Pôle de Calcul et de Données pour la Mer
Rapport d'activités 2016-2017

Titre du rapport : Rapport d'activités 2016-2017 du Pôle de Calcul et de Données pour la Mer (PCDM)	
Diffusion : ☒ libre (internet) ☐ restreinte (intranet) – date de levée d'embargo : AAA/MM/JJ ☐ interdite (confidentielle) – date de levée de confidentialité : AAA/MM/JJ	**Date de publication :** Juillet 2018 **Version :** 1.0.0 **Référence de l'illustration de couverture** @Ifremer **Langue(s) : Français**

Projets dans lesquels ce rapport s'inscrit (programme européen, campagne, etc.) : CPER Datarmor	
Auteur(s) / adresse mail	**Affiliation / Direction / Service, laboratoire**
Pierre Cotty - Pierre.Cotty@ifremer.fr	PDG-IRSI
Anne Thomas-Doaré - Anne.Thomas.Doare@ifremer.fr	PDG-IRSI-RIC
Denis Croizé-Fillon - Denis.Croize.Fillon@ifremer.fr	PDG-IRSI-RIC
Tina Odaka - Tina.Odaka@ifremer.fr	PDG-IRSI-RIC
Avec la contribution des utilisateurs du PCDM	
Validé par : Pierre.Cotty@ifremer.fr	

Table des matières

1 Introduction 8
2 De CAPARMOR vers DATARMOR 8
2.1 Le centre de données et le pôle océan ODATIS 9
2.2 Le projet CPER Datarmor 9
2.3 Le déroulé du projet DATARMOR 10
2.3.1 Phase 1 : l'expression des besoins 10
2.3.2 Phase 2 : le processus d'achat 11
2.3.3 Phase 3 : la livraison et l'installation 11
2.3.4 La contractualisation du CPER 12
2.3.5 Mise en place de la gouvernance 13
2.4 Gouvernance et comité de pilotage 13
3 Inauguration de Datarmor 14
4 Statistiques d'usage 15
4.1 Evolutions Caparmor – Datarmor 15
4.1.1 Consommation de CPU 15
4.1.2 Taux d'occupation des ressources calcul 15
4.1.3 Nombre d'utilisateurs du calcul HPC 16
4.2 Statistiques Caparmor 16
4.2.1 Statistiques CPU 16
4.2.2 Statistiques temps global de réservation des ressources calcul 17
4.3 Statistiques Datarmor 18
4.3.1 Consommation processeur 18
4.3.2 Nombre de jobs 20
4.3.4 Statistiques par unité 21
4.3.5 Nombre d'utilisateurs 22
4.4 Statistiques logistiques 22
4.5 Disponibilité 22
5 Services et Ingénierie du PCDM 23
5.1 Données de référence 23
5.2 Espaces de stockage de travail 24
5.3 Bioinformatique 26
5.3.1 Les applications de bio-informatique 26
5.3.2 Les outils systèmes partageables 27

5.4 Virtualisation 27
5.5 SPARK/HADOOP/HDFS....27
5.6 Proposition Web services 28
5.6.1 Accès web 28
5.6.2 Accès WEB aux GPU 29
5.7 Communication/Formations/Informations....29
5.7.1 Formations....29
5.7.2 Journée des utilisateurs (2016) 29
5.7.3 Site Web PCDM 31
6 Les exemples d'utilisation du PCDM....32
6.1 Recherche académique 32
6.1.1 Le modèle OSMOSE (halieutique) 32
6.1.2 Le modèle APECOSM (halieutique) 33
6.1.3 Gestion de l'aménagement des milieux eutrophisés (halieutique)....35
6.1.4 Estimation des paramètres des modèles de trajectoires (halieutique)....35
6.1.5 Modélisation des interactions entre la turbulence mésoéchelle et sous-mésoéchelle et la marée interne pour l'altimétrie haute résolution (physique)...36
6.1.6 Expérience temps-réel de modélisation atmosphérique en Iroise 37
6.1.7 Projet ANR COMODO (physique)....39
6.1.8 Variations interannuelles spontanées de la circulation océanique forcée par le vent - Un cas d'école revisité à haute résolution avec un modèle shallow-water parallélisé basé sur HYCOM (physique)....40
6.1.9 Calcul de matrices de connectivité à partir de MARS3D et application à la simulation de l'implantation d'une espèce invasive (crépidule) en Manche-Atlantique. (physique-biologie)....43
6.1.10 Performances des voiles (mécanique des fluides)....45
6.2 Entreprises....46
6.2.1 Actimar 46
6.2.2 Prévisions météorologiques pour la société Winds'Up....48
6.2.3 HydrOcean....51
6.2.4 Nextflow Software 53
6.2.5 GEPS Techno - Estimation de la production d'énergie d'un système houlomoteur. 54
6.3 Collaboration Entreprise et Académique 56
6.3.1 OPTIROUTES....56
6.4 Applications opérationnelles 61
6.4.1 Centre Aval de Traitement des Données SMOS – CATDS 61

6.4.2 MARC 62
7 Configuration technique de DATARMOR 68
7.1 Architecture générale 68
7.2 Les clusters d'exécution 69
7.3 Les clusters de stockage 71
7.4 Les interfaces et les réseaux 73
7.5 La logistique 74
7.6 Les liaisons réseau inter-organisme 76
7.7 Les principaux logiciels 76
8 Annexes 78
8.1 Liste des membres du Comité de Pilotage Datarmor 78
8.2 Glossaire 79

1 Introduction

Depuis 2001, le Pôle de Calcul Intensif pour la Mer (PCIM) opère une infrastructure informatique mutualisée entre l'IFREMER, le SHOM, l'IUEM, l'UBO, l'ENSTA Bretagne, l'Ecole Navale, le CEREMA et des PMEs. Accessible à toute la communauté des Sciences Marines, la machine principale, appelée CAPARMOR, qui datait de 2007, est hébergée sur le centre IFREMER de Bretagne.

Le comité de pilotage du PCIM a sollicité dès 2013 les organismes partenaires pour le renouvellement de la machine Caparmor, avec une volonté de prendre en compte les besoins en stockage/traitements de données scientifiques volumineuses pour répondre à une tendance lourde des besoins en sciences marines.

Dans le cadre du CPER Bretagne 2015-2020, le projet Datarmor a donc été construit, et a pu être financé. Au regard de la configuration technique de Datarmor et du panel de services rendus aux utilisateurs, désormais très orientés « données », le COPIL a également opté pour un changement de nom du consortium, afin de mieux coller aux réalités techniques : PCIM est devenu PCDM (Pôle de Calcul et de Données pour la Mer).

Le présent rapport d'activité relate la période 2016-2017, avec notamment la transition de Caparmor vers Datarmor, du PCIM vers le PCDM.

2 De CAPARMOR vers DATARMOR

En matière d'informatique, les besoins des sciences marines ont considérablement évolué depuis une dizaine d'années. En effet, il semble que les modèles et codes de calcul « marins » se soient significativement stabilisés, et qu'en parallèle, les volumes de données à ingérer/traiter/investiguer suivent une croissance exponentielle, pour diverses raisons qui additionnent leurs effets :

- L'évolution technologique des systèmes d'observation qui tendent vers l'automatisation des mesures et, par conséquent, la mesure en continu des paramètres.
- L'usage grandissant de capteurs produisant des images (satellite, vidéo, ...) nécessitant un grand volume de stockage et des traitements (calculs) significatifs pour être interprétées.
- L'intégration dans les Systèmes d'Information de données dites d'opportunité, car non acquises à des fins scientifiques, mais complétant sans grand surcoût celles provenant de systèmes d'observation pilotés et diligentés par des scientifiques.

Il est alors apparu évident que la future machine du PCDM devait être orientée « data », même si les capacités de calcul/traitements demeurent importantes.

2.1 Le centre de données et le pôle océan ODATIS

Apparue en 2016 dans la feuille de route des infrastructures de recherche (IR) du MESRI, l'IR « Pôles de données et de services du système Terre » a pour mission principale de mettre à disposition des données, des produits, des logiciels, des outils et des services destinés en priorité à la communauté scientifique française dans le cadre de ses recherches sur le système terre.

Cette IR comprend 4 pôles qui ciblent chacun un compartiment du système Terre :

- l'atmosphère (pôle AERIS)
- la terre solide (pôle FORMATER)
- les surfaces continentales (pôle THEIA)
- l'océan (pôle ODATIS)

Les 4 pôles s'appuient sur des « centres de données » hébergés dans les établissements partenaires, qui fournissent des services opérationnels de données scientifiques ; le centre de données SISMER, hébergé à Brest est un fournisseur majeur de données du Pôle Océan.

L'augmentation significative des volumes de données en sciences marines nécessite des espaces de stockage de plus en plus grands et a justifié d'un projet d'infrastructure informatique très orienté « données », Datarmor, en comparaison de ce qu'était Caparmor acquis en 2007-2009.

2.2 Le projet CPER Datarmor

La définition du périmètre du projet CPER Datarmor est issue de différents échanges et groupes de travail organisés entre les unités de recherche des partenaires impliqués dans le PCIM (ancienne machine Caparmor) en 2013, 2014 et 2015. Ces groupes ont fait remonter de forts besoins en espaces de stockage déjà non couverts à l'époque, et devant croître de manière exponentielle dans la décennie à venir.

Une autre inflexion est apparue dans les discussions avec une prévision d'usage plus soutenu de traitement/sélection/visualisation interactifs ; en effet, les scientifiques utilisent de plus en plus fréquemment des logiciels du marché (Matlab, …) ou récupérés de leurs communautés Internet, dont ils ne maitrisent pas les codes-sources. Ces codes doivent donc pouvoir être utilisés en l'état, c'est-à-dire souvent en interactif et/ou sans recompilation.

Les discussions ont donc abouti sur l'expression d'un cahier des charges dans lequel la future infrastructure déjà appelée Datarmor se présente sous forme de grappes/clusters fonctionnels :

- Grappe de calcul/traitement parallèle (à mémoire distribuée)
- Grappe de calcul/traitement à mémoire partagée
- Grappe de stockage de données de référence
- Grappe de stockage de données de travail
- Grappe de services Web (interactif)

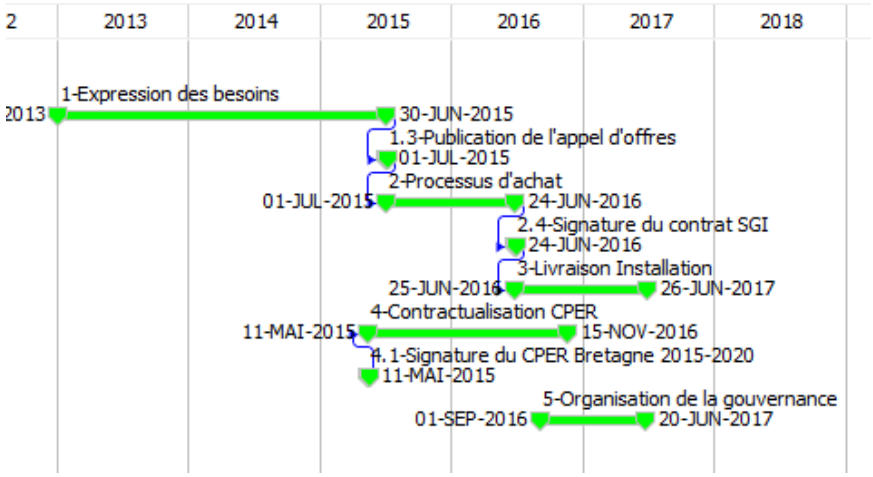
En relation avec ces expressions de besoin, la négociation du projet de CPER Bretagne a avancé pour aboutir à sa signature le 11 mai 2015. Le projet Datarmor représente un budget global d'investissement de 6,9M€ sur la période 2016-2020, dont le financement est réparti comme suit :

- Ministère de la Recherche : 2,1 M€
- Fonds FEDER : 2,2M€
- Région Bretagne : 0,95M€
- Département du Finistère : 0,475M€
- Brest Métropole : 0,475M€
- SHOM : 0,5M€
- Ifremer : 0,2M€

Dans le cadre du projet CPER, Ifremer s'est engagé à couvrir les coûts de fonctionnement de l'infrastructure (maintenance, énergie, personnels administrateurs techniques, …) pendant toute sa durée de vie.

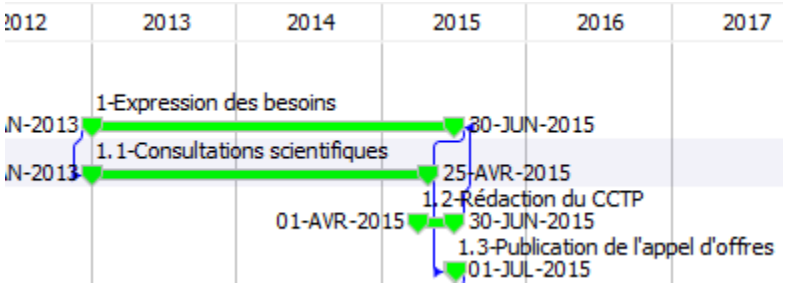
2.3 Le déroulé du projet DATARMOR

Comme le montre le diagramme ci-dessous, le projet Datarmor s'est étalé sur plusieurs années si on considère l'ensemble de la période allant de sa genèse à sa mise en production.



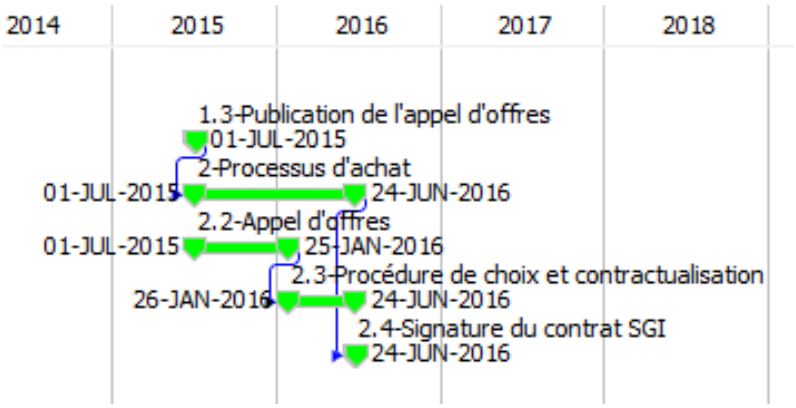
2.3.1 Phase 1 : l'expression des besoins

Démarrée dès 2012-2013 lors des réunions d'utilisateurs ou de pilotage de Caparmor, les échanges avec les équipes scientifiques se sont prolongés jusqu'en juin 2015, date à laquelle le cahier des charges fonctionnelles de l'appel d'offres Datarmor était déjà finalisé. La soumission du projet CPER Datarmor, en janvier 2014, avec l'accord de l'ensemble des établissements impliqués, a accéléré le processus de recueil des besoins, qui faisait déjà ressortir l'impérieuse nécessité du bon dimensionnement des espaces de stockage pour les données marines. Début 2015, un groupe de travail scientifique et technique, créé spécifiquement, a permis de définir un ensemble de fonctionnalités et quantifié les besoins en calcul, en stockage et en interactif.



2.3.2 Phase 2 : le processus d'achat

Le périmètre du projet devait inclure l'ensemble des travaux d'installation (logistique, alimentation, refroidissement, ...) ; une procédure d'appel d'offres avec « dialogue compétitif » a été choisie, permettant ainsi à 4 soumissionnaires sélectionnés après un appel public à candidature d'échanger de manière équitable avec Ifremer, dans le but de bien circonscrire le périmètre de la prestation d'installation, très dépendante des locaux prévus pour l'hébergement. Cette période de dialogue a donné lieu à une visite des locaux Ifremer par les candidats et a globalement permis d'échanger pour affiner notre cahier des charge, ajuster les ambitions en fonction des possibles. A la fin de la période de dialogue compétitif, un grand oral a été organisé : audition successive des 4 candidats qui ont préalablement remis une offre provisoire technique et financière. Enfin, lors de la dernière phase de l'appel d'offres, Ifremer a publié un cahier des charges final, auquel les candidats ont répondu par une offre finale sur laquelle le choix s'est fait sur l'offre de la société SGI, rachetée en 2017 par HPE (Hewlett Packard Enterprises).



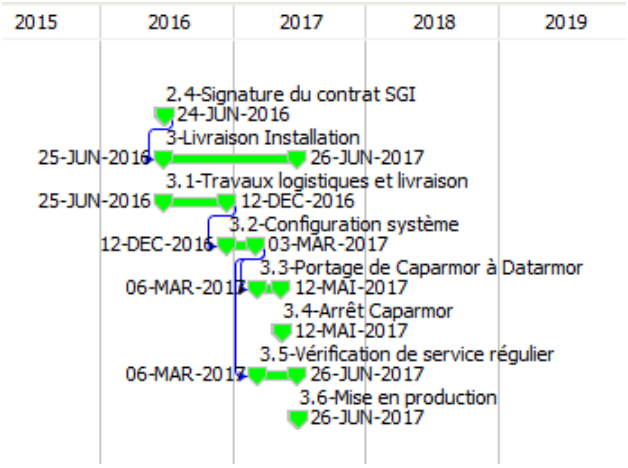
2.3.3 Phase 3 : la livraison et l'installation

Malgré le niveau de détail atteint par la proposition technique de SGI, grâce au dialogue compétitif, le démarrage de la phase d'installation a nécessité la prise en charge par le bureau d'étude mandaté par SGI de l'ensemble des travaux, pour détailler ce qui devait l'être et planifier les interventions des différents corps de métier. Ainsi, par exemple, l'élargissement de la dalle béton extérieure pour accueillir les échangeurs du système de refroidissement a été une des toutes premières réalisations dès septembre 2016. A l'inverse, la livraison des éléments informatiques proprement dits n'est intervenue que début décembre 2016, après la fin des travaux d'aménagement des locaux.

Après la mise en service de la machine, SGI a travaillé avec l'équipe système Ifremer pour satisfaire aux 71 tests fonctionnels que contenait le procès verbal de « vérification d'aptitude technique » (VAT), étape contractuelle déclenchant une clé de paiement. La VAT a été prononcée le 22 février 2017.

A partir de début mars ont commencé les premiers tests utilisateurs, avec pour objectif d'arrêter la machine Caparmor au plus vite (l'opération de démontage faisait partie de la prestation). Des transferts de données utilisateurs ont été lancés, en provenance de Caparmor, mais aussi des espaces disques scientifiques hébergés dans les labos ou sur des disques classiques, en préservant un mode de synchronisation permettant à chaque utilisateur de travailler sur l'ancien mode ou sur Datarmor avec toujours des données à jour. Un appui technique ciblé a été apporté aux applications dont le portage le nécessitait. La machine Caparmor a finalement été arrêtée le 12 mai 2017, puis immédiatement démontée.

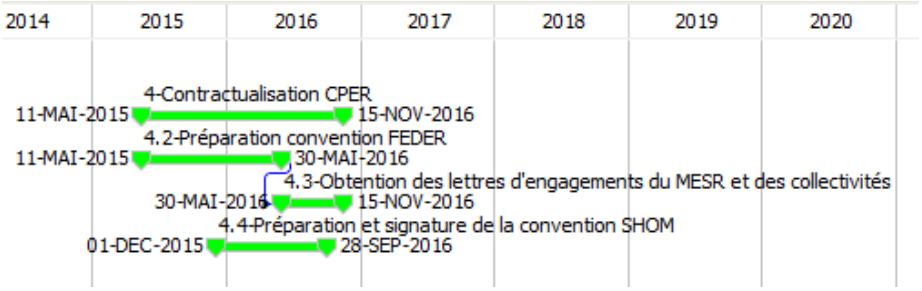
Enfin, la Vérification de Service Régulier (VSR), dernière étape contractuelle de cette installation, a été prononcée le 26 juin 2017, ouvrant, de fait, la mise en production de la machine.



2.3.4 La contractualisation du CPER

Suite à la soumission des projets en janvier 2014, la négociation entre l'état et la région Bretagne a abouti à la signature le 11 mai 2015 du CPER 2015-2020, avec une description chiffrée des moyens affectés à chaque projet, dont Datarmor.

La négociation de la convention FEDER a ensuite précédé la formalisation des engagements des collectivités. Le Ministère de la Recherche et le SHOM ont également notifié leurs engagements respectifs sous forme de lettres d'engagement ou de convention.



2.3.5 Mise en place de la gouvernance

Bien en avance de phase sur la mise en production, les instances de gouvernance ont été réunies pour discuter et valider des paramètres de partage des ressources « de démarrage ». L'ensemble des membres et contributeurs au Comité de Pilotage et Groupes de Travail afférents a été recruté, dans un esprit de recherche d'équilibre entre équipes scientifiques, et entre établissements partenaires.

2.4 Gouvernance et comité de pilotage

La finalité de l'infrastructure Datarmor est de nature scientifique ; la machine héberge et contribue aux projets scientifiques en sciences marines, en fournissant des services de :

- Calcul/traitement,
- Accès en mode « services interactifs » ,
- Mise à disposition performante de données de référence,
- Mise à disposition d'espaces de stockage de travail,
- Support technique et thématique sur les applications, les données et les logiciels.

L'ensemble des principes de gouvernance est fixé par des décisions d'un Comité de Pilotage (COPIL), qui s'appuie sur 2 groupes de travail :

- Le groupe de travail « données » (GT données), composé de représentants des principales entités scientifiques, statue notamment sur la sélection de données de référence, et l'attribution d'espaces de stockage « de travail »,
- Le groupe de travail « entreprises » (GT entreprises) statue sur la liste des entreprises accueillies et les droits d'usages accordés à leurs utilisateurs.

Un rapport d'exploitation Datarmor est édité trimestriellement et envoyé aux membres du comité de pilotage et des groupes de travail.

3 Inauguration de Datarmor

La machine a été inaugurée le 28 juin en présence des partenaires financeurs du projet CPER Datarmor et des partenaires scientifiques utilisateurs.

Coupage de ruban. De gauche à droite : Bernard Pouliquen (Région Bretagne), Arnaud Devillez (DRRT), Pierre Karleskind (Brest Métropole), Laurent Kerléguer (SHOM) et François Jacq (Ifremer)

Visite de la salle machine Datarmor

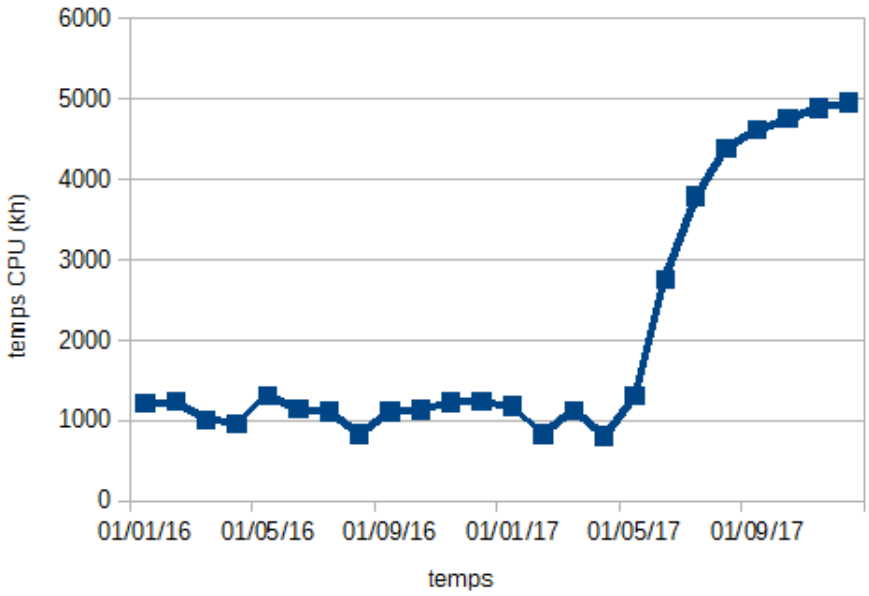
Présentations scientifiques en salle de conférence

4 Statistiques d'usage

4.1 Evolutions Caparmor – Datarmor

4.1.1 Consommation de CPU

Au cours des années, l'architecture Caparmor montrait une utilisation arrivée à saturation. C'est ce qu'indique le graphique ci-dessous sur l'année 2016 et les premiers mois de 2017, le temps CPU mensuel étant quasi constant à 1000 k.heures. L'arrivée de Datarmor dès mai 2017 s'est traduite, en l'espace de deux mois, par un accroissement d'un facteur trois du temps CPU consommé par les travaux soumis. Au bout de six mois, l'architecture Datarmor permettait déjà une utilisation cinq fois supérieure au plafond atteint avec Caparmor.

