

Bilan Argo France 2021

Comité de Pilotage Argo-France



Réf. : AF-2022-BILAN2021

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

Date : 01/03/2022



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 2021. Des informations complémentaires sont disponibles dans le rapport AST 22 (21-25 Mars 2022, Monaco, France).

Table des matières

| | |
|--|----------|
| Équipes et programme | 5 |
| Opérations à la mer : CODEP | 5 |
| Achats flotteurs | 5 |
| Composante T/S - NOSS | 6 |
| Composante T/S/O2 | 6 |
| Composante Deep | 6 |
| Composante BGC | 6 |
| Composante T/S - RBR | 6 |
| Activités Déploiements | 6 |
| Monitoring de la flotte | 7 |
| Gestion des données | 8 |
| DAC : centre de données des flotteurs Coriolis | 8 |
| Flotteurs actifs | 8 |
| Tous les flotteurs Coriolis | 9 |
| DAC Coriolis BGC-Argo | 11 |
| Données en temps différé transmises aux GDACs | 13 |
| GDAC: centre de données global des flotteurs Argo | 13 |
| Inventaire des données Argo | 13 |
| Empreinte des fichiers de GDAC Argo | 14 |
| Tableau de bord Argo Sémaphore: créditer les fournisseurs de données | 15 |
| Flotteurs BGC-Argo | 17 |
| Base de données de Référence | 20 |
| Projets européens Argo-données | 20 |
| Argo MOCCA : machine learning appliqué aux observations Argo | 20 |
| Argo Euro-Argo-RISE: développer l'observation océan in situ par flotteurs Argo | 21 |
| ENVRI-FAIR : connecter les ERICs à l'EOSC | 22 |

| | |
|---|-----------|
| EOSC-hub: construire le Blue Cloud européen pour la science | 24 |
| Outils et produits | 25 |
| ISAS global-T/S/O2-surface-fond | 25 |
| Nouvelle méthode DMQC basée sur l'Intelligence Artificielle | 25 |
| DMQC BGC | 26 |
| DMQC Core et Deep | 27 |
| Trajectoires | 27 |
| Outils collaboratifs | 28 |
| Ocean state report | 29 |
| ICES North Atlantic Ocean State Report (IROC) | 29 |
| Recherche | 30 |
| Publications marquantes | 30 |
| Faits marquants | 30 |
| Projet H2020 Euro-Argo-RISE | 30 |
| Projets ObsOcéan-Piano-Argo 2030 | 30 |
| Projet ERC REFINE | 32 |
| Coordination scientifique et animation | 33 |
| Coordination scientifique | 33 |
| Animation scientifique | 33 |
| Veille bibliographique | 34 |
| Activité de médiation scientifique | 34 |
| Impact de la Covid-19 sur les activités Argo France | 34 |
| Annexe : Bibliographie Argo-France | 35 |

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 2021 :

- la préparation et le déploiement de 90 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 2021, les partenaires Argo-France ont vu le démarrage des trois gros projets d'investissement (kickoff meeting 17-18 janvier 2022) 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 2021, les partenaires Argo-France ont continué à représenter la France dans les instances internationales (AST et ADMT) et européennes (ERIC Euro-Argo, Management Board et Council).

Enfin 2021, la France a continué d'opérer le DAC et le GDAC Coriolis (Centre de données Global Argo).

2. Opérations à la mer : CODEP

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

2.1. Achats flotteurs

En 2021 le financement CPER Bretagne étant absent, il n'y a pas eu d'upgrades de TS en O2 ou en Deep financés par ce biais. Un surplus de crédit a cependant été alloué par l'Ifremer au dernier trimestre permettant l'achat de flotteurs supplémentaires. En 2021 le groupement d'achats SHOM/IFREMER et le projet PIANO ont ainsi permis l'achat de **82 flotteurs** se décomposant comme suit :

- TS : **66 Arvor TS SBE** (24 SHOM et 42 Ifremer) et **6 Arvor RBR** (Ifremer)
- O2 : **2 Arvor O2** (Ifremer)
- DEEP : **1 Deep O2** (Ifremer)
- BGC : **4 CT55 O2** (Ifremer) pour montage BGC (LOV) et **3 CT55 JUMBO PIANO** (Ifremer)

2.1.1. Composante T/S - NOSS



En 2021, en collaboration avec le LOPS, le SHOM et NKE, la campagne TECHNOSS s'est déroulée les 20-24 octobre 2021 dans le panache du Rhône en Méditerranée à bord du Téthys. Cette campagne d'essai visait à tester le capteur NOSS dans des conditions de fort contrastes: forts gradients de salinité en surface, forte turbidité et fort contenu en sels nutritifs. Pour ce faire, des profils ont été réalisés à l'aide d'une rosette équipée de capteurs CTD, fluorimétriques, transmissiomètre, turbidimètre et du NOSS, ainsi que des prélèvements bouteilles de sels nutritifs. Les échantillons et les données sont en cours d'analyse.

2.1.2. Composante T/S/O2

En l'absence de financement CPER Bretagne en 2021, seuls 2 Arvor O2 (au lieu de 11 annuellement depuis 2015) ont été achetés via la centrale achat de l'ERIC Euro-Argo, le GA ne permettant pas l'achat de flotteurs O2.

2.1.3. Composante Deep

En l'absence de financement CPER Bretagne en 2021 et du fait du reliquat de flotteurs Deep lié aux années précédentes, seul 1 Deep a été acheté (au lieu de 14 annuellement depuis 2015).

2.1.4. Composante BGC

4 CTS5 équipés d'O2 (flotteurs bénéficiant d'upgrades de capteurs BGC financés par le CNES) ont été achetés pour upgrade en BGC complets par le LOV. En outre, le projet PIANO a permis l'achat en 2021 de 3 flotteurs CTS5 JUMBO et de leur suite de capteurs BGC. Ces achats se sont faits via l'ERIC Euro-Argo. le GA ne permettant pas l'achat de porteur et de capteurs.



2.1.5. Composante T/S - RBR



Dans le cadre du projet H2020 Euro-Argo-RISE, l'Ifremer a développé l'Arvor-I/RBR qui est donc un flotteur Arvor-I standard équipé de la CTD RBR. 2 flotteurs de ce type ont été déployés lors de la campagne espagnole RAPROCAN2020 au large des Canaries en décembre 2020. 2 autres Arvor RBR achetés via des crédits reliquats de RDT ont été également déployés en Atlantique Nord en 2021. Les données seront analysées par le LOPS dans le cadre de Euro-Argo RISE. 6 Arvor RBR ont été achetés sur crédits 2021 pour déploiement en 2022.

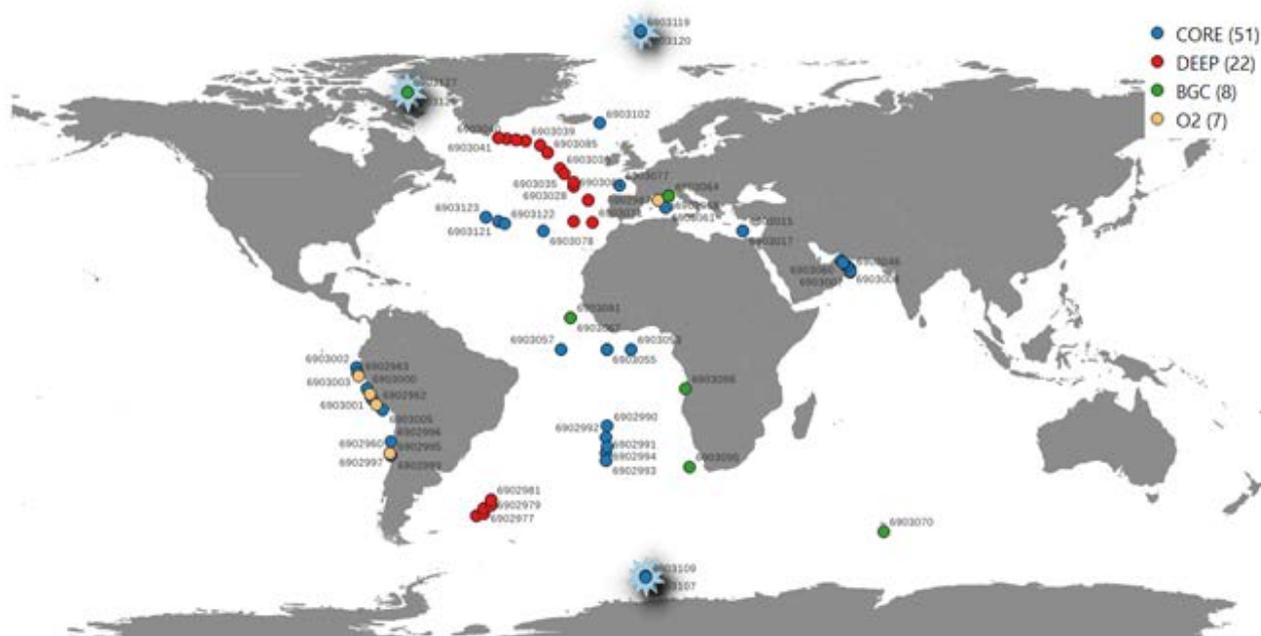
2.2. Activités Déploiements

90 flotteurs ont été déployés en 2021; on totalise 51 T/S Core, 7 T/S/O2, 10 BGC (5 CTS4 & 5 CTS5) et 22 Deep. Conformément aux directives, le réseau Deep prend son envol en termes d'implémentation dans le bassin sud Groënland. 3 Arvor-C ont aussi été déployés dans le Golfe de Gascogne (non comptabilisés ici).

Ce nombre conséquent de déploiements s'explique en partie par le report de campagnes 2020 lié à la

pandémie de Covid-19.

Environ la moitié des flotteurs ont été déployés sur des campagnes affiliées aux projets GMMC, on comptabilise sinon des déploiements SHOM (campagne Physindien et SHOM Med), le déploiement des Deep sur la campagne OVIDE/BOCATS et quelques déploiements d'opportunité. Les supports de déploiement sont variés; navires de la FOF, navire d'instituts partenaires, navire de commerce, bateaux de pêche (partenariat GMMC SEPICAF) et voiliers (Tara, Iris avec la participation d'Argo-France au charter Argo co-financé par Euro-Argo et la NOAA).



2.2.1. Monitoring de la flotte

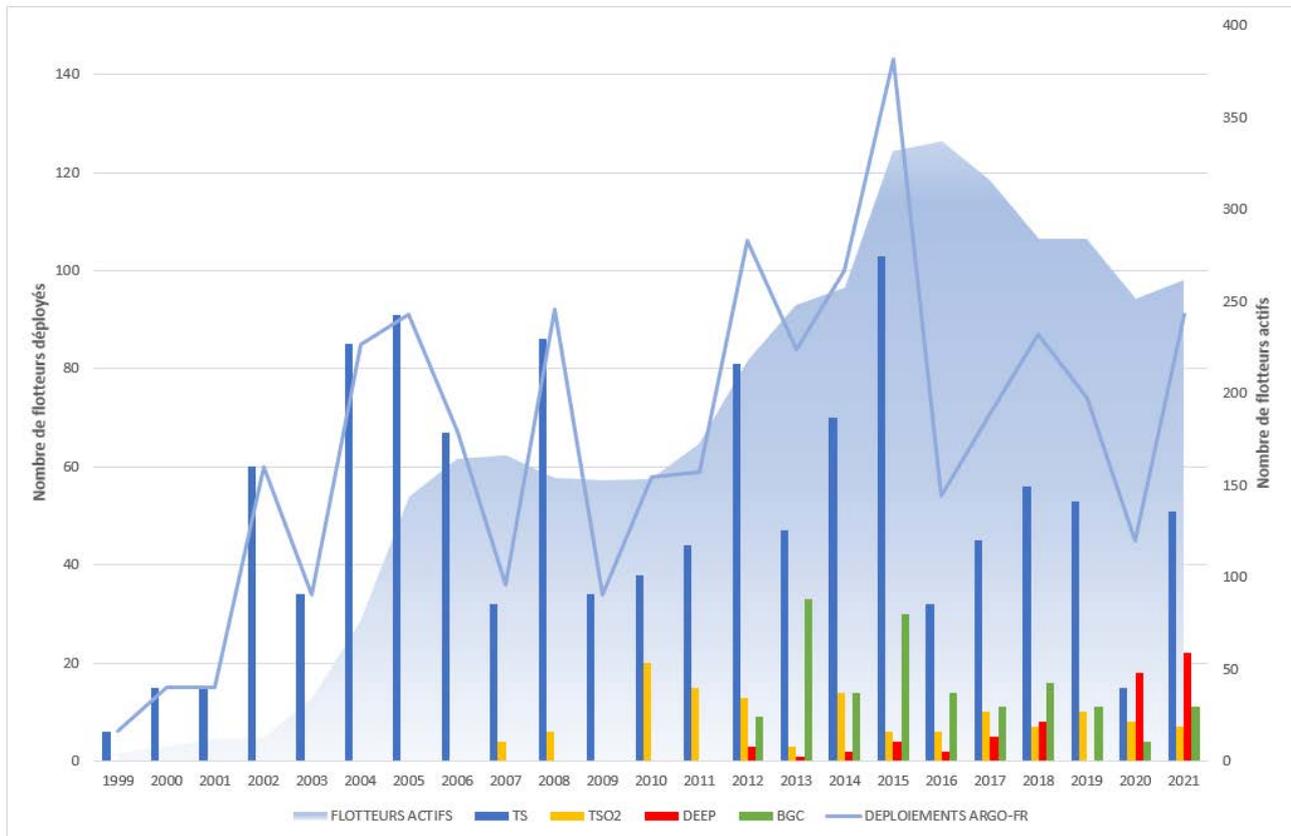
A ce jour (janvier 2022), sur les 90 flotteurs déployés en 2021 :

- 80 sont actifs
- 2 DEEP ont disparu prématurément : Problèmes non identifiés
- 1 CTS4 est passé en fin de vie au déploiement (GMMC SEPICAF)
- 1 CTS3-DO a disparu après échouage sur le plateau dans le Golfe du Lion
- 2 BGC ont été récupérés sur Boussole.
- 2 Arvor et 3 CTS5 sont sous la glace (déploiements Darkedge en baie de Baffin et GMMC ARCTICGO au pôle Nord)

La flotte française opérationnelle début 2022 est composée à 69% d'ARVOR T/S, 15% de DEEP, 8% d'O2 et 8% de BGC. On peut aussi ajouter 2 Arvor côtiers achetés par le Shom et décodés et traités par le centre de données Coriolis.

45 flotteurs français ont disparu en 2021, principalement dû à l'épuisement des batteries. Ces flotteurs

disparus montrent une moyenne de 184 cycles et 3.6 ans de fonctionnement à la mer.



