

## Bilan Argo-France 2020

Comité de Pilotage Argo-France



Réf. : AF-2021-BILAN2020

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

Date : 30/04/2020

## *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 2020. Des informations complémentaires sont disponibles dans le rapport AST 22 (Mars 2021, Monaco, France).

## Table des matières

<b>Équipes et programme</b>	<b>5</b>
<b>Opérations à la mer : CODEP</b>	<b>5</b>
Achats flotteurs	5
Composante T/S - NOSS	5
Composante T/S/O2	6
Composante Deep	6
Composante BGC	6
Composante T/S - RBR	6
Activités Déploiements	7
Monitoring de la flotte	7
<b>Gestion des données</b>	<b>8</b>
DAC : centre de données des flotteurs Coriolis	8
Flotteurs actifs	8
Tous les flotteurs Coriolis	9
DAC Coriolis BGC-Argo	11
Données temps différées transmises aux GDACs	13
GDAC: centre de données global des flotteurs Argo	13
Inventaire des données Argo	13
Empreinte des fichiers de GDAC Argo	15
Tableau de bord Argo Sémaphore: créditer les fournisseurs de données	15
Flotteurs BGC-Argo	17
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	20
ENVRI-FAIR : connecter les ERICs à l'EOSC Blue Cloud	21
EOSC-hub: construire le Blue Cloud européen pour la science	23
Big data Coriolis, projets MOCCA et ENVRI-FAIR	23
<b>Outils et produits</b>	<b>24</b>
ISAS global-T/S/O2-surface-fond	24
Nouvelle méthode DMQC basée sur l'Intelligence Artificielle	25
DMQC BGC	25
Trajectoires	27
Outils collaboratifs	27
Autres logiciels et produits	28
Ocean state report	29
ICES North Atlantic Ocean State Report (IROC)	29

<b>Recherche</b>	<b>30</b>
Publications marquantes	30
Faits marquants	30
Projet H2020 Euro-Argo-RISE	30
Projets PIANO-CPER-PIA3	30
Projet ERC REFINE	32
<b>Coordination scientifique et animation</b>	<b>33</b>
<b>Impact de la Covid-19 sur les activités Argo France</b>	<b>34</b>
<b>Annexe : Bibliographie Argo-France</b>	<b>36</b>

## 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 assurés en 2020 :

- la préparation et le déploiement de 43 flotteurs (Financement CORIOLIS– Ifremer et SHOM)
- 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).

Argo-France s'est occupé aussi du traitement en temps-réel des flotteurs BGC-Argo de la flotte française, qui sont attribués par le GMMC.

En 2020, en complément des projets les partenaires Argo-France ont porté avec succès trois gros projets visant à consolider le réseau Argo Core et développer les extensions BGC et Deep de la contribution de Argo-France au projet Argo:

- Le projet d'Investissement Exceptionnel Ifremer (PIE) PIANO
- Le CPER Bretagne ObsOcean
- Le Plan d'Investissement d'Avenir (PIA3) Equipex+ Argo 2030

En 2020, 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 la France a continué d'opérer un des deux centres global de données Argo (Coriolis GDAC).

## 2. Opérations à la mer : CODEP

codep@ifremer.fr : [noe.poffa@ifremer.fr](mailto:noe.poffa@ifremer.fr) et [nathanaele.lebreton@shom.fr](mailto:nathanaele.lebreton@shom.fr)

### 2.1. Achats flotteurs

Cette année l'achat des flotteurs s'est porté sur 4 types de flotteurs de fabrication NKE:

- 22 ARVOR (contribution IFREMER), le SHOM n'ayant plus de marché en 2020 (report des achats 2020 et 2021 sur 2021)
- 13 DEEP ARVOR
- 4 CTS3-DO
- 10 BGC
  - 6 dotation de la Fondation Albert II à l'IMEV de Villefranche (pH, OCR504, ECO, Optode)
  - 4 GMMC avec contribution du CNES au LOV (OCR504, ECO, Optode)

#### 2.1.1. Composante T/S - NOSS

### 2.1.2. Composante T/S/O2

8 flotteurs CTS3-DO ont été déployés en 2020 : 5 sur la campagne GMMC EUREC4-AO (large Guyane), 1 sur MOOSE (méditerranée) et 2 sur PROTEUS-GIB (méditerranée) via une collaboration avec le Portugal sur le projet E-Arise.

### 2.1.3. Composante Deep

2 DEEP ARVOR ont été déployés sur PIRATA (mars 2020) et 16 DEEP (juin juillet 2020) ont été déployés en Atlantique Nord grâce à une collaboration avec l'Allemagne et deux de ses navires océanographiques. Deux flotteurs profonds "tri-têtes" équipés d'une SBE41CP, d'une SBE61 et d'un capteur RBR ont été déployés lors de la campagne espagnole RAPROCAN2020 au large des Canaries en décembre 2020. Les données seront analysées par le LOPS.

### 2.1.4. Composante BGC

Par définition, les flotteurs BGC sont des flotteurs qui mesurent un ou plusieurs paramètres biogéochimiques. Parmi : l'oxygène dissous, les nitrates, la Chlorophylle-A, le coefficient de rétrodiffusion particulaire, l'éclairement incident et le pH.

**4 flotteurs BGC avec plus de 2 paramètres BGC** ont été déployés en 2020°:

1 BGC avec pH, O2, CHLA, BBP700, CDOM, UVP (Underwater Video Profiler) , transmissomètre et éclairement (pH ARGO) SIO 2020 (6903093)

1 BGC avec pH, O2, CHLA, BBP700, CDOM, SUNA, transmissomètre et éclairement. (pH ARGO) SIO 2020 (6903094)

1 BGC avec O2, CHLA, BBP700, CDOM, UVP (Underwater Video Profiler) et éclairement. (pH ARGO) BOUSSOLE (6903069, récupéré après 15 profils)

1 BGC avec pH, O2, CHLA, BBP700, CDOM et éclairement. (pH ARGO) OISO 2020 (6903026)

### 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. Les données seront analysées par le LOPS.



## 2.2. Activités Déploiements

43 flotteurs ont été déployés; on totalise 15 T/S Core, 8 T/S/O2, 2 BGC et 18 DEEP.

Les supports de déploiement sont la Flotte Océanographique Française et Internationale (Allemagne + Espagne) ainsi que quelques voiliers.

DOSSIER	PI	ARVOR	CTS3-DO	BGC	DEEP	Zone de déploiement	Navire	Campagne
<a href="#">OISO</a>	BLAIN			1		Kerguelen	MARION DUFRESNE	OISO
<a href="#">PIRATA FR30</a>	BOURLES	2			2	Golfe de Guinée	THALASSA	PIRATA FR30
<a href="#">RARA AVIS 2020</a>	COATANOAN	1				Transatlantique	RARA AVIS	RARA AVIS
<a href="#">PERLE 3</a>	DUMAS	3				Méditerranée SE	POURQUOI PAS ?	PERLE3
<a href="#">DEEP NA</a>	DESBRUYERES					Atlantique Nord	METEOR	M164
<a href="#">DEEP NA</a>	DESBRUYERES				16	Atlantique Nord	MARIA S. MERIAN	MSM94
<a href="#">GIBRALTAR</a>	DUMAS / SANTOS	2	2			Gibraltar	ATALANTE	PROTEUS GIB
<a href="#">EUREC4A-AO</a>	BELLENGER / SPEICH		5			Atlantique Tropical NO	ATALANTE	EUREC4A-O2
<a href="#">IMOCA</a>	COATANOAN	4				Atlantique	IMOCA	VENDEE GLOBE
<a href="#">E-ARISE</a>	MAZE	3				Canaries	RAMON MARGALEF	RAPROCAN2012
<a href="#">MOOSE</a>	COPPOLA		1	1		Méditerranée	THETHYS II	MOOSE
<b>TOTAL 2020</b>		<b>15</b>	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>18</b>			
		<b>43</b>						

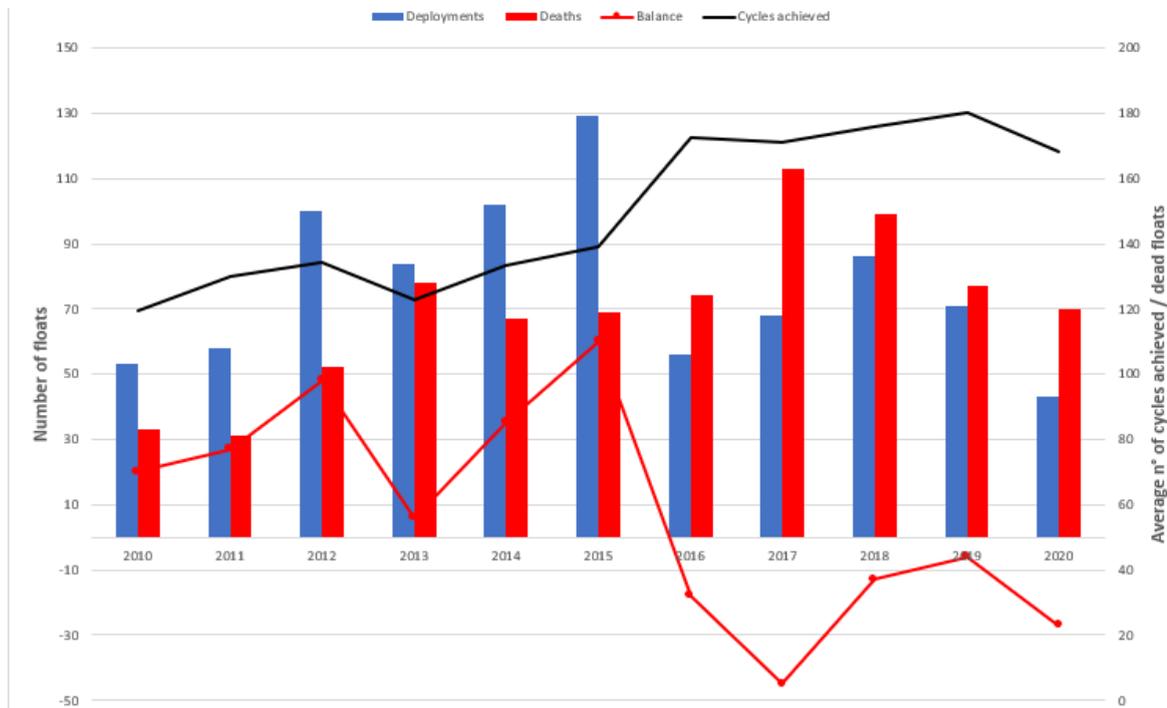


### 2.2.1. Monitoring de la flotte

A ce jour (décembre 2020), sur les 43 flotteurs déployés en 2020 :

- 37 sont actifs
- un ARVOR a été récupéré à la mer après 10 cycles (oubli des bouchons CTD)
- 2 DEEP ont disparu prématurément (soupçon de prise d'eau). NKE reste muet sur ce problème malgré de multiples relances.
- 2 flotteurs CTS3-DO sur les 5 EUREC4-AO (large Guyane) ont disparu après échouage sur le plateau malgré de nombreuses tentatives de pilotage.
- Le CTS5 (6903069) BGC équipé d'un UVP (Underwater Video Profiler), déployé sur Boussole a été récupéré après 15 profils.

La flotte française fin 2020 est composée à 70% d'ARVOR T/S, 10% de DEEP, 10% d'O2 et 10% de BGC. 70 flotteurs français ont disparu en 2020, principalement dû à épuisement des batteries, le nombre de cycles moyens effectué pour ces flotteurs disparus s'élève à 168.



Evolution de la flotte française opérationnelle de 2010 à 2020

### 3. Gestion des données

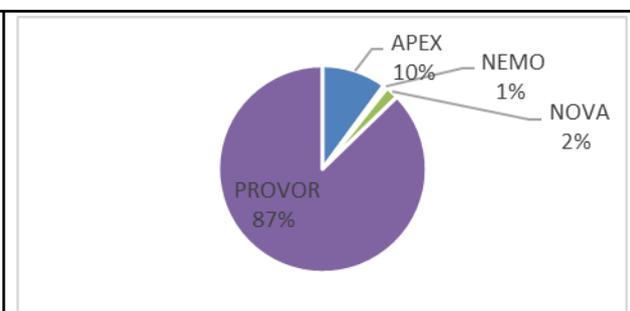
#### 3.1. DAC : centre de données des flotteurs Coriolis

##### 3.1.1. Flotteurs actifs

Au cours des 12 derniers mois, 52 160 profils provenant de 787 flotteurs actifs ont été collectés, contrôlés et distribués. Par rapport à 2019, le nombre de profils est en forte augmentation (+ 49%), le nombre de flotteurs a diminué de 5%. Ces chiffres illustrent une bonne dynamique de l'activité du DAC Coriolis.

Les 787 flotteurs gérés au cours de cette période avaient 48 versions de formats de données.