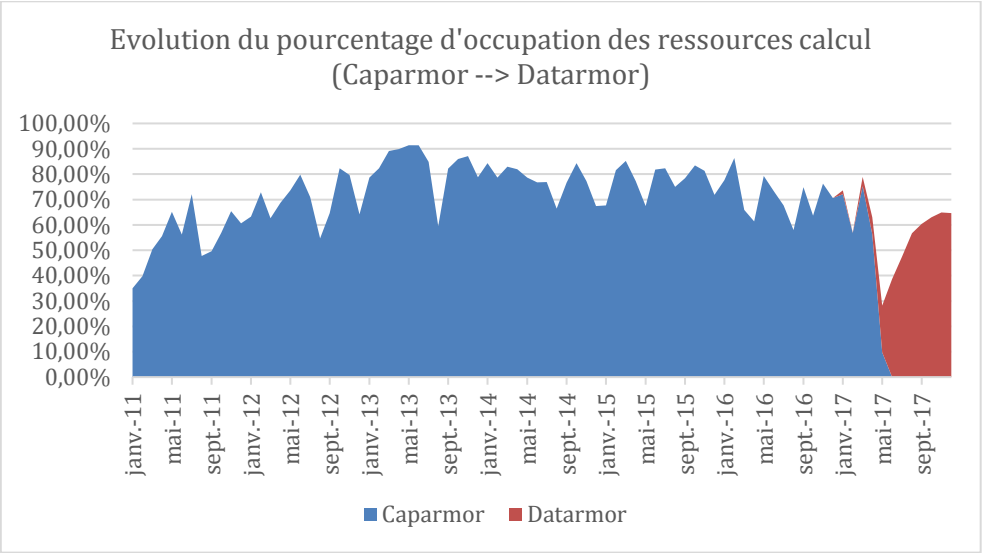


En plus de montrer la réponse de Datarmor au besoin de capacité de calcul, ce graphique dévoile également la prise en main rapide de la plateforme. Imposés dans le cahier des charges lors de l'appel d'offre, les capacités de transfert entre les deux machines, les « benchmarks » réalisées sur des applications en exploitation sur l'ancienne plateforme, ont grandement facilité l'appropriation de la nouvelle machine et de ses composantes par les utilisateurs de Caparmor. Tous les utilisateurs ont également tiré parti des compilations optimisées à destination de la nouvelle machine, compilations réalisées par le constructeur pour les « benchmarks » et mises à disposition.

4.1.2 Taux d'occupation des ressources calcul

Le graphe suivant présente le taux d'occupation des ressources calcul sur Caparmor puis Datarmor. La situation sur Caparmor, qui dépassait une moyenne de 90% certains mois, n'était pas satisfaisante pour les utilisateurs en mode « tests rapides » qui devaient attendre trop longtemps pour que leur « job » soit lancé ; le Comité de Pilotage avait pris en 2013 des mesures coercitives sur les priorités des travaux batch, afin de ramener le taux d'occupation global en deçà de 80%, et rendre ainsi aux utilisateurs un meilleur temps de réponse.

A noter que les paramètres adoptés par le Comité de Pilotage pour Datarmor semblent (pour le moment) maintenir une situation satisfaisante avec un taux d'usage légèrement supérieur à 60%.



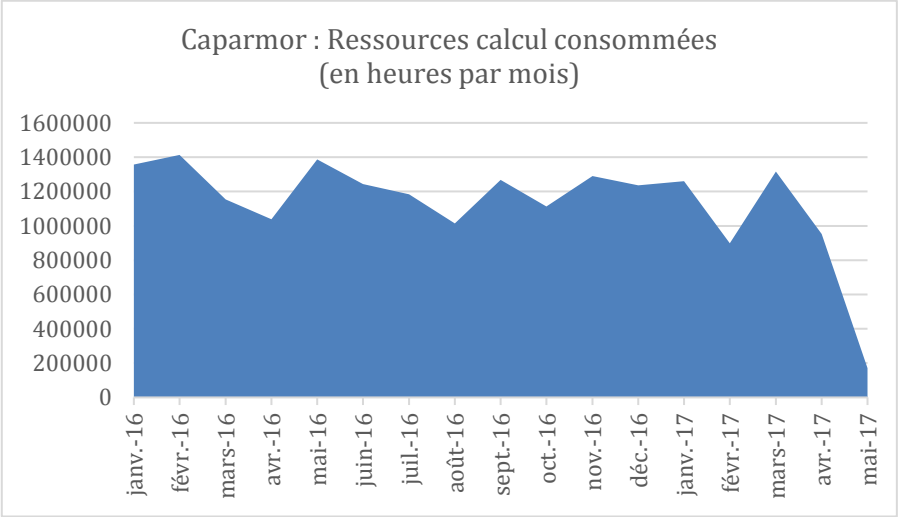
4.1.3 Nombre d'utilisateurs du calcul HPC

Le nombre d'utilisateurs mensuels du calcul HPC est en augmentation depuis le passage à Datarmor. Sur Caparmor, il était environ de 130. Fin 2017, il se situe sur Datarmor à 170 utilisateurs et est en augmentation régulière.

4.2 Statistiques Caparmor

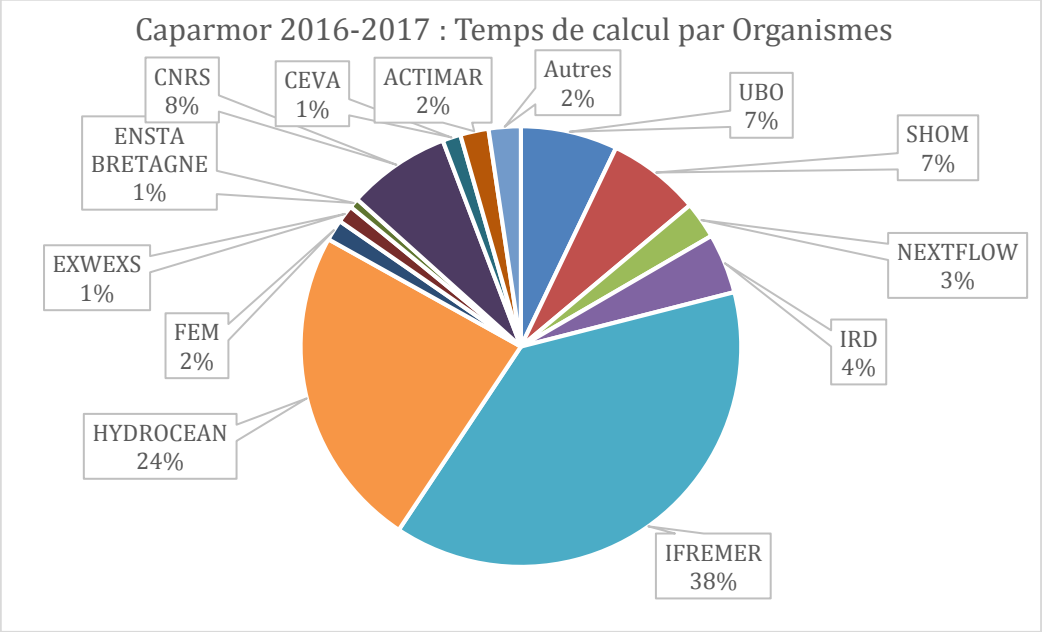
4.2.1 Statistiques CPU

Sur la période allant de début 2016 à mars 2017, le niveau de ressources calcul produites sur Caparmor a été relativement stable autour des 1,2 millions d'heures par mois. Elle a ensuite décru au fur et à mesure du passage des utilisateurs sur Datarmor en avril 2017, jusqu'à son arrêt définitif le 12 mai 2017.

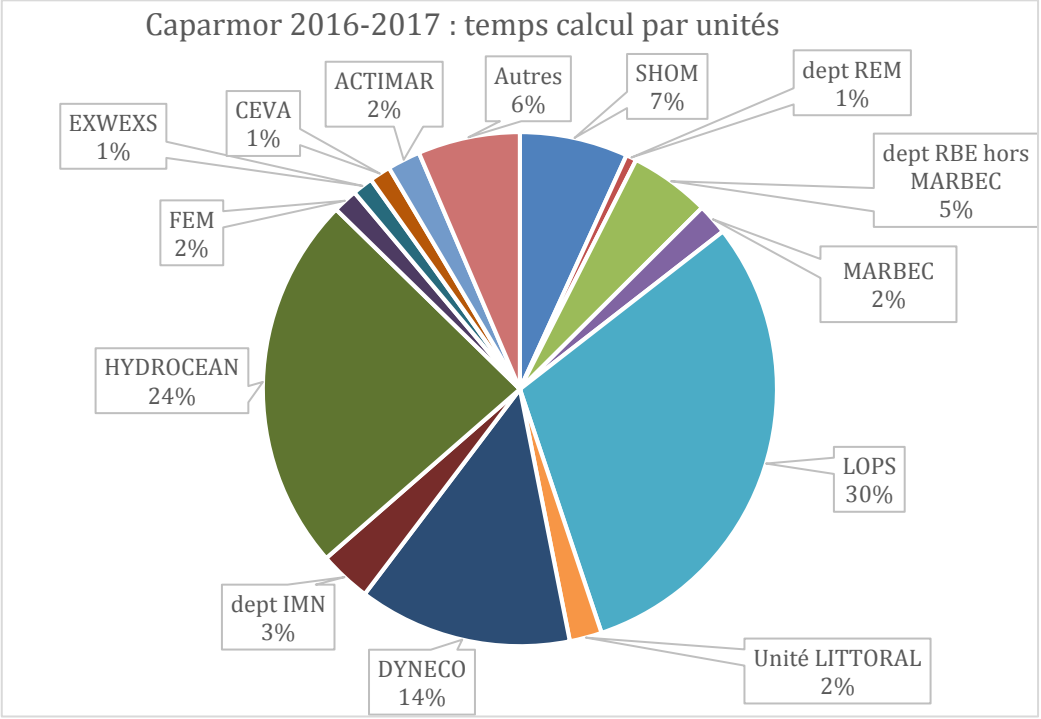


4.2.2 Statistiques temps global de réservation des ressources calcul

- par organisme



- par unité



4.3 Statistiques Datarmor

L'infrastructure Datarmor comprend plusieurs « clusters » (ensembles techniques) : des clusters de stockage de données et des clusters de traitement/calcul. Les statistiques d'activité sur les espaces de stockage sont difficiles à faire, car il n'y a pas d'outil ou de métrique partagé pour ce type de ressources. Par contre, les statistiques d'usage de la partie traitement/calcul sont facilement réalisables, au travers du gestionnaire de batch unique utilisé PBSpro.

La partie calcul de Datarmor se compose de 4 clusters :

- Le cluster HPCSimple, correspond au cluster de calcul parallèle le plus classique et courant,
- Le cluster HPCHyperThreading, configuré pour utiliser les capacités d'hyperthreading des nœuds de calcul, c'est-à-dire la possibilité de paralléliser 2 calculs élémentaires sur un même cœur de calcul,
- Le cluster Visu de visualisation,
- Le cluster SMP disposant d'une capacité importante de mémoire partagée.

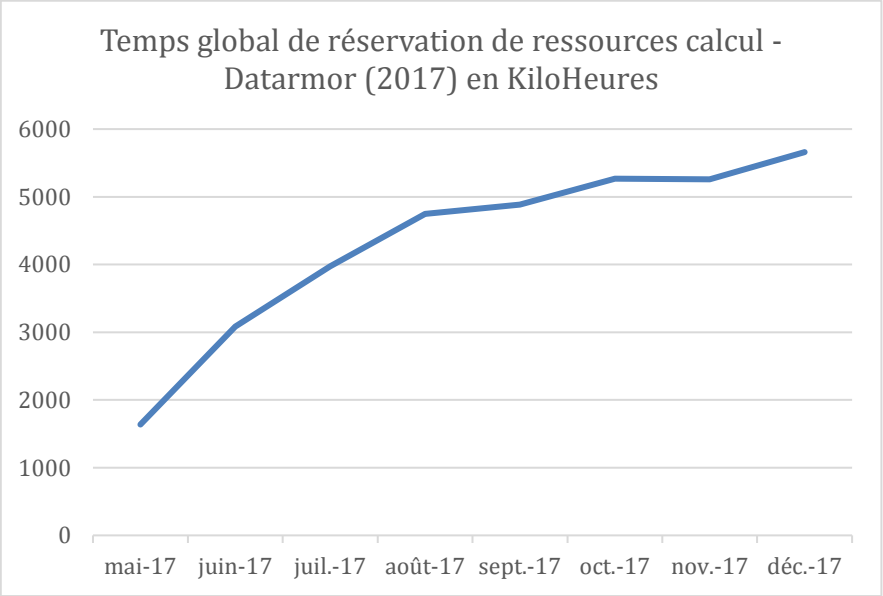
Les configurations techniques des clusters sont détaillées au paragraphe « Configuration technique de Datarmor ».

Un des objectifs de la gouvernance est de proposer le bon cluster de traitement/calcul pour chaque type de code/logiciel à faire tourner ; ces codes/logiciels ne sont pas toujours « optimisés » et peuvent être dépendants de performances en stockage ou en interactif.

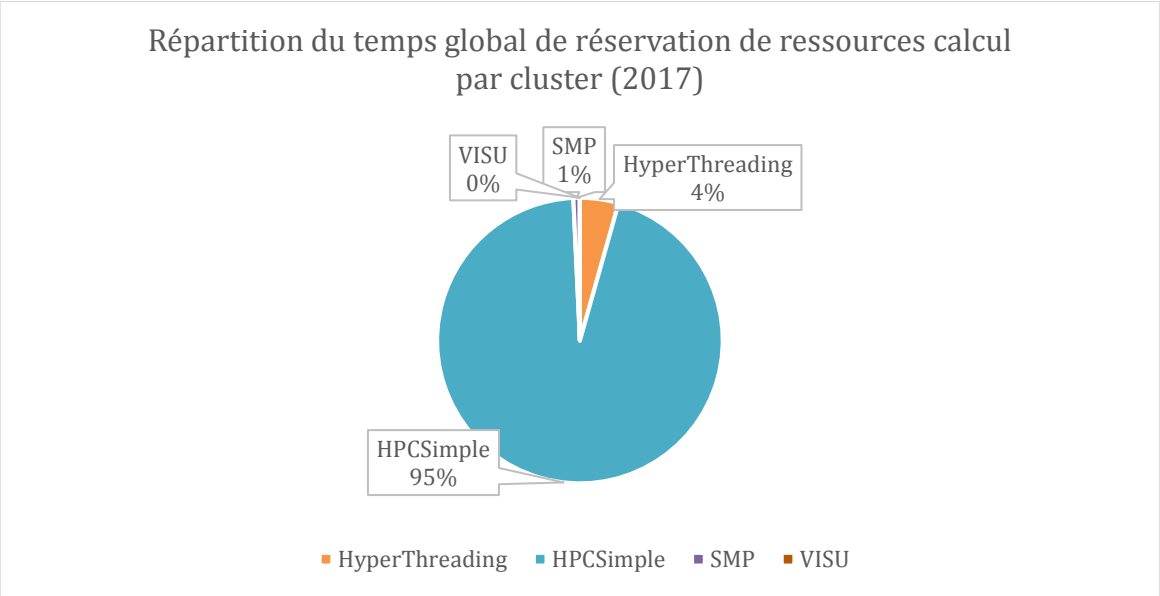
4.3.1 Consommation processeur

Le temps global de réservation de ressources calcul comprend le temps de calcul effectif mais aussi les temps d'attente induits.

Après une phase de démarrage d'environ un trimestre, l'activité globale sur Datarmor tend à aller vers 6000 KiloHeures de temps global de réservation de ressources par mois.

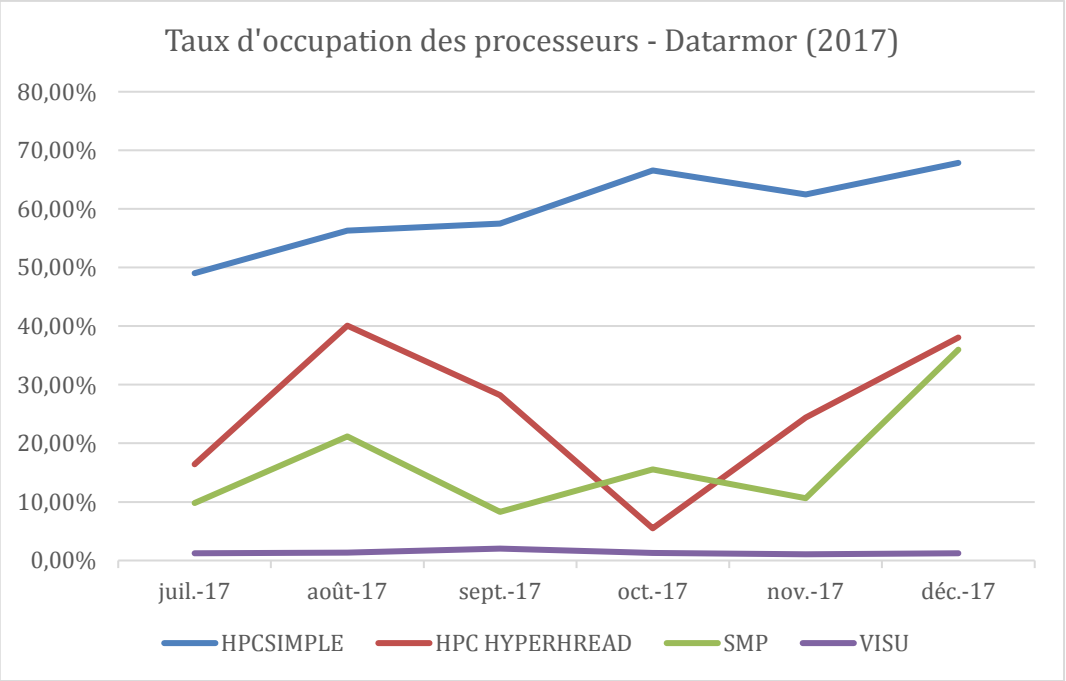


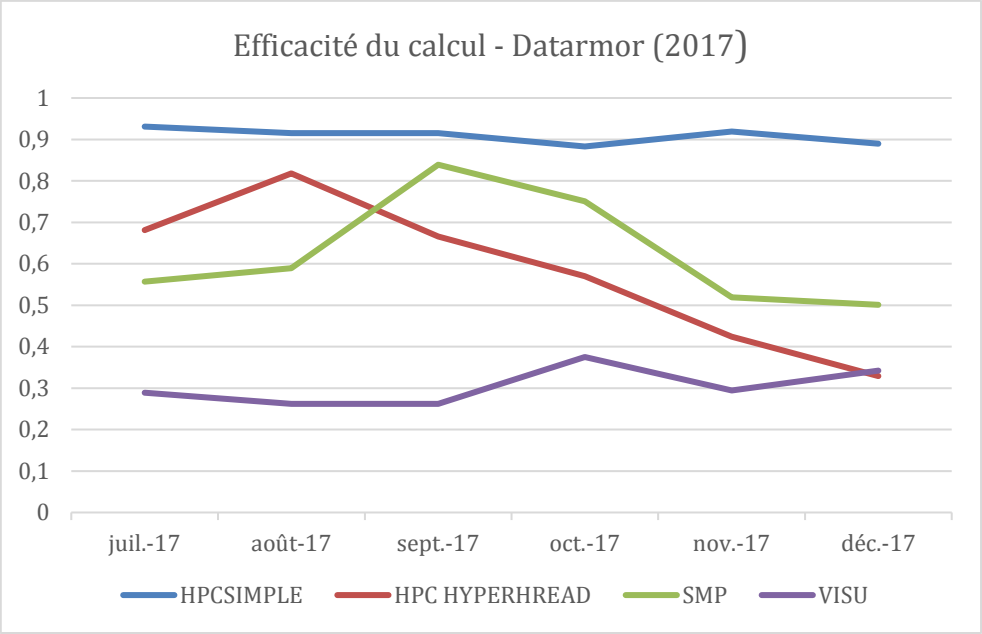
Le temps de calcul est principalement utilisé sur le cluster HPCSimple.



Le taux d'occupation du cluster HPCSimple s'établit autour de 60%. L'activité sur le HPCHyperthreading est liée pour une grande partie à des traitements opérationnels, pouvant varier de façon conséquente, on voit, par exemple, une baisse significative de ces opérations en octobre 2017.

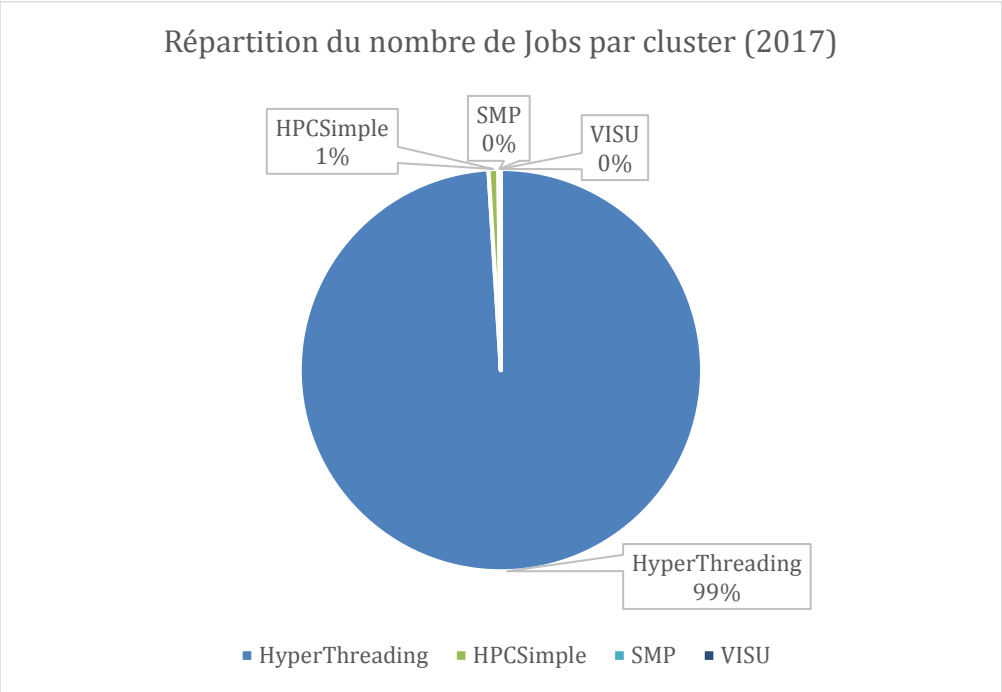
Le cluster VISU correspond à de nouvelles activités en cours de test.





4.3.2 Nombre de jobs

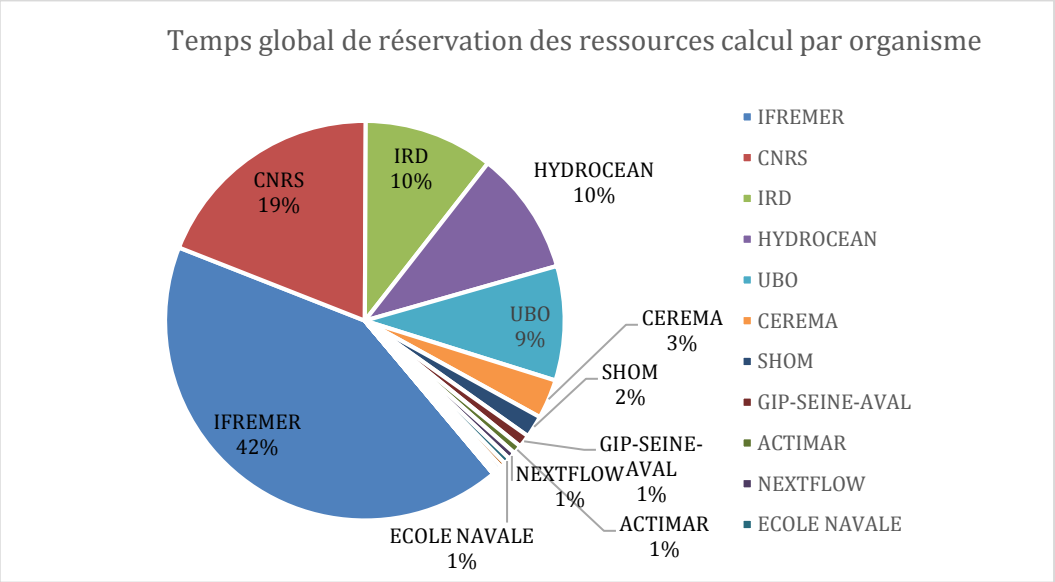
Le HPCSimple occupe une très grande part du temps global de réservation des ressources calcul avec des jobs longs, tandis que le HPCHyperthreading est le cluster sur lequel est exécuté le plus grand nombre de jobs, correspondant à de petits calculs.