Evolution des déploiements et de la flotte Argo-France opérationnelle de 1999 à 2021

3. Gestion des données

Un rapport détaillé de l'activité gestion de donnée du DAC/GDAC Coriolis est disponible sur le site de l'ADMT: https://argo.ucsd.edu/wp-content/uploads/sites/361/2021/12/ADMT22_Coriolis_Rep.pdf

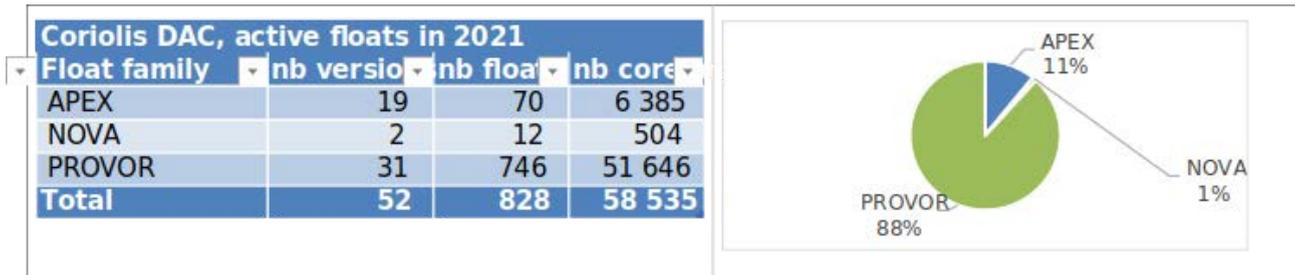
3.1. DAC : centre de données des flotteurs Coriolis

3.1.1. Flotteurs actifs

Ce rapport couvre l'activité du DAC Coriolis (Data Assembly Centre) pour la période d'un an allant du 1^{er} septembre 2020 au 30 octobre 2021.

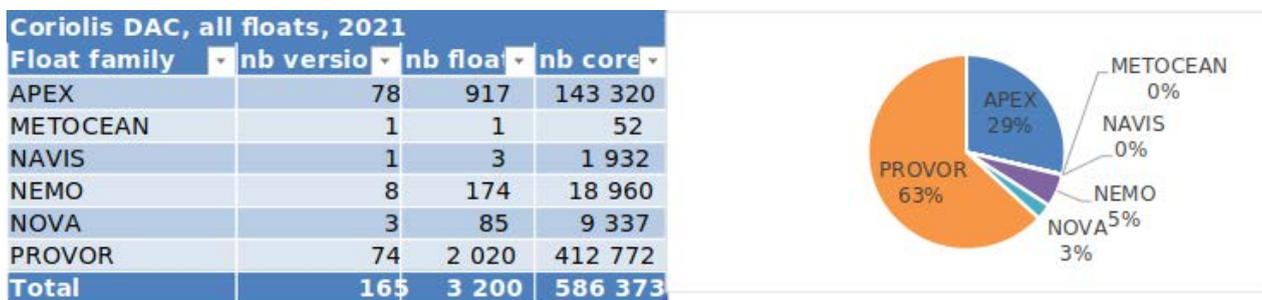
Au cours des 12 derniers mois, 58 535 profils provenant de 828 flotteurs actifs ont été collectés, contrôlés et distribués. Par rapport à 2020, le nombre de profils est en nette augmentation (+12%), le nombre de flotteurs a augmenté de 5%. Ces chiffres illustrent une bonne dynamique dans l'activité de Coriolis DAC.

Les 828 flotteurs gérés pendant cette période comportaient 52 versions de formats de données.

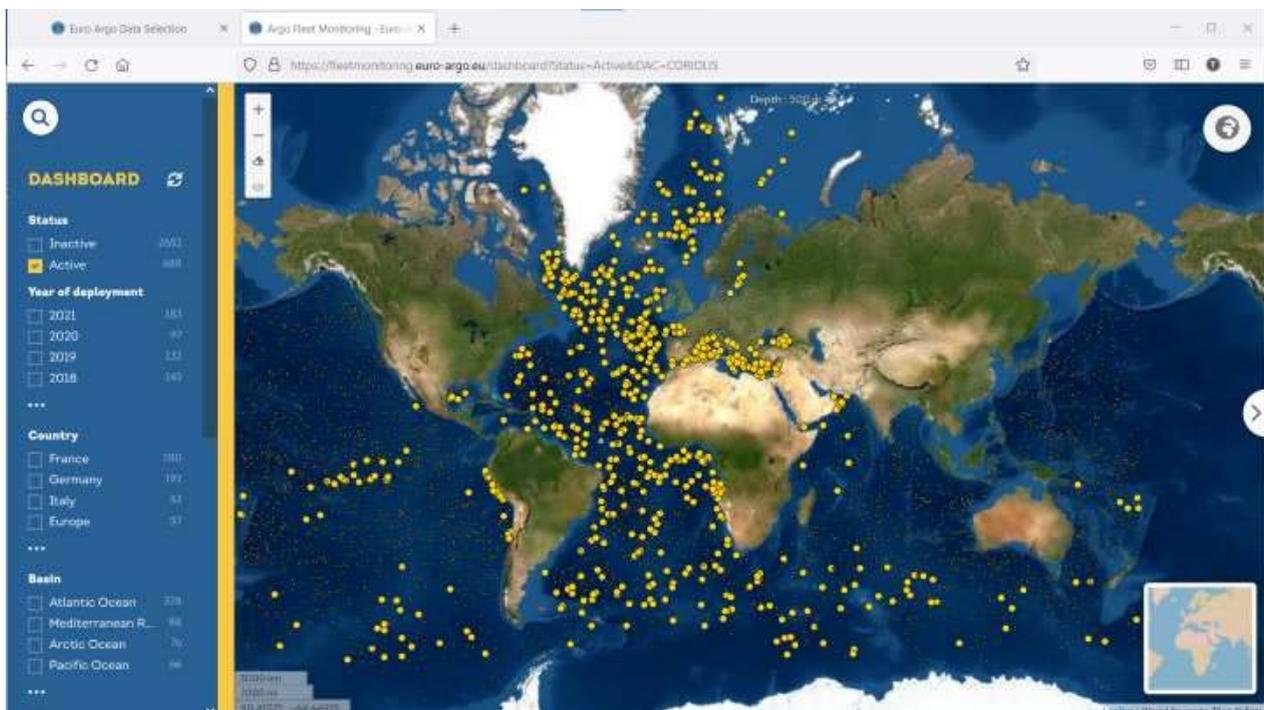


3.1.2. Tous les flotteurs Coriolis

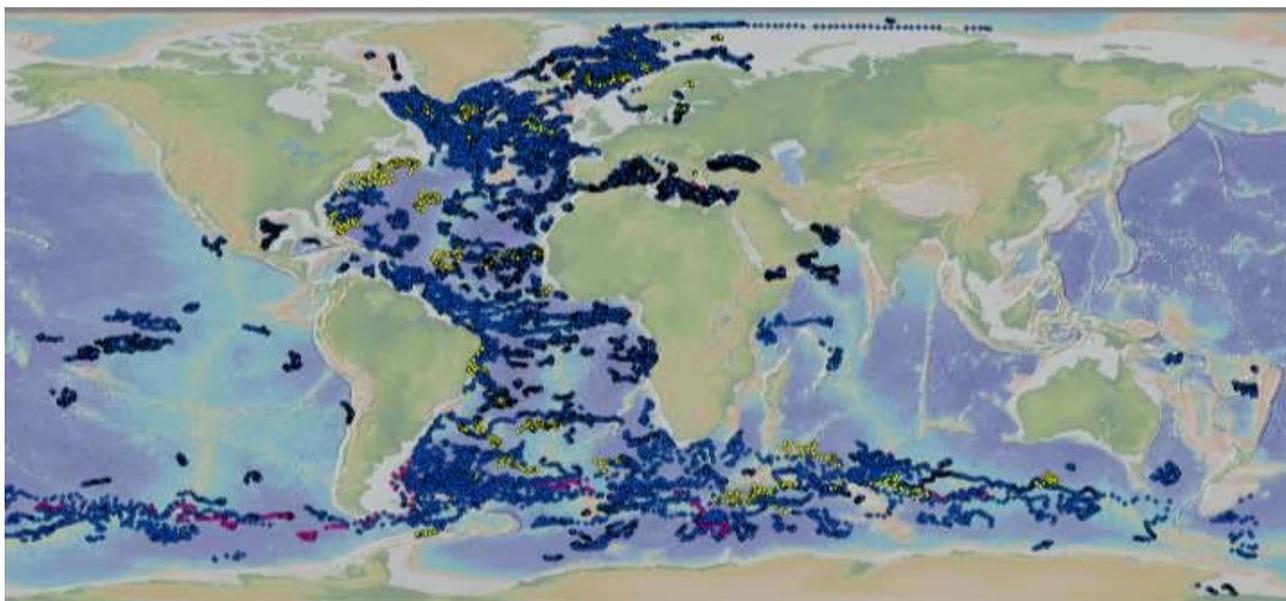
Coriolis DAC gère un total de 3.200 flotteurs avec 165 versions, provenant de 6 familles. Ces flotteurs ont rapporté 586 373 profils verticaux Argo.



Les flotteurs du DAC Coriolis sont majoritairement NKE (Provor) et Teledyne (APEX)



Carte des flotteurs actifs décodés par le DAC Coriolis fin 2021 (autres DACs : petits points gris) tels que affichés sur le tableau de bord des flotteurs Euro-Argo <https://fleetmonitoring.euro-argo.eu/dashboard>

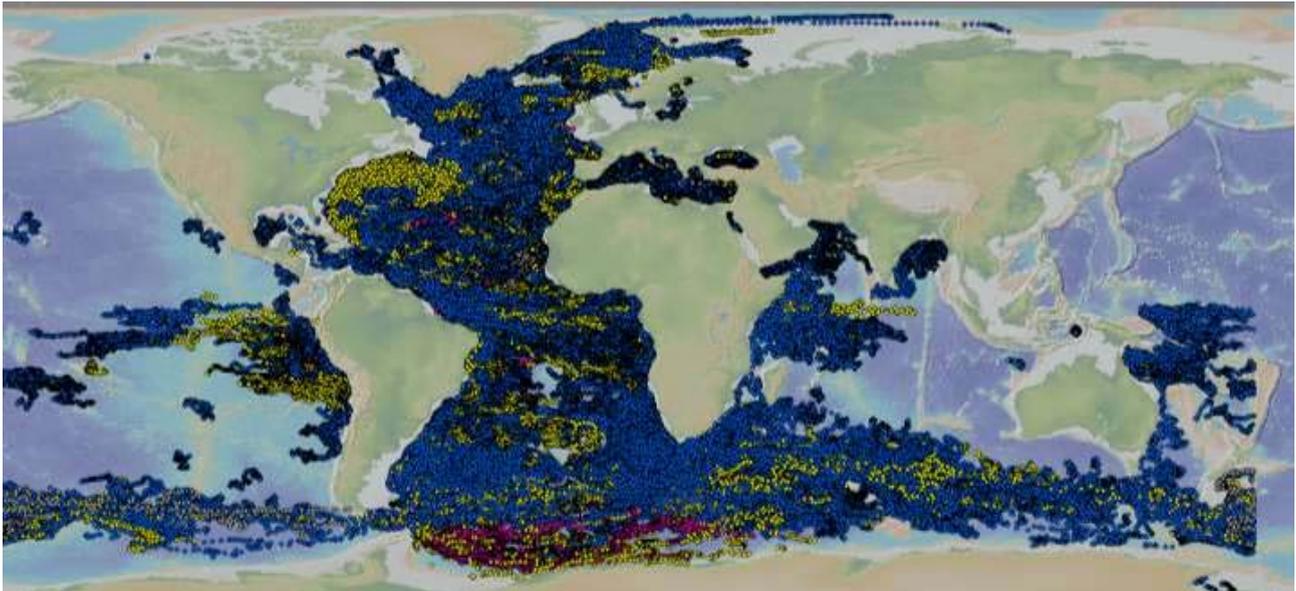


Carte des 58 535 profils de 828 flotteurs actifs décodés par le DAC Coriolis en 2021

Apex Nova Provor Nemo



Carte des profils des flotteurs actifs décodés par le DAC Coriolis en 2021, parmi les autres profils du DAC (Coriolis: vert, autres DAC: gris)



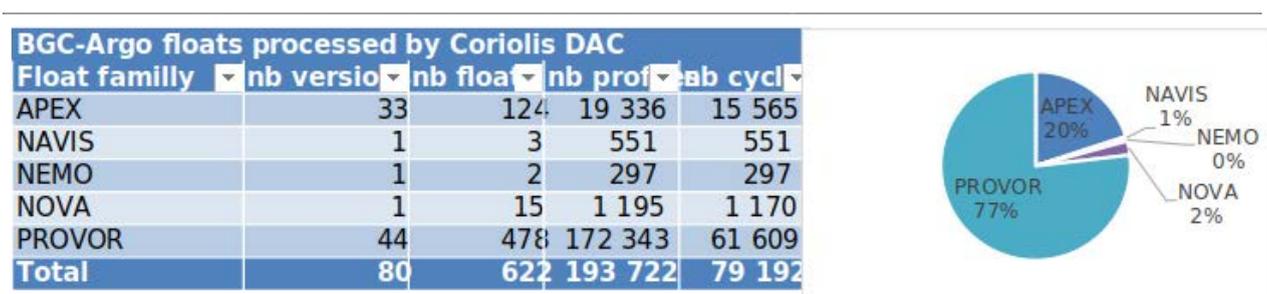
Carte des 586 373 profils de 3 200 flotteurs gérés par le Coriolis DAC

Apex Metocean Navis Nemo Nova Provor

3.1.3. DAC Coriolis BGC-Argo

La chaîne de traitement des données et des métadonnées des flotteurs Coriolis BGC-Argo est constamment améliorée. Il s'agit de types avancés de flotteurs effectuant des mesures bio-géo-chimiques (BGC). Coriolis DAC gère **622 flotteurs BGC-Argo** de 5 familles. Ils ont effectué **79 192 cycles**. La chaîne de traitement des données est disponible sur :

- Chaîne de traitement des données des flotteurs Coriolis Argo, <http://doi.org/10.17882/45589>



Les flotteurs BGC Coriolis sont principalement NKE (Provor) et Teledyne (Apex)

