

AAP INSU 2023
Section « Océan-Atmosphère »

Dossier scientifique LEFE

Un dossier spécifique est à utiliser pour les projets à l'interface LEFE-EC2CO

Pour faciliter les évaluations, il est recommandé aux porteurs de suivre la trame proposée dans ce dossier scientifique

Les porteurs de projet doivent lire très attentivement le guide des programmes nationaux qui présente les nouveaux outils programmatiques du CNRS-INSU et le texte de l'appel à projets LEFE 2023, en particulier les critères d'éligibilité.

Nom du porteur du projet (*nom, prénom, qualité*) : **Huck, Thierry, CRHC CNRS**

Laboratoire de rattachement (*nom, code unité, adresse, téléphone, mail*) : **LOPS - Laboratoire d'Océanographie Physique et Spatiale, UMR 6523 CNRS IFREMER IRD UBO, Tel.: 02.90.91.55.37, email : thuck@univ-brest.fr**

Titre et acronyme du projet : **PLASTOCS**

Plastic Transports in the Oceans: Concentrations, Sources and sinks

Durée totale du projet : 3 ans - GMMC Projet en Partenariat Renforcé

Demande budgétaire pour les années à venir (*la durée du projet et les financements demandés dépendent du type de projet sélectionné*) : 29 k€ au total sur 3 ans

2023 : 11 k€

2024 : 12 k€

2025 : 6 k€

Visa obligatoire de la Direction de laboratoire porteur : (préciser nom et prénom)

Jérôme Paillet
Directeur du LOPS



Description du projet

(1) Prénom, nom, et laboratoire de rattachement du porteur du projet

Thierry Huck, UMR 6523 LOPS - Laboratoire d'Océanographie Physique et Spatiale

(2) Titre et acronyme du projet

PLASTOCS - Plastic Transports in the Oceans: Concentrations, Sources and sinks

(3) Type de projet : cocher un seul choix possible (cf. texte de l'AAP LEFE 2023 et le guide des programmes nationaux)

☒ **Projet GMMC en Partenariat Renforcé avec Mercator**

☐ ~~Projet à risque ou de rupture (durée : deux ans ; budget moyen annuel de 5 à 15 k€)~~ ⁽¹⁾

☐ ~~Projet visant l'exploitation des données et services des IR/TGIR (durée : deux ans ; budget moyen annuel de 10 à 20 k€)~~ ⁽⁴⁾⁽²⁾

☒ **Projet collaboratif (durée : deux à trois ans ; budget moyen annuel 10 à 30 k€ ; nombre d'unités impliquées ≥ 3)** ^{(1) (2) (3)}

⁽¹⁾ Selon les résultats de l'évaluation scientifique des projets et le budget disponible, ou à la demande spécifique du porteur, les CS ont la possibilité de financer les projets pour une durée différente de celle demandée par le porteur, et notamment de ne financer que la première année du projet.

⁽²⁾ Un financement légèrement en-dehors de ces montants pourra être demandé et sera analysé au cas par cas. Pour les projets collaboratifs, un dépassement de ces montants est possible uniquement pour les projets qui ont été annoncés par une lettre d'intention au printemps 2022.

⁽³⁾ Dans le cas de très grandes unités, des projets pourront être examinés s'ils impliquent plusieurs équipes d'une ou deux unités.

(4) Informations sur le projet

- Le projet est-il

- un nouveau projet? Oui ☐ Non ☐

- ~~une re-soumission? si oui, en quelle année a-t-il déjà été soumis?~~

- Avez-vous soumis/comptez-vous soumettre le même projet ou un projet compagnon à un autre AAP INSU ? AAP HORS INSU (Si oui, lequel ?)

pas pour le moment

- Avez-vous un co-porteur à ce projet ? non

- Le proposant a-t-il porté ou participé à un projet financé par le LEFE au cours des 3 dernières années ? Oui ☐ Non ☐

Si oui, préciser l'appel d'offres, la durée du projet et son titre. Préciser aussi en quelques lignes en quoi le nouveau projet est différent du précédent.

ARVOR (AAP LEFE 2022 IMAGO, Projet collaboratif de 3 ans, PI F. Sévellec, LOPS) - Assessing the Role of forced and internal Variability for the Ocean and climate Response in a changing climate.

> à peu de choses près, rien à voir avec le projet PLASTOCS.

(5) Mots clés

pollution marine, microplastiques, débris marins, courants océaniques, dérive de Stokes, trajectoires lagrangiennes, couplage océan-vagues

(6) Intérêt scientifique, contexte et état de l'art

La pollution des océans par les plastiques est un phénomène global, de croissance exponentielle, et aux conséquences multiples et très mal appréhendées sur les organismes vivants dans les océans (e.g., [Richon et al. 2022](#)). Leur usage intensif associé à une mauvaise gestion des déchets a engendré une accumulation massive de déchets plastiques dans l'environnement et notamment dans le milieu marin où ils représentent 50 à 80% des déchets échoués sur les plages et parfois même 100% dans les cas des débris flottants ([Galgani et al. 2020 Techniques de l'Ingénieur](#)). Le forum économique mondial et la fondation Ellen MacArthur ont alerté en 2016 qu'il y aurait plus de plastiques que de poissons dans l'océan dès 2050 (en poids). Améliorer les connaissances sur cette pollution contribue aux Objectifs de Développement Durable des Nations Unies, notamment l'objectif 14 sur les océans et les pollutions marines.

Avec une production annuelle de plastiques d'environ 360 millions de tonnes, un taux de recyclage inférieur à 10%, les fuites vers l'océan sont estimées à au moins 8 millions de tonnes par an, soit un total de près de 200 millions de tonnes aujourd'hui. Les observations en mer de micro et macro plastiques restent relativement clairsemées ([Cozar et al. 2014 PNAS](#), [Isobe et al. 2021 Micropl.&Nanopl.](#)), tout particulièrement dans la colonne d'eau, et ne permettent pas de comprendre directement les processus physiques majeurs impliqués. Une approche numérique lagrangienne a été utilisée depuis plusieurs décennies ([Wakata et Sugimori 1990 JPO](#), [Kubota 1994 JPO](#)). L'aspect fondamentalement global de cette pollution, avec une grande majorité de la pollution issue d'Asie ([Jambeck et al. 2015 Science](#)) et des connectivités apparemment très importantes entre les grandes régions du globe ([Chassignet et al. 2021 FMS](#)), ne facilite pas les

études régionales, sauf dans les mers quasi fermées comme la Méditerranée ou la mer du Japon. Grâce à diverses études essayant de quantifier les sources associées aux débris plastiques mal gérés des populations côtières (Jambeck et al. 2015 Science, [Weiss et al. 2021 Science](#)) et aux grands fleuves (Lebreton et al. 2017 Nature Comm., Meijer et al. 2021 Science Advances), il est maintenant possible de réaliser des simulations numériques globales et régionales de la redistribution du plastique en surface (Chenillat et al. 2021 MPB, Dobler et al. 2022 JMSE), et plus récemment en 3D (van Gennip et al. 2019 Scientific Reports, Huck et al. 2022 Frontiers in Analytical Science), en utilisant des courants de modèles océaniques au 1/12°, avec des résultats assez réalistes en comparaison aux observations.