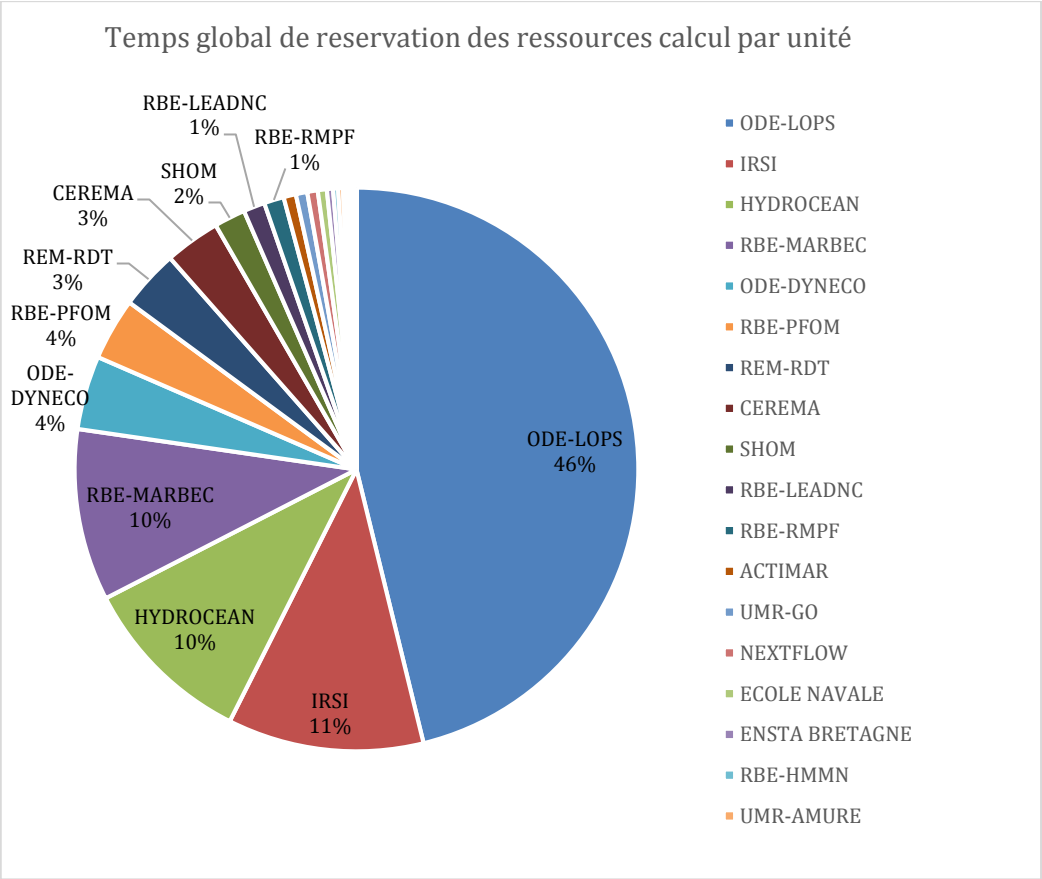
4.3.3 Statistiques par organisme

Les graphiques suivants sont basés sur l'identité des utilisateurs tels que connus dans l'annuaire des comptes informatiques. La catégorie Ifremer comprend non seulement les

personnels sous contrat Ifremer mais également les utilisateurs des UMR dont l'Ifremer est partenaire, et les sous-traitants. Sous le groupe « PME » sont désignés les utilisateurs rattachés aux Entreprises ayant une convention d'utilisation pour Datarmor, à savoir : ACRI-HE ACTIMAR CEVA HYDROCEAN METEOGROUP NEXTFLOW WINDS-UP EXWEXS.



4.3.4 Statistiques par unité



4.3.5 Nombre d'utilisateurs

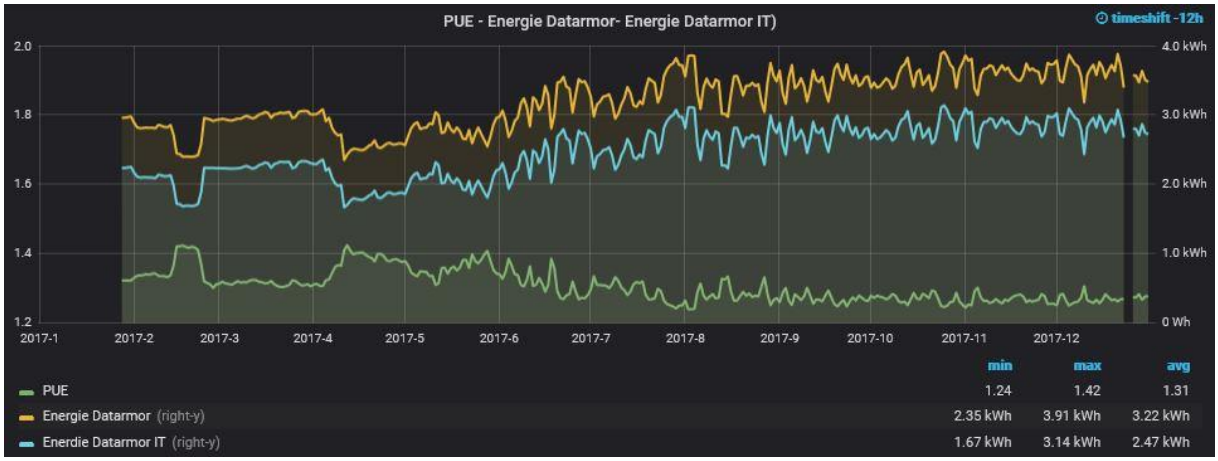
Le nombre d'utilisateurs ayant utilisé la partie HPC de Datarmor est de 309 pour 2017.

A ces utilisateurs, s'ajoutent ceux qui accèdent aux données stockées dans l'espace Datarmor, par exemple sur Dataref. Cette utilisation, plus diffuse, ne peut se comptabiliser aussi finement que pour le calcul HPC. On évalue à environ 670 le nombre d'utilisateurs ayant sollicité un accès à l'infrastructure Datarmor en 2017, mais potentiellement, l'ensemble des comptes informatiques du réseau Intranet-Ifremer y a accès, soit environ 4000 utilisateurs.

Certaines données stockées sur l'architecture sont également en diffusion externe publique ou restreinte ce qui élargit leur sphère d'utilisation.

4.4 Statistiques logistiques

Sur l'ancienne machine Caparmor, il n'était pas possible, faute de compteurs, de surveiller la consommation d'énergie de la machine « informatique », ni celle des systèmes qui permettait de la refroidir ; les moyens de cette mesure ont été prévus dès le premier cahier des charges de Datarmor, permettant ainsi de contrôler et de produire des statistiques cumulées.
Le PUE (Power Usage Effectiveness) est l'indicateur d'efficacité énergétique utilisé pour un centre d'exploitation informatique. C'est le rapport entre l'énergie totale consommée par la configuration globale (machine informatique + systèmes de refroidissement : compteur Energie Datarmor) et l'énergie consommée par les systèmes informatiques seuls (Compteur Energie Datarmor IT). Le PUE moyen constaté de Datarmor sur 2017 (et depuis sa mise en production) est de 1,27.



4.5 Disponibilité

L'indicateur global de disponibilité Datarmor inclut des mesures réseau, espace de stockage et nœuds de calcul pour représenter la disponibilité de l'infrastructure au plus proche de son utilisation. Sur 2017, le taux mensuel le plus bas est le taux d'octobre présentant une disponibilté de 98,39%.

	juil-17	août-17	sept-17	oct-17	nov-17	déc-17
Global	99,07 %	99 %	99,98 %	98,39 %	99,94 %	99,99 %

5 Services et Ingénierie du PCDM

5.1 Données de référence

Les ressources de stockage (principalement les espaces disques) sont allouées de manière rémanente ; même s'il est possible de mettre en œuvre des espaces temporaires où un effacement systématique des données est réalisé au-delà d'un certain laps de temps, l'essentiel de l'espace disque est alloué de manière quasi-définitive à leurs utilisateurs par partitions individuelles ou partagée dans une équipe ou un projet. La problématique du partage des ressources « espaces de stockage » est donc complètement différente de celles des ressources « processeur ».

Le seul partage viable est donc basé sur une gouvernance en mesure de jauger le niveau de priorité de chacune des sollicitations, voire à proposer une politique de mise en commun de données, pour éviter la duplication. La gouvernance doit aussi se ménager régulièrement de nouvelles marges de manœuvre en ajoutant de nouveaux espaces de stockage, justifiés par l'inexorable montée du volume des données produites (dans le domaine des sciences marines comme partout ailleurs).

Dans le projet Datarmor, en se basant sur la spécialisation sciences marines, il a été décidé de créer un espace de stockage permettant de mettre en commun des données d'intérêt partagé, limitant ainsi de coûteuses duplications sur des espaces utilisateurs. Le groupe de travail Données, composé de représentants de toutes les thématiques scientifiques couvertes par Datarmor, pilote la gestion de cet espace.

Un espace de 1,3 Pio a été déployé sur l'infrastructure Datarmor pour accueillir les données scientifiques de référence.

Une donnée de référence doit être pérenne et stable dans le temps. Elle peut avoir été produite par l'Ifremer ou par un autre organisme et être utilisée dans Datarmor ou sur une autre machine du réseau. Selon son degré de visibilité, elle sera partagée par l'ensemble des utilisateurs ou par une communauté plus restreinte. Ces données sont utilisées pour des traitements, de l'interprétation ou de la diffusion.

Les objectifs de cette démarche sont multiples mais visent d'abord à présenter aux utilisateurs un panel le plus pertinent et complet possible de données scientifiques stables et pérennes dans le but :

- d'en faciliter l'accès,
- de favoriser les échanges et les interactions entre les projets et les équipes
- d'éviter la multiplication des copies et le gaspillage d'espace, surtout pour les données volumineuses.

Le catalogue des données de référence est disponible sur l'outil Sextant, accessible par https://www.ifremer.fr/sextant_doc/pages/DATARMOR.html

Chaque responsable d'un jeu de données peut faire une demande d'hébergement de ses données sur l'espace de référence. Le groupe de travail « Données » évalue la pertinence de

ces demandes en fonction de l'intérêt scientifique des données visées, de leur audience et tient compte également du volume que représente la demande pour en mesurer l'impact sur l'architecture.

La mise en place des données sur l'espace de référence est effectuée par l'équipe d'exploitation de Datarmor à laquelle se joignent des personnels IRSI/SISMER, responsables du catalogage de la donnée. Si la donnée n'est pas récupérable par ailleurs, les données de référence peuvent être sécurisées par archivage pérenne. Les informations sont alors copiées sur un support externe à Datarmor utilisant des bandes magnétiques, et installé dans un autre bâtiment.

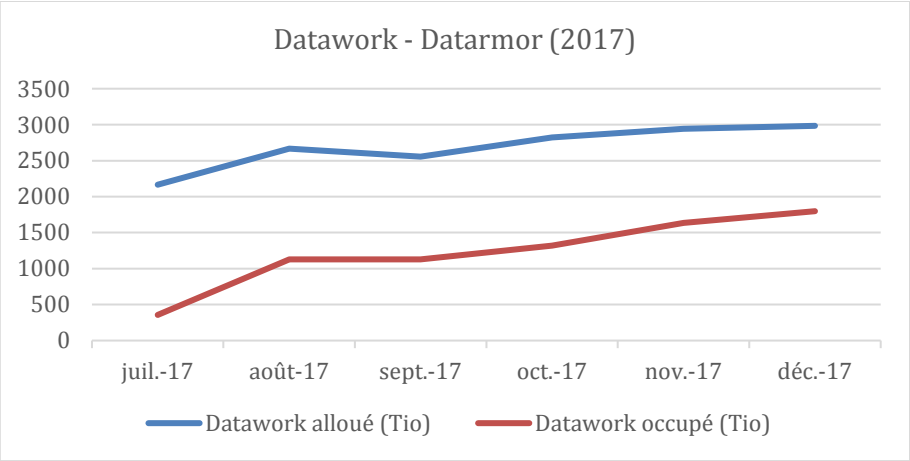
5.2 Espaces de stockage de travail

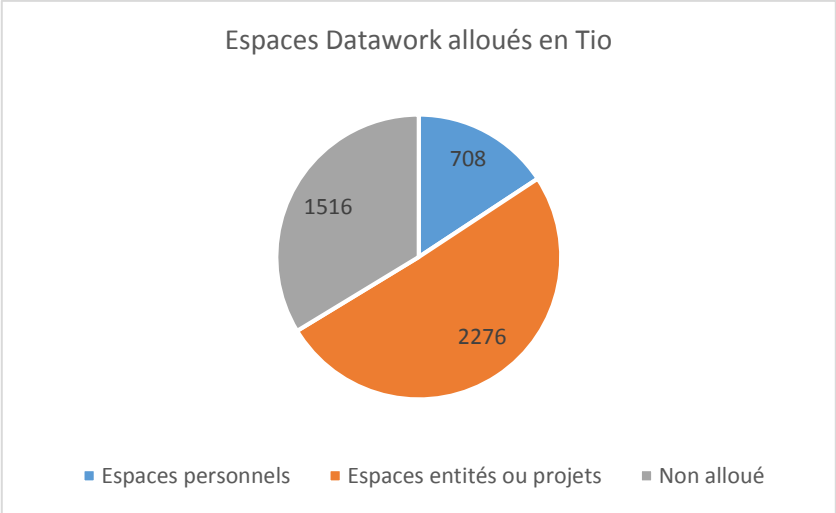
L'espace de travail Datawork est de 4,4 Pio.

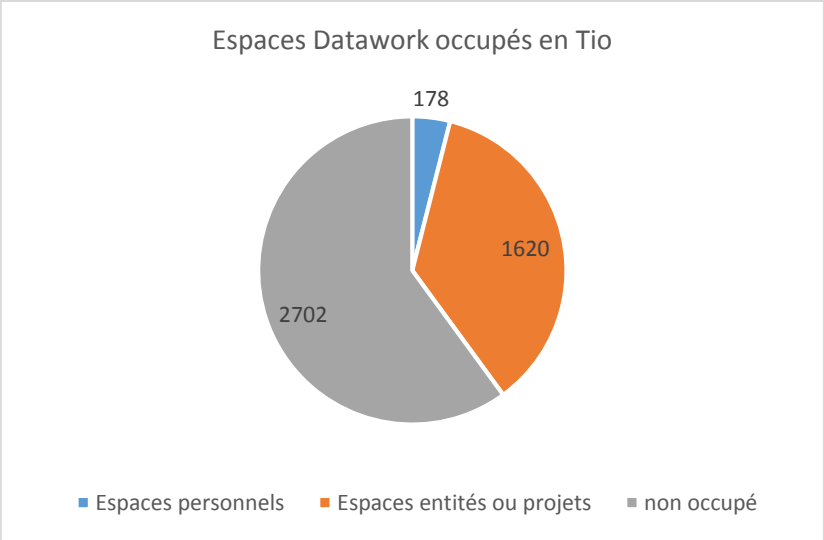
Chaque utilisateur dispose d'un espace de travail personnel de 1Tio. La majeure partie de l'espace est cependant occupée par des espaces communs à des projets ou des équipes. Comme pour les données de référence, l'arbitrage des demandes d'espace est effectué par le groupe de travail « Données ».

Dans la plupart des cas, quand un utilisateur de Datarmor lance un programme ou une application, il utilise la partie « noeuds de calcul » pour exécuter son code et écrit ses résultats sur son espace « scratch » de 10Tio, d'accès très rapide. Ces données sont ensuite transférées vers l'espace de travail « datawork », plus volumineux.

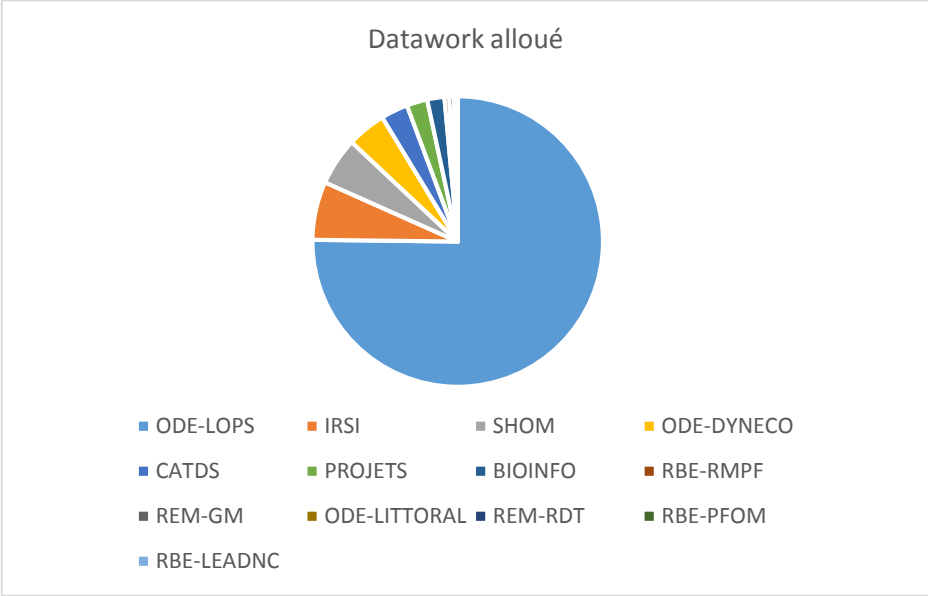
Comme le montrent les graphiques ci-dessous, datawork, fin 2017 est alloué à hauteur de 66%, les espaces dédiés aux entités et projets étant prépondérants (50%). Le taux d'occupation global de datawork est de 40%.







L'UMR LOPS du département ODE est destinataire de 75% de l'espace alloué, la partie données satellitaires occupant à elle-seule plus de 1Pio de données.



5.3 Bioinformatique

Le domaine de la bio-informatique occupe une place à part dans le paysage de l'informatique pour les sciences marines, en raison de la spécificité des données manipulées (séquences…) et des logiciels utilisés. Les travaux réalisés pour la bio-informatique peuvent se diviser en 2 catégories : la mise à disposition de logiciels « utilisateurs » complètement dédiés à cette discipline, d'une part, et les outils systèmes sur Caparmor/Datarmor pouvant le cas échéant être partagés avec d'autres disciplines scientifiques.

5.3.1 Les applications de bio-informatique

Logiciel de metabarcoding FROGS :

Suite à la mise à jour du logiciel Qiime 1.9 en 2015 (destiné aux analyses de données de type metabarcoding), deux sessions de formations sur l'outil via le portail Galaxy ont été réalisées en juin 2016. Une nouvelle suite logicielle nommée FROGS (http://genphyse.toulouse.inra.fr/frogs_announce) a été testée sur UV2000 pour remplacer Qiime 1.9 en 2017. Plusieurs jeux de données ont été analysés avec ces deux logiciels comme par exemple les projets MORBLEU 1 et 2 sur la mortalité des moules - Jean-François Pépin - Station de La Tremblade et le projet d'Anne Godfroy (LM2E) sur la biodiversité de sources hydrothermales.

Premières approches pour l'assemblage de génomes

L'assemblage du génome de l'huître perlière Pinctada Margaritifera (Jérémie Vidal-Dupiol, Céline Reisser, Centre de Tahiti) a été tenté à plusieurs reprises en 2017. Les assemblages de génomes d'organismes complexes peuvent générer des « jobs » informatiques de plusieurs mois, qui représentent un challenge de disponibilité permanente pour la machine.
En parallèle ont été réalisés des tests de logiciels d'assemblage (SPADES, SSPACE) dans le cadre de ce projet.

La plateforme Web Galaxy

L'interface Web Galaxy permet d'intégrer sous une interface Web harmonisée un ensemble de logiciels et fonctions bio-informatiques, évitant donc à ses utilisateurs de s'investir dans des accès « en mode commande » plus traditionnels dans l'informatique scientifique. La plateforme Galaxy a été portée sur Datarmor en 2017 ; des classes de travaux batch spécifiques ont été créées pour s'adapter aux spécificités de la bio-informatique. En 2017, plus de 38% des travaux de bio-informatique ont été lancés via le Web Galaxy.

Tests de performances

Une campagne de tests approfondis de performance des logiciels BLAST et PLAST a été menée sur DATARMOR, avec production d'un rapport technique : https://github.com/ifremer-bioinformatics/BLAST-PLAST-bench

Site Web spécifique pour la bio-informatique

La cellule de bio-informatique a rassemblé l'ensemble des informations relatives aux outils, aux données et aux manuels utilisateurs sur son site Web https://w3z.ifremer.fr/bioinfo

5.3.2 Les outils systèmes partageables

Les conteneurs virtuels

Pour répondre au besoin permanent de portage de nouveaux logiciels de bio-informatique sur diverses plateformes, l'usage des conteneurs virtualisés est une réponse pratique et relativement définitive. Ces techniques « système » sont utilisées dans beaucoup d'autres domaines scientifiques.
Ainsi, entre 2016 et 2017, une soixantaine de logiciels de bioinformatique ont été réinstallés sous « Conda » et « Docker ».

La gestion des données de référence

La bio-informatique a ses propres de données de référence, notamment celles proposées par les utilisateurs eux-mêmes. Les logiciels s'appuient aussi de manière importante sur les banques de séquences publiques décrites (NCBI, EBI, ...) dont le contenu est répliqué et tenu à jour localement sur Datarmor, afin d'assurer de bonnes performances dans les recherches d'homologies. La solution logicielle open-source BeeDeeM a été mise en place pour l'installation automatisée de ces banques.

5.4 Virtualisation

Le besoin de déployer ou de porter des logiciels sur la plateforme de calcul, en évitant la délicate phase de compilation spécifique, a été identifié sur Caparmor. Les techniques de virtualisation applicative forment une réponse à ce besoin. Deux solutions ont été mises en œuvre sur Datarmor, solutions intégrées à la plateforme avec, en particulier, la prise en charge par le gestionnaire de tâches PBS pro.

Les utilisateurs de Datarmor peuvent ainsi utiliser l'environnement conda qui répond parfaitement au besoin de mise en œuvre de certains logiciels et librairies, comme par exemple Python et le logiciel de calcul statistique R.

Les utilisateurs de Datarmor peuvent également faire appel à Docker qui gère les applications encapsulées dans leur environnement de fonctionnement, les containers. Un important travail a été réalisé pour construire des images adaptées au calculateur et aux exigences de sécurisation. En partant de ces images, les utilisateurs peuvent apporter les modifications en réponse à leurs besoins applicatifs, de manière similaire aux opérations effectuées sur un système d'exploitation linux et son gestionnaire de paquets. Enfin, via le gestionnaire de taches PBS pro, les images des utilisateurs sont mises en fonctionnement sur Datarmor, on parle alors de conteneurs.

Si la virtualisation peut avoir un surcoût, souvent faible, cette capacité à mettre en œuvre des logiciels, parfois très complexes, apporte une réelle plus-value et permet à de nombreux utilisateurs d'accéder à la machine plus rapidement et simplement.

5.5 SPARK/HADOOP/HDFS

La composante de stockage de données des sciences marines sur Datarmor conduit à des recherches croisant/combinant ces différentes données, recherches portant sur des

volumétries très importantes. Ce type de travail, popularisé sous l'appellation « big data » a été l'objet de nombreuses solutions techniques comme celle bien connue de google : HADOOP, ensemble de solutions technologiques ou écosystème permettant le stockage des données ainsi que leur manipulation de manière parallélisée.

Datarmor fournit une solution de calcul parallèle de type HPC, de stockage performant (GPFS et lustre), les deux étant reliées par un réseau spécifique et très rapide, l'infiniband. La jonction de ce type de solution avec les approches de type « big data » est mise en œuvre sur Datarmor au travers de SPARK d'une part, de « HDFS transparency » d'autre part.

Les outils de l'ensemble SPARK permettent aux utilisateurs, en utilisant les nœuds de calcul HPC et le réseau infiniband, d'accéder à ces approches de traitements rapides. Ces outils sont intégrés à l'environnement Datarmor dont le gestionnaire de travaux PBS pro. « HDFS transparency » permet lui, en s'appuyant sur une partie des capacités de stockage de la brique fournie par le cluster « datawork » fourni par SGI, de proposer une composante HDFS.

5.6 Proposition Web services

Dans certaines situations d'utilisation, un accès graphique au calculateur est nécessaire. C'est le cas, par exemple, des environnements de développement graphique auxquels il est possible d'accéder avec son navigateur web. C'est également le cas pour certaines utilisations des GPU de la plateforme Datarmor.

5.6.1 Accès web

A la place du classique accès via la commande ssh, une solution reposant sur l'accès distant de « NoMachine Enterprise Desktop » et un accès web spécifique aux utilisateurs Datarmor a été mis en place. Un simple navigateur web permet alors d'accéder à la plateforme Datarmor et, par exemple, d'utiliser jupyter note book.

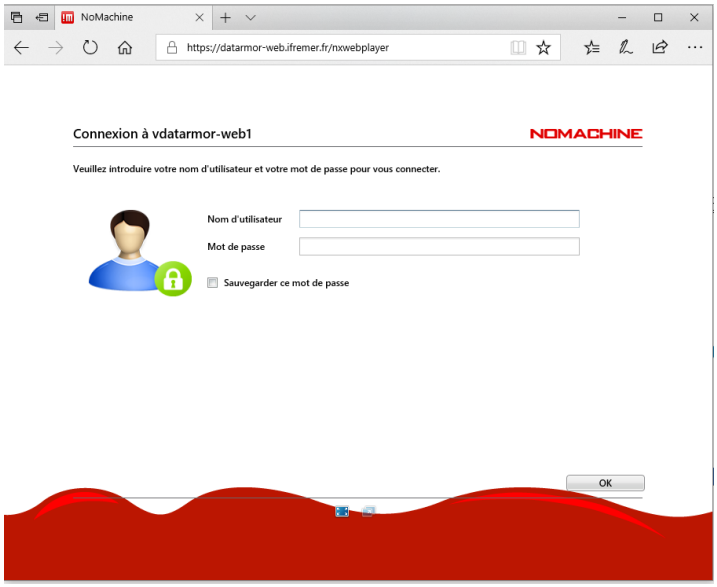


Figure 5-1 Interface of datarmor-web.ifremer.fr

5.6.2 Accès WEB aux GPU

La composante de Datarmor proposant des GPU est directement accessible via une interface web. Les outils de la société Nice Software, “Desktop Cloud Visualization », sont intégrés au gestionnaire de tâches PBS pro et permettent d’accéder aux outils de visualisation 3D installés sur le cluster de visualisation, ceci en profitant d’une bonne qualité d’image.