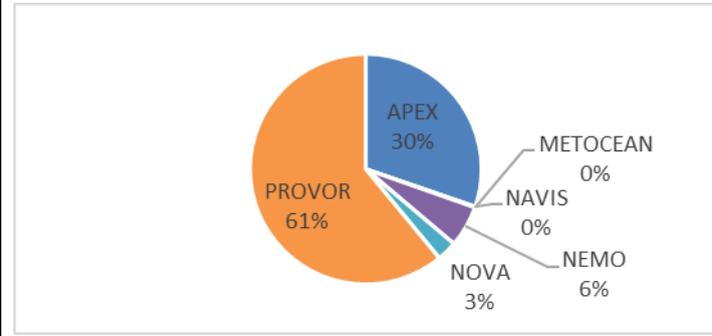
Coriolis DAC, active floats in 2020			
Float family	nb versions	nb floats	nb core p
APEX	16	79	5 221
NEMO	1	5	354
NOVA	2	16	564
PROVOR	29	687	46 021
<b>Total</b>	<b>48</b>	<b>787</b>	<b>52 160</b>



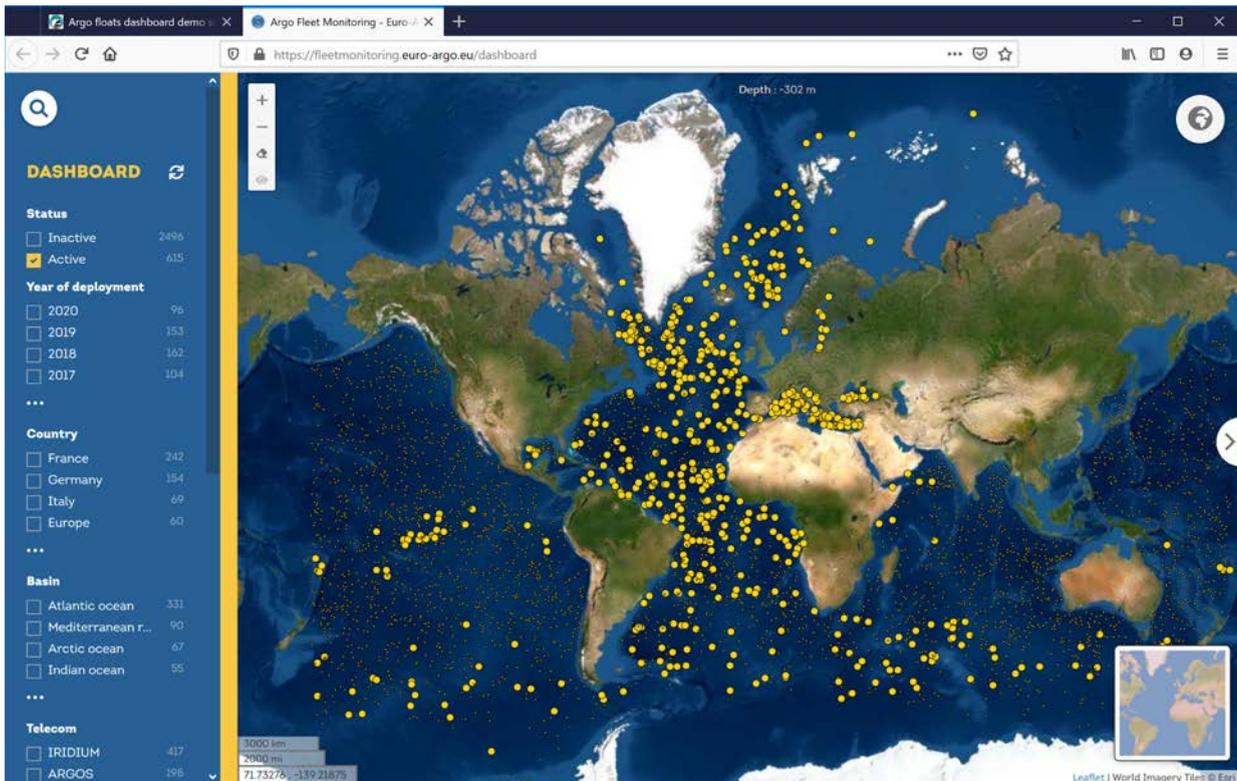
### 3.1.2. Tous les flotteurs Coriolis

Le DAC Coriolis gère un total de 2 976 flotteurs avec 153 versions de 6 familles. Ces flotteurs ont effectué 521 184 profils verticaux Core-Argo.

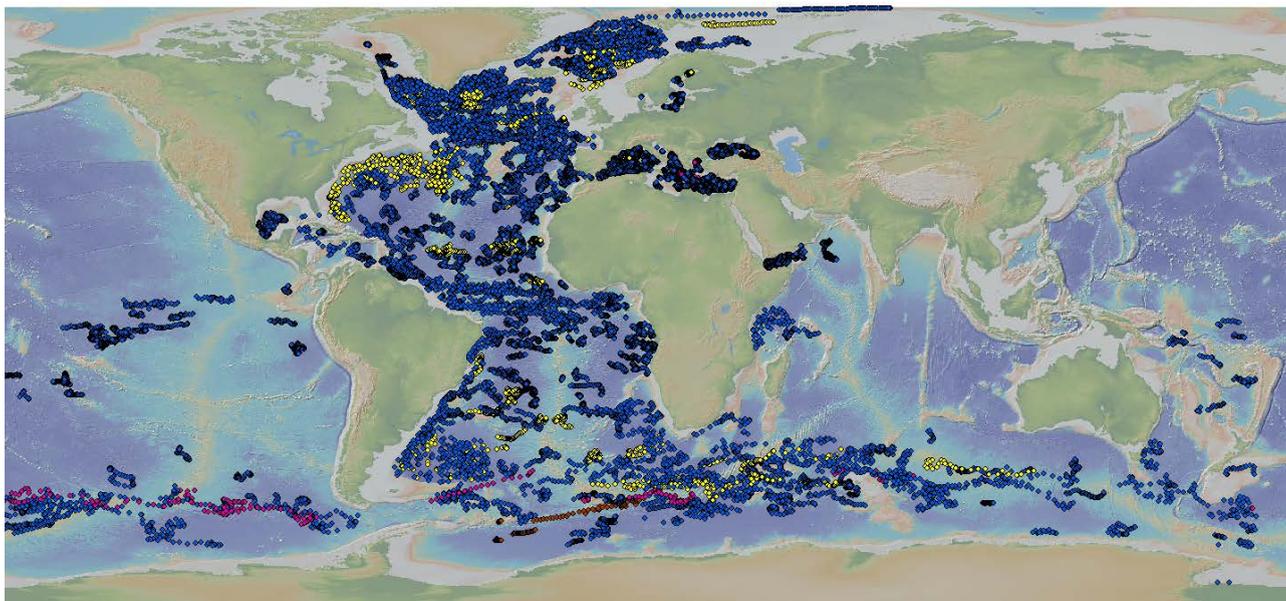
Float family	nb versions	nb floats	nb core p
APEX	72	901	135 899
METOCEAN	1	1	52
NAVIS	1	3	1 932
NEMO	8	173	18 825
NOVA	3	84	8 863
PROVOR	68	1 814	355 613
<b>Total</b>	<b>153</b>	<b>2 976</b>	<b>521 184</b>



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

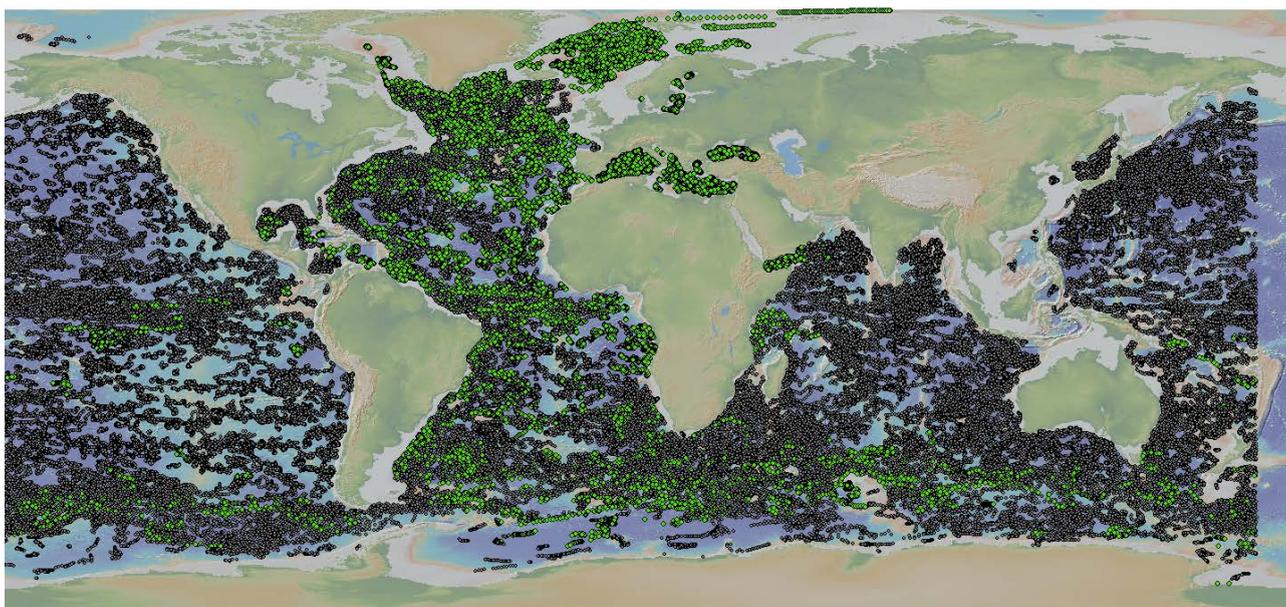


Carte des flotteurs actifs décodés par le DAC Coriolis fin 2020 (autres DACs : petits points gris) tels que affichés sur le tableau de bord des flotteurs Euro-Argo <https://fleetmonitoring.euro-argo.eu/dashboard>

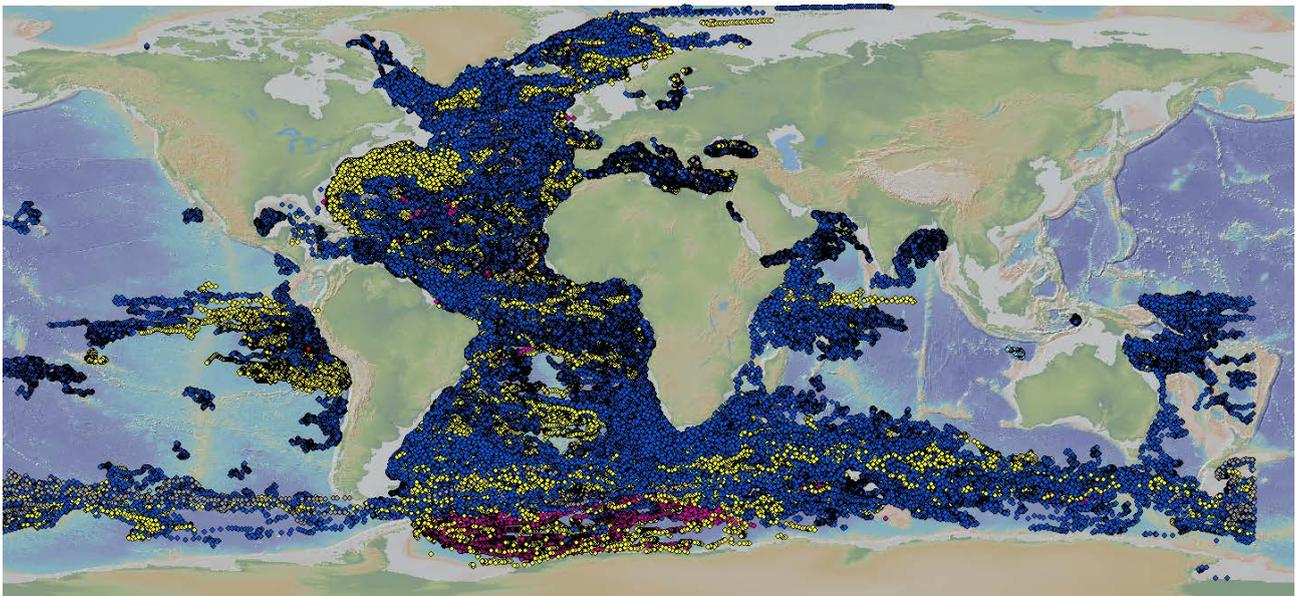


Carte des 52 160 profils de 787 flotteurs actifs décodés par le DAC Coriolis en 2020

Apex Nova Provor Nemo



Carte des profils des flotteurs actifs décodés par le DAC Coriolis en 2020, parmi les autres profils du DAC (Coriolis: vert, autres DAC: gris)



Carte des 521 184 profils de 2 976 flotteurs gérés par le Coriolis DAC

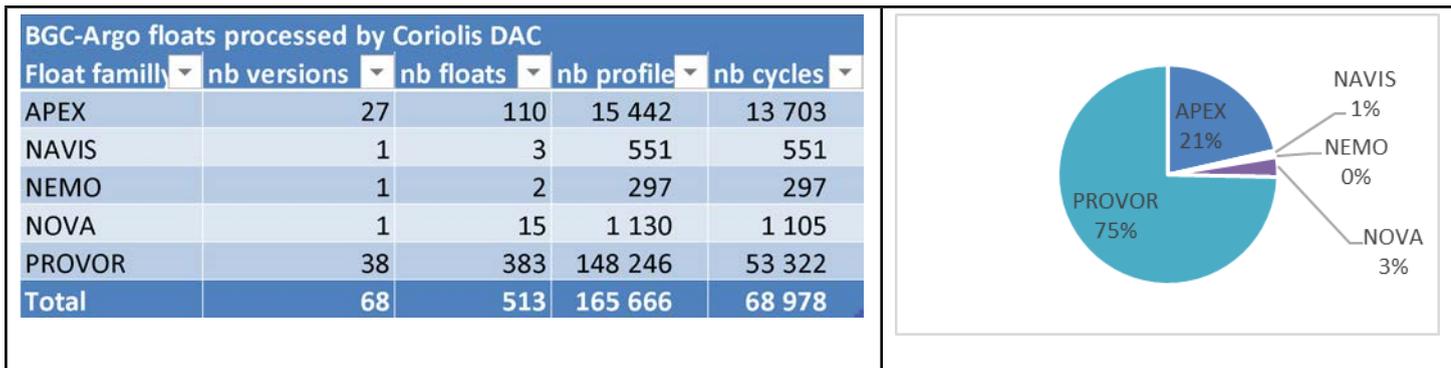
Apex   Metocean   Navis   Nemo   Nova   Provor

### 3.1.3. DAC Coriolis BGC-Argo

La chaîne de traitement des données Matlab est régulièrement améliorée pour gérer les données et les métadonnées des flotteurs Coriolis-BGC. Ce sont des flotteurs innovants équipés de capteurs bio-géo-chimiques (BGC). Le DAC Coriolis gère **513 flotteurs BGC-Argo de 5 familles**. Ils ont effectué **68 978 cycles**.