Quelques caractéristiques de cette thématique en pleine expansion ([Cunningham et Sigwart 2019 Integrative and Comparative Biology](#)) en font un sujet de recherche passionnant avec un large éventail d'applications biogéochimiques, biologiques, écologiques et sociétales (Richon et al. 2022 FMS par exemple) :

- de larges incertitudes sur les processus intervenant dans le cycle de vie des plastiques en mer : fragmentation, biofouling, sédimentation, échouage, resuspension, dynamique verticale, turbulence ;
- une grande complexité du problème liée à la diversité des polymères, de leur densité, et de la taille des débris ;
- une incertitude notable sur les sources, de plusieurs ordres de grandeur (Jambeck et al. 2015 Science, Weiss et al. 2021 Science) ;
- un cruel manque de données pour valider les modèles, notamment en profondeur.

Le groupe d'Erik van Sebille, porteur d'une ERC TOPIOS (Tracking Of Plastic In Our Seas) sur le sujet depuis 2017, est extrêmement actif sur la thématique, mais pas nécessairement attaché à construire un modèle le plus réaliste et opérationnel possible. Pourtant, en s'appuyant sur les réanalyses océaniques de Mercator, cet objectif peut s'avérer utile pour la communauté, par exemple pour fournir des conditions aux limites à des modèles régionaux. Construire un consortium de taille suffisante autour de ces questions pour développer notre expertise sur les processus physiques et envisager un modèle le plus complet et réaliste pourrait accompagner efficacement le développement des observations.

Une difficulté majeure que nous rencontrons actuellement est la prise en compte de la dynamique des vagues sur le transport net des particules en surface et en profondeur. On sait que la dérive de Stokes joue un rôle majeur sur le transport des plastiques en surface (Onink et al. 2019 JGRO), par exemple sur la localisation des zones de convergence issues des sources très importantes de l'Asie (Dobler et al. 2019 MPB). Des études en cours de finalisation avec des modèles couplés océan-vagues (Couvelard et al. 2019 GMD) montrent des résultats très surprenants (Bajon et al., en préparation) suggérant une fiabilité limitée de la simple addition des dérives de Stokes aux courants de surface océaniques, la pratique la plus courante actuellement pour prendre en compte l'effet net des vagues. Une deuxième difficulté est la prise en compte du mélange vertical turbulent pour les transferts verticaux proches de la

surface, ce qui est évidemment difficile avec une approche lagrangienne et nécessite une validation.

Ce projet répond à l'appel à projets du Programme national LEFE sur une thématique scientifique qui n'est pas explicitement identifiée dans l'AAP 2023, mais concerne la pollution marine et les risques pour les écosystèmes (GMMC 2.4 "Autres thématiques scientifiques"). Il exploite les réanalyses fournies par Mercator pour développer un système d'estimation (hindcast) des concentrations de pollution plastique dans les océans, avec des applications envisageables pour des études régionales ou des études d'impact (écosystèmes, aquaculture...), voire en aide pour des décisions de politique publique (gestion des sources des déchets en fonction de leur impact...).

(7) Objectif général et questions de recherche traitées

L'objectif général est de produire des simulations réalistes de la concentration de différents types de plastique (polymère/densité, taille) dans l'océan global au cours des dernières décennies. Pour cela, un certain nombre d'étapes méthodologiques s'avèrent indispensables dans l'état actuel des connaissances, sur la quantification des sources et sur les processus à prendre en compte (dérive de Stokes, dynamique verticale, turbulence, échouage, resuspension, sédimentation, fragmentation, biofouling, agrégation...). Plusieurs outils seront mis en œuvre et confrontés, les outils lagrangiens Ariane (fortran) et OceanParcels (python), et si possible une approche eulérienne (NEMO-TOP). Une étape de validation devra être envisagée. À terme, ces simulations globales pourraient servir de conditions aux limites pour des simulations régionales lorsque la majeure partie des plastiques arrive des frontières (comme c'est probablement le cas dans le golfe de Gascogne). Ces développements pourraient aussi servir dans le cadre d'un océan numérique (Digital twin of the ocean) sur des plateformes de type DIAS (Data and Information Access Services, e.g. WEKEO) et permettre aux utilisateurs de réaliser des scénarios pour évaluer l'impact de programmes d'action de réduction de rejets de plastique sur l'exposition à ces polluants des milieux marins ciblés, d'identifier l'origine probable de polluants... À terme, ces outils et produits pourraient venir en aide et appuyer les décisions de politiques publiques (quelles sources de déchets réduire en priorité en fonction des impacts par exemple)

Plusieurs types de simulations lagrangiennes seront menées, en 2D pour les plastiques flottant à la surface, et en 3D pour les plastiques de densité proche ou supérieure à la densité de l'eau de mer. Il faut noter que les plastiques les plus petits, notamment les fibres, ont des rapports volume/surface très faibles qui leur confèrent des vitesses verticales d'équilibre également très faibles, et donc des comportements similaires à ceux des particules neutres ([Huck et al. 2022 FAS](#)).

Les ingrédients d'une simulation réaliste sont évidemment la **fonction d'entrée spatiale et temporelle des rejets de plastiques** dans l'océan (Mismanaged Plastic Waste), qui doit suivre l'augmentation rapide de la production de plastique – elle double tous les 12 à 20 ans environ

([Geyer et al. 2017 Science Advances](#)). On commencera avec les rejets des populations côtières qui représentent probablement les $\frac{3}{4}$ des rejets ([Jambeck et al. 2015 Science](#)), puis des rivières ($\frac{1}{4}$, [Meijer et al. 2021 Science Advances](#)), pour ensuite considérer les autres sources documentées : activités maritimes de transport et de pêche (Lebreton et al. 2012 MPB), dépôts atmosphériques ([Evangeliou et al. 2020 Nature Comm.](#))... Nous bénéficions pour cette étape de l'expertise de Lisa Weiss, postdoc IRD, qui a développé durant sa thèse un modèle statistique de sources ([Weiss et al. 2021 Science](#)) dont nous utiliserons les sorties à l'échelle globale.

