

Bilan Argo France 2023

Comité de Pilotage Argo-France



Réf. :AF-2024-BILAN2023

N. Kolodziejczyk, X. André, C. Cabanes, T. Carval, C. Coatanoan, F. D'Ortenzio, N. Lebreton, E. Leymarie, G. Maze, A. Poteau, P.-Y. Le Traon, C. Schmechtig, R. Sauzède, N. Poffa, V. Thierry, J. Uitz

Date : 08/03/2024



Préambule

Ce document n'est pas un compte rendu d'activités exhaustif du programme Argo-France, mais un bilan et une liste des faits marquants du programme pour l'année 2023. Des informations complémentaires sont disponibles dans le rapport AST 25 (18-22 Mars 2024, Southampton, UK).

Table des matières

1. Équipes et programme	3
2. Opérations à la mer : CODEP	5
2.1. Achats flotteurs	5
2.2. Déploiements	5
2.3. Monitoring de la flotte	5
3. Gestion des données	6
3.2. Base de données de Référence	10
3.3. Projets européens Argo-données	12
3.3.1. ENVRI-FAIR : connecter les ERICs à l'EOSC	12
3.3.2. EOSC-Blue cloud: construire le Blue Cloud européen pour la science	13
3.3.3. EOSC-Future	14
3.3.4. FAIR-EASE (https://fairease.eu/)	14
4. Outils et produits	14
4.1. ISAS global-T/S/O2-surface-fond	14
4.2. Produits BGC	15
4.3. Nouvelle méthode DMQC basée sur l'Intelligence Artificielle	16
4.4. Contrôle qualité BGC	17
4.5. DMQC Core et Deep	19
4.6. Trajectoires	19
4.7. Outils collaboratifs	20
4.8. Ocean state report	21
ICES North Atlantic Ocean State Report (IROC)	21
5. Recherche	21
5.1. Publications marquantes	21
5.2. Faits marquants	22
5.2.1. Projets ObsOcéan-Piano-Argo 2030	22
6. Coordination scientifique et animation	22
6.1. Coordination scientifique	22
6.2. Représentation	22
6.3. Animation scientifique	22
6.4. Veille bibliographique	23
6.5. Activité de médiation scientifique	23
Annexe : Bibliographie Argo-France	24

1.Équipes et programme

Dans la continuité des activités opérationnelles sur lesquelles la France est engagée au niveau européen et international, les partenaires de Argo-France ont assuré en 2023 :

- la préparation et le déploiement de 68 flotteurs
- le traitement temps réel de la flotte européenne (hors flotteurs anglais et irlandais),
- le temps différé de la flotte française et la cohérence du jeu de données Argo à l'échelle de l'Atlantique (A-ARC, Atlantic Argo Regional Center).
- Argo-France s'est également occupé du traitement en temps-réel des flotteurs BGC-Argo de la flotte française attribués par le GMMC.

En 2023, les partenaires Argo-France continuent à piloter les trois gros projets d'investissement (Deuxième réunion des partenaires, 26 septembre 2023) visant à consolider le réseau Argo Core et développer les extensions BGC et Deep de la contribution de Argo-France au programme Argo:

- Le projet d'Investissement Exceptionnel Ifremer (PIE) PIANO
- Le CPER Bretagne ObsOcean - Volet Argo
- Le Plan d'Investissement d'Avenir (PIA3) Equipex+ Argo2030 (ANR)

En 2023, les partenaires Argo-France ont continué à représenter la France dans les instances internationales (AST24 et ADMT24: <https://argo.ucsd.edu/>) et européennes (ERIC Euro-Argo, Management Board et Council).

En 2023, la France a continué d'opérer le DAC et le GDAC Coriolis (Centre de données Global Argo): <https://archimer.ifremer.fr/doc/00856/96772/>

En 2023, l'organigramme de Argo France a été mis jour afin de tenir compte de l'évolution des équipes ces dernières années, et en vue de la vague de labellisation des SNO par l'INSU prévue en 2024 (pour la période 2025-2029).

 IR* SNO		Comité de pilotage	Responsable IR* : V. Thierry Responsable SNO : N. Kolodziejczyk
X. André ¹ , T. Carval ¹ , C. Cabanes ² , C. Coatanoan ¹ , F. D'Ortenzio ² , N. Kolodziejczyk ³ , N. Lebreton ⁴ , E. Leymarie ² , N. Poffa ¹ , A. Poteau ⁵ , R. Sauzède ² , C. Schmechtig ² , V. Thierry ¹ , J. Uitz ²			
Invités : C. Gourcuff, R. Cancouet (Euro-Argo ERIC), E. Remy (Mercator Ocean International), W. Llovell (LEFE/GMMC)			

Coordination, Expertise, Représentation			
Expertise Physique + O₂ Expertise Scientifique Coordination et expertise: N. Kolodziejczyk ³ , V. Thierry ¹ O ₂ : L. Carracedo ¹ Deep : D. Desbruyères ¹ Expertise Flotteurs : V. Thierry ¹ , C. Cabanes ² Expertise DMQC Veille, expertise, outils, méthodes, cohérence : T/S/O2 Core/Deep : C. Cabanes ² , V. Thierry ¹ Trajectoires/ANDRO : C. Cabanes ² ARC : C. Cabanes ² Produit, Outils & Valorisation ISAS/ANDRO : N. Kolodziejczyk ³ , A. Prigent ¹ Locodox : V. Thierry ¹ OWC : C. Cabanes ² Visualisation et argopy : K. Balem ¹ , G. Maze ¹		Expertise BGC  Expertise Scientifique Coordination et expertise : J. Uitz ² , F. D'Ortenzio ² Expertise Flotteurs : A. Poteau ⁵ Expertise DMQC Veille, expertise, outils, méthodes, cohérence : BGC : R. Sauzède ² , C. Schmechtig ² Produit, Outils & Valorisation CANYON et SOCA : R. Sauzède ²	Représentations Nationales et Internationales AST : V. Thierry ¹ (France rep.+ Deep Mission co-chair) , H. Claustre ² (BGC co-chair), N. Kolodziejczyk ³ (Polar Mission Co-chair) E. Leymarie ² (Tech. Task Team Co-chair) ADMT: C. Coatanoan ¹ , C. Cabanes ² (Exec.), C. Schmechtig ² (BGC Co-Chair), R. Sauzède ² (rep.), T. Carval ¹ (Exec.) ERIC Euro-Argo : V. Thierry ¹ (management board, France rep.) FrOOS : N. Kolodziejczyk ³ DAC Coriolis: C. Coatanoan ¹ (φ), C. Schmechtig ² (BGC) GMMC : V. Thierry ¹ , J. Uitz ² , N. Poffa ¹

Gestion des données	Moyen à la mer	Développements Technologiques
DAC Réception, décodage, RTQC Opé : V. Bernard ¹ MCO : T. Carval ¹ DAC BGC Réception, décodage, RTQC Opé : C. Schmechtig ² MCO : C. Schmechtig ²	GDAC Assemblage, distribution, survey Opé : T. Carval ¹ DMQC Flotteurs français - PIs GMMC - T/S, rapport QC : C. Coatanoan ¹ - Deep : C. Cabanes ² , A. Prigent ¹ - BGC : R. Sauzède ² - O ₂ : T. Reynaud ¹ , C. Kermabon ¹	Flotteurs et Capteurs Core/Deep : X. André ¹ BGC: E. Leymarie ²

Version : 04/10/2023

 Affiliations : ¹ Ifremer, ² CNRS, ³ CNAP/UBO, ⁴ SHOM, ⁵ SU/CNRS

2. Opérations à la mer : CODEP

codep@ifremer.fr : noe.poffa@ifremer.fr et nathanaele.lebreton@shom.fr

2.1. Achats flotteurs

En 2023 le groupement d'achats SHOM/IFREMER a permis l'achat de **74 flotteurs** se décomposant comme suit :

- TS : **16 Arvor TS SBE** (6 SHOM et 10 Ifremer) et **19 Arvor RBR** (4 SHOM et 15 Ifremer)
- TS02 : **17 Arvor O2** (Ifremer)
- DEEP : **12 Deep O2** (Ifremer)
- BGC : **3 BGC** avec capteurs et **7 BGC** pour upgrade capteurs LOV

2.2. Déploiements

68 flotteurs ont été déployés en 2023; on totalise 37 T/S Core (dont 3 Arvor-C), 3 T/S/O2, 24 BGC et 4 Deep.

Cette année encore, on note de nombreux déploiements en Océan Indien et Austral avec les campagnes d'opportunité du Beutemps Beaupré en Indien et la campagne annuelle OISO. Environ 1/3 des flotteurs ont par ailleurs été déployés sur des campagnes affiliées aux projets GMMC. On comptabilise aussi des déploiements SHOM (PHYSINDIEN, WEMSWOT, MECTON).

