



Mercator Océan,

8-10 Rue Hermès
Parc Technologique du Canal
31520 Ramonville St Agne, FRANCE

CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIERES POUR DES EVOLUTIONS SCIENTIFIQUES DE L'ASSIMILATION DE DONNEES DANS LES SYSTEMES DE PRODUCTION DU MFC GLO-HR

VERSION 1.3 – 25 JUILLET 2016

TABLE DES MATIERES

1	INTRODUCTION	4
1.1	LE COPERNICUS MARINE ENVIRONMENT MONITORING SERVICE	4
1.2	LE SYSTEME GLO-HR.....	4
1.3	PORTEE DU DOCUMENT	5
1.4	VUE D'ENSEMBLE DU DOCUMENT	6
1.5	ACRONYMES ET DEFINITIONS	7
1.6	DOCUMENTS	8
1.6.1	<i>Documents applicables.....</i>	<i>8</i>
1.7	NUMEROTATION DES EXIGENCES	9
2	OBJET DE LA CONSULTATION	10
3	COORDINATION DANS LE GLO MFC POUR CHAQUE LOT.....	11
4	LOT 1 : ASSIMILATION DE DONNEES OCEANIQUES BIOGEOCHIMIQUES A L'ECHELLE GLOBALE	12
5	LOT 2 : SEPARATION DES ECHELLES DANS L'ASSIMILATION DE DONNEES OCEANIQUES A L'ECHELLE GLOBALE.....	14
6	CALENDRIER PRELIMINAIRE ET JALONS	15
7	FOURNITURES	16
8	REFERENCES	17

LIST OF FIGURES

FIGURE 1 : COMPOSANTES PRINCIPALES DU GLO MFC	5
---	---

LIST OF TABLES

TABLE 1 : JALONS INDICATIFS.....	15
TABLE 2 : LISTE DES FOURNITURES.....	16

1 INTRODUCTION

1.1 Le Copernicus Marine Environment Monitoring Service

Un accord de délégation¹ a été signé entre la Commission européenne et Mercator Océan pour la mise en place du service européen de surveillance des océans, le « Copernicus Marine Environment Monitoring Service » (CMEMS). Le CMEMS fournit des informations de référence régulières et systématiques sur l'état physique et la dynamique des écosystèmes océaniques et marins de l'océan mondial et des mers régionales européennes. La capacité de ce service englobe la description de la situation actuelle (analyse), la prédiction de la situation sur des échéances de quelques jours (prévision) et la mise à disposition de données rétrospectives cohérentes pour les dernières années (réanalyse).

Le CMEMS fournit une réponse durable aux besoins des utilisateurs européens, offrant des avantages dans les quatre domaines suivants : (i) la sécurité maritime, (ii) les ressources marines, (iii) l'environnement marin et côtier, (iv) les prévisions météorologiques et saisonnières et le climat. L'un des principaux objectifs du CMEMS est de fournir et maintenir un service européen compétitif et conforme à l'état de l'art pour répondre aux besoins des utilisateurs intermédiaires, tant privés que publics, et faire ainsi participer explicitement et ouvertement ces utilisateurs à la définition du service attendu.

L'architecture du CMEMS comprend des centres de production, avec les *Thematic Assembly Centres* (TAC) pour les observations et des *Monitoring and Forecasting Centres* (MFC) pour la modélisation/l'assimilation, ainsi que le système d'information central (CIS) :

- **Quatre TACs**, dont trois TAC « spatiaux » organisés par variable océanique (topographie de la surface de l'océan, couleur de l'océan et température de surface de l'océan avec glace de mer et vents) et un TAC pour les observations in situ. Les TACs collectent les données d'observation et génèrent des produits plus complexes (e.g. des produits multi-capteur) à partir de ces observations. Les TACs reçoivent leurs données des opérateurs des infrastructures d'observation in situ et spatiale.
- **Sept MFCs**, répartis en fonction des zones géographiques marines (à savoir Océan Global, Océan Arctique, Mer Baltique, Plateau Atlantique Nord-Ouest, Zone Ibérique-Gascogne-Irlande de l'Atlantique Nord, Mer Méditerranée et Mer Noire), et générant des produits - basés sur des modèles - qui fournissent des réanalyses, analyses et prévisions des caractéristiques physiques et biogéochimiques de l'océan.
- **Un système d'information central (CIS)**, qui englobe l'organisation et la gestion des données du CMEMS, ainsi qu'une interface utilisateur unique.