Le second ingrédient indispensable pour une approche lagrangienne du devenir des déchets plastiques dans l'océan est une base de données numériques la plus aboutie de courants océaniques. Les courants océaniques issus d'une réanalyse au $1/12^\circ$ sont particulièrement adaptés à l'échelle globale (voir [Chenilat et al. 2021 MPB](#)), mais le temps d'intégration des trajectoires sur plusieurs décennies entre les sources côtières et le centre des gyres subtropicaux est peut-être une contrainte qui nécessiterait l'usage d'autres produits sur les périodes plus anciennes (simulations Drakkar forcées).

L'autre question centrale à ce projet est la prise en compte des **courants induits par les vagues**. Une étape méthodologique sera de confronter l'approche classique, qui consiste à simplement additionner les courants d'un modèle océanique et les dérives de Stokes issues d'un modèle de vagues, à des simulations couplées océan-vagues globales au $\frac{1}{4}^\circ$ qui seront menées à Mercator. Cette comparaison a été menée au LOPS dans le cadre d'un stage de M2 (Bajon 2021, article en préparation) avec les simulations couplées NEMO ORCA025-WW3 au $1/2^\circ$ de Xavier Couvelard ([Couvelard et al. 2019 GMD](#)), sur quelques années, mais avec quelques résultats intrigants qui doivent être vérifiés avec d'autres modèles/configurations.

La **dynamique verticale** des plastiques reste une inconnue majeure pour laquelle des progrès restent à faire, à la fois sur les vitesses liées à la flottabilité et sur les mouvements turbulents. Des travaux expérimentaux sont menés au LOPS par Camille Richon pour calibrer les vitesses de chute de microplastiques neufs et usagés dans le cadre du projet LEFE VERTIGO, avec des résultats qui pourront être utilisés pour nos simulations lagrangiennes. Pour autant, nous n'avons pas inclus dans ce projet les processus biologiques affectant les plastiques et leur flottabilité (biofouling, broutage, ingestion). Sur l'aspect turbulence verticale, la question est de savoir si les déplacements verticaux résolus par le modèle océanique (fonction de sa résolution horizontale et verticale et de la période sur laquelle sont moyennées ses sorties) sont plus importants que les mouvements turbulents non résolus. Une approche idéale pour aborder cette question serait de comparer des simulations lagrangiennes et eulériennes, mais il n'est pas encore sûr que nous pourrions mobiliser des ressources humaines suffisantes sur cette question fondamentale d'ici la fin du projet.

Pourquoi un Projet en Partenariat Renforcé avec Mercator ?

Mercator travaille déjà sur la dérive des plastiques dans l'océan à l'aide de différents outils lagrangiens, Parcels et Ariane (Simon van Gennip). Mercator a une expertise sur le développement de modèles couplés océan-vagues (Stéphane Law Chune). L'équipe du LOPS a

commencé à travailler avec Ariane pour la dérive 2D et 3D des plastiques dans l'océan aux échelles globales et régionales depuis plusieurs années et acquiert petit à petit une certaine expertise, mais rencontre des problèmes récurrents sur l'accès aux champs de vitesse océanique les plus adaptés (résolution, fréquence, période...), notamment en 3D. Une synergie entre les 2 équipes serait probablement plus efficace pour confronter les approches et les expertises, aborder des problèmes plus réalistes et fournir des produits utiles à la communauté sur des études régionales.

Deux aspects du projet qui justifient pleinement ce partenariat sont (i) la possibilité de faire tourner les simulations lagrangiennes directement sur les centres de calcul de Météo-France où sont stockées les données brutes issues des réanalyses Mercator, et (ii) l'utilisation des simulations couplées océan-vagues qui seront réalisées courant 2023. Nous avons limité volontairement le consortium à nos 2 laboratoires (LOPS et Mercator) pour pouvoir avancer efficacement sur ces premières questions, mais nous avons déjà pris contact avec d'autres chercheurs notamment au LEGOS (Julien Jouanno) qui sont confrontés à des questionnements très similaires sur la thématique des algues sargasses.

(8) Plan de recherche, méthodologie et calendrier de réalisation

WP1 configurations globales 2D et 3D

WP1.1 Simulations lagrangiennes à l'échelle globale

La **méthodologie** générale des expériences lagrangiennes que nous envisageons de réaliser est décrite en détail dans les articles de [Chenillat et al. \(2021 MPB\)](#) pour les expériences 2D en surface et dans [Huck et al. \(2022 FAS\)](#) pour les expériences en 3D, et correspond à l'état de l'art ([Chassignet et al. 2021 FMS](#)). Les particules sont relâchées en continu tout au long de la simulation à une fréquence hebdomadaire ou mensuelle (notamment pour suivre les variations saisonnières des débits des fleuves asiatiques affectés par la mousson), en quantité proportionnelle aux estimations de rejets plastiques par les fleuves ou les populations côtières (selon le scénario), dans les mailles côtières les plus proches des embouchures de fleuve ou des estimations de population, avec des positions initiales tirées aléatoirement dans le point de grille pour qu'aucune particule n'ait exactement la même trajectoire. Le logiciel (Ariane ou Parcels) calcule ensuite les trajectoires en fonction des courants océaniques selon son algorithme, et les trajectoires sont archivées à une fréquence donnée (typiquement hebdomadaire ou mensuelle).

En 2D, les courants de surface n'ont pas de propriété particulière de non-divergence et il en résulte des phénomènes d'accumulation à la côte, là où les courants convergent, qui peuvent être interprétés comme de l'échouage. Ce phénomène mérite d'être évalué, car il concerne une part importante des particules (45 à 90% des particules relâchées selon les courants utilisés et la résolution du modèle, article en cours) et représente un processus probablement assez réaliste ([Onink et al. 2021 ERL](#)). En 3D, les courants océaniques ont des propriétés de non-

divergence 3D (conservation de la masse qui se traduit par la conservation du volume pour un fluide incompressible) qui font que ce phénomène ne se produit plus, sauf si on ajoute des dérives de Stokes ou la prise au vent (windage) en surface dont la convergence à la côte va alors contrôler l'intensité de l'échouage.