5 flotteurs ont été déployés avec ISA en zone de glace en baie de Baffin et en Arctique (GMMC ARCTIGO)



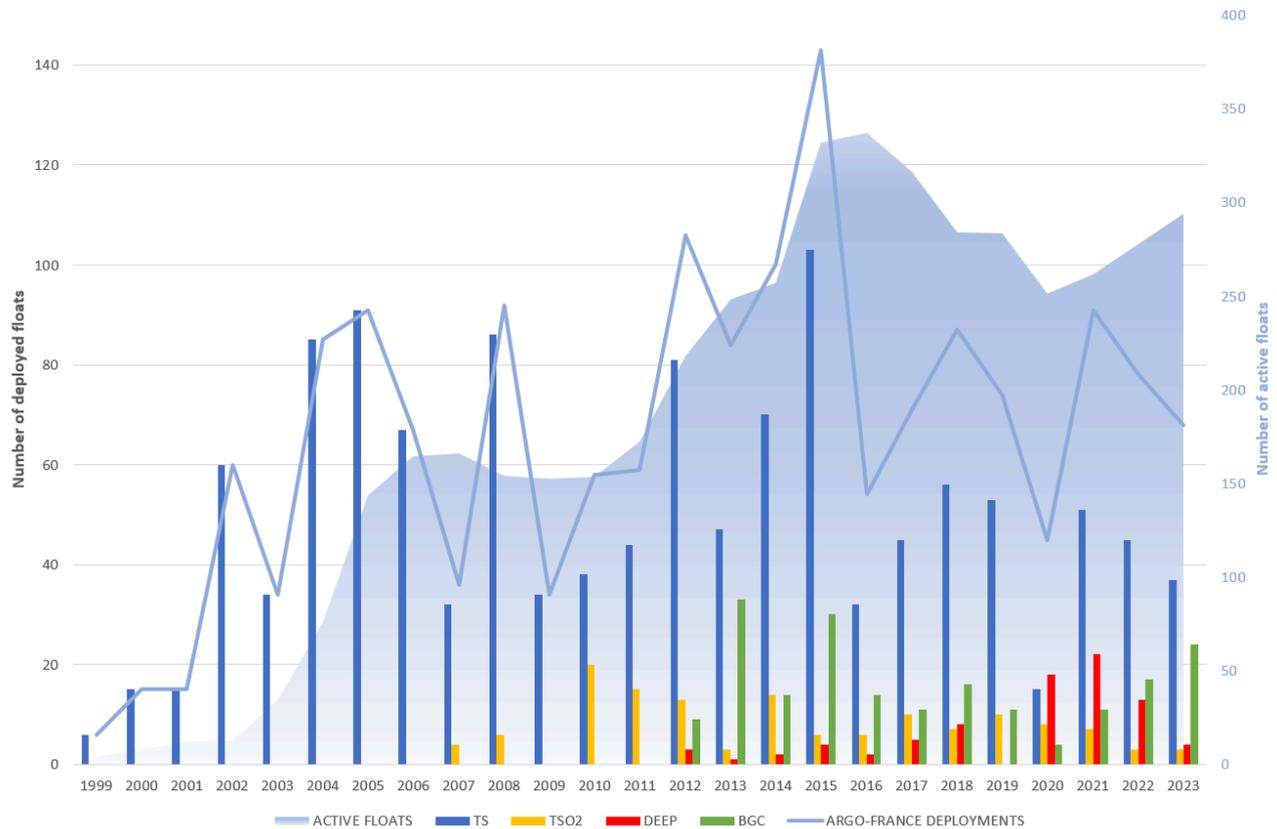
2.3. Monitoring de la flotte

A ce jour (janvier 2024), sur les 68 flotteurs déployés en 2023 :

- 61 sont actifs
- Les 5 Avec ISA sont en hivernage sous glace
- 1 BGC a disparu après quelques cycles (a priori prise d'eau sur capteur) et 1 Arvor n'est plus opérationnel du fait d'un problème CTD.

La flotte française opérationnelle début 2024 est composée à 67% d'ARVOR T/S, 12% de DEEP, 5% d'T/S/O2 et 16% de BGC.

75 flotteurs français ont disparu en 2023, principalement dû à l'épuisement des batteries (~75%). La moyenne d'âge des disparitions est de 3.9 ans.



Évolution des déploiements et de la flotte Argo-France opérationnelle de 1999 à 2023

3. Gestion des données

3.1. DAC/GDAC

Un rapport détaillé de l'activité gestion de donnée du DAC/GDAC Coriolis pour l'ADMT23 est disponible : <https://doi.org/10.13155/96772>

Activité globale DAC

En 2023 le centre de données Coriolis a traité les données de 923 flotteurs qui ont produit 62 155 profils verticaux Core-Argo, BGC-Argo et Deep-Argo. Un total de 18 types de capteurs est géré par la chaîne de traitement des flotteurs, qui est en maintenance/évolution continue avec une mise à jour mensuelle. La chaîne de traitement est publiée en licence ouverte CC-BY sur GitHub, elle comprend 52 releases majeures et 323 tags (releases + patches).

- <https://github.com/euroargodev/Coriolis-data-processing-chain-for-Argo-floats>

Activité DAC BGC-Argo

En 2023, une forte activité gestion de données a été consacrée aux flotteurs BGC-Argo "Provor Jumbo" équipés d'une gamme de capteurs BGC, tels que l'UVP (une caméra pour l'identification et le dénombrement du zooplancton), le capteur hyperspectral Ramses, le pH, la chlorophylle, le BBP, le nitrate

Suna et l'oxygène.

Un mot sur le capteur Ramses : il effectue des mesures de l'éclairement descendant, la luminescence ascendante et la réflectance. La réflectance sert de référence in situ directe pour la calibration/validation de la couleur océanique satellite.

Contrôle qualité

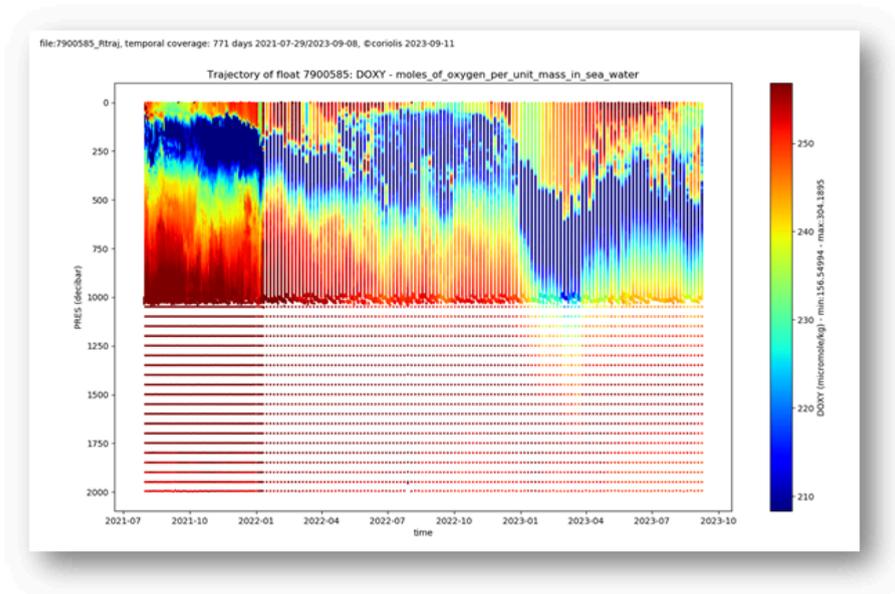
Le contrôle qualité des paramètres rétrodiffusion particulaire (BBP), Chlorophylle (CHLA) et oxygène (DOXY) a été significativement amélioré.

- BBP : un retraitement complet de la rétrodiffusion particulaire réalisé avec la nouvelle procédure de contrôle qualité <https://doi.org/10.13155/60262>
- CHLA : un retraitement général pour appliquer la nouvelle procédure de contrôle qualité <https://dx.doi.org/10.13155/35385>
- DOXY : l'ajustement en temps réel est automatisé quotidiennement, avec une vérification hebdomadaire par un expert sur les flotteurs ayant un nouvel ajustement. Des alertes sur la saturation hyperspectrale et la plage régionale (une activité Copernicus Marine) sont automatisées quotidiennement avec une vérification hebdomadaire par un expert sur les alertes.

Trajectoires de flotteurs

Le retraitement des trajectoires V3.2 a été achevé, il s'agit d'un format de données NetCDF qui décrit finement le comportement et les observations d'un flotteur.

Un nouveau produit de trajectoires en temps réel amélioré pour Argo, qui intègre 20 procédures de contrôle qualité en temps réel supplémentaires, a été développé et mis en œuvre quotidiennement.



Données d'oxygène de la trajectoire du flotteur 7900585

Fiche de déploiement de flotteurs

Une nouvelle version de fiche de déploiement pour les flotteurs Coriolis, comprenant les métadonnées et les calibrations, a été améliorée. Elle répond aux besoins des flotteurs BGC-Argo : il faut gérer une grande richesse de métadonnées de calibrations, configurations et déploiements, il faut effectuer des contrôles de cohérence sur les valeurs saisies. Les fiches de déploiement sont partagées sur un espace de travail cloud.ifremer.fr.

Web de récupération des flotteurs

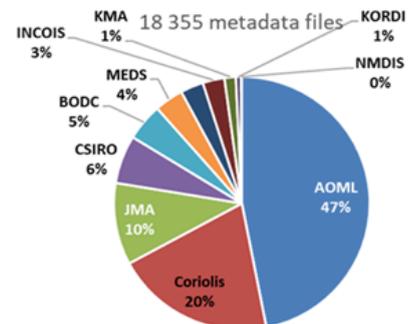
L'interface web de récupération des flotteurs Coriolis est régulièrement améliorée sur <https://floatrecovery.euro-argo.eu>

Activité GDAC

Le centre de données global Argo (Argo-GDAC) est géré par l'Ifremer. Il fédère 11 centres nationaux de collecte de données qui soumettent régulièrement des données. Cette année, le nombre de flotteurs a augmenté de 4 %, et le nombre de fichiers de profils a augmenté de 5 %. Le jeu de données des GDACs Argo se compose de 18 355 flotteurs et de 2,9 millions de profils.

Le nombre de fichiers NetCDF est de 3 535 214 (+6 %). La taille du répertoire GDAC/dac est de 423 Go (+11 %). La taille du répertoire GDAC est de 931 Go (+26 %).

