T. Reynaud se trouvant à moins de 100 km. Cette méthode avait montré des caractéristiques de lissage intéressantes par rapport aux climatologies de Levitus ou de T. Reynaud, surtout en coordonné verticale sigma.

Afin d'éviter de dupliquer ce travail qui est rarement un objectif en soi, il serait largement profitable de mutualiser les expertises et les méthodes afin de générer un produit bien mûri, bien documenté, avec tous les outils ayant servi à son élaboration et disponible rapidement pour la communauté scientifique. Libre ensuite à chacun de l'adapter spécifiquement à son besoin particulier, l'infrastructure logicielle et donnée étant ainsi mutualisée.

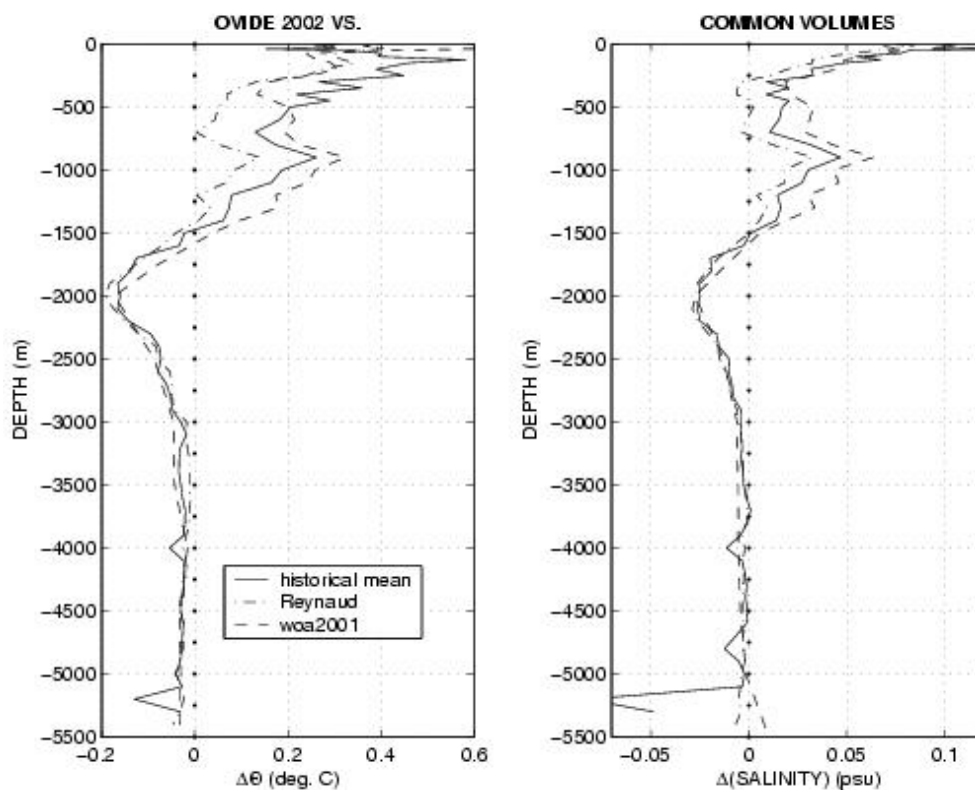


Figure : Afin de quantifier grossièrement les changements majeurs des propriétés hydrologiques (température, salinité, densité) des masses d'eau échantillonnées par la radiale hydrographique Ovide du Groenland au Portugal, nous avons construit une référence historique de la section Ovide : pour chaque station hydrologique réalisée lors d'Ovide 2002, nous avons sélectionné dans la base de données ayant servi à construire la climatologie de Thierry Reynaud (Reynaud et al. 1998) tous les profils hydrologiques réalisés entre 1961 et 1990 à moins de 100 km et moyenné leur propriétés, en fonction de la profondeur mais aussi en fonction de la densité potentielle. Nous avons pu alors comparer la section Ovide 2002 à une climatologie moyenne datée autour de 1975 ! Les changements de propriétés moyens sont remarquables : un réchauffement et une salinification des eaux au dessus de 1500m, particulièrement marqué au niveau de eau méditerranéenne (Potter et Lozier 2003). Au contraire les eaux autour de 2000m se sont refroidies et ont vu leur salinité diminuer.