La chaîne de traitement des données est librement disponible:

- Chaîne de traitement Coriolis des flotteurs 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

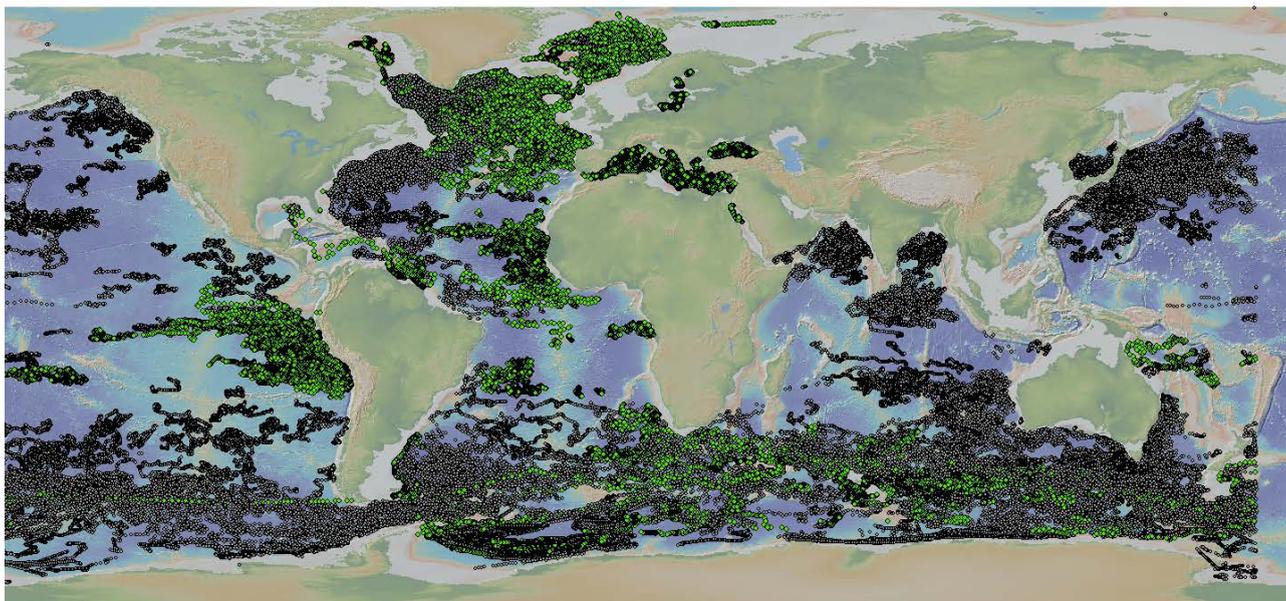
- Communications Iridium SBD, Iridium Rudics ou Argos
- Quatorze types de capteurs sont montés sur les flotteurs
- Onze paramètres BGC gérés

Coriolis BGC-Argo floats sensor	nb floats	nb profiles
AANDERAA_OPTODE_4330	298	39997
SATLANTIC_OCR504_ICSW	166	120504
ECO_FLBBCD	163	89820
AANDERAA_OPTODE_3830	77	10801
SUNA_V2	73	10933
SBE63_OPTODE	20	1885
ECO_FLBB_AP2	19	4982
C_ROVER	15	4449
SBE43F_IDO	13	1596
ECO_FLNTU	10	5366
SEAFET	8	409
ECO_FLBB2	4	2112
FLBB	2	616
UVP6-LP	1	30

Les 14 types de capteurs montés sur les flotteurs Coriolis BGC-Argo

BGC parameter	nb files
DOXY	177791
CHLA	71315
BBP700	69206
NITRATE	35052
DOWN_IRRADIANCE412	33999
CDOM	32427
PH_IN_SITU_TOTAL	13555
CP660	4849
TURBIDITY	2109
UP_RADIANCE555	619
TRANSMITTANCE_PARTICLE_BEAM	426

Les 11 paramètres BGC rapportés par les flotteurs Coriolis BGC-Argo



Carte des 513 flotteurs BGC-Argo gérés par Coriolis DAC (points gris: 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 temps différées transmises aux GDACs

Un profil en mode retardé Argo contient un profil de salinité calibré (paramètre psal\_adjusted).

- Au total, **84 272 profils temps différé** ont été envoyés aux GDAC en 2020
- Un total de **222 641 profils temps différé** ont été envoyés aux GDAC depuis 2005.

Le nombre de profils en mode temps-différé a augmenté de 27% cette année.

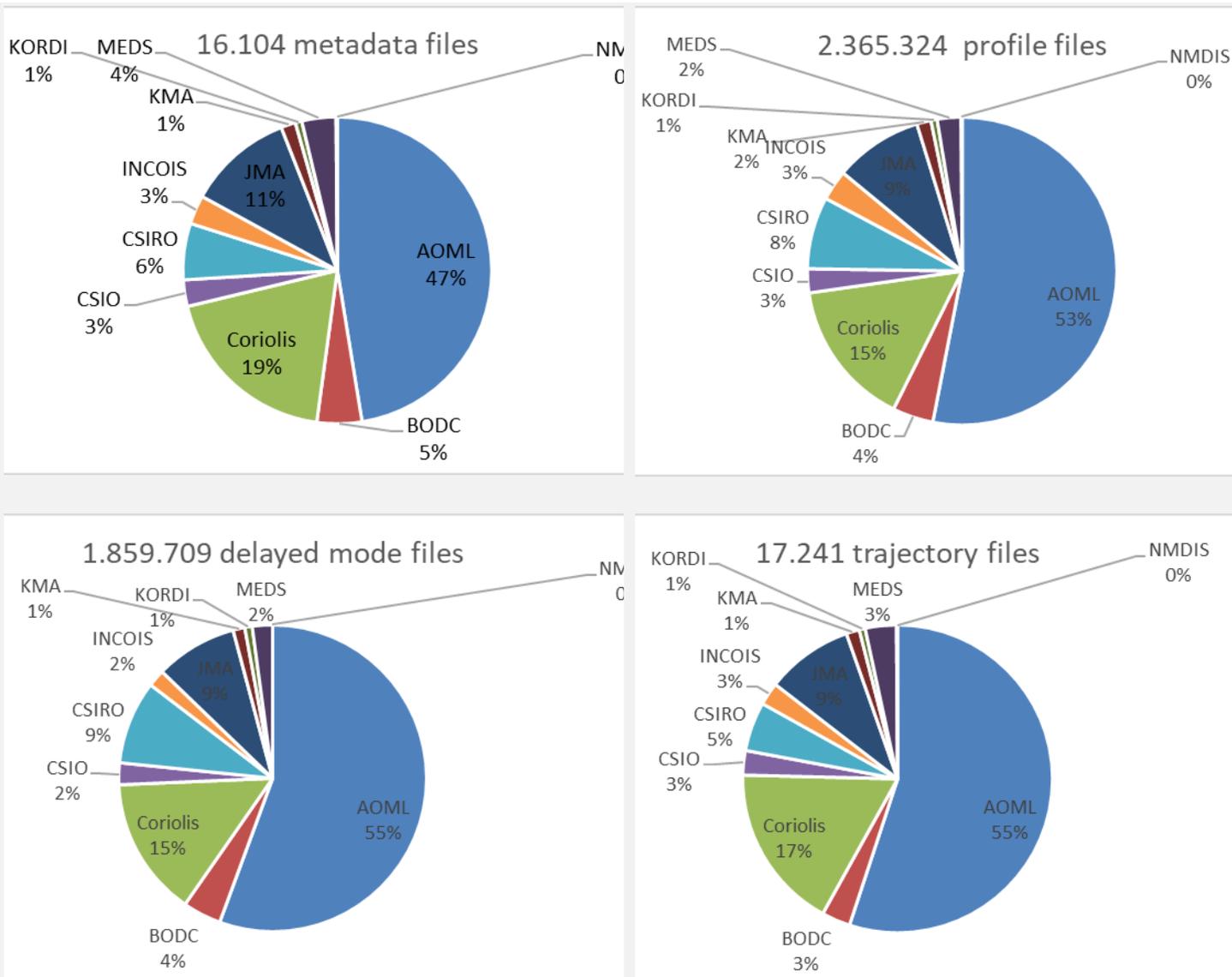
### 3.2. GDAC: centre de données global des flotteurs Argo

#### 3.2.1. Inventaire des données Argo

Nous gérons 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 2020, les fichiers suivants étaient disponibles sur le site FTP de GDAC.

DAC	metadata files 2020	increase	profile files	increase2	delayed mode profile files	increase3	trajectory files 2019	increase4
AOML	7 640	6%	1 254 815	9%	1 033 917	17%	9 488	6%
BODC	756	6%	100 951	12%	75 251	65%	516	1%
Coriolis	3 073	5%	364 708	12%	273 031	23%	2 994	6%
CSIO	449	10%	59 538	8%	42 805	181%	443	10%
CSIRO	958	10%	179 229	9%	163 731	11%	891	8%
INCOIS	491	3%	75 564	9%	33 712	10%	413	0%
JMA	1 784	4%	218 511	6%	160 237	8%	1 571	2%
KMA	247	2%	35 325	5%	23 094	0%	238	3%
KORDI	109	0%	15 330	-3%	14 505	0%	107	0%
MEDS	578	6%	58 893	7%	39 381	3%	561	6%
NMDIS	19	0%	2 460	0%	45	-	19	0%
<b>Total</b>	<b>16 104</b>	<b>6%</b>	<b>2 365 324</b>	<b>9%</b>	<b>1 859 709</b>	<b>18%</b>	<b>17 241</b>	<b>5%</b>

Comptage des fichiers distribués par le GDAC Argo en décembre 2020



## Distribution par DACs des fichiers du GDAC Argo en décembre 2020

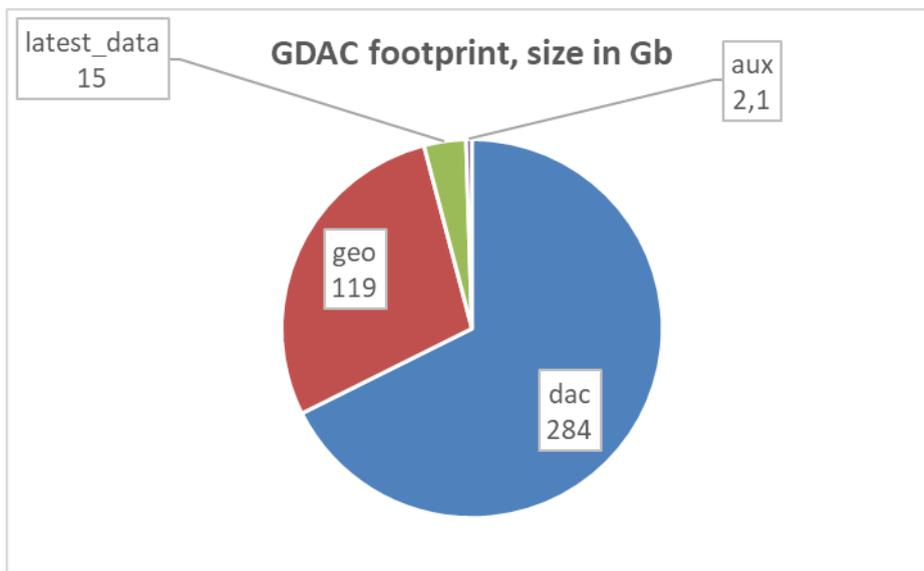
### 3.2.2. Empreinte des fichiers de GDAC Argo

