



Programme national LEFE Les Enveloppes Fluides et l'Environnement

Appel à projets 2024



1. Présentation de l'AAP LEFE 2024

La communauté scientifique française travaillant dans les domaines de l'océan, de l'atmosphère et de leurs interfaces a identifié des priorités lors de la prospective INSU-OA de 2023, notamment autour de six défis et de quatre aires géographiques. Même si elles ne sont pas exclusives, ces priorités constituent des points de convergence importants pour définir, animer et coordonner les actions de la communauté.

Le programme national et inter-organisme ¹ LEFE a pour vocation de soutenir des travaux de recherches visant à répondre à ces priorités, mais aussi de favoriser l'émergence d'idées nouvelles tant aux frontières de la connaissance dans un domaine spécifique que sur les frontières entre disciplines ou entre milieux.

Le cadre de l'appel à projets recouvre ainsi des questions importantes de recherche fondamentale et de développement. Il concerne l'émergence de nouvelles approches d'observation, d'expérimentation et de modélisation, mais également la production de résultats dont la finalité serait utile aux décideurs.

En adéquation avec le cadre programmatique du CNRS-INSU, le programme LEFE soutiendra des projets qui devront s'inscrire dans un des 3 outils suivants (voir le guide des programmes nationaux) :

- **Des projets à risque ou de rupture** sur 2 ans, avec un budget compris entre 5 et 15 k€ en moyenne par an (les montants annuels sont modulables selon les besoins du projet en pluriannuel).

Ils permettent des recherches exploratoires, des preuves de concept, théoriques, méthodologiques, technologiques, expérimentales, observationnelles, l'émergence de nouvelles idées, modèles et concepts, et favorisent la prise de risque. Les projets autour des dispositifs instrumentaux innovants sont également encouragés dans ce cadre. C'est un financement incitatif, accordé à une ou un scientifique ou à un groupe de scientifiques. Leur thématique est libre, mais en adéquation avec l'appel d'offres du programme considéré.

- **Des projets s'appuyant sur l'exploitation des données et services des IR et IR*** sur 2 ans, avec un budget compris entre 10 et 20 k€ en moyenne par an (les montants annuels sont modulables selon les besoins du projet en pluriannuel).

Ces projets doivent renforcer la valorisation des infrastructures de recherche et des services nationaux d'observation (y compris pour le spatial) auprès d'une large communauté scientifique. Ils s'appuieront sur l'exploitation des données et services pour en développer des travaux de recherche innovants, incluant le développement de modèles ou de dispositifs analytique ou expérimentaux, l'utilisation des moyens de calcul intensif et la structuration des communautés utilisatrices. Les financements des coûts d'accès aux plateformes ou instruments nationaux sont éligibles mais ne peuvent constituer le seul but du projet.

- **Des projets collaboratifs** sur 2 à 3 ans, impliquant idéalement a minima 3 partenaires en France avec un budget compris entre 10 et 30 k€ en moyenne et par an (les montants annuels sont modulables selon les besoins du projet en pluriannuel).

Les projets de recherche collaboratifs ont pour but de rassembler ou de structurer des équipes autour des thématiques de l'appel à projets du programme. La logique de ces projets est de décliner la prospective du domaine en maximisant la synergie au sein de la communauté, donc idéalement en impliquant plusieurs unités de recherche. Dans le cas de très grandes

¹ Le programme LEFE, géré et coordonné par le CNRS-INSU, est mis en œuvre par l'ADEME, le CEA, le CNES, le CNRS (INSU, INC, INP), la Fondation Air Liquide, l'IFREMER, l'INRIA, l'IRD, le MTE, Météo-France, et Mercator-Océan.



unités, des projets pourront être examinés s'ils impliquent plusieurs équipes d'une ou deux unités.

Un dépassement des montants indiqués est possible uniquement pour les projets d'envergure qui ont été annoncés par une lettre d'intention au printemps 2023. Le programme soutiendra un à deux de ces projets d'envergure annoncés (à hauteur de 90 à 150 k€) suivant le financement disponible.

Le programme s'organise autour de 5 actions scientifiques :

- **CHAT** (Chimie atmosphérique)
- **CLIMAGO** (Etude du système climatique et de ses composantes Atmosphère, Glace et Océan)
- **CYBER** (Cycles biogéochimiques, environnement et ressources)
- **MANU** (Méthodes mathématiques et numériques)
- **GMMC** (Océanographie opérationnelle)

Il est possible de soumettre des projets impliquant plusieurs actions. Une interface spécifique est mise en place pour les projets qui seraient communs à LEFE et EC2CO (voir ci-dessous).

2. Les ressources financées et labellisées par l'AAP LEFE 2024

Le programme LEFE peut soutenir directement les ressources suivantes :

- Le fonctionnement général du projet : consommables, petits équipements (<15 k€), missions, et publications.
- Le gros équipement indispensable pour le projet (<50 k€/instrument) : **le programme LEFE ne finance pas d'équipement qui ne serait pas adossé à un projet scientifique spécifique** pour lequel cette instrumentation est cruciale. Les devis et les spécificités techniques devront être fournis en annexe du dossier scientifique et des co-financements sont recommandés.
- Les coûts d'accès officiels affichés pour l'utilisation de moyens nationaux.
- Les analyses (*in situ*, au laboratoire ou dans des services nationaux d'analyses) : **la justification du coût unitaire de l'analyse et du nombre d'analyses** devra être donnée, et l'annexe proposée dans le dossier scientifique devra être remplie (coût unitaire et nombre d'analyses prévues).
- La valorisation scientifique de missions spatiales² et de campagnes déjà réalisées (ballon, avion, glider, bateau, etc.).
- Les frais de missions (congrès, campagnes sur le terrain, réunions, etc.) dûment justifiées.
- Les frais de transport de matériel liés aux campagnes sur le terrain, en dehors des soutiens déjà accordés par ailleurs (par exemple par le fonds de soutien aux campagnes pour la logistique des campagnes océanographiques).
- Nouveauté pour l'AAP 2024: les projets LEFE pourront intégrer le financement d'un stage de niveau Master 2 (un stage maximum par projet).

² LEFE peut également financer les travaux utilisant des données validées issues de missions spatiales en excluant les aspects de démonstration, calibration ou validation qui relèvent directement de comités scientifiques du CNES.