1.2 Le système GLO-HR

Le Global Monitoring and Forecasting Center (GLO MFC) intègre plusieurs composantes illustrées sur la Figure 1. La composante GLO-OBS gère l'interface avec les centres de distribution des observations et délivre un produit global basé uniquement sur des observations. La composante GLO-RAN gère les

¹ Voir : http://www.copernicus.eu/sites/default/files/library/CMEM_TechnicalAnnex_PUBLIC.docx.pdf

réanalyses globales physique et biogéochimique qui sont diffusées par le GLO MFC. La composante GLO-CPL fournit des prévisions physiques à partir d'un système couplé océan atmosphère. Enfin, la composante GLO-HR délivre les prévisions physique et biogéochimique haute résolution dans le GLO MFC. Le système actuel est composé d'un système physique et d'un système biogéochimique. Le système physique global à haute résolution est basé sur le modèle NEMO dans une configuration au 1/12°, assimilant les données d'élévation du niveau de la mer, de température de surface de la mer et les profils verticaux de température et de salinité. Il fournit quotidiennement des prévisions à 7 jours. Le système biogéochimique global est basé sur le modèle PISCES au 1/4°, il est forcé par un système physique au 1/4° assimilant les mêmes données que le système au 1/12° et il fournit chaque semaine une prévision à 7 jours. Les évolutions à court terme pour ce système concernent principalement l'assimilation de données, en intégrant dans le Système d'Assimilation de Mercator (SAM2 filtre SEEK de rang réduit) de nouvelles observations comme la glace de mer et la chlorophylle de surface, de nouveaux réglages pour les erreurs d'observations ou pour les équivalents modèles.

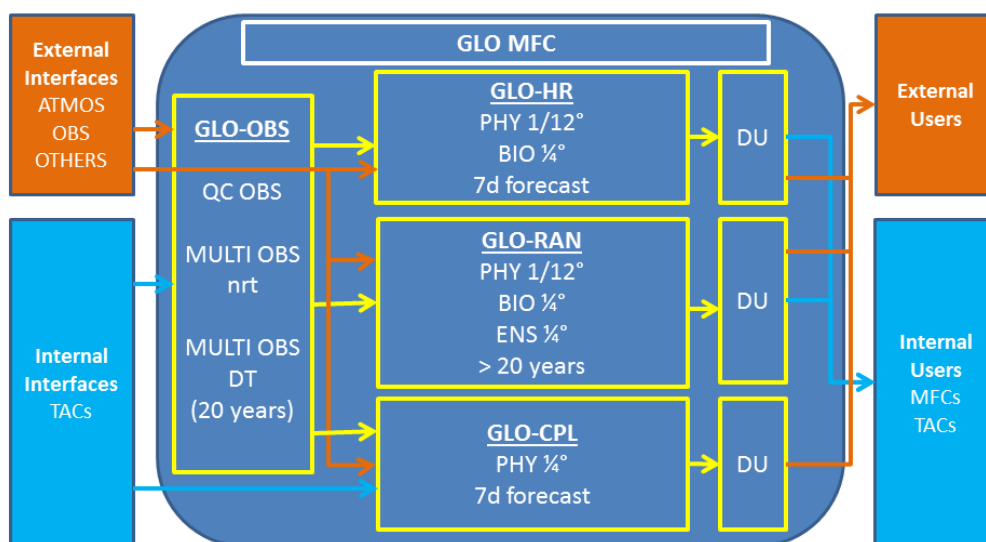


Figure 1 : Composantes principales du GLO MFC

1.3 Portée du document

Ce document constitue le Cahier des Clauses Techniques Particulières (CCTP) pour des évolutions de la composante GLO-HR décrite au paragraphe 1.1. Le contrat couvre les activités de développement, leur documentation et la description des résultats obtenus. Il couvre également une expertise scientifique de la part du contractant qui inscrit les activités de ce contrat dans le cadre de l'activité coordonnée par Mercator Océan couvrant l'ensemble du GLO MFC.

Ce CCTP fait partie du contrat et restera en vigueur tout au long de l'exécution des travaux.