Nous utiliserons différentes estimations des **sources** de déchets plastiques dans l'océan issues des populations côtières ([Jambeck et al. 2015 Science](#), [Weiss et al. 2021 Science](#)) et des rivières ([Meijer et al. 2021 Sci Adv](#)) de manière indépendante dans des simulations distinctes avant de les additionner si besoin. Une étape de projection de ces sources sur la grille du modèle et de conversion en nombre/poids de particules est indispensable en fonction de la stratégie de lâcher dans Ariane pour optimiser la représentation des sources de faible intensité qui peuvent être les sources principales dans certaines régions (notamment le golfe de Gascogne en ce qui concerne la façade Atlantique sud de la France métropolitaine). Dans un deuxième temps, nous appliquerons le modèle de Weiss et al. (2021 Science) pour l'estimation des rejets plastiques au niveau des fleuves en fonction du débit hydrique et de la population du bassin versant sur l'intégralité du globe, afin d'améliorer les sources pour de nouvelles simulations, les données de Jambeck et al. (2015 Science) s'avérant souvent bien plus importantes que les rejets observés. Une fonction d'entrée variable dans le temps suivant l'augmentation de la production plastique mondiale (doublement tous les 12 à 20 ans environ, Plastics Europe 2019) sera également implémentée, mais devrait pouvoir se faire dans la phase de post-traitement.

Nous utiliserons les champs de **courant** de la réanalyse GLORYS12 à $1/12^\circ$ de Mercator Ocean sur la période 1993-2017, archivés en moyennes journalières ([Lellouche et al. 2018 OS](#)). La discrétisation verticale sur 50 niveaux en z avec 22 niveaux dans les 100 premiers mètres permet une résolution verticale de l'ordre de 1 m proche de la surface (450 m au fond) et résout correctement la couche d'Ekman. Le logiciel Ariane a été développé initialement pour les champs de vitesse sur une grille C du modèle OPA, et pour la précision des calculs basés sur les transports et la non-divergence 3D, il est préférable de travailler avec les sorties natives du modèle plutôt que sur les interpolations sur une grille régulière distribuées par CMEMS (qui nécessitent une nouvelle interpolation pour revenir sur une grille C...). C'est pourquoi nous envisageons de faire tourner Ariane directement sur le centre de calcul de Météo-France ou de Mercator là où sont archivées les sorties natives. C'est la stratégie qui nous avons suivie pour les dernières simulations 3D avec les sorties journalières d'une simulation Drakkar $1/12^\circ$ de l'IGE à l'IDRIS et qui s'est avérée très efficace, Ariane nécessitant peu d'heures de calcul, c'est surtout les temps d'accès aux champs de vitesse qui limitent les simulations à une année et nécessitent donc des redémarrages (restarts) – une version d'Ariane permettant les restarts même quand les particules sont rejetées en continu a été spécifiquement développée par Bruno Blanke et Nicolas Grima en 2022 pour cet exercice et devrait être parfaitement adaptée.

Plusieurs simulations lagrangiennes seront menées pour considérer **différentes classes de particules plastiques** selon leur composition (polymère, densité), leur taille et leur forme. Elles seront caractérisées par un seul paramètre au final, leur vitesse de chute ou remontée liée à un équilibre entre la force de flottabilité (agissant sur le volume) et la friction (sur la surface

mouillée) ([Poulain et al. 2019 EST](#)). Cette vitesse verticale constante est ajoutée à la vitesse verticale ambiante pour l'advection des particules. Cette méthode est assez classique et a été par exemple utilisée par [Mountford et Morales Maqueda \(2019 JGRO\)](#), Lisa Weiss dans sa thèse sur les plastiques en Méditerranée (2021) et [Richon et al. \(2022 FMS\)](#).

Les expériences lagrangiennes seront menées avec les logiciels **Ariane** (<http://mespages.univ-brest.fr/~grima/Ariane/>), un logiciel en fortran développé par Bruno Blanke depuis 1995 ([Blanke et Raynaud 1997 JPO](#)) et maintenu au LOPS par Nicolas Grima, et **OceanParcels** (<https://oceanparcels.org/>), un code en python développé à l'Université d'Utrecht ([Lange et van Sebille 2017 GMD](#)) à Mercator. Plusieurs simulations ont déjà été menées par nos 2 groupes en 2D et 3D (au LOPS en local, sur la machine datarmor à Ifremer Brest, et à l'IDRIS ; à Mercator et à Météo France), et une certaine maîtrise a déjà été acquise pour la mise en œuvre d'expériences complexes surtout en volume de données : il n'y a donc aucun risque associé à la réalisation de ces expériences. Une comparaison des 2 logiciels sera menée via des simulations 'jumelles' entre Parcels et Ariane avec les mêmes sources et les mêmes jeux de courants pour valider les outils et identifier leurs avantages et inconvénients. Mercator porte un intérêt particulier à Parcels pour sa mise en œuvre aisée sur des serveurs/plateformes distribués. Cet outil a également l'avantage de permettre la prise en compte de la turbulence non résolue via des déplacements stochastiques des particules, et des paramétrisations pour les processus d'échouage et resuspension, et d'autres comportements particuliers des particules... Ces développements seront beaucoup plus délicats, voire impossibles, dans Ariane. Par contre, nous avons l'avantage d'avoir dans l'équipe du projet les développeurs du code Ariane qui proposent des évolutions constantes pour s'adapter à la taille croissante des expériences numériques mises en œuvre.

WP1.2 Validation

La validation des résultats de ces simulations lagrangiennes peut être envisagée de différentes manières. Les champs de vitesse peuvent être validés par comparaison à des vitesses observées (radar HF, vitesses calculées à partir de trajectoires de flotteurs... [Ricker et Stanev 2020 OS](#), par exemple) - mais cette étape est probablement du ressort de Mercator. La validation des trajectoires de particules en surface peut être comparée à des trajectoires observées de flotteurs, mais les sources de différences sont nombreuses : prise au vent, inertie... Dans tous les cas, cette approche devrait aider à discriminer les trajectoires calculées avec et sans dérive de Stokes, et celles de modèles couplées océan-vague (WP3.1) par exemple.

Une validation peut se faire en comparaison aux concentrations de plastiques observées, principalement à la surface de l'océan ([Cozar et al. 2014 PNAS](#), [Isobe et al. 2021 Micropl.&Nanopl.](#)), mais aussi dans l'intérieur ([Egger et al. 2020 Sci. Rep.](#), [Pabortsava et Lampitt 2020 Nat. Comm.](#)). Ces mesures sont malheureusement très peu nombreuses, mais peuvent donner une idée des performances du modèle pour représenter la position des zones de convergence et leurs amplitudes respectives. Les échouages sur les plages sont également documentés dans des régions de plus en plus nombreuses (base de données du CEDRE, Camille

Lacroix), et peuvent être utilisés pour valider les modèles : un exemple est proposé dans [Dobler et al. \(2022\)](#), mais les comparaisons avec les échouages peuvent prendre plusieurs formes (temporel, spatial), comme l'identification des événements océanographique-météorologique donnant lieu à des échouages massifs....