Caractéristiques générales des flotteurs BGC-Argo Coriolis

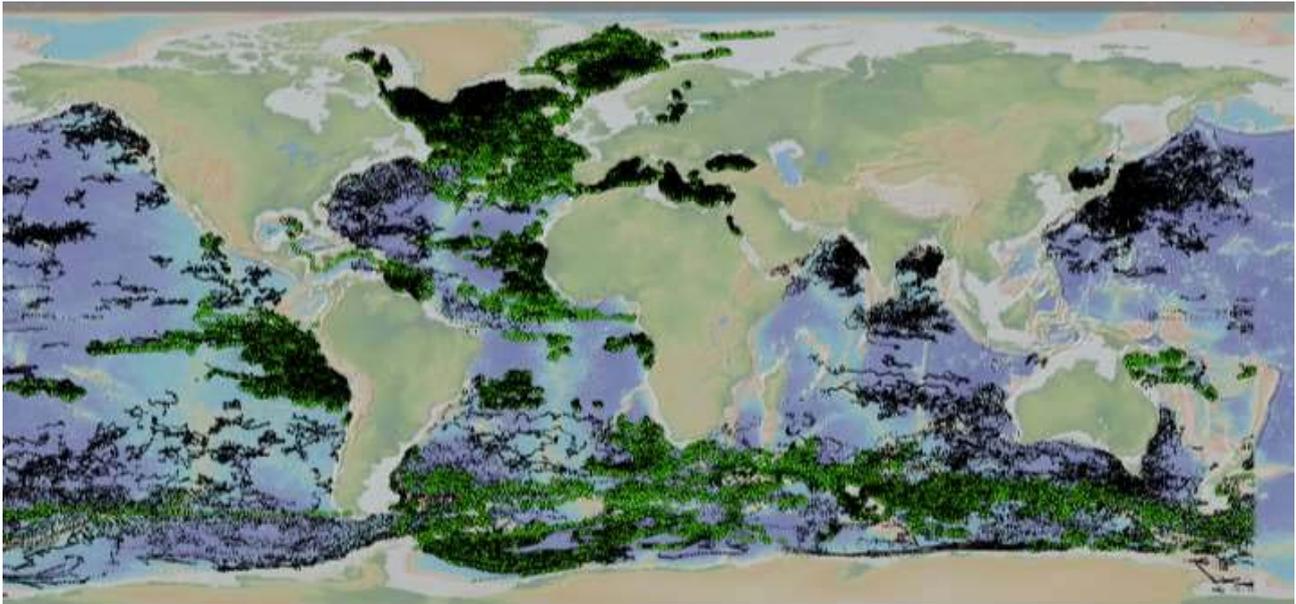
- Communications Iridium SBD, Iridium Rudics ou Argos
- Quatorze types de capteurs sont montés sur les flotteurs
- Onze paramètres BGC gérés

| Coriolis BGC-Argo | nb files | nb profils |
|-----------------------|----------|------------|
| AANDERAA_OPTODE_3830 | 528 | 72115 |
| C_ROVER | 18 | 4713 |
| ECO_FLBB | 240 | 132510 |
| ECO_FLNTU | 10 | 5366 |
| OPUS_DS | 2 | 732 |
| RAFOS | 10 | 72 |
| RAMSES_ACC | 7 | 610 |
| SATLANTIC_OCR504_ICSW | 206 | 163044 |
| SEAFET | 31 | 3147 |
| SUNA_V2 | 82 | 15943 |
| UVP6-LP | 6 | 287 |

Les 11 types de capteurs montés sur les flotteurs Coriolis BGC-Argo

| BGC parameter | nb files |
|------------------|----------|
| DOXY | 238 000 |
| DOWN_IRRADIANCE | 131 808 |
| BBP | 103 491 |
| CHLA | 96 129 |
| NITRATE | 50 967 |
| CDOM | 44 055 |
| DOWNWELLING_PAR | 42 524 |
| PH_IN_SITU_TOTAL | 29 039 |
| CP660 | 4 928 |
| UP_RADIANCE | 2 508 |
| TURBIDITY | 2 109 |
| BISULFIDE | 1 225 |

Les 12 paramètres BGC rapportés par les flotteurs Coriolis BGC-Argo



Carte des profils dans 622 flotteurs BGC-Argo gérés par Coriolis DAC (points noirs: les autres flotteurs bio-Argo des DAC). Ils mesurent des paramètres tels que l'oxygène, la chlorophylle, la turbidité, le CDOM, la rétrodiffusion, les UV, le nitrate, le bisulfure, le pH, l'éclat, l'irradiance, le PAR.

3.1.4. Données en temps différé transmises aux GDACs

Un profil en temps différé Argo contient un profil de salinité calibré (paramètre `psal_adjusted`).

- Un total de **103 891 profils** en temps différé nouveaux ou mis à jour a été envoyé aux GDACs en 2021
- Au total, **323 813 profils** en temps différé ont été envoyés aux GDACs depuis 2005.
- Le nombre de profils en temps différé a diminué de **45% cette année par rapport à 2020**.

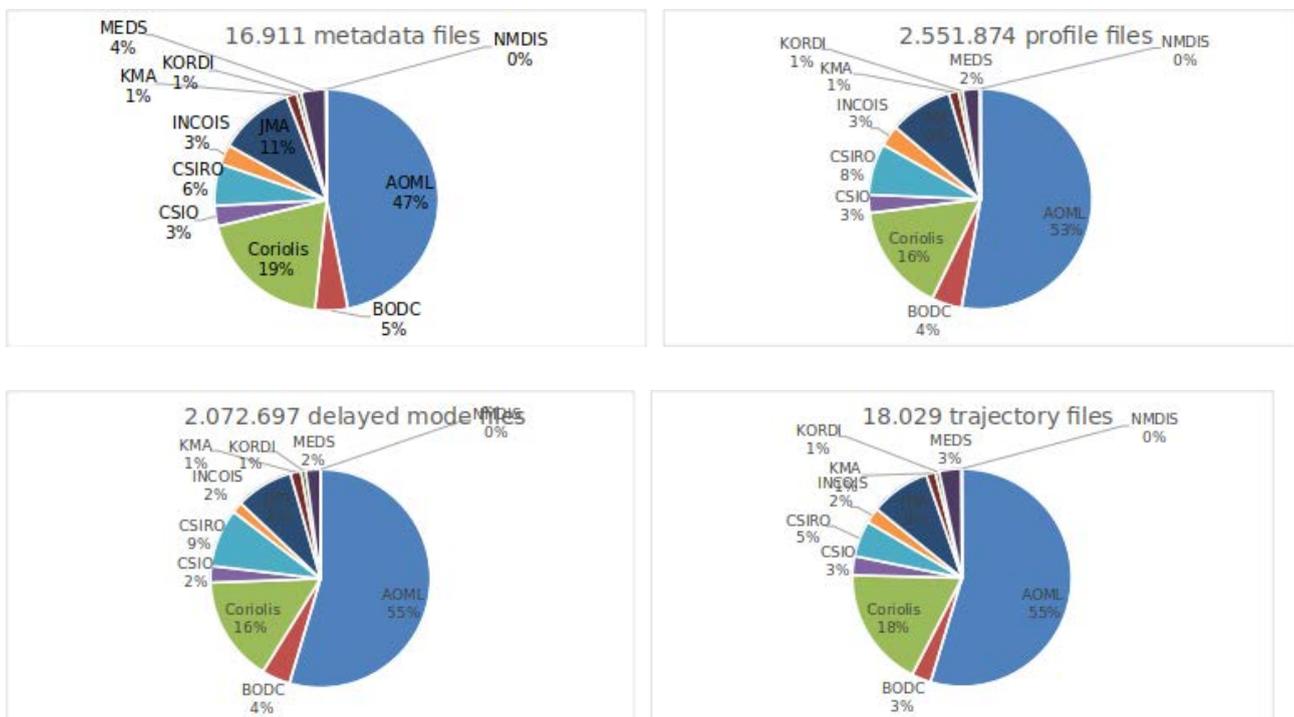
3.2. GDAC: centre de données global des flotteurs Argo

3.2.1. Inventaire des données Argo

Coriolis gère le centre de données global Argo GDAC, en collaboration avec le centre américain US-GDAC. Actuellement, **11 DACs nationaux ou régionaux** soumettent régulièrement des données au GDAC Coriolis. En décembre 2021, les fichiers suivants étaient disponibles sur le site FTP de GDAC.

| DAC | metadata files 2021 | increase | profile files | increase2 | delayed mode profile files | increase3 | trajectory files | increase4 |
|--------------|---------------------|------------|------------------|------------|----------------------------|------------|------------------|------------|
| AOML | 7 941 | 4% | 1 345 968 | 7% | 1 131 308 | 9% | 9 854 | 4% |
| BODC | 798 | 6% | 112 039 | 11% | 87 276 | 16% | 519 | 1% |
| Coriolis | 3 298 | 7% | 404 850 | 11% | 323 813 | 19% | 3 219 | 8% |
| CSIO | 509 | 13% | 67 509 | 13% | 50 954 | 19% | 507 | 14% |
| CSIRO | 1 035 | 8% | 192 827 | 8% | 178 313 | 9% | 967 | 9% |
| INCOIS | 491 | 0% | 78 729 | 4% | 33 950 | 1% | 412 | 0% |
| JMA | 1 854 | 4% | 232 674 | 6% | 175 111 | 9% | 1 596 | 2% |
| KMA | 253 | 2% | 36 325 | 3% | 32 590 | 41% | 244 | 3% |
| KORDI | 110 | 1% | 15 350 | 0% | 14 505 | 0% | 107 | 0% |
| MEDS | 603 | 4% | 63 143 | 7% | 44 832 | 14% | 585 | 4% |
| NMDIS | 19 | 0% | 2 460 | 0% | 45 | - | 19 | 0% |
| Total | 16 911 | 11% | 2 551 874 | 17% | 2 072 697 | 32% | 18 029 | 10% |

Comptage des fichiers distribués par le GDAC Argo en décembre 2021



Distribution par DACs des fichiers du GDAC Argo en décembre 2021

3.2.2. Empreinte des fichiers de GDAC Argo

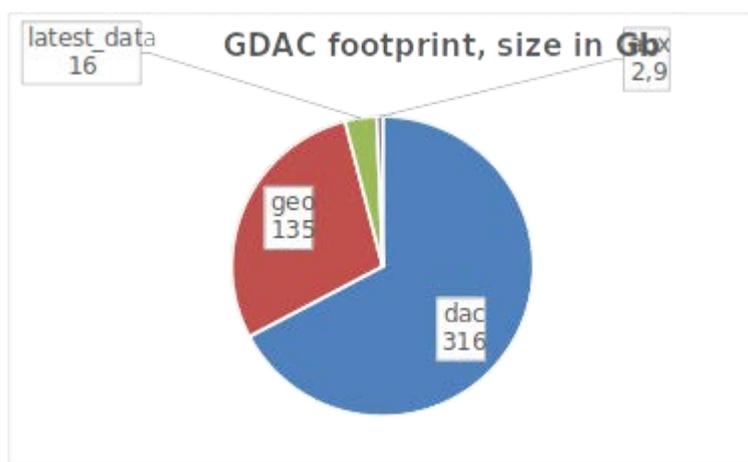
- Le nombre total de fichiers NetCDF dans le répertoire GDAC/dac était de 3 124 121 (+9% en un an)
- La taille du répertoire GDAC/dac était de 316Gb (+11%)
- La taille du répertoire GDAC était de 572Gb (- 4%)

Plus d'informations sur :

<http://www.argodatamgt.org/Data-Mgt-Team/News/BGC-Argo-M-prof-files-no-more-distributed-on-GDAC>

| branch | GDAC size in Go | yearly increase | N-1 |
|-------------|-----------------|-----------------|-----|
| dac | 316 | 11% | 284 |
| geo | 135 | 13% | 119 |
| latest_data | 16 | 7% | 15 |
| aux | 2,9 | 38% | 2 |
| gdac total | 661 | 16% | 572 |

Répertoires dac (tous les flotteurs) - geo (par ocean - mois - jour) - latest_data (les 30 derniers jours) - aux (fichiers non normalisés)



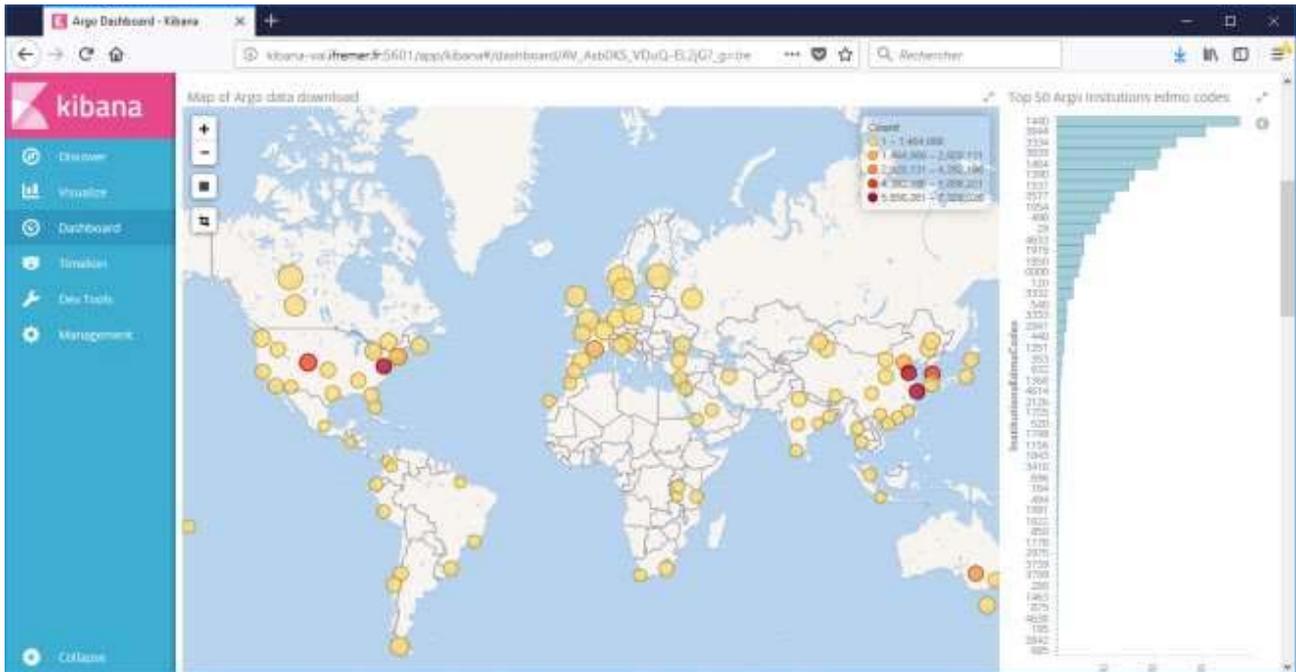
Répartition des fichiers du GDAC par répertoires

3.2.3. Tableau de bord Argo Sémaphore: créditer les fournisseurs de données

Dans le cadre du projet européen AtlantOS, l'Ifremer met en place un tableau de bord (Sémaphore) pour surveiller la distribution des données et créditer les fournisseurs de données de flotteurs Argo.