En réponse à la section 2.3.1 (Coriolis-données) de l'appel d'offre, nous nous proposons de construire des champs d'anomalies annuelles de température et de salinité sur l'Atlantique Nord à partir de toutes les données CTD et de flotteurs profileurs disponibles.

Les problèmes fondamentaux viennent de la faible densité de données, de la prédominance d'un cycle saisonnier d'amplitude très supérieure aux variations interannuelles, et d'un bruit également très important dû aux tourbillons méso-échelles omniprésents dans l'océan. Des solutions devront être cherchées, implémentées, testées et comparées pour traiter ces problèmes.

L'objectif est dans un premier temps de déterminer une période et un cycle saisonnier de référence à une résolution de l'ordre du degré de longitude et de latitude pour l'Atlantique Nord, par rapport auquel seront calculées toutes les anomalies annuelles ou interannuelles.

Deux méthodes seront menées en parallèle pour la coordonnée verticale : profondeur et densités potentielles référencées au différents niveaux standards.

Non seulement les moyennes seront calculées mais également au moins les variances.

La réflexion sur la méthodologie représentera une grande part du travail, et plusieurs méthodes seront testées afin d'appréhender précisément leurs avantages et inconvénients : binnage spatio-temporelle, analyse objective, ...

1b. Étapes du travail

Recensement des données disponibles, validation, quantification, distribution et statistique :

- CTD (en général surface-fond)
- profils de flotteurs (en général 0-1000m ou 0-2000m)

Recensement des produits similaires actuellement disponibles, de leurs caractéristiques et des méthodes utilisées.

Définition d'une climatologie moyenne : comme les atmosphériciens, moyenne des années 1961-1990 ou intégration des données WOCE (1970-2000), à comparer également avec les autres centres et travaux équivalents, mais surtout en fonction de la densité de données (surtout pour la salinité).

Choix des niveaux et des densités de références (Levitus, Reynaud...)

Problèmes de filtrage :

- cycle saisonnier

Dans un premier temps, on pourra utiliser la climatologie de T. Reynaud pour calculer les anomalies de chaque profil par rapport au cycle saisonnier moyen. Dans un deuxième temps, on pourra améliorer le cycle saisonnier moyen à partir de toutes les données récentes suivant la période de référence choisie. Plusieurs méthodes seront comparées : un cycle saisonnier issu de moyenne des données de chaque mois ou saison, ou un cycle saisonnier optimal déterminé par régression de toutes les mesures sur une signal périodique (annuel) ou bi-périodique (semi-annuel).

- tourbillons méso-échelles

Les tourbillons (cycloniques, anticycloniques, meddies) sont omniprésents dans l'océan. D'une certaine manière, une moyenne temporelle doit les prendre en compte. Pourtant on ne veut pas donner trop de poids à des mesures de flotteurs qui seraient piégés dans certaines structures cohérentes sur une longue période. Il sera donc nécessaire de réfléchir à la manière de les prendre en compte sans leur donner trop de poids, en limitant par exemple le nombre de profils utilisés pour une certaine échelle spatiale (10 km ?) et temporelle (1 semaine ?).

Une étape fondamentale sera la mise au point d'une méthodologie approuvée grâce à la participation de nombreuses personnes ayant des expertises et objectifs très différents. Les méthodes classiques de binnage spatio-temporelle et d'analyses objectives seront comparées, éventuellement sur des cas synthétiques, afin de déterminer les points forts et leurs points faibles. Il est envisageable de traiter différemment température et salinité vu leur densité de mesure très différente par le passé. Enfin, suivant le nombre de données disponibles pour le siècle dernier, des anomalies sur des périodes interannuelles peuvent être plus représentatives que des anomalies annuelles.