WP1.3 Comparaison des approches lagrangiennes et eulériennes et complémentarité

L'approche lagrangienne, même si c'est la plus courante dans les études relatives aux plastiques dans l'océan, n'est pas nécessairement la mieux adaptée, notamment en ce qui concerne la prise en compte de la turbulence non résolue. Des simulations 3D globales de la distribution de microplastiques dans l'océan ont été réalisées avec des modèles eulériens à basse résolution : NEMO-LIM au NOCS ([Mountford et Morales Maqueda 2019 JGRO](#)), et NEMO/PISCES, au LOPS ([Richon et al. 2022 FMS](#)), tous les 2 basés sur la configuration globale à 2° d'OPA (ORCA2). Plutôt orientées vers l'étude des interactions des plastiques avec le plancton et la biogéochimie, ces simulations ne sont pas adaptées aux normes actuelles de résolution horizontale utilisée pour la dynamique (mésos-échelle), et présentent des lacunes importantes sur les courants moyens. Pour les plastiques, le gain en résolution permet également de mieux représenter le trait de côte et la bathymétrie des détroits, dans des zones clés assez complexes (comme les détroits indonésiens). Adapter ce genre d'études à haute résolution pourrait se faire via l'outil NEMO-TOP (Tracers in Ocean Paradigm), qui fonctionne en mode online ou offline. Cette dernière approche sera probablement à privilégier pour utiliser les mêmes sorties des réanalyses Mercator, si c'est possible (est-ce que tous les champs dont a besoin NEMO-TOP sont conservés ?). Cela fait quelques années que nous réfléchissons à mettre en œuvre une telle approche et à la comparer à l'approche lagrangienne pour comparer la dispersion horizontale et verticale ([Wagner et al. 2019 JPO](#)), mais en l'absence d'expertise avec NEMO-TOP, les incertitudes sur le temps nécessaire à mettre en place une telle configuration restent un aléa pour y consacrer les ressources humaines nécessaires. Des contacts avec les utilisateurs et développeurs de NEMO-TOP seront pris pour défricher cette voie et évaluer sa faisabilité, probablement via un stage de M2. Les 2 approches sont particulièrement complémentaires, par exemple pour déterminer les limites de validité de l'approche purement lagrangienne : on peut imaginer que la turbulence verticale intensifiée à la surface (vagues, vent) brouille le signal purement advectif dans la couche de mélange, mais que ce signal reste majeur passé une certaine profondeur, et la comparaison des 2 approches permettrait de quantifier ces hypothèses.

WP2 Configurations régionales

WP2.1 Océan Indien

Dans le cadre du développement d'une configuration haute résolution du modèle océanique Symphonie ([Marsaleix et al. 2008 OM](#)) sur l'océan Indien (collaboration LOPS-LEGOS), l'objectif est d'étudier la dispersion lagrangienne des plastiques en trois dimensions à une échelle plus régionale. Une résolution de l'ordre du kilomètre dans la zone côtière allant du Mozambique à

l'Inde a été choisie afin d'étudier le comportement des particules au voisinage des sources fluviales, l'échouage à la côte et le rôle des fines échelles sur les trajectoires. La simulation est forcée par les débits quotidiens des fleuves du bassin (modèle hydrologique GloFAS, Harrigan et al. 2021) afin d'étudier l'effet des panaches d'eau douce sur la dispersion des particules déployées aux embouchures. Le calcul des apports fluviaux de plastiques basés sur le modèle de [Weiss et al. \(2021 Science\)](#) prendra également en compte la variabilité saisonnière des débits. Une collaboration dans le cadre du projet "African Marine Waste Network Project" (WIOMSA-SST) a pour but de confronter ces simulations en cours de développement avec des suivis réguliers des plastiques échoués sur plusieurs plages de l'océan Indien de l'Ouest afin d'émettre des hypothèses mieux contraintes sur l'échouage et la remobilisation des plastiques vers le large dans les modèles régionaux et globaux. En nous basant sur des sources similaires aux simulations globales menées dans le WP1, nous pourrions ainsi inclure les flux de plastiques entrant dans l'océan Indien par les frontières ouvertes puis, par comparaison, étudier l'influence de la résolution sur la distribution des plastiques dans le bassin.

WP2.2 Golfe de Gascogne

En collaboration avec le SHOM (Gwenaële Jan) et le CEDRE (Camille Lacroix), nous avons participé à l'encadrement d'un stage de M2 (Élise Corre) sur le golfe de Gascogne : *Lagrangian drift applied to nearshore plastic waste : Case study of the region of Bay of Biscay-Channel*. Nous avons pu ainsi comparer des expériences 2D et 3D d'Ariane utilisant des simulations avec Mars3D à 1km de résolution, avec et sans marée, et confronter les échouages du modèle aux données collectées par le CEDRE sur la façade atlantique. La comparaison s'avère relativement difficile, et une hypothèse est qu'une grande partie des plastiques présents dans le golfe de Gascogne ne sont pas issus des fleuves espagnols et français, mais d'outre-Atlantique ([Chassignet et al. 2021 FMS](#)). Les simulations globales du WP1 permettront de disposer de conditions aux limites sur les frontières du modèle régional pour les plastiques et cette méthode pourrait permettre de résoudre ce problème récurrent. L'idée sera d'initialiser des trajectoires de particules en fonction des flux entrants de plastiques aux frontières. Ce sera probablement la première configuration régionale qui implémentera cette stratégie.

WP3 Processus

WP3.1 Couplage océan-vagues et dérive de Stokes

L'objectif ici est de déterminer la meilleure manière de prendre en compte l'effet net des vagues sur la dérive des plastiques, non seulement sur les déplacements horizontaux proches de la surface mais aussi sur les mouvements verticaux liés aux convergences/divergences des transports de Stokes. Une pratique courante actuellement est d'ajouter aux courants océaniques les dérives de Stokes issues d'un modèle de vague ([van Sebille et al. 2020 ERL](#), [Onink et al. 2019 JGRO](#)), et les conséquences peuvent être assez dramatiques dans certaines régions. Par exemple, [Dobler et al. \(2019 MPB\)](#) ont montré que dans l'océan Indien, la prise en compte de la dérive de Stokes déplace la zone de convergence de l'Indien Sud (alimentée par

les sources majeures des fleuves asiatiques) vers l'ouest, et alimente ainsi l'Atlantique Sud, alors qu'elle alimente le Pacifique Sud sans dérive de Stokes ([Maes et al. 2018 GRL](#)). Pour autant, ces résultats sont sujets à caution... Nous avons mené les expériences 2D de Dobler et al. 2019 avec Ariane en utilisant les vitesses de surface d'un modèle couplé océan-vagues développé au LOPS (NEMO ORCA 1/4°+WW3 1/2°, [Couvelard et al. 2019 GMD](#)), avec des résultats très différents de la méthode additive. Cette compensation entre les différents termes du couplage océan-vagues (réduction des courants de surface par augmentation du mélange turbulent, mais addition de la dérive de Stokes) a déjà été mentionnée dans la littérature ([Staneva et al. 2021 Water](#)), et mérite une attention particulière. Notamment, [Bruciaferri et al. \(2021 JGRO\)](#) montrent que le terme de Coriolis-Stokes est le terme dominant du couplage océan-vague pour améliorer les trajectoires de flotteurs.

