

Projet *Equipex*



Novel Argo Ocean observing System

OBSERVATION
GLOBALE
DES OCÉANS
PRÉPARATION
DE LA NOUVELLE
DÉCENNIE ARGO

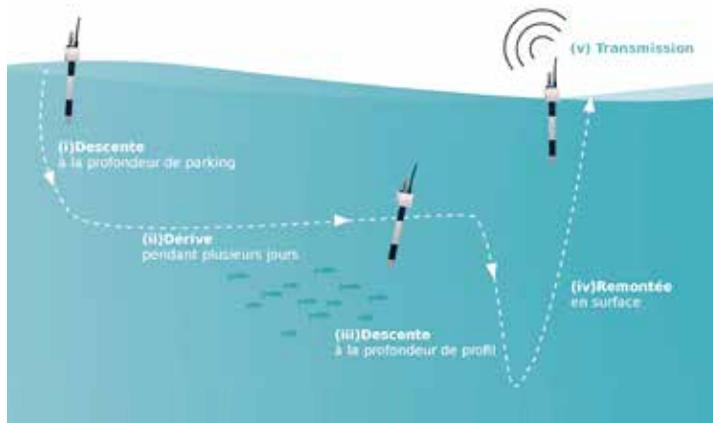
Réseau international Argo

RÉVOLUTION EN OCÉANOGRAPHIE



4 000
flotteurs profilants

dans le réseau international qui mesurent la température et la salinité sur toutes les mers du globe et jusqu'à 2 000 m de profondeur.



Le cycle Argo d'un profileur dure typiquement 10 jours et se décompose en 5 phases: (i) la descente, (ii) la dérive en profondeur pendant 9 jours, (iii) la descente à la profondeur de profil (2000 m pour Argo ou BGC-Argo, de 4000 à 6000 m pour Deep-Argo), (iv) le profil de remontée, pendant lequel les données scientifiques sont acquises, et (v) la transmission satellite. © Euro-Argo

Cycle Argo

Argo a révolutionné l'observation des océans en permettant un suivi global et en temps quasi-réel de l'océan en surface et en profondeur.

Argo est une composante essentielle du système mondial d'observation des océans et du climat.



Fournir des données essentielles pour contraindre des modèles d'analyse et de prévision océanique, pour initialiser des modèles couplés océan-atmosphère de prévision saisonnière et décennale et pour valider les modèles climatiques.



Apporter l'information nécessaire à l'étalonnage des capteurs et la validation des données satellitaires.



Détecter la variabilité climatique aux échelles saisonnières et décennales, et observer à long terme le changement climatique dans les océans.

La France joue un rôle important dans le programme Argo depuis son lancement à la fin des années 90. **La France représente près de 10 % de l'effort international.**

L'Ifremer via le centre de données Coriolis gère l'un des deux centres globaux de distribution des données Argo (GDAC) ainsi que le centre de traitement des données françaises et de plusieurs pays européens (DAC).

Grâce à un partenariat public/privé entre l'Ifremer et la PME nke Instrumentation, la France est un **leader européen** dans le **développement des flotteurs Argo** (flotteurs Provor et Arvor).

Le centre international d'information Argo (AIC) dans le cadre de la structure internationale JCOMMOPS est également hébergé à l'Ifremer.



La contribution française à Argo (Argo-France) est organisée dans le cadre du partenariat Coriolis qui regroupe les principales institutions françaises impliquées dans l'observation des océans.

Argo-France fait partie de la feuille de route nationale du ministère français de la recherche sur les grandes infrastructures de recherche (TGIR). À l'échelle régionale, Argo-France est soutenu par les observatoires de Brest et de Villefranche-sur-Mer (IUEM et OOV OSU).



NAOS Novel Argo Observing System
sélectionné au programme Equipex
"Investir l'avenir"

Projet Equipex NAOS

PRÉPARER LES NOUVEAUX DÉFIS

Pour comprendre et prévoir l'évolution du climat et de l'océan

maintenir le réseau Argo sur les prochaines décennies et assurer son évolution est un enjeu majeur.

Objectifs

#1

Consolider la contribution française à la mission principale d'Argo: mesures de la température et de la salinité jusqu'à 2 000 m de profondeur.

#2

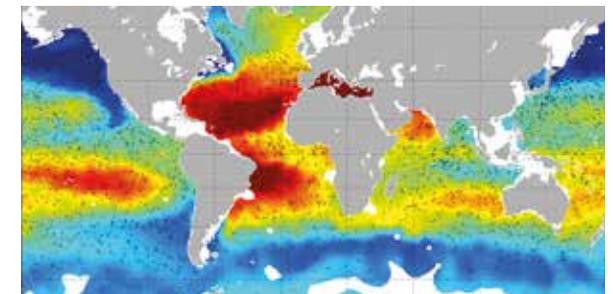
Développer la future génération de flotteurs profilants français Argo: flotteurs plus performants, plus « intelligents », capables d'embarquer des capteurs biogéochimiques, d'atteindre de plus grandes profondeurs (4000 m) et d'observer les régions polaires.

#3

Préparer la prochaine phase du programme Argo avec une extension aux grands fonds (Deep-Argo), à la biogéochimie (BioGeoChemical Argo) et aux mers polaires. Trois expériences pilotes ont été menées:

- > flotteurs avec capteurs biogéochimiques en mer Méditerranée,
- > flotteurs avec capteurs biogéochimiques en Arctique,
- > flotteurs profonds avec capteurs d'oxygène en Atlantique Nord.

Couverture flotteurs Equipex NAOS



Financiers



Partenaires scientifiques



Partenaires industriels



Télécommunications par satellite



Industrialisation et commercialisation des flotteurs Argo

WP1 Consolidation de la contribution française à Argo

Resp. Ifremer
2012 > 2019

WP5 Flotteurs profonds avec capteurs d'oxygène en Atlantique nord

Resp. IUEM/LPO
2015/2016: début des expériences scientifiques

5
workpackages
2011 → 2020

WP2 Développement de la nouvelle génération de flotteurs Argo

Resp. Ifremer
2011 > 2016: développements technologiques et tests en mer

WP4 Flotteurs avec capteurs biogéochimiques en Arctique

Resp. Takuvik (CNRS/Université Laval)
2015/2016: début des expériences scientifiques

WP3 Flotteurs avec capteurs biogéochimiques en Méditerranée

Resp. UPMC/LOV
2012: expériences scientifiques



12 pays européens
en 2020

Site Ifremer
Brest



Organise et fédère les contributions européennes à Argo.

La France coordonne **l'infrastructure de recherche européenne Euro-Argo**, organisation et structure juridique européenne à long terme (Euro-Argo ERIC).