Utilisation des mesures de flotteurs en dérive

Des mesures de température sont effectuées régulièrement par les flotteurs en dérive. À ce jour, ces mesures sont stockées et transmises mais pas encore utilisées. Nous validerons ces mesures par rapport aux profils les plus proches (montée précédente, descente et montée) des flotteurs afin de voir si ces mesures méritent d'être utilisées dans la détermination des anomalies annuelles, et si elles apportent un lissage temporel intéressant.

1c. Produits et résultats

Types de produits :

- cycle saisonnier moyen de température et salinité sur une période de référence à déterminer, sur une grille horizontale de $1^\circ \times 1^\circ$, sur des niveaux verticaux de référence en z et sigma, ainsi que leurs variances.
- anomalies annuelles de température et salinité sur une grille de $1^\circ \times 1^\circ$ en z, ainsi que leurs variances.
- anomalies annuelles de température et salinité sur une grille de $1^\circ \times 1^\circ$ en coordonnée sigma, permettant de mieux conserver les masses d'eau (Lozier et al. 1994) et les fronts.

Résultats :

Le résultat principal sera la mise au point et la comparaison de méthodes pour calculer ces anomalies annuelles (ou interannuelles pour les périodes où les données sont insuffisantes), par la mise en commun de compétences diverses, d'outils communs et d'analyse des résultats dans un cadre cohérent, documenté et mis à disposition de la communauté.

On peut imaginer à terme pérenniser certains de ces produits de manière opérationnelle, et étendre les climatologies à l'ensemble du globe.

Id. Applications

Projets scientifiques dans le cadre du PNEDC et du PATOM

Dans le cadre d'Ovide (Observatoire de la Variabilité Interannuelle à Décennale du gyre subpolaire de l'Atlantique Nord et des mers nordiques), un projet associant une section hydrographique répétée tous les 2 ans entre le Groenland et le Portugal et des approches d'analyse des observations et de modélisation réaliste (Drakkar), de nombreux travaux utiliseront ces produits et participeront activement à leur élaboration : bilan de transports par méthode inverse (Herlé Mercier), suivi des propriétés des masses d'eau (Thierry Huck) et des eaux modales (Virginie Thierry).

Dans le cadre du programme POMME et du projet EMA (Eau Méditerranéenne en Atlantique), Bernard Le Cann est plus précisément intéressé par la zone de l'Atlantique Nord-Est de moyennes latitudes (25-60° N, 30-0° W), et par l'évolution des propriétés TS dans l'Eau Méditerranéenne, l'Eau Centrale, et le Golfe de Gascogne. Il insistera sur la prise en compte de la moyenne échelle et l'étude de la variance TS.

Étalonnage des produits Coriolis

Des produits opérationnels sont générés régulièrement à partir des données dans le cadre de Coriolis et des modèles de prévision par Mercator. Éventuellement des produits issus de réanalyses seront également fournis par Mercator. Une comparaison de ces produits avec les anomalies annuelles générées en temps différé uniquement à partir des mesures in-situ permettra de les étalonner et d'estimer leur capacité à fournir une information climatologique (tout-à-fait différente et sans rapport à leur intérêt synoptique).

1e. Références

- Antonov, J. I., S. Levitus, and T. P. Boyer, 2002: Steric sea level variations during 1957-1994: Importance of salinity. *J. Geophys. Res.*, **107**, 10.1029/2001JC000964.
- Cabanes, C., A. Cazenave, and C. Le Provost, 2001: Sea level rise during past 40 years determined from satellite and in situ observations. *Science*, **294**, 840-842.
- Dickson, B., I. Yashayaev, J. Meincke, B. Turrell, S. Dye, and J. Holfort, 2002: Rapid freshening of the deep North Atlantic Ocean over the past four decades. *Nature*, **416**, 832-837.
- Gille, S., 2002: Warming of the Southern Ocean Since the 1950s. *Science*, **295**, 1275-1277.
- Levitus, S., J. I. Antonov, T. P. Boyer, and C. Stephens, 2000: Warming of the world ocean. *Science*, **287**, 2225-2229.
- Lozier, M. S., M. S. McCartney, and W. B. Owens, 1994: Anomalous Anomalies in Averaged Hydrographic Data. *J. Phys. Oceanogr.*, **24**, 2624-2638.
- Lozier, M. S., W. B. Owens, and R. G. Curry, 1995: The climatology of the North Atlantic. *Prog. Oceanogr.*, **36**, 1-44.
- Miller, L., and B. C. Douglas, 2004: Mass and volume contributions to twentieth-century global sea level rise. *Nature*, **428**, 406-409.
- Potter, R. A., and M. S. Lozier, 2004: On the warming and salinification of the Mediterranean outflow waters in the North Atlantic. *Geophys. Res. Lett.*, **31**, 1, L01202, doi: 10.1029/2003GL018161.