Une étape méthodologique incontournable sera donc de confronter des expériences lagrangiennes (2D mais aussi 3D) utilisant l'approche classique "additive" des courants océaniques et des courants induits par les vagues, à des expériences lagrangiennes utilisant les courants de simulations couplées océan-vagues globales au 1/4° qui seront menées à Mercator. Cette comparaison rigoureuse permettra de confirmer (ou pas) des comparaisons menées au LOPS dans le cadre d'un stage de M2 (Bajon 2021, article en préparation) avec les simulations couplées NEMO ORCA025-WW3 au 1/2° de Xavier Couvelard sur quelques années, mais avec des résultats assez intrigants qui doivent être vérifiés avec d'autres modèles/configurations.

Dans le cadre du Copernicus Marine Service, Mercator (MFC GLO) fournit un produit courant de surface à haute résolution où les effets liés aux vagues et à la marée sont pris en compte simplement sous la forme d'une addition (produit SMOC). Afin de préparer les futurs systèmes opérationnels couplés, Mercator produit également en R&D des simulations libres avec couplage/forçage associé au modèle de vagues MFWAM (Météo-France). Afin d'étudier l'impact des vagues sur le transport de débris plastiques, les jeux de données d'entrées suivants seront évalués d'un point de vue lagrangien :

- Des simulations libres NEMO 4.2 au 1/4° faisant intervenir les processus de couplage avec les vagues : introduction de la turbulence par le déferlement, longueur de mélange en fonction des états de mer, rugosité de surface, processus dynamiques en lien avec les courants de Stokes, force de vortex, etc.
- Une simulation de référence NEMO 4.2 à laquelle la dérive de Stokes sera rajoutée en post-traitement (de manière similaire à la recette SMOC).

WP3.2 Vitesses verticales

La dynamique verticale des plastiques dans l'océan reste assez mal connue, même si plusieurs études théoriques et expérimentales s'y sont intéressées. Le problème principal est la diversité de composition, densité, taille et forme des particules plastiques dans l'océan. Dans le cadre du projet LEFE VERTIGO (AAP2022, PI Camille Richon), un dispositif expérimental a été mis en place pour mesurer les vitesses de chute de particules de différents types (polymères, pellets, fibres,

fragments...), “neuves” et usagées (récupérées sur les plages par Ika Paul Pont du LEMAR). Ces résultats seront utilisés dans nos simulations lagrangiennes en 3D.

WP3.3 Mélange vertical

Est-ce que les trajectoires lagrangiennes prises dans leur ensemble représentent correctement la dispersion verticale turbulente, notamment induite par le vent proche de la surface ? Cette question a été abordée récemment de manière générale ([Wagner et al. 2019 JPO](#)) et plus spécifiquement pour les microplastiques ([Onink et al. 2022 GMD](#)). Ce processus particulièrement simple à prendre en compte dans les modèles eulériens (opérateur de diffusion turbulente) pose nettement plus de problèmes pour les modèles lagrangiens, notamment dans Ariane où les trajectoires sont calculées analytiquement dans chaque maille de la grille. On pourra aborder ce processus à l’aide de l’outil lagrangien OceanParcels utilisé à Mercator, qui permet des déplacements aléatoires calibrés sur les coefficients de diffusivité turbulente, ou en comparant les approches lagrangiennes et eulériennes. L’idée serait de réaliser des simulations absolument similaires en matière de rejet, pour comparer l’évolution du nombre de particules lagrangiennes et l’évolution d’une concentration de traceur ‘plastique’, pour quelques cas de vitesses de flottabilité (neutre, légèrement flottant, et légèrement coulant). On pourra réaliser ces expériences dans le cadre des comparaisons des outils Ariane, Parcels (et éventuellement NEMO-TOP) partageant le même protocole (sources, courants...) du WP1.1 et WP1.3.

Calendrier de réalisation (provisoire, à titre indicatif, et non contractuel)

2023	2024	2025
WP1.1 avec sources publiées WP1.1 protocole de comparaison Ariane/Parcels WP1.2 validation	WP1.1 avec sources Weiss’21 WP1.1 comparaison Ariane/Parcels 2D,3D WP1.2 validation WP1.3 eulérien NEMO-TOP	WP1.1 publications WP1.2 validation WP1.3 comparaison eulérien/lagrangien
WP2.1 Océan Indien WP2.2 Golfe de Gascogne	WP2.1 Océan Indien WP2.2 Golfe de Gascogne	
WP3.1 réalisation simus couplées océan-vagues WP3.2 simus WP1.1 avec vitesses verticales	WP3.1 lagrangien sur simus couplées océan-vagues WP3.3 turbulence stochastique dans Parcels WP3.2/WP3.3 simus avec vitesses et turbulence verticales	WP3.3/WP1.3 comparaison Ariane/Parcels/Parcels stochastique/eulérien

(9) Résultats attendus

De manière générale, les résultats attendus à chaque étape doivent nous guider sur la méthodologie la plus adaptée pour représenter correctement le mouvement des particules plastiques (lagrangien) et les concentrations en particules plastiques (eulérien) dans les simulations numériques à venir : approche lagrangienne ou eulérienne, calibration des sources, classification optimale des types de plastique à prendre en compte (densité, taille, forme), prise en compte de l'effet des vagues, des vitesses verticales (flottabilité positive ou négative), de la turbulence... Pour autant, à chaque étape, nous attendons des résultats publiables, comme l'historique de nos travaux l'atteste.

WP1 global : des concentrations 2D (surface) et 3D en fonction du temps pour différents types de plastique sur la période de la réanalyse Mercator au 1/12° GLORYS12 (1993-2017)

WP2 régional :

- offrir des cartes régionales des taux d'échouage le long des côtes afin de les confronter avec les efforts de ramassage et d'identification effectués en local, notamment le long des côtes du Mozambique ou bien encore en Indonésie (voir typiquement l'atlas préparé par Dobler et al. 2021 dans les mers indonésiennes)
- mieux appréhender le comportement des particules au voisinage des sources fluviales : impact du panache d'eau douce sur la dispersion et l'échouage des particules en lien avec la dynamique (débits hydriques, saisonnalité, courants de surface et contre-courants de fond).
- caractériser l'impact de la résolution des modèles sur la distribution des zones d'accumulation des plastiques en 3D et sur les trajectoires préférentiellement empruntées.