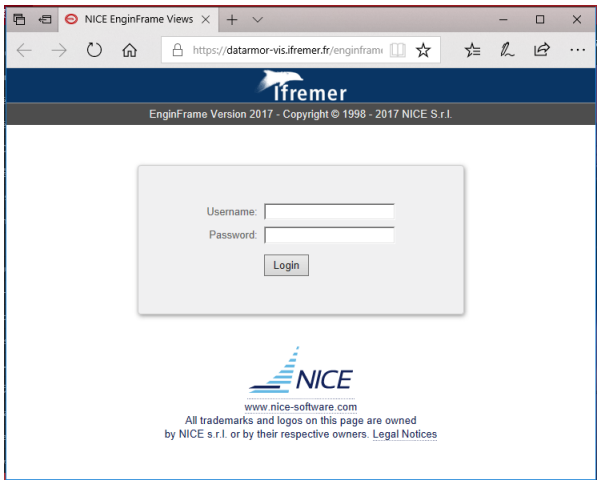


Figure 5-2 Le page de connexion pour datarmor-vis.ifremer.fr

5.7 Communication/Formations/Informations

5.7.1 Formations

Avant la mise en production de Datarmor, nous avons organisé une formation ciblant les futurs nouveaux utilisateurs de la machine et les anciens utilisateurs de CAPARMOR dont l’arrêt était programmé dans la prestation d’installation de Datarmor. L’objectif était de présenter la nouvelle machine et de prévenir d’éventuels soucis de portage pour leurs applications.

dates	lieu	cible	Nombre de personnes
25/4/2017	IUEM	Formation Datarmor	20
5/5/2017	SHOM	Formation Datarmor	19
Mai 2017	Ifremer Brest	Formation Datarmor	40
Juin 2017	Ifremer Brest REM/GM	Formation Datarmor	9

Le calendrier de passage à Datarmor a ainsi pu être respecté.

5.7.2 Journée des utilisateurs (2016)

Une Journée de rencontre des utilisateurs du Pôle de Calcul Intensif pour la Mer a été organisée le 30 septembre 2016 sur le centre Ifremer de Brest. Elle a réuni une soixantaine de participants et favorisé les échanges et retours d’expérience sur Caparmor.

Quatre types de présentations ont permis d'alimenter les discussions :

- présentation du projet Datarmor,
- DATARMOR et perspective scientifique,
- présentations sur 'Datarmor Challenge',
- les diverses applications scientifiques sur CAPARMOR.

L'ensemble des présentations est disponible sur http://wwz.ifremer.fr/pcim/L-animation/Journee-2016.

Figure 5-3 Mot d'ouverture par Anne-Marie Treguier Directrice IUEM

Figure 5-4 Session Poster @

Figure 5-5 Mot d'ouverture par Antoine DOSDAT (Directeur Centre Ifremer de Bretagne)

5.7.3 Site Web PCDM

Le site Web Internet du « Pôle de Calcul et de données pour la Mer » a été actualisé à l'occasion du lancement de Datarmor (http://wwz.ifremer.fr/pcdm). Il contient des informations générales sur l'infrastructure Datarmor (configuration technique, gouvernance) et propose un lien vers un « espace utilisateur » (Figure 5-6), qui contient les documentations, modes d'emploi de datarmor, diverses informations d'organisation et de versions logicielles. L'onglet « les données » contient le catalogue des données de référence (Figure 5-7), avec ses métadonnées descriptives au format ISO19115.

Les communications des journées utilisateurs passées, les rapports d'activités passés de Caparmor sont également disponibles sur le site.

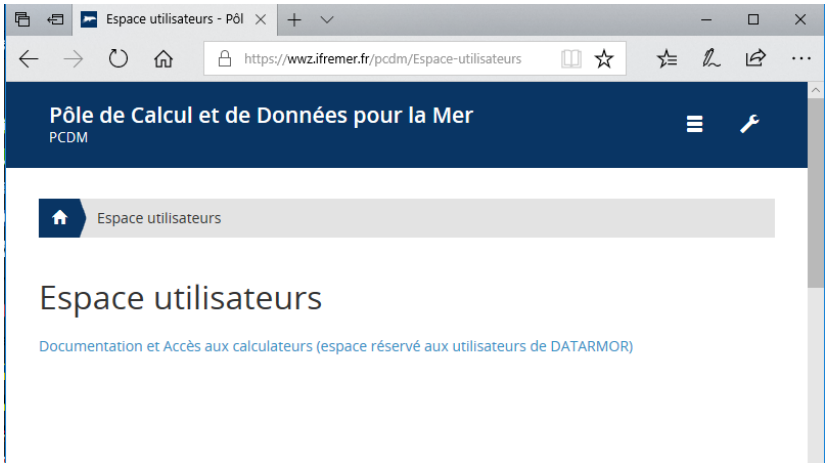


Figure 5-6 'Espace utilisateurs' sur le site web PCDM

Figure 5-7 'Les données' sur le site web PCDM

6 Les exemples d'utilisation du PCDM

6.1 Recherche académique

6.1.1 Le modèle OSMOSE (halieutique)

OSMOSE est une plate-forme de modélisation écosystémique conçue sous la forme d'un modèle individu-centré pour simuler la dynamique des communautés de poissons. L'hypothèse centrale d'OSMOSE est que la prédation est un processus opportuniste qui dépend d'une part de la taille relative proie / prédateur et d'autre part de la probabilité qu'un prédateur croise sa proie à un endroit donné et un instant donné.

En 2017, plusieurs applications d'OSMOSE ont utilisé les ressources de CAPARMOR, puis DATARMOR.

a) Détermination de points de référence pour indicateurs écosystémiques

Florence Briton, Yunne Shin (IRD, MARBEC) et Lynne Shannon (Marine Research Institute, UCT).

Le début des années 2000 a marqué un tournant dans la façon dont la gestion des pêcheries devait être pensée.
L'approche mono-spécifique, qui ne considère qu'une seule espèce, a été peu à peu remplacée par une approche écosystémique (< Ecosystem Based Fisheries Management >, EBFM ci-après). En effet, certaines espèces ne peuvent pas être considérées indépendamment des autres, notamment en raison des interactions trophiques, de la compétition pour les habitats et des prises accessoires.

Afin de progresser dans l'implémentation des EBFM, il est nécessaire de s'appuyer sur des indicateurs écosystémiques, qui fournissent des informations sur l'état de santé des écosystèmes.

Associés à ces indicateurs, les points de référence nous informent de la situation d'un écosystème quand un certain objectif est atteint ; il peut s'agir de cibles à atteindre (maximisation des rendements de pêche par exemple) ou de limites à ne pas franchir (dans une perspective de conservation par exemple).

Cependant, les stratégies de pêche ayant un impact sur la structure et la productivité des écosystèmes, il est attendu qu'un même objectif puisse être atteint à partir de différents scénarios de pêche, induisant une variabilité des points de références en fonction de ces scénarios. Cette variabilité a été estimée dans le cadre d'un stage de Master 2 effectué par Florence Briton.

200 scénarios de pêche ont été générés pour l'écosystème du Sud Benguela, composé de 8 espèces, à partir du modèle OSMOSE. Certains paramètres du modèle ont d'abord été calibrés à partir d'un algorithme de calibration. Puis chaque scénario a été intégré pendant 80 ans (dont 60 ans de spin-up) et les sorties ont été moyennées sur les 20 dernières années de simulation. De plus, OSMOSE étant un modèle stochastique, chaque scénario a été répété 30 fois, afin d'extraire une moyenne d'ensemble. Ce sont donc plus de 6000 simulations OSMOSE qui ont été jouées sur la machine DATARMOR.

Ces simulations ont permis de confirmer la forte variabilité des points de référence en fonction des scénarios de pêche, soulevant la nécessaire prudence dans l'utilisation des points de référence dans la mise en oeuvre d'EBFM.

b) OSMOSE-MED : un modèle écosystémique intégré pour comprendre et gérer les ressources d'une Méditerranée sous pressions

Fabien Moullec, Laure Velez, Nicolas Barrier, François Guilhaumon et Yunne-JaiShin (UMR MARBEC), Philippe Verley (UMR AMAP) et Caroline Ulses (Laboratoire d'Aérologie, Toulouse).

La Méditerranée représente l'un des plus grands réservoirs de biodiversité à l'échelle mondiale.
Plus qu'un point chaud de biodiversité, celle-ci se transforme progressivement en un point chaud du changement global sous les effets combinés de la surexploitation des ressources marines et du changement climatique. Pour être en mesure d'émettre des avis scientifiques sur la stratégie à adopter pour une gestion écosystémique des ressources à l'échelle du bassin méditerranéen, il existe un véritable défi scientifique à développer nos capacités de représentation explicite des dynamiques spatiales multi spécifiques sous l'influence combinée de la variabilité climatique et de la pression de pêche.

En dépit d'un grand nombre de modèles développés localement ou régionalement, aucun travail de modélisation n'a envisagé de projeter des modifications des assemblages d'espèces à l'échelle du bassin méditerranéen avec une modélisation explicite intégrée (à la fois multi spécifique, spatiale, trophique, basée sur les traits de vie, représentant le cycle de vie entier des espèces) des dynamiques de la richesse spécifique. Dans cet objectif, un modèle end-to-end, s'appuyant sur le couplage d'un modèle de hauts niveaux trophiques OSMOSE à des modèles de physique et de biogéochimie NE-MOMED 12 et ECO3M-S, a été développé : OSMOSE-MED. Il s'agit du premier modèle trophique de ce type intégrant une aussi grande richesse spécifique et sur une échelle spatiale aussi vaste.

La calibration du modèle OSMOSE-MED, toujours en cours, est effectuée sur le calculateur

DATARMOR (36 noeuds de calculs monopolisés). Il s'agit, par stratégie d'estimation inverse de paramètres, de simuler les biomasses et captures observées pour une centaine d'espèces évoluant en Méditerranée.

A terme le modèle OSMOSE-MED pourra être utilisé pour (i) étudier la structure et le fonctionnement trophique de la mer Méditerranée, (ii) analyser les effets combinés du changement climatique et de la pression de pêche sur le réseau trophique méditerranéen, (iii) tester des scénarios de gestion écosystémique des pêches dans un contexte de changement climatique.

6.1.2 Le modèle APECOSM (halieutique)

a) FISH-MIP, Projet d'inter-comparaison entre modèles d'écosystèmes marins exploités

Olivier Maury (IRD, MARBEC), Nicolas Barrier (IRD, MARBEC)

ISI-MIP est une initiative lancée par la communauté de modélisateurs pour fournir des études globales d'impact intersectorielles, en s'appuyant sur les scénarios RCPs (Representative Concentration Pathways) et SSPs (Shared Socio-Economic Pathways).

Le projet FISH-MIP (Fisheries and Marine Ecosystem Model Intercomparison Project) est un des nouveaux secteurs d'ISI-MIP et inclut plus d'une quarantaine de modélisateurs marins du monde entier. L'objectif est de rapprocher et d'étudier des modèles disparates afin de mieux comprendre et prédire les impacts du changement climatique sur la pêche et les écosystèmes marins.

Le modèle APECOSM est l'un des modèles du projet FISH-MIP.

Les premières simulations avaient été effectuées sur la machine CAPARMOR, mais l'analyse des résultats de ces simulations ont mis au jour certains bugs (problèmes dans les forçages en entrée, problèmes de masque terre-mer). Ces bugs ont été corrigés et les simulations suivantes ont été rejouées sur DATARMOR :

IPSL-CM5A-LR, simulation historique, 1951-2005
IPSL-CM5A-LR, RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0, RCP 8.5, 2006-2100

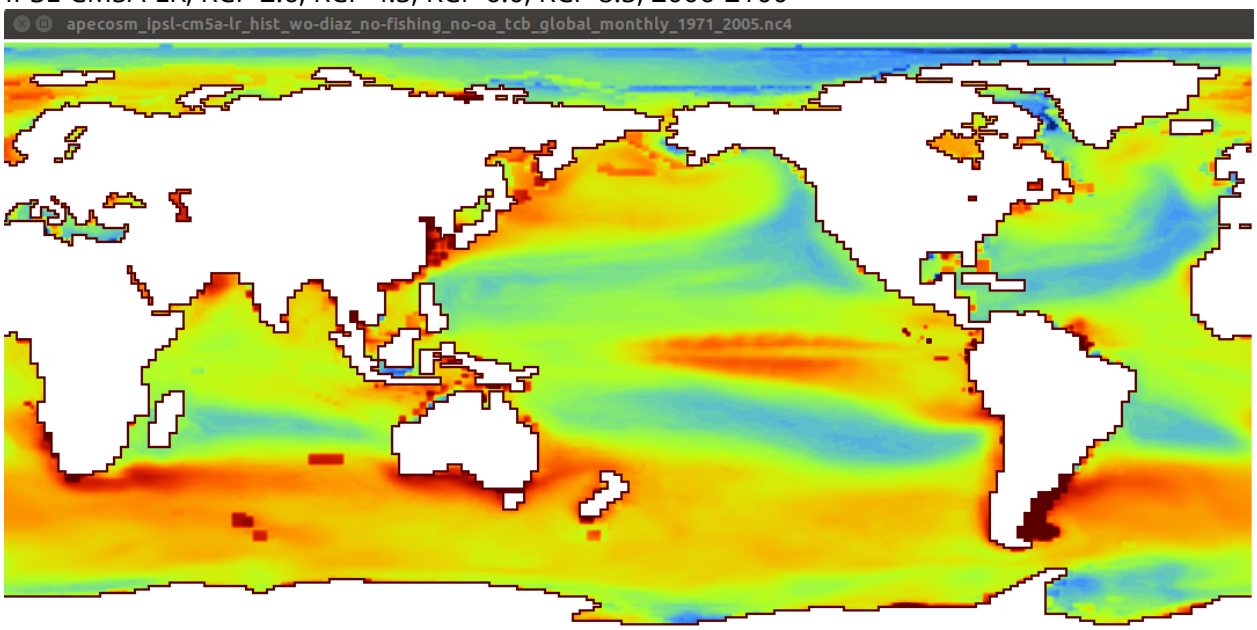


Figure 6-1 { Biomasse totale des consommateurs, Janvier 1971, simulation APECOSM forcée par la simulation historique IPSL-CM5A-LR

Les nouveaux résultats de ces simulations sont intégrés dans un article qui a été soumis dans le journal Nature Climate Change.

b) Couplage du code APECOSM et du code NEMO-PISCES (halieutique-physique)

Nicolas Barrier (IRD, MARBEC), Olivier Maury (IRD, MARBEC) et Olivier Aumont (IRD, LOCEAN)

En prévision de plusieurs projets à venir (projet ANR CIGOEF par exemple), un couplage du modèle écosystémique APECOSM (codé en C/C++) avec le modèle physique biogéochimique NEMO-PISCES (codé en Fortran) est en cours de développement. L'objectif de ce couplage est d'estimer les rétroactions des niveaux trophiques supérieurs sur la biogéochimie (via la prédation, l'excrétion et l'égestion), ainsi que d'estimer la contribution du mélange induit par les mouvements des poissons (< biomixing >) sur le mélange océanique total. Et ceci dans le cadre de simulations historiques ou de scénarios de changement climatique (scenarios RCP) effectués dans le cadre de CMIP6.

L'intérêt de ce couplage est de bien cloisonner les développements d'APECOSM (développé au sein de l'UMR MARBEC) et de NEMO-PISCES (développé au LOCEAN), et ainsi de bénéficier, à moindre coût, des dernières versions de chaque modèle dans ces simulations couplées.

Mais de nombreuses difficultés techniques sont à surmonter. Premièrement, les structures des champs multidimensionnels de ces deux modèles sont très différentes, et par conséquent difficiles à concilier. Deuxièmement, la gestion des échanges de variables entre processus MPI est aussi effectuée de manière différente par ces deux modèles, ce qui complique encore la mise en œuvre du couplage.

Une première tentative de couplage a été effectuée avec succès sur une configuration idéalisée du modèle NEMO-PISCES (basée sur la configuration GYRE-PISCES, constituée d'un petit bassin fermé aux frontières contenant 32*22 points de grille). Une autre tentative de couplage, basée sur une configuration globale à 2 degrés (adaptée de la configuration ORCA2-OFF-PISCES) est actuellement en cours.

6.1.3 Gestion de l'aménagement des milieux eutrophisés (halieutique)

Romain Pete (Ifremer, MARBEC)

Dans le cadre du projet GAMELAG (Gestion de l'aménagement des milieux eutrophisés, post-doctorat 2015-2017), et plus particulièrement dans le but de déterminer la sensibilité et les incertitudes associées aux sorties de modèle, Romain Pete a utilisé les ressources de CAPARMOR/DATARMOR sur lesquelles il a réalisé ces analyses de sensibilité globales (méthodes de Morris et Sobol). Il s'agit de code R, parallélisé, permettant un grand nombre de simulations nécessaires à ces analyses.
Cette parallélisation a demandé du développement pour tourner sur DATARMOR et fonctionne maintenant en routine.

6.1.4 Estimation des paramètres des modèles de trajectoires (halieutique)

Nicolas Bez (IRD, Marbec) et Stéphanie Mahévas (Ifremer Nantes, EMH)

La machine de calcul Datarmor est utilisée pour tester la convergence des algorithmes de calibration Espérance-Maximisation (E-M), utilisés pour l'estimation des paramètres des modèles de trajectoire. Ce sont des algorithmes itératifs nécessitant deux phases de calcul à chaque itération : la première phase consiste à calculer une espérance (en faisant comme si on connaissait certains paramètres) ; la deuxième phase consiste à la maximiser vis-à-vis des autres paramètres.
Cet algorithme est itéré jusqu'à ce que la convergence, inconnue mais qui existe théoriquement, soit atteinte, ce qui nécessite un grand nombre d'itérations.

6.1.5 Modélisation des interactions entre la turbulence mésoéchelle et sous-mésoéchelle et la marée interne pour l'altimétrie haute résolution (physique)

Aurélien Ponte, Michael Dunphy, Sylvie Le Gentil, Patrice Klein (Ifremer-CNRS UMR LOPS)

Les tourbillons mésoéchelle océaniques O(100-300km) et les structures sous-mésoéchelles O(1-50km) contrôlent les échanges entre l'intérieur et la surface de l'océan, contribuent au mélange océanique, et joue un rôle important pour le fonctionnement physique, climatique et biogéochimique des océans (Capet et al. 2008, Klein and Lapeyre 2009; Ferrari 2011; Levy et al. 2012). Notre groupe mène des recherches de premier plan sur le sujet. Nos résultats sont obtenus grâce à des simulations numériques de haute résolution (jusqu'à 1km horizontalement et 200 niveaux verticaux) produites sur des machines telles que Curie. Certains de ces nouveaux résultats numériques et théoriques (Klein et al. 2009, Ponte et al. 2013, Ponte & Klein 2013) sont utilisés à l'heure actuelle pour le développement de l'altimétrie à large fauchée telle que la mission SWOT menée par le CNES (France) et la NASA (US). Ces nouveaux instruments vont fournir une perspective exceptionnelle de l'activité océanique de fine échelle et son impact sur la plus grande échelle (3000 km). De récentes études (Richman et al. 2012; Shriver et al. 2013) ont cependant révélé un obstacle significatif au succès de ces missions satellite : l'existence de la marée interne qui traduit une perturbation de la stratification océanique par les courants de marée. Ces études suggèrent que la contribution de la marée interne aux fluctuations « fine échelle » du niveau de la mer observée par SWOT et COMPIRA dans la partie Est des bassins océaniques seront plus importantes que prévues. Il sera également difficile de distinguer cette contribution de celle due à la mésoéchelle et la sous-mésoéchelle à cause des fortes interactions non-linéaires entre ces processus.
Ce projet vise à mieux comprendre les interactions non-linéaires entre la marée interne et les mouvements mésoéchelle et sous-mésoéchelle, ce qui a été peu réalisé jusqu'à présent. La résolution visée par ce projet est la même (1km) que pour les études déjà réalisées qui se concentraient exclusivement sur la turbulence mésoéchelle et sous-mésoéchelle. Un objectif de ce projet est de fournir des bancs d'essai pour développer des méthodes estimant la circulation océanique 3D à partir de SSH haute résolution (comme celle qui sera mesurée par SWOT et COMPIRA). Pour atteindre ces objectifs, les simulations numériques de haute résolution doivent être réalisée sur de grands domaines O(1000km) avec une intégration temporelle sur plusieurs années. La taille de ces simulations nécessite des ressources de calcul importantes qui ne peuvent être obtenue qu'au niveau national (GENCI) et européen (PRACE). CAPARMOR et DATARMOR jouent un rôle clé pour la mise en place de ces configurations, leur spin up qui est effectué à plus basse résolution, et enfin la préparation des projets GENCI et PRACE.

Simulations numériques produites sur Caparmor.

En 2016, Caparmor a été une ressource précieuse afin de développer des simulations numériques de l'interaction entre la turbulence mésoéchelle produite par un jet barocliniquement instable et une onde plane de marée interne. La configuration numérique classique consiste en un canal de 1000 km par 3000 km d'une résolution de 4km (250x750 grid) avec une profondeur de 4000 m divisée en 50 niveaux verticaux. L'intégration numérique est typiquement réalisée sur quelques années. Le modèle numérique est ROMS AGRIF.

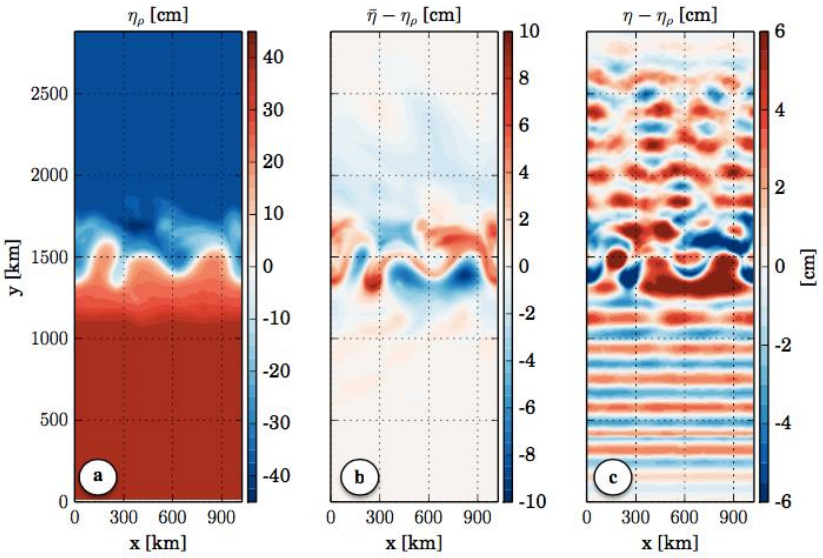


Figure 6-2 : a/ signature sur la hauteur de l'océan de la turbulence quasi-géostrophique estimée à partir de la température de surface du modèle et de la méthode développée grâce aux simulations numériques produites lors du projet. Ce genre d'estimation pourrait être effectué avec des données satellite. b/ Différence entre la signature de la turbulence quasi-géostrophique et l'estimation présentée en a/. c/ Différence entre la valeur instantanée du niveau de la mer et l'estimation obtenue via la température de surface. Cette différence illustre la bonne extraction du signal associé à l'onde interne. Ces résultats ont abouti à la rédaction d'une publication en cours de révision (Ponte et al.)

6.1.6 Expérience temps-réel de modélisation atmosphérique en Iroise

Valérie GARNIER (Ifremer – LOPS) (physique)

Un des objectifs du projet «Action vers une Modélisation Intégrée Côtière Opérationnelle (AMICO)» est de mieux comprendre et modéliser, à l'échelle côtière, les interactions des couches limites atmosphériques et océaniques en prenant en compte de manière réaliste l'état de mer. In fine seront proposées des recommandations pour les services de modélisation opérationnelle côtière.

Dans ce contexte, une expérience temps-réel de modélisation atmosphérique a été menée, en collaboration avec le Centre National de Recherches Météorologiques de Météo France, durant la campagne à la mer BBWAVES qui s'est déroulée en mer d'Iroise en septembre 2017.

L'objectif était d'évaluer la faisabilité temps-réel et la pertinence des informations fournies aux scientifiques embarqués.

La dynamique océanique à petite échelle est très sensible au forçage par le vent, qui lui s'ajuste de façon dynamique au champ de température de surface. Pour cette première expérience, seule la dynamique atmosphérique a été quotidiennement simulée à partir du modèle MesoNH forcé par les prévisions Arome de Météo-France (1.3 km de résolution) et la température de surface de la mer (500 m de résolution) issue du système de Modélisation et Analyse pour le Recherche Côtière (MARC) mis en oeuvre au LOPS sur la base du modèle océanique MARS.

En dehors de la configuration de la simulation, la principale difficulté résidait dans les délais de restitution aux scientifiques, les champs atmosphériques Arome étant disponibles à partir de 05h chaque nuit. Le système mis en oeuvre est décrit dans la figure ci-dessous. Les champs de forçages Arome sont préparés (formatage pour lecture par MesoNH) à Météo France, puis envoyés par ftp sur 2 machines Ifremer autorisées par Météo France. Ceux-ci transitent ensuite vers le calculateur Datarmor. Les champs horaires de température de surface de la mer sont eux-aussi formatés sur Datarmor directement - opération quasi instantanée - . Alors démarre la simulation atmosphérique MesoNH sur la zone Iroise. Dès la fin du run, les images de la situation sont produites en quelques minutes et mises à disposition sur des pages internet dédiées. Le processus complet a duré 5h30 et se termine à 11 h chaque matin.