Ce document présente les exigences techniques et managériales pour ce contrat de services.

1.4 Vue d'ensemble du document

Ce document comprend les parties suivantes :

- Chapitre 1 : Chapitre d'introduction présentant le contexte et les principaux objectifs.
- Chapitre 2 : LOT1 : Assimilation de données biogéochimique.
- Chapitre 3 : LOT2 : Séparation des échelles dans l'assimilation de données.
- Chapitre 4 : Calendrier préliminaire et jalons
- Chapitre 5 : Délivrables

1.5 Acronymes et définitions

CMEMS	Copernicus Marine Environment Monitoring Service	« Marine Service de Copernicus » est le nom abrégé du service Copernicus dédié à la surveillance de l'environnement marin. Le service pilote est également appelé « MyOcean ».
GLO MFC	Global Monitoring and Forecasting Centre	Le Global MFC est l'un des 11 centres de production du Marine Service de Copernicus.
GLO-CPL	Coupled component of the GLO MFC	Composante couplée ocean atmosphere du Global Monitoring and Forecasting Centre
GLO-OBS	Multi observations component of the GLO MFC	Composante Multi observations du Global Monitoring and Forecasting Centre
GLO-RAN	Global physical Reanalysis component of the GLO MFC	Composante réanalyses physiques globales du GLO MFC
GLO-HR	Global haute résolution	Composante haute résolution dans le GLO MFC
LIM	Louvain-la-Neuve sea Ice Model	LIM2 version 2 and LIM3 version of the Sea Ice Model currently used in the global configuration of the GLO-HR http://www.nemo-ocean.eu/content/download/21473/97362/file/Vancoppenolle_LIM3_book_NPM31_2012.pdf
MFC	Monitoring and Forecasting Centre	Un MFC est l'un des deux types possibles de centres de production, l'autre étant un TAC. Les MFC fournissent une description tridimensionnelle de l'état des océans et se basent sur des techniques de modélisation et d'assimilation. Le Marine Service de Copernicus définit 7 MFC différents, répartis selon 7 zones géographiques marines.
NEMO	Nucleus for European Modelling of the Ocean	NEMO (Nucleus for European Modelling of the Ocean) est une plateforme de modélisation conforme à l'état de l'art pour la recherche océanographique, l'océanographie opérationnelle, les prévisions saisonnières et les études climatiques. http://www.nemo-ocean.eu/
PISCES	PISCES	Modèle biogéochimique pour les études du carbone et des écosystèmes marins. http://www.nemo-ocean.eu/content/download/164385/669545/file/eq_pisces.pdf

1.6 Documents

1.6.1 DOCUMENTS APPLICABLES

Le document suivant est applicable : son contenu est considéré comme faisant partie intégrante du présent document principal.

	Ref	Title	Date / Version
AD1	CMS-TA	Copernicus Marine Environment Monitoring – Delegation Agreement - Technical Annex	09-2014/V4.0

1.7 Numérotation des exigences

Pour faciliter leur traçabilité et vérifier leur conformité, toutes les exigences du présent CCTP suivent le système de numérotation suivant :

[REQ-XXX-NNN] avec :

- XXX = COO pour les exigences liées à la coordination de l'activité avec le GLO MFC
ASS pour les exigences liées à l'assimilation de données océaniques
- NNN = numéro de l'exigence.

2 OBJET DE LA CONSULTATION

L'objet de la consultation est de faire évoluer le système global haute résolution actuellement opérés dans le cadre de CMEMS pour le MFC GLO spécifiquement sur la thématique de l'assimilation de données. Le LOT1 est dédié à l'assimilation de données dans les modèles biogéochimiques, l'objet étant de proposer une méthode, compatible avec le système d'assimilation de données actuellement utilisé dans le GLO-HR, permettant d'assimiler les données satellites (chlorophylle et couleur de l'eau) et in situ (chlorophylle et nutriments) dans un modèle de biogéochimie global. Le LOT2 est dédié à l'évolution d'un système d'assimilation de données à différentes échelles spatiale et temporelle également compatible avec le système d'assimilation de données actuellement utilisé dans le GLO-HR. Les activités qui seront réalisées dans le cadre de cette consultation devront être coordonnées avec Mercator Océan qui développe et opère le système global haute résolution afin d'assurer le transfert des développements et de bénéficier dans le système GLO-HR des évolutions scientifiques développées et validées.