Le programme LEFE procure une priorité d'accès à un ensemble de soutiens complémentaires associés à un projet scientifique, dont les AAP coordonnés par l'INSU et en lien avec l'AAP LEFE :

- Campagne avion utilisant les moyens aéroportés de l'infrastructure SAFIRE (www.safire.fr, AAP au fil de l'eau, voir le document spécifique à compléter en interaction avec SAFIRE).
- Mise à disposition de flotteurs profileurs (programme ARGO).
- Personnel ou soutien DT/INSU (voir l'AAP DT/INSU).
- Mise à disposition des moyens de carottages continentaux, océaniques et dans les glaces par la DT INSU/C2FN.

Les porteurs sont invités à soumettre leur(s) document(s) de réponse aux AAP précédemment cités (ou tout document en lien avec ces AAP qu'ils jugent utile) en tant que fichiers annexes lors de la soumission de leur projet à l'AAP LEFE, ceci à titre d'information pour le CS LEFE (par exemple, extraction PDF de leur dossier soumis à la FOF, formulaire d'utilisation des avions de SAFIRE, ou retour des comités sur leur soumission si disponible).

Nous rappelons les points importants ci-dessous :

- Le programme LEFE ne finance pas de CDD.
- Cet appel à projet ne soutient pas l'organisation de colloques, de projet visant uniquement des réunions ou la publication d'ouvrages ou de numéros spéciaux de revues. Des animations sous forme d'ateliers sont cependant financées par le programme LEFE, via un appel spécifique diffusé au sein de la communauté.
- Le programme LEFE pourra soutenir des travaux de recherche valorisant les IR et les SNO/SI mais il n'a pas vocation à soutenir des actions qui doivent être prises en charge dans le cadre des SNO, SI, IR et autres structures ayant pour objectif de maintenir des observations pérennes.
- Les demandes budgétaires devront absolument être justifiées de façon détaillée, et construites de manière raisonnable. Lorsque le projet implique des cofinancements (autre programme national, ANR, Europe, Région, Institutionnels, etc.), il est nécessaire de bien les expliciter et de préciser la valeur ajoutée de la demande LEFE. Quand les thématiques sont financées par les grands programmes nationaux, les porteurs sont invités à positionner leur projet par rapport aux AAP de ces grands programmes (par ex. PPR, PEPR).

3. Modalités de réponse à l'AAP LEFE 2024

Critères de recevabilité des projets :

- Toutes les demandes doivent être soumises via le formulaire informatisé avant la clôture de l'AAP. Aucune soumission après la date et l'heure limites ou par courrier électronique ne sera acceptée.
- **Le dossier scientifique devra impérativement être signé par la direction du laboratoire porteur.**
- Les projets collaboratifs dont le budget total demandé dépasse les montants renseignés (« projets d'envergure ») dans le nouveau cadre programmatique devront obligatoirement avoir fait l'objet



d'une lettre d'intention en réponse à l'AAP du printemps 2023. Pour ces projets, il est recommandé que la majorité du budget soit demandée pour l'année 1 du projet.

- **Le dossier scientifique ne devra pas excéder 15 pages TOUT COMPRIS (police 11 minimum), page de garde et tableau récapitulatif du budget inclus.** Les projets dépassant les 15 pages ne seront pas considérés. Ce critère vaut aussi pour les projets à l'interface LEFE-EC2CO. Il convient de déposer sous forme de fichier « annexe » le budget récapitulatif des analyses ou de demande flotteurs (le cas échéant) et tout autre document apportant des éléments supplémentaires au projet.

- Le cas échéant, le porteur de projet doit être à jour dans la remise des fiches de rendu des précédents projets LEFE portés, pour pouvoir soumettre à nouveau un projet.

- Les projets peuvent être rédigés en français ou en anglais.

- Pour les projets portés par des chercheurs non permanents³ :

- i. il doit être fait mention d'un chercheur permanent du même laboratoire comme co-porteur, pleinement engagé dans la réussite du projet. Ce dernier s'engage à poursuivre le projet en cas de rupture de contrat du porteur avant la fin du projet financé par le programme et à rédiger la fiche de rendu le cas échéant (demandée 1 an après la fin du projet) ;
- ii. la durée du projet ne doit pas dépasser la durée du contrat du chercheur non permanent ;
- iii. une attestation d'emploi signée du directeur de laboratoire listant le type de contrat du non permanent, la source de financement, la durée du contrat, les dates de début et de fin du contrat, et le nom et adresse email du co-porteur permanent est à joindre en annexe lors de la soumission.

3.1 Demandes transverses intra-LEFE, LEFE-EC2CO, avec les autres programmes du CNRS-INSU

• **Intra-LEFE.** Un projet peut concerner plusieurs actions du programme LEFE. Comme indiqué dans le dossier de demande, il convient alors de préciser, par année, le budget demandé à chaque action LEFE.

• **LEFE-EC2CO.** Les projets LEFE-EC2CO devront respecter les nouveaux outils programmatiques du CNRS-INSU. Ils devront être soumis à l'AAP spécifique LEFE-EC2CO disponible sur la plateforme informatisée. Ils seront évalués par les commissions scientifiques des actions principales de chaque programme, puis interclassés par un comité LEFE-EC2CO. Les chercheurs non permanents ne peuvent pas soumettre un projet à l'interface LEFE-EC2CO.

Le porteur du projet devra clairement identifier les actions du programme LEFE auxquelles le projet est soumis et expliciter les volets scientifiques et financiers s'y rattachant. Il est également nécessaire de préciser si un financement restreint à une seule des actions du programme a du sens.

• **Autres AAP gérés par le CNRS-INSU.** Les projets peuvent aussi concerner d'autres programmes du CNRS-INSU. Dans ce cas, les porteurs de projet devront clairement l'exprimer dans leur dossier scientifique et l'indiquer lors de la soumission en cochant la case ad hoc. Le projet devra être soumis à chacun des programmes concernés.

Concernant l'AAP spécifique Instrumentation Innovante et Transverse (IIT) : l'instrumentation transverse à plusieurs domaines de l'INSU relève de l'AAP IIT, et l'instrumentation mono-domaine relève de l'AAP LEFE.

³ Les chercheurs non permanents ne peuvent pas soumettre à l'interface LEFE-EC2CO.



3.2 Le dossier scientifique

Le dossier décrira précisément le contexte scientifique dans le cadre international et national, les questions scientifiques abordées et la méthodologie choisie pour les résoudre. Le dossier présentera aussi un calendrier de réalisation pour atteindre les objectifs. Les collaborations nationales, européennes ou internationales doivent être mentionnées. Le financement demandé sera présenté et justifié dans ce dossier, par type de ressources et par année pour les projets pluriannuels. Les cofinancements accordés ou demandés (autres programmes nationaux, soutien interne d'organisme, projet européen) doivent être précisés. L'ensemble du budget sera synthétisé dans le tableau récapitulatif du budget. L'annexe financière relative aux analyses devra être remplie le cas échéant. Pour les demandes de campagnes avion, des fiches spécifiques disponibles sur le site informatisé sont à joindre en annexe à ce dossier scientifique. La liste des participants est à renseigner uniquement dans le formulaire informatisé.