Nouvelle génération

FLOTTEURS ARGO



Profileur Deep-Arvor

En 50 ans, l'océan a absorbé plus de **90% de l'excès de chaleur reçu par la Terre dû aux activités humaines**, entraînant un réchauffement de l'océan global qui pénètre bien au-delà de 2000 m de profondeur.

Pour traquer ce signal du changement climatique dans les profondeurs de l'océan, le projet NAOS a développé le profileur Deep-Arvor.

Les développements technologiques réalisés dans le cadre du projet NAOS répondent au besoin de **consolider la contribution française à Argo**, et de **développer les extensions Deep-Argo et BGC-Argo** (bio-géo-chimie).



Profileurs sous la glace

Les régions polaires jouent un rôle clé dans la régulation du climat, mais son observation est complexe.

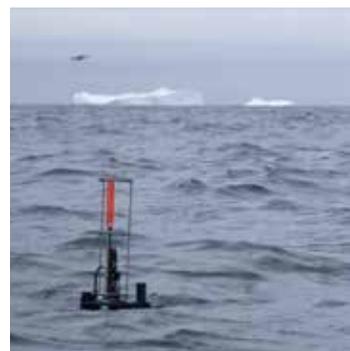
Le projet NAOS a permis d'y effectuer de nombreuses expérimentations, grâce à un **algorithme de détection de glace** (ISA: Ice-Sensing Algorithm) implanté sur le Provor-CTS5 Payload, et qualifié lors de plusieurs déploiements en baie de Baffin (Arctique). Depuis, cet algorithme équipe les profileurs Arvor et Deep-Arvor.



Flotteur ProVal durant la mission Sagitta 2017.
© Edouard Leymarie LOV

Exemple de réalisation avec le profileur ProVal, conçu en partenariat avec le CNES pour effectuer des mesures radiométriques *in situ* afin de valider les produits satellitaires « couleur de l'océan ».

Flotteur ProIce durant la campagne Green-Edge 2016.
© Pascal Bourgain



Profileur Arvor

Le projet NAOS a permis d'entreprendre des travaux sans précédent de **fiabilisation** et d'**amélioration** du profileur Arvor produit par nke Instrumentation.

Le + déployé
au monde
en 2018 et 2019

96%
des Arvor toujours actifs
après 1000 jours en mer,
contre 76% auparavant.

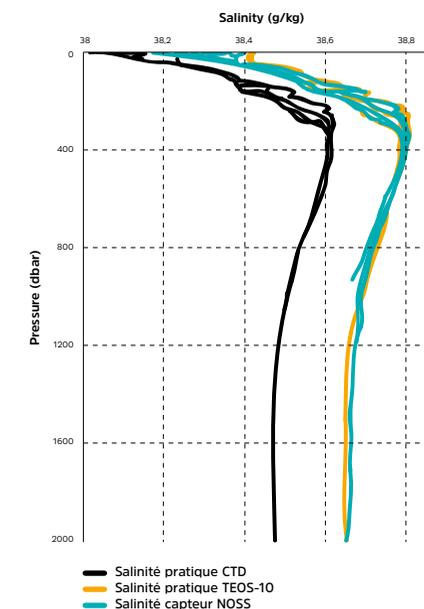


Capteur NOSS

Les mesures CTD classiques ne prennent pas en compte l'influence des composés non ioniques de l'eau de mer.

Le capteur NOSS mesure la **salinité absolue**, grâce à un **procédé de mesure réfractométrique**.

Le projet NAOS a permis de:
➤ miniaturiser et fiabiliser ce capteur,
➤ l'intégrer sur le profileur Provor pour l'expérimenter en mer lors de nombreux profils à 2000 m.



Mise à l'eau de l'Arvor. © Hanna Leniec-Koper



Capteur NOSS. © nke Instrumentation

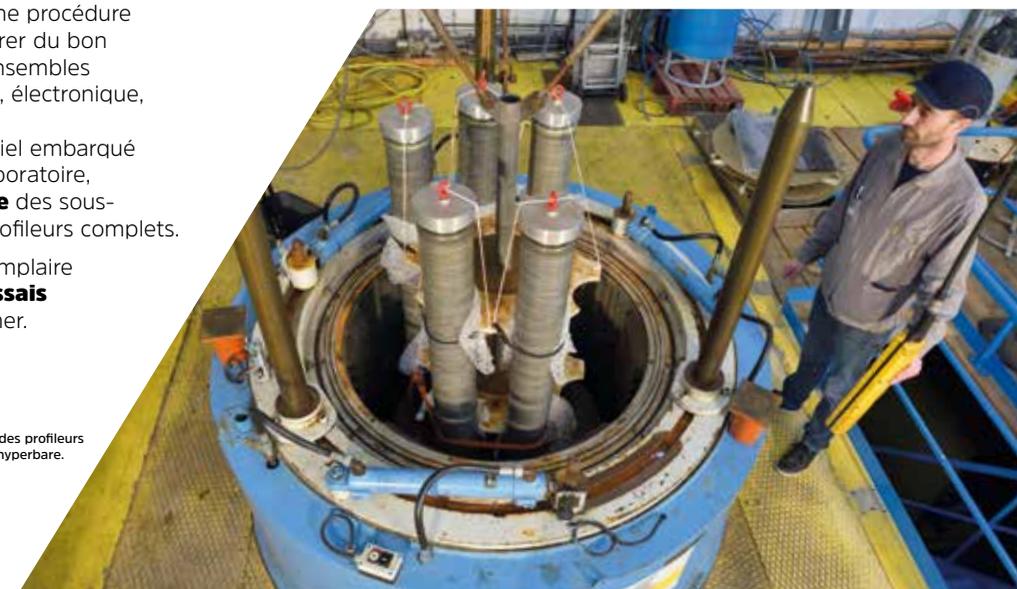
Moyens d'essais

Chaque prototype de profileur suit une procédure de qualification qui permet de s'assurer du bon fonctionnement des tous ses sous-ensembles (capteurs, hydraulique, transmissions, électronique, etc.). Parmi les plus notables:

- une qualification poussée du logiciel embarqué sur un **banc de simulation** en laboratoire,
- des **essais en caisson hyperbare** des sous-ensembles principaux, puis des profileurs complets.

En phase de production, chaque exemplaire de profileur est **testé au bassin d'essais** à l'Ifremer, avant d'être déployé en mer.

Qualification des tubes des profileurs Deep-Arvor en caisson hyperbare.
© O. Dugornay/Ifremer



Déploiement du flotteur Deep-Arvor.
© Kevin Balem LOPS

4000 m
de profondeur

88%
du volume des océans surveillé



Profileur français BGC

Les profileurs Provor BGC intègrent de plus en plus de **capteurs biogéochimiques**. Cela impose une architecture matérielle et logicielle souple.