DAC	metadata files	increase	profile files	increase2	delayed mode profile files	increase3	trajectory files
AOML	8 612	4%	1 507 278	5%	1 296 336	6%	10 782
BODC	871	6%	127 722	7%	93 122	2%	530
Coriolis	3 710	5%	483 866	8%	383 908	10%	3 624
CSIO	534	2%	73 594	4%	57 822	4%	533
CSIRO	1 130	3%	215 407	5%	201 710	6%	1 062
INCOIS	505	3%	81 813	2%	39 996	10%	412
JMA	1 921	2%	252 772	4%	208 454	4%	1 635
KMA	264	2%	38 064	2%	34 052	1%	255
KORDI	117	2%	15 624	1%	14 504	0%	107
MEDS	672	3%	72 768	7%	51 012	2%	640
NMDIS	19	0%	2 460	0%	2 381	-	19
Total	18 355	4%	2 871 368	5%	2 383 297	6%	19 599

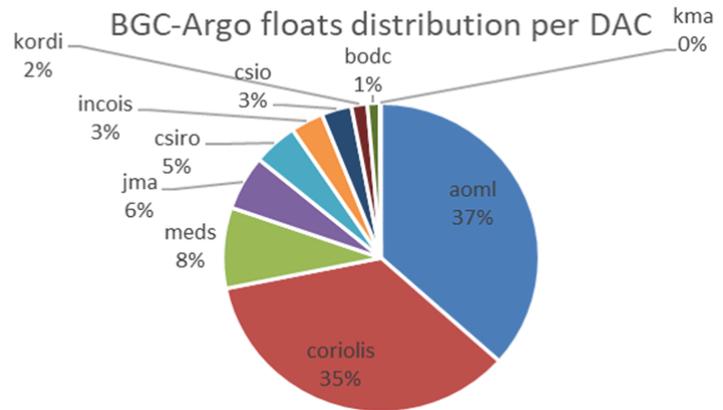


Evolution 2023 des fichiers de données et métadonnées du GDAC Argo

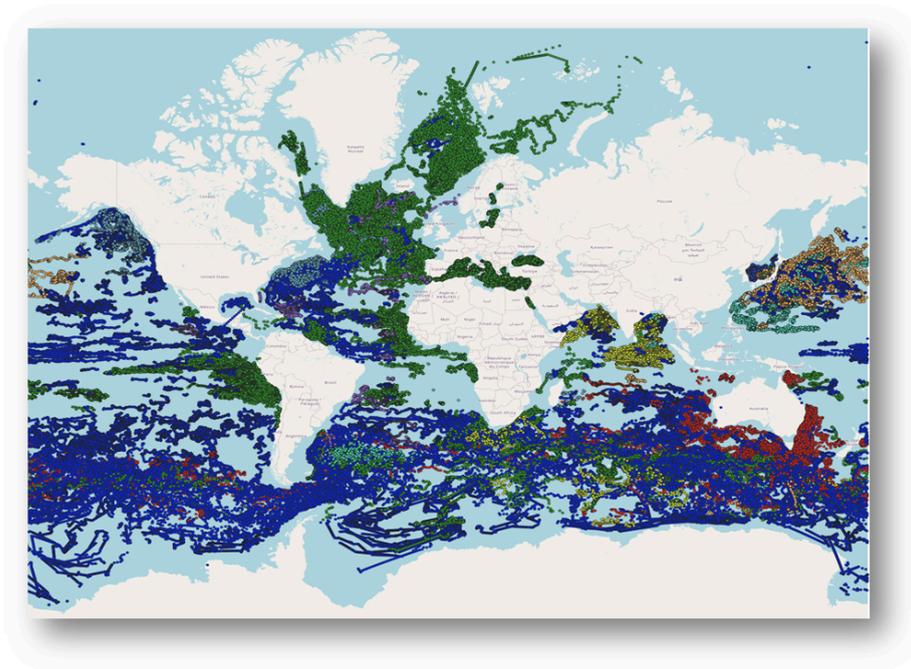
GDAC BGC-Argo

Il y a 294 950 profils BGC-Argo provenant de 2 084 flotteurs. Cela représente une augmentation notable par rapport à 2022: + 12 % du nombre de flotteurs et +9 % du nombre de fichiers de profils.

DAC	nb bgc float	nb bgc file
aoml	763	102 177
coriolis	734	108 574
meds	176	6 969
jma	119	20 470
csiro	95	23 271
incois	70	12 736
csio	64	11 285
kordi	34	3 426
bodc	26	5 574
kma	3	468
Total	2084	294 950



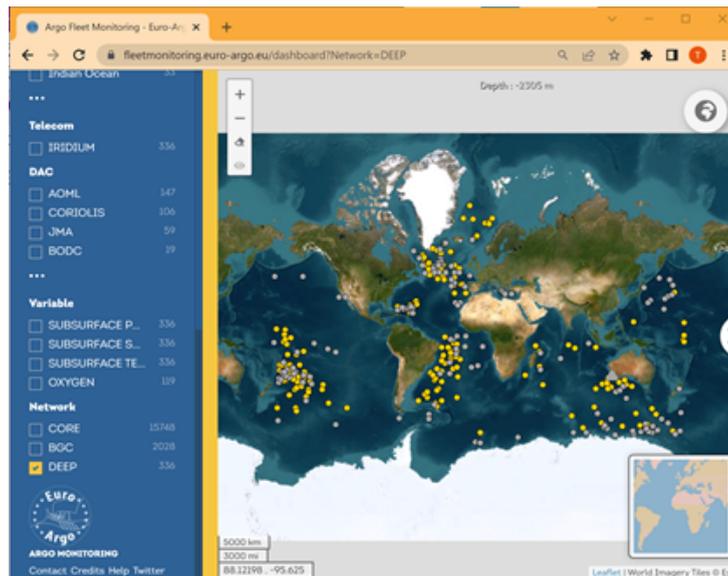
Distribution par DAC (centre de données) des flotteurs BGC-Argo



Carte des profils verticaux de flotteurs BGC-Argo (en vert, les flotteurs Coriolis)

GDAC deep-Argo

Un flotteur Deep-Argo effectue des observations à plus de 3000 mètres. Il y a 348 flotteurs Deep-Argo (+11 %) provenant de 6 DAC. Ils ont effectué 32 206 profils profonds (+31 %).



Carte des flotteurs deep-Argo depuis la sélection de données <https://dataselection.euro-argo.eu/>

3.2. Base de données de Référence

Fin 2021, la version 2021_V02 a été mise à disposition sur le site ftp. Dans le but d'améliorer cette version, le travail effectué dans le cadre d'EA-Rise va permettre de fournir des mises à jour locales effectuées pour les hautes latitudes (Arctique et Océan Austral (secteur Atlantique)), la Mer Méditerranée, et la Mer Baltique. Pour les hautes latitudes notamment, quelques mises à jour ont été faites à partir de UDASH et ICES ainsi qu'un changement du critère de sélection des données (limite de pression de 900 dbar à 700 dbar pour considérer les courants de bord) pour la zone Arctique, et pour le nettoyage de l'Océan Austral des mises à jour PANGEA ont également été faites. Pour la mer Méditerranée, des données ont été collectées auprès d'instituts de recherche au niveau régional et auprès des principaux services maritimes européens. Pour la mer Baltique, différents critères sont utilisés en raison de la configuration particulière de cette zone. Les données d'ICES et de Helcom (FMI) sont collectées pour la base de données de référence ainsi que pour l'amélioration des statistiques min/max. La préparation de la base de données de référence officielle est actuellement en cours au BSH.

Dans la prochaine version, en complément des mises à jour EA-Rise, les données collectées lors de 2 mises à jour de WOD en 2022, les données des scientifiques, les données confidentielles et publiques du CCHDO (nouvelle procédure d'échange des données confidentielles avec un owncloud) seront ajoutées. Au cours des deux prochains mois, un travail avec Ingrid Benavides (BSH) sera effectué pour récupérer les boîtes de données CTD sur lesquelles des améliorations ont été apportées. La nouvelle version devrait être livrée au printemps prochain.

3.3. Projets européens Argo-données

3.3.1. ENVRI-FAIR : connecter les ERICs à l'EOSC

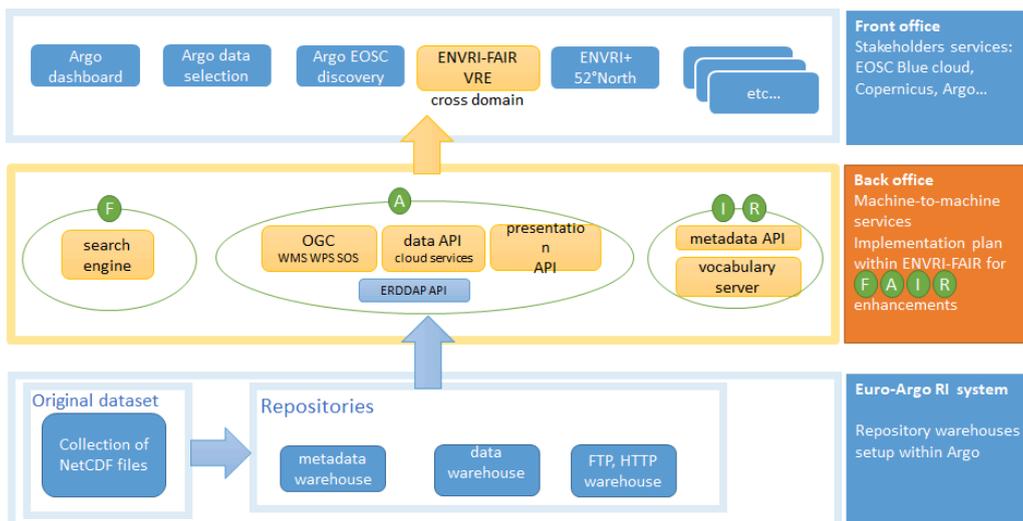
L'Europe soutient significativement la "Fairtitude" des infrastructures données de recherches (ERIC).

L'objectif est de contribuer à l'EOSC (European Open Science Cloud) .

Le centre de données Argo (Coriolis-données) coordonne le domaine marin: Euro-Argo, EMSO, ICOS-Marine, SeaDataNet.