Les demandes financières en soutien à la DT-INSU adressées au programme LEFE devront être explicitement indiquées dans le tableau budgétaire.

Le porteur devra préciser dans le dossier quel est le type de sa demande (projet à risque ou de rupture, projet visant à l'exploitation des données et services des IR, ou projet collaboratif). Les porteurs doivent utiliser pour le dossier scientifique les trames proposées en ligne pour les projets LEFE ou à l'interface LEFE-EC2CO. Les dossiers scientifiques devront être soumis au format PDF.

Pour les demandes de flotteurs, sans demande de financement et déposées à l'action LEFE-GMMC, le formulaire informatisé a été adapté. Les porteurs sont invités à soumettre sous l'onglet « LEFE GMMC-flotteurs uniquement ».

3.3 Engagements des porteurs si leur projet est financé par le programme LEFE

À son échéance, tout projet financé devra faire l'objet d'une **fiche de rendu** qui sera accessible sur le site internet du programme LEFE (<http://programmes.insu.cnrs.fr/lefe>).

Il est indispensable que le programme LEFE soit remercié dans toutes les communications : articles, posters, communications orales, communiqués de presse, annonces de workshop, etc. Le logo LEFE devra être utilisé dans ces mêmes occasions quand cela est possible⁴.

Il sera demandé aux porteurs de transmettre au pôle de données concerné (AERIS⁵, ODATIS⁶, THEIA⁷, etc.) les données et produits issus du projet soutenu par le programme LEFE.

4. Évaluation des projets déposés à l'AAP LEFE 2024

Le programme LEFE est piloté par un Comité Inter-Organismes (CIO) formé par les représentants des organismes et agences partenaires. Le CIO décide, sur recommandation du Conseil Scientifique LEFE, des projets retenus et des ressources qui leur sont attribuées.

⁴ <https://programmes.insu.cnrs.fr/wp-content/uploads/2019/09/Logo-LEFE.jpg>

⁵ <http://www.aeris-data.fr>

⁶ <https://www.odatis-ocean.fr>

⁷ <https://www.theia-land.fr>



Le Conseil Scientifique LEFE s'appuie, pour émettre ses recommandations, sur les évaluations menées par les Conseils Scientifiques des cinq actions qui le composent. Ces évaluations reposent sur des expertises externes au programme LEFE.

Les différents critères d'évaluation pris en compte sont :

- la qualité scientifique du projet, sa pertinence, l'originalité de son questionnement scientifique et la solidité de sa méthodologie ;
- la compétence scientifique des équipes ;
- le caractère novateur du projet ;
- la pertinence du projet au regard de l'appel d'offres et sa qualité rédactionnelle ;
- la faisabilité du projet en particulier en regard du calendrier, des ressources financières et humaines et d'accès aux moyens lourds (avion, flotte, ballon, temps de calcul, etc.) ;
- l'adéquation du budget demandé aux objectifs ;
- le rôle fédérateur du projet ;
- le lien du projet avec d'autres programmes le cas échéant et ses perspectives d'évolution et de valorisation.

La proposition devra comprendre une analyse des risques ainsi qu'une description, voire une évaluation même qualitative, de l'impact environnemental (frugalité, soutenabilité, etc...) du projet sur la durée.

Une attention particulière sera donnée aux projets portés par de jeunes chercheurs. De plus, les efforts de réduction de l'empreinte carbone des projets seront pris en compte lors de l'évaluation.

Enfin, en raison de l'aspect inter-organismes du programme LEFE et des attentes qui en découlent, les projets débouchant sur des résultats utiles aux décideurs ou impliquant des pays du Sud ou utilisant des données spatiales sont les bienvenus.

Le Comité Inter-Organismes peut, pour des raisons scientifiques ou budgétaires, ne proposer qu'un financement partiel des projets.

5. Clôture de l'AAP LEFE 2024

La date de clôture de l'appel à projets est fixée au **15 septembre 2023 à 17h**.

Seuls les projets soumis via le formulaire informatisé d'appel à projets et validé par le directeur d'unité du porteur seront considérés.

Le formulaire informatisé est accessible ici : <https://sigap.cnrs.fr/>

Toutes les questions concernant cet AAP sont à adresser à Mme Bouthaina Ben Hassen Bouthaina.BENHASSEN@cnrs-dir.fr

Nota : Les porteurs de projet appartenant à une unité associée au CNRS devront impérativement faire pré-renseigner les demandes dans l'application Dialog via leur Directeur d'unité.



Action CHAT

Chimie Atmosphérique

Les principales classes de composés réactifs dans l'atmosphère — photo-oxydants, acides, aérosols, radicaux, ainsi que leurs précurseurs — affectent à la fois la qualité de l'air et le climat de façon directe ou indirecte. L'évaluation des synergies et antagonismes de l'impact des composés réactifs sur ces deux cibles, ainsi que leur évolution dans le contexte des changements globaux, est capitale. Pour y parvenir, une meilleure compréhension et quantification des mécanismes de transformations chimiques et physiques des composés dans les différentes phases, de leur transport dans les différents compartiments de l'atmosphère, et de leurs échanges aux interfaces (émissions, dépôts), est indispensable. Des efforts d'intégration de ces processus, de leurs impacts et de leurs rôles dans les réservoirs atmosphériques, géophysiques et hydrosphériques sont indispensables pour traiter le système Terre dans sa globalité.

Les projets éligibles doivent privilégier une synergie forte entre études de laboratoire, mesures de terrain et modélisation, et favoriser le passage entre échelles spatiales. Les propositions de développements instrumentaux novateurs appliqués à la chimie atmosphérique sont également sollicitées dans le cadre de cet appel à projets. Des projets permettant une valorisation vers l'aide à la décision (impacts sanitaires, services climatiques) sont les bienvenus. Ces projets devront expliciter les retombées possibles pour les acteurs /décideurs publics. Certaines questions relatives à l'impact du vivant sur les flux d'espèces chimiques et sur les écosystèmes, et aux interfaces avec la biosphère et les systèmes biologiques pourront être soumises de manière conjointe au programme EC2CO.

Les questions scientifiques prioritaires identifiées pour la chimie atmosphérique s'appuient principalement sur les conclusions des dernières prospectives du domaine Océan-Atmosphère (à travers ses défis et ses régions d'intérêt) et se déclinent suivant les axes ci-dessous.