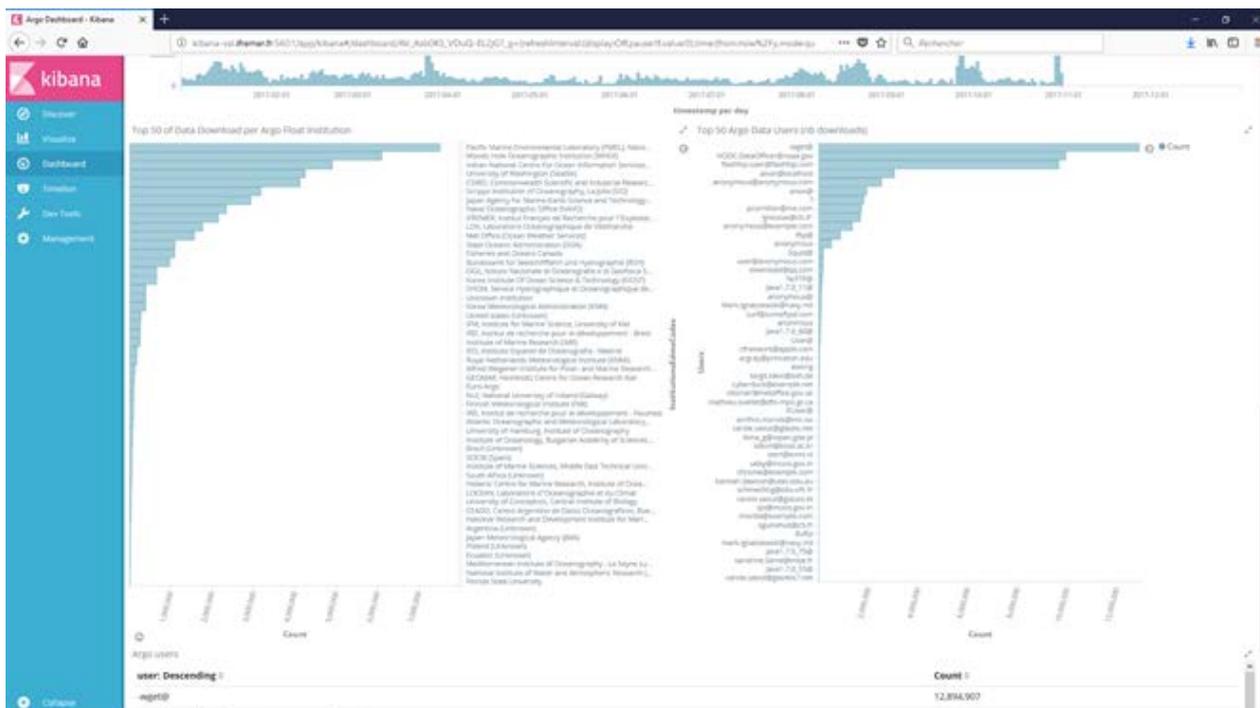
Les fichiers journaux des téléchargements FTP sont ingérés dans un index Elasticsearch. Les liens entre les fichiers téléchargés, utilisateurs qui téléchargent, flotteurs téléchargés et les propriétaires (institutions) des flotteurs est établi. Ces liens sont affichés dans un tableau de bord Kibana.

Ce tableau de bord permet de créditer les institutions propriétaires des flotteurs: "qui télécharge quoi de quelle institution".



Répartition géographique des téléchargements ftp GDAC en 2018-2019

La majorité des utilisateurs (points rouges) se trouvent aux États-Unis, en Chine, en Australie et bien sûr en Europe. L'histogramme de droite trie le code de l'institution flottante (1440: PMEL, 3844: WHOI, 3334: INCOIS, 3839: UWA, 1484: CSIRO,...).

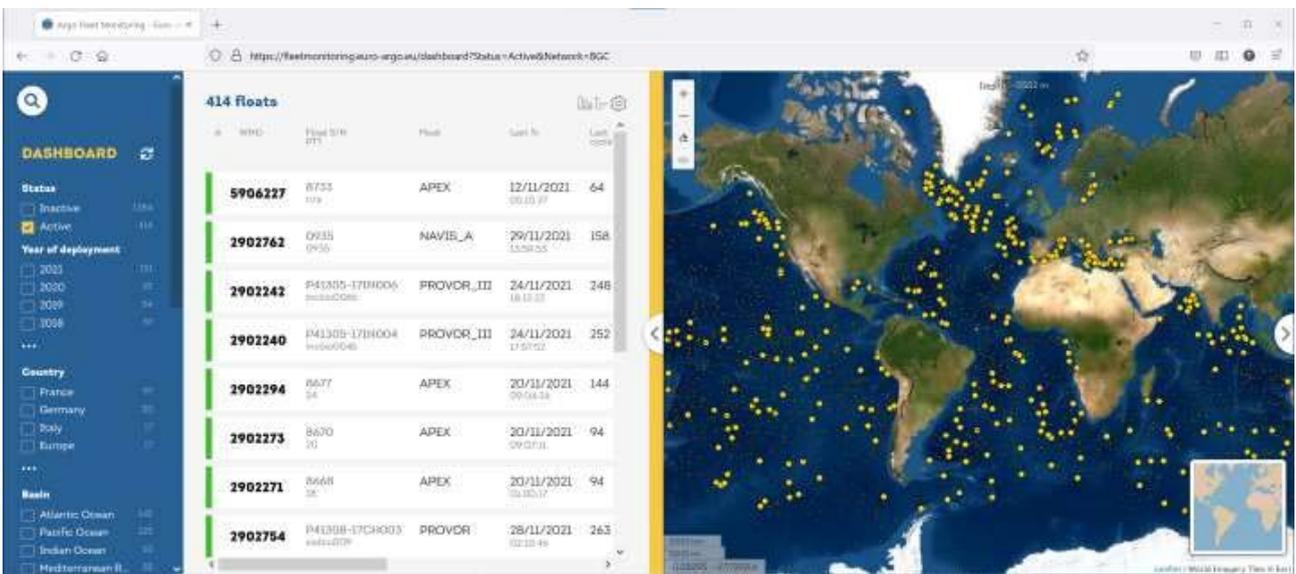
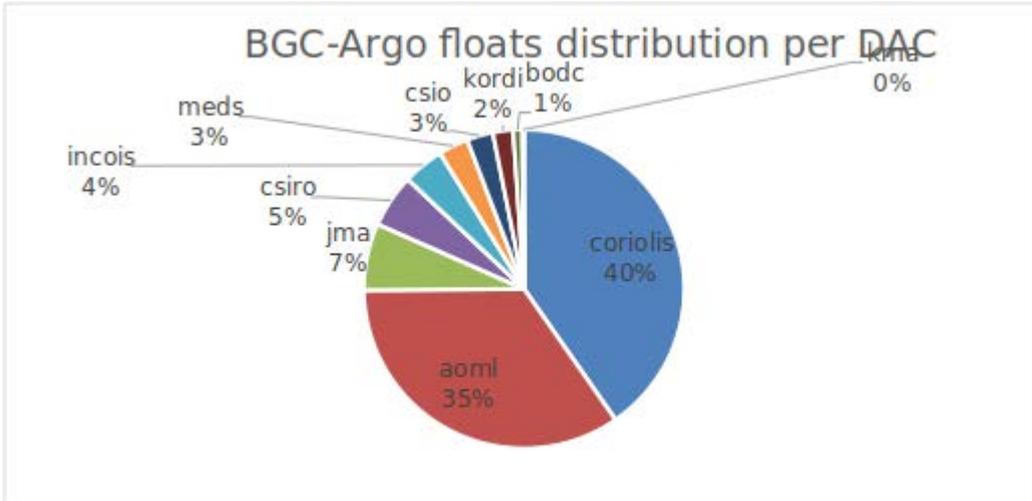


Le top 50 des téléchargements d'institutions flottantes et le top 50 des utilisateurs de données

3.2.4. Flotteurs BGC-Argo

En novembre 2021, 250 735 profils BGC-Argo provenant de 1664 flotteurs étaient disponibles sur Argo GDAC. Il s'agit d'une forte augmentation par rapport à 2020 : +11% de profils supplémentaires

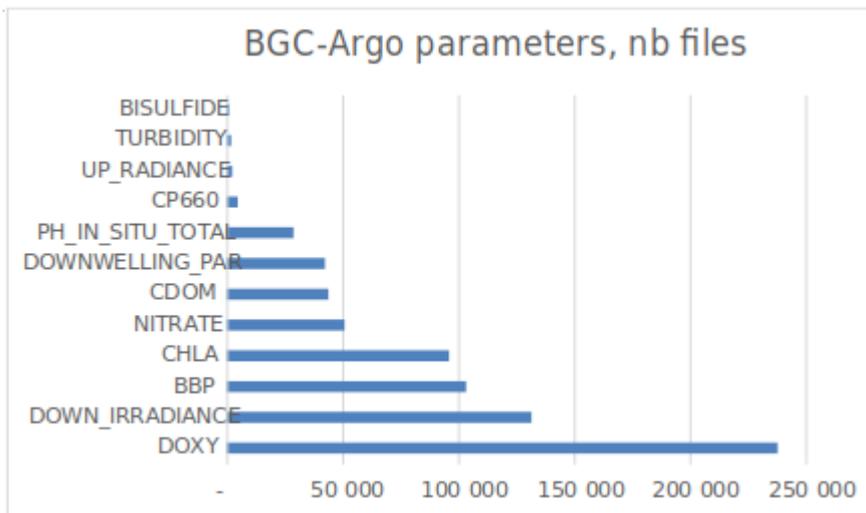
| DAC | nb bgc fl | nb bgc f |
|--------------|-------------|----------------|
| coriolis | 671 | 90 817 |
| aoml | 575 | 86 014 |
| jma | 113 | 18 027 |
| csiro | 90 | 22 203 |
| incois | 69 | 11 352 |
| meds | 50 | 4 910 |
| csio | 44 | 9 170 |
| kordi | 34 | 3 416 |
| bodc | 15 | 4 723 |
| kma | 3 | 106 |
| Total | 1664 | 250 738 |



Carte de 414 flotteurs BGC-Argo (actif: jaune, autre: gris) sur <https://fleetmonitoring.euro-argo.eu/dashboard>



Profils verticaux BGC-Argo, couleurs par DACs



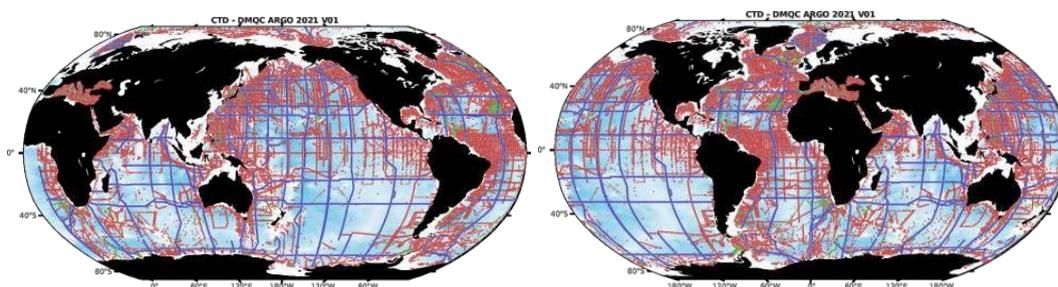
Principaux paramètres physiques BGC-Argo, nombre de profils

| BGC parameter | nb files |
|------------------|----------|
| DOXY | 238 000 |
| DOWN_IRRADIANCE | 131 808 |
| BBP | 103 491 |
| CHLA | 96 129 |
| NITRATE | 50 967 |
| CDOM | 44 055 |
| DOWNWELLING_PAR | 42 524 |
| PH_IN_SITU_TOTAL | 29 039 |
| CP660 | 4 928 |
| UP_RADIANCE | 2 508 |
| TURBIDITY | 2 109 |
| BISULFIDE | 1 225 |

3.2.5. Base de données de Référence

En mars 2021, une version mise à jour 2021V01 a été fournie incluant le produit de données océaniques GO-SHIP EASY (16231 stations) pour la base de données de référence DEEP. Lorsque le profil GO-SHIP du CCHDO existait dans la version précédente, il a été remplacé par la version du produit easy (version QC supérieure). Dans la base de données de référence, ces données peuvent être identifiées avec le GSD QCLevel (pour GO-SHIP Deep Argo).

Dans cette version, Ingrid Angel Benavides (BSH) a travaillé au nettoyage de la base de données de référence CTD dans l'océan Atlantique, les mers arctiques et nordiques, en supprimant les échantillons hors limites ou incomplets, et les vérifications de doublons, ainsi qu'en ajoutant de nouvelles données pour la région arctique européenne et asiatique.



Version 2021V01: **GSD Easy-Ocean**, **GSH GO-SHIP** and **Others**

Une prochaine version, 2021V02, est en préparation et inclura de nouveaux CTDs (CTDs de déploiement, CTDs des scientifiques) ainsi que quelques corrections issues du feedback de l'US-Audit DM.

La dernière version est disponible sur le site ftp de l'Ifremer (demander le login/mot de passe à codac@ifremer.fr) et est divisée en archives .tar, une par boîte wmo (1-3-5-7) : par exemple, CTD_for_DMQC_2021V01_1.tar.gz pour toutes les boîtes commençant par wmo 1, nous aurons donc 4 fichiers .tar.

3.3. Projets européens Argo-données

3.3.1. Argo MOCCA : machine learning appliqué aux observations Argo

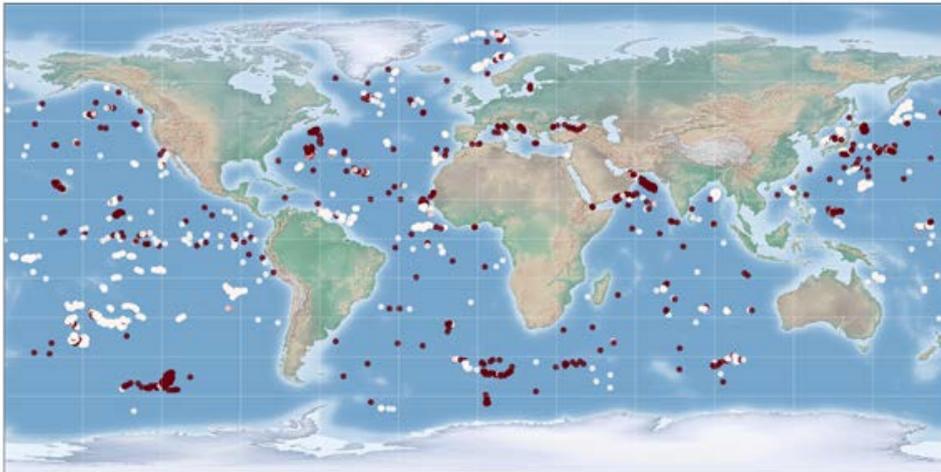
Ce chapitre concerne les principaux projets européens impliquant le centre français de données Argo.