Le consortium ENVRI-FAIR place les ERICs "environnement" sur l'EOSC (European Science Cloud)



ENVRI-FAIR contribue au développement des application Machine to Machine sur le cloud européen

Les API Argo-données et Argo-métadonnées déployées pour ENVRI-FAIR sont un service d'accès novateur et très interactifs aux données Argo:

- **Novateur:** bases de données bigdata nosql Elasticsearch (3 million de métadonnées) et Cassandra (5 milliard d'observations individuelles)
- **Interactif:** des temps de réponses de l'IHM instantanés (i.e. moins d'une seconde sur l'Interface Home Machine Angular-JS)

Les services de découverte et accès aux données Argo développés dans le cadre d'ENVRI-FAIR

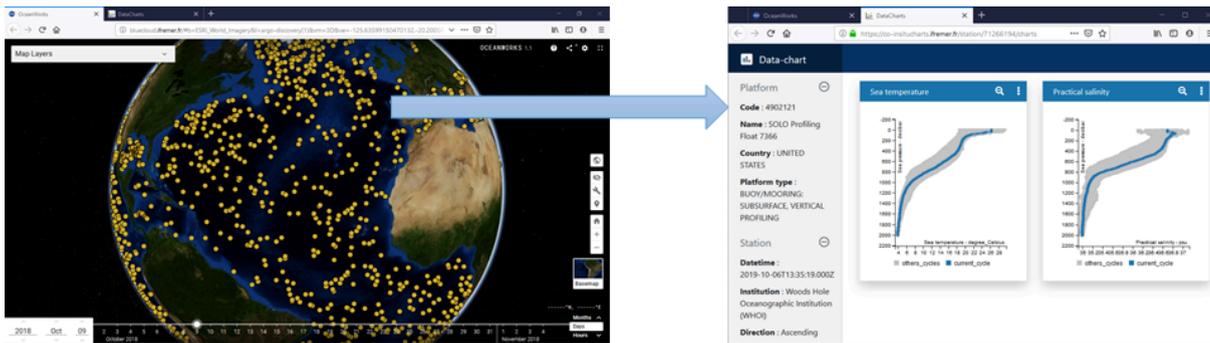
- OpenSearch API
 - <https://opensearch.ifremer.fr/granules.atom>
 - [Exemple de requête](#)
- Metadata API
 - <https://fleetmonitoring.euro-argo.eu/swagger-ui.html#/>
 - [Argo floats dashboard](#)
- Data API
 - <https://dataselection.euro-argo.eu/swagger-ui.html#/>
 - [Argo data subsetting](#)
- ERDDAP API
 - <http://www.ifremer.fr/erddap/index.html>
 - [Exemple de requête](#)

3.3.2. *EOSC-Blue cloud: construire le Blue Cloud européen pour la science*

EOSC-Blue cloud est un projet destiné à la mise en place de l'infrastructure technique du cloud pour la science européenne. Le centre de données Coriolis est impliqué via Argo dans le WP8.3 "Marine competence centre" dont les deux tâches principales sont:

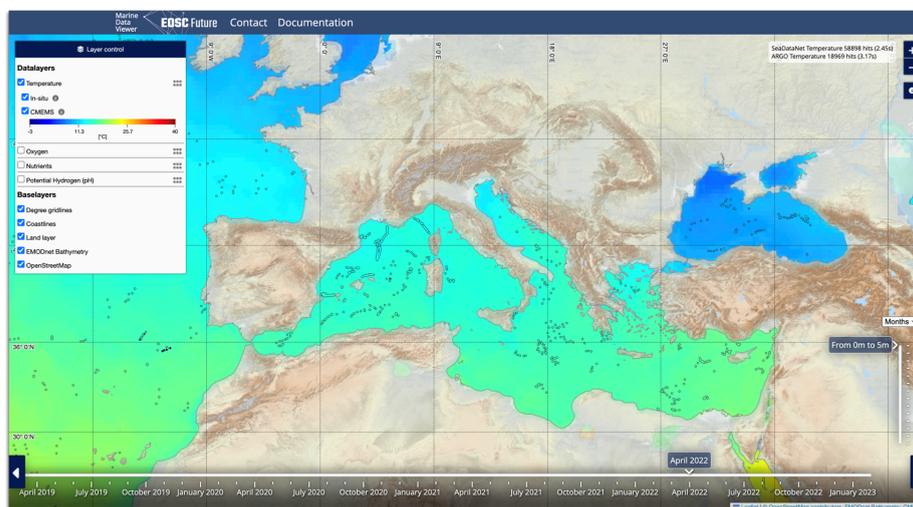
- Accès aux données Argo dans un contexte organisationnel et technique Cloud européen
- Analyses objectives d'oxygène des données Copernicus avec DIVA

Le jeu de données Argo est publié vers l'infrastructure Cloud EOSC cloud infrastructure (une architecture Openstack, Docker, Cassandra, Elasticsearch).



3.3.3. EOSC-Future

Le projet EOSC-Future est également destiné à la mise en place de l'infrastructure technique du cloud pour la science européenne. Les vocabulaires interoperables et les API d'accès aux données Argo et SeaDataNet permettent de combiner au fil de l'eau les données de ces infrastructures de données.



Découverte interactive de données Argo et SeaDataNet <https://eosc-future.maris.nl>

3.3.4. FAIR-EASE (<https://fairease.eu/>)

FAIR-EASE participe à la mise en place de l'infrastructure technique du cloud pour la science européenne. Le SNO Argo-France est impliqué via Argo dans différents WPs, dont le WP5 à travers le "Use Case 5.2.1 Ocean Bio-Geochemical Observation Pilot", pour lequel il a été proposé de développer une interface pour qualifier, calibrer et valider les données de biogéochimie, notamment les données de flotteurs BGC-Argo.

4. Outils et produits

4.1. ISAS global-T/S/O2-surface-fond

Le SNO Argo-France a valorisé les données Argo T/S et DO en mettant à jour et distribuant les produits interpolés ISAS :

Kolodziejczyk Nicolas, Prigent-Mazella Annaïg, Gaillard Fabienne (2023). ISAS temperature, salinity,

dissolved oxygen gridded fields. SEANOE. <https://doi.org/10.17882/52367>

L'année 2023 à vu la mise en place de configuration d'ISAS interpolant les données de DO qualifié et corrigé en delayed mode. L'échantillonnage des mesures d'oxygène dissous du réseau global OneArgo (Core+BGC+Deep) ne permet pas encore de produire des champs mensuels interpolés consistants. En 2023, des climatologies annuelles et mensuelles regroupant les 10 ans de données O2 disponibles en Delayed Mode ont été développées et sont en cours de validation. Un article décrivant les nouvelles configurations ISASO2 a été soumis. Il est à noter que toutes les configurations d'ISAS disponibles depuis 2013 sont désormais rassemblées sur l'unique doi: <https://doi.org/10.17882/52367>.

4.2. Produits BGC

Le SNO Argo-France valorise les données BGC-Argo à travers la mise à disposition opérationnelle et la mise à jour annuelle (au minimum) de plusieurs produits dans Copernicus Marine Service.

Le premier produit est un produit interpolé à l'échelle globale de Chlorophylle-a et de coefficient de rétrodiffusion particulaire, transformé en carbone organique particulaire : <https://doi.org/10.48670/moi-00046>. Ce produit met à disposition des champs au quart de degré avec une résolution hebdomadaire sur la période 1998-2022 ainsi qu'avec une résolution mensuelle pour les produits climatologiques. Ce produit est issu de la méthode de machine learning SOCA (pour Satellite Ocean Color and Argo data to infer bio-optical properties to depth; Sauzède et al. 2016; Sauzède et al. in prep.).

Un second produit de profils verticaux de concentration en nutriments (nitrates, phosphates et silicates) et des variables du système carbonaté (alcalinité totale, carbone inorganique dissous, pH et pression partielle de dioxyde de carbone) est distribué et mis à jour tous les ans dans Copernicus Marine Service : <https://doi.org/10.48670/moi-00048>. Ces profils sont estimés à partir de réseaux de neurones pour chaque flotteur Argo équipé d'un capteur d'oxygène dont les données sont qualifiées en temps différé. Ces réseaux de neurones proviennent d'une famille de méthodes appelée CANYON (pour Carbonate system and Nutrients concentration from hYdrological properties and Oxygen using a Neural-network ; Sauzède et al., 2017; Bittig et al. 2018). Le réseau de neurones régional CANYON-MED est utilisé pour les données en mer Méditerranée (Fourrier et al. 2020).

Dans le cadre du développement de tels produits, un groupe de travail SCOR (Scientific Committee on Oceanic Research) a été accepté fin 2023. Ce groupe de travail, intitulé [4D-BGC SCOR](#) (WG #168) est présidé par Raphaëlle Sauzède (SNO Argo-France) et Jonathan Sharp (USA) et est composé de 19 autres membres, représentant 14 pays différents. Ses principaux objectifs sont : 1) d'établir des connexions entre les développeurs de produits de données BGC en quatre dimensions, les communautés d'observation et les efforts de synthèse des données, et les communautés d'utilisateurs finaux ; 2) de dresser un inventaire des produits de données 4D-BGC et proposer des applications pertinentes ; 3) de synthétiser les estimations disponibles, les variabilités et les tendances des processus biogéochimiques clés qui peuvent être affinées par les produits 4D-BGC, et identifier les actions visant à améliorer les quantifications ; 4) d'élaborer des recommandations pour la création, la distribution et la mise à jour dynamique des produits 4D-BGC, ainsi que des stratégies pour estimer les incertitudes de l'échelle mondiale et 5) de renforcer les capacités de la communauté océanographique, en particulier des chercheurs en début de carrière et des groupes sous-représentés, afin d'assurer le développement et l'utilisation des produits 4D-BGC. La réunion de lancement de ce groupe de travail aura lieu lors de la conférence Ocean Sciences Meeting en février 2023.

4.3. Nouvelle méthode DMQC basée sur l'Intelligence Artificielle

Un CDD (Andrea Garcia Juan) a été embauché de mai à septembre 2021 pour parachever le développement d'une méthode dans le cadre du projet Euro-Argo-RISE. La méthode "DMQC-PCM" est une nouvelle étape proposée dans les procédures de contrôle de qualité impliquant la sélection de données de référence. Elle est basée sur les modèles de classification de profils (PCM), une méthode d'apprentissage automatique pour identifier les structures récurrentes dans une collection de profils verticaux océaniques. Elle a été appliquée dans l'Atlantique Nord, l'océan Austral, l'océan Indien, la mer d'Amundsen et la mer Méditerranée ([Maze et al, 2017](#), [Maze et al 2017b](#), [Jones et al, 2019](#), [Rosso et al, 2020](#), [Thomas et al 2021](#), [Boehme et al, 2021](#), [Sambe et al, 2022](#), [Li et al, 2022](#)).