Le Provor CTS5-Payload, développé en ce sens, se compose:

- d'une carte électronique dédiée à la gestion des déplacements du profileur,
- d'une carte Payload dédiée à la gestion des capteurs.

Déploiement d'un Pro-Ice (équipé de capteurs BGC) en Baie de Baffin (site BB2, juillet 2017, Navire Amundsen, mission AN1702). © Claudie Marec



Flotteurs avec capteurs biogéochimiques

EN MÉDITERRANÉE

Objectif

Démontrer la faisabilité d'un réseau de flotteurs BGC-Argo à l'échelle d'un bassin océanique et de sa capacité à augmenter nos connaissances sur les interactions physico-biogéochimiques de l'océan.

À l'exception d'une fine couche de surface observée par satellite, la biogéochimie océanique est sous-échantillonnée, et reste par conséquent encore méconnue. Pourtant, les enjeux sociétaux liés aux impacts du changement climatique sur les écosystèmes marins alertent sur une urgence :

→ Améliorer nos capacités observationnelles

pour identifier les principaux processus qui contrôlent la dynamique de la biosphère océanique.

La mer Méditerranée est apparue comme un **candidat idéal** pour la mise en œuvre de ce réseau pilote. Bassin océanique de taille réduite, la Méditerranée est caractérisée par plusieurs processus d'importance, comme :

- > la formation d'eaux profondes et intermédiaires,
- > l'existence des trois cellules thermohalines actives.

Au début de NAOS, la plateforme PROVIO (développée par l'Ifremer et industrialisée par nke Instrumentation dans le cadre de l'ERC remOcean) avait montré ses capacités techniques dans le cadre de plusieurs déploiements effectués dans des régions océaniques différentes et contrastées.

Il manquait, en 2010, un véritable **système d'observation**, pluri-annuel et à l'échelle d'un bassin océanique, basé sur les BGC-Argo.

En 2010, ce type d'expérience pilote était aussi recommandé par la communauté internationale, comme passage obligé avant la mise en œuvre d'un réseau global.

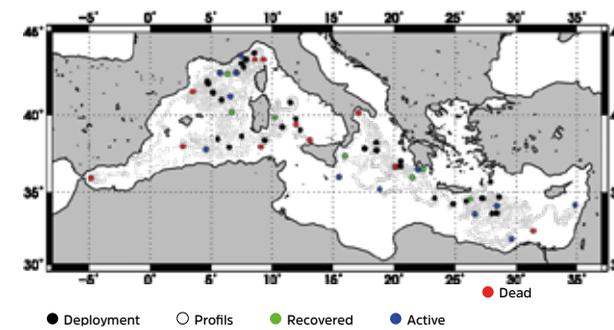
La Méditerranée, région pilote

Dans une bande latitudinale relativement limitée, la Méditerranée présente des **régimes trophiques très variés**, qui vont de l'extrême oligotrophie de sa partie la plus orientale, jusqu'à la saisonnalité typique des zones tempérées qui caractérise le secteur Nord-Occidental du bassin.

C'est cette gamme de saisonnalités, synthétisée par une biogéographie Méditerranéenne dérivée par 20 ans d'observations satellitaires qui a été utilisée pour piloter les déploiements et la stratégie d'échantillonnage de

**26 flotteurs
BGC-Argo NAOS**

Position des profils BGC-Argo du réseau NAOS en Méditerranée.



3 vagues de déploiement

une tous les 3 ans environ (2012-2013, 2015, 2018)

NAOS WP3 :
→ **observation constante du bassin pour environ 8 ans.**

Récupération et redéploiement

+ de **4 000 profils** obtenus sur l'ensemble du bassin début 2020

6 flotteurs récupérés redéployés successivement

5 flotteurs encore actifs

Plus de 65% des flotteurs déployés ont dépassé les **250 jours d'opération en mer** avec un taux de réussite comparable à celui de flotteurs Argo « Core »

1/3 de flotteurs redéployés

+ de **30 publications** 2010 > 2020

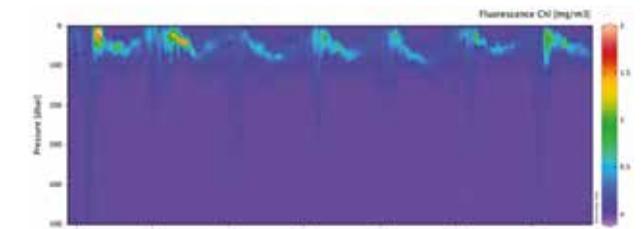
Exploitation

L'ensemble des données récoltées (distribuées en accès libre dans le cadre de la politique Argo) a déjà commencé à être exploité, notamment en forte interaction avec la communauté scientifique du Chantier Méditerranée de l'INSU « Mistral » et de son volet biogéochimique « MERMEX ».

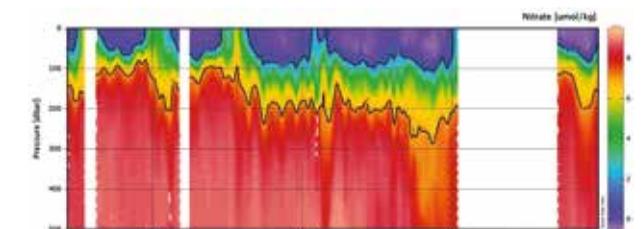


Les flotteurs NAOS ont contribué au dispositif expérimental des campagnes DEWEX, PEACETIME et PERLE. Ils ont également permis l'un des premiers travaux sur l'**assimilation des flotteurs BGC-Argo dans un modèle opérationnel physico-biogéochimique.**

Chlorophylle et nitrates en Méditerranée Nord Occidentale



Évolution de la concentration en chlorophylle obtenue à partir des flotteurs BGC NAOS.



Évolution de la concentration en nitrates obtenue à partir des flotteurs BGC NAOS.