Thème 1. Processus régissant la capacité oxydante dans la troposphère, la formation de l'aérosol et l'évolution de ses propriétés physico-chimiques

L'étude de la capacité oxydante dans la troposphère est importante, notamment à travers une meilleure connaissance des sources et puits des composés organiques, compte tenu de leur importance pour la chimie atmosphérique. Il s'agit d'améliorer notre connaissance de l'importance des processus tant gazeux que multiphasiques, notamment pour une meilleure paramétrisation dans les modèles. Pour cela, les processus d'oxydation radicalaires, la formation et le vieillissement des aérosols secondaires doivent être mieux décrits, notamment en prenant en compte les différents effets de saisonnalité.

Par ailleurs, les interactions avec les surfaces des particules d'aérosols, mais aussi des gouttelettes de nuage, et des sols (terrestres et aquatiques), considérées comme d'éventuels catalyseurs de réactions chimiques affectant directement le bilan oxydatif des espèces réactives, pourront être étudiées.

Il est également important de s'intéresser à l'évolution de la composition chimique de l'aérosol au cours de son transport dans l'atmosphère et aux modifications des propriétés physico-chimiques associées (granulométrie, hygroscopicité, propriétés optiques, propriétés oxydantes, etc.) qu'elle engendre, en particulier lors d'événements extrêmes tels que les feux de biomasse ou les éruptions volcaniques. Ceci doit permettre de réduire les incertitudes relatives à l'impact radiatif des aérosols, la formation des nuages et leur impact climatique, mais aussi la qualité de l'air et notamment l'exposition des populations et des écosystèmes.

Ces axes de recherche seront abordés en termes d'expérimentation en laboratoire, de mesures sur le terrain, et de modélisation, en développant autant que possible des synergies entre ces approches.



Thème 2. Couplage transport-chimie : impact sur la qualité de l'air et le climat, variabilités et tendances des constituants atmosphériques (SLCF)

L'étude couplée des processus chimiques et des processus de transport dans et entre les différents compartiments de l'atmosphère (couche limite, troposphère, stratosphère), aux différentes échelles spatiales (de la turbulence à l'échelle globale) et dans différents environnements (urbains et naturels) est indispensable pour pouvoir comprendre les interactions entre chimie de l'atmosphère et climat, et prédire leur variabilité. Ces études s'effectueront de manière privilégiée par la modélisation multi-échelle et l'observation depuis le sol ou depuis l'espace, en lien avec les infrastructures nationales et internationales.

Concernant la stratosphère, les contributions des espèces au bilan radiatif doivent être étudiées. De même, concernant le couplage chimie-climat, les distributions spatiale et temporelle et les caractéristiques des aérosols stratosphériques, ainsi que leur réactivité hétérogène pourront être investiguées.

Les projets concernant la modélisation couplée du transport et de la chimie aux différentes échelles spatiales seront bien accueillis, en vue de favoriser l'intégration des connaissances nouvelles dans ces modèles (en passant éventuellement par des modèles de processus dédiés).

Thème 3. Interactions surface-atmosphère : couplage entre biogéochimie continentale ou océanique et physico-chimie de l'atmosphère

La modélisation des émissions et dépôts des gaz et particules aux interfaces et de leurs variabilités spatiale et temporelle à l'échelle fine, requiert de reconnaître ces interfaces comme régulateurs interactifs. Un défi identifié est l'intégration des sources ponctuelles (feu, volcan, etc.) à une échelle sous-maille et une meilleure représentation des processus de dépôt, pour obtenir la meilleure caractérisation possible de la composition atmosphérique.

Concernant les émissions anthropiques, une meilleure prise en compte du continuum entre émissions de composés organiques volatils, semi-volatils et condensés est nécessaire. La quantification de l'incertitude des différents cadastres ou modélisations reste indispensable. Pour ceci, la mesure de flux sur sites spécifiques ou chambres modèles, ponctuellement ou sur la durée, reste un défi important, de même que l'évaluation régionale de ces flux. Une attention sera aussi portée sur l'impact anthropique sur les émissions naturelles ou biogéniques.

Thème 4. Approches transverses : développements méthodologiques, instrumentaux, de mesure en laboratoire, d'observation et de modélisation

Des projets combinant des travaux en chimie quantique, en spectroscopie moléculaire expérimentale et théorique, en instrumentation ou en modélisation, appliquées et en lien avec les priorités en chimie atmosphérique seront considérés avec attention. Les travaux porteront d'une part sur l'étude de molécules atmosphériques et leurs différentes formes isotopiques, d'intérêt sanitaire ou climatique, et d'autre part sur les molécules pouvant présenter un intérêt fort pour leur rôle dans la chimie radicalaire, homogène, hétérogène et multiphasique et dans le traçage de sources ou de processus. La combinaison d'études couplant plusieurs disciplines et permettant d'optimiser les synergies entre les communautés est encouragée.



Action CLIMAGO

Etude du système climatique et de ses composantes : Atmosphère, Glace et Océan

L'action CLIMAGO vise essentiellement à mieux décrire, simuler et comprendre les fluctuations naturelles et les changements d'origine anthropique des états de **l'atmosphère, des surfaces continentales, de la cryosphère et du milieu marin, à toutes les échelles spatio-temporelles**, en partant des composantes elles-mêmes (atmosphère, glace, océan) jusqu'au **système Terre dans sa globalité**.

Les **enjeux** majeurs de l'action CLIMAGO consistent à :

- Comprendre les caractéristiques du système climatique, depuis les échelles de temps courtes (phénomènes horaires, journaliers, saisonniers, pluriannuels) aux échelles géologiques.
- Prévoir les évolutions futures du système climatique, les tendances à long terme et les éventuels points de bascule.
- Caractériser, comprendre et anticiper les événements extrêmes de différentes natures (e.g. météorologiques, crues, feux, vagues de chaleur océaniques)
- Améliorer la compréhension des processus d'échanges de matière et d'énergie aux interfaces des enveloppes océan-glace-atmosphère-continents.

Ces objectifs scientifiques sont en pleine adéquation avec les défis de la prospective OA et les actions du programme mondial de recherche sur le climat (WCRP).