WP3 processus : les résultats attendus doivent nous permettre de décider de la méthodologie la plus adaptée pour représenter correctement le mouvement des particules 'plastiques' et les concentrations en particules plastiques dans les simulations numériques à venir.

WP3.1 peut-on simplement additionner les courants océaniques et la dérive de Stokes pour représenter les vitesses de surface d'un modèle couplé océan-vagues ?

WP3.3 est-ce que l'approche lagrangienne est satisfaisante pour suivre l'évolution des plastiques à la surface, proche de la surface, et dans la colonne d'eau, ou la prise en compte de la turbulence verticale est-elle indispensable, et réalisable dans les modèles lagrangiens, ou doit-on travailler en eulérien ? La réponse peut dépendre du type de plastique considéré, selon sa taille et sa densité (vitesse verticale de flottabilité).

(10) Références bibliographiques principales des proposants (ordre alphabétique)

Il est attendu ici quelques références principales en lien avec le projet. Les demandeurs peuvent fournir en annexe une liste plus complète de références s'ils le souhaitent.

- Chenillat, F., T. Huck, C. Maes, N. Grima, B. Blanke, 2021: Fate of floating plastic debris released along the coast in a global ocean model. *Marine Pollution Bulletin*, 165, 112116, [doi: 10.1016/j.marpolbul.2021.112116](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112116).
- Dobler, D., T. Huck, C. Maes, N. Grima, B. Blanke, E. Martinez, F. Ardhuin, 2019: Large impact of Stokes drift on the fate of surface floating debris in the South Indian basin. *Marine Pollution Bulletin*, 148, 202-209, [doi: 10.1016/j.marpolbul.2019.07.057](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.07.057).
- Dobler D., Martinez E., Rahmania R., Gautama B.G., Farhan A.R., Maes C. 2021. Floating marine debris along Indonesian coasts. An atlas of strandings based on Lagrangian modelling. "Monitoring and modelling the circulation of marine debris in Indonesia" AFD project, IRD, 92 p. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/2021-08/010082415.pdf
- Dobler, D., C. Maes, E. Martinez, R. Rahmania, B.G. Gautama, et al., 2022: On the Fate of Floating Marine Debris Carried to the Sea through the Main Rivers of Indonesia. *Journal Of Marine Science And Engineering*, 10, (8) 1009, [doi:10.3390/jmse10081009](https://doi.org/10.3390/jmse10081009).
- Huck, T., R. Bajon, N. Grima, E. Portela, J.-M. Molines, T. Penduff, 2022: Three-dimensional dispersion of neutral "plastic" particles in a global ocean model. *Frontiers in Analytical Science - Environmental Analysis*, Research Topic: Micro and Nanoplastics in the Environment, 2, 868515, [doi: 10.3389/frans.2022.868515](https://doi.org/10.3389/frans.2022.868515).
- Law Chune, S., Aouf, L., 2018: Wave effects in global ocean modeling: parametrizations vs. forcing from a wave model. *Ocean Dynamics*, 68, 1739–1758, [doi: 10.1007/s10236-018-1220-2](https://doi.org/10.1007/s10236-018-1220-2).
- Maes, C., B. Blanke, 2015: Tracking the origins of plastic debris across the Coral Sea: A case study from the Ouvéa Island, New Caledonia. *Mar. Pollut. Bull.*, 97, (1-2) 16-168.
- Maes, C., B. Blanke, E. Martinez, 2016: Origin and fate of surface drift in the oceanic convergence zones of the eastern Pacific. *Geophys. Res. Lett.*, 43, (7) 3398–3405, [doi: 10.1002/2016GL068217](https://doi.org/10.1002/2016GL068217).
- Maes, C., N. Grima, B. Blanke, E. Martinez, T. Paviet-Salomon, T. Huck, 2018: A surface "super-convergence" pathway connecting the South Indian Ocean to the subtropical South Pacific gyre. *Geophysical Research Letters*, 45, 1915-1922, [doi: 10.1002/2017GL076366](https://doi.org/10.1002/2017GL076366).
- Richon, C., T. Gorgues, I. Paul-Pont, C. Maes, 2022: Zooplankton exposure to microplastics at the global scale: Influence of vertical distribution and seasonality. *Front. Mar. Sci.*, 9:947309, [doi:10.3389/fmars.2022.947309](https://doi.org/10.3389/fmars.2022.947309).
- van Gennip, S. J., Dewitte, B., Garçon, V. et al., 2019: In search for the sources of plastic marine litter that contaminates the Easter Island Ecoregion. *Sci Rep* 9, 19662, [doi: 10.1038/s41598-019-56012-x](https://doi.org/10.1038/s41598-019-56012-x).
- Viatte, C., Clerbaux, C., Maes, C., Daniel, P., Garello, R., Safieddine, S., Ardhuin, F., 2020: Air Pollution and Sea Pollution Seen from Space. *Surv Geophys*, 41, 1583–1609, [doi: 10.1007/s10712-020-09599-0](https://doi.org/10.1007/s10712-020-09599-0).
- Vic, C., S. Hascoët, J. Gula, T. Huck, C. Maes, 2022: Oceanic mesoscale cyclones cluster surface Lagrangian material. *Geophysical Research Letters*, 49, (4) e2021GL097488, [doi: 10.1029/2021GL097488](https://doi.org/10.1029/2021GL097488).

- Weiss, L., W. Ludwig, S. Heussner, M. Canals, J.-F. Ghiglione, C. Estournel, M. Constant, P. Kerhervé, 2021: The missing ocean plastic sink: Gone with the rivers. *Science*, 373, 6550, 107-111, [doi: 10.1126/science.abe0290](https://doi.org/10.1126/science.abe0290).

Conférences :

- Gautama, B.G., A. Rizal, R. Rahmania, D. Berlianty, B. Priyono, K. Siong, MR. Harjono, JB. Voisin, C. Maes, D. Dobler, C. Dufau, M. Lucas, O. Fauny, 2022: Forecasting the stranded area of marine debris in Indonesian coasts using mobidrift model and floating drifter. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 1033, 012039. [doi:10.1088/1755-1315/1033/1/012039](https://doi.org/10.1088/1755-1315/1033/1/012039).

- Maes, C., D. Dobler, B. Sloane, E. Martinez, R. Rahmania, G. B. Gautama, F. A. Riza, M. Herrmann, 2021: Disentangling the physical dispersion of floating debris and plastics in the Indonesian Seas, *OCEANS 2021: San Diego–Porto*, 2021, 1-9, [doi:10.23919/OCEANS44145.2021.9705696](https://doi.org/10.23919/OCEANS44145.2021.9705696).