3 COORDINATION DANS LE GLO MFC POUR CHAQUE LOT

Objet : Cette activité concerne tous les lots de cet appel d'offre. La coordination du GLO MFC est assurée par Mercator Océan qui organisera une réunion annuelle impliquant les différents acteurs de ce MFC et des rencontres régulières lors de réunions ad-hoc pour traiter de points d'avancement sur les différentes activités. Le titulaire doit s'organiser pour coordonner ces activités, définir les plans de travail et transférer à Mercator Océan les résultats et conclusions obtenus au cours des études réalisées. Les études proposées dans ce contexte doivent répondre à des besoins court terme pour améliorer les systèmes opérés dans le MFC GLO-HR, il est donc indispensable de mettre en place une coordination entre les contractants et les équipes en charge du développement de ce système à Mercator Océan.

[REQ-COO- 1] : Durant les phases contractuelles, le contractant doit désigner au minimum un expert scientifique qui doit être l'interlocuteur principal de Mercator Océan. Cette personne doit être considérée comme le personnel clé dans le cadre du contrat.

[REQ-COO- 2] : La proposition doit présenter la configuration de l'organisation (équipe, structure, responsabilités et lien avec Mercator Océan) et le CV détaillé de chaque membre du personnel clé.

[REQ-COO- 3] : Toute la documentation produite dans le cadre de ce contrat doit être en anglais.

[REQ-COO- 4] : La proposition doit présenter un plan d'activité (y compris le calendrier préliminaire) pour la première année du contrat débutant à la date de signature.

[REQ-COO- 5] : Le contractant doit produire chaque trimestre un rapport sur l'avancement de l'activité, si besoin une réunion (éventuellement téléphonique ou en visio conférence) pourra être organisée à cette occasion.

[REQ-COO- 6] : L'organisation proposée par le contractant doit prendre en compte le fait de transférer les développements réalisés dans le cadre du contrat vers les équipes en charge du développement des systèmes opérés dans le MFC GLO-HR à Mercator Océan.

Les réunions se tiendront dans la zone européenne.

La nature et le nombre de réunions à prévoir par le contractant tout au long de la période contractuelle sont indiqués ci-dessous.

Activité	Nombre minimal de réunions	Nombre de jours par réunion	Nombre minimum de participants
Réunion annuelle	2	1	1

4 LOT 1 : ASSIMILATION DE DONNEES OCEANQUES

BIOGEOCHIMIQUES A L'ECHELLE GLOBALE

Objet : L'objet du lot1 est d'assimiler des données dans des modèles globaux de biogéochimie afin de mieux contraindre l'initialisation des modèles de prévision ou les paramétrisations des modèles biogéochimiques. La priorité sera de prendre en compte les observations satellites de couleur de l'eau mais il est également souhaitable de tenir compte des données biogéochimiques *in situ*. Les développements réalisés devront être compatibles avec les systèmes actuellement utilisés par le GLO-HR en temps quasi réel, c'est-à-dire :

- un système physique global au 1/12° et un système biogéochimique au ¼° qui doivent fournir une analyse et une prévision en quelques heures.
- le modèle physique NEMO, modèle aux équations primitives couplé au modèle de biogéochimie. Pour plus d'information voir la documentation du modèle NEMO (http://www.nemo-ocean.eu/Media/Files/NEMO_book_V36stable)
- le modèle biogéochimique PISCES qui simule les niveaux trophiques inférieurs des écosystèmes marins ainsi que les cycles biogéochimiques du carbone et des principaux nutriments. Pour plus d'information voir l'article de référence sur ce modèle (<http://www.geosci-model-dev.net/8/2465/2015/gmd-8-2465-2015.pdf>)
- le Système d'Assimilation de Mercator Océan (SAM2) basé sur un filtre de Kalman de rang réduit dont les principales caractéristiques sont décrites dans les articles suivants (Iellouche et al, 2013 ; Tranchant et al, 2008, Pham et al, 1998)

Les enjeux scientifiques et techniques pour la prévision de la biogéochimie marine à l'échelle globale sont ici de représenter de façon réaliste les structures océaniques grandes échelles mais également les phénomènes méso échelles et les interactions physique/biogéochimie qui existent dans les structures tourbillonnaires, le long des fronts ou dans les upwellings. Il est également important de contraindre la variabilité temporelle aux échelles interannuelles et surtout saisonnières. Enfin l'objectif étant d'améliorer le système actuellement en opération dans le MFC GLO-HR, il est indispensable d'identifier des développements qui pourront avoir un intérêt à court terme et qui pourront être transférés aux équipes en charge du développement de ce système à Mercator Océan.