- Le nombre total de fichiers NetCDF dans le répertoire GDAC/dac était de 2 867 119 (+18%)
- La taille du répertoire GDAC/dac était de 284 Go (-16%)
- La taille du répertoire GDAC était de 572Go (-4%)

La diminution du nombre de fichiers est liée à la suppression des fichiers BGC M-prof remplacés par les BGC S-prof (profils synthétiques, diffusés en parallèle des M-prof pendant 12 mois).

branch	GDAC size in	yearly
dac	284	-16%
geo	119	16%
latest_data	15	-29%
aux	2,1	5%
gdac total	572	-4%

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



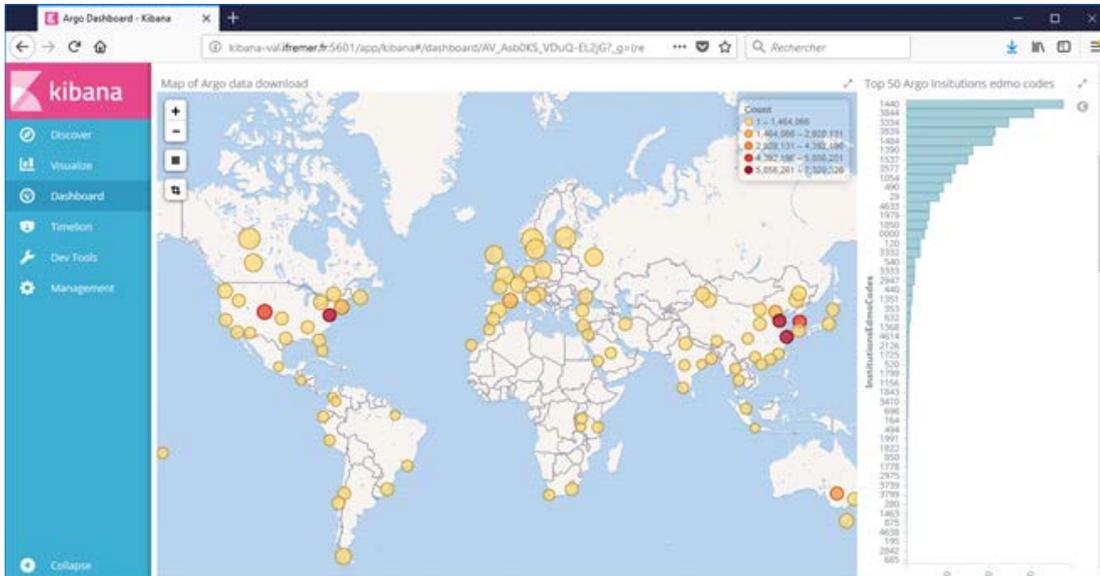
Répartition des fichiers du GDAC par répertoires

### 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 2020

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

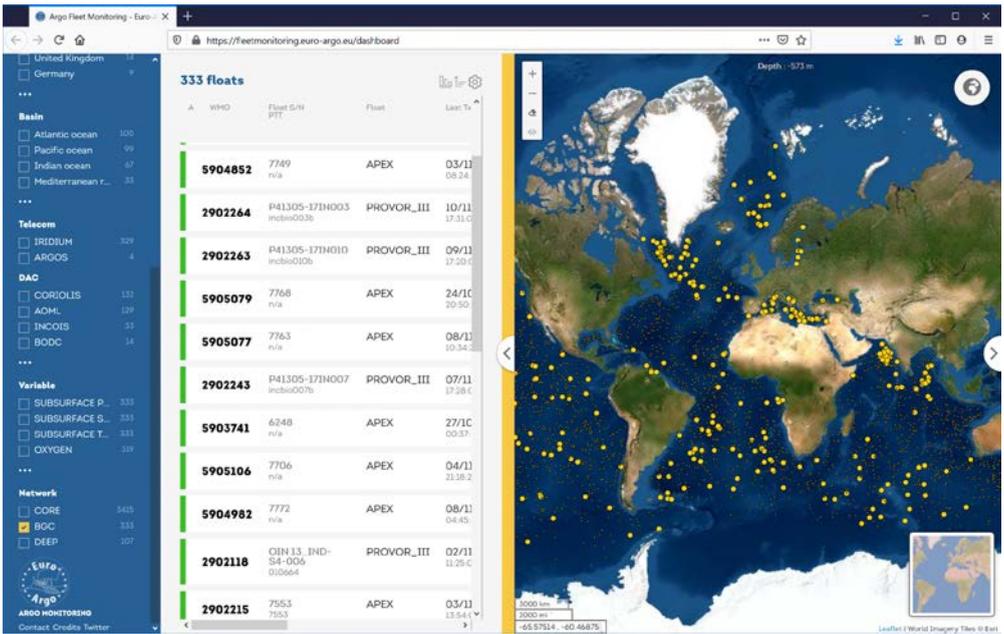
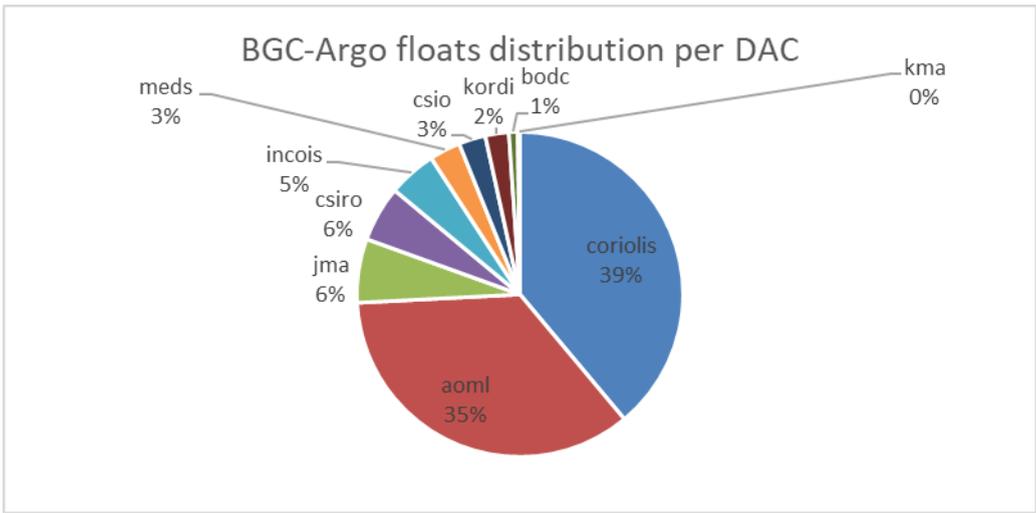


Le top 50 des téléchargements d'institutions flottantes et le top 50 des utilisateurs de données

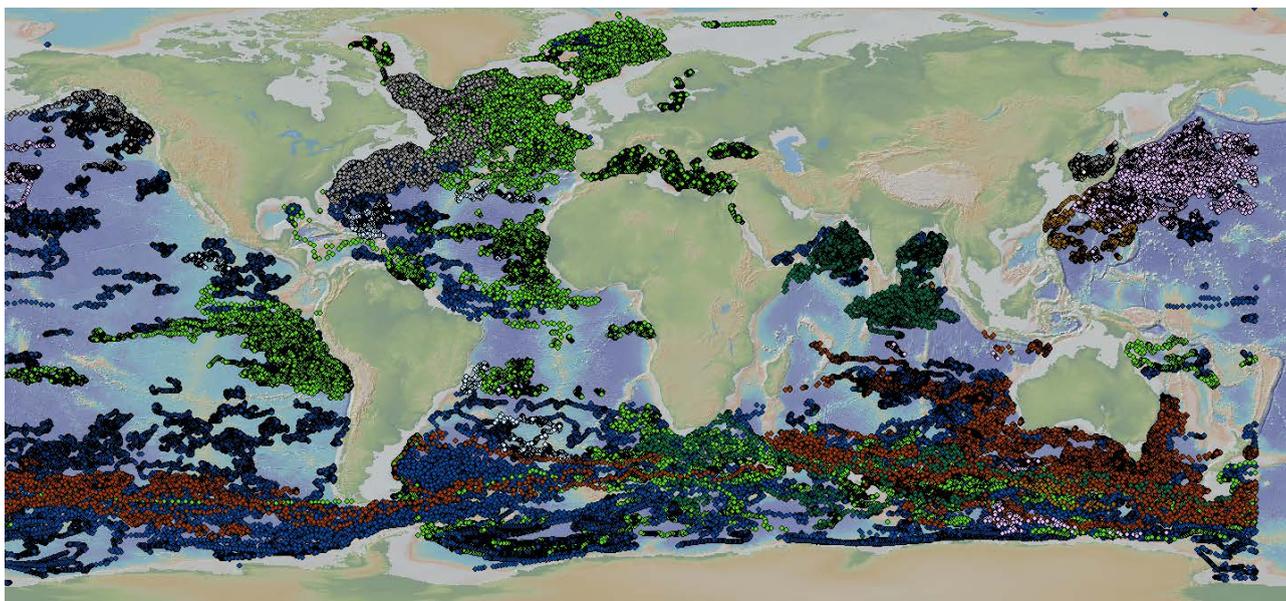
### 3.2.4. Flotteurs BGC-Argo

En octobre 2019, **189.142 profils BGC-Argo de 1234 flotteurs** étaient disponibles sur Argo GDAC. C'est une forte augmentation par rapport à 2018: **+ 15% de flotteurs en plus** et **+ 14% de profils en plus**.

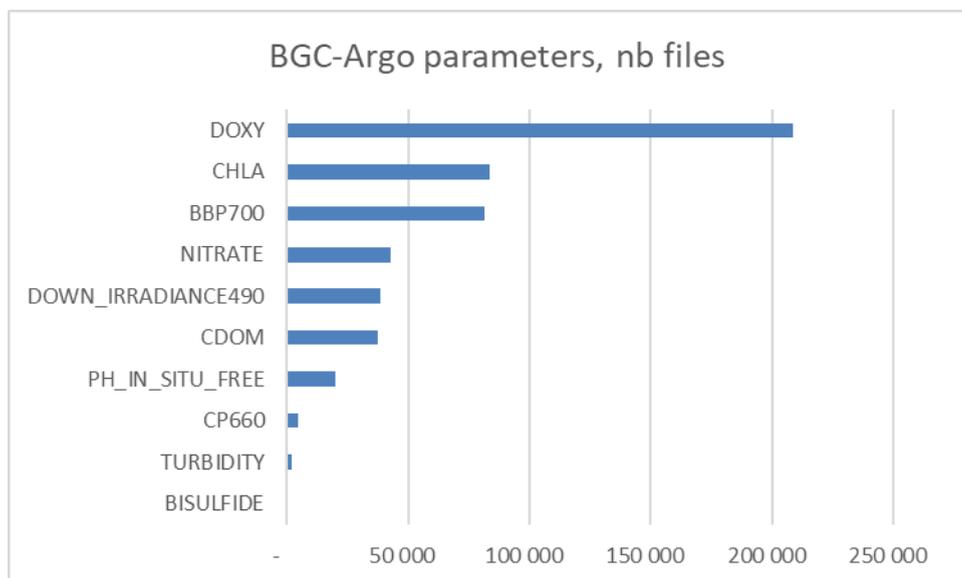
DAC	nb bgc float	nb bgc file
coriolis	570	78 364
aoml	516	77 298
jma	93	16 193
csiro	81	21 726
incois	70	10 360
meds	45	4 537
csio	39	8 330
kordi	34	3 426
bodc	13	4 433
kma	3	468
<b>Total</b>	<b>1464</b>	<b>225 135</b>



Carte de 209 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	208 627
CHLA	83 398
BBP700	81 289
NITRATE	42 983
DOWN_IRRADIANCE490	38 412
CDOM	37 468
PH_IN_SITU_FREE	20 208
CP660	4 853
TURBIDITY	2 109
BISULFIDE	705

### 3.3. Projets européens Argo-données

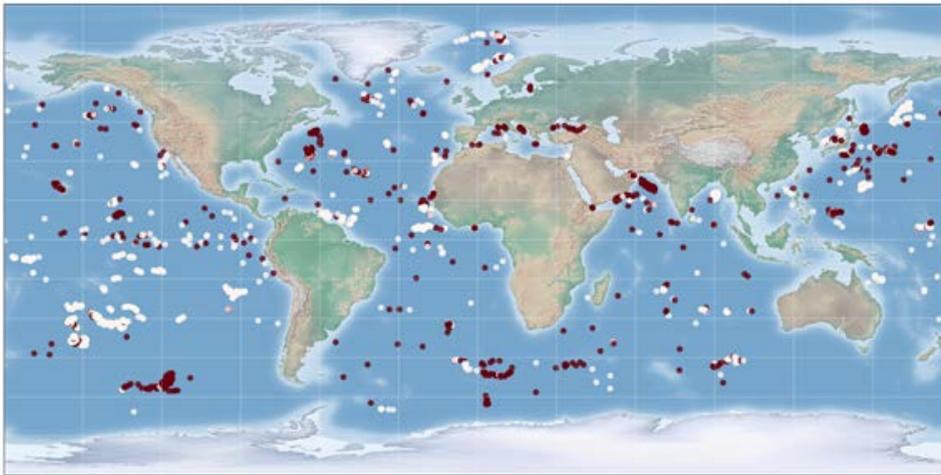
#### 3.3.1. Argo MOCCA : machine learning appliqué aux observations Argo