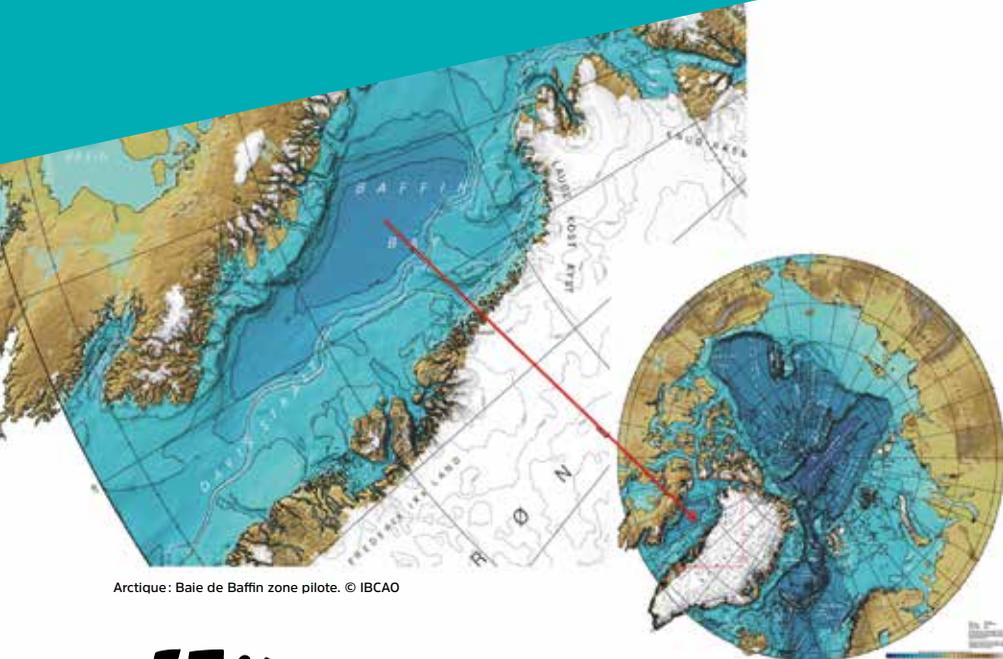


Monitoring long terme qui montre la série temporelle de profils Nitrates et Chlorophylle-a dans la Méditerranée Nord Occidentale.

Le WP3 de NAOS a non seulement démontré la **faisabilité d'un réseau BGC-Argo** à l'échelle du bassin, mais il a aussi fortement contribué à la **compréhension des processus physico-biogéochimiques qui contrôlent les écosystèmes méditerranéens.**

Flotteurs avec capteurs biogéochimiques

EN ARCTIQUE



Arctique, espace pilote NAOS

Le changement climatique a provoqué des **modifications fondamentales des biotopes marins** dans l'océan Arctique. C'est pourquoi ce site a été retenu.

Ces flotteurs BGC Argo sont l'outil complémentaire de la télédétection et des missions océanographiques sur cet espace pilote.

Croissance de la participation française au réseau international Argo

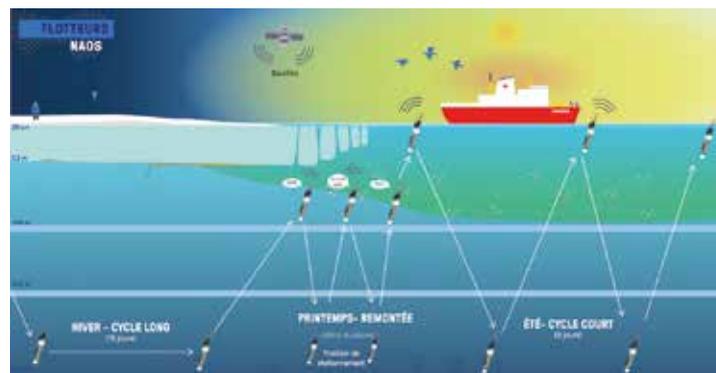
+ 57%
de production primaire
pan-arctique

entraînée par la diminution de l'étendue de la banquise en été dans l'océan Arctique au cours des deux dernières décennies.

Un élément important de la production primaire dans l'océan Arctique est le **bloom printanier du phytoplancton** qui se développe à la lisière de la glace, à la fois sous la glace de mer et dans les eaux libres: il représente une grande partie de la production primaire annuelle.

Pour étudier la **dynamique des blooms de phytoplancton**, il faut disposer de séries temporelles, à haute fréquence et sur toute l'année, de la phénologie du phytoplancton et de ses facteurs de croissance.

Cycle du Pro-Ice



© J.Sansoulet

Déploiement flotteur Pro-Ice. © P. Bourgain

Flotteur BGC nouvelle génération

Grâce à NAOS et le développement d'une **nouvelle génération de flotteurs BGC** (Pro-Ice), Takuvik a pu mener son étude dans la Baie de Baffin à partir de 2016.

Ces déploiements de flotteurs ont été réalisés en tant qu'expérience pilote NAOS, dans le cadre du **projet de recherche Green Edge**: www.greenedgeproject.info

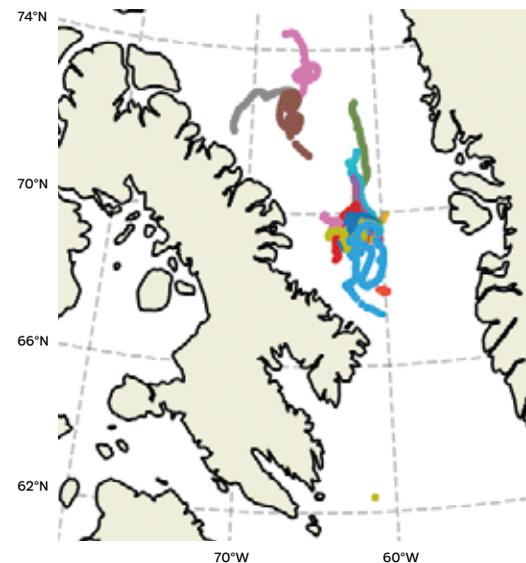
Les **flotteurs BGC** (Pro-Ice) de technologie Provor-CTS5-Payload, sont équipés de capteurs biogéochimiques:

- > oxygène dissous,
- > nitrate,
- > fluorescence de la Chlorophylle-a,
- > fluorescence de la matière organique dissoute (CDOM),
- > charge particulaire,
- > radiométrie.

Ils ont été **adaptés à une navigation en zone englacée** et reportent leur surfacage pour transmission de données s'ils détectent de la glace en surface.

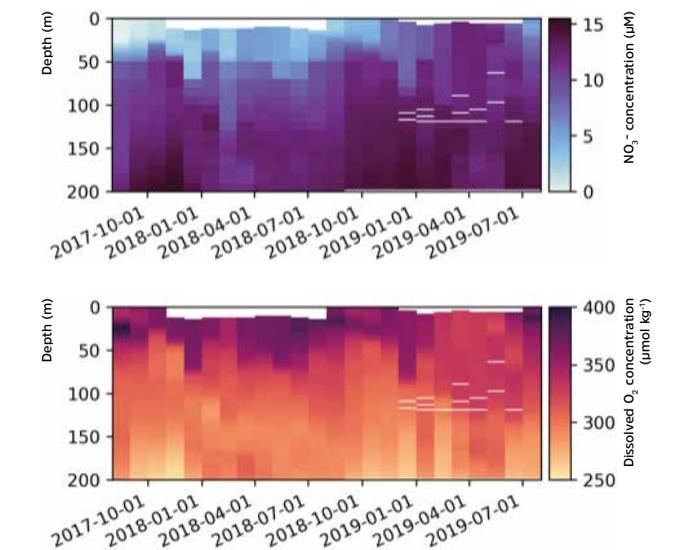
Trajectoires de Pro-Ice

Entre 2016 et mi 2020 en Baie de Baffin.