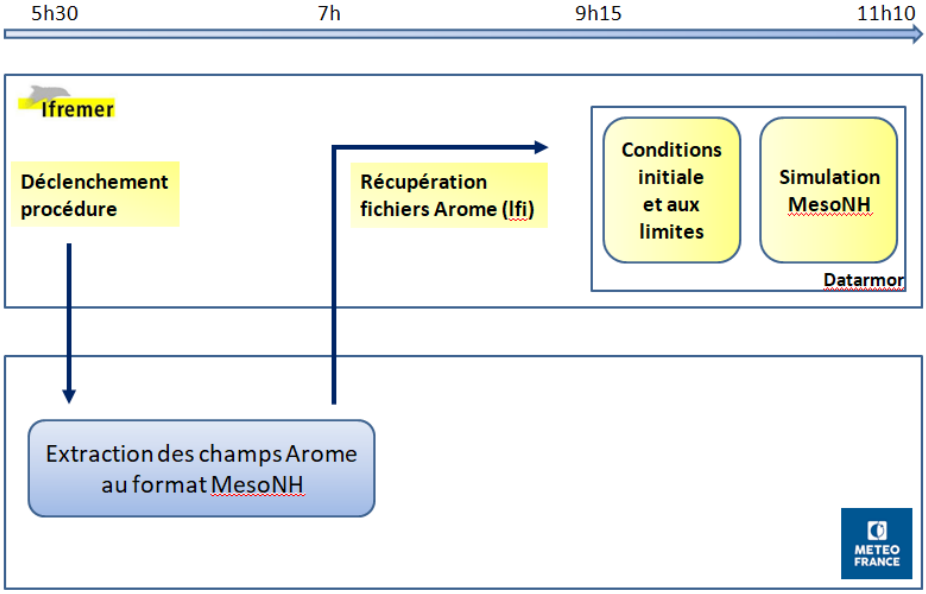


Figure 6-3 : Shéma synthétique de la procédure opérationnelle entre Ifremer et Météo France pour produire une situation atmosphérique simulée sur le calculateur Datarmor.

L'expérience a montré la faisabilité technique. Le calculateur Datarmor est efficace et permettra d'améliorer la résolution de la simulation. Par contre les délais d'extraction et transferts des champs Arome sont trop longs. Plusieurs pistes d'amélioration sont à l'étude avec Météo France. Les études scientifiques en cours montrent, quant à elles, l'importance d'exploiter une température de surface de la mer représentant un front de Ouessant réaliste mais aussi la nécessité de bien gérer la transition région – zone côtière (descente d'échelle), l'atmosphère ayant des échelles temporelles bien plus rapides que l'océan.

6.1.7 Projet ANR COMODO (physique)

Valérie GARNIER (Ifremer – LOPS)

Sur la base de cas idéalisés, la communauté française de modélisation océanique a proposé d'évaluer différentes méthodes et approches numériques communément exploitées par les modèles hydrodynamiques (projet ANR COMODO). L'un des cas test permet d'évaluer la résolution effective des modèles, c'est à dire l'échelle physique réellement simulée, échelle généralement de l'ordre de 7 à 10 fois la taille de la grille du modèle. Sur un spectre d'énergie cinétique, la résolution effective est définie comme l'échelle à partir de laquelle la dissipation est prépondérante.
Ce cas test est une reproduction idéalisée du Courant Antartique Circumpolaire (ACC) : le jet zonal barocline est instable et génère une dynamique méso et submésoéchelle (Figure 6-4). Grâce à la puissance des nouveaux calculateurs, la résolution numérique augmente et conduit à une répartition de l'énergie cinétique sur une échelle plus large. Cependant la dissipation numérique inhérente aux choix des méthodes numériques implémentées dans le modèle peut réduire la résolution effective. Ce cas idéalisé permet d'évaluer l'aptitude du modèle numérique à résoudre la dynamique submésoéchelle. Via cette expérience, Soufflet et al. 2006 ont montré que la dissipation numérique apparaissait dans différentes parties du code (advection-diffusion spatiale des moments et traceurs ainsi que algorithme du time stepping) et préconisent l'usage de schémas numériques d'ordre élevé pour des résolutions de grille inférieures à quelques km (pour restreindre l'échelle de dissipation aux petites échelles). Enfin, ils ont montré que le mélange diapycnal (entre différentes densités) parasite affectait la production de l'activité mésoéchelle.

Ce cas idéalisé a été simulé par le modèle MARS développé par l'Ifremer.

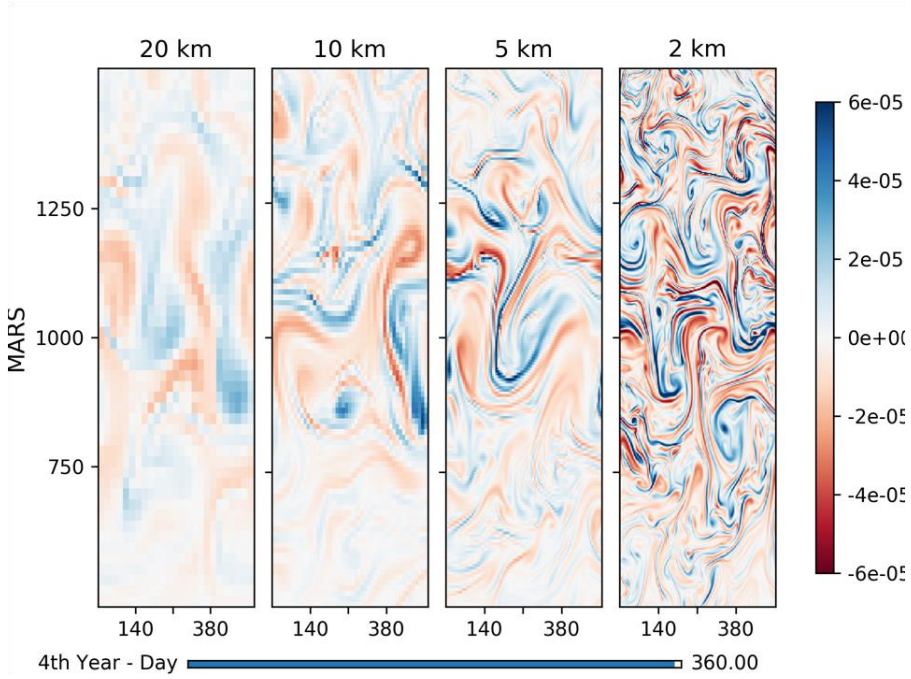


Figure 6-4 Vorticité relative à 10 m de profondeur simulée par MARS à 20, 10, 5 et 2 km de résolution.

Une étude de sensibilité sur la résolution spatiale (20, 10 , 5 et 2 km), sur les pas de temps (2400 s à 10 s) et sur l'implicitation du schéma temporel a confirmé les propriétés attendues du schéma temporel. A basse résolution (20 km), l'évaluation du spectre d'énergie cinétique est un bon diagnostic pour vérifier l'adéquation du pas de temps utilisé : un trop grand pas de temps induit une accumulation d'énergie à mésoéchelle. Toutefois, pour une utilisation normale du modèle dédié à la dynamique côtière, donc pour des résolutions inférieures à quelques km, la dynamique méso et submésoéchelle simulée par le modèle n'est pas dépendante des pas de temps et est tout à fait comparable aux résultats du modèle ROMS (CROCO dans le futur) (Figure 6-5).

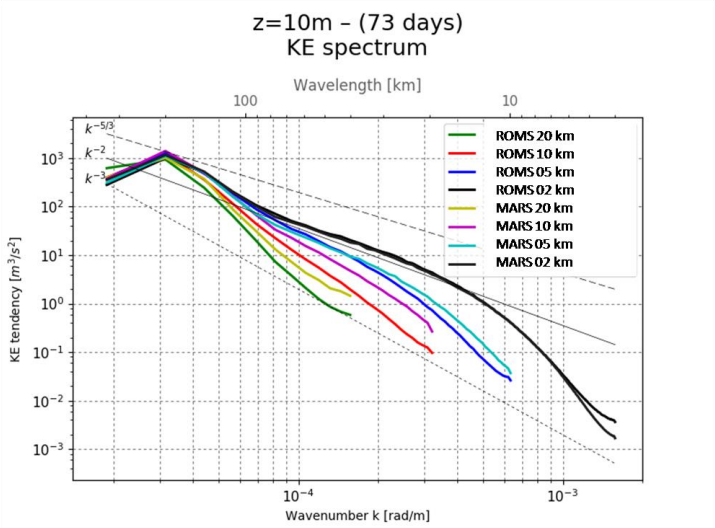


Figure 6-5 Spectres d'énergie cinétique près de la surface fonction de l'échelle spatiale représentée par le nombre d'onde (axe du bas) ou longueur d'onde (axe du haut). Les résolutions 20, 10, 5 et 2km sont représentées pour les deux modèles MARS et ROMS.

6.1.8 Variations interannuelles spontanées de la circulation océanique forcée par le vent - Un cas d'école revisité à haute résolution avec un modèle shallow-water parallélisé basé sur HYCOM (physique)

Thierry Huck et Patrice Bellec (LOPS, UMR 6523 CNRS/IFREMER/IRD/UBO, Plouzané)

Collaboration : Yves Morel (LEGOS, Toulouse), Eric Chassignet (COAPS/FSU, Tallahassee, USA)
La circulation océanique varie spontanément sur une large gamme de fréquence, par sa nature turbulente et ses interactions avec le cycle saisonnier et la variabilité atmosphérique synoptique, et induit ainsi des variations climatiques sur des périodes de quelques mois à plusieurs années. En océanographie, deux communautés distinctes ont étudié les variations océaniques globales en réponse aux changements du forçage atmosphérique (souvent avec des modèles océaniques à relativement basse résolution, 1° au 1/4° type Drakkar), et la variabilité turbulente associée aux courants de bord et aux tourbillons, bien représentée dans des modèles à plus haute résolution résolvant réellement les tourbillons méso-échelles (10-100 km), voire sub-méso-échelle (1-10 km, typiquement la communauté utilisant les modèles régionaux ROMS ou MARS). Les coûts calculs de ces derniers modèles étant exorbitants, il était rare de les intégrer suffisamment longtemps pour étudier leur contribution à la variabilité climatique. Mais plusieurs projets récents se sont attachés à documenter cette variabilité basse fréquence intrinsèque à l'océan dans les modèles réalistes, et son influence sur les

observations océaniques et leur interprétation : cellule méridienne, niveau de la mer... (CHAOCEAN, OCCIPUT, PI T. Penduff).
Nous avons choisi ici de revenir aux fondamentaux : la circulation océanique forcée par un vent constant dans le temps mais variant avec la latitude (alizés tropicaux, vents d'ouest aux moyennes latitudes et faiblissant vers les pôles), ce qui produit le traditionnel double-gyre constitué du gyre subtropical et du gyre subpolaire. Alors qu'un modèle à basse résolution, ne résolvant pas les échelles spatiales des tourbillons océaniques, va se stabiliser dans une circulation stationnaire, un modèle à plus haute résolution va représenter des processus turbulents à des échelles de plus en plus fines qui vont alimenter un spectre de variabilité de plus en plus riche et énergétique.

Nous avons utilisé le modèle HYCOM (HYbrid Coordinate Ocean Model), pour sa parallélisation MPI, que nous avons simplifié pour revenir aux équations shallow-water adiabatiques, et validé à basse résolution par comparaison à une version purement isopycnale de MICOM (Miami Isopycnic Coordinate Ocean Model, Herbette et al. 2003). Il n'y a donc ni couche de mélange, ni diffusion diapycnale, et la stratification initiale reste parfaitement conservée au cours du temps. La tension de vent est distribuée sur une couche d'épaisseur fixée à 50 m. Un schéma d'advection de quantité de mouvement d'ordre 4 est utilisé (Winther et al. 2007) avec une combinaison de viscosité biharmonique dépendant de la déformation et de la vitesse locales. La configuration idéalisée consiste en un bassin rectangulaire en coordonnées cartésiennes (15°N-55°N, 60° en longitude), à fond plat (3800 m) ou avec des topographies analytiques (dorsale, talus continentaux). Nous avons mené une série de simulations de résolution horizontale et verticale croissante, de 1/3° à 1/96°, et de 3 à 12 couches isopycnales. La densité et l'épaisseur des couches sont calculées à partir d'un profil exponentiel analytique ajusté sur une moyenne globale du World Ocean Atlas. Les expériences numériques sont intégrées pendant 100 ans à partir d'un état de repos initial (isopycnes plates, le spin-up prend alors plus de 30 ans), sauf le 1/96° qui est intégré pour un peu plus de 50 ans à partir d'un état initial extrapolé de l'état final du 1/48° (le spin-up prend alors quelques années). Les statistiques sont calculées sur les 50 dernières années.

Ces simulations sont analysées suivant plusieurs directions : circulation moyenne et niveaux d'énergie, variabilité basse fréquence, bilans de vorticité, en collaboration avec différents chercheurs.

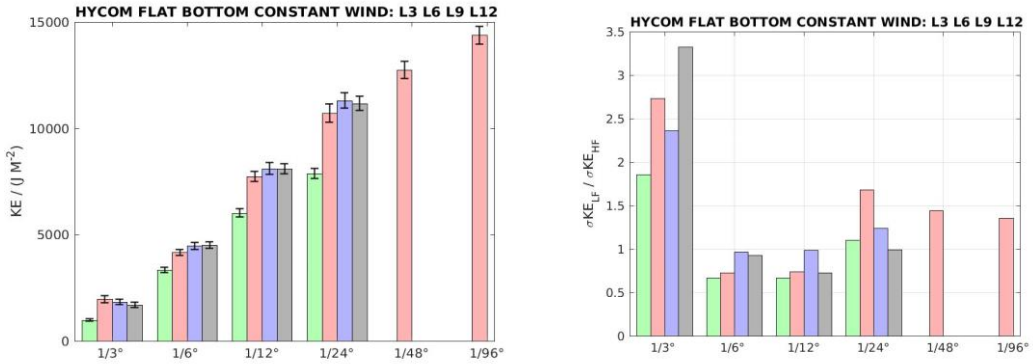


Figure 6-6 (gauche) Evolution de l'énergie cinétique (KE) totale et son écart-type (valeurs journalières) avec la résolution horizontale et verticale (3 couches en vert, 6 couches en rouge, 9 en bleu et 12 en gris). (droite) Evolution du rapport de la variabilité basse fréquence sur la variabilité haute fréquence (mesurées respectivement par l'écart-type de KE en moyenne annuelle et en moyennes journalières).

On observe que l'énergie cinétique totale (principalement turbulente, i.e. associée aux structures mésoéchelles intermittentes) augmente avec la résolution horizontale et verticale, alors que l'énergie potentielle disponible totale est à peu près constante. Les spectres d'énergie cinétique (KE pour Kinetic Energy) montrent une augmentation à toutes les échelles, notamment les plus grandes, et le rôle fondamental de la cascade inverse pour énergiser les grandes échelles. Nous avons proposé une définition de l'énergie potentielle disponible (APE pour Available Potential Energy) adaptée à ces modèles isopycnaux et montré l'équipartition de la partie turbulente de APE et KE et leur colocalisation (Colin de Verdière et al., en révision mineure dans JPO).

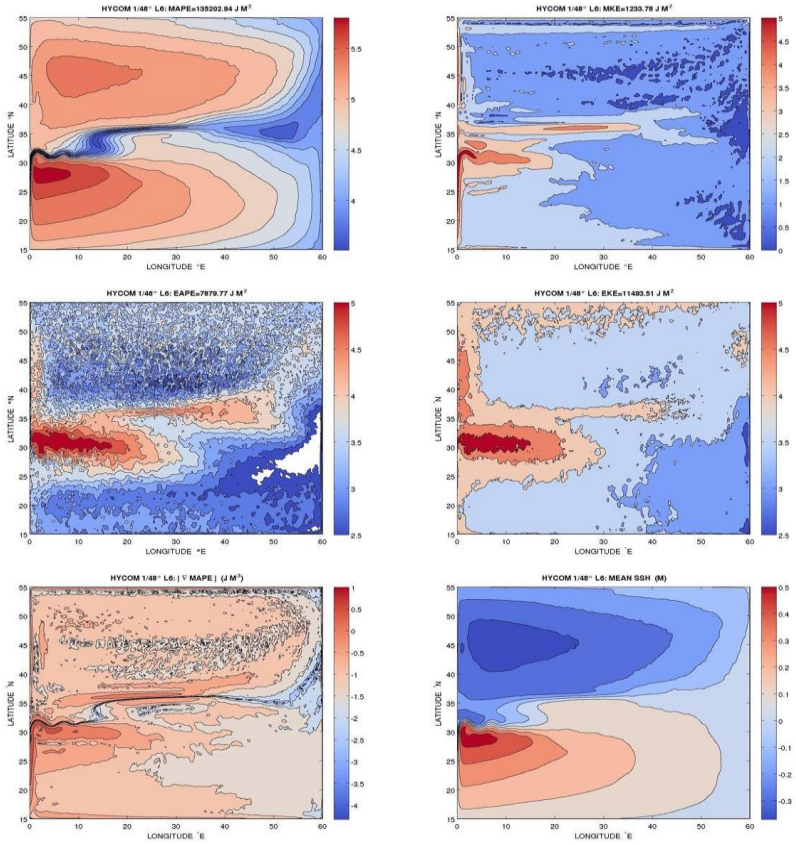


Figure 6-7 Bilan d'énergie pour la simulation HYCOM à 1/48° à fond plat : (haut gauche) Mean APE, log10 (J/m²), (haut droit) Mean KE, log10 (J/m²), (centre gauche) Eddy APE, log10 (J/m²), (centre droit) Eddy KE, log10 (J/m²), (bas gauche) gradient de Mean APE, log10 (J/m³), (bas droit) Mean Sea Surface Height (m).

L'émergence de variabilité basse fréquence de grande échelle reste encore mal définie et mal comprise. Elle a été plus souvent étudiée en dynamique simplifiée de type quasi-géostrophique ('turbulent oscillator', Berloff et al. 2007) et avec des méthodes issues des systèmes dynamiques ('gyre mode', Dijkstra et Ghil 2005). Ici, la variabilité basse fréquence liée à la circulation forcée par le vent s'avère sensible à la résolution (Huck et al. soumis à JPO), avec un changement de régime à 1/12° en fond plat, et semble amortie par la présence de bathymétrie.

Les perspectives de ces travaux sont nombreuses. Ils documentent une partie de la variabilité climatique naturelle liée à la turbulence océanique, et des processus qui la contrôlent. Les étapes suivantes prendront en compte les variations du vent, pour estimer les amplitudes relatives de la réponse océanique et de la variabilité interne, et finalement le couplage océan-atmosphère à haute résolution, pour prendre en compte la réponse atmosphérique aux intenses fronts océaniques liés aux tourbillons.

Ce travail s'intègre dans un projet CNRS/INSU/LEFE MesoVarClim : Méso-échelle Océanique et Variabilité Climatique (PI Olivier Arzel, 2016-2018).

expérience	grille / intégration	MPI/nprocs timestep	elapse/an coût total	CPU/gridpoint/timestep	machine durée totale	fréq. sorties stockage
R12L6 1/12°	721x481x6 100 ans	16x4=64 450/25s	1h30/an 9600h	2.37e-6 s	caparmor 13 jours	annuel 15Go
R24L6 1/24°	1441x961x6 100 ans	16x8=128 240/12s	5h/an 64kh	2.11e-6 s	caparmor 32 jours	annuel 57Go
R48L6 1/48°	2881x1921x6 100 ans	28x18=504 240/5s	16h/an 410kh	3.38e-6 s	caparmor 81 jours	annuel 228Go 5jour 164Go
R96L6 1/96°	5761x3841x6 55 ans	36x28 =1008 72/1s	44h/an 2.440Mh	2.78e-6 s	datarmor 130 jours	6mois1080Go

Tableau synthétique des expériences menées avec HYCOM shallow-water (6 couches isopycnales, bassin à fond plat) et de leur coût au PCIM/PCDM.

6.1.9 Calcul de matrices de connectivité à partir de MARS3D et application à la simulation de l'implantation d'une espèce invasive (crépidule) en Manche-Atlantique. (physique-biologie)

Alain Ménesguen (IFREMER/DYNECO/LEBCO)

La crépidule (Crepidula fornicata) est un mollusque gastéropode benthique (vivant posé sur le fond), qui peut vivre une douzaine d'années, sa coquille atteignant alors 6 cm environ. Les individus appartenant à différentes classes d'âge annuelles ont la particularité, quasi-unique parmi les mollusques, de s'assembler en chaînes pouvant compter un nombre maximal de 12 individus, classés par âges croissants du sommet vers la base de la chaîne. C'est une espèce hermaphrodite protandrique, les jeunes individus de haut de chaîne étant mâles, mais devenant femelles en vieillissant, donc en descendant vers le bas des chaînes. Bien qu'étant essentiellement benthiques et sédentaires, les crépidules relâchent en pleine eau les larves issues de l'éclosion de leurs œufs. Ces larves dérivent au gré des courants durant 4 semaines maximum, avant de se poser sur le fond, préférentiellement sur le sommet de colonies existantes, sinon sur un support dur (coquille vide, caillou…).

Cette espèce originaire de la côte atlantique d'Amérique du nord (Nouvelle Angleterre) a été introduite en Angleterre à la fin du XIXième siècle, à l'occasion de transfert d'huîtres. Dès le début du XXième siècle, elle a gagné les côtes belges, puis celles des Pays-Bas, du Danemark et de la Suède. Elle est parvenue sur les côtes françaises de la Manche grâce au débarquement de 1944 en Normandie et a gagné le littoral français suite aux échanges d'huîtres. C'est une espèce invasive, qui s'accommode de tout type initial de fond meuble, qu'elle peut totalement recouvrir en quelques dizaines d'années. Elle restreint donc l'espace offert aux espèces autochtones comme la Coquille Saint-Jacques, et modifie profondément la biodiversité locale.

Parce qu'elle structure spatialement sa population en colonies, et parce que c'est une espèce invasive perturbatrice des écosystèmes marins des côtes ouest-européennes, la

crépidule constitue un fascinant objet de modélisation écologique. Visant des durées de simulation centennales, cette modélisation nécessite l'aide d'un modèle hydrodynamique pour le calcul de dérive des larves, et la mise au point d'un modèle innovant de dynamique de populations, qui parvienne à simuler économiquement la structure des chaînes et leur occupation du sol.

Le travail mené en ce sens ces dernières années au laboratoire LEBCO du Centre de Bretagne d'Ifremer vient d'être publié dans 2 articles de la revue Ecological Modelling, le premier(1) présentant le modèle 0D d'occupation progressive du fond par des chaînes de crépidules, le second(2) couplant ce modèle 0D à un modèle 2D de transport des larves pour simuler de façon réaliste l'invasion observée des côtes de Manche-Atlantique au cours du siècle écoulé.

Dans le modèle 0D, un codage original de la structure des colonies par une matrice d'appariement (dénombrant tous les couples d'individus surmontant/surmonté) qui évolue année après année en fonction de la mortalité, du vieillissement et de l'apports de juvéniles a permis de montrer que, quelle que soit la population initiale, sa démographie converge toujours vers une distribution stable. Celle-ci correspond à une population de chaînes de différentes longueurs, leur moyenne étant bien de 4 individus comme observé en baie de Saint-Brieuc.

Dans le modèle 2D, le transport des larves au mois de mai a été résumé une fois pour toutes par une matrice de connectivité, donnant la probabilité pour une larve d'atteindre n'importe quelle maille du modèle hydrodynamique MARS-3D à partir d'un lâcher en n'importe quelle maille. C'est lors de cette phase qu'il est indispensable de disposer d'un calculateur puissant comme Datarmor, étant donné qu'il faut simuler la dérive d'autant de traceurs conservatifs qu'il y a de mailles dans le modèle bathymétrique. Pour couvrir la zone Manche-Atlantique de mailles de 12km de côté, le calcul de cette matrice de connectivité a été fait en 12h sur 56 processeurs parallélisés sous MPI. Plusieurs runs ont été faits pour tester divers comportements des traceurs conservatifs (dissous, particulaires avec diverses vitesses de chute…).L'intérêt de cette matrice de connectivité est de permettre ensuite une simulation en 15 mn sur un ordinateur portable de l'évolution de la population durant 100 ans sur la zone Manche-Atlantique. Les vecteurs propres de cette matrice désignent également les zones favorables à la fixation des larves.

Le modèle global a reproduit en moins de 50 ans l'occupation observée des fonds sur Manche-Atlantique, mais aussi sur un zoom en Rade de Brest (Figures 1a et 1b). Appliqué simultanément à la crépidule (individus en chaînes) et la Coquille Saint-Jacques (individus indépendants), le modèle montre la régression partielle de la population de Coquilles Saint-Jacques causée par l'invasion par la crépidule, atteignant localement 50% (Figures 1c et 1d).