Reynaud, T., P. Legrand, H. Mercier, and B. Barnier, 1998: A new analysis of hydrographic data in the Atlantic and its application to an inverse modelling study. *International WOCE Newsletter*, **32**, 29-31.

2. Plan de recherche et calendrier

M - M+3 : recensement des données et des produits similaires existants

M+3 - M+6 : méthodologie d'extraction du cycle saisonnier de référence : comparaison de différentes méthodes, tests sur différentes périodes

M+6 - M+9 : méthodologie de calcul des anomalies annuelles à partir de la climatologie de Reynaud saisonnière et d'un cycle saisonnier défini précédemment, afin d'appréhender les conséquences du choix de la période de référence.

M+9 - M+12 : validation des mesures de flotteurs acquises pendant la dérive en immersion

M+12 - M+15 : définition de la climatologie et période de référence, et des variances associées

M+15 - M+18 : détermination de la méthodologie de calcul des anomalies annuelles

M+18 - M+21 : mise à disposition des champs d'anomalies annuelles (ou interannuelles) de température et salinité ; documentation

M+21 - M+24 : comparaison aux produits Coriolis et Mercator ; analyse des statistiques de base (variance interannuelle, tendances)

Au moins tous les 3 mois aura lieu une réunion de tous les participants au projet, où seront exposés les résultats et où seront débattues les différentes méthodes au vu des comparaisons.

Chaque produit validé sera documenté et rendu disponible, avec la liste des données utilisées et les codes matlab ayant permis de les générer.

3. Références bibliographiques de l'équipe (sur le sujet de la demande)

Arzel, O., and T. Huck, 2003: Decadal oscillations in a simplified coupled model due to unstable interactions between zonal winds and ocean gyres. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, **37**, 245-270.

Auffret, O., 2003: Analyse de données hydrographiques dans l'Atlantique Nord - Caractérisation et représentativité des variations temporelles des propriétés des masses d'eau et de la circulation océanique. Rapport de stage d'ingénieur (sous la direction de T. Huck, CNRS-LPO), ISEB, Brest, France, 29pp.

Autret, E., et F. Gaillard, 2004: Synthèse des données sur Atlantique par analyse objective. Réunion Argo-France, 12 mars 2004, Brest.

Ben Jelloul, M., and T. Huck, 2003: Basin modes interactions and selection by the mean flow in a reduced-gravity quasigeostrophic model. *J. Phys. Oceanogr.*, **33**, 2320-2332.

Bower, A. S., B. Le Cann, T. Rossby, W. Zenk, J. Gould, K. Speer, P. L. Richardson, M. D. Prater, and H. M. Zhang, 2002: Directly measured mid-depth circulation in the northeastern North Atlantic Ocean. *Nature*, **419**, 603-607.

Czaja, A., A. W. Robertson, and T. Huck, 2002: The role of Atlantic ocean-atmosphere coupling in affecting North Atlantic Oscillation variability. In: *The North Atlantic Oscillation: climatic significance and environmental impact*, J. W. Hurrell, Y. Kushnir, G. Ottersen, and M. Visbeck Eds., *AGU Geophysical Monograph Series*, Vol. **134**, 147-172.