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

- Gestion de données et QC  
Nitrate, irradiance, particules en suspension, oxygène, pH, flux mer-atmosphère CO2

### 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 accessible 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>

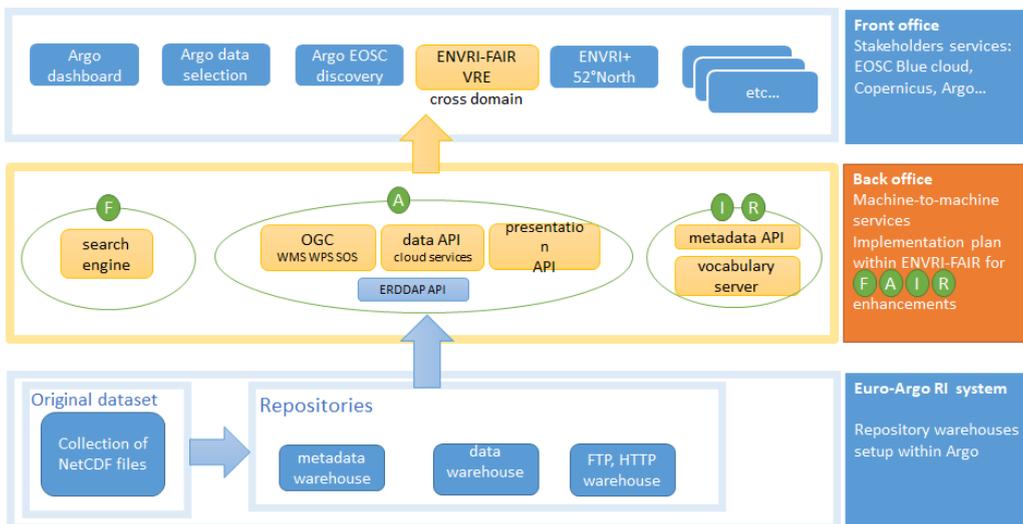
#### 3.3.3. ENVRI-FAIR : connecter les ERICs à l'EOSC Blue Cloud

L'Europe soutient significativement la “Fairtitude” des infrastructures données de recherches (ERIC). L'objectif est de contribuer à l'EOSC Blue Cloud (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

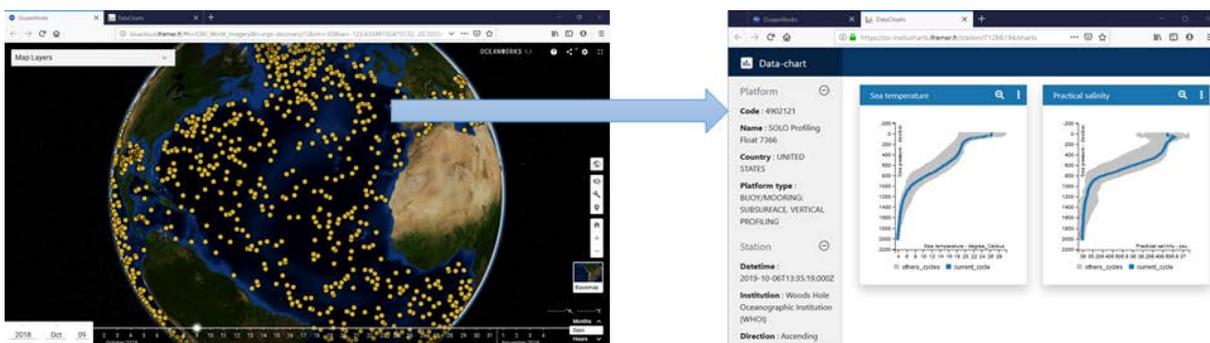
EOSC-Hub est un projet destiné à la mise en place de l’infrastructure technique du cloud pour la science européenne. Le centre de données Coriolis est impliqué via Argo dans le WP8.3 “Marine competence centre” dont les deux tâches principales sont:

- 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>

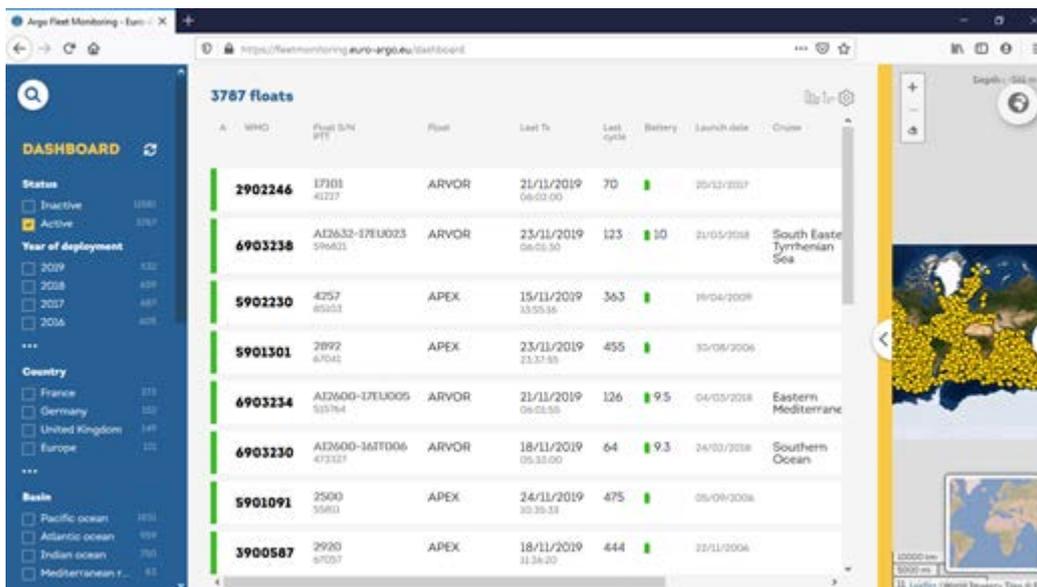


### Big data Coriolis, projets MOCCA et ENVRI-FAIR

Le Tableau de bord des flotteurs Argo est maintenant en ligne sur:

- <https://fleetmonitoring.euro-argo.eu>

Il a été développé dans le cadre du projet européen MOCCA (IHM) et ENVRI-FAIR pour les API d'accès aux métadonnées (Elasticsearch) et données (Cassandra).



Le tableau de bord des flotteurs Coriolis, une application big-data : visualiser instantanément 15 000 flotteurs, ses 3 millions de métadonnées et ses 2 milliard d'observations.

## 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.

La dernière version de l'outil ISAS V7 est désormais mise à disposition des utilisateurs. 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. La nouvelle version d'ISAS17 a été développée en 2020. Cette version permet d'étendre la série temporelle de champs T/S interpolés mensuellement en DM de 2002 à 2017. Les champs T/S/O2 seront distribués en 2021.

En collaboration avec le projet SMOS OCEAN, la fusion 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 un article accepté dans Journal of Atmospheric and Ocean Technology (Kolodziejczyk et al., JAOT, 2020). 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>.

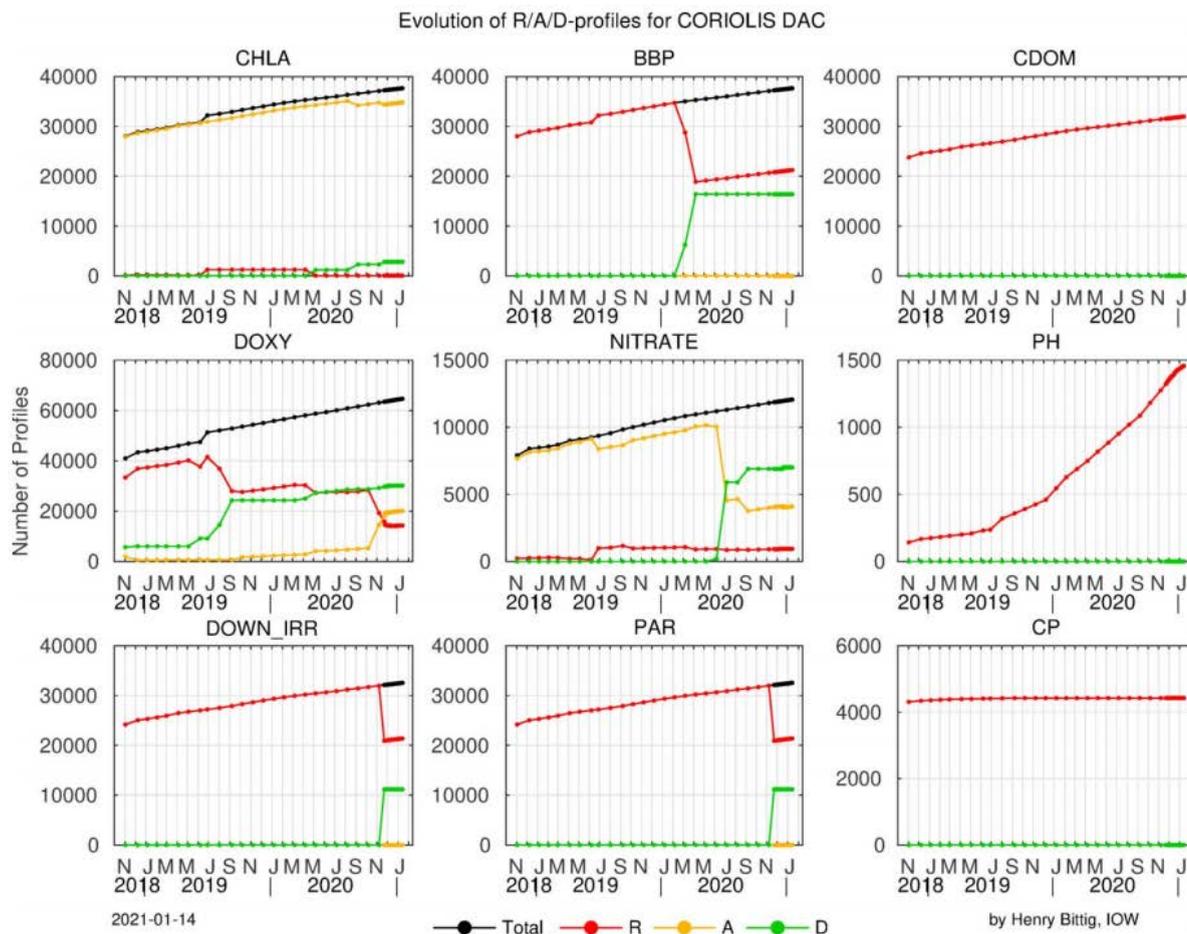
## 4.2. Nouvelle méthode DMQC basée sur l'Intelligence Artificielle

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) sera 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. Le paramètre DOXY a été passé en Delayed Mode pour une centaine de flotteurs pendant l'été 2019. L'Oxygène est un paramètre clé pour utiliser les réseaux de neurones (Bittig et al., 2018, Sauzède et al., 2017, Fourrier et al., submitted) dans les procédures de Delayed Mode pour le NITRATE et le pH. Ces paramètres passeront donc en Delayed Mode au cours de l'année 2020. Durant le workshop BGC qui a eu lieu durant l'ADMT 2020, il a été mentionné que les PI des flotteurs BGC devaient, autant que possible, reporter les données publiées du programme BGC dans le jeu de données Argo. Ainsi, dans le projet Euro-Argo-RISE (amélioration des procédures QC BGC : RT et DM), Quentin Jutard a développé un outil mis à disposition sur github qui permet de passer des profils de BBP en DM (après contrôle visuel, ajustement). Cet outil va permettre de passer efficacement en DM, le BBP pour une centaine de flotteurs.

Comme illustré sur la figure ci-dessous, en 2020, un gros effort a été entrepris afin de qualifier et ajuster des profils en Delayed Mode de plusieurs paramètres (i.e. CHLA, BBP, DOXY, NITRATE, DOWN\_IRR et PAR) dont certains étaient jusqu'alors accessibles seulement en Real Time.



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 pour la diffusion de plus de 10000 profils de radiométrie (PAR, Ed380, Ed412, Ed490) en delayed mode, une publication est en cours de rédaction.

Un meeting virtuel a été organisé spécifiquement pour présenter le DMQC du DOXY le 20 novembre 2020. Ce meeting était ouvert à toute personne intéressée par la qualification et l'ajustement des données DOXY en Delayed-Mode, et notamment tous les Pls de flotteurs équipés de capteur oxygène. Cette réunion a été l'occasion de présenter en détail tous les outils disponibles pour le traitement des données DOXY en Delayed Mode. Cette réunion a été un succès avec plus de 35 participants au niveau européen. Les présentations de ce meeting ont été mises en ligne ([https://github.com/euroargodev/DOXY-TOOLS\\_presentations](https://github.com/euroargodev/DOXY-TOOLS_presentations))

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 hebdomadaire. Cette climatologie 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 les profils très bruités dans une série

temporelle, un décalage brutal dans les données (shift), une dérive des données due au capteur (drift)... La méthodologie mise en place pour cet audit ainsi que les résultats par DAC ont été présentés le 1er Décembre 2020 lors du 9ème BGC-Argo Data Management Team meeting. L'audit du BBP sera bientôt accessible avec l'audit du DOXY en ligne et le rapport des anomalies sera envoyé à la mailing liste Argo tous les 4 à 6 mois. 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.