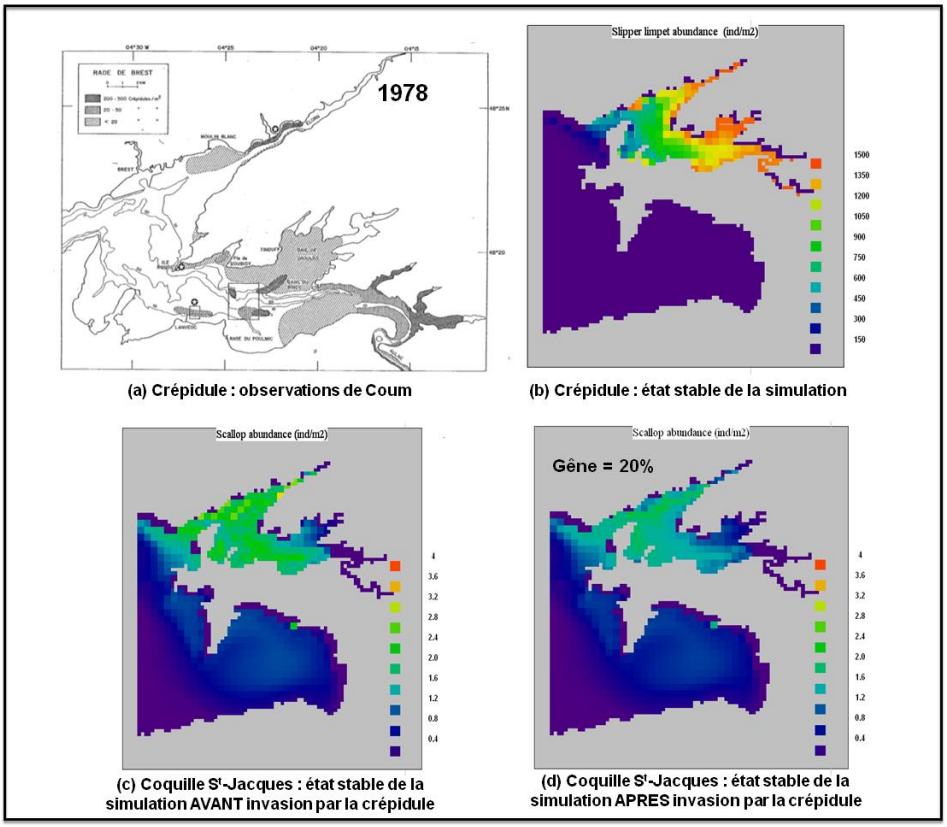


Figure 6-8 Distributions stabilisées de la crépidule observée (a) et simulée (b) en Rade de Brest et de la Coquille Saint-Jacques simulée avant (c) et après (d) l'invasion par la crépidule.

6.1.10 Performances des voiles (mécanique des fluides)

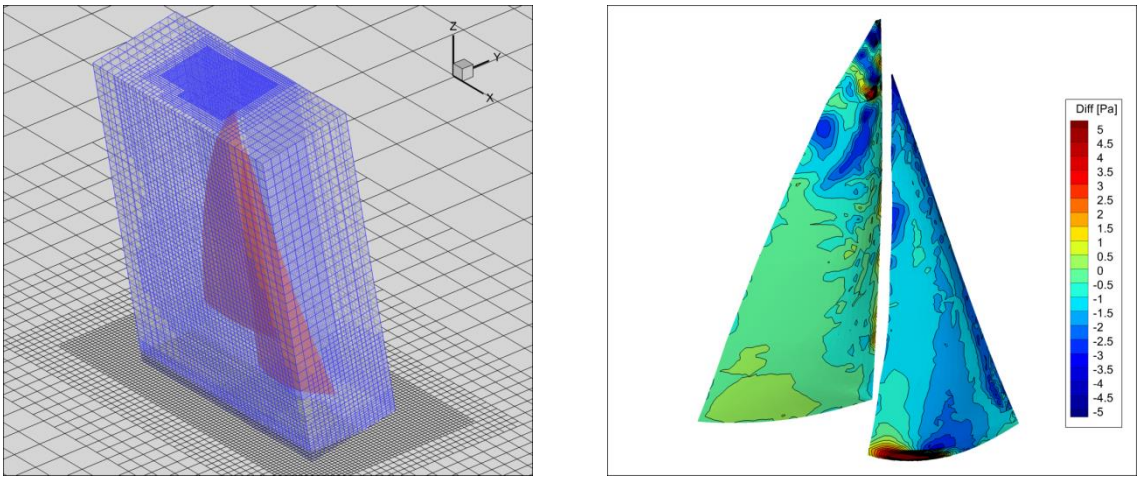
Mathieu SACHER (Ecole Navale)

L'équipe VOILENav du groupe « Mécanique et Energie en Environnement Naval » de l'Institut de recherche de l'Ecole Navale (IRENav) s'intéresse aux phénomènes physiques qui s'appliquent aux voiles de bateau. Ces phénomènes appelés interaction fluide structure font interagir la structure souple et légère qu'est la voile avec son milieu fluide environnant qui est l'air. Les recherches actuelles apportent une meilleure compréhension de ces phénomènes et permettent d'explorer ainsi de nouveaux matériaux, de nouvelles coupes, de nouveaux réglages qui restent encore à découvrir pour réaliser des voiles plus performantes. Bien que ce mode de navigation soit utilisé depuis des millénaires, des nouvelles perspectives d'applications modernes à grande échelle permettent d'espérer diminuer ou remplacer les consommations d'énergies fossiles par l'utilisation du vent pour le transport maritime en proposant une propulsion complémentaire ou alternative.

La conception de ces voiles innovantes repose désormais sur la simulation numérique fortement développée par le monde de la voile de compétition. Ces outils numériques nécessitent une phase de validation à l'aide de données expérimentales. L'équipe VOILEnav développe depuis plusieurs années un système sur voilier instrumenté de 8.5m (J80) qui mesure en navigation les efforts dans le gréement, les formes des voiles, les mouvements et la vitesse du bateau, la direction et la vitesse du vent. Les mesures sont réalisées en conditions stationnaires ou instationnaires comme lorsque le mouvement du bateau est soumis à l'action

des vagues ou de l'équipage. Ces données servent alors à valider les résultats des calculs numériques en réalisant de la comparaison numérique-expérimentale.

Dans le cadre de la thèse de Matthieu Sacher, dont la thématique concerne le développement de méthodes d'optimisation avancées pour résoudre le problème d'optimisation de la performance des voiliers, des calculs d'interaction fluide-structure (IFS) sur des voiles de Figaro sont réalisés. La modélisation IFS est effectuée à partir des outils numériques développés par la compagnie K-Epsilon et les calculs sont réalisés sur le cluster Datarmor de l'Ifremer. La Figure 1 ci-dessous présente un exemple de ces calculs où une méthode de maillage volumique overset est comparée à un maillage volumique classique. Les deux méthodes donnent des résultats très comparables en termes de distribution de pression sur les voiles, mais également au niveau des efforts internes du gréement (non présentés ici).



(a) Maillage volumique overset.

(b) Différences de pression entre le maillage classique et overset.

Figure 6-9 : Calculs IFS sur des voiles de Figaro.

6.2 Entreprises

6.2.1 Actimar

Actimar est une société de services principalement tournée vers les activités maritimes, et dont l'objectif est d'élaborer des produits spécifiques répondant aux besoins de tous les usagers de la mer. Actimar se spécialise dans la réalisation d'études météo-océaniques et littorales, développe des systèmes temps réel dans le domaine de l'océanographie opérationnelle, et propose des services à forte valeur ajoutée à partir de données de radars océanographiques.

Les activités d'Actimar sur le calculateur Datarmor consistent essentiellement à mettre en oeuvre et exploiter des modèles numériques dédiés aux écoulements à surface libre. Les modèles numériques permettent de répondre à de nombreuses problématiques d'aménagement dans le domaine littoral (étude d'impact, étude en courantologie, étude en sédimentologie, étude et modélisation de la houle en domaines côtiers et portuaires, étude de dimensionnement, ...).

Les deux exemples suivants illustrent le type de calculs réalisés grâce aux capacités du supercalculateur Datarmor, avec des codes parallélisés à l'aide des bibliothèques MPI.

EXEMPLE 1 : ETUDES MORPHODYNAMIQUES

Afin de réaliser une étude de modélisation morphodynamique en domaine littoral, il est nécessaire de mettre en oeuvre 3 familles de modèles numériques :

- Une modélisation spectrale des états de mer, calculant la génération, la propagation et la transformation des états de mer du large vers la côte ;
- Une modélisation hydrodynamique, calculant les niveaux d'eau et les courants en réponse à la propagation de l'onde de marée le long des côtes et aux effets atmosphériques ;
- Une modélisation sédimentaire, représentant le transport sédimentaire et les évolutions morphologiques associées sous l'effet des courants et des états de mer.

Ces trois modèles sont couplés et s'échangent des informations entre les différents pas de temps.

Ce type de modélisation vise à résoudre des échelles spatiales très fines (quelques mètres à dizaines de mètres) sur des échelles de temps longues pouvant aller jusqu'à plusieurs années ou plusieurs dizaines d'années. Les configurations mises en place requièrent donc des moyens de calcul importants, et leur exécution sur Datarmor est particulièrement adaptée. Sans cette ressource de calcul, ce type de modélisation serait inaccessible vis-à-vis des temps de calcul.

A titre d'exemple, voici quelques temps de calcul obtenus pour différentes configurations :

Nombre de points de grille	**Nombre de processeurs**	**Durée effective simulée**	**Durée de la simulation**
60 000	112	4 ans	24 heures
92 000	112	4 ans	34 heures
52 000	112	7 ans	12 heures
73 000	224	7 ans	17 heures
151 000	224	7 ans	40 heures

EXEMPLE 2 : ETUDES D'AGITATION PORTUAIRE

Les études d'aménagement portuaire visent à déterminer de manière précise les conditions d'agitation du plan d'eau à l'intérieur du port, notamment pour définir des critères de dimensionnement des structures intra-portuaires et pour améliorer le confort des usagers du port.

Deux types de modèle sont alors utilisés : une modélisation spectrale des états de mer du large vers la côte (aux abords du port), puis une modélisation de type Berkhoff prend le relais. En plus des ressources nécessaires pour ces calculs, ce type d'étude nécessite de tester de nombreuses conditions d'incidence des vagues et plusieurs scénarios d'aménagement des structures portuaires (digue, ponton, quai…) afin connaitre la réponse du plan d'eau à la géométrie portuaire et à ses aménagements vis-à-vis des différents forçages météo-océaniques.

Les moyens offerts par le supercalculateur Datarmor permettent de réaliser rapidement un nombre important de simulations.

6.2.2 Prévisions météorologiques pour la société Winds'Up

Winds'Up est une TPE spécialiste dans la mesure et la télétransmission par audiotel, web (http://www.winds-up.com) et applications mobiles des relevés de vent et de prévision de vent sur les principaux spots français, espagnols et italiens pour la pratique des sports nautiques (windsurf, kitesurf, surf, voile).

En plus de son activité historique de plus de 30 ans dans la mesure de paramètres métérologiques par le déploiement d'un large réseau d'anémomètres couvrant la France et le Nord de l'Espagne et de l'Italie, Winds'Up a développé un service météorologique (http://www.infosvent.fr) et régulièrement présenté au Salon Nautique. Ce service, à destination des usagers de la mer, ne se limite plus aux mesures et prévisions de la vitesse du vent sur des spots fixes mais sur des lieux de navigation grâce à un large réseau d'anémomètres propriétaires disposés sur les lieux même de pratique.

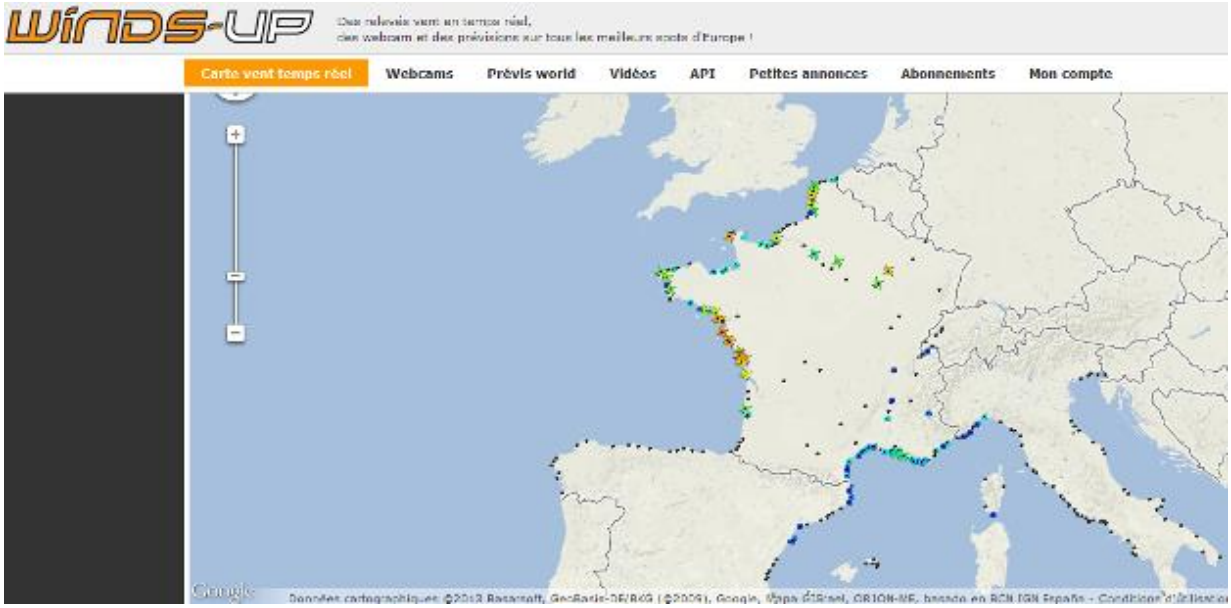


Figure 6-10 Carte des spots disponibles sur le site Winds'Up.

Le serveur de calculs DATARMOR permet à la société Winds'Up de réaliser des calculs de prévisions à partir du modèle atmosphérique à mésoéchelle non-hydrostatique WRF (Weather Research and Forecasting, http://www.wrf-model.org). Différentes mises à jour du code ont été réalisées depuis la version 3.2 à la 3.9 (version actuellement opérationnelle depuis mi-2017).

Les calculs utilisent le noyau dynamique développé par le National Center for Atmospheric Research NCAR (Advanced Research WRF). Les prévisions sont réactualisées quotidiennement et prennent en conditions initiales et limites les prévisions du run de 00 TU du modèle global GFS (Global Forecasting System) du NCEP (National Center for Environmental Prediction). L'horizon temporel de prévision est fixé à 72 h (soit 3 jours) avec une résolution temporelle de

1 h sur deux grilles de calcul imbriquées : l'une couvre la France à 7 km de résolution, l'autre couvre la Méditerranée à 2,3 km de résolution.

Les prévisions météorologiques consistent en la vitesse et la direction du vent à 10 m, la température à 2 m, la couverture nuageuse, la pression et les précipitations. Un exemple de prévisions sur la grille mère à 7 km (figure 6-10) et sur la partie orientale de la grille fille (figure 6-11).

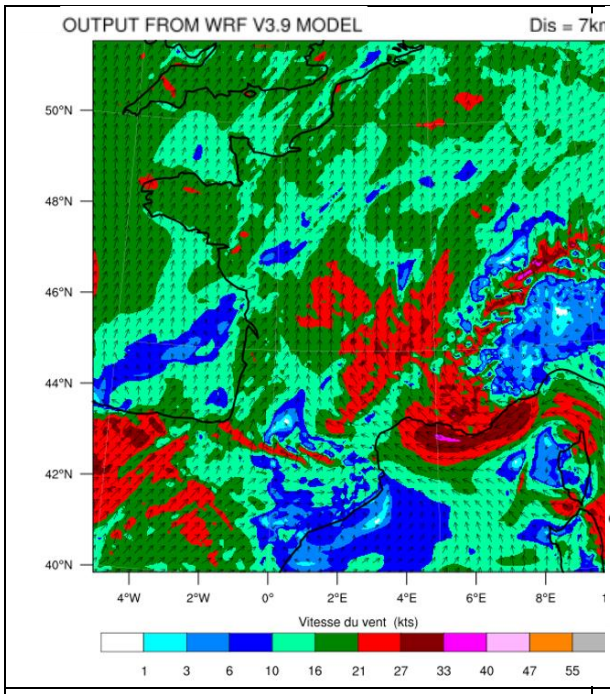


Figure 6-11 : Exemple de champ de vent à 10 m prévu le 3 avril 2018 à 12h TU (14h locale) sur la grille mère (résolution horizontale:7 km).

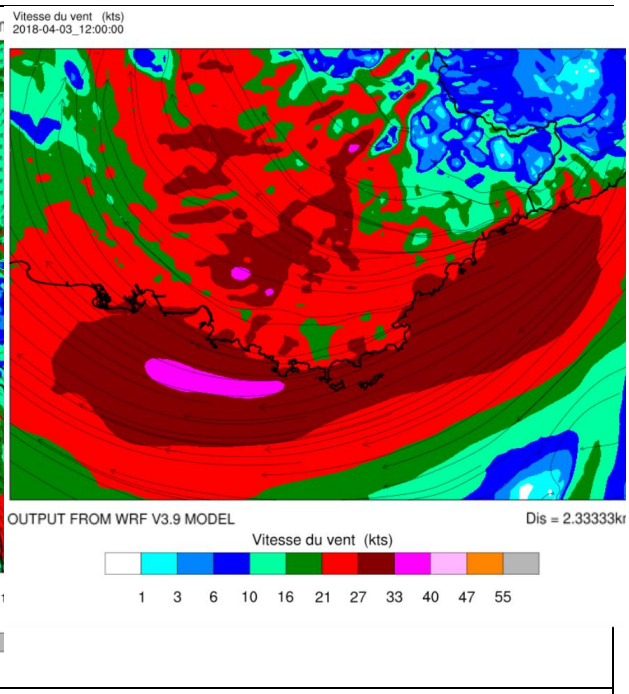


Figure 6-12 : Exemple de champ de vent à 10 m prévu le 3 avril 2018 à 12h TU (14h locale) sur la grille fille (résolution horizontale : 2.3 km)

Les prévisions sous forme de cartes ou de prévisions ponctuelles sont accessibles gratuitement sur les sites http://www.winds-up.com et http://www.infosvent.fr. Des exemples de prévisions sont présentés sur les figures 6-13, 6-14, 6-15 et 6-16.

Les utilisateurs des sites windsup.com et infosvent.fr sont très satisfaits de la qualité des prévisions (notamment les déclenchements brusques des vents en Méditerranée et leurs caractères turbulents bien reproduits par le modèle).

Toutes les prévisions sont archivées pour des utilisations possibles a posteriori (hindcast).

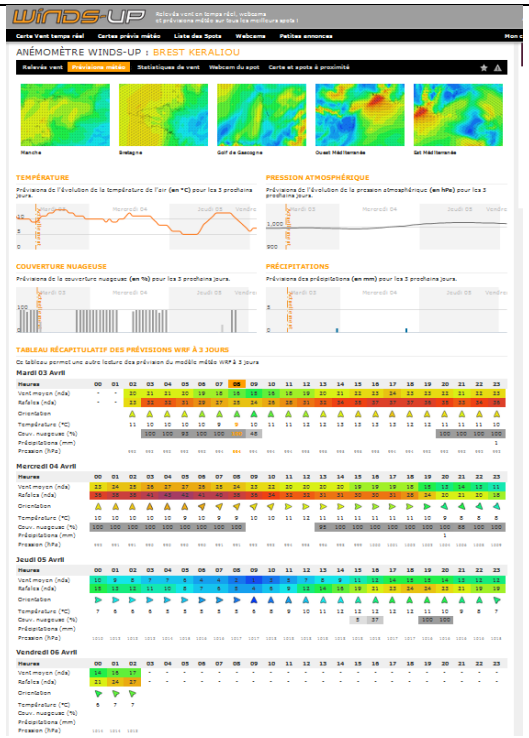


Figure 6-13 Prévisions météorologiques sur le spot de Brest Kéraliou du 3 avril 2018 00h TU (Source : http://www.winds-up.com)

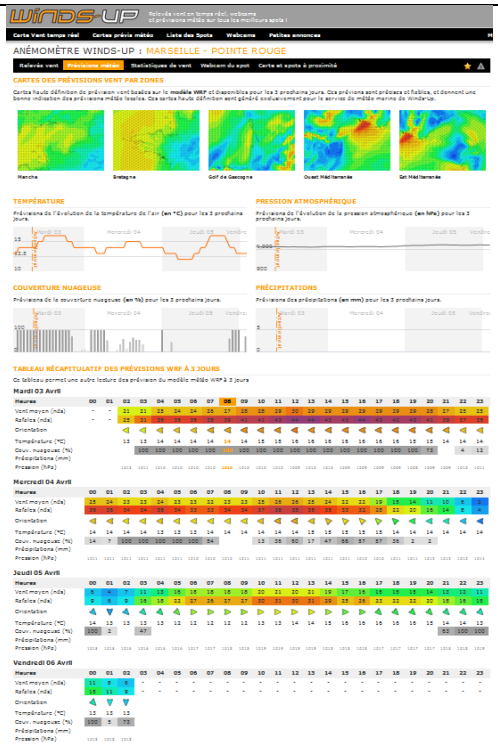


Figure 6-14 Prévisions météorologiques sur le spot de Marseille Pointe Rouge du 3 avril 2018 (Source : http://www.winds-up.com)

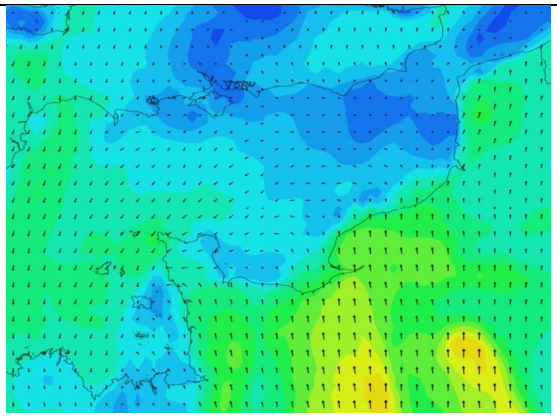


Figure 6-15 Prévisions du champ de vent à 10 m du 6 avril 2018 00h pour le 8 avril 2018 12h TU sur la zone Manche (Source : http://www.winds-up.com).

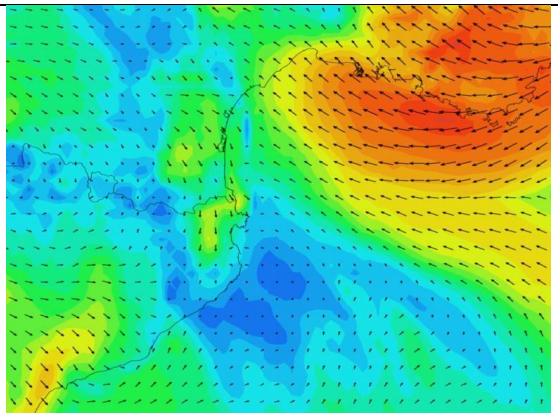


Figure 6-16 Prévisions du champ de vent à 10 m du 6 avril 2018 00h pour le 8 avril 2018 12h TU sur la zone occidentale de la Méditerranée (Source : http://www.winds-up.com).

6.2.3 HydrOcean

HydrOcean, filiale du Groupe Bureau Veritas, est une société spécialisée en hydrodynamique, aérodynamique et simulation numérique pour les domaines naval, offshore, nautisme et énergies marines. Elle propose des services d'aide à la conception permettant d'optimiser les performances de structure en mer (navires, plateformes, systèmes EMR, voiliers de compétition …) et de réduire les risques liés à leur conception. L'équipe est composée de 18 ingénieurs et docteurs en simulation numérique.

Exemple d'utilisation : « Evaluation des performances de manœuvrabilité d'un catamaran par la CFD »

Tout navire doit respecter des critères de manœuvrabilité définis par l'OMI. Les manœuvres les plus connues sont les girations et les zig-zag. La manœuvrabilité des navires peut être estimée soit par manœuvre directe, soit par le biais de modèles mathématiques alimentés par des coefficients issus de la littérature, d'essais en bassin de carène ou bien de calculs CFD. La CFD a l'avantage des permettre de réaliser des simulations à l'échelle réelle et donc de s'affranchir des incertitudes liées aux extrapolations de l'échelle maquette à l'échelle réelle. La simulation directe par simulation CFD permet de prendre en compte des géométries complexes difficilement modélisables par les modèles mathématiques.

L'objectif du travail présenté ici est d'évaluer les performances de manœuvrabilité d'un catamaran pour deux manœuvres :

- Zig-zag 20/20°
- Cercle de giration à 35°

Zig-zag 20/20°

Le principe de cette manœuvre est d'alterner l'angle des safrans entre 20° et -20°, en changent l'angle dès que l'angle du navire atteint respectivement 20° et -20°. L'objectif est de connaitre les angles de dépassement et les temps de giration du navire. La figure ci-dessous présente les résultats de la manœuvre de zig-zag 20/20°.

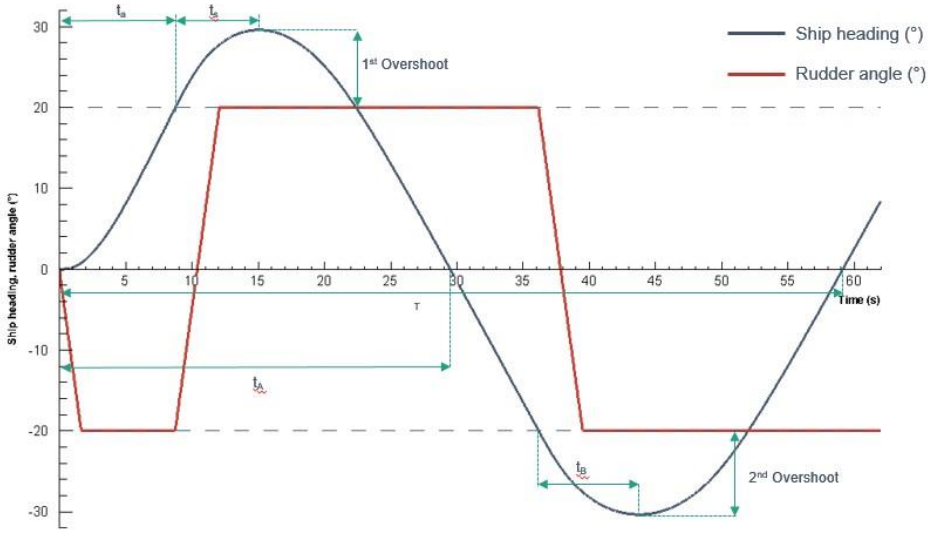


Figure 6-17 Zig-zag 20/20° manœuvre

Cercle de giration à 35°

Le principe de cette manœuvre est de braquer le safran à 35° jusqu'à ce que le navire fasse un 180°. Cela permet d'obtenir le diamètre tactique du navire, ainsi que les temps de changement d'angle pour 90° et 180°. La figure ci-dessous présente les résultats de la simulation avec un catamaran.