Nitrate et oxygène en Baie de Baffin

Concentrations mesurées à l'aide des profileurs BGC sous glace.



Ces données sans précédent ont permis d'**analyser des cycles annuels complets** de la biomasse phytoplanctonique, de l'hydrographie, de l'éclairement et de la couverture de glace de mer pour **déchiffrer les facteurs environnementaux** qui contrôlent le déclenchement de la floraison printanière.

Flotteurs profonds avec capteurs d'oxygène

EN ATLANTIQUE NORD

L'océan profond, le grand inconnu

En raison du nombre limité de données d'observation, **les profondeurs océaniques** en dessous de 2000 m **restent largement inconnues** à ce jour. Les courants moyens et les propriétés moyennes des masses d'eaux profondes ainsi que leurs variabilités doivent pourtant être quantifiés pour pouvoir évaluer :

- > leur rôle dans le stockage de l'excès de chaleur reçu par la Terre dû aux activités humaines,
- > l'élévation du niveau de la mer due à la dilatation de l'océan sous l'effet du réchauffement,
- > la propagation des anomalies climatiques dans l'océan.

De telles informations sont cruciales pour **améliorer les modèles de projections climatiques**

23 flotteurs Deep-Arvor

acquis par le projet NAOS

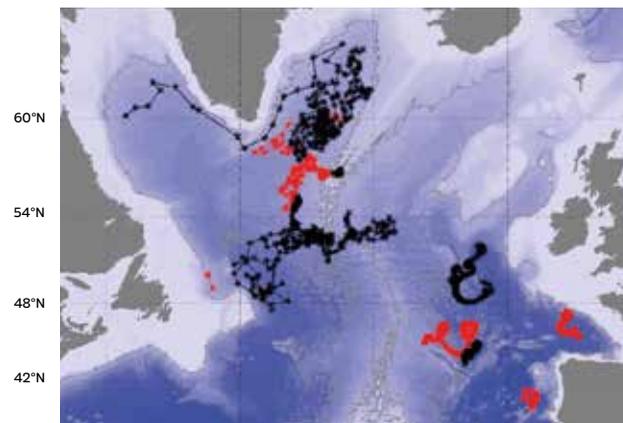
Ceux-ci ont été déployés majoritairement dans l'Océan Atlantique Nord subpolaire pour démontrer la faisabilité technique et l'intérêt scientifique de faire des mesures au-delà de 2000 m de profondeur (Figure 1).



L'**océan Atlantique Nord subpolaire** est en effet le lieu où les eaux de surface venues du sud se densifient et plongent vers les grandes profondeurs. En contact avec l'atmosphère, ces masses d'eaux de surface transportent la **trace du climat récent** et en plongeant, contribuent à la séquestration des signaux climatiques (comme l'excès de chaleur ou le CO₂ dû aux activités humaines) dans l'océan profond.

Flotteurs français en Atlantique Nord

Figure 1



* Flotteurs Deep-Arvor NAOS * Flotteurs de projets complémentaires

Objectif #1

Comprendre comment les signaux climatiques pénètrent et voyagent dans l'océan

Objectif #2

Initier un réseau Argo-profond dans ce bassin

Découverte de nouvelles routes

De manière surprenante, les flotteurs déployés dans une faille de la dorsale médio-Atlantique vers 50°N de latitude n'ont pas suivi la trajectoire vers le nord des courants dominants. L'un d'entre eux a même mis en évidence l'existence d'une **nouvelle route profonde vers le sud** qui n'avait jamais été observée directement jusqu'à présent (Figure 2).

Figure 2a: Carte des courants moyens profonds (Daniault et al. 2016).

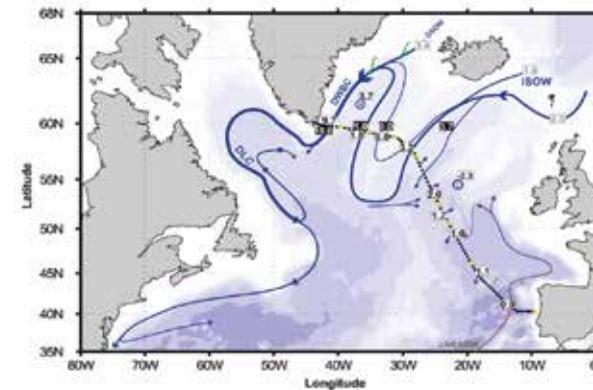
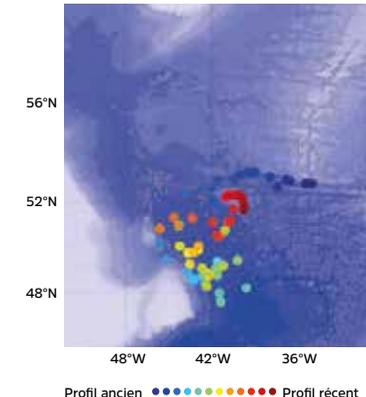


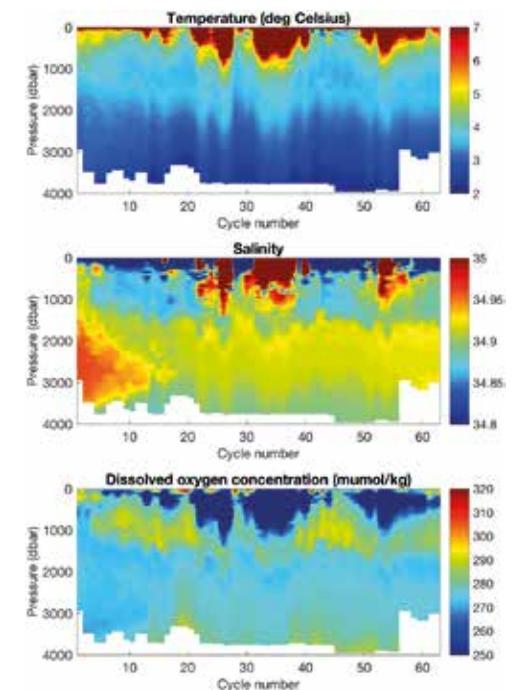
Figure 2b: Trajectoire du flotteur 6901758 déployé dans la zone de Fracture Charlie Gibbs.



Grâce aux données des flotteurs Deep-Arvor NAOS, les scientifiques du projet NAOS ont également observé **comment une masse d'eau jeune récemment formée au voisinage de l'Islande et circulant à 2750 m dans un chenal profond se mélangeait avec une masse d'eau plus ancienne sous l'action des courants de surface particulièrement énergétiques** à cet endroit.