Les activités de recherche couvrant ces enjeux scientifiques reposent sur deux piliers méthodologiques fondamentaux décrits ci-dessous :

A. Acquisition, développement, calibration et pérennisation des jeux de données

L'acquisition de mesures (de terrain, suivi environnemental, paléoclimatiques, plateformes instrumentales, observations spatiales, réanalyses, etc.) avec une fréquence temporelle plus élevée et/ou une couverture spatiale plus dense, ainsi que l'acquisition de séries d'observations homogènes dans le temps et l'espace, constituent un pilier fondamental de l'activité de recherche en océan/atmosphère/cryosphère. Ainsi, une attention particulière sera donnée aux projets :

1. Favorisant le **développement** d'instruments, de méthodologies, et de proxies innovants ;
2. Proposant l'acquisition **de jeux de données nouveaux ou la valorisation de jeux de données existants** ;
3. Visant la mise à disposition de bases de données météorologiques, océanographiques et/ou climatiques ou la **réalisation de synthèses** d'observations spatiales ou temporelles.

B. Développement, amélioration et pérennisation des modèles

Une attention particulière sera portée à la modélisation pour comprendre et **réduire les biais systématiques** des modèles actuels, quantifier la fiabilité des simulations selon leur usage, et ouvrir de nouveaux champs d'utilisation par l'amélioration de la représentation des mécanismes existants, l'introduction de nouveaux processus ou de nouveaux couplages et une meilleure prise en compte des petites échelles.



Les enjeux scientifiques de l'action CLIMAGO se déclinent autour de 5 axes majeurs :

1. Étude des processus et des interactions d'échelle régissant l'état des différentes composantes du système climatique

Cet axe de recherche fondamentale doit favoriser les études des différents **processus physiques et dynamiques**, y compris les processus non linéaires, qui régissent l'état moyen et la variabilité des différentes composantes du système climatique. Cela inclut les efforts visant à mieux comprendre la contribution de la convection atmosphérique aux transports et circulations atmosphériques.

2. Modes de variabilité, téléconnexions et prévisibilité climatique

L'objectif de cet axe est de mieux décrire et comprendre les modes de **variabilité climatique**, d'identifier les mécanismes qui les gouvernent et assurent leurs téléconnexions ainsi que de quantifier leur niveau de prévisibilité et leurs réponses à des forçages externes. Cet axe couvre un large espace temporel allant **de l'échelle intra-saisonnière à l'échelle géologique**, en incluant le cas des changements climatiques abrupts et **des cycles glaciaires-interglaciaires**.

3. Réponse climatique aux différents forçages anthropiques et naturels et rétroactions physiques et biogéochimiques associées

Cet axe vise à renforcer le développement de **méthodes et d'analyses** permettant de mieux comprendre les mécanismes physiques et biogéochimiques qui contrôlent la réponse climatique (état moyen, variabilité, extrêmes) aux différents forçages anthropiques et naturels. Sur la base de reconstructions, d'observations et de simulations climatiques, il s'agit en particulier de déterminer la confiance qui peut être accordée aux différents résultats de modélisation climatique, d'évaluer la robustesse de ces résultats ainsi que les causes de dispersion entre les modèles, et de proposer des **contraintes observationnelles** permettant d'identifier les modèles les plus crédibles et ainsi d'affiner les projections globales et régionales.

4. Spécificités régionales du climat : compréhension, prévision, descente d'échelles et rétroactions sur le climat à l'échelle globale

Cet axe vise à mieux estimer et comprendre les parts respectives de la grande échelle et des phénomènes locaux sur les **climats régionaux** et l'état du milieu marin, à quantifier leurs interactions, à examiner la prévisibilité de la variabilité locale, à repousser les limites des méthodes actuelles de descente d'échelles pour l'atmosphère, l'océan, la cryosphère et les continents et à mieux relier grandes échelles et échelles régionale.

5. Mécanismes relatifs aux interfaces

L'objectif de cet axe est d'améliorer la compréhension des **processus d'échanges** de matière et d'énergie aux interfaces des enveloppes océan-glace-atmosphère-continents. Cela inclut la compréhension et la prévision des évolutions spatiales et temporelles des différentes composantes du **cycle de l'eau**, ainsi que sur les possibilités de **changements abrupts**, de forte amplitude et/ou **irréversibles**.



Action CYBER

Cycles Biogéochimiques, Environnement et ressources

L'action CYBER vise à approfondir notre compréhension des cycles biogéochimiques et du fonctionnement des écosystèmes marins afin d'appréhender leurs évolutions passées et futures en réponse aux pressions naturelles et anthropiques (dérèglement climatique, événements extrêmes, exploitation des ressources, pollution...). Ceci implique de quantifier les stocks et les flux des éléments biogènes, des éléments en traces et de leurs isotopes, d'étudier les processus liés à la production, transformation et dégradation de matière organique ainsi que son transfert vers les niveaux trophiques supérieurs, ou sa séquestration dans l'océan profond et les sédiments. Le rôle des organismes dans les cycles biogéochimiques doit être considéré, y compris sous l'angle de la biodiversité fonctionnelle. Les processus qui se déroulent aux interfaces doivent être étudiés pour comprendre leurs impacts sur le fonctionnement de l'océan et son rôle dans le système Terre. Les objectifs des thèmes de l'action CYBER sont présentés ci-dessous.

Thème 1. Processus biologiques et biogéochimiques aux différentes échelles clés dans l'océan de surface

Des observations récentes issues de capteurs *in situ*, de satellites ainsi que des simulations numériques suggèrent que les structures méso- et sub-mésoéchelles, telles que les filaments, tourbillons et méandres (1 à 100 km) sont omniprésentes dans l'océan, affectant la distribution des espèces chimiques, la croissance et la distribution du plancton et les processus et flux biogéochimiques qui en découlent. La méso- et la sub-mésoéchelle correspondent à des échelles spatiales et temporelles écologiquement importantes dont il reste à explorer la traduction en fonctions biogéochimiques. La compréhension du contrôle des micro-échelles jusqu'aux échelles plus grandes (régionales à globales, saisonnières à pluri-décennales) sur les éléments biogènes représente un enjeu majeur, de même que les réponses non linéaires des cycles biogéochimiques et biologiques à ces divers forçages. Afin d'affiner nos connaissances des grands cycles de la matière dans l'océan, des études intégrées, couplant la physique, les cycles biogéochimiques, et la biologie des organismes à de multiples échelles sont à considérer, y compris en alliant différents types de données⁸, dont les séries temporelles d'observation et de modélisation.