Mocca est une contribution de l'Europe au réseau Argo, le déploiement 200 flotteurs Core-Argo (PTS) et leur contrôle qualité. Le projet s'est terminé en 2020.

Pour le contrôle qualité temps différé, une étude sur le Machine Learning a été menée pour la détection de données Argo atypiques, à contrôler visuellement. Les modèles d'apprentissage (machine learning) qui "modélisent" le jeu de données Argo obtiennent de bonnes performances comparées à notre méthode

classique d'analyse objective. Pour le même taux de détection des profils BAD, le deep learning produit 25% d'alertes en moins que la solution de référence.

Le Machine learning calcule la différence entre une nouvelle observation Argo (réelle) et une simulation par modèle d'une observation (synthétique) en ce lieu et cette date. Un écart significatif détecte les observations atypiques à contrôler visuellement.



Base de référence pour le machine learning d'observations Argo "atypique" (BAD : rouges, GOOD: blanches)

3.3.2. *Argo Euro-Argo-RISE: développer l'observation océan in situ par flotteurs Argo*

Le projet européen Euro-Argo-RISE contribue au développement de la contribution européenne Argo, BGC-Argo et Deep-Argo. Argo-France est impliqué dans quatre tâches:

WP2 Evolution of the core Argo mission

- Task 2.4: Development & Implementation of DMQC methods
VRE pour machine learning
Accès données robustes et hautes performances

WP3 Extension to Deep-Ocean

- Task 3.1 :Sensors: addressing SBE61 accuracy and stability & testing RBR: Dans le cadre de cette tâche, 2 flotteurs tri-têtes (dont un financé par le projet NAOS) équipés d'une SBE41CP, d'une SBE61 et d'un capteur CTD RBR ont été déployés au large des Canaries au cours de la campagne espagnole RAPROCAN2020 en décembre 2020. Les données sont en cours d'analyse par le LOPS.
- Task 3.2 Organisation of Delayed Mode Quality Control for deep ocean data: Un groupe de travail coordonné par le LOPS a travaillé sur la procédure de qualification en temps différé des données de salinité des flotteurs Deep, et notamment sur une nouvelle évaluation du coefficient de correction de l'effet de pression sur la cellule de conductivité.

WP4 Extension BGC Argo

- Task 4.1. Test of new BGC Sensors. Deux capteurs de nouvelle génération (TRIOS and RAMSES, pour le NO₃ et l'irradiance respectivement) ont été testé dans le cadre de cette tâche, par les équipes du LOV.
- Task 4.2 Gestion de données et QC. Des méthodes pour le DM des variables BGC ont été proposée et validée
Trois deliverables étaient portés par des membres du SNO-Argo france

https://www.euro-argo.eu/content/download/157287/file/D4.2_v1.0.pdf (CHLA)

https://www.euro-argo.eu/content/download/157064/file/D4.4_v1.0.pdf (Irradiance)

https://www.euro-argo.eu/content/download/157063/file/D4.5_v1.0.pdf (Nitrate)

WP7 Outreach

- Evolution du « serious game » Wesstiti, à destination des écoles



Wesstiti: “un jeu sérieux” à destination de futurs scientifiques (cm1-cm2) pour prédire la trajectoire de flotteurs dans un océan en mouvement

- Nouveau Viewing service utilisant le back-end d'ENVRI-FAIR <https://dataselection.euro-argo.eu/> et présenté au meeting ADMT21 en Décembre 2020

Les resultat des 24 premiers mois sont accessibles sur le site d'EURO-ARGO-RISE

<https://www.euro-argo.eu/EU-Projects/Euro-Argo-RISE-2019-2022/News/Euro-Argo-RISE-progress-already-halfway-there>

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

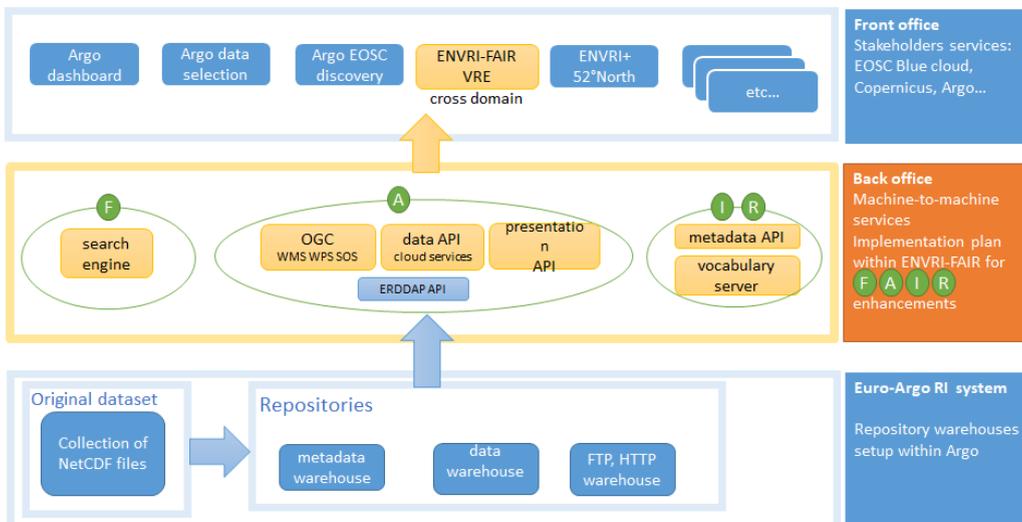
L'Europe soutient significativement la “Fairtitude” des infrastructures données de recherches (ERIC).

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](#)

3.3.4. EOSC-hub: construire le Blue Cloud européen pour la science

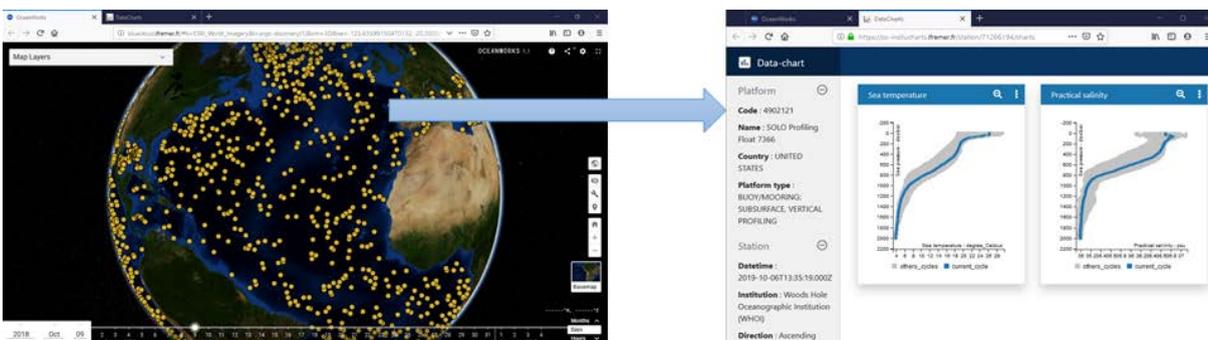
EOSC-Hub est un projet destiné à la mise en place de l'infrastructure technique du cloud pour la science européenne. Le centre de données Coriolis est impliqué via Argo dans le WP8.3 "Marine competence centre" dont les deux tâches principales sont:

- 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).

Dans ce cadre, une coopération informelle avec la Nasa-JPL concerne la visualisation des données Argo dans l'architecture développées par le JPL: CMC (Common Mapping Client) et S-DAP (subsetting API).

- <http://bluecloud.odatis-ocean.fr>



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 Annaig, Gaillard Fabienne (2021). **ISAS temperature and salinity gridded fields**. SEANOE. <https://doi.org/10.17882/52367>

La dernière version de l'outil ISAS V8 est désormais mise à disposition des utilisateurs (forge Ifremer/sur demande). Les trois modifications majeures concernent la possibilité de produire des champs pour l'oxygène, de produire des champs sur des niveaux de pression allant jusqu'au fond (5500m, et non plus seulement 2000m) et d'inclure des données de campagnes hydrographiques (CCHDO, ICES, ...). La nouvelle configuration ISAS17 a été développée en 2020. Cette version permet d'étendre la série temporelle de champs de mesures CTD T/S en DM interpolés mensuellement de 2002 à 2017. La nouvelle configuration ISAS20 incluant seulement les données Argo entre 2002 et 2020 à également été publiée. 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>.

L'échantillonnage des mesures d'oxygène dissous du réseau global OneArgo (Core+BGC+Deep) ne permet pas encore de produire des champs mensuels interpolés consistant. En 2021, des climatologies annuelles et mensuelles regroupant les 10 ans de données O2 disponibles en Delayed Mode ont été développées. Elles seront distribuées en 2022.

En collaboration avec le projet SMOS OCEAN, la synergie des produits ISAS (Argo) avec les données de niveau 3 de Salinité de Surface de la Mer (SSS) des missions satellite ESA SMOS et NASA SMAP ont permis de mettre en place de nouveaux produits corrigés des biais latitudinaux et temporels des mesures satellite de SSS, densité, spiciness de surface de la mer de niveau 4. Le produit est décrit dans un article du Journal of Atmospheric and Ocean Technology (Kolodziejczyk et al., JAOT, 2021). Ces produits sont implémentés en production opérationnelle au CATDS et seront ajoutés au catalogue Copernicus d'ici 2024.

Kolodziejczyk Nicolas, Hamon Mathieu, Boutin Jacqueline, Vergely Jean-Luc, Supply Alexandre, Reverdin Gilles (2020). **SSS SMOS/SMAP OI L4 maps**. SEANOE. <https://doi.org/10.17882/73142>.

4.2. Nouvelle méthode DMQC basée sur l'Intelligence Artificielle

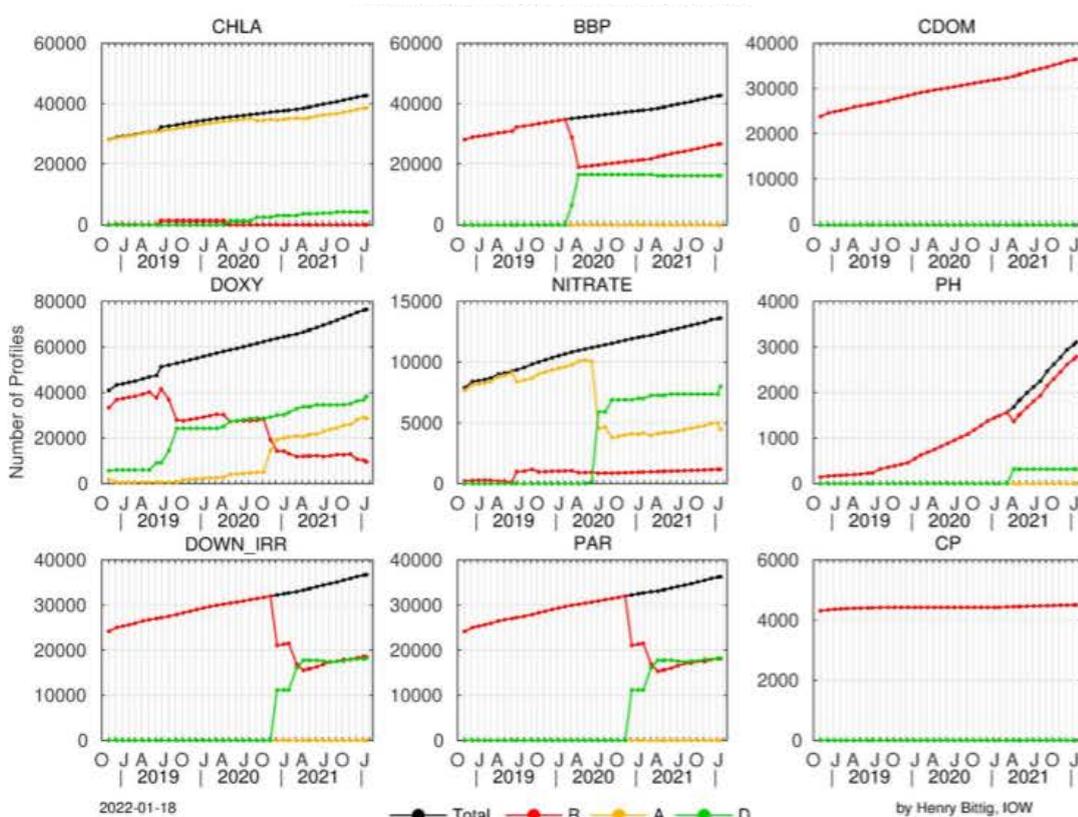
Des modèles statistiques d'apprentissage supervisés peuvent être utilisés pour améliorer le processus QC des données Argo. Ces travaux initiés en 2019 continuent dans le cadre du projet Euro-Argo-RISE et du SNO. A cause d'un décalage dans les recrutements de CDD, cette activité n'a pas progressé en 2020 au delà de la présentation des résultats des travaux 2019. 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.

4.3. DMQC BGC

En juillet 2019, une chaîne de Delayed Mode a été mise en place au LOV sur un serveur dédié. Elle est composée de l'outil SCOOP pour faire du contrôle visuel pré DM, des chaînes de traitements SAGE-O2 et SAGE développées à MBARI pour estimer les tendances de DOXY, NITRATE et pH, ainsi qu'un outil d'écriture dans les fichiers finaux.

Comme illustré sur la figure ci-dessous, en 2021, de nombreux profils ont été qualifiés en Delayed Mode pour plusieurs paramètres (i.e. CHLA, BBP, DOXY, NITRATE, DOWN_IRR et PAR) dont certains étaient jusque-là accessibles seulement en Real Time.



*The current report and raw data .csv tables can be found at <http://biogeochemical-argo.org/cloud/document/implementation-status/>

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.

Dans le cadre du projet européen Euro-Argo-RISE, une méthode de qualification des profils de radiométrie a été exploitée et publiée (Jutard et al., 2021) pour la diffusion de plus de 10000 profils de radiométrie (PAR, Ed380, Ed412, Ed490) en Delayed Mode. Cette méthode est disponible en ligne https://github.com/euroargodev/radiometry_OC.

Dans la même philosophie que ce qui est déjà fait pour d'autres paramètres comme T/S et DOXY, une méthode a été proposée pour détecter les profils de BBP montrant des anomalies et devant être marqués comme mauvais dans la base de données en temps différé (Delayed Mode). Cette méthode, appelée "audit" du BBP, se base sur des données de référence de BBP provenant d'une climatologie à résolution temporelle hebdomadaire. La climatologie de BBP a été produite à partir d'une méthode basée sur un réseau de neurones et nommée SOCA (pour Satellite Ocean Color merged with Argo data to retrieve the vertical distribution of BBP; Sauzède et al., 2016). En 2020, cette méthode a été mise à jour et améliorée afin de créer cette base de données de référence. L'audit du BBP permet de détecter en Delayed-Mode par exemple des profils très bruités dans une série temporelle, un décalage brutal dans les données ("shift"), une dérive des données due au capteur ("drift"). L'audit du BBP est accessible en ligne (ftp://ftp.mbari.org/pub/BGC_argo_audits/BBP700) depuis Juin 2021 et le rapport des anomalies sera envoyé à la mailing liste Argo tous les 6 mois environ. Les premiers résultats de cet audit ont été présentés lors du 10ème BGC-Argo Data Management Team meeting. De manière similaire, la méthode SOCA dédiée à la CHLA afin d'en dériver une base de données de référence pour la CHLA utile pour un audit est en développement et sera présentée l'année prochaine.