Un effort a été initié en 2020 afin de rassembler toutes les bases de données de référence pouvant être utilisées pour qualifier et ajuster les variables biogéochimiques en Delayed Mode. Un groupe de travail s'est mis en place au niveau international afin de travailler sur ce sujet. Pour les bases de données de référence françaises, il est envisagé de les déposer sur le serveur ERDDAP de l'Ifremer [http://www.ifremer.fr/erddap/info/argo\\_reference/index.html](http://www.ifremer.fr/erddap/info/argo_reference/index.html).

#### 4.4. 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 2010-2019 incluant les flotteurs des DACs Coriolis a été publiée en 2020. L'atlas Andro ainsi que la climatologie binner 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 (2020). **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 sera 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.

#### 4.5. Outils collaboratifs

Le projet Euro-Argo-RISE a permis la mise en œuvre d'un cadre collaboratif de travail pour toute la communauté Argo. Les outils collaboratifs sont disponibles sur [github.com/euroargodev](https://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](https://github.com/euroargodev/publicQCforum)
- Hébergement de codes numériques pour distribution et développement (repositories),
- Outils d'organisation et de discussion par équipes

- Outils de gestion de projets.

Un compte-rendu exhaustif de cet outils collaboratif et ses usages 2019 est disponible ici:

<https://docs.google.com/document/d/1vNJW3Z4SMp4vEtXzblKKVt4aic11I2GouDyHPxS0g1w>

En voici le résumé:

*“Within WP2, our goal is to improve the quality of the Argo dataset. Beyond improving quality control methods, Task 2.4 assumes that an improved collaboration between Argo partners is the best way toward a long term and robust development of Argo (DM)QC activities, which ultimately lead to an improved Argo dataset.*

*Using a thorough assessment of the Argo community historical practices with regard to QC activities, during a WP2 meeting held in Dec. 2019, we developed the Euro-Argo collaborative framework strategy to achieve the objective of improving Argo (DM)QC activities.*

*This strategy encompasses 3 domains:*

- *Software (eg: development, performance, usage, access)*
- *Reference dataset (eg: content, access, availability)*
- *Data & expertise (eg: training, sharing, educating users)*

*To implement this strategy, we have set-up in Dec. 2019, and developed throughout 2020, an online collaborative toolkit at [github.com/euroargodev](https://github.com/euroargodev). This deliverable provides a complete report on the collaborative framework strategy and its implementation.*

*The toolkit is organised around “repositories”: a collection of files (possibly) with online collaborative services like discussion threads (“Issues”), wiki pages, project management boards and a complete set of community development tools (based on “git”). The content of each repository can be shared through web sites or published with packages (eg “npm”, “docker”, etc ...) or a simple zip file release. The Euro-Argo partners have agreed to use this toolkit as the primary tool to share, distribute and work together on Argo community tools. This has been started during this first year. More than 45 people have registered and more than 20 repositories are being filled with Argo useful information and tools.”*

## 4.6. Autres logiciels et produits

### 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 doit fournir 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 d’une publication du SNO:

Maze Guillaume, [Balem Kevin](#) (2020). **argopy: A Python library for Argo ocean data analysis**. *Journal of Open Source Software*, 5(33), 2425 (4p.) .

Publisher's official version : <https://doi.org/10.21105/joss.02425> , Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00645/75674/>

### 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](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.

### 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.

Le cookbook DMQC complet est disponible ici : [bit.ly/DMQCcookbook](http://bit.ly/DMQCcookbook)

En 2020, dans le cadre d'Euro-Argo-RISE, la première version du cookbook a été achevée et circule désormais auprès d'un public plus large au niveau international. Il a été présenté lors de la réunion de l'ADMT21 en 2020. Le LOPS a activement participé à la rédaction de ce cookbook.

## 4.7. Ocean state report

### *ICES North Atlantic Ocean State Report (IROC)*

Comme chaque année, en 2020, le SNO Argo-France contribue et assemble la contribution française au rapport ICES sur l'état de l'océan Atlantique Nord en 2019. Les champs de température et salinité ISAS sont utilisées dans le cadre de son "Ocean State Report" ([www.ices.dk](http://www.ices.dk)):

Desbruyeres Damien, Kolodziejczyk Nicolas (2020). **Contribution to the ICES Report on Ocean Climate : North Atlantic Ocean in 2019**. National report: France, May 2020. LOPS-WGOH-2020-05. <https://doi.org/10.13155/77447>

## 5. Recherche

### 5.1. Publications marquantes

- Le bilan des résultats scientifiques et techniques du projet NAOS ont fait l'objet de deux publications parues dans *Frontiers in Marine Sciences* (Le Traon et al., FMS, 2020 et André et al., FMS, 2020). Un papier de synthèse sur les résultats de la composante biogéochimique de NAOS a été aussi publié sur *Frontiers in Marine Sciences* (D'Ortenzio et al. 2020). Le projet NAOS a permis de renforcer significativement la contribution française au programme Argo international, ainsi que l'émergence des nouvelles missions BGC-Argo et Deep-Argo.
- L'utilisation scientifique des produits ISAS15 pour quantifier les mécanismes physiques de la subduction d'oxygène dans l'océan global (Portela et al., GRL, 2020)
- Participation active des membres du SNO à la publication qui marque les résultats en termes de qualité et de traitement des données de 2 millions de profils T/S. Cette publication devrait servir de référence pour attester de la précision effective des mesures de T et S: Wong et al (2020). *Argo Data 1999–2019: Two Million Temperature-Salinity Profiles and Subsurface Velocity Observations From a Global Array of Profiling Floats*. *Frontiers In Marine Science*, 7(700), 23p. Publisher's official version : <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00700>, Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00652/76377/>

### 5.2. Faits marquants

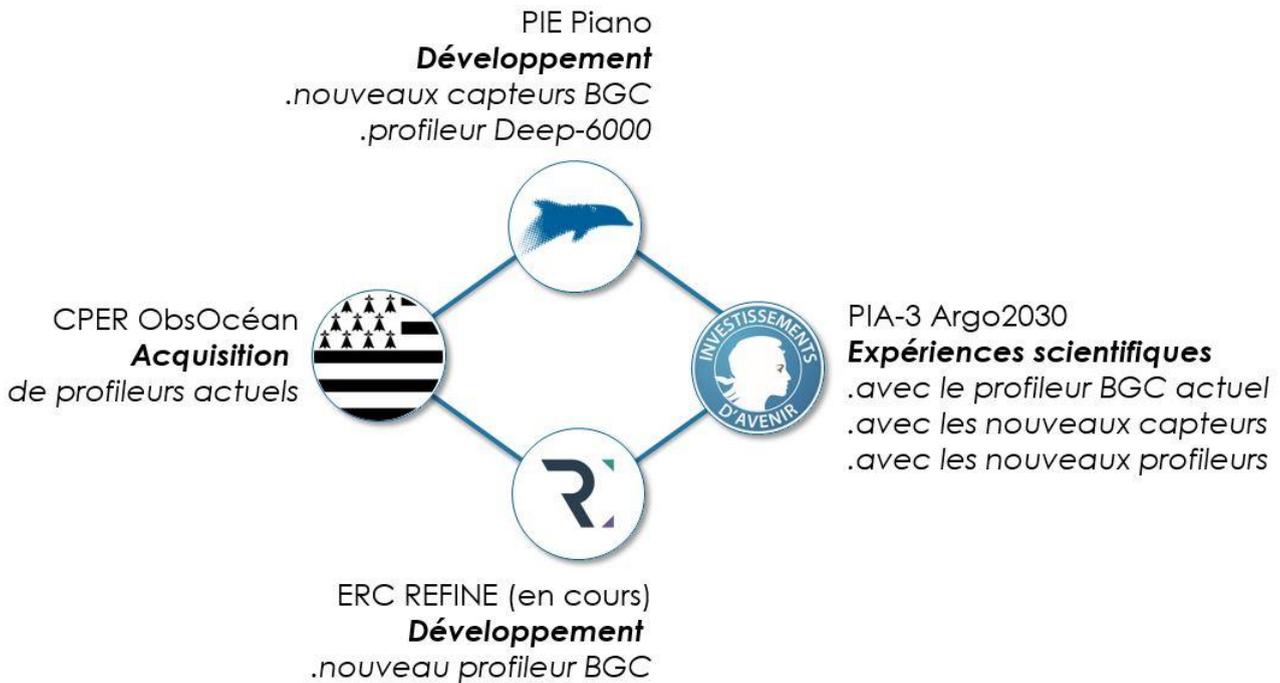
#### 5.2.1. Projet H2020 Euro-Argo-RISE

Le projet H2020 Euro-Argo-RISE a vu sa première année d'activités montrer de premiers résultats:

- 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](https://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](https://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 PIANO-CPER-PIA3

La communauté du SNO a été leader dans l'élaboration de 3 projets d'envergure pour Argo en 2020. En voici les résumés et articulations



Le volet Argo du CPER ObsOcean 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 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 est dédié à l'acquisition des flotteurs de deuxième génération (BGC et Deep) développés dans le PIE PIANO et l'ERC Refine (PI H. Claustre).

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 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.

Le CPER ObsOcean ayant été soumis avant que le PIE Ifremer soit lancé, des développements technologiques étaient prévus dans ce projet et sont maintenant redondants avec ce qui est proposé dans le PIE PIANO. Ces développements concernaient le Deep-Arvor 6000, l'amélioration de l'hydraulique des flotteurs Arvor et l'amélioration du capteur NOSS. On souhaite réaliser toutes les améliorations et développements liés au Deep-Arvor (4000 et 6000) dans PIANO. Ces changements seront actés dans la phase de négociation du CPER.

Les travaux d'amélioration du capteur NOSS et d'amélioration de l'hydraulique des flotteurs ont été proposés dans le Plan de Relance car ils peuvent démarrer en 2020.

#### **PIE Ifremer PIANO (PI G. Maze, 2021-2025)**

L'objectif du projet PIE PIANO (Plan d'Investissement Argo Nouvelles Observations) est de mener des développements technologiques innovants sur les flotteurs Argo, sur les capteurs (pour T/S et BGC-Argo) et de s'assurer de la mise en place de la contribution française à la nouvelle phase Argo sur 2021-2027. Il s'agira d'acheter des flotteurs BGC-Argo (3 flotteurs/an sur 5 ans) ; de tester une nouvelle version du capteur NOSS ; de développer une offre française de capteurs BGC (optique active, optique passive, 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 (20 flotteurs, 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, PIE Ifremer PIANO pour les capteurs « Made in France »). 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 CO<sub>2</sub> et qu'elle est donc déterminante dans sa séquestration.

La nouvelle génération des flotteurs Deep-Argo français (le Deep-Arvor "6000") 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 Deep-Arvor "6000" 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-Argo 4000 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.

### *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](http://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 CO<sub>2</sub>. 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*

Le comité de pilotage d'Argo-France s'est réuni à 4 reprises en 2020 pour préparer les meetings internationaux, analyser les plans de déploiements et suivre les dossiers en cours (GMMC, CPER EURO-ARGO).

Un total de 65 articles de recherche ont été co-écrits par des auteurs affiliés à un laboratoire français, 2 thèses utilisant des données Argo ont été soutenues dans une université française. La liste de publications est fournie en annexe de ce document.

En 2020, 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. L'édition a été reporté en 2021 pour cause d'épidémie de COVID-19. Argo sera 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](http://www-iuem.univ-brest.fr/mer-education)).

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

- Programme Argo France

Le programme Argo France a été impacté par la pandémie de Covid-19. Les réunions et animations ont pu être effectuées en distanciel. Il s'agit surtout de l'activité déploiement, tributaire de l'activité de la Flotte Océanographique Française, qui a été réduite d'environ 43%. Les campagnes prévoyant des déploiements de flotteurs Argo sont pour la plupart reportées à 2021.

- Achats et tests

L'activité 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.

3 semaines au caisson en mai (29 deep testés : hydraulique, prise d'eau, soft)

3 semaines au bassin (arvor, deep, DO)

Pour les achats, (retour du 16/12/2020 des services marchés) le Groupement d'achat est validé pour les lots 1 (arvor T/S) et lot 3 (deep), avec cependant une augmentation des prix 15% (impact donc, sur la quantité des flotteurs achetés en 2021 sur budget constant)

Pour les achats de CTS3 DO et flotteurs BGC, le lot est ajourné, et sera republié après réflexion sur la forme. NKE a proposé une fourniture qui n'est pas ce dont ont besoin les projets porteurs de DO ou BGC.

- Déploiements en Mer

58 flotteurs ont été déployés en 2020 contre environ 75 initialement prévus. Ceci est principalement lié au report en lien avec la pandémie de COVID des campagnes GMMC SEPICAF (Pérou + Chili) et GMMC BACI (couplée à l'opportunité SAGA) qui représentent en tout une trentaine de flotteurs.