Thème 2. Processus biologiques et biogéochimiques du milieu mésopélagique au milieu benthique

Pour mieux comprendre et modéliser les cycles biogéochimiques et en particulier les pompes biologique et microbienne à carbone et prévoir leurs réponses aux changements environnementaux globaux, il est essentiel d'améliorer nos connaissances sur les processus couplant la dynamique des particules et leur transport sur l'ensemble de la colonne d'eau au milieu benthique. La question de la qualité de la matière organique pour la zone non éclairée, impliquant des mécanismes de colimitation, les processus de spéciation, ainsi que le lien entre la biodiversité et la biodisponibilité des éléments majeurs et en traces, est primordiale. Les processus et les facteurs de contrôle des interactions entre phases dissoutes et particulaires, organiques et inorganiques, tels que les mécanismes d'agrégation et désagrégation doivent être étudiés. Le rôle et la composition des communautés microbiennes impliquées et les impacts des migrations verticales dans les pompes à carbone doivent être mieux compris. La question des contrôles exercés par les facteurs écologiques (p.ex. composition et structure de l'écosystème), sur le fonctionnement

⁸ Dans le cadre de l'action GMMC de l'appel d'offres LEFE, des flotteurs profileurs biogéochimiques sont mis à disposition. Les porteurs de projets CYBER qui souhaitent utiliser ces flotteurs devront explicitement l'argumenter dans leur projet et effectuer une demande auprès du GMMC (voir l'AAP LEFE GMMC section 3).



des pompes biologique et microbienne représente un verrou majeur qui doit être abordé avec des projets pluridisciplinaires, favorisant l'utilisation de techniques et d'outils émergents.

Thème 3. Cycles biogéochimiques des Éléments en Traces et Isotopes (TEIs) et macro- et micronutriments marins

La compréhension du fonctionnement des écosystèmes océaniques et de leur évolution en relation avec la variabilité climatique naturelle et anthropique dépend en grande partie de notre connaissance de la dynamique des macro- (N, Si, P...) et micro-nutriments (Fe, Mn, Zn, Cu, Cd, Co, Ni...), de leur biodisponibilité, de leur utilisation, de leur transfert trophique et de leur recyclage. Parce que les processus physico-chimiques ou biologiques s'accompagnent d'un fractionnement isotopique ou élémentaire, les TEIs constituent des traceurs (ou « proxies ») de ces processus dans l'océan moderne et passé. Les assemblages faunistiques d'organismes et des composés organiques spécifiques (biomarqueurs) peuvent aussi être utilisés comme traceurs des changements environnementaux.

Les connaissances restant à acquérir sur les fractionnements isotopiques ou élémentaires, et l'usage de nouveaux traceurs permettront une meilleure calibration des « paléo-proxies » destinés à la reconstitution de la variabilité passée des processus biogéochimiques, tels que la production primaire et l'exportation du matériel organique néoformé à la surface des océans, et à mieux estimer l'impact du changement global sur le fonctionnement de l'océan. Paramétrer les « effets vitaux » est notamment nécessaire pour utiliser de manière fiable la composition isotopique et élémentaire des biominéraux et de la matière organique comme traceurs des variables climatiques et environnementales océaniques (niveau de la mer, température, pH, oxygène...). Le développement des approches couplées d'observation en culture et de modélisation devrait permettre d'améliorer l'utilisation quantitative de ces traceurs. Aux interfaces eau-sédiment et croûte océanique-eau, les enjeux résident en une meilleure compréhension des mécanismes biotiques et abiotiques de transformation chimique des composés particuliers (ou adsorbés) et dissous en fonction du contexte physique, physico-chimique, et sédimentaire (y compris la diagenèse précoce).

Thème 4. Diversité fonctionnelle, fonctionnement des écosystèmes et cycles biogéochimiques

La dernière décennie a vu l'explosion de nouvelles approches et de nouveaux savoir-faire issus des approches omiques, de l'imagerie haute-fréquence (y compris in situ) et des techniques isotopiques et de marquage cellulaire pour l'étude de la diversité, des fonctionnalités et de l'activité individuelle des micro-organismes marins, notamment en ce qui concerne la régulation des flux des éléments majeurs et en traces par la structure et la diversité des communautés biologiques. À l'échelle des organismes, l'association des études globales du fonctionnement des communautés (interactome) et de la description de la biodiversité associée à celles des gènes jouant un rôle clé dans les flux biogéochimiques doit permettre des avancées importantes. À l'échelle de l'organisme individuel, un ensemble d'approches descriptives hautement résolutive constitue une voie très prometteuse afin d'étudier la régulation de gènes clés en fonction de paramètres environnementaux abiotiques ou biotiques. La prise en compte des conditions biogéochimiques, des caractéristiques biologiques des organismes et de leur organisation au sein de l'écosystème vise à mieux comprendre la résilience ou la dégradation des écosystèmes, des communautés et de leurs fonctions face au changement global climatique et aux événements extrêmes océaniques (vagues de chaleur, désoxygénation) ou en réponse à l'exploitation des ressources marines.

Thème 5. Fonctionnement de l'océan côtier et flux biogéochimiques aux interfaces

Il est essentiel de comprendre de manière précise la structure et le fonctionnement des écosystèmes côtiers pour estimer leur contribution dans les flux globaux de carbone, de macro-/micro-nutriments et de contaminants et prédire leur trajectoire face aux pressions climatiques et anthropiques croissantes. Cela passe par une amélioration de la quantification des flux chimiques aux interfaces des zones côtières : continent-océan (apports fluviaux, aérosols), colonne d'eau-sédiment (stockage/relargage de polluants et contaminants), et côte-large (transfert par les structures physiques mésoéchelle). La compréhension des



réponses des zones côtières (en termes de structuration et de fonctionnement) face à des perturbations anthropiques et climatiques récurrentes ou extrêmes (crues, pollution, eutrophisation, hypoxie, acidification...) et l'identification d'effets de seuils et des impacts des événements extrêmes sur les réseaux trophiques pélagiques et benthiques en matière de résilience ou de basculement devront être approfondies. Des approches pluridisciplinaires couplées physique-biologie, conduites jusqu'à des échelons prédateurs supérieurs de manière à contribuer à l'approche écosystémique des pêches, devraient permettre la caractérisation de l'évolution des habitats côtiers pour les ressources vivantes sur la base.

Thème 6. Flux biogéochimiques à l'interface océan-atmosphère

Les échanges avec l'atmosphère impactent directement ou indirectement les radiations solaires et le climat, mais également la production primaire et les écosystèmes globalement et dans des zones d'intérêt (upwellings, zones de minimum d'oxygène ou de formation d'eaux profondes). Une meilleure connaissance des échanges d'éléments biogéochimiques majeurs et traces, de leurs impacts dans le fonctionnement des écosystèmes (incluant les problématiques majeures de la désoxygénation et de l'acidification) et de leur variabilité spatio-temporelle extrême, est nécessaire à des échelles allant de l'intra-saisonnier au décennal. Les projets à l'interface océan – atmosphère devront se concentrer sur les échanges de gaz (en particulier oxygène, gaz à effet climatique et toxiques) ; les émissions d'aérosols contrôlés par des facteurs biologiques et biogéochimiques, des liquides volatils et particules qui interviennent dans la formation des nuages et l'albédo de la planète ; le rôle et devenir des aérosols pénétrant dans l'océan (solubilisation, rôle de la matière organique, biodisponibilité, impact (fertilisation ou pollution), devenir dans la colonne d'eau) ; le rôle et le devenir de la glace de mer et son impact sur la biogéochimie et les écosystèmes marins et dans le relargage de gaz d'intérêt climatique vers l'atmosphère.