[REQ-ASS- 1] : Le titulaire doit proposer une méthodologie pour assimiler des observations biogéochimiques dans les modèles globaux. La méthodologie proposée devra être compatible avec le modèle PISCES et la faisabilité de l'intégration dans le système utilisé par le GLO-HR devra être prise en compte.

[REQ-ASS- 2] : Le titulaire doit proposer des méthodes adaptées aux contraintes actuelles du système de prévision biogéochimique utilisé par le GLO-HR, c'est-à-dire une configuration globale au ¼° pour la biogéochimie et la fourniture en maximum 3 heures d'une analyse et d'une prévision à 10 jours (à titre indicatif la phase d'analyse et de prévision peut représenter autour de 1500h CPU pour une prévision déterministe). La faisabilité technique et informatique devra en particulier être prise en compte pour dimensionner le problème et les ressources informatiques nécessaires pour respecter ces engagements estimés.

[REQ-ASS- 3] : Le titulaire doit baser ses travaux sur une méthode d'assimilation dont les résultats sont directement transposable à la méthode d'assimilation SAM2 utilisée dans le système GLO-HR. Il devra justifier dans sa proposition la compatibilité des méthodes et définir dans les livrables la méthodologie pour implémenter la méthode proposée dans le système d'assimilation SAM2.

[REQ-ASS- 4] : La proposition doit présenter les modèles, les configurations et les méthodes d'assimilation proposés dans l'étude, elle devra en particulier justifier des différences avec les modèles, méthodes et configurations utilisés dans le GLO-HR.

[REQ-ASS- 5] : Le titulaire peut proposer de réaliser l'étude avec une configuration de bassin plutôt qu'une configuration globale dans la mesure où les principaux régimes physiques et biogéochimiques sont présents dans la zone. Si des phénomènes importants sont absents, cela devra être documenté, mais il faudra représenter au minimum une région énergétique de type courant de bord ouest, une région d'upwelling, une région oligotrophe et une région de bloom.

[REQ-ASS- 6] : Le titulaire doit proposer dans son étude d'utiliser une résolution de modèle suffisante pour représenter les principaux phénomènes d'intérêt cités précédemment.

[REQ-ASS- 7] : Le titulaire peut proposer une approche ensembliste dans son étude, dans ce cas il devra tenir compte des difficultés et contraintes techniques et informatiques d'une telle méthode appliquée à un système global au $\frac{1}{4}^\circ$ opéré en temps quasi réel. L'implémentation de la méthode d'ensemble proposée devra être compatible avec la méthode d'assimilation utilisée dans le MFC GLO-HR et le titulaire devra proposer dans les livrables une méthodologie pour implémenter cette méthode dans SAM2.

[REQ-ASS- 8] : Le titulaire doit au minima assimiler dans le système proposé les observations satellites de couleur de l'eau qui ont une couverture globale. Il pourra également proposer d'utiliser d'autres observations comme les observations *in situ* de chlorophylle, oxygène ou nitrate qui peuvent être disponibles ou encore combiner l'information avec des observations de quantités physiques telle que la température et/ou la salinité.

[REQ-ASS- 9] : Le titulaire doit proposer une définition du vecteur d'état pour l'analyse en fonction des observations utilisées et des variables à contraindre dans le modèle. Une comparaison de différents vecteurs d'état dans l'étape d'analyse devra être documentée.

5 LOT 2 : SEPARATION DES ECHELLES DANS L'ASSIMILATION DE DONNEES OCEANQUES A L'ECHELLE GLOBALE

Objet : L'objet du lot2 est de proposer une méthode d'assimilation de données permettant de traiter différentes échelles spatiales et temporelles dans l'étape d'analyse, qui soit compatible avec le Système d'Assimilation de Mercator Océan (SAM2) basé sur le filtre SEEK de rang réduit et qui soit adapté avec les résolutions spatiales actuellement utilisées dans le système global haute résolution au 1/12°. Le système développé devra également répondre aux contraintes des systèmes d'analyse et de prévision temps réel, c'est-à-dire permettre d'assimiler l'ensemble des observations satellites et in situ disponibles, contraindre dans le modèle la grande et la méso échelle océanique, maîtriser le coût numérique du système d'assimilation.