Pour obtenir ces résultats, ils se sont appuyés sur les données de concentration d'oxygène dissous dans l'eau acquises par les flotteurs Deep-Arvor (Figure 3). De cette donnée il est possible de **déduire l'âge relatif d'une masse d'eau** représentant le temps écoulé depuis le dernier contact de la masse d'eau avec l'atmosphère. Ainsi, plus une masse d'eau est jeune plus sa concentration en oxygène est élevée; et vice-versa.

Figure 3: Données de température, salinité et concentration en oxygène dissous le long de la trajectoire du flotteur Deep-Arvor 6901758.



Fort du **succès du projet NAOS** et d'autres expériences pilotes menées dans d'autres régions de l'océan (ex.: Pacifique sud-ouest), le programme Argo s'étoffe d'une composante pérenne Deep-Argo avec l'objectif de :

maintenir en opération 1250 flotteurs profonds

uniformément répartis dans l'ensemble des océans.



Dans la continuité du projet NAOS, la France s'engage à contribuer au réseau Deep-Argo et à sa mise en place.



Flotteur Deep-Arvor. © P. Rousseaux / Ifremer

Contribution française

À LA MISSION GLOBALE ARGO

Les flotteurs CTD standards achetés dans le cadre du projet NAOS ont permis d'**accroître la contribution française à Argo** de 65 à 80 flotteurs par an.

La France représente désormais 1/4 de l'effort européen et 10% de l'effort mondial sur la période de 2012 à 2017.

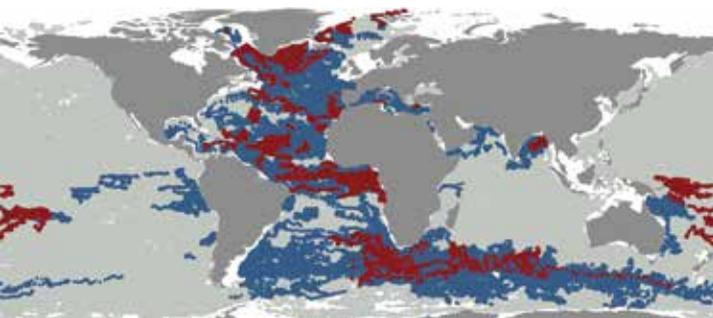
101 flotteurs mis à l'eau entre 2012 et 2019

Nombre de flotteurs NAOS déployés



Contribution française à l'échelon global

Cartographie des observations Argo sur la période 2012-2019 (1 million de profils)



● 10% of observations by Argo-France ● 1% of observations by NAOS floats

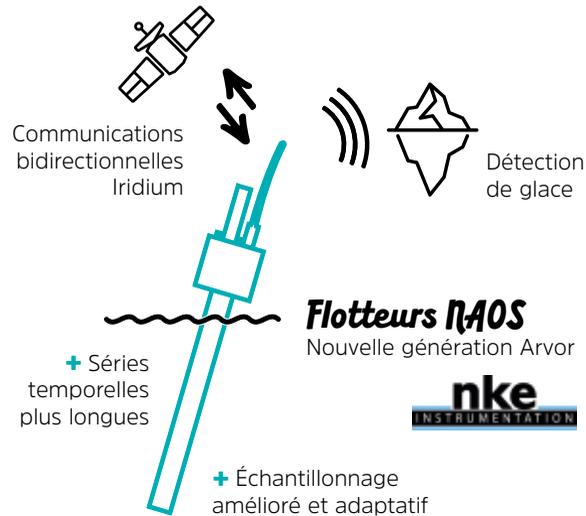
+ de **10 000** profils CTD collectés grâce aux flotteurs NAOS

= **1%** du million d'observations d'Argo



Un des premiers Arvor NAOS prêt pour une seconde vie après avoir été récupéré et reconditionné, Juillet 2020. © Boris Herrmann

Capacités de mission élargies



Flotteurs NAOS
Nouvelle génération Arvor



+ de **400** contributions françaises à des publications Argo

Dernier Arvor NAOS WP1 WMO #6902727 juste avant son déploiement en Baie de Baffin, Juillet 2019. © Claudie Marec



Impacts socio-économiques

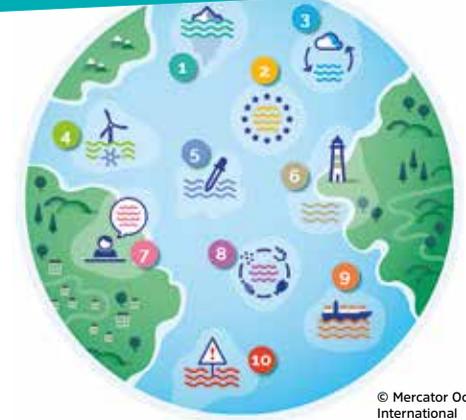
Des bénéfices bien supérieurs aux coûts

Étant donné le rôle prépondérant d'Argo pour la recherche sur le changement climatique, son rôle et son impact pour les prévisions climatiques, les impacts socio-économiques de NAOS sont très importants sur le long terme. Ils comprennent également le large éventail de services océaniques qu'offre l'océanographie opérationnelle:

- > transport maritime,
- > sécurité maritime,
- > gestion de la pêche,
- > surveillance et prévision des pollutions accidentelles,
- > ...

+ de **24 000** utilisateurs

aujourd'hui abonnés au service marin du programme européen Copernicus bénéficient ainsi de meilleures analyses et prévisions océaniques grâce aux observations en temps réel d'Argo et de NAOS



© Mercator Ocean International

Applications du Service Marin de Copernicus: 1 Surveillance de l'environnement polaire 2 Conservation et politique marine 3 Science et climat 4 Ressources naturelles & énergie 5 Qualité de l'eau 6 Surveillance côtière 7 Société & éducation 8 Alimentation marine 9 Navigation maritime 10 Sécurité et catastrophe

NAOS booster technologique et économique

NAOS a eu un effet catalyseur pour **renforcer la compétitivité mondiale de nke Instrumentation** et ouvrir de nouvelles opportunités commerciales. nke Instrumentation est le **2^e fabricant industriel de profileurs Argo** en termes de nombre de flotteurs actifs. Cette très bonne progression correspond à une augmentation des parts de marché de nke Instrumentation d'un facteur 2 par rapport à la période pré-NAOS.

+ de **20%** des flotteurs actifs en 2020 ont été livrés par nke Instrumentation

250 flotteurs nke Instrumentation déployés en 2019

"NAOS a permis de fiabiliser nos flotteurs et de donner une garantie de fonctionnement à nos clients internationaux qui nous ont de ce fait accordé leur confiance. Le programme a également permis de développer de nouvelles fonctionnalités comme la mesure biogéochimique, le profond, la mesure sous les glaces et de disposer d'une gamme la plus large du marché."