Action GMMC

Groupe Mission Mercator-Coriolis

Le périmètre de l'action GMMC est l'Océanographie Opérationnelle (OO) dont les missions principales sont la description en temps réel et la prévision opérationnelle de l'océan dans sa diversité (physique, biogéochimie, banquise) et son étendue (globale, mers marginales, surface et profondeur), la production de réanalyses à haute résolution sur les décennies récentes et la production de services océanographiques hautement qualifiés. Les projets de recherches fondamentales et appliqués pouvant bénéficier au développement de l'OO sont les bienvenus. Le GMMC demande aux équipes retenues de présenter leurs travaux lors de ses Journées Scientifiques annuelles.

1. Spécificités du GMMC

Outre les formats de projets proposés par LEFE, le GMMC sollicite également deux autres types de projets, l'un pour favoriser la coopération avec Mercator Océan International (MOI) et l'autre pour l'attribution des flotteurs Argo.

Projet en Partenariat Renforcé. D'une durée optimale de 3 ans, ce type de projet collaboratif sera proposé par un consortium d'équipes de recherche auquel sera associé du personnel de MOI qui apportera une contribution significative à l'étude. Le soutien accordé pouvant être important, il est recommandé que sa soumission soit précédée d'une Lettre d'Intention (LI) (brève description du projet, des partenaires et du budget estimé en moins de 3 pages).

Mise à disposition de flotteurs profileurs Argo. Les demandes de flotteurs Argo doivent être adressées au GMMC selon une procédure précise qui est décrite en Section 3. Des annexes spécifiques pour toutes demandes sont disponibles sur le site de soumission.

2. Thématiques scientifiques pour les projets

La pertinence d'un projet vis-à-vis des missions de l'OO française est un facteur important pour son évaluation, mais doit être considéré dans un sens large. Des études en amont de l'OO comportant des travaux de nature fondamentale (processus, théorie, algorithmique) sont les bienvenues. Des projets spécifiques de recherche et/ou de développement en aval d'applications du Service Marin Copernicus (ou Copernicus Marine Service) et dans le domaine côtier, cherchant à tirer le meilleur profit du service Marin Copernicus sont également sollicités.

Les activités de recherche couvrant ces enjeux se déclinent principalement (mais pas exclusivement) autour des axes thématiques et méthodologiques brièvement décrits ci-après. Le bureau du CS⁹ pourra être contacté à l'avance par les proposant afin d'affiner la pertinence de leur projet.

2.1. Physique et dynamique océanique

Les thèmes scientifiques prioritaires (non exclusifs) sont la représentation :

- i. de la marée à l'échelle globale et régionale,
- ii. de la circulation océanique (3D) et des propriétés de la couche de mélange océanique,
- iii. des phénomènes océaniques de la grande échelle aux fines échelles et leurs interactions

⁹ william.llovel@ifremer.fr



2.2. biogéochimie/biologie

Il s'agit ici de favoriser l'émergence de nouvelles approches couplant la physique, la biogéochimie et la biologie. Ces projets pourront être complémentaires de demandes de flotteurs profileurs BioGeoChemical-Ago (BGC-Argo) dont les déploiements devront être en cohérence avec les programmes globaux et/ou régionaux d'observations à long terme des océans (GOOS et OOS régionaux).

2.3. Modélisation numérique : Assimilation de données, couplages, conception de systèmes d'observations, quantification d'incertitude.

L'objectif de l'appel d'offre est de susciter des études scientifiques permettant :

- i. de faire progresser les systèmes d'assimilation de données pour les composantes physique et biogéochimique de l'océan.
- ii. de développer les systèmes d'observation nécessaires à la prévision opérationnelle ou la construction des réanalyses.

Sont attendus ici des projets en modélisation répondants aux objectifs de l'OO. De plus, les projets multi actions GMMC-MANU sont fortement encouragés.

2.4. Autres thématiques scientifiques

Les projets relevant d'autres thématiques scientifiques non évoquées ci-dessus, dont on démontrera le potentiel pour le développement (à court ou moyen-terme) de l'OO ou de ses services, ainsi que l'exploitation des masses de données produites, seront reçus favorablement.

3. Mise à disposition de flotteurs profileurs Argo / BGC-Argo

Le présent volet concerne la mise à disposition, le déploiement, et le suivi de flotteurs de type Argo, BGC-Argo et Deep-Argo (voir Annexe 1 pour les caractéristiques de différents types de flotteurs) pourront être mis à la disposition de projets scientifiques dans le cadre de cet appel d'offre. Les demandes de flotteurs doivent être soumises au GMMC en suivant la procédure décrite ci-après.

Les demandeurs doivent télécharger les annexes flotteurs 1 à 4 dans lesquelles des informations pratiques sont décrites¹⁰.

La demande de flotteurs sera faite suivant le schéma proposé dans l'Annexe 2. Les proposants doivent OBLIGATOIREMENT remplir ce formulaire et le transmettre « en ligne » via la procédure électronique du site LEFE pour que la demande soit prise en compte. L'action GMMC ne s'occupe que de la mise à disposition des flotteurs, et le proposant doit se préoccuper des coûts liés au transport de matériel (Annexe 2, section logistique). Si la demande ne concerne qu'une mise à disposition de flotteurs, le porteur doit soumettre dans la section « LEFE-GMMC-flotteurs uniquement ». Si une demande financière est associée à la mise à disposition, ou si la demande flotteur est inscrite dans un projet plus vaste demandant des ressources financières, la procédure standard de soumission à LEFE doit être suivi. Dans ce cas, l'Annexe 2 est toujours obligatoire.

Dans le cas d'une réponse positive, le PI du projet devra suivre les indications de l'Annexe 3 pour les flotteurs Argo, Argo-O2 de deep-Argo, et de l'Annexe 4 pour les flotteurs BGC-Argo. Les PIs s'engagent par ailleurs à assurer un suivi sur la qualité des données acquises et à interagir avec les équipes du SNO Argo-France.

¹⁰ Disponibles sur le site de soumission LEFE.