Ces deux projets sont confirmés pour début 2021.

La campagne GMMC SOCHIC / SOFRESH (antarctique) a également été reportée sans assurance de faisabilité en 2021 ou 2022.

NOSS : campagne de test TECHNOSS prévus en novembre 2020 (3j), reportée à octobre 2021.

- 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. La France s'associe actuellement à l'étude de l'affrètement d'un navire ( USA, CANADA, EURO-ARGO ERIC) pour déployer en 2021 une centaine de flotteurs en Atlantique ciblant les zones plus faiblement échantillonné.

- Animation/outreach

AST 21 en visio conférence mars 2020

ADMT 21 en visio conférence décembre 2020

Mer Education 2020 (24-27 août 2020) reporté en 2021

Une exposition temporaire aux Capucins de Brest (mai-octobre 2020) dans le cadre des 300 ans du SHOM avec un espace pour un flotteur ARVOR démo transparent et un poster descriptif. (reporté 29 avril-2 novembre 2021).

## Annexe : Bibliographie Argo-France

### Peer reviewed (62):

1. Aguiar, E., B. Moure, M. Juza, E. Reyes, J. Hernández-Lasheras, E. Cutolo, E. Mason, and J. Tintoré, 2020: Multi-platform model assessment in the Western Mediterranean Sea: impact of downscaling on the surface circulation and mesoscale activity. *Ocean Dynamics*, 70, 273-288, <https://doi.org/10.1007/s10236-019-01317-8>
2. Akhil, V. P., J. Vialard, M. Lengaigne, M. G. Keerthi, J. Boutin, J. L. Vergely, and F. Papa, 2020: Bay of Bengal Sea surface salinity variability using a decade of improved SMOS re-processing. *Remote Sensing of Environment*, 248, 111964, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111964>
3. Albert, J. and P. K. Bhaskaran, 2020: Ocean heat content and its role in tropical cyclogenesis for the Bay of Bengal basin. *Climate Dynamics*, <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05450-9>
4. André, X., Le Traon, P.-Y., Le Reste, S., Dutreuil, V., Leymarie, E., Malardé, D., et al. (2020). Preparing the New Phase of Argo: Technological Developments on Profiling Floats in the NAOS Project. *Front. Mar. Sci.* 7, 577446. doi:10.3389/fmars.2020.577446.
5. Balaguru, K., G. R. Foltz, L. R. Leung, J. Kaplan, W. Xu, N. Reul, and B. Chapron, 2020: Pronounced Impact of Salinity on Rapidly Intensifying Tropical Cyclones. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 101, E1497-E1511, <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-19-0303.1>
6. Barton, B. I., C. Lique, and Y.-D. Lenn, 2020: Water Mass Properties Derived From Satellite Observations in the Barents Sea. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 125, e2019JC015449, <https://doi.org/10.1029/2019JC015449>
7. Beadling, R. L., J. L. Russell, R. J. Stouffer, M. Mazloff, L. D. Talley, P. J. Goodman, J. B. Sallée, H. T. Hewitt, P. Hyder, and A. Pandde, 2020: Representation of Southern Ocean Properties across Coupled Model Intercomparison Project Generations: CMIP3 to CMIP6. *Journal of Climate*, 33, 6555-6581, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0970.1>
8. Biló, T. C. and W. E. Johns, 2020: The Deep Western Boundary Current and Adjacent Interior Circulation at 24°–30°N: Mean Structure and Mesoscale Variability. *Journal of Physical Oceanography*, 50, 2735-2758, <https://doi.org/10.1175/JPO-D-20-0094.1>
9. Boutin, J., J.L. Vergely, E. Dinnat, P. Waldteufel, F. D'Amico, N. Reul, A. Supply, C. Thouvenin-Masson (2020), Correcting Sea Surface Temperature Spurious Effects in Salinity Retrieved From Spaceborne L-Band Radiometer Measurements, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1-14, doi:10.1109/tgrs.2020.3030488.
10. Briggs, N., G. Dall'Olmo, and H. Claustre, 2020: Major role of particle fragmentation in regulating biological sequestration of CO<sub>2</sub> by the oceans. *Science*, 367, 791, <http://dx.doi.org/10.1126/science.aay1790>
11. Brokaw, R. J., B. Subrahmanyam, C. B. Trott, and A. Chaigneau, 2020: Eddy Surface Characteristics and Vertical Structure in the Gulf of Mexico from Satellite Observations and Model Simulations. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 125, e2019JC015538, <https://doi.org/10.1029/2019JC015538>
12. Chai, F., K. S. Johnson, H. Claustre, X. Xing, Y. Wang, E. Boss, S. Riser, K. Fennel, O. Schofield, and A. Sutton, 2020: Monitoring ocean biogeochemistry with autonomous platforms. *Nature Reviews*

- Earth & Environment, 1, 315-326, <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0053-y>
13. Claustre, H., K. S. Johnson, and Y. Takeshita, 2020: Observing the Global Ocean with Biogeochemical-Argo. Annual Review of Marine Science, 12, 23-48, <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010419-010956>
  14. D'Ortenzio, F., V. Taillandier, H. Claustre, L. M. Prieur, E. Leymarie, A. Mignot, A. Poteau, C. Penkerch, and C. M. Schmechtig, 2020: Biogeochemical Argo: The Test Case of the NAOS Mediterranean Array. Frontiers in Marine Science, 7, <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00120>
  15. de Lavergne, C., C. Vic, G. Madec, F. Roquet, A. F. Waterhouse, C. B. Whalen, Y. Cuyppers, P. Bouruet-Aubertot, B. Ferron, and T. Hibiya, 2020: A Parameterization of Local and Remote Tidal Mixing. Journal of Advances in Modeling Earth Systems, 12, e2020MS002065, <https://doi.org/10.1029/2020MS002065>
  16. de Marez, C., X. Carton, P. L'Hégaret, T. Meunier, A. Stegner, B. Le Vu, and M. Morvan, 2020: Oceanic vortex mergers are not isolated but influenced by the  $\beta$ -effect and surrounding eddies. Scientific Reports, 10, 2897, <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59800-y>
  17. de Marez, C., T. Meunier, M. Morvan, P. L'Hégaret, and X. Carton, 2020: Study of the stability of a large realistic cyclonic eddy. Ocean Modelling, 146, 101540, <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2019.101540>
  18. de Marez, C., T. Meunier, P. Tedesco, P. L'Hégaret, and X. Carton, 2020: Vortex-wall interaction on the  $\beta$ -plane and the generation of deep submesoscale cyclones by internal Kelvin Waves-current interactions. Geophysical & Astrophysical Fluid Dynamics, 114, 588-606, <https://doi.org/10.1080/03091929.2020.1772779>
  19. Delpech, A., S. Cravatte, F. Marin, C. Ménesguen, and Y. Morel, 2020: Deep Eddy Kinetic Energy in the Tropical Pacific From Lagrangian Floats. Journal of Geophysical Research: Oceans, 125, e2020JC016313, <https://doi.org/10.1029/2020JC016313>
  20. Delpech, A., S. Cravatte, F. Marin, Y. Morel, E. Gronchi, and E. Kestenare, 2020: Observed Tracer Fields Structuration by Middepth Zonal Jets in the Tropical Pacific. Journal of Physical Oceanography, 50, 281-304, <https://doi.org/10.1175/JPO-D-19-0132.1>
  21. Desbruyères, D. G., B. Sinha, E. L. McDonagh, S. A. Josey, N. P. Holliday, D. A. Smeed, A. L. New, A. Megann, and B. I. Moat, 2020: Importance of Boundary Processes for Heat Uptake in the Subpolar North Atlantic. Journal of Geophysical Research: Oceans, 125, e2020JC016366, <https://doi.org/10.1029/2020JC016366>
  22. Estella-Perez, V., J. Mignot, E. Guilyardi, D. Swingedouw, and G. Reverdin, 2020: Advances in reconstructing the AMOC using sea surface observations of salinity. Climate Dynamics, 55, 975-992, <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05304-4>
  23. Gasparin, F., M. Hamon, E. Rémy, and P.-Y. L. Traon, 2020: How Deep Argo Will Improve the Deep Ocean in an Ocean Reanalysis. Journal of Climate, 33, 77-94, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0208.1>
  24. Gopika, S., T. Izumo, J. Vialard, M. Lengaigne, I. Suresh, and M. R. R. Kumar, 2020: Aliasing of the Indian Ocean externally-forced warming spatial pattern by internal climate variability. Climate Dynamics, 54, 1093-1111, <https://doi.org/10.1007/s00382-019-05049-9>
  25. Gouillon, J., T. Szekely, R. Killick, B. Owens, G. Reverdin, and B. Chapron, 2020: Improved Statistical Method for Quality Control of Hydrographic Observations. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 37, 789-806, <https://doi.org/10.1175/JTECH-D-18-0244.1>
  26. Haëntjens, N., A. Della Penna, N. Briggs, L. Karp-Boss, P. Gaube, H. Claustre, and E. Boss, 2020: Detecting Mesopelagic Organisms Using Biogeochemical-Argo Floats. Geophysical Research Letters, 47, e2019GL086088, <https://doi.org/10.1029/2019GL086088>

27. Hausmann, U., J. B. Sallée, N. C. Jourdain, P. Mathiot, C. Rousset, G. Madec, J. Deshayes, and T. Hattermann, 2020: The Role of Tides in Ocean-Ice Shelf Interactions in the Southwestern Weddell Sea. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 125, e2019JC015847, <https://doi.org/10.1029/2019JC015847>
28. Holliday, N. P., M. Bersch, B. Berx, L. Chafik, S. Cunningham, C. Florindo-López, H. Hátún, W. Johns, S. A. Josey, K. M. H. Larsen, S. Mulet, M. Oltmanns, G. Reverdin, T. Rossby, V. Thierry, H. Valdimarsson, and I. Yashayaev, 2020: Ocean circulation causes the largest freshening event for 120 years in eastern subpolar North Atlantic. *Nature Communications*, 11, 585, <https://doi.org/10.1038/s41467-020-14474-y>
29. Huang, B., M. L'Heureux, Z.-Z. Hu, X. Yin, and H.-M. Zhang, 2020: How Significant Was the 1877/78 El Niño? *Journal of Climate*, 33, 4853-4869, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0650.1>
30. Ioannou, A., A. Stegner, T. Dubos, B. Le Vu, and S. Speich, 2020: Generation and Intensification of Mesoscale Anticyclones by Orographic Wind Jets: The Case of Ierapetra Eddies Forced by the Etesians. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 125, e2019JC015810, <https://doi.org/10.1029/2019JC015810>
31. Jackson, R. L., A. J. Gabric, M. T. Woodhouse, H. B. Swan, G. B. Jones, R. Cropp, and E. S. M. Deschaseaux, 2020: Coral Reef Emissions of Atmospheric Dimethylsulfide and the Influence on Marine Aerosols in the Southern Great Barrier Reef, Australia. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 125, e2019JD031837, <https://doi.org/10.1029/2019JD031837>
32. Jones, D. C., E. Boland, A. J. S. Meijers, G. Forget, S. Josey, J.-B. Sallée, and E. Shuckburgh, 2020: The Sensitivity of Southeast Pacific Heat Distribution to Local and Remote Changes in Ocean Properties. *Journal of Physical Oceanography*, 50, 773-790, <https://doi.org/10.1175/JPO-D-19-0155.1>
33. Laxenaire, R., S. Speich, and A. Stegner, 2020: Agulhas Ring Heat Content and Transport in the South Atlantic Estimated by Combining Satellite Altimetry and Argo Profiling Floats Data. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 125, e2019JC015511, <https://doi.org/10.1029/2019JC015511>
34. Le Corre, M., J. Gula, and A. M. Tréguier, 2020: Barotropic vorticity balance of the North Atlantic subpolar gyre in an eddy-resolving model. *Ocean Sci.*, 16, 451-468, <https://doi.org/10.5194/os-16-451-2020>
35. Le Traon, P.-Y., D'Ortenzio, F., Babin, M., Leymarie, E., Marec, C., Pouliquen, S., et al. (2020). Preparing the New Phase of Argo: Scientific Achievements of the NAOS Project. *Frontiers in Marine Science* 7, 838. doi:10.3389/fmars.2020.577408.
36. Martinez, E., M. Rodier, M. Pagano, and R. Sauzède, 2020: Plankton spatial variability within the Marquesas archipelago, South Pacific. *Journal of Marine Systems*, 212, 103432, <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2020.103432>
37. Mayot, N., P. A. Matrai, A. Arjona, S. Bélanger, C. Marchese, T. Jaegler, M. Ardyna, and M. Steele, 2020: Springtime Export of Arctic Sea Ice Influences Phytoplankton Production in the Greenland Sea. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 125, e2019JC015799, <https://doi.org/10.1029/2019JC015799>
38. Maze Guillaume, Balem Kevin (2020). argopy: A Python library for Argo ocean data analysis . *Journal of Open Source Software* , 5(33), 2425 (4p.) . Publisher's official version : <https://doi.org/10.21105/joss.02425> , Open Access version : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00645/75674/>
39. Meunier, T., J. Sheinbaum, E. Pallàs-Sanz, M. Tenreiro, J. Ochoa, A. Ruiz-Angulo, X. Carton, and C. de Marez, 2020: Heat Content Anomaly and Decay of Warm-Core Rings: the Case of the Gulf of Mexico. *Geophysical Research Letters*, 47, e2019GL085600, <https://doi.org/10.1029/2019GL085600>
40. Morvan, M., X. Carton, P. L'Hégaret, C. de Marez, S. Corréard, and S. Louazel, 2020: On the dynamics