L'idée de la procédure DMQC-PCM est d'utiliser un classifieur type PCM pour organiser et sélectionner de manière plus appropriée les données de référence pour le contrôle qualité des mesures des flotteurs Argo. En pratique, un PCM est entraîné sur des profils de référence, puis ce PCM est utilisé pour classer les profils à valider. Par la suite, seuls les profils de référence réduites/sous-échantillonnées à celles appartenant à la même classe que les profils à valider sont utilisés pour calculer les statistiques de référence.

Au cours du projet EA-RISE, une preuve de concept a été développée pour étudier les performances et les caractéristiques de la procédure. Deux notebooks Jupyter peuvent être exécutés pour créer un PCM et fournir des données de classification à utiliser dans la procédure d'étalonnage de la salinité OWC. Des versions augmentées des logiciels Matlab et Python d'OWC ont été écrites sous le repo [DMQC-PCM](#) et sont désormais disponibles pour la communauté à des fins de test. D'autres développements auront lieu sur le repo [euroargodev DMQC-PCM](#).

BODC a implémenté la procédure DMQC-PCM dans le cadre des activités du SOARC avec des résultats encourageants.

La méthode a été présentée à l'ADMT en 2023. Elle sera intégrée comme une option à pyowc dans le projet EA-ONE.

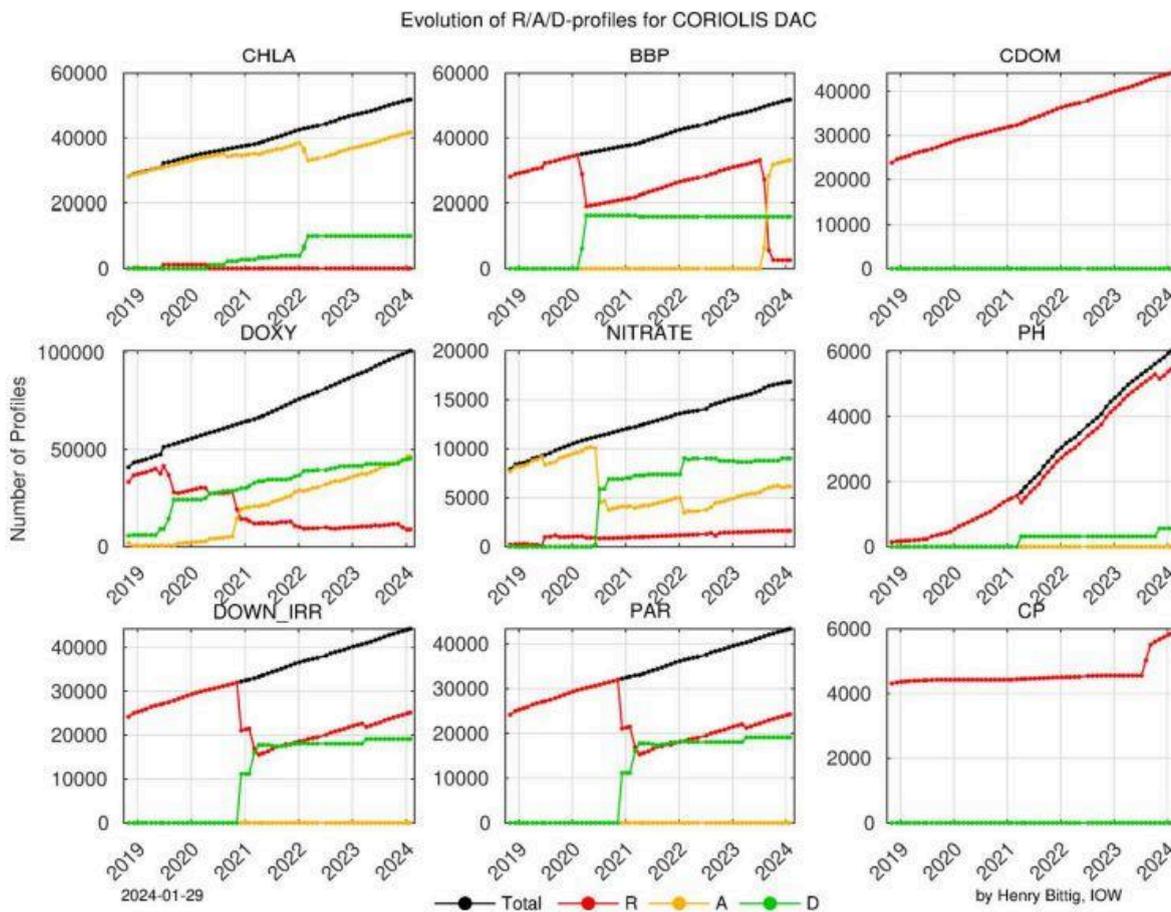
4.4. Contrôle qualité BGC

L'équipe a organisé le 1st BGC-Argo DMQC workshop à Villefranche en Janvier 2023, ce qui a permis de présenter et d'échanger sur les procédures de traitement de données et de contrôle qualité en temps différé avec les différents DACs.

La figure ci-dessous illustre que la méthode développée en 2021, dans le cadre du projet EA-RISE pour le Delayed mode de la chlorophylle-a (CHL) a été appliquée à environ 10000 profils (Méditerranée). Cette méthode a été également appliquée en aveugle à une majorité de flotteurs (de toute nationalité) pour montrer qu'elle pouvait s'appliquer de manière globale (que les flotteurs soient équipés ou non de radiomètre). La validation de cette méthode sur tous les flotteurs a été présentée à l'ADMT23 (notamment

avec une réduction de l'erreur de la CHL de 160% à 34% au sud de 45°S). Cette méthode a pu être appliquée à l'échelle globale grâce au développement courant 2022 d'une nouvelle méthode basée sur un réseau de neurones et nommée SOCA-light qui permet d'estimer des profils radiométriques synthétiques pour les flotteurs qui ne sont pas équipés de radiomètres (Renosh et al., 2023). Un article qui présente les détails du traitement en temps différé de la CHL et qui met à disposition cette base de données globale qualifiée est en cours de rédaction.

L'écart entre les données de CHL ajustées en temps réel et en temps différé est tel qu'il a été décidé pendant le 1st BGC-Argo DMQC workshop de ne pas appliquer la correction en temps différé afin de garder une cohérence dans le jeu de données. Dans ce contexte, afin de proposer une solution pour minimiser l'impact de l'intégration de ces données corrigées, nous avons lors de l'ADMT24 présenter une nouvelle carte permettant d'appliquer cette correction en temps réel. Cette carte, toujours en cours de développement, est basée sur les produits SOCA issus de la base de données BGC-Argo et sera présentée à l'AST25 pour validation. Dans ce cadre, un travail sur l'évaluation quantitative de l'amélioration de la base de données de CHL est mené grâce au développement de méthodes de machine learning.



Évolution du nombre de profils délivrés en temps réel (R pour Real time en rouge), ajustés en temps réel (A pour Adjusted en orange) et ajustés en temps différé (D pour Delayed mode en vert) pour le DAC coriolis.

Au cours de l'année 2023, pour ce qui concerne la gestion en temps réel des données BGC, l'équipe a réalisé un gros travail de développement et de mise à jour des procédures de contrôle qualité. Ainsi, à l'été 2023, la procédure de contrôle qualité temps réel du BBP a été mise en place et la documentation publiée (<https://doi.org/10.13155/60262>) et la procédure de contrôle qualité de la Chlorophylle-A a été mise à jour opérationnellement et la documentation mise à jour et complétée et illustrée avec les exemples du temps différé mis en place en Méditerranée (<https://doi.org/10.13155/35385>).

L'audit du BBP accessible en ligne (ftp://ftp.mbari.org/pub/BGC_argo_audits/BBP700) depuis Juin 2021 a été mis à jour fin 2023. Le rapport des anomalies a été envoyé à la mailing liste Argo. Les résultats de cet audit ont été présentés lors de l'ADMT24. L'audit est proposé grâce à la comparaison des mesures du BBP avec des données de référence qui correspondent aux champs climatologiques hebdomadaires du BBP (produit SOCA). La mise à jour de l'audit a permis d'inspecter en 2023 un total de ~110 000 profils de BBP. Il y a 35 000 profils de plus qu'en 2022 (contre 10 000 profils supplémentaires en 2021). Parmi les profils inspectés, 875 profils ont été signalés comme anormaux (~1% des données contre 1.5% pour l'année dernière). Les listes d'exclusion des DACs aoml et coriolis ont été prises en compte.

4.5. DMQC Core et Deep

Le SNO Argo-France participe à un groupe de travail international chargé d'établir et de documenter la procédure de traitement temps différé des flotteurs Deep Argo. En particulier, une procédure pour corriger un biais dépendant de la pression et lié au terme de compressibilité (CpCor) a été établie et un code a été mis à disposition: https://github.com/ArgoDMQC/DM_Cpcor. Cette année, nous avons organisé un workshop (<https://www.euro-argo.eu/News-Meetings/Meetings/Others/Deep-Argo-DMQC-workshop>, 5-6 juin 2023) afin que les opérateurs temps différé puissent partager leurs expériences de correction du Cpcor et de l'évaluation de la dérive du capteur de conductivité. Nous avons également présenté le suivi de ces corrections lors de l'ADMT24.

Le SNO Argo-France participe également à un groupe de travail international chargé de suivre le problème des dérives abruptes de salinité (ASD), qui est apparu sur des capteurs SBE manufacturés depuis 2014. En effet, il y a une proportion plus importante de capteurs qui sont sujets à des dérives en salinité prématurées et dont les données deviennent rapidement inexploitable. Le SNO Argo-France a participé à la rédaction d'un papier (Wong et al, 2023 : <https://doi.org/10.5194/essd-15-383-2023>) décrivant le biais en salinité dans le jeu de données brut d'Argo et validant le jeu de données en temps différé afin de quantifier les erreurs résiduelles et les variations régionales des incertitudes sur la salinité.