Une méthode de DM de la CHLA (développée dans le cadre du programme EuroArgo RISE a été présentée à l'ADMT22, déjà largement testée, elle sera mise en place au cours de l'année 2022. Elle fait notamment appel à des méthodes de machine learning (SOCA dédiée aux variables radiométriques).

4.4. 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 (lié au terme de compressibilité) a été établie et un code a été mis à disposition: https://github.com/ArgoDMQC/DM_Cpcor. La procédure complète de DMQC des flotteurs deep a été présentée ([Deep Argo Workshop](#), 2021 et ADMT 22) et rédigée dans l'[Argo QC manual](#).

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 inexploitables. Des recommandations précises pour caractériser et traiter les flotteurs atteints ont été présentées lors de l'ADMT22 et rédigées dans l'Argo QC manual.

Une nouvelle méthode pour la sélection de données de référence et l'estimation de dérive de salinité basée sur la classification non-supervisée de profils a été développée dans le cadre de EARISE ([cf deliverable ici](#)). La méthode et une procédure ont été développées et sont maintenant disponibles ([voir DMQC-PCM](#)). Elles seront testées au LOPS en 2022.

4.5. Trajectoires

En collaboration avec Coriolis et le SOERE-CTDO2, le SNO Argo-France contribue également aux travaux de validation des trajectoires des flotteurs Argo et les mises à jour du produit ANDRO (Atlas des trajectoires Argo). Une mise à jour sur la période 2010-2020 incluant les flotteurs des DACs AOML a été publiée en 2021. 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 (2021). **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.

4.6. 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 développe 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 a fait l'objet de mise à jour régulière.

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. Pour l'instant, seul les données de référence Argo sont disponibles (car en accès libre). Les données bateaux le seront également via un système simple d'authentification. La nouvelle librairie d'accès simplifié aux données Argo (voir

ci-dessus) permet également un accès aux données de référence.

En 2021, une base de référence de CTD (version 2021V01) a été mise à jour avec le produit GO-SHIP Easy-Ocean dans le cadre du temps différé des Deep Argo. Ces données peuvent être retrouvées dans le jeu de CTD avec le paramètre QCLEVEL (alors égal à GSD pour GO-SHIP Deep Argo).

Simulateur de flotte Argo

Dans le cadre d'Euro-Argo-RISE, le LOPS développe 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.

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)

4.7. Ocean state report

ICES North Atlantic Ocean State Report (IROC)

Comme chaque année, en 2021, le SNO Argo-France contribue et assemble la contribution française au rapport ICES (IROC) sur l'état de l'océan Atlantique Nord en 2020. Les champs de température et salinité ISAS sont utilisées dans le cadre de cet "Ocean State Report" (www.ices.dk):

Kolodziejczyk Nicolas, Desbruyeres Damien (2021). **Contribution to the ICES Report on Ocean Climate : North Atlantic Ocean in 2021**. National report: France, May 2021. LOPS-WGOH-2021-05.

5. Recherche

5.1. Publications marquantes

Jutard, Q.; Organelli, E.; Briggs, N.; Xing, X.; Schmechtig, C.; Boss, E.; Poteau, A.; Leymarie, E.; Cornec, M.; D'Ortenzio, F.; Claustre, H. Correction of Biogeochemical-Argo Radiometry for Sensor Temperature-Dependence and Drift: Protocols for a Delayed-Mode Quality Control. *Sensors* **2021**, *21*, 6217. <https://doi.org/10.3390/s21186217>

Kolodziejczyk, N., M. Hamon, J. Boutin, J. L. Vergely, G. Reverdin, A. Supply and N. Reul (2021). Objective analysis of SMOS and SMAP Sea Surface Salinity to reduce large scale and time dependent biases from low to high latitudes. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. doi: 10.1175/JTECH-D-20-0093.1.

5.2. Faits marquants

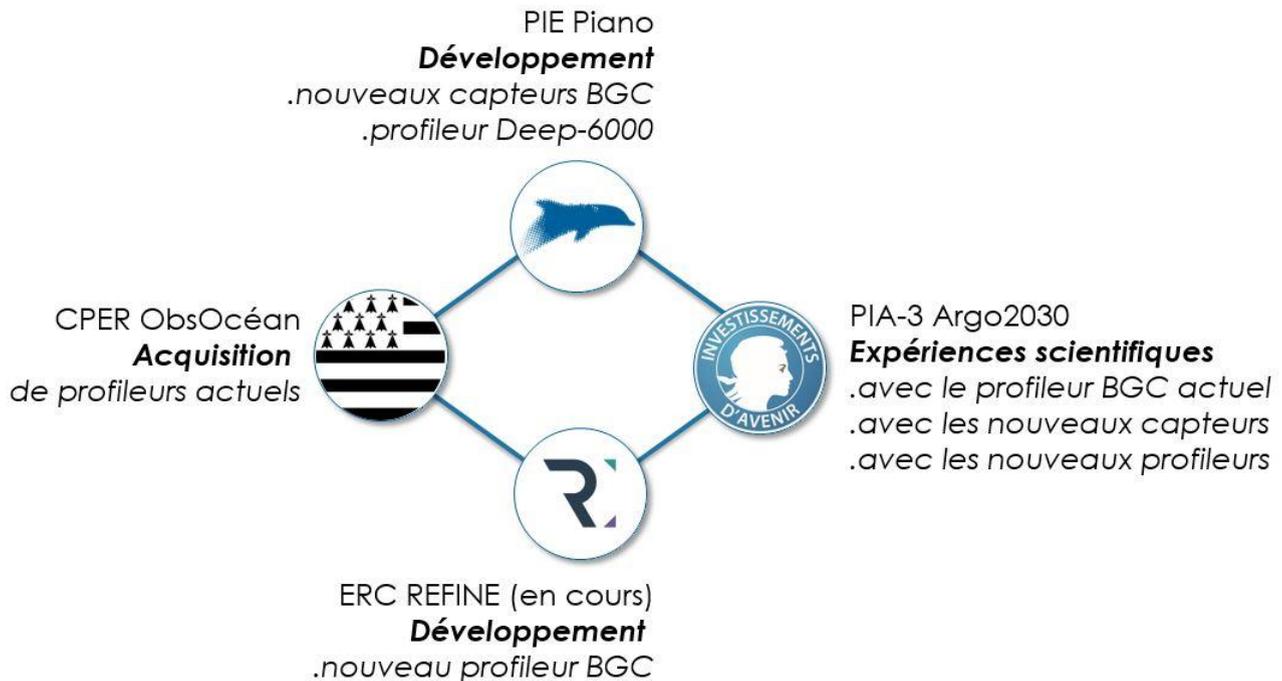
5.2.1. Projet H2020 Euro-Argo-RISE

Le projet H2020 Euro-Argo-RISE a vu sa troisième année d'activités montrer de résultat marquants:

- design de l'intégration des nouvelles sondes RBR sur l'Arvor et le Deep-Arvor
- début de la mise en place d'un DAC pour l'extension BGC (Coriolis)
- design d'intégration de nouveaux capteurs bio-optiques sur le PROVOR
- mise en œuvre d'un cadre collaboratif de travail pour la communauté Argo. Les outils collaboratifs sont disponibles sur github.com/euroargodev. Tous ces outils sont gratuits et disponibles pour notre communauté Argo-France, entre autres:
 - Un forum public sur le QC Argo qui sera utilisé par la communauté Argo-France: github.com/euroargodev/publicQCforum
 - Hébergement de codes numériques pour distribution et développement (repositories),
 - Outils de d'organisation et de discussion par équipes
 - Outils de gestion de projets.

5.2.2. 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. Le kickoff meeting des trois projets s'est déroulé le 17-18 janvier 2022 (<https://www.argo-france.fr/Actualites-et-reunions/Meetings/Kick-off-meeting-des-projets-Argo-2030-PIE-PIANO-et-CPER-ObsOcean>). En voici les résumés et articulations :



Le volet Argo du CPER ObsOcean (PI. V. Thierry) est essentiellement dédié à l'acquisition de flotteurs (et la gestion des données acquises) pour la nouvelle phase d'Argo 2021-2027 (flotteurs standards, Argo-O2, Deep-Argo, flotteurs BGC).

Le PIE PIANO (PI X. André) et l'ERC Refine (PI. H. Claustre, financé) sont essentiellement dédiés à des développements technologiques concernant le vecteur et les capteurs pour consolider les technologies existantes et développer une nouvelle génération de flotteurs BGC et Deep.

L'Equipex PIA3 Argo-2030 (PI. V. Thierry) est dédié à l'acquisition des flotteurs de deuxième génération (BGC et Deep) développés dans le PIE PIANO et l'ERC Refine.

Compte-tenu du coût des flotteurs BGC actuels, l'achat annuel de 15 flotteurs BGC de la nouvelle phase Argo sera réparti sur les projets CPER ObsOcean, PIE PIANO et EQUIPEX Argo-2030 (environ 2-3 flotteurs/an/projet). Deux projets complémentaires (ERC Refine et projet Mariosea du CPER Sud) portés par le LOV contribuent également.

CPER ObsOcean (PI V. Thierry, 2021-2027)

Le volet Argo du CPER ObsOcean financera entièrement les composantes Core-Argo (30 flotteurs / an), Core-O2 (15 flotteurs/an) et Deep Argo (15 flotteurs Deep-Arvor 4000 par an) avec un co-financement par la TGIR Euro-Argo, Ifremer et SHOM.

Le CPER ObsOcean financera également l'achat de 2 flotteurs BGC-Argo.

PIE Ifremer PIANO (PI X. André, 2021-2027)

L'objectif du projet PIE PIANO (Plan d'Investissement Argo Nouvelles Observations) est de mener des développements technologiques innovants sur les flotteurs Argo et sur les capteurs. Il s'agira d'acheter des flotteurs BGC-Argo (12 flotteurs sur 5 ans, achetés en coordination avec les autres projets financeurs) ; de tester une nouvelle version du capteur NOSS ; de développer une offre française de capteurs BGC (optique active, micro sonar et pH chemini); de développer un flotteur Deep-Argo 6000 m (cf ci-dessous); d'améliorer

la technologie flotteurs (électronique, communication) et enfin d'assurer le traitement des données du projet en incluant le développement de méthodes innovantes.

Equipex+ Argo-2030 (PI V. Thierry, 2021-2028)

L'objectif du projet Equipex PIA3 Argo-2030 est d'acquérir des flotteurs BGC pour consolider la contribution française à la composante BGC du réseau Argo (15flotteurs, soit 2-3 flotteurs/an sur 8 ans).

Argo-2030 propose également de tester et valider scientifiquement les nouvelles générations de flotteurs BGC et Deep développés dans des projets complémentaires (ERC Refine pour la plateforme BGC, PIE Ifremer PIANO pour la plateforme Deep-6000 et les nouveaux capteurs). La nouvelle génération de flotteurs BGC-Argo français (dénommée « BGC-ECO » Argo) ajoutera des capacités uniques d'imagerie et d'acoustique active. Ces flotteurs permettront l'exploration de la zone mésopélagique (100-1000 m) tant pour sa dimension biologique / pêche (on pense que les ressources de protéines de cette zone sont sous-estimées d'au moins un ordre de magnitude) que pour le fait qu'elle est le siège principal de la reminéralisation du CO₂ et qu'elle est donc déterminante dans sa séquestration. Le projet prévoit d'acquérir et déployer 14 flotteurs BGC-ECO.

La nouvelle génération des flotteurs Deep-Argo français (le Deep6000) permettra d'atteindre des profondeurs de 6000 m (les flotteurs développés et testés avec succès dans l'Equipex NAOS sont limités à 4000 m). Elle offrira une forte capacité d'emport de capteurs additionnels (oxygène notamment), permettant de positionner le Deep6000 comme le premier flotteur mixte Deep+BGC. Ces flotteurs contribueront à l'estimation du rôle de l'océan profond sur le bilan énergétique de la planète, l'élévation du niveau de la mer, la désoxygénation, l'acidification dans des régions clés (Atlantique, Océan austral). Leur déploiement sera combiné avec des flotteurs Deep-Arvor (4000 m) pour résoudre au mieux les structures géographiques et les variations saisonnières à interannuelles des contenus de chaleur et d'eau douce dans les couches océaniques profondes (> 2000 dbar) et abyssales (> 4000 dbar), de la hauteur stérique et de la circulation à l'échelle des bassins. Le projet prévoit d'acquérir et déployer 22 flotteurs Deep-6000.

5.2.3. Projet ERC REFINE

Après l'obtention d'une première ERC en 2011 (remOcean), Hervé Claustre a obtenu en 2019 une deuxième ERC (Advanced Grant) pour le projet REFINE. L'objectif scientifique de REFINE (erc-refine.eu) est de comprendre et de quantifier les processus physiques, biologiques et biogéochimiques qui contrôlent la pompe biologique de carbone, un élément clé de la séquestration du CO₂. C'est dans la zone mésopélagique (ou twilight zone), entre 200 m et 1000 m que se produisent la majorité des processus clés. Pourtant cette zone représente l'un des écosystèmes les moins bien connus de notre planète. Le projet REFINE focalisera donc sur l'exploration de la zone méso-pélagique et sera mis en oeuvre au travers de quatre grandes actions coordonnées :

- Développement d'une nouvelle génération de flotteurs profileurs multidisciplinaires, focalisant en particulier sur la composition des communautés de phyto- et de zooplancton.
- Réalisation de ~4 ans d'études robotisés dans cinq zones océaniques, représentatives de la diversité des conditions biogéochimiques et des réponses au changement climatique dans l'océan mondial, sur un continuum d'échelles temporelles allant de l'échelle diurne à l'échelle interannuelle.
- Analyse approfondie de l'ensemble de données REFINE, permettant d'établir des bilans de flux de carbone pour chacune des cinq zones, et comprendre les mécanismes physiques et biogéochimiques impliqués dans le transfert du carbone organique vers les profondeurs des océans.
- « Upscaling » des processus régionaux vers l'océan global, notamment grâce à l'utilisation de l'intelligence artificielle tirant parti des observations multi-sources des robots REFINE et les

satellites d'observation de la terre.