Jean-Claude Le Bleis
PDG nke Instrumentation

CLS, opérateur du système Argos, a considéré NAOS comme une opportunité unique de tester et qualifier les **nouvelles techniques de communication par satellite Argos-3** pour l'industrie de l'instrumentation océanique.

La technologie Argos-3 a permis:

- > d'établir les limites de capacité du système actuel,
- > d'obtenir un **retour d'expérience d'utilisateurs expérimentés** pour le prendre en compte dans la conception de la prochaine génération d'instrument Argos (Argos-4).

La **prochaine constellation française** de nano-satellites (Kinéis) qui sera lancé en 2022 tient pleinement compte du retour d'expérience de NAOS.

25 satellites **Liaison optimisée haut débit**

"Grâce à NAOS nous avons eu des premiers retours utilisateurs de la technologie Argos-3 très tôt après le lancement des satellites, ce qui nous a permis d'influencer les spécifications pour la génération suivante d'instrument Argos afin de répondre le mieux possible aux besoins de l'océanographie opérationnelle en terme de collecte de données par satellite. NAOS constitue selon moi un véritable booster pour la science et la technologie française dans son domaine."



Yann Bernard
Directeur Environnement et Climat, CLS

Futur de NAOS

NOUVEAUX DÉFIS

Objectifs



Améliorer sa couverture



Pérenniser le réseau



Mettre en place ses extensions globales

Enjeux scientifiques



Changement climatique



Élévation du niveau de la mer



Désoxygénation et acidification des océans



Cycle du carbone



Prévisions océaniques et climatiques

Stratégie

- > Consolider le **rôle majeur** de la France dans Argo
- > Contribuer à un **réseau global et optimisé** dans le cadre des collaborations internationales et européennes
- > Maintenir un leadership sur la **gestion des données Argo**
- > Jouer un rôle de premier plan sur la **validation scientifique des données** BGC Argo
- > **Intégrer les données Argo** avec les observations satellites et les modèles
- > Déployer les flotteurs Argo dans les **zones d'intérêt prioritaire** pour la communauté scientifique française: Atlantique Nord, Méditerranée, régions tropicales (PIRATA, TPOS2020), Arctique et Austral

80 flotteurs Argo/an



30 flotteurs standards
Température & Salinité



20 flotteurs avec capteurs d'oxygène



15 flotteurs profonds (Deep-Argo)



15 flotteurs avec capteurs biogéochimiques (BGC-Argo)

= 30% de la contribution européenne

Développements technologiques

- > Flotteur Deep-Arvor 6000 m de profondeur
- > BGC-Argo nouvelle génération
 - + imagerie
 - + acoustique active

Objectif 2030

→ 4 700 flotteurs

dont 1000 flotteurs BGC Argo et 1200 Deep Argo

Contribution française 10%



2021-2030 United Nations Decade of Ocean Science for Sustainable Development

Principales publications NAOS

- > Lavigne H. et al. (2013), **Enhancing the comprehension of mixed layer depth control on the Mediterranean phytoplankton phenology**, Journal of Geophysical Research.
- > Piron A. et al. (2016), **Argo float observations of basin-scale deep convection in the Irminger sea during winter 2011–2012**, Deep-Sea Research.
- > D'Ortenzio F. et al. (2014), **Observing mixed layer depth, nitrates and chlorophyll concentrations in the North Western Mediterranean: a combined satellite and NO₃ profiling floats experiment**, Geophysical Research Letters.
- > André X. et al. (2015), **Argos3 Satellite Communication system: Implementation on the Arvor Oceanographic Profiling Floats**, Journal of Atmospheric and Oceanic Technology.
- > Lavigne H. et al. (2015), **On the vertical distribution of the chlorophyll-a 1 concentration in the Mediterranean Sea: a basin scale and seasonal approach**, Biogeosciences.
- > Sauzede R. et al. (2015), **Vertical distribution of chlorophyll a concentration and phytoplankton community composition from in situ fluorescence profiles: a first database for the global ocean**, Earth System Science Data.
- > Pasqueron de Fommervault O. et al. (2015), **Atmospheric input of inorganic nitrogen and phosphorus to the Ligurian Sea: Data from the Cap Ferrat coastal time-series station**, Deep-Sea Research.
- > Pasqueron de Fommervault O. et al. (2015), **Temporal variability of nutrient concentrations in the northwestern Mediterranean sea (DYFAMED time-series station)**, Deep-Sea Research.
- > Pasqueron de Fommervault O. et al. (2015), **Seasonal variability of nutrient concentrations in the Mediterranean Sea: Contribution of Bio-Arvo floats**, Journal of Geophysical Research.
- > Cabanes C. et al. (2016), **Improvement of bias detection in the conductivity sensor of Argo float. Application to the North Atlantic Ocean**, Deep-Sea Research.
- > Le Reste S. et al. (2016), **Deep-Arvor: A New Profiling Float to Extend the Argo Observations Down to 4000-m Depth**, Journal of Atmospheric and Oceanic Technology.
- > Organeli E. et al. (2016), **A novel near real-time quality-control procedure for radiometric profiles measured by Bio-Arvo floats: protocols and performances**, Journal of Atmospheric and Oceanic Technology.
- > Mayot N. et al. (2016), **Interannual variability of the Mediterranean trophic regimes from ocean color satellites**, Biogeosciences.
- > Sauzede R. et al. (2016), **A neural network-based method for merging ocean color and Argo data to extend surface bio-optical properties to depth: Retrieval of the particulate backscattering coefficient**, Journal of Geophysical Research.
- > Houpert L. et al. (2016), **Observations of open-ocean deep convection in the northwestern Mediterranean Sea: Seasonal and interannual**