- Rizal et al., 2021: Tracking the Stranded Area of Marine Debris in Indonesian coasts by using Floating Drifter, 2021 *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 925, 012034, [doi:10.1088/1755-1315/925/1/012034](https://doi.org/10.1088/1755-1315/925/1/012034).

(11) Participation effective, prévue ou envisageable à d'autres programmes de recherche régionaux, nationaux et européens sur les mêmes problématiques

C. Maes : "Monitoring and modelling the circulation of marine debris in Indonesia". Projet financé par l'AFD (IRD, CLS, Ministry of Marine Affairs and Fisheries of the Indonesian Government) pour la période 2020-2022, et étendu en 2023.

(12) Compléments : Participants au projet identifiés au jour de la soumission (non exclusif)

Il appartiendra aux demandeurs de donner ici, ou en annexe, tout complément d'information utile à l'évaluation du projet.

LOPS

Thierry Huck, CR CNRS, océanographe physicien grande échelle, climat et environnement

Bruno Blanke, DR CNRS, spécialiste approche lagrangienne et Ariane en particulier

Christophe Maes, CR IRD, spécialiste des plastiques dans l'océan, membre d'IMDOS et du SCOR working group FLOTSAM (Floating Litter and its Oceanic Transport Analysis and Modelling)

Lisa Weiss, postdoc IRD, spécialiste des sources de plastique, étude régionale sur océan Indien

Camille Richon, postdoc ISblue, interactions plastiques-biogéochimie et vitesses verticales

Raphaël Bajon, doctorant, analyse simulations couplées océan-vague

soutien technique

Nicolas Grima, IR CNRS, spécialiste Ariane et HPC

Patrice Bellec, AI CNRS, compilation, gestion simulations numériques, analyses matlab&python

Depuis 2017, nous encadrons tous les ans entre 1 et 3 stages de M2 ou ingénieur de 5 mois (sur divers financements : LOPS, IUEM, EUR-ISblue) qui contribuent efficacement à l'avancement du projet et à la formation – plusieurs ont donné lieu à des articles dans des conférences ou des

journaux. Il est dommage que le programme LEFE ne permette pas de financer ces stages, mais nous continuerons à compter sur cet important soutien dans les prochaines années.

Mercator

Simon van Gennip, dérive des plastiques dans l'océan, expertise réanalyses Mercator

Stéphane Law Chune, couplage océan-vagues, dérive des plastiques dans l'océan, expertise réanalyses Mercator

Ressources nécessaires à la réalisation du projet

(1) Equipements disponibles pour la réalisation du projet; instruments, équipements ou services d'observation nationaux sollicités

LOPS : stations de travail, serveurs de données et de calcul, centre de calcul régional Datarmor (hébergé à Ifremer)

Mercator : stations de travail, moyens de calculs ayant accès aux champs bruts des réanalyses (Météo France)

(2) Co-financements attribués, en cours d'attribution, ou demandés dans le cadre d'autres programmes (autre programme national, ANR, PPR, PEPR, programme européen, programme international...)

Le budget, désormais consolidé, doit détailler les différentes contributions des organismes ou agences; le support pouvant être d'origine régionale, nationale ou européenne. La compilation des ressources acquises et des ressources soumises est à reporter dans le formulaire informatique.

(3) Ressources demandées pour la réalisation du présent projet : total 29 k€

❖ Fonctionnement (*à détailler&justifier poste par poste pour la durée du projet*) : 4k€

- frais de publication : 4 dans journaux payants, tarif selon journal = $4 \times 1000\text{€} = 4000\text{€}$

❖ Missions (*à détailler et à justifier pour toute la durée du projet*) : 15k€

- réunions annuelles en présentiel pour échanger et travailler ensemble, 1 par an pour 3 personnes à 500€, x3ans : 4500€

- conférences annuelles du GDRPO (Polymères et Océans, 2023 à Rennes) : 3 personnes x(inscription 150 + mission 350), x3ans = 4500€

- autres conférences nationales ou internationales : 1000€, 2 par an, x3ans = 6000€

❖ Analyses : n/a

❖ Petit équipement (*inférieur à 15k€*) : 10k€

- espace disque : 1 tranche pour serveur de stockage du LOPS ~5k€

- 2 machines dédiées : 2x 2500€ = 5000€

❖ Equipement indispensable et adossé à la réalisation du projet : n/a

❖ Division Technique INSU n/a

❖ Campagne avion n/a

❖ Campagne en mer n/a

❖ Demandes de label pour des ressources complémentaires (*pour chaque demande de label, préciser l'organisme ou l'agence concerné par la demande, le nom du demandeur principal, le titre, la nature et l'échéancier de la demande*).

Il est important de noter que les labellisations par le LEFE donnent un plus au projet, mais nécessitent de répondre spécifiquement aux divers AAP auprès des organismes partenaires ou agences reconnaissant ce label parmi leurs critères de sélection.

- heures de calcul sur les centres nationaux (GENCI) : en raison du faible nombre d'heures nécessaires, nous travaillons actuellement à l'IDRIS via un Accès préparatoire, et nous ferons une demande d'Accès dynamiques quand ce sera nécessaire.

TABLEAU RECAPITULATIF DU BUDGET EN € A REMPLIR OBLIGATOIREMENT EN COHERENCE AVEC LE TABLEAU DU FORMULAIRE EN LIGNE

Pour les projets multi-actions, les demandes budgétaires à chaque action (IMAGO, CYBER, CHAT, MANU, GMMC) devront être identifiées et différenciées dans le tableau

Libellé	Coût total	Co-financements (préciser la source, INSU ou pas, pour chaque case concernée)						Demande LEFE (préciser l'action LEFE concernée en cas de projet multi-actions)		
		Acquis année 1	Acquis année 2	Acquis année 3	Demandés Année 1	Demandés année 2	Demandés année 3	Demande LEFE année 1	Demande LEFE année 2	Demande LEFE année 3
Missions	15000							5000	5000	5000
Equipement (< 50 k€)										
Fonctionnement	4000							1000	2000	1000
Moyens nationaux										
Analyses (à détailler dans tableau ci-dessous)										
Petit équipement (<15k€)	10000							5000	5000	0

Récapitulatif (doit correspondre aux cases du tableau du formulaire informatisé)

Total financements déjà acquis/en cours d'acquisition (1) en € : 0 > des cofinancements (gratification de stages de M2 notamment) seront demandés chaque année à nos labos/instituts (LOPS, IUEM, UBO, IRD, EUR ISblue...) avec de fortes chances de succès.

Total financements demandés au LEFE (2) en € : 29000

Coût total du projet (1) + (2) en € : 29000

(donner dans le dossier scientifique la justification du coût unitaire des analyses)

[illegible]