6. Coordination scientifique et animation

6.1. Coordination scientifique

Le comité de pilotage d'Argo-France s'est réuni à 5 reprises en 2021 pour préparer les meetings internationaux, analyser les plans de déploiements et suivre les dossiers en cours (GMMC, CPER EURO-ARGO).

6.2. Animation scientifique

En 2021, une réunion du ForumDMQC Argo s'est tenu au mois de juin et a porté sur le problème des Fast Salinity Drift (FSD, maintenant appelées Abrupt Salinity Drift, ASD) et leur traitement en DMQC. Ce forum permet de partager, discuter, homogénéiser et coordonner le DMQC au sein de la communauté nationale. Un forum web de discussion sera mis en place afin de consolider la communauté et de mieux partager les retours d'expériences et problèmes rencontrés sur le DMQC. Cette démarche s'inscrit dans un niveau d'intégration plus large, notamment européen et le projet Euro-Argo-RISE (WP2): <https://github.com/euroargodev/publicQCforum>.

Dans le cadre d'un meeting GO-BGC (<https://www.go-bgc.org/event/community-workshop>), nous avons été sollicités pour participer à un workshop de mise à disposition de codes numériques pour l'accès et l'utilisation aux données BGC avec le logiciel R. Les développements sont mis à disposition en ligne (https://github.com/euroargodev/BGC-ARGO_R_WORKSHOP)

M. Cornec (LOV), Y. Huang (NOAA-PMEL), Q. Jutard (OSU ECCE TERRA), R. Sauzede (IMEV) and C. Schmechtig (OSU ECCE TERRA), 2021. BGC-Argo-R: A R toolbox for accessing and visualizing Biogeochemical Argo data. Zenodo. <http://doi.org/10.5281/zenodo.5028139>)

Un workshop commun aux composantes Deep et BGC d'Argo a été organisé du 27 septembre au 1er octobre 2021 en visioconférence dans le cadre des projets EURO-SEA et Euro-Argo-RISE. Lors de ce workshop, 2 sessions étaient dédiées à BGC-Argo, 2 sessions étaient dédiées à Deep-Argo et une session était commune aux 2 composantes. Pour le volet BGC, les objectifs étaient de passer en revue les bonnes pratiques concernant la préparation des flotteurs, leur déploiement et de la gestion des données, d'échanger avec la communauté des utilisateurs (par exemple modélisateurs biogéochimiques, couleur de l'océan) pour écouter leurs besoins et développer des synergies, favoriser l'interaction avec les autres composantes du système d'observation de l'océan, y compris Argo profond (session commune décrite ci-dessous). Pour le volet Deep, les objectifs étaient d'évaluer les progrès de la mission Deep-Argo (de l'utilisation scientifique des données Deep Argo à la capacité technologique des flotteurs et des capteurs), d'examiner les besoins des utilisateurs finaux et de finaliser le plan de mise en œuvre du réseau Deep Argo de 1200 flotteurs. La session commune Deep et BGC étaient dédiées d'une part à l'implémentation de capteurs d'oxygène sur les flotteurs Deep et d'autre part aux interactions entre Argo (Deep et BGC) et les autres réseaux et programmes d'observation (DOOS, GO-SHIP, Oceansites, Gliders). Les questions qui ont été abordées au cours de cette session étaient : que pouvons-nous faire les uns pour les autres, que pouvons-nous faire ensemble. Le programme et l'ensemble des présentations sont disponibles sur le [site web du meeting](#). Le compte-rendu est en cours de rédaction.

6.3. Veille bibliographique

Un total de **65 articles** de recherche ont été co-écrits par des auteurs affiliés à un laboratoire français, **4 thèses** utilisant des données Argo ont été soutenues dans une université française. La liste de publications est fournie en annexe de ce document.

6.4. Activité de médiation scientifique

En 2021, l'université d'été Mer&Education (formation interdisciplinaire des enseignants du second degré) a été refondue (année blanche), pour intégrer notamment le partenariat avec le rectorat de l'académie de Rennes. Deep Argo a été présent lors de l'université d'été Mer&Education 2021 à l'IUEM à travers un parcours dédié à l'océan profond (www-iuem.univ-brest.fr/mer-education).

En 2021, Argo-France a participé au workshop virtuel OceanObserver organisé dans le cadre du projet Euro-Argo-RISE par OceanOPS et l'ERIC Euro-Argo.

7. Impact de la Covid-19 sur les activités Argo France

- Programme Argo France

Le programme Argo France n'a été impacté par la pandémie de Covid-19. Les réunions et animations ont pu être effectuées en distanciel.

- Achats et tests

L'activité 2021 a été nominale, avec des livraisons non reportées. Les tests habituels (tests caisson, tests bassin) n'ont pas été impactés. Les équipes sont restées mobilisées et les moyens d'essais Ifremer se sont adaptés avec une grande réactivité. Les créneaux ont été mutualisés avec l'équipe de l'ERIC Euro-Argo, avec une optimisation des semaines en termes de quantité d'instruments testés.

- Déploiements

Les campagnes ont été maintenues, ou "rattrapées", avec une quantité conséquentes de flotteurs à l'eau.

Rien à signaler en termes d'impacts sur ce plan.

- DAC/GDAC et traitement des données

Activités de traitement et mise à disposition des données au niveau DAC/GDAC peu/pas impactées (tâche réalisable en télétravail) grâce à l'infrastructure mis en place rapidement par les services de l'IFREMER. Activités traitement de données temps différé et mise à disposition peu/pas impactées. Du fait de la durée de vie des flotteurs l'impact sera probablement local si les déploiement ne sont pas annulés mais reportés; mais délayée si le report et la reprise des déploiements tardaient.

Annexe : Bibliographie Argo-France

Peer reviewed (65):

1. Abdalla, S., et al. (2021), Altimetry for the future: Building on 25 years of progress, *Advances in Space Research*, 68(2), 319-363, doi: <https://doi.org/10.1016/j.asr.2021.01.022>
2. Aguedjou, H. M. A., A. Chaigneau, I. Dadou, Y. Morel, C. Pegliasco, C. Y. Da-Allada, and E. Baloïtcha (2021), What Can We Learn From Observed Temperature and Salinity Isopycnal Anomalies at Eddy Generation Sites? Application in the Tropical Atlantic Ocean, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 126(11), e2021JC017630, doi: <https://doi.org/10.1029/2021JC017630>
3. Artana, C., C. Provost, L. Poli, R. Ferrari, and J.-M. Lellouche (2021), Revisiting the Malvinas Current Upper Circulation and Water Masses Using a High-Resolution Ocean Reanalysis, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 126(6), e2021JC017271, doi: <https://doi.org/10.1029/2021JC017271>
4. Auger, P. A., J. P. Bento, S. Hormazabal, C. E. Morales, and A. Bustamante (2021), Mesoscale Variability in the Boundaries of the Oxygen Minimum Zone in the Eastern South Pacific: Influence of Intrathermocline Eddies, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 126(2), e2019JC015272, doi: <https://doi.org/10.1029/2019JC015272>
5. Ayouche, A., C. De Marez, M. Morvan, P. L'Hegaret, X. Carton, B. Le Vu, and A. Stegner (2021), Structure and Dynamics of the Ras al Hadd Oceanic Dipole in the Arabian Sea, *Oceans*, 2(1), doi: <https://doi.org/10.3390/oceans2010007>
6. Baaklini, G., L. Issa, M. Fakhri, J. Brajard, G. Fifani, M. Menna, I. Taupier-Letage, A. Bosse, and L. Mortier (2021), Blending drifters and altimetric data to estimate surface currents: Application in the Levantine Mediterranean and objective validation with different data types, *Ocean Model.*, 166, 101850, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2021.101850>
7. Barbieux, M., Uitz, J., Mignot, A., Roesler, C., Claustre, H., Gentili, B., Taillandier, V., D'Ortenzio, F., Loisel, H., Poteau, A., Leymarie, E., Penkerch, C., Schmechtig, C., Bricaud, A. (2021). Biological production in two contrasted regions of the Mediterranean Sea during the oligotrophic period: An estimate based on the diel cycle of optical properties measured by BGC-Argo profiling floats. *Biogeosciences Discuss.* 2021: 1-74 | <https://doi.org/10.5194/bg-2021-123>.
8. Barboni, A., Lazar, A., Stegner, A., and Moschos, E.(2021). Lagrangian eddy tracking reveals the Eratosthenes anticyclonic attractor in the eastern Levantine basin, *Ocean Sci. Discuss.* [preprint], <https://doi.org/10.5194/os-2020-118>.
9. Barkan, R., K. Srinivasan, L. Yang, J. C. McWilliams, J. Gula, and C. Vic (2021), Oceanic Mesoscale Eddy Depletion Catalyzed by Internal Waves, *Geophys. Res. Lett.*, 48(18), e2021GL094376, doi: <https://doi.org/10.1029/2021GL094376>
10. Barnoud Anne, Pfeffer Julia, Guérou Adrien, Frery Marie-laure, Siméon Mathilde, Cazenave Anny, Chen Jianli, Llovel William, Thierry Virginie, Legeais Jean Francois, Ablain Michaël (2021). Contributions of altimetry and Argo to non-closure of the global mean sea level budget since 2016 . *Geophysical Research Letters* , 48(14), e2021GL092824 (10p.). <https://doi.org/10.1029/2021GL092824>
11. Barral, Q.-B., B. Zakardjian, F. Dumas, P. Garreau, P. Testor, and J. Beuvier (2021), Characterization of fronts in the Western Mediterranean with a special focus on the North Balearic Front, *Prog. Oceanogr.*, 102636, doi: <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2021.102636>

12. Billheimer, S. J., Talley, Lynne D., Martz, Todd R., Oxygen Seasonality, Utilization Rate, and Impacts of Vertical Mixing in the Eighteen Degree Water Region of the Sargasso Sea as Observed by Profiling Biogeochemical Floats. *Global Biogeochemical Cycles*. DOI: <https://doi.org/10.1029/2020GB006824>
13. Boutin, J., et al. (2021), Satellite-Based Sea Surface Salinity Designed for Ocean and Climate Studies, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 126(11), e2021JC017676, doi: <https://doi.org/10.1029/2021JC017676>
14. Carret, A., W. Llovel, T. Penduff, and J.-M. Molines (2021), Atmospherically Forced and Chaotic Interannual Variability of Regional Sea Level and Its Components Over 1993–2015, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 126(4), e2020JC017123, doi: <https://doi.org/10.1029/2020JC017123>
15. Ciliberti, S. A., Grégoire, M., Staneva, J., Palazov, A., Coppini, G., Lecci, Rita, Peneva, E., Matreata, M., Marinova, V., Masina, S., Pinardi, N., Jansen, E., Lima, L., Aydoğdu, A., Creti', S., Stefanizzi, L., Azevedo, D., Causio, S., Vandenbulcke, L., Capet, A., Meulders, C., Ivanov, E., Behrens, A., Ricker, M., Gayer, G., Palermo, F., Ilicak, M., Gunduz, M., Valcheva, N., Agostini, P. (2021). Monitoring and Forecasting the Ocean State and Biogeochemical Processes in the Black Sea: Recent Developments in the Copernicus Marine Service. *Journal of Marine Science and Engineering* 9: | <https://doi.org/10.3390/jmse9101146>.
16. Claustre, H., Legendre, L., Boyd, P. W., Levy, M. (2021). The Oceans' Biological Carbon Pumps: Framework for a Research Observational Community Approach. *Frontiers in Marine Science*8: 1722 | DOI: 10.3389/fmars.2021.780052.
17. Cornec, M., Claustre, H., Mignot, A., Guidi, L., Lacour, L., Poteau, A., D'Ortenzio, F., Gentili, B., Schmechtig, C. (2021). Deep Chlorophyll Maxima in the global ocean: occurrences, drivers and characteristics. *Global Biogeochemical Cycles* 35: e2020GB006759 | <https://doi.org/10.1029/2020GB006759>.
18. Cornec, M., Laxenaire, R., Speich, S., Claustre, H. (2021). Impact of Mesoscale Eddies on Deep Chlorophyll Maxima. *Geophysical Research Letters* 48: e2021GL093470 | DOI: <https://doi.org/10.1029/2021GL093470>.
19. D'Ortenzio, F., Taillandier, V., Claustre, H., Coppola, L., Conan, P., Dumas, F., Durrieu du Madron, X., Fourier, M., Gogou, A., Karageorgis, A., Lefevre, D., Leymarie, E., Oviedo, A., Pavlidou, A., Poteau, A., Poulain, P. M., Prieur, L., Psarra, S., Puyo-Pay, M., Ribera d'Alcalà, M., Schmechtig, C., Terrats, L., Velaoras, D., Wagener, T., Wimart-Rousseau, C. (2021). BGC-Argo Floats Observe Nitrate Injection and Spring Phytoplankton Increase in the Surface Layer of Levantine Sea (Eastern Mediterranean). *Geophysical Research Letters* 48: e2020GL091649 | DOI: <https://doi.org/10.1029/2020GL091649>.
20. Delpech, A., C. Ménesguen, Y. Morel, L. N. Thomas, F. Marin, S. Cravatte, and S. Le Gentil (2021), Intra-Annual Rossby Waves Destabilization as a Potential Driver of Low-Latitude Zonal Jets: Barotropic Dynamics, *J. Phys. Oceanogr.*, 51(2), 365-384, doi: <https://doi.org/10.1175/JPO-D-20-0180.1>
21. Desbruyères, D., L. Chafik, and G. Maze (2021), A shift in the ocean circulation has warmed the subpolar North Atlantic Ocean since 2016, *Communications Earth & Environment*, 2(1), 48, doi: <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00120-y>
22. Denvil-Sommer, A., Gehlen, M., Vrac, M. (2021). Observation system simulation experiments in the Atlantic Ocean for enhanced surface ocean pCO₂ reconstructions. *Ocean Sci.* 17: 1011-1030 | <https://doi.org/10.5194/os-17-1011-2021>.
23. El Hourany, R., Mejia, C., Faour, G., Crépon, M., Thiria, S. (2021). Evidencing the Impact of Climate Change on the Phytoplankton Community of the Mediterranean Sea Through a Bioregionalization Approach. *Journal of Geophysical Research-Oceans* 126: e2020JC016808 | DOI:

- <https://doi.org/10.1029/2020JC016808>.
24. Estournel, C., P. Marsaleix, and C. Ulses (2021), A new assessment of the circulation of Atlantic and Intermediate Waters in the Eastern Mediterranean, *Prog. Oceanogr.*, 198, 102673, doi: <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2021.102673>
 25. Frankignoul, C., E. Kestenare, and G. Reverdin (2021), Sea Surface Salinity Reemergence in an Updated North Atlantic In Situ Salinity Dataset, *J. Clim.*, 34(22), 9007-9023, doi: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-20-0840.1>
 26. Freilich, M., Mignot, A., Flierl, G., Ferrari, R. (2021). Grazing behavior and winter phytoplankton accumulation. *Biogeosciences* 18: 5595-5607 | <https://doi.org/10.5194/bg-18-5595-2021>.
 27. Galí, M., Falls, M., Claustre, H., Aumont, O., Bernardello, R. (2021). Bridging the gaps between particulate backscattering measurements and modeled particulate organic carbon in the ocean. *Biogeosciences Discuss.* 2021: 1-52 | <https://doi.org/10.5194/bg-2021-201>.
 28. Gasparin, F., S. Cravatte, E. Greiner, C. Perruche, M. Hamon, S. Van Gennip, and J.-M. Lellouche (2021), Excessive productivity and heat content in tropical Pacific analyses: Disentangling the effects of in situ and altimetry assimilation, *Ocean Model.*, 160, 101768, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2021.101768>
 29. Gibert, F., et al. (2021), Results of the Dragon 4 Project on New Ocean Remote Sensing Data for Operational Applications, *Remote Sensing*, 13(14), doi: <https://doi.org/10.3390/rs13142847>
 30. Guimbar, S., et al. (2021), The Salinity Pilot-Mission Exploitation Platform (Pi-MEP): A Hub for Validation and Exploitation of Satellite Sea Surface Salinity Data, *Remote Sensing*, 13(22), 4600, doi: <https://doi.org/10.3390/rs13224600>
 31. Hobbs, W. R., C. Roach, T. Roy, J.-B. Sallée, and N. Bindoff (2021), Anthropogenic Temperature and Salinity Changes in the Southern Ocean, *J. Clim.*, 34(1), 215-228, doi: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-20-0454.1>
 32. Hoteit, I., et al. (2021), Towards an End-to-End Analysis and Prediction System for Weather, Climate, and Marine Applications in the Red Sea, *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, 102(1), E99-E122, doi: <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-19-0005.1>
 33. Houndegnonto, O. J., N. Kolodziejczyk, C. Maes, B. Bourlès, C. Y. Da-Allada, and N. Reul (2021), Seasonal Variability of Freshwater Plumes in the Eastern Gulf of Guinea as Inferred From Satellite Measurements, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 126(5), e2020JC017041, doi: <https://doi.org/10.1029/2020JC017041>
 34. Johnson Gregory C., Hosoda Shigeki, Jayne Steven R., Oke Peter R., Riser Stephen C., Roemmich Dean, Suga Tohsio, Thierry Virginie, Wijffels Susan E., Xu Jianping Argo—Two Decades: Global Oceanography, Revolutionized . *Annual Review of Marine Science* In press | DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-022521-102008>.
 35. Jorge, Daniel S. F., Loisel, Hubert, Jamet, Cédric, Dessailly, David, Demaria, Julien, Bricaud, Annick, Maritorea, Stéphane, Zhang, Xiaodong, Antoine, David, Kutser, Tiit, Bélanger, Simon, Brando, Vittorio O., Werdell, Jeremy, Kwiatkowska, Ewa, Mangin, Antoine, d'Andon, Odile Fanton (2021). A three-step semi analytical algorithm (3SAA) for estimating inherent optical properties over oceanic, coastal, and inland waters from remote sensing reflectance. *Remote Sensing of Environment* 263: 112537 | DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112537>.
 36. Jutard, Q., Organelli, E., Briggs, N., Xing, X. G., Schmechtig, C., Boss, E., Poteau, A., Leymarie, E., Cornec, M., D'Ortenzio, F., Claustre, H. (2021). Correction of Biogeochemical-Argo Radiometry for Sensor Temperature-Dependence and Drift: Protocols for a Delayed-Mode Quality Control. *Sensors* 21: | DOI: <https://doi.org/10.3390/s21186217>.

37. Kersalé, M., et al. (2021), Multi-Year Estimates of Daily Heat Transport by the Atlantic Meridional Overturning Circulation at 34.5°S, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 126(5), e2020JC016947, doi: <https://doi.org/10.1029/2020JC016947>
38. Koenigk, T., et al. (2021), Deep mixed ocean volume in the Labrador Sea in HighResMIP models, *Climate Dynamics*, 57, 1895–1918, doi: <https://doi.org/10.1007/s00382-021-05785-x>
39. Kolbe, M., F. Roquet, E. Pauthenet, and D. Nerini (2021), Impact of Thermohaline Variability on Sea Level Changes in the Southern Ocean, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 126(9), e2021JC017381, doi: <https://doi.org/10.1029/2021JC017381>
40. Kolodziejczyk, N., M. Hamon, J. Boutin, J.-L. Vergely, G. Reverdin, A. Supply, and N. Reul (2021), Objective Analysis of SMOS and SMAP Sea Surface Salinity to Reduce Large-Scale and Time-Dependent Biases from Low to High Latitudes, *J. Atmos. Ocean. Technol.*, 38(3), 405-421, doi: <https://doi.org/10.1175/JTECH-D-20-0093.1>
41. Lazzari, P., Salon, S., Terzić, E., Gregg, W. W., D'Ortenzio, F., Vellucci, V., Organelli, E., Antoine, D. (2021). Assessment of the spectral downward irradiance at the surface of the Mediterranean Sea using the radiative Ocean-Atmosphere Spectral Irradiance Model (OASIM). *Ocean Sci.* 17: 675-697 | <https://doi.org/10.5194/os-17-675-2021>.
42. Lazzari, P., Álvarez, E., Terzić, E., Cossarini, G., Chernov, I., D'Ortenzio, F., Organelli, E. (2021). CDOM Spatiotemporal Variability in the Mediterranean Sea: A Modelling Study. *Journal of Marine Science and Engineering* 9: | DOI: <https://doi.org/10.3390/jmse9020176>.
43. L'Hégaret, P., C. d. Marez, M. Morvan, T. Meunier, and X. Carton (2021), Spreading and Vertical Structure of the Persian Gulf and Red Sea Outflows in the Northwestern Indian Ocean, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 126(4), e2019JC015983, doi: <https://doi.org/10.1029/2019JC015983>
44. Li F., Lozier M. S., Bacon S., Bower A. S., Cunningham S. A., de Jong M. F., Deyoung B., Fraser N., Fried N., Han G., Holliday N. P., Holte J., Houpert L., Inall M. E., Johns W. E., Jones S., Johnson C., Karstensen J., Le Bras I. A., Lherminier Pascale, Lin X., Mercier Herle, Oltmanns M., Pacini A., Petit T., Pickart R. S., Rayner D., Straneo F., Thierry Virginie, Visbeck M., Yashayaev I., Zhou C. (2021). Subpolar North Atlantic western boundary density anomalies and the Meridional Overturning Circulation . *Nature Communications* , 12(1), 3002 (9p.) . Publisher's official version : <https://doi.org/10.1038/s41467-021-23350-2> , Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00697/80879/>.
45. Lo Monaco, C., N. Metzl, J. Fin, C. Mignon, P. Cuet, E. Douville, M. Gehlen, T. T. T. Chau, and A. Tribollet (2021), Distribution and long-term change of the sea surface carbonate system in the Mozambique Channel (1963–2019), *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 186-188, 104936, doi: <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2021.104936>
46. Meunier, T., E. Pallás Sanz, C. de Marez, J. Pérez, M. Tenreiro, A. Ruiz Angulo, and A. Bower (2021), The Dynamical Structure of a Warm Core Ring as Inferred from Glider Observations and Along-Track Altimetry, *Remote Sensing*, 13(13), doi: <https://doi.org/10.3390/rs13132456>
47. Mignot, A., Claustre, H., Cossarini, G., D'Ortenzio, F., Gutknecht, E., Lamouroux, J., Lazzari, P., Perruche, C., Salon, S., Sauzède, R., Taillandier, V., Terruzzi, A. (2021). Defining BGC-Argo-based metrics of ocean health and biogeochemical functioning for the evaluation of global ocean models. *Biogeosciences Discuss.* 2021: 1-66 | DOI: <https://doi.org/10.5194/bg-2021-2>.
48. Moreira, L., A. Cazenave, A. Barnoud, and J. Chen (2021), Sea-Level Fingerprints Due to Present-Day Water Mass Redistribution in Observed Sea-Level Data, *Remote Sensing*, 13(22), doi: <https://doi.org/10.3390/rs13224667>
49. Mulet, S., H. Etienne, M. Ballarotta, Y. Faugere, M. H. Rio, G. Dibarboue, and N. Picot (2021),

- Synergy between surface drifters and altimetry to increase the accuracy of sea level anomaly and geostrophic current maps in the Gulf of Mexico, *Advances in Space Research*, 68(2), 420-431, doi: <https://doi.org/10.1016/j.asr.2019.12.024>
50. Mulet, S., et al. (2021), The new CNES-CLS18 global mean dynamic topography, *Ocean Sci.*, 17(3), 789-808, doi: <https://os.copernicus.org/articles/17/789/2021/>
 51. Nagura, M. (2021), Spiciness Anomalies of Subantarctic Mode Water in the South Indian Ocean, *J. Clim.*, 34(10), 3927-3953, doi: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-20-0482.1>
 52. Pauthenet, E., J.-B. Sallée, S. Schmidtko, and D. Nerini (2021), Seasonal Variation of the Antarctic Slope Front Occurrence and Position Estimated from an Interpolated Hydrographic Climatology, *J. Phys. Oceanogr.*, 51(5), 1539-1557, doi: <https://doi.org/10.1175/JPO-D-20-0186.1>
 53. Reul, N., B. Chapron, S. A. Grodsky, S. Guimbard, V. Kudryavtsev, G. R. Foltz, and K. Balaguru (2021), Satellite Observations of the Sea Surface Salinity Response to Tropical Cyclones, *Geophys. Res. Lett.*, 48(1), e2020GL091478, doi: <https://doi.org/10.1029/2020GL091478>
 54. Ricour, F., Capet, A., D'Ortenzio, F., Delille, B., Grégoire, M. (2021). Dynamics of the deep chlorophyll maximum in the Black Sea as depicted by BGC-Argo floats. *Biogeosciences* 18: 755-774 | DOI: <https://doi.org/10.5194/bg-18-755-2021>.
 55. Sallée, J.-B., V. Pellichero, C. Akhoudas, E. Pauthenet, L. Vignes, S. Schmidtko, A. N. Garabato, P. Sutherland, and M. Kuusela (2021), Summertime increases in upper-ocean stratification and mixed-layer depth, *Nature*, 591(7851), 592-598, doi: <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03303-x>
 56. Tall, A. W., E. Machu, V. Echevin, X. Capet, A. Pietri, K. Corrêa, S. M. Sall, and A. Lazar (2021), Variability of Dissolved Oxygen in the Bottom Layer of the Southern Senegalese Shelf, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 126(5), e2020JC016854, doi: <https://doi.org/10.1029/2020JC016854>
 57. Terzić, E., Miró, A., Organelli, E., Kowalczyk, P., D'Ortenzio, F., Lazzari, P. (2021). Radiative Transfer Modeling With Biogeochemical-Argo Float Data in the Mediterranean Sea. *Journal of Geophysical Research-Oceans* 126: e2021JC017690 | DOI: <https://doi.org/10.1029/2021JC017690>.
 58. Terzić, E., Salon, S., Cossarini, G., Solidoro, C., Teruzzi, A., Miró, A., Lazzari, P. (2021). Impact of interannually variable diffuse attenuation coefficients for downwelling irradiance on biogeochemical modelling. *Ocean Modelling* 161: 101793 | DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2021.101793>.
 59. Trewin, B., A. Cazenave, S. Howell, M. Huss, K. Isensee, M. D. Palmer, O. Tarasova, and A. Vermeulen (2021), Headline Indicators for Global Climate Monitoring, *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, 102(1), E20-E37, doi: <https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/102/1/BAMS-D-19-0196.1.xml>
 60. Ulses, C., Estournel, C., Fourrier, M., Coppola, L., Kessouri, F., Lefèvre, D., Marsaleix, P. (2021). Oxygen budget of the north-western Mediterranean deep- convection region. *Biogeosciences* 18: 937-960 | DOI: <https://doi.org/10.5194/bg-18-937-2021>.
 61. Verezhenskaya, P., B. Barnier, S. K. Gulev, S. Gladyshev, J.-M. Molines, V. Gladyshev, J.-M. Lellouche, and A. Gavrikov (2021), Assessing Eddying (1/12°) Ocean Reanalysis GLORYS12 Using the 14-yr Instrumental Record From 59.5°N Section in the Atlantic, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 126(6), e2020JC016317, doi: <https://doi.org/10.1029/2020JC016317>
 62. Vidya, P. J., Balaji, M., Mani Murali, R. Cyclone Hudhud-eddy induced phytoplankton bloom in the northern Bay of Bengal using a coupled model. *Progress in Oceanography*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2021.102631>
 63. von Schuckmann, K., et al. (2021), Copernicus Marine Service Ocean State Report, Issue 5, *J. Oper. Oceanogr.*, 14(sup1), 1-185, doi: <https://doi.org/10.1080/1755876X.2021.1946240>
 64. Wimart-Rousseau, C., Wagener, T., Álvarez, M., Moutin, T., Fourrier, M., Coppola, L.,

- Niclas-Chirurgien, L., Raimbault, P., D'Ortenzio, F., Durrieu de Madron, X., Taillandier, V., Dumas, F., Conan, P., Pujo-Pay, M., Lefèvre, D. (2021). Seasonal and Interannual Variability of the CO₂ System in the Eastern Mediterranean Sea: A Case Study in the North Western Levantine Basin. *Frontiers in Marine Science* 8: 475 | DOI: <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.649246>.
65. Wu, Y., X.-T. Zheng, Q.-W. Sun, Y. Zhang, Y. Du, and L. Liu (2021), Decadal Variability of the Upper-Ocean Salinity in the Southeast Indian Ocean: Role of Local Ocean–Atmosphere Dynamics, *J. Clim.*, 34(19), 7927-7942, doi: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-21-0122.1>

Thèse (4):

1. Conejero Garcia Carlos, 2021, Impact of climate change on ocean circulation in eastern edge upwelling systems in the Southern Hemisphere, Université Toulouse III <http://thesesups.ups-tlse.fr/5013/>.
2. Fourier Marine, 2021 : Impact des forçages physiques sur la dynamique des éléments biogéochimiques en mer Méditerranée - Approche couplée observations in situ et réseaux de neurones. Sorbonne Université, novembre 2021
3. Tchonang, Babette Christelle, 2021, Contribution of the Surface Water Ocean Topography (SWOT) satellite for ocean analysis and forecasting, Université Toulouse III <http://thesesups.ups-tlse.fr/5111/>.
4. Wimart-Rousseau Cathy, 2021 : Dynamiques saisonnière et pluriannuelle du système des carbonates dans les eaux de surface en mer Méditerranée. Université d'Aix-Marseille, 14 décembre 2021, <https://ecole-doctorale-251.univ-amu.fr/soutenance/2050>