Le SNO Argo-france participe au traitement temps différé de la salinité des flotteurs Argo (Core et Deep). Cette année, nous avons ainsi traité environ 70 flotteurs (dont 40 flotteurs deep). Dans ce cadre, le SNO Argo-france maintient le code [OWC](#) (Owens, Wong 2009 et Cabanes et al.2016) qui est celui préconisé pour la calibration des données de salinité des flotteurs Argo. Nous développons et maintenons la chaîne de traitement [DM FLOATS](#), utilisée par les opérateurs du LOPS, la sous-traitance et différents opérateurs européens. Cet outil a été présenté lors d'une des réunions régulières avec les différents opérateurs internationaux (7th DMQC discussions, 3/02/2023).

4.6. Trajectoires

En collaboration avec Coriolis et le SOERE-CTDO2, le SNO Argo-France contribue également aux

travaux de validation les trajectoires des flotteurs Argo et les mises à jour du produits ANDRO (Atlas des trajectoires Argo). Une mise à jour sur la période 2010-2020 incluant les flotteurs des DACs AOML a été publiée en 2022. L'atlas Andro ainsi que la climatologie binnée sur une grille ISAS (0.5°x 0.5°) des vitesses de déplacement des flotteurs au DOI:

Ollitrault Michel, Rannou Philippe, Brion Emilie, Cabanes Cecile, Reverdin Gilles, Kolodziejczyk Nicolas (2022). **ANDRO: An Argo-based deep displacement dataset**. SEANOE.doi: <https://doi.org/10.17882/47077>

Solène Déalbera (stagiaire élève Ingénieur ENSTA-Bretagne) a travaillé sur la mise en place d'une procédure automatisée de RTQC pour les trajectoires des flotteurs Argo. Ce travail a été initié par Gaëlle Herbert en 2019 (IR CDD, Coriolis) et finalisé en 2020 par Gaëlle en 2020 (CDD IR, INSU). Le but est de fournir une chaîne de traitement automatisée pour opérer le QC en temps réel sur les trajectoires, afin de pouvoir distribuer des fichiers Argo "RTraj" qualifiés de manière systématique et utilisable pour des produits de courant en temps réel. Ce travail est une première étape pour la mise en place du protocole de QC en temps différé pour les mesures de trajectoire Argo, afin de pouvoir distribuer les fichiers Argo "Dtraj" qualifiés à la communauté. Enfin, en collaboration avec le centre de données Coriolis, le SNO Argo-France a initié la mise en place d'une procédure de transfert des fichiers historique de trajectoire ANDRO contrôlés en delayed mode le format Argo 'Dtraj' au centre de données Coriolis et permettra la distribution des données de trajectoire en Real Time avec des QC en Temps Real.

4.7. Outils collaboratifs

Le projet Euro-Argo-RISE a mis en œuvre un cadre collaboratif de travail pour toute la communauté Argo. Les outils collaboratifs sont disponibles sur github.com/euroargodev. Cet outil collaboratif continue d'être développé au LOPS et est de plus en plus utilisé pour la communauté Argo-France, notamment BGC et ADMT.

Accès aux données Argo



Dans le cadre d'Euro-Argo-RISE, la France travaille à l'amélioration de l'accès aux données Argo, en particulier pour les utilisateurs non-experts. Pour cela, le LOPS a développé une librairie python de haut niveau qui fournit un accès simplifié à toutes les données Argo. Il s'agit d'argopy, disponible ici: <https://argopy.readthedocs.io>

Ce logiciel continue de faire l'objet de mise à jour régulière. En 2023, le SNO Argo-France a financé une mission de G. Maze au LOV qui conduit à une nouvelle release d'argopy en juillet 2023 qui permet l'accès aux index et données BGC pour les experts. C'est un grand pas en avant pour simplifier l'accès à ces données.

Base de référence

Coriolis gère les bases de données de références Argo pour le DMQC (des casts CTD bateaux et des flotteurs Argo). Afin d'en faciliter l'accès par les logiciels de QC, l'Ifremer entreprend de servir ces bases via l'API ERDDAP: http://www.ifremer.fr/erddap/info/argo_reference/index.html. Jusqu'à présent seules les données de référence Argo étaient disponibles (car en accès libre). L'accès aux données bateaux a été implémenté en 2023: **Argo-ref-ctd** avec un contrôle d'accès par login/mot de passe (les mêmes que pour l'accès à ces données via le ftp). L'accès à ces données est également pris en charge par la librairie python argopy qui permet donc d'accéder simplement à toutes les données de référence DMQC (Argo et CTD).

Simulateur de flotte Argo

Dans le cadre d'Euro-Argo-RISE, le LOPS a développé un logiciel de simulation de flotte Argo "[VirtualFleet](#)". Ce simulateur utilise les champs de vitesse des produits Mercator pour faire évoluer une flotte virtuelle de flotteurs Argo dont l'utilisateur peut modifier les paramètres missions. L'objectif premier de ce simulateur est de tester l'impact sur l'échantillonnage du réseau de différentes stratégies de déploiement et de configuration de flotteurs. Les développements se font en mode collaboratifs sur euroargodev. [Une première version stable a été publiée début 2023](#). Des évolutions et mises à jour sont faites au logiciel (dernière release le 22 Nov. 2023).

DMQC cookbook

Après le 1er DMQC workshop Euro-Argo en 2018, il a été décidé de créer un cookbook en ligne contenant le matériel de préparation du workshop. Ce cookbook, rédigé par les experts du workshop, contient des informations pratiques pour réaliser le DMQC et prendre des décisions. Il comprend en particulier des études de cas qui illustrent des problèmes complexes de DMQC et fournissent des lignes directrices pour corriger ou flagger de façon appropriée les mesures Argo.

La première version du core-Argo DMQC cookbook, finalisé en 2021 est disponible ici : <http://www.argodatamgt.org/Documentation> (section Cookbooks, Core Argo)

4.8. Ocean state report

ICES North Atlantic Ocean State Report (IROC)

En 2023, le comité ICES ne publie pas de rapport, la fréquence des rapports sera désormais biannuelle.

5. Recherche

5.1. Publications marquantes

Core : Almeida, L., N. Kolodziejczyk, and C. Lique (2023), Large Scale Salinity Anomaly Has Triggered the Recent Decline of Winter Convection in the Greenland Sea, *Geophys. Res. Lett.*, 50(21), e2023GL104766, doi: <https://doi.org/10.1029/2023GL104766>.

BGC : Mignot, A., Claustre, H., Cossarini, G., D'Ortenzio, F., Gutknecht, E., Lamouroux, J., Lazzari, P., Perruche, C., Salon, S., Sauzède, R., Taillandier, V., and Teruzzi, A.: Using machine learning and Biogeochemical-Argo (BGC-Argo) floats to assess biogeochemical models and optimize observing system design, *Biogeosciences*, 20, 1405–1422, <https://doi.org/10.5194/bg-20-1405-2023>, 2023. <https://bg.copernicus.org/articles/20/1405/2023/>

Deep : Zilberman Nathalie V., Thierry Virginie, King Brian, Alford Matthew, André Xavier, Balem Kevin, Briggs Nathan, Chen Zhaohui, Cabanes Cecile, Coppola Laurent, Dall'olmo Giorgio, Desbruyères Damien, Fernandez Denise, Foppert Annie, Gardner Wilford, Gasparin Florent, Hally Bryan, Hosoda Shigeki, Johnson Gregory C., Kobayashi Taiyo, Le Boyer Arnaud, Llovel William, Oke Peter, Purkey Sarah, Remy Elisabeth, Roemmich Dean, Scanderbeg Megan, Sutton Philip, Walicka Kamila, Wallace Luke, Van Wijk Esmee M. (2023). Observing the full ocean volume using Deep Argo floats . *Frontiers In Marine Science* , 10, 1287867 (12p.) . Publisher's official version : <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1287867> , Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00864/97578/>

5.2. Faits marquants

5.2.1. Projets ObsOcéan-Piano-Argo 2030

La communauté du SNO a été leader dans l'élaboration de 3 projets d'envergure pour Argo, financés, et qui ont démarré en 2021. La réunion annuelle des partenaires des trois projets s'est tenue à Brest en Septembre 2023 (<https://www.argo-france.fr/Actualites-et-reunions/Meetings/2eme-reunion-annuelle-des-partenaires-des-projets-Argo-2030-PIE-PIANO-et-CPER-ObsOcean>). (<https://www.argo-france.fr/Actualites-et-reunions/Meetings/Kick-off-meeting-des-projets-Argo-2030-PIE-PIANO-et-CPER-ObsOcean>).

6. Coordination scientifique et animation

6.1. Coordination scientifique

Le comité de pilotage d'Argo-France s'est réuni à 5 reprises en 2023 pour préparer les meetings internationaux, analyser les plans de déploiements et suivre les dossiers en cours (GMMC, CPER

EURO-ARGO).

6.2. Représentation

- 1st BGC DMQC-Workshop (23-26 Janvier 2023, Villefranche sur mer)
- AST24 (20-24 mars 2023, Halifax, Canada)
- Journées Scientifiques du LEFE-GMMC (Brest, 31 mai et 1-2 juin 2023)
- ADMT24 (23-27 Octobre 2023, Hobart, Australie)
- Deep-Argo delayed-mode quality control (DMQC) workshop (5-6 juin 2023, - virtual)

6.3. Animation scientifique

L'année 2023 a été marquée par la création de la Technological Task Team (TTT) au niveau international Argo. Cette équipe est co-dirigée par E. Leymarie et Y. Takeshita et regroupe 12 membres au total (<https://biogeochemical-argo.org/technological-task-team.php>). Elle a pour vocation d'aider l'AST et l'ADMT à répondre à des questions techniques autour des capteurs BGC. En particulier, dans un contexte favorable d'augmentation de l'offre de capteurs pour une même variable, la TTT devra proposer des méthodes permettant l'interopérabilité de capteurs provenant de différents fabricants. On trouvera ici les [terms of reference](#) de la nouvelle TTT.