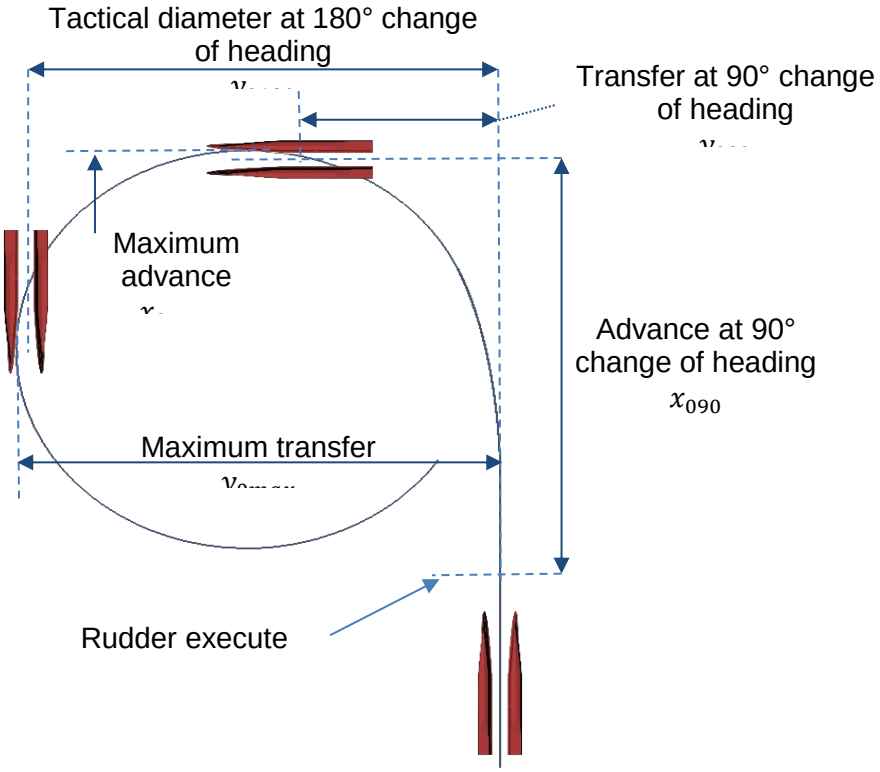


Figure 6-18 Cercle de giration à 35°

Ces deux simulations ont été réalisées avec le code de calcul Navier-Stokes à surface libre ISIS-CFD. Chacune de ces simulations a nécessité 1 semaine de calcul sur 224 CPU.

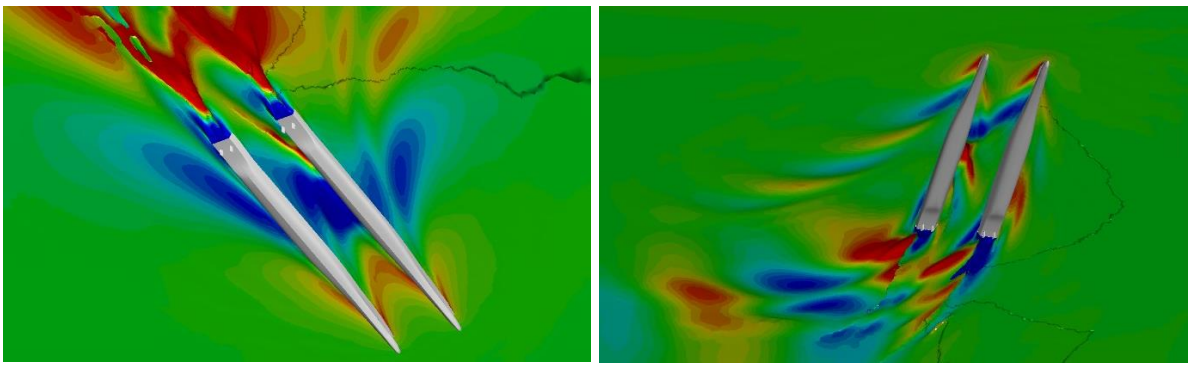


Figure 6-19 Vues des simulations de ZigZag (gauche) et giration (droite)

6.2.4 Nextflow Software

NEXTFLOW Software est une société spécialisée dans l'édition de logiciels dédiés à la simulation numérique en hydrodynamique et en mécanique des fluides. En partenariat avec le Laboratoire de Mécanique des Fluides de l'Ecole Centrale de Nantes, la société NEXTFLOW Software réalise le développement de plusieurs logiciels d'hydrodynamique particulièrement innovants et performants. NEXTFLOW Software propose des solutions à ses clients sur les secteurs maritime, automobile, offshore, aérospatial et de l'énergie. En particulier, sur le domaine maritime, NEXTFLOW Software développe une suite marine complète intégrant tous les logiciels développés par l'Ecole Centrale de Nantes, afin de proposer une boîte à outils complète couvrant les grands thèmes de l'hydrodynamique navale à surface libre. Un exemple de projet de R&D réalisé par NEXTFLOW Software en 2017 est présenté ci-dessous.

« Projet Marine CFD Online Platform - Plateforme d'optimisation de carènes avec accès au cloud computing »

Le projet est né du constat que la réduction de la consommation énergétique de navires passe prioritairement par l'optimisation des formes de carènes. Ce type d'étude met en œuvre des outils de simulation complexes, consommateurs de ressources aussi bien d'un point de vue du temps de préparation que du temps de calcul. L'accès à ce type de solution est à ce jour réservé à des industriels capables de réaliser des investissements importants, et de mobiliser des experts.

L'objectif du projet est de démocratiser l'accès à ces solutions, en simplifiant le processus de simulation (phases de préparation des calculs, automatisation du processus de maillage, et des post-traitements abordables), via l'utilisation d'une plate-forme déportée, en mode 'calcul à la demande'. L'utilisateur doit pouvoir obtenir des résultats simplement, à partir d'une géométrie de référence.

Il s'agit donc de mettre à disposition des futurs utilisateurs une plate-forme hébergée, dédiée aux calculs d'optimisation du domaine Marine, tout en masquant la complexité des travaux.

La première étape des travaux a consisté à l'identification et à l'industrialisation des briques logicielles nécessaires à l'exécution des simulations : maillage, déformations géométriques, calculs de résistance à l'avancement.

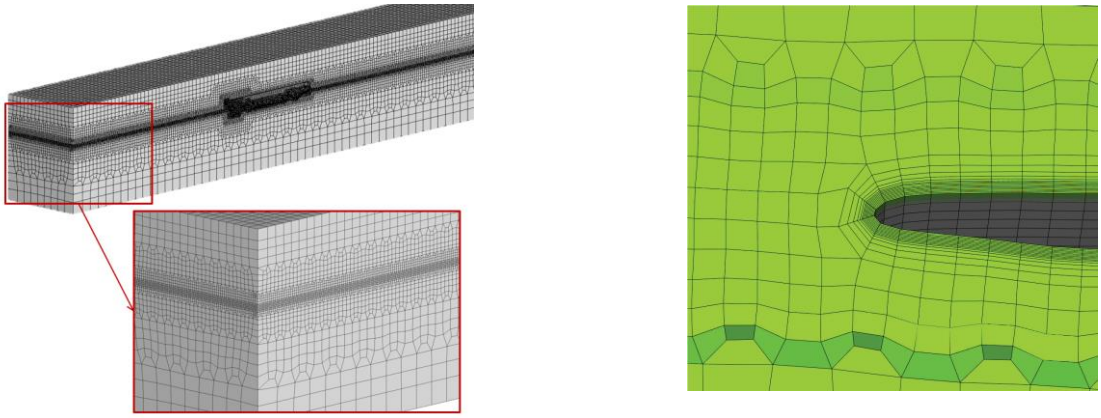


Figure 6-20 Exemples de maillages réalisés automatiquement avec la solution de NEXTFLOW Software

La seconde étape a consisté à l'intégration de ces briques dans une chaîne de calcul automatisée, selon des scénarii adaptés au métier de l'ingénieur naval.

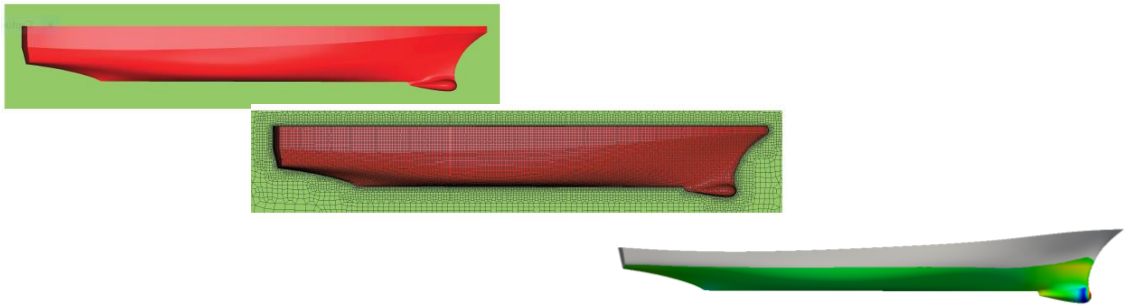


Figure 6-21 Un workflow complètement automatisé, pour aller de la CAO au résultat final

L'ensemble des travaux a été validé par un projet d'optimisation de forme de bulbe. Le gain théorique après optimisation, en régime nominal, est de 9.4%

		Speeds (knots)					
ID	48	12	15	18	21	24	Weighted Pe variation (%)
Draft (m)	9.5	-19.4%	-22.4%	-16.6%	-10.1%	/	-18%
	12	-19.7%	-13.7%	-9.5%	-5.2%	/	-12%
	13	-8.6%	-8.3%	-5.4%	-2.4%	/	-6%
	14	-5.0%	-4.6%	-2.6%	-0.5%	1.5%	-3%
Wegihted Pe variation (%)		-14.1%	-13.3%	-9.4%	-5.1%		

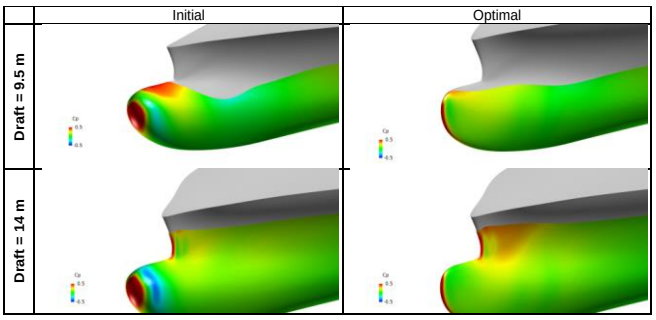


Figure 6-22 Mise en œuvre : optimisation de forme de bulbe

6.2.5 GEPS Techno - Estimation de la production d'énergie d'un système houlomoteur.

Geps Techno est une société d'ingénierie fondée en 2011. Elle développe et conçoit des solutions innovantes pour la récupération d'énergies marines, l'autonomie énergétique offshore et la stabilisation de structures flottantes.

Le Projet de R&D IHES

La solution développée par le projet IHES est un système intégré de stabilisation de plateforme marine récupérant l'énergie de stabilisation en énergie électrique. Cette solution est déclinée sous la forme de deux applications: **une application sur un flotteur propulsé** en stabilisateur passif pour navire et **une application sur un flotteur libre** en module de production d'énergie pour une alimentation autonome en mer. L'étude d'optimisation de l'application sur un flotteur libre est détaillée dans ce document.

Les partenaires du projet sont, en plus de Geps Techno, l'Ifremer, STX, l'Icam, Blue Solutions, SNEF et l'Ecole Centrale de Nantes.

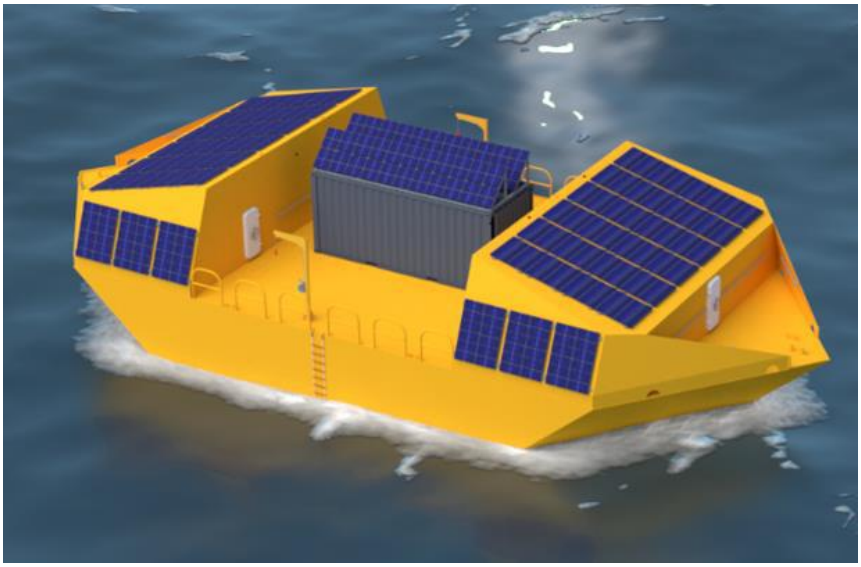


Figure 6-23 Plateforme IHES

Le système houlomoteur du projet IHES fonctionne comme suit: une cuve étanche placée sur le flotteur est partiellement remplie d'eau. Le mouvement du flotteur agite cette eau, et un système de clapets permet de créer un vortex. Une turbine est placée au cœur du vortex, et en extrait de l'énergie.

Optimisation de la production d'énergie

Le but de cette étude est de quantifier l'énergie produite par la plate-forme pour un état de mer considéré. Pour chaque configuration de système houlomoteur et de carène du flotteur, et pour un état de mer considéré, un processus de quatre étapes est mis en place:

- Calcul du comportement du flotteur en utilisant le logiciel de tenue à la mer Hydrostar.
- Choix d'un état de mer, et calcul de séries temporelles de mouvements sur les 6 degrés de liberté du flotteur à partir des résultats de tenue à la mer.
- Simulation des écoulements internes dans le système houlomoteur avec le logiciel CFD OpenFOAM.
- Utilisation des résultats de la simulation des écoulements internes comme données d'entrées d'un modèle, basé sur les équations d'Euler, permettant d'estimer la puissance produite par le module houlomoteur.

La simulation des écoulements internes avec OpenFOAM nécessite l'utilisation de Datarmor. Pour chaque configuration état de mer/géométrie du flotteur/géométrie des cuves, un calcul instationnaire est effectué afin d'obtenir les caractéristiques de l'écoulement dans le système. Le fonctionnement doit être simulé durant une durée suffisante pour que le comportement du système obtenu soit représentatif pour un état de mer considéré. Une importante capacité de calcul est donc nécessaire.

Le mouvement du flotteur et de l'eau dans le module houlomoteur de la configuration finale obtenue grâce à cette étude est ensuite validé avec succès par des essais au bassin à houle de l'Ifremer à Brest.

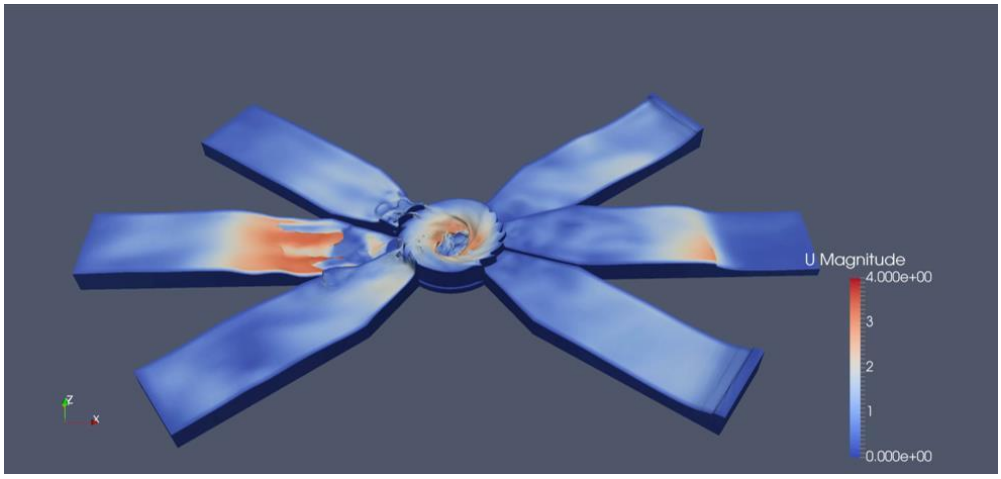


Figure 6-24 écoulement interne dans le système houlomoteur

6.3 Collaboration Entreprise et Académique

6.3.1 OPTIROUTES

OPTIROUTES est un projet FUI de 3 ans qui vise à réduire la consommation énergétique des navires, à améliorer leur sécurité et à augmenter leur durée de vie en intégrant dans les logiciels de routage une prise en compte précise de la réponse du navire à l'environnement dans lequel il évolue (état de mer, vent ...).

Pour cela, le projet consiste à mettre en place un outil de routage capable d'intégrer le comportement hydrodynamique, aérodynamique et hydro / structure du navire.

Les développements réalisés concernent non seulement le passage d'un modèle océano-météo global à un modèle déterministe représentatif pour l'étude des performances du navire sur un état de mer donné, mais aussi la réduction de modèle pour définir en un minimum de calculs les performances globales d'un navire, ou encore des algorithmes innovants de routage intégrant l'ensemble des objectifs et contraintes d'un routage multi-objectif.

A titre d'exemple, il sera possible de définir la route optimale d'un navire en minimisant sa consommation, avec la contrainte d'arriver au point d'arrivée à une heure précise, en tirant parti des effets du vent, tout en évitant des zones pour lesquelles la sécurité peut être critique (roulis paramétrique, impact de slamming ou de green-water ...).

Les travaux issus de ce projet permettront aussi d'améliorer les performances et la sécurité des navires dès le stade de la conception, dans un environnement réel incluant les vagues et le vent.

Le projet OPTIROUTES est labellisé par le Pôle Mer Bretagne Atlantique et le Pôle EMC2.

Les travaux menés jusqu'à maintenant ont porté sur l'amélioration des outils de prévision océano-météo et la mise en place du modèle navire avec l'étude de l'influence des paramètres physiques et numériques sur l'influence des coefficients hydrodynamiques et aérodynamiques en mer calme et sur houle.

Le modèle numérique de prévision de vagues WAVEWATCHIII ® est distribué par la NOAA, et son développement est réalisé par de nombreux instituts dont l'IFREMER. Le modèle résout l'équation d'équilibre de l'action des vagues dans le domaine des nombres d'onde et directions. Le calcul du spectre d'énergie discrétisé en fréquence et direction permet de représenter l'évolution spatio-temporelle de l'état de mer. Dans le cadre du projet, l'emprise géographique choisie pour couvrir au mieux le routage du navire est basée sur une couverture globale à une résolution spatiale de 0.5 degré avec deux sous-zones géographiques à une résolution de 0.15 degré sur la façade Atlantique Nord-Est ainsi que la façade Africaine incluant la mer Méditerranée, la mer Rouge, la partie Ouest de la mer d'Arabie.

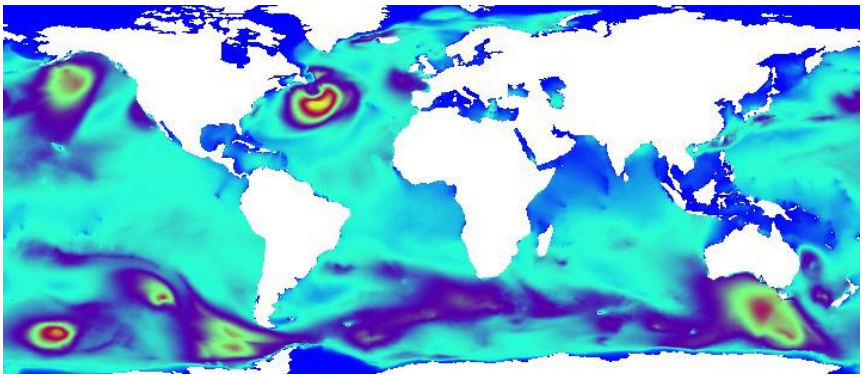


Figure 8 : grille globale à 0.5deg (30min) de résolution spatiale

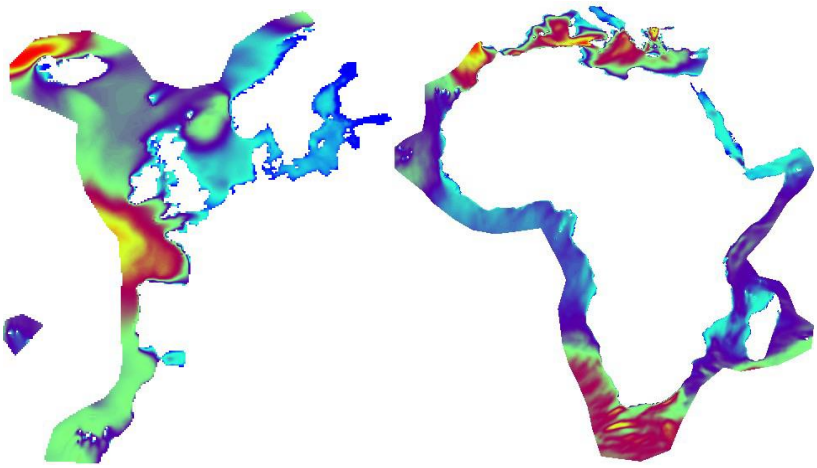


Figure 9 : grilles Atlantique N-E et Afrique à 0.15deg (10min) de résolution spatiale

En ce qui concerne l'étude du modèle navire, le travail se découpe en quatre axes de recherche : la résistance à l'avancement, les coefficients de dérive en mer calme, la résistance ajoutée sur houle et les coefficients aérodynamiques.

Le premier axe de recherche consiste à établir une base de données de coefficients issus de calculs CFD. Ces coefficients sont utilisés par le module navire ayant pour objectif de fournir la consommation et le comportement du navire en termes de confort et de sécurité à bord pour une condition opérationnelle et un environnement météorologique donné (état de mer, vent). La mise en place de cette base de données est très fastidieuse et coûteuse en temps de calcul car elle vise à étudier les dépendances des paramètres numériques et physiques sur les coefficients du navire pour ne retenir que les paramètres prépondérants. Le but est d'obtenir

une base de données de coefficients précis avec un temps de calcul CPU raisonnable. Les simulations hydrodynamiques ont été réalisées avec le code de calcul Navier-Stokes à surface libre ISIS-CFD développé par l'Ecole Centrale de Nantes. Les simulations aérodynamiques, dont les géométries sont complexes, ont été réalisées avec le code de calcul Navier-Stokes STARCCM+ distribué par SIEMENS.

En ce qui concerne les coefficients mer calme, les calculs réalisés ont permis d'évaluer la sensibilité des coefficients de dérive à la vitesse du navire, au tirant d'eau, à l'assiette, à la gîte et à différentes méthodes de prise en compte du modèle libre (nombre et type de DDL). 115 calculs pour un coût CPU d'environ 100 000h ont été nécessaires ici.

Les vues suivantes représentent l'écoulement calculé en CFD autour d'un navire en dérive.

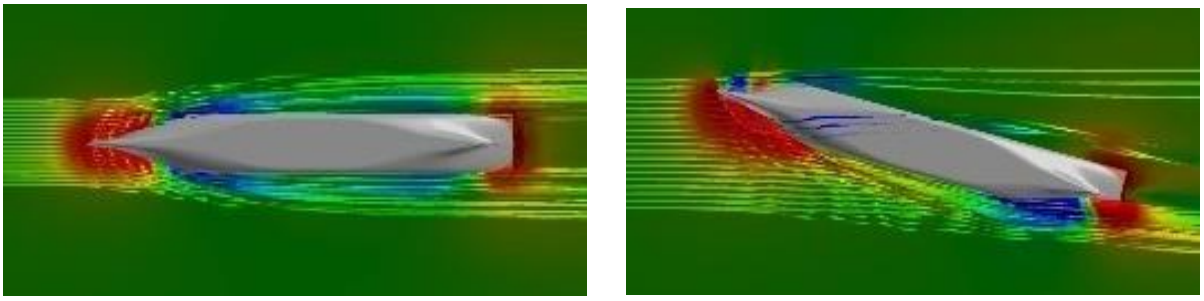


Figure 10 : Vue de l'écoulement d'un navire en dérive

Le second axe de recherche mer calme porte sur l'étude des interactions carène, hélice, safran et notamment sur les pertes de vitesses liées à la mise en dérive du navire et au braquage du safran. 102 simulations de propulsion « propulseur tournant », représentant l'état de l'art de ce type de simulation ont été réalisées pour environ 600 000 CPUh. L'analyse de ces simulations permettra également d'améliorer la prise en compte du safran dans la mise à l'équilibre du navire (efficacité de barre) ainsi que ses effets sur la consommation. Les vues ci-dessous présentent des résultats de simulation d'un navire en propulsion avec dérive et safran braqué.