- of an idealised bottom density current overflowing in a semi-enclosed basin: mesoscale and submesoscale eddies generation. *Geophysical & Astrophysical Fluid Dynamics*, 114, 607-630, <https://doi.org/10.1080/03091929.2020.1747058>
41. Nezlin Nikolay P., Dever Mathieu, Halverson Mark, Leconte Jean-Michel, Maze Guillaume, Richards Clark, Shkvorets Igor, Zhang Rui, Johnson Greg Accuracy and long-term stability assessment of inductive conductivity cell measurements on Argo floats . *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 37(12), 2209-223 . <https://doi.org/10.1175/JTECH-D-20-0058.1>
  42. Olivier, L., Reverdin, G., Hasson, A. & Boutin, J. (2020). Tropical instability waves in the atlantic ocean: Investigating the relative role of sea surface salinity and temperature from 2010 to 2018. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 125, e2020JC016641. <https://doi.org/10.1029/2020JC016641>.
  43. Pellichero, V., J. Boutin, H. Claustre, L. Merlivat, J.-B. Sallée, and S. Blain, 2020: Relaxation of Wind Stress Drives the Abrupt Onset of Biological Carbon Uptake in the Kerguelen Bloom: A Multisensor Approach. *Geophysical Research Letters*, 47, e2019GL085992, <https://doi.org/10.1029/2019GL085992>
  44. Pinker, R. T., A. Bentamy, S. A. Grodsky, and W. Chen, 2020: Annual and seasonal variability of net heat flux in the Northern Indian Ocean. *International Journal of Remote Sensing*, 41, 6461-6483, <https://doi.org/10.1080/01431161.2020.1746858>
  45. Portela, E., N. Kolodziejczyk, C. Maes, and V. Thierry, 2020: Interior Water-Mass Variability in the Southern Hemisphere Oceans during the Last Decade. *Journal of Physical Oceanography*, 50, 361-381, <https://doi.org/10.1175/JPO-D-19-0128.1>
  46. Portela, E., N. Kolodziejczyk, C. Vic, and V. Thierry, 2020: Physical Mechanisms Driving Oxygen Subduction in the Global Ocean. *Geophysical Research Letters*, 47, e2020GL089040, <https://doi.org/10.1029/2020GL089040>
  47. Randelhoff, A., Holding, J., Janout, M., Sejr, M. K., Babin, M., Tremblay, J.-É., et al. (2020a). Pan-Arctic Ocean Primary Production Constrained by Turbulent Nitrate Fluxes. *Front. Mar. Sci.* 7, 150. doi:10.3389/fmars.2020.00150.
  48. Randelhoff, A., Lacour, L., Marec, C., Leymarie, E., Lagunas, J., Xing, X., et al. (2020b). Arctic mid-winter phytoplankton growth revealed by autonomous profilers. *Sci Adv* 6, eabc2678. doi:10.1126/sciadv.abc2678.
  49. Reul, N., S. A. Grodsky, M. Arias, J. Boutin, R. Catany, B. Chapron, F. D'Amico, E. Dinnat, C. Donlon, A. Fore, S. Fournier, S. Guimbard, A. Hasson, N. Kolodziejczyk, G. Lagerloef, T. Lee, D. M. Le Vine, E. Lindstrom, C. Maes, S. Mecklenburg, T. Meissner, E. Olmedo, R. Sabia, J. Tenerelli, C. Thouvenin-Masson, A. Turiel, J. L. Vergely, N. Vinogradova, F. Wentz, and S. Yueh, 2020: Sea surface salinity estimates from spaceborne L-band radiometers: An overview of the first decade of observation (2010–2019). *Remote Sensing of Environment*, 242, 111769, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111769>
  50. Roberts, M. J., L. C. Jackson, C. D. Roberts, V. Meccia, D. Docquier, T. Koenigk, P. Ortega, E. Moreno-Chamarro, A. Bellucci, A. Coward, S. Drijfhout, E. Exarchou, O. Gutjahr, H. Hewitt, D. Iovino, K. Lohmann, D. Putrasahan, R. Schiemann, J. Seddon, L. Terray, X. Xu, Q. Zhang, P. Chang, S. G. Yeager, F. S. Castruccio, S. Zhang, and L. Wu, 2020: Sensitivity of the Atlantic Meridional Overturning Circulation to Model Resolution in CMIP6 HighResMIP Simulations and Implications for Future Changes. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 12, e2019MS002014, <https://doi.org/10.1029/2019MS002014>
  51. Rosso, I., M. R. Mazloff, L. D. Talley, S. G. Purkey, N. M. Freeman, and G. Maze, 2020: Water Mass and Biogeochemical Variability in the Kerguelen Sector of the Southern Ocean: A Machine Learning

- Approach for a Mixing Hot Spot. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 125, e2019JC015877, <https://doi.org/10.1029/2019JC015877>
52. Saux Picart, S., A. Marsouin, G. Legendre, H. Roquet, S. Péré, N. Nano-Ascione, and T. Gianelli, 2020: A Sea Surface Temperature data record (2004–2012) from Meteosat Second Generation satellites. *Remote Sensing of Environment*, 240, 111687, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111687>.
  53. Sauzède, R., E. Martinez, C. Maes, O. Pasqueron de Fommervault, A. Poteau, A. Mignot, H. Claustre, J. Uitz, L. Oziel, K. Maamaatuaiahutapu, M. Rodier, C. Schmechtig, and V. Laurent, 2020: Enhancement of phytoplankton biomass leeward of Tahiti as observed by Biogeochemical-Argo floats. *Journal of Marine Systems*, 204, 103284, <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2019.103284>
  54. Séférian, R., S. Berthet, A. Yool, J. Palmiéri, L. Bopp, A. Tagliabue, L. Kwiatkowski, O. Aumont, J. Christian, J. Dunne, M. Gehlen, T. Ilyina, J. G. John, H. Li, M. C. Long, J. Y. Luo, H. Nakano, A. Romanou, J. Schwinger, C. Stock, Y. Santana-Falcón, Y. Takano, J. Tjiputra, H. Tsujino, M. Watanabe, T. Wu, F. Wu, and A. Yamamoto, 2020: Tracking Improvement in Simulated Marine Biogeochemistry Between CMIP5 and CMIP6. *Current Climate Change Reports*, 6, 95-119, <https://doi.org/10.1007/s40641-020-00160-0>
  55. Sérazin, G., F. Marin, L. Gourdeau, S. Cravatte, R. Morrow, and M. L. Dabat, 2020: Scale-dependent analysis of in situ observations in the mesoscale to submesoscale range around New Caledonia. *Ocean Sci.*, 16, 907-925, <https://doi.org/10.5194/os-16-907-2020>
  56. Smith, G. C., Allard, R., Babin, M., Bertino, L., Chevallier, M., Corlett, G., et al. (2019). Polar Ocean Observations: A Critical Gap in the Observing System and Its Effect on Environmental Predictions From Hours to a Season. *Frontiers in Marine Science* 6, 429. doi:10.3389/fmars.2019.00429.
  57. Solodoch, A., J. C. McWilliams, A. L. Stewart, J. Gula, and L. Renault, 2020: Why Does the Deep Western Boundary Current “Leak” around Flemish Cap? *Journal of Physical Oceanography*, 50, 1989-2016, <https://doi.org/10.1175/JPO-D-19-0247.1>
  58. Stevens, S. W., R. J. Johnson, G. Maze, and N. R. Bates, 2020: A recent decline in North Atlantic subtropical mode water formation. *Nature Climate Change*, <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0722-3>
  59. Supply, A., J. Boutin, J.-L. Vergely, N. Kolodziejczyk, G. Reverdin, N. Reul, and A. Tarasenko, 2020: New insights into SMOS sea surface salinity retrievals in the Arctic Ocean. *Remote Sensing of Environment*, 249, 112027, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112027>
  60. Taillandier, V., L. Prieur, F. D’Ortenzio, M. Ribera d’Alcalà, and E. Pulido-Villena, 2020: Profiling float observation of thermohaline staircases in the western Mediterranean Sea and impact on nutrient fluxes. *Biogeosciences*, 17, 3343-3366, <https://doi.org/10.5194/bg-17-3343-2020>
  61. Tchilibou, M., L. Gourdeau, F. Lyard, R. Morrow, A. Koch Larrouy, D. Allain, and B. Djath, 2020: Internal tides in the Solomon Sea in contrasted ENSO conditions. *Ocean Sci.*, 16, 615-635, <https://doi.org/10.5194/os-16-615-2020>
  62. von Schuckmann, K., Cheng, L., Palmer, M. D., Hansen, J., Tassone, C., Aich, V., Adusumilli, S., Beltrami, H., Boyer, T., Cuesta-Valero, F. J., Desbruyères, D., Domingues, C., García-García, A., Gentile, P., Gilson, J., Gorfer, M., Haimberger, L., Ishii, M., Johnson, G. C., Killick, R., King, B. A., Kirchengast, G., Kolodziejczyk, N., Lyman, J., Marzeion, B., Mayer, M., Monier, M., Monselesan, D. P., Purkey, S., Roemmich, D., Schweiger, A., Seneviratne, S. I., Shepherd, A., Slater, D. A., Steiner, A. K., Straneo, F., Timmermans, M.-L., and Wijffels, S. E., 2020: Heat stored in the Earth system: where does the energy go?, *Earth Syst. Sci. Data*, 12, 2013–2041, <https://doi.org/10.5194/essd-12-2013-2020>, 2020.
  63. Wong, A. P. S., S. E. Wijffels, S. C. Riser, S. Pouliquen, S. Hosoda, D. Roemmich, J. Gilson, G. C. Johnson, K. Martini, D. J. Murphy, M. Scanderbeg, T. V. S. U. Bhaskar, J. J. H. Buck, F. Merceur, T.

- Carval, G. Maze, C. Cabanes, X. André, N. Poffa, I. Yashayaev, P. M. Barker, S. Guinehut, M. Belbéoch, M. Ignaszewski, M. O. N. Baringer, C. Schmid, J. M. Lyman, K. E. McTaggart, S. G. Purkey, N. Zilberman, M. B. Alkire, D. Swift, W. B. Owens, S. R. Jayne, C. Hersh, P. Robbins, D. West-Mack, F. Bahr, S. Yoshida, P. J. H. Sutton, R. Cancouët, C. Coatanoan, D. Dobbler, A. G. Juan, J. Gourrion, N. Kolodziejczyk, V. Bernard, B. Bourlès, H. Claustre, F. D'Ortenzio, S. Le Reste, P.-Y. Le Traon, J.-P. Rannou, C. Saout-Grit, S. Speich, V. Thierry, N. Verbrugge, I. M. Angel-Benavides, B. Klein, G. Notarstefano, P.-M. Poulain, P. Vélez-Belchí, T. Suga, K. Ando, N. Iwasaska, T. Kobayashi, S. Masuda, E. Oka, K. Sato, T. Nakamura, K. Sato, Y. Takatsuki, T. Yoshida, R. Cowley, J. L. Lovell, P. R. Oke, E. M. van Wijk, F. Carse, M. Donnelly, W. J. Gould, K. Gowers, B. A. King, S. G. Loch, M. Mowat, J. Turton, E. P. Rama Rao, M. Ravichandran, H. J. Freeland, I. Gaboury, D. Gilbert, B. J. W. Greenan, M. Ouellet, T. Ross, A. Tran, M. Dong, Z. Liu, J. Xu, K. Kang, H. Jo, S.-D. Kim, and H.-M. Park, 2020: Argo Data 1999–2019: Two Million Temperature-Salinity Profiles and Subsurface Velocity Observations From a Global Array of Profiling Floats. *Frontiers in Marine Science*, 7, <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00700>
64. Zika, J. D., J. B. Sallée, A. J. S. Meijers, A. C. Naveira-Garabato, A. J. Watson, M. J. Messias, and B. A. King, 2020: Tracking the spread of a passive tracer through Southern Ocean water masses. *Ocean Sci.*, 16, 323-336, <https://doi.org/10.5194/os-16-323-2020>
65. Zunino, P., H. Mercier, and V. Thierry, 2020: Why did deep convection persist over four consecutive winters (2015–2018) southeast of Cape Farewell? *Ocean Sci.*, 16, 99-113, <https://doi.org/10.5194/os-16-99-2020>

#### Thèses (2):

1. Lee, Ke (15/12/2020), Ekman transport: a trigger of interannual extreme formation rates of Eighteen Degree Water. Université de Bretagne Occidentale (co-direction : Herlé Mercier, Guillaume Maze)
2. Supply, Alexandre (17/12/2020), Étude des dessalures à la surface d'un océan stratifié à partir d'observations satellitaires et de mesures in-situ. Sorbonnes Université (direction : Jacqueline Boutin)