[REQ-ASS- 10] : Le titulaire doit détailler le système qu'il utilisera dans l'étude et en particulier justifier des choix de domaine géographique et de la résolution horizontale.

[REQ-ASS- 11] : Le titulaire doit mettre en œuvre une méthode d'assimilation de données dans un modèle aux équations primitives d'océan et dans une configuration réaliste.

[REQ-ASS- 12] : Le titulaire doit identifier quelles sont les échelles spatiales et temporelles qui peuvent être contrainte séparément dans un système d'analyse.

[REQ-ASS- 13] : Le titulaire doit proposer une méthode permettant de combiner les incréments d'analyse calculés à différentes échelles spatiales et temporelles et de corriger le modèle.

[REQ-ASS- 14] : Le titulaire doit préciser dans sa proposition comment la méthode qu'il propose peut être utilisée dans le système d'assimilation de Mercator Océan (SAM2). Le titulaire peut également proposer d'utiliser le système d'assimilation de Mercator Océan dans sa proposition.

[REQ-ASS- 15] : Le titulaire doit montrer que le système qu'il propose permet d'assimiler au minimum les observations satellites et in situ actuellement disponibles et en particulier la SLA altimétrique, la SST satellite, la concentration de glace de mer et les profils de température et de salinité in situ.

[REQ-ASS- 16] : Le titulaire doit détailler dans sa proposition quelles sont les échelles spatiales et temporelles qui peuvent être contraintes par l'assimilation de données et quelles sont les jeux d'observations qui seront indispensables pour cela.

[REQ-ASS- 17] : Le titulaire doit estimer dans sa proposition le coût numérique de la méthode d'assimilation envisagée.

6 CALENDRIER PRELIMINAIRE ET JALONS

Jalon	Date estimée
Démarrage	Dec 2016
Annual reporting	Dec 2017
Annual reporting	Dec 2018

Table 1 : jalons indicatifs

7 FOURNITURES

Ce chapitre fournit la liste des documents à produire par le contractant ainsi que les jalons associés.

[REQ-COO- 7] : Le contractant doit livrer la documentation conformément à la liste et au calendrier décrits dans la Table 2

Ref.	Name	Date de livraison
Reporting		
CMS-GLO-QR	Rapport d'activité trimestriel	Trimestriel
CMS-GLO-SAR	Rapport scientifique annuel	Annuel

Table 2 : Liste des fournitures

8 REFERENCES

O. Aumont, C. Ethé, A. Tagliabue, L. Bopp, and M. Gehlen PISCES-v2: an ocean biogeochemical model for carbon and ecosystem studies *Geosci. Model Dev.*, 8, 2465-2513, 2015

Lellouche, J.-M., Le Galloudec, O., Drévillon, M., Régnier, C., Greiner, E., Garric, G., Ferry, N., Desportes, C., Testut, C.-E., Bricaud, C., Bourdallé-Badie, R., Tranchant, B., Benkiran, M., Drillet, Y., Daudin, A., and De Nicola, C.: Evaluation of global monitoring and forecasting systems at Mercator Océan, *Ocean Sci.*, 9, 57-81, doi:10.5194/os-9-57-2013, 2013.

Gurvan Madec, and the NEMO team: "NEMO ocean engine". Note du Pôle de modélisation, Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL), France, No 27 ISSN No 1288-1619.

Pham, D. T., Verron, J., and Roubaud, M. C.: A singular evolutive extended Kalman filter for data assimilation in oceanography, *J. Mar. Syst.*, 16, 323–340, 1998

Tranchant, B., Testut, C. E., Renault, L., Ferry, N., Birol, F., and Brasseur, P.: Expected impact of the future SMOS and Aquarius Ocean surface salinity missions in the Mercator Ocean operational systems: New perspectives to monitor ocean circulation, *Remote Sens. Environ.*, 112, 1476–1487, 2008

----- *Fin du document* -----