En 2023, la Argo Polar Mission a été également créée. La mission polaire vise à promouvoir l'implémentation d'un réseau Argo polaire et fournir une expertise scientifique et technique pour le déploiement de flotteurs en régions polaires, notamment grâce aux flotteurs munis de capacité glace. On trouvera les [terms of reference](#) de la nouvelle mission. Les co-chairs sont : Esmee van Wijk (CSIRO, AUS) et Nicolas Kolodziejczyk (UBO, FR).

6.4. Veille bibliographique

Un total de **48 articles** de recherche ont été co-écrits par des auteurs affiliés à un laboratoire français, **6 thèses** utilisant des données Argo ont été soutenues dans une université française. La liste de publications est fournie en annexe de ce document.

6.5. Activité de médiation scientifique

- En 2023, Argo France était présente à l'université d'été Mer&Education (formation interdisciplinaire des enseignants du second degré ; <https://nouveau.univ-brest.fr/mer-education/>)
- Dans le cadre des Journées des DU CNRS-INSU qui se tenaient à Brest du 13 (accueil et visite de l'IUEM l'après-midi) au 16 novembre, des conférences grand-public ont permis de présenter Argo au public brestois : "L'observation de l'océan à Brest, au service de demain" s'est tenu le mercredi 15 novembre à la faculté de lettres, salle Yves Moraud.
- Programme Adopt A Float : Lors de l'année scolaire 2022-2023, plus de 1500 élèves « Ocean Voyagers » ont pris part à l'aventure éducative adopt a float. Ces élèves de France métropolitaine, des DOM-TOM (La Réunion, Martinique) ou encore des Seychelles et de l'île Maurice ont ainsi adopté un flotteur profileur.

L'animation de cette année a notamment été marquée par l'expédition dans l'océan Indien

dirigée par Les Explorations de Monaco entre octobre et novembre 2022. Cette mission océanographique a représenté une opportunité exceptionnelle pour des élèves réunionnais, mauriciens et seychellois qui ont pu monter à bord de l'Agulhas II, plus grand navire océanographique du monde, rencontrer nos scientifiques. L'occasion idéale pour signer les flotteurs profileurs qu'ils ont adoptés avant leur mise à l'eau quelques jours plus tard.

Au total, ce ne sont pas moins de 49 flotteurs BGC Argo voguant dans l'océan mondial qui ont été adoptés. Incitation à découvrir l'Océan et son étude scientifique, ces adoptions ont été source de rencontres entre les scolaires et une soixantaine de scientifiques et médiateurs scientifiques de l'Institut de la Mer de Villefranche et de l'Ifremer Plouzané et Nantes (qui aident au déploiement du programme dans la région bretonne et ses alentours). Interventions en classe, rendez-vous enseignants, visites de l'Institut de la Mer de Villefranche et journées de restitution ont ainsi rythmé l'année.

Pour la nouvelle année scolaire 2023-2024, adopt a float continue son développement et compte près de 90 classes françaises (métropole + DOM-TOM) et internationales (Belgique, Italie, Espagne, Royaume-Unis et États-Unis). Des scientifiques internationaux sont ainsi également mobilisés pour assurer l'éducation des élèves et leurs enseignants aux sciences océaniques.

Annexe : Bibliographie Argo-France

Peer reviewed (48):

1. Abot, L., C. Provost, and L. Poli (2023), Recent Convection Decline in the Greenland Sea: Insights From the Mercator Ocean System Over 2008–2020, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 128(6), e2022JC019320, doi: <https://doi.org/10.1029/2022JC019320>.
2. Aguedjou, H. M. A., A. Chaigneau, I. Dadou, Y. Morel, E. Baloitcha, and C. Y. Da-Allada (2023), Imprint of Mesoscale Eddies on Air-Sea Interaction in the Tropical Atlantic Ocean, *Remote Sensing*, 15(12), doi: <https://doi.org/10.3390/rs15123087>.
3. Akhil, V. P., M. Lengaigne, K. S. Krishnamohan, M. G. Keerthi, and J. Vialard (2023), Southeastern Arabian Sea Salinity variability: mechanisms and influence on surface temperature, *Climate Dynamics*, 61, 3737-3754, doi: <https://doi.org/10.1007/s00382-023-06765-z>.
4. Allende, S., T. Fichet, H. Goosse, and A. M. Treguier (2023), On the ability of OMIP models to simulate the ocean mixed layer depth and its seasonal cycle in the Arctic Ocean, *Ocean Model.*, 184, 102226, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2023.102226>.
5. Almeida, L., N. Kolodziejczyk, and C. Lique (2023), Large Scale Salinity Anomaly Has Triggered the Recent Decline of Winter Convection in the Greenland Sea, *Geophys. Res. Lett.*, 50(21), e2023GL104766, doi: <https://doi.org/10.1029/2023GL104766>.
6. Arellano, C., V. Echevin, L. Merma-Mora, A. Chamorro, D. Gutiérrez, A. Aguirre-Velarde, J. Tam, and F. Colas (2023), Circulation and stratification drivers during the summer season in the upwelling bay of Paracas (Peru): A modelling study, *Cont. Shelf Res.*, 254, 104923, doi: <https://doi.org/10.1016/j.csr.2022.104923>.

7. Azarian, C., L. Bopp, A. Pietri, J.-B. Sallée, and F. d'Ovidio (2023), Current and projected patterns of warming and marine heatwaves in the Southern Indian Ocean, *Prog. Oceanogr.*, 215, 103036, doi: <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2023.103036>.
8. Barboni, A., S. Coadou-Chaventon, A. Stegner, B. Le Vu, and F. Dumas (2023), How subsurface and double-core anticyclones intensify the winter mixed-layer deepening in the Mediterranean Sea, *Ocean Sci.*, 19(2), 229-250, doi: <https://doi.org/10.5194/os-19-229-2023>.
9. Barnoud, A., J. Pfeffer, A. Cazenave, R. Fraudeau, V. Rousseau, and M. Ablain (2023), Revisiting the global mean ocean mass budget over 2005–2020, *Ocean Sci.*, 19(2), 321-334, doi: <https://doi.org/10.5194/os-19-321-2023>.
10. Berthet, S., Jouanno, J., Séférian, R., Gehlen, M., and Llovel (2023), W.: How does the phytoplankton–light feedback affect the marine N₂O inventory?, *Earth Syst. Dynam.*, 14, 399–412, doi: <https://doi.org/10.5194/esd-14-399-2023>.
11. Boutin, J., J.L. Vergely, F. Bonjean, X. Perrot, Y. Zhou, E. Dinnat, R. Lang, D. Levine, and R. Sabia, (2023) New Seawater Dielectric Constant Parametrization and Application to SMOS Retrieved Salinity, *IEEE Transactions of Geoscience and Remote Sensing*, 2023, doi: [10.1109/TGRS.2023.3257923](https://doi.org/10.1109/TGRS.2023.3257923).
12. Boyd, P. W., H. Claustre, L. Legendre, J.-P. Gattuso, and P. Y. Le Traon (2023), Operational Monitoring of Open-Ocean Carbon Dioxide Removal Deployments: Detection, Attribution, and Determination of Side Effects, *Oceanography*, 36(1), 2-10, doi: <https://doi.org/10.5670/oceanog.2023.s1.2>.
13. Boyer, T., et al. (2023), Effects of the Pandemic on Observing the Global Ocean, *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, 104(2), E389-E410, doi: <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-21-0210.1>.
14. Cimoli, L., et al. (2023), Significance of Diapycnal Mixing Within the Atlantic Meridional Overturning Circulation, *AGU Advances*, 4(2), e2022AV000800, doi: <https://doi.org/10.1029/2022AV000800>.
15. Dall'Olmo, G., et al. (2023), Real-time quality control of optical backscattering data from Biogeochemical-Argo floats [version 2; peer review: 4 approved], *Open Research Europe*, 2(118), doi: <https://doi.org/10.12688/openreseurope.15047.1>.
16. Gasparin, F., J.-M. Lellouche, S. E. Cravatte, G. Ruggiero, B. Rohith, P. Y. Le Traon, and E. Rémy (2023), On the control of spatial and temporal oceanic scales by existing and future observing systems: An observing system simulation experiment approach, *Frontiers in Marine Science*, 10, doi: <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1021650>.
17. Germineaud, C., D. L. Volkov, S. Cravatte, and W. Llovel (2023), Forcing Mechanisms of the Interannual Sea Level Variability in the Midlatitude South Pacific during 2004–2020, *Remote Sensing*, 15(2), doi: <https://doi.org/10.3390/rs15020352>.
18. González-Santana, A., M. Oosterbaan, T. Clavelle, G. Maze, G. Notarstefano, N. Poffa, and P. Vélez-Belchí (2023), Analysis of the global shipping traffic for the feasibility of a structural recovery program of Argo floats, *Frontiers in Marine Science*, 10, doi: <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1161580>.
19. Grégoire, M., et al. (2023), Monitoring Black Sea environmental changes from space: New products for altimetry, ocean colour and salinity. Potentialities and requirements for a dedicated in-situ observing system, *Frontiers in Marine Science*, 9, doi: <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.998970>.
20. Grodsky, S. A., N. Reul, and D. Vandemark (2023), Sea surface salinity response to variations in the Aleutian Low, *J. Mar. Syst.*, 240, 103888, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2023.103888>.
21. Gülk, B., F. Roquet, A. C. Naveira Garabato, A. Narayanan, C. Rousset, and G. Madec (2023), Variability and Remote Controls of the Warm-Water Halo and Taylor Cap at Maud Rise, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 128(7), e2022JC019517, doi:

- <https://doi.org/10.1029/2022JC019517>.
22. Habib, J., et al. (2023), Seasonal and interannual variability of the pelagic ecosystem and of the organic carbon budget in the Rhodes Gyre (eastern Mediterranean): influence of winter mixing, *Biogeosciences*, 20(15), 3203-3228, doi: <https://doi.org/10.5194/bg-20-3203-2023>.
 23. Himmich, K., M. Vancoppenolle, G. Madec, J.-B. Sallée, P. R. Holland, and M. Lebrun (2023), Drivers of Antarctic sea ice advance, *Nature Communications*, 14(1), 6219, doi: <https://doi.org/10.1038/s41467-023-41962-8>.
 24. Hochet, A., Llovel, W., Sévellec, F., & Huck, T. (2023). Sources and sinks of interannual steric sea level variability. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 128, e2022JC019335, doi: <https://doi.org/10.1029/2022JC019335>.
 25. Lacour, L., Lloret, J., Briggs, N. J. Lloret, N. Briggs, P. G. Strutton and P. W. Boyd (2023). Seasonality of downward carbon export in the Pacific Southern Ocean revealed by multi-year robotic observations. *Nat Commun*, doi: <https://doi.org/10.1038/s41467-023-36954-7>.
 26. Lévy, M., D. Couespel, C. Haëck, M. G. Keerthi, I. Mangolte, and C. J. Prend (2023), The Impact of Fine-Scale Currents on Biogeochemical Cycles in a Changing Ocean, *Annual Review of Marine Science*, doi: <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-020723-020531>.
 27. L'Hegaret, P., et al. (2023), Ocean cross-validated observations from R/Vs L'Atalante, Maria S. Merian, and Meteor and related platforms as part of the EUREC4A-OA/ATOMIC campaign, *Earth Syst. Sci. Data*, 15(4), 1801-1830, doi: <https://doi.org/10.5194/essd-15-1801-2023>.
 28. Llovel, W., K. Balem, S. Tajouri, and A. Hochet (2023), Cause of Substantial Global Mean Sea Level Rise Over 2014–2016, *Geophys. Res. Lett.*, 50(19), e2023GL104709, doi: <https://doi.org/10.1029/2023GL104709>.
 29. Lombard, F., et al. (2023), Open science resources from the Tara Pacific expedition across coral reef and surface ocean ecosystems, *Scientific Data*, 10(1), 324, doi: <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01757-w>.
 30. McCarthy, G. D., S. Plecha, G. Charria, A. Simon, C. Poppeschi, and A. Russo (2023), The marine heatwave west of Ireland in June 2023, *Weather*, 78(11), 321-323, doi: <https://doi.org/10.1002/wea.4498>.
 31. Meyssignac, B., et al. (2023), How accurate is accurate enough for measuring sea-level rise and variability, *Nature Climate Change*, 13(8), 796-803, doi: <https://doi.org/10.1038/s41558-023-01735-z>.
 32. Meyssignac, B., J. Chenal, N. Loeb, R. Guillaume-Castel, and A. Ribes (2023), Time-variations of the climate feedback parameter λ are associated with the Pacific Decadal Oscillation, *Communications Earth & Environment*, 4(1), 241, doi: <https://doi.org/10.1038/s43247-023-00887-2>.
 33. Mignot, A., et al. (2023), Using machine learning and Biogeochemical-Argo (BGC-Argo) floats to assess biogeochemical models and optimize observing system design, *Biogeosciences*, 20(7), 1405-1422, doi: <https://doi.org/10.5194/bg-20-1405-2023>.
 34. Minière, A., K. von Schuckmann, J.-B. Sallée, and L. Vogt (2023), Robust acceleration of Earth system heating observed over the past six decades, *Scientific Reports*, 13(1), 22975, doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-49353-1>.
 35. Montero, M., N. Reul, C. de Boyer Montégut, J. Vialard, S. Brachet, S. Guimbard, D. Vandemark, and J. Tournadre (2023), Sea Surface Salinity estimates from AMSR-E Radiometer in the Bay of Bengal: Algorithm Principles and Limits. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 61, pp. 1-21, Art no. 4206921, doi: <https://doi.org/10.1109/TGRS.2023.3305203>.
 36. Morrow, R., L.-L. Fu, M.-H. Rio, R. Ray, P. Prandi, P.-Y. Le Traon, and J. Benveniste (2023), Ocean

- Circulation from Space, *Surveys in Geophysics*, 4, 1243-1286, doi: <https://doi.org/10.1007/s10712-023-09778-9>.
37. Mourre, B., et al. (2023), Chapter 10 – Mediterranean observing and forecasting systems, in *Oceanography of the Mediterranean Sea*, edited by K. Schroeder and J. Chiggiato, pp. 335-386, Elsevier, doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823692-5.00001-7>.
 38. Neukermans, G., L. T. Bach, A. Butterley, Q. Sun, H. Claustre, and G. R. Fournier (2023), Quantitative and mechanistic understanding of the open ocean carbonate pump – perspectives for remote sensing and autonomous in situ observation, *Earth-Science Reviews*, 239, 104359, doi: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2023.104359>.
 39. Renosh, P. R., J. Zhang, R. Sauzède, and H. Claustre (2023). Vertically Resolved Global Ocean Light Models Using Machine Learning. *Remote Sensing*, doi: <https://doi.org/10.3390/rs15245663>.
 40. Ribeiro N, Herraiz-Borreguero L, Rintoul SR, Williams G, McMahon CR, Hindell MA, Guinet C (2023) Oceanic regime shift to a warmer continental shelf adjacent to the Shackleton Ice Shelf, East Antarctica. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, doi: <http://dx.doi.org/10.1029/2023JC019882>.
 41. Sérazin, G., A. M. Tréguier, and C. de Boyer Montégut (2023), A seasonal climatology of the upper ocean pycnocline, *Frontiers in Marine Science*, 10, doi: <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1120112>.
 42. Stoer AC, Takeshita Y, Maurer TL, Begouen Demeaux C, Bittig HC, Boss E, Claustre H, Dall’Olmo G, Gordon C, Greenan BJW, Johnson KS, Organelli E, Sauzède R, Schmechtig CM and Fennel K (2023). A census of quality-controlled Biogeochemical-Argo float measurements. *Front. Mar. Sci*, doi: <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1233289>.
 43. Terrats, L., H. Claustre, N. Briggs, A. Poteau, B. Briat, L. Lacour, F. Ricour, A. Mangin, and G. Neukermans (2023), BioGeoChemical-Argo Floats Reveal Stark Latitudinal Gradient in the Southern Ocean Deep Carbon Flux Driven by Phytoplankton Community Composition, *Glob. Biogeochem. Cycle*, 37(11), e2022GB007624, doi: <https://doi.org/10.1029/2022GB007624>.
 44. Tréguier, A. M., C. de Boyer Montégut, A. Bozec, E. P. Chassignet, B. Fox-Kemper, A. McC. Hogg, D. Iovino, A. E. Kiss, J. Le Sommer, Y. Li, P. Lin, C. Lique, H. Liu, G. Sérazin, D. Sidorenko, Q. Wang, X. Xu, and S. Yeager (2023), The mixed-layer depth in the Ocean Model Intercomparison Project (OMIP): impact of resolving mesoscale eddies. *Geosci. Model Dev.*, 16, 3849–3872, doi: <https://doi.org/10.5194/gmd-16-3849-2023>.
 45. Uitz, J., C. Roesler, E. Organelli, H. Claustre, C. Penkerch, S. Drapeau, E. Leymarie, A. Poteau, C. Schmechtig, C. Dimier, J. Ras, X. Xing, and S. Blain (2023). Characterization of Bio-Optical Anomalies in the Kerguelen Region, Southern Indian Ocean: A Study Based on Shipborne Sampling and BioGeoChemical-Argo Profiling Floats. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, doi: <https://doi.org/10.1029/2023JC019671>.
 46. von Schuckmann, K., et al. (2023), Heat stored in the Earth system 1960–2020: where does the energy go?, *Earth Syst. Sci. Data*, 15(4), 1675-1709, doi: <https://doi.org/10.5194/essd-15-1675-2023>.
 47. Zilberman, N. V., et al. (2023), Observing the full ocean volume using Deep Argo floats, *Frontiers in Marine Science*, 10, doi: <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1287867>.
 48. Wong, A. P. S., J. Gilson, and C. Cabanes (2023), Argo salinity: bias and uncertainty evaluation, *Earth Syst. Sci. Data*, 15(1), 383-393, doi: <https://doi.org/10.5194/essd-15-383-2023>.

Thèses (soutenues en 2023, 6) :

1. Barboni, Alexandre, 2023 : Dynamique de surface et de subsurface de tourbillons à longue durée de

- vie en Méditerranée sous l'influence du forçage atmosphérique. Thèse de doctorat en Ingénierie, mécanique et énergétique, Institut Polytechnique de Paris, 09 octobre 2023.
<https://www.theses.fr/s259389>
2. Le Ster Loïc, 2023 : Estimation des variations saisonnières et interannuelles de la biomasse et de la composition en phytoplancton du secteur indien de l'Océan Austral sur les deux dernières décennies et évaluation de leurs conséquences écologiques. Sorbonne Université, 5 octobre 2023.
<https://theses.hal.science/THESES-SU/tel-04255749v1>
 3. Olivier, Léa, 2023 : Rôle de la méso-échelle dans l'océan Atlantique tropical sur la salinité et les flux air-mer de CO₂, Sorbonne Université, Paris, 28 février 2023. <https://www.theses.fr/2023SORUS149>
 4. Petit, F. (2023). Development and exploitation of new methods for observing phytoplankton community composition from BGC-Argo profiling floats in the open ocean, PhD thesis, 162 pp, Sorbonne Université, France, <https://theses.hal.science/THESES-SU/tel-04137856v1>
 5. Ricour, F. (2023). Towards a new insight of the carbon transport in the global ocean, PhD thesis, Université de Liège, Belgium, <https://theses.hal.science/THESES-SU/tel-04200208v1>
 6. Thouvenin-Masson, Clovis, 2023 : Variabilité de la salinité et décharges de fleuves, Sorbonne Université, Paris, 22 décembre 2023.