Pour les flotteurs Argo (T/S), la mise à disposition est recevable pour des demandes visant :

1. au maintien opérationnel du réseau Argo ;
2. au soutien des actions de terrain spécifiques et/ou ponctuelles, des sites d'observation pérennes ou des chantiers régionaux.

Dans le premier cas, la mise à disposition sera encouragée pour des déploiements dans les zones faiblement couvertes ou à forte dispersion¹¹. Les propositions devront clairement identifier leur complémentarité par rapport aux déploiements prévus dans le cadre international du projet Argo¹². Dans le deuxième cas, les proposant sont encouragés à argumenter le rôle des flotteurs dans le cadre de l'expérience ou du site d'observation, notamment pour en expliciter l'éventuelle complémentarité avec d'autres plateformes d'observation.

Pour les flotteurs BGC-Argo (T/S, Chlorophylle, CDOM, Irradiance, PAR, coefficient de rétrodiffusion, O2) ainsi que les Argo-O2 aucune zone prioritaire de déploiement n'est actuellement suggérée. Les porteurs doivent toutefois expliquer la pertinence de l'utilisation des flotteurs demandés dans le cadre de la mise en place de systèmes de contrôle de qualité des paramètres mesurés, ou de l'homogénéisation de ces paramètres avec les observations spatiales; ou si opportun dans le cadre d'études visant à la validation des modèles biogéochimiques opérationnels et/ou à l'assimilation des données Argo dans les mêmes modèles.

Pour les flotteurs Deep-Argo, les zones de déploiement prioritaires sont l'océan Atlantique (du nord au sud) et l'océan Austral. Toutefois, des déploiements dans d'autres zones sont parfaitement envisageables. Les Pis s'engagent à assurer un suivi sur la qualité des données et à interagir avec les équipes du SNO Argo-France. Le LEFE-GMMC recommande aux porteurs de prendre contact avec V. Thierry (vthierry@ifremer.fr) avant toute demande pour s'informer sur le fonctionnement des Deep-Argo et le travail requis pour le suivi et la qualification des données.

¹¹ Voir www.ocean-ops.org/ftp/Argo/Maps/density66.png & www.ocean-ops.org/share/Argo/Maps/plans-network.png

¹² Voir <http://archimer.ifremer.fr/doc/00374/48526>



Action MANU

Méthodes Mathématiques et Numériques aux Interfaces

L'usage des « méthodes mathématiques et numériques (MMN) » au sens large est devenu indispensable pour l'étude de l'atmosphère et de l'océan, dans tous leurs aspects dynamiques, physiques, chimiques, et biologiques. Ces méthodes interviennent à tous les niveaux (modélisation, assimilation de données, quantification des incertitudes, analyse de données et apprentissage), et font appel à des notions mathématiques, algorithmiques et à des moyens de calcul de plus en plus sophistiqués. Les MMN ont permis ces dernières années des avancées scientifiques remarquables et l'amélioration des prévisions numériques dans de nombreux domaines OA, et leur rôle va encore s'amplifier dans les années à venir, ce qui en fait désormais un véritable sujet de recherche que cet appel à projets propose de soutenir.

Le périmètre scientifique des projets attendus en réponse à l'action MANU peut être caractérisé par leur contenu méthodologique (comportant un fondement mathématique solide), éventuellement numérique (avec recours au calcul sur ordinateur), et générique (non totalement lié à une application ou un modèle spécifique). Ceci n'exclut bien sûr pas, bien au contraire, la présence d'un volet applicatif dans les projets, l'innovation pouvant émerger d'un domaine d'application spécifique. Les projets peuvent mentionner un lien éventuel avec les thématiques couvertes par le PNTS. Comme indiqué dans le texte de l'action GMMC (section 2.3), les projets multi-actions MANU-GMMC répondant aux objectifs de l'océanographie opérationnelle sont encouragés.

Une liste non exhaustive d'axes de recherche est donnée ci-dessous. ***Lorsque la pertinence pour le domaine OA de ces développements méthodologiques sera démontrée dans la réponse à l'AAP, les applications pourront concerner d'autres domaines scientifiques.***

• Modélisation : approches mathématiques, numériques et stochastiques pour

1. Améliorer les modèles physiques et mathématiques ; développer les méthodes permettant de mieux prendre en compte les différents types de couplages (échelles / milieux / physiques / domaines);
2. Développer des approches « alternatives » (modèles de complexité réduite, approches mixtes déterministes/statistiques, paramétrisations...);
3. Analyser des systèmes dynamiques (p.ex. pour les modèles biogéochimiques).

• Assimilation de données

Progresser sur des difficultés méthodologiques récurrentes (modélisation des covariances d'erreur, prise en compte des biais et des erreurs modèles...) ou en forte émergence (traitement des fortes non-linéarités et de la non-gaussianité, application à des modèles et des observations multi-échelles et/ou multi-sources, prise en compte de nouveaux types de données comme les images...); estimer les paramètres d'un modèle; développer de nouvelles applications, notamment la prévision décennale et les projections climatiques; caractériser l'optimalité du triptyque modèle/données/méthode d'assimilation.

• Quantification des incertitudes

Développer les méthodes (variationnelles et stochastiques) d'analyse de sensibilité afin d'identifier et de hiérarchiser les sources d'incertitudes (entre autres pour les sorties de modèles climatiques) ; mettre au point des méthodes de perturbation pour les systèmes d'assimilation et les simulations d'ensemble ; identifier et représenter les erreurs en modélisation directe et inverse (y compris pour les modèles (« opérateurs ») d'observation); utiliser des approches multi-modèles et travailler sur l'optimisation de systèmes d'observations.



- **Données, analyse et apprentissage**

Exploitation de masses de données issues d'observations ou de sorties modèles (à l'aide d'outils nouveaux ou issus de disciplines extérieures à la communauté océan-atmosphère: statistiques avancées, méthodes d'apprentissage, traitement du signal et des images, visualisation scientifique...) à des fins de classification, d'étude de processus, de paramétrisations, de développement de modèles de complexité réduite et pour des données complexes (grande dimension, chaos, extrêmes, non-stationnarités...).

- **Nouvelles technologies**

Développements d'algorithmes et utilisation d'outils adaptés aux nouvelles technologies logicielles et matérielles (supercalculateurs à 10^6 - 10^7 processeurs, GPU, entrées/sorties et stockage des données, nouveaux systèmes d'observations, langages dédiés...), Visualisation avancée.

- **Réduction de l'empreinte énergétique**

Analyse et optimisation des performances énergétiques des algorithmes. Répartition des coûts de calcul/énergétiques : complexité des modèles VS complexité des méthodes de quantification d'incertitudes. Spécification de plan d'expériences ...