- variability of mixing and deep water masses for the 2007–2013 period**, Journal of Geophysical Research.
- > Piron A. et al. (2016), **Argo float observations of basin-scale deep convection in the Irminger sea during winter 2011–2012**, Deep-Sea Research.
- > Bosse A. et al. (2016), **Scales and dynamics of Submesoscale Coherent Vortices formed by deep convection in the northwestern Mediterranean Sea**, Journal of Geophysical Research.
- > Estournel C. et al. (2016), **High resolution modeling of dense water formation in the north-western Mediterranean during winter 2012–2013: Processes and budget**, Journal of Geophysical Research.
- > Le Menn M. et al. (2016), **Développement et essais d'un salinomètre optique, I2M (Lavoisier)**, Méthodes optiques, Vol. 15.
- > Piron A. et al. (2017), **Gyre-scale deep convection in the subpolar North Atlantic Ocean during winter 2014–2015**, Geophysical Research Letters.
- > Testor P. et al. (2017), **Multiscale Observations of Deep Convection in the Northwestern Mediterranean Sea During Winter 2012–2013 Using Multiple Platforms**, Journal of Geophysical Research.
- > Lagunas J. et al. (2018), **Sea-ice detection for autonomous underwater vehicles and oceanographic lagrangian platforms by continuous-wave laser polarimetry**, SPIE Proceedings Vol. 10631, Ocean Sensing and Monitoring.
- > Le Menn M. (2018), **Calibration and temperature correction of a V-block refractometer**, Measurement Science and Technology.
- > Leymarie E. et al. (2018), **ProVal: A New Autonomous Profiling Float for High Quality Radiometric Measurements**, Frontiers in Marine Science.
- > Taillandier V. et al. (2018), **Hydrography and biogeochemistry dedicated to the Mediterranean BGC-Arvo network during a cruise with RV Tethys 2 in May 2015**, Earth System Science Data.
- > Testor P. et al. (2018), **Multiscale Observations of Deep Convection in the Northwestern Mediterranean Sea During Winter 2012–2013 Using Multiple Platforms**, Journal of Geophysical Research.
- > Wolf M. et al. (2018), **Oxygen saturation surrounding Deep Water formation events in the Labrador Sea from Argo-O₂ data**, Global Biogeochemical Cycles.
- > Barbieux M. et al. (2018), **Assessing the variability in the relationship between the particulate backscattering coefficient and the chlorophyll a concentration from a global Biogeochemical-Arvo database**, Journal of

Geophysical Research.

- > Barbieux M. et al. (2019), **Bio-optical characterization of subsurface chlorophyll maxima in the Mediterranean Sea from a Biogeochemical-Arvo float database**, Biogeosciences, European Geosciences Union.
- > Bellacicco M. et al. (2019), **Global variability of optical backscattering by non-algal particles from a Biogeochemical-Arvo dataset**, Geophysical Research Letters.
- > Cossarini G. et al. (2019), **Towards operational 3D-Var assimilation of chlorophyll Biogeochemical-Arvo float data into a biogeochemical model of the Mediterranean Sea**, Ocean Model.
- > Mignot A. et al. (2019), **Quantifying observational errors in Biogeochemical-Arvo oxygen, nitrate, and chlorophyll a concentrations**, Geophysical Research Letters.
- > Smith G. et al. (2019), **Polar Ocean Observations: A Critical Gap in the Observing System and Its Effect on Environmental Predictions From Hours to a Season**, Frontiers in Marine Science.
- > Racapé V. et al. (2019), **ISOW Spreading and Mixing as Revealed by Deep-Arvo Floats Launched in the Charlie-Gibbs Fracture Zone**, Journal of Geophysical Research.
- > Roemmich D. et al. (2019), **On the Future of Argo: A Global, Full-Depth, Multi-Disciplinary Array**, Frontiers in Marine Science.
- > Terzić E. et al. (2019), **Merging bio-optical data from Biogeochemical-Arvo floats and models in marine biogeochemistry**, Biogeosciences.
- > André X. et al. (2020), **Preparing the new phase of Argo: technological developments on profiling floats in the NAOS project**, Frontiers in Marine Science (in review).
- > Babin M. et al. (2020), **The role of light and mixing in triggering and stopping the phytoplankton fall bloom in the Arctic Ocean**, Proceedings of the National Academy of Sciences (submitted).
- > D'Ortenzio F. et al. (2020), **Biogeochemical Arvo: the test case of the NAOS Mediterranean array**, Frontiers in Marine Science.
- > Le Traon P.Y. et al. (2020), **Preparing the new phase of Argo: scientific achievements of the NAOS project**, Frontiers in Marine Science.
- > Randelhoff A. et al. (2020), **Arctic mid-winter phytoplankton growth revealed by autonomous profilers**, Science Advances.
- > Randelhoff A. et al. (2020), **Pan-Arctic Ocean Primary Production Constrained by Turbulent Nitrate Fluxes**, Frontiers in Marine Science.
- > Zunino P. et al. (2020), **Why did deep convection persist over four consecutive winters (2015–2018) southeast of Cape Farewell?**, Ocean Science.

Comité de pilotage scientifique



Pierre-Yves Le Traon
Coordinateur,
Ifremer



Marcel Babin
Responsable WP4,
CNRS/INSU



Fabrizio D'Ortenzio
Co-coordonateur
& responsable WP3,
Sorbonne Université



Claudie Marec
Comité de pilotage WP4,
CNRS/INSU



Edouard Leymarie
Comité de pilotage WP3,
Sorbonne Université



Virginie Thierry
Responsable WP5,
Ifremer



Sylvie Pouliquen
Responsable WP1,
Ifremer



Serge Le Reste
puis **Xavier André**
Responsable WP2, Ifremer

Comité Directeur



Patrick Vincent
Président du Comité
Directeur, Ifremer



Yann Bernard
CLS



Etienne Balan
Sorbonne Université



Jean-Claude Le Bleis
nke



Bruno Blanke
CNRS



Frédéric Jean
IUEM



Laurent Kerleguer
SHOM

Bureau de projet



Virginie Le Saout
Ifremer/Altran

Équipe projet

Ifremer: Martin Amice, Alexandre Beauguion, Vincent Bernard, Tanguy Bescond, Thomas Bouinot, Thierry Carval, Christine Coatanoan, Damien Desbryères, Vincent Dutreuil, Fabienne Gaillard, Catherine Lagadec, Sylvie Le Bras, Yannick Lenault, Guillaume Maze, Bertrand Moreau, Noé Poffa, Corentin Renaut, Coralie Trautmann

Sorbonne Université: Hervé Claustre, Loïc Le Ster, Nicolas Mayot, Alexandre Mignot, Christophe Migon, Orens Pasqueron du Fommervault, Christophe Penkerch, Antoine Poteau, Louis Prieur, Vincent Taillandier

CNRS / INSU: Catherine Schmechtig, Herlé Mercier, Virginie Racapé, José Lagunas, Achim Randelhoff, Xiaogang Xing (Takuvik - CNRS/Université Laval)

SHOM: Eric Duporte, Nathanaële Lebreton, Marc Le Menn

UBO / IUEM: Cécile Cabanes, Nicolas Kolodziejczyk, Sabrina Speich

CLS: Michel Guigue, Stéphan Lauriol, Jean-Pierre Malardé, Philippe Schwab

nke Instrumentation: Patrice Brault, Arnaud David, Benoît Jugeau, Damien Malardé, David Nogré, Jérôme Sagot, Christophe Schaeffer



Merci !

Le projet NAOS a bénéficié d'une aide de l'État au titre du **programme « Investir l'avenir »**. Cette aide gérée par l'Agence nationale de la recherche porte la référence ANR-10-EQPX-40.