- Ganachaud, A., H. Mercier, 2002: Ocean response to transoceanic Ekman transport, implication for gravity mission. *Geophys. Res. Lett.*, **29** (23), 2145.
- Grit, C., et H. Mercier, 2004: Circulation et variabilité en Atlantique Nord par inversion. Réunion Argo-France, 12 mars 2004, Brest.
- Huck, T., and G. K. Vallis, 2001: Linear stability analysis of the three-dimensional thermally-driven ocean circulation: application to interdecadal oscillations. *Tellus*, **53A**, 526-545. [abstract] [pdf] [postscript.gz]
- Huck, T., G. K. Vallis, and A. Colin de Verdière, 2001: On the robustness of the interdecadal modes of the thermohaline circulation. *Journal of Climate*, **14**, 940-963.
- Lux, M., H. Mercier, and M. Arhan, 2001: Interhemispheric exchanges of mass and heat in the Atlantic Ocean in January-March 1993. *Deep-Sea Res.*, **48** (3), 605-638.
- Reynaud, T., P. Legrand, H. Mercier, and B. Barnier, 1998: A new analysis of hydrographic data in the Atlantic and its application to an inverse modelling study. *International WOCE Newsletter*, 32, 29-31.
- Thierry, V., et T. Hascouet, 2004: Eaux Modales Sub-polaires en Atlantique Nord à partir des données ARGO. Réunion Argo-France, 12 mars 2004, Brest.
- Thierry, V., Mercier, H. and Treguier, A.M., 2004: Numerical study of the annual and semi-annual fluctuations in the deep equatorial Atlantic ocean. *Ocean Modelling*, **6**, 1-30.

MOYENS DONT DISPOSE LE PROPOSANT ET QUI SERONT AFFECTÉS À LA RÉALISATION DU PROJET

1. Chercheurs et ingénieurs impliqués, et unités de rattachement (établir une liste nominative avec indication précise du rôle de chacun et du pourcentage de temps qu'il consacrerait au projet. Si l'équipe prévoit une demande de bourse à un organisme partenaire de MERCATOR ou CORIOLIS, indiquer la nature de la bourse (doctorale ou post-doctorale) ainsi que l'organisme auquel la demande sera adressée).

Fabienne Gaillard	LPO	chercheur Ifremer	10%	expertise analyses objectives et climatologies Coriolis/Mercator
Thierry Huck	LPO	CR1 CNRS	20%	coordination, bibliographie, application Ovide
Catherine Lagadec	LPO	ITA Ifremer	15%	collecte profils CTD
Bernard Le Cann	LPO	CR1 CNRS	collaboration	expertise flotteurs et applications ANE, MOW, Golfe de Gascogne
Herlé Mercier	LPO	DR2 CNRS	collaboration	expertise méthodologie et applications Ovide
Virginie Thierry	LPO	chercheur Ifremer	collaboration	Expertise coordonnées sigma et applications eaux modales
Thierry Reynaud	LPO	ingénieur Ifremer	15%	expertise climatologie et validation données CTD
Patrice Bellec	LPO	ITA CNRS	50%	développement et documentation

2. Equipement disponible pour la réalisation du projet (indiquer aussi les heures de calcul (IDRIS ou autre centre de calcul) nécessaires à la réalisation du projet).

- stations de travail Sun/Solaris et PC Linux
- calculateur Compaq Alpha server nympha à Ifremer
- licences matlab pour le développement des outils

DEMANDE BUDGETAIRE

N.B. : Sur toutes les lignes budgétaires, une ventilation annuelle est demandée dès lors qu'il s'agit d'une proposition pluri-annuelle

1. Fonctionnement(A détailler et justifier) : **1500 euro**

- publication / documentation : 1500 euro

2. Missions (A détailler et justifier): **3000 euro**

- réunions Argo, Coriolis, Mercator

3. Equipements (A détailler et justifier) : **4200 euro**

- poste de travail PC linux : 2500 euro
- stockage (disque et backup) : 1000 euro
- licence matlab : 700 euro

4. Total général des crédits demandés (HT) : 8700 euro pour 2 ans, soit 4350 euro par an

5. Autres financements attribués ou demandés qui concourent à la réalisation des mêmes objectifs que la proposition (mentionner notamment le soutien via les programmes nationaux et les programmes Européens dont MERSEA)