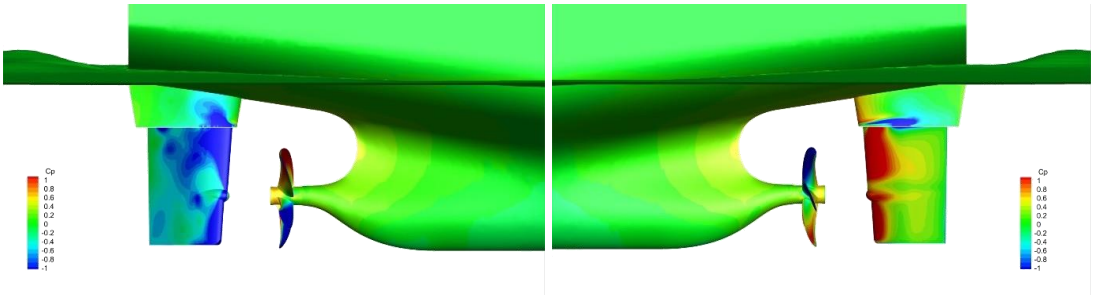


Figure 6-28 : Simulation de propulsion avec dérive et safran braqué

Le troisième axe de recherche s'attache à des études menées sur houle. Elles ont permis d'approfondir l'évaluation de la résistance ajoutée sur houle irrégulière par la CFD. Les calculs directs sur houle irrégulière sont encore très couteux, ne permettant pas de calculs intensifs pour l'établissement d'une base de données conséquente ou une optimisation de forme. Le travail mené ici consiste à trouver une méthode alternative basée sur des calculs CFD sur houle régulière tout en étant plus précis qu'une simple QTF, dont l'hypothèse de linéarité de la résistance ajoutée avec l'amplitude de houle au carré est remise en cause actuellement par

la communauté. Les simulations ont donc été menées pour différentes amplitudes, période et gisement de houle et pour différentes conditions opérationnelle du navire. 170 simulations ont été réalisées pour un volume d'environ 900 000 CPUh.

Les vues ci-dessous présentent des exemples de résultats de simulations de navire sur houle pour différent gisements et longueurs d'onde de houle.

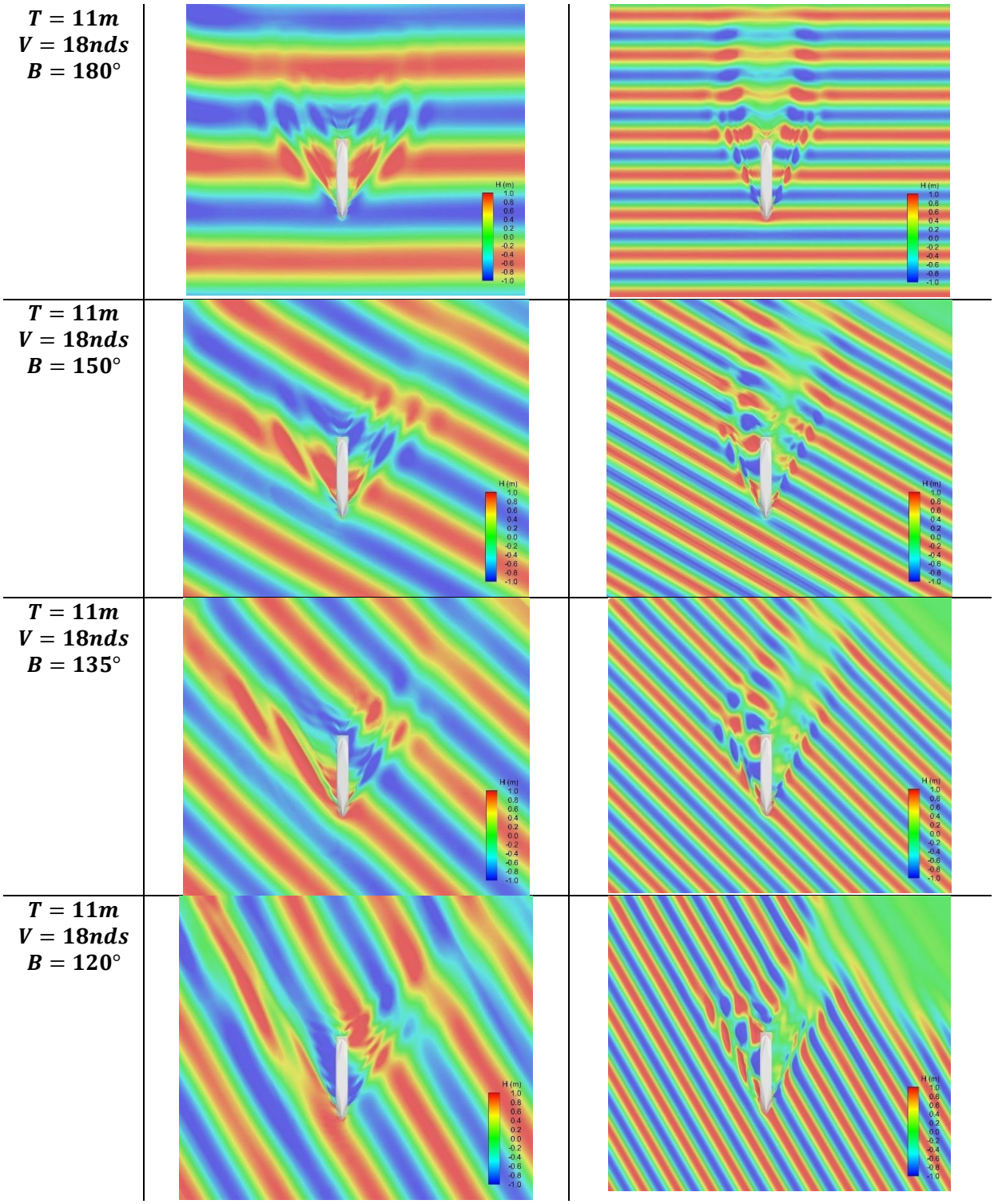


Figure 11 : Vues de simulations sur houle pour différents gisement et longueur d'onde

Dans le dernier axe de recherche, des simulations aérodynamiques sur les superstructures des navires sont également menées. Elles permettent de déterminer la résistance due au vent en fonction de l'angle de l'incidence et du chargement du navire. La première partie du travail a consisté à déterminer la sensibilité des coefficients aérodynamiques aux paramètres numériques et physiques listés ci-dessous :

- Résolution temporelle stationnaire ou instationnaire
- Modèle de turbulence
- Utilisation de couche limite atmosphérique
- Vitesse du vent
- Simplifications géométriques
- Chargement du navire
- Tirant d'eau
- Gîte

L'analyse de ces simulations a permis de déterminer les paramètres numériques permettant de réduire les temps de calculs de déterminer les paramètres physiques prépondérants afin de limiter le nombre de simulations nécessaire au calcul du modèle final. 90 simulations pour environ 500 000CPUh ont été utilisées. Les vues ci-dessous montrent des exemples de résultats de champ de pression obtenus pour différent chargements.

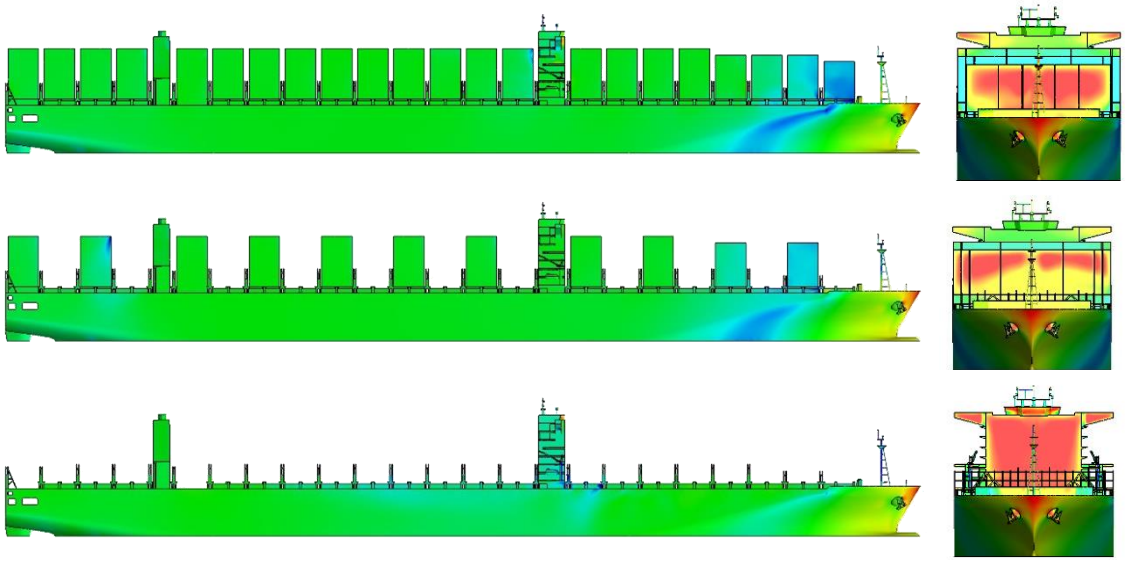


Figure 6-30 : Exemple de résultat de champs de pression obtenus pour différent chargements

Ces calculs préliminaires, que ce soit en mer calme, sur houle ou aérodynamiques ont permis de déterminer quels paramètres numériques et physiques devait être pris en compte afin de bâtir un modèle navire précis tout en veillant à réduire au maximum les coûts de calcul.

La suite de projet consiste à calculer tous ces coefficients pour trois types de navire dont un porte-conteneur et un navire de croisière à les mettre en œuvre sur des applications de routage météo.

L'apport du projet sera démontré en rejouant une route réelle réalisée précédemment par le porte conteneur, dont les données océano-météo seront rejouées par l'IFREMER. Le routage sera réalisé en s'appuyant sur la version du logiciel de routage incluant les modèles hydro /

aéro / structure. Les gains de consommation seront estimés par le logiciel et permettront de montrer son apport. Enfin, le logiciel sera évalué en condition réelles sur le porte conteneur afin de vérifier son fonctionnement sur une nouvelle route. Des applications d'optimisation de forme sur houle et de correction des effets météo sur les essais mer sont également prévues dans le cadre de ce projet.

6.4 Applications opérationnelles

Il s'agit de traitements de données, de modèles qui tournent de manière automatique et quotidiennes sur le PCDM afin de produire des jeux de données pour la communauté scientifique.

6.4.1 Centre Aval de Traitement des Données SMOS – CATDS

SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity) est un satellite du programme commun d'observation de la Terre de l'ESA, du CNES et du CDTI, dédié à la mesure de l'humidité des sols (Soil Moisture - SM) et la salinité des océans (Ocean Salinity – OS). Il a été lancé fin 2009 et est pleinement opérationnel depuis mai 2010.

Chaque jour, le CATDS reçoit les données de température de brillance mesurées par le satellite SMOS.

Plusieurs traitements permettent :

- D'agréger à la journée les fauchées de température de brillance,
- D'inverser les données pour obtenir l'humidité des sols et la salinité de surface des océans,
- De filtrer et d'agréger ces données pour obtenir des cartes globales décadaires et mensuelles,

L'ensemble de ces traitements sont exécutés sur le serveur de Calcul Datarmor et en utilisant ses capacités de stockage.

La migration de Caparmor vers Datarmor a été effectuée avec succès en mai 2017.

En 2016 et 2017, Caparmor puis Datarmor ont principalement été utilisés par le CATDS pour la production opérationnelle quotidienne.

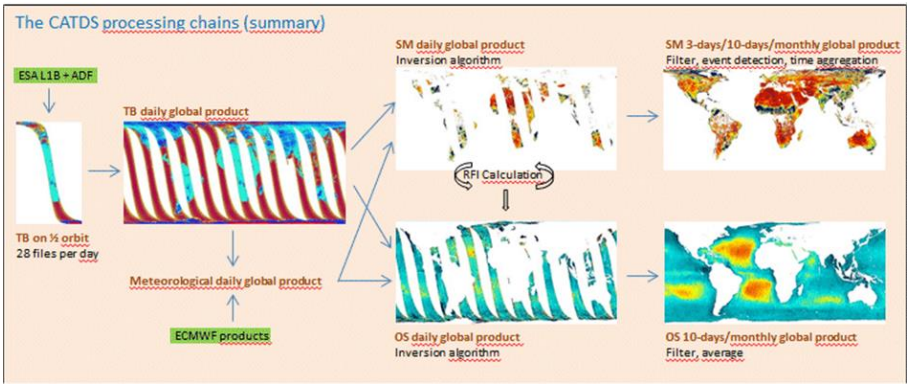


Figure 6-40 Les chaines de traitement opérationnelles du CATDS (résumé)

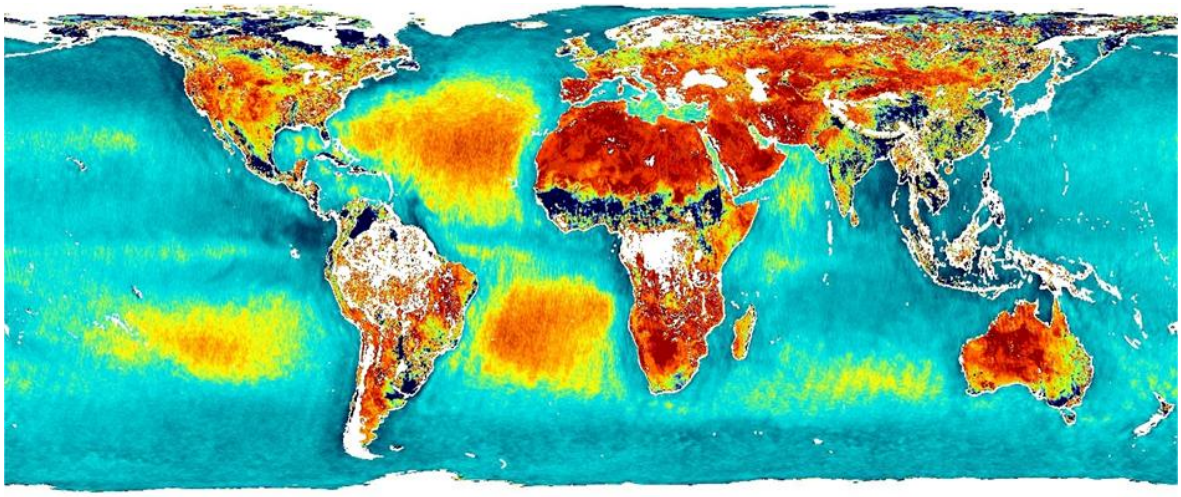


Figure 6-12 Carte mensuelle couplée humidité des sols et salinité des océans (à partir des produits numérique du CATDS)

6.4.2 MARC

Le projet PREVIMER, qui a permis le développement du démonstrateur d'océanographie côtière opérationnelle du même nom, s'est achevé fin 2013. Après trois années de transition, le site web www.previmer.org s'est arrêté le 15 décembre 2016. Parallèlement, début 2016, le projet MARC (Modélisation et Analyse pour la Recherche Côtière) a débuté et continue à alimenter les jeux de données des modèles hydrodynamiques MARS 2D, MARS3D, éco-MARS3D, des modèles d'états de mer WW3 et les données satellitaires de recherche développés dans le cadre de PREVIMER. Ces données sont désormais visibles sur le site du projet MARC opéré par l'UMR Laboratoire d'Océanographie Physique et Spatiale : http://www.umr-lops.fr/Donnees/MARC

En 2017, l'ensemble des chaines de modélisation opérées dans le cadre du projet MARC ont été portées sur le calculateur Datarmor.

Les modèles MARC se déclinent en plusieurs zones géographiques abordant différentes thématiques. Les résultats de ces modèles alimentent des jeux de données à destination des chercheurs et de la communauté scientifique.

MARC_L1-MARS2D-SURGE : modèle 2D de courants barotropes, de niveaux et de surcotes

Ce modèle couvre la Mer du Nord et le Golfe de Gascogne (rang 0, résolution 2 km), la façade Manche Gascogne (rang 1, résolution 700 m), et dispose de 5 zooms côtiers (rang 2, résolution 250 m) : Manche Est, Manche Ouest, Finistère, Sud Bretagne et Aquitaine.

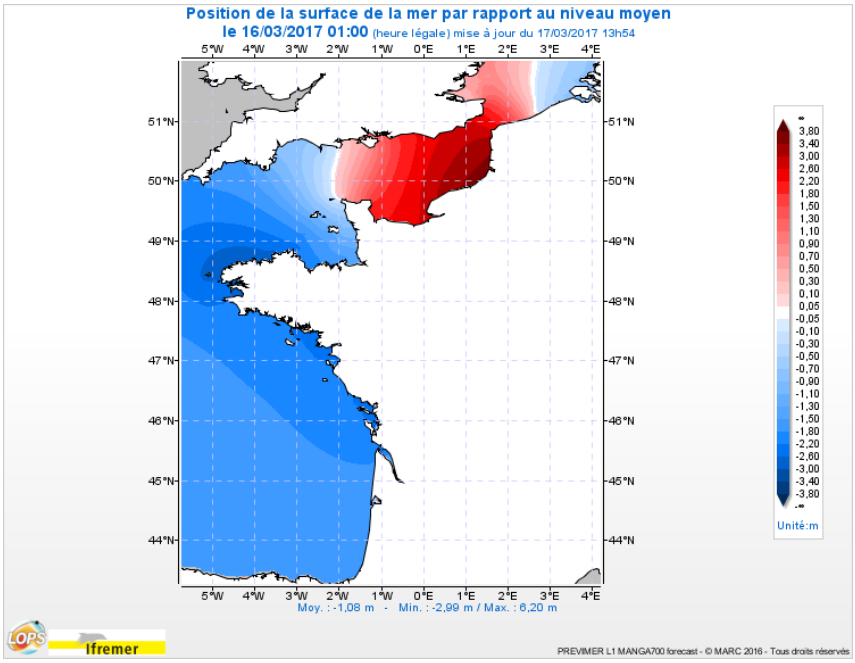


Figure 6-42 Marée en Manche (extrait du site web marc.ifremer.fr)

MARC_F1-MARS3D-MANGAE2500 : modèle 3D de courants, température et salinité pour la Manche et le Golfe de Gascogne

Ce modèle de résolution 2,5 km est basé sur la version 9 du code de calcul MARS et utilise les forçages Mercator Ocean aux limites et les niveaux sigma généralisés. La zone couverte est la façade Manche-Atlantique.

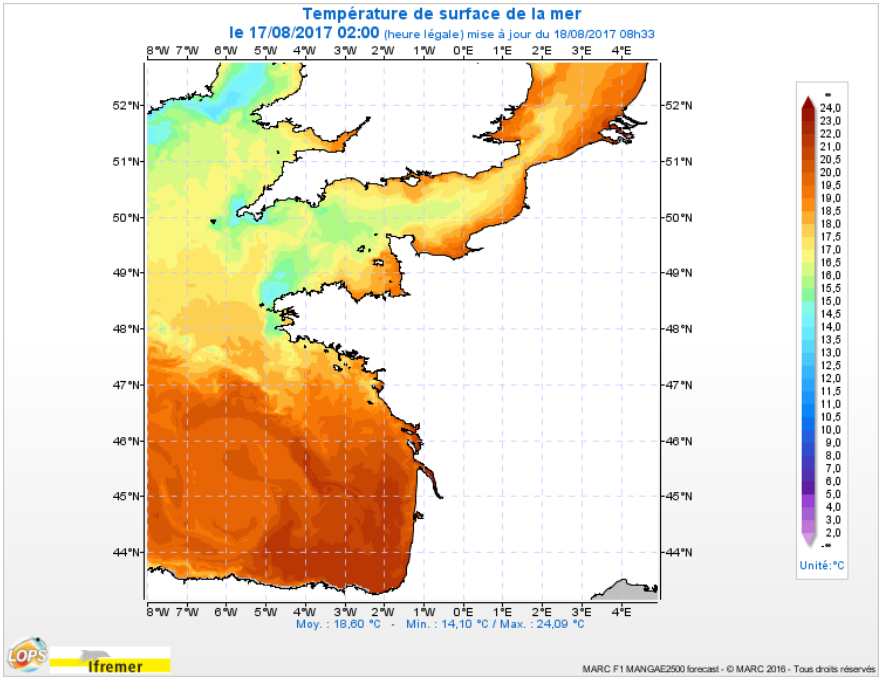


Figure 6-43 Température de surface le 17 aout 2017 (extrait du site web marc.ifremer.fr)

MARC_F1-MARS3D-MANGAE2500-AGRIF : modèle 3D de courants, température et salinité pour la Manche et le Golfe de Gascogne emboîtés « two-way »

Les modèles côtiers ont une résolution de 500m sur toute la façade Manche-Atlantique. Mise en production et alimentation du jeu de données en 2016-2017.

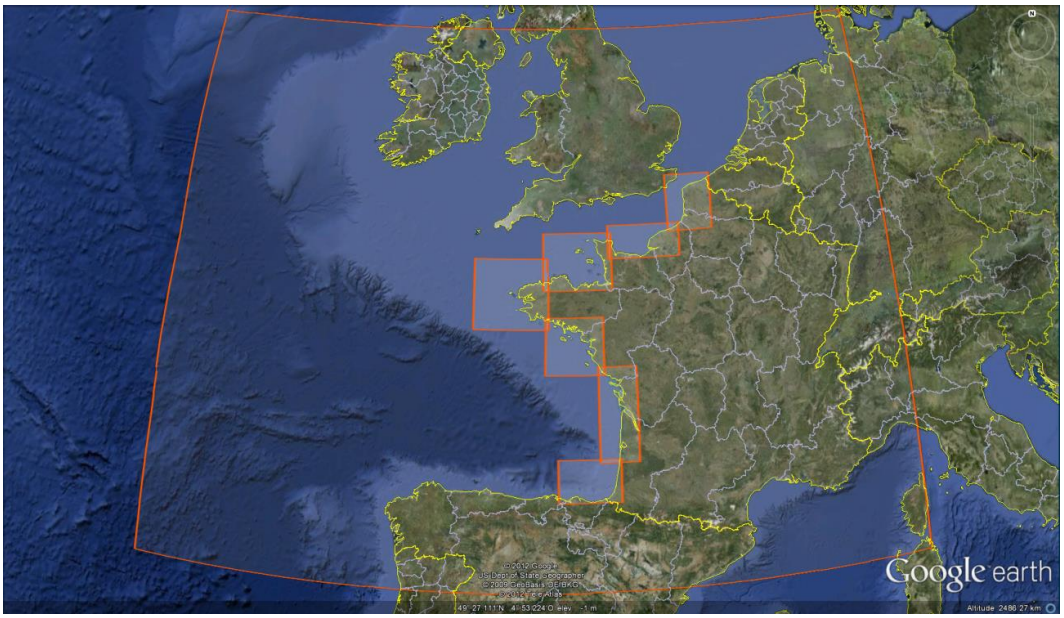


Figure 6-44 Emprise du modèle Manche-Gascogne à 2,5 km et de ses 7 zooms AGRIF

MARC_F2-MARS3D-MENOR1200 : modèle 3D de courants, température et salinité pour la Méditerranée

Ce modèle de résolution 1,2 km cible la façade Méditerranée Nord Occidentale et se base sur la version 10 du code de calcul MARS. Il est forcé aux limites par les données fournies par Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS).

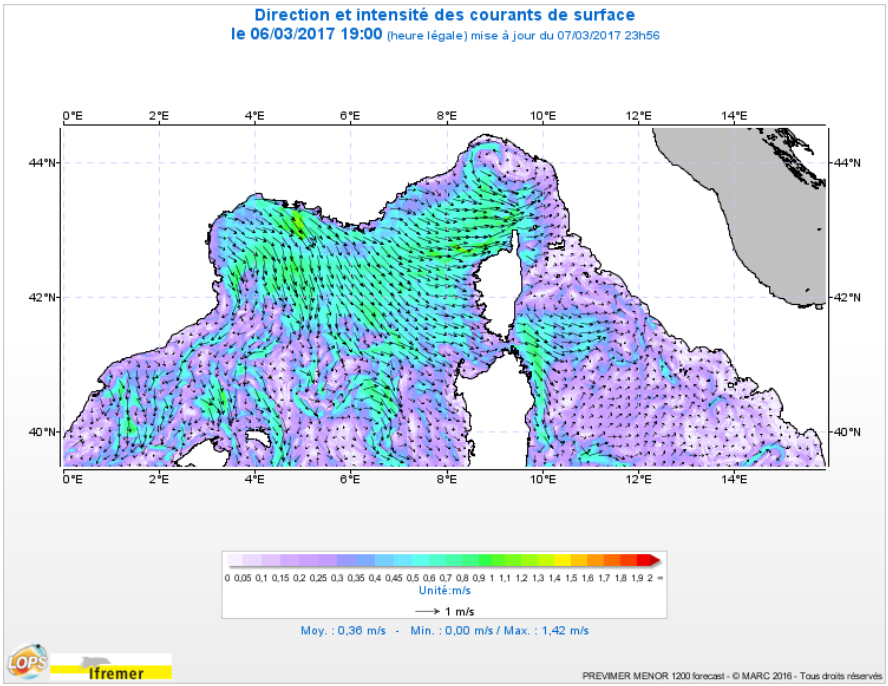


Figure 6-45 Passage de la tempête Zeus le 6 mars 2017 (extrait du site web marc.ifremer.fr)

MARC_B1-ECOMARS3D-MANGA4000 : modèle de production primaire pour la Manche et le golfe de Gascogne

Ce modèle concerne la « production primaire » dans le golfe de Gascogne et la Manche, sa résolution est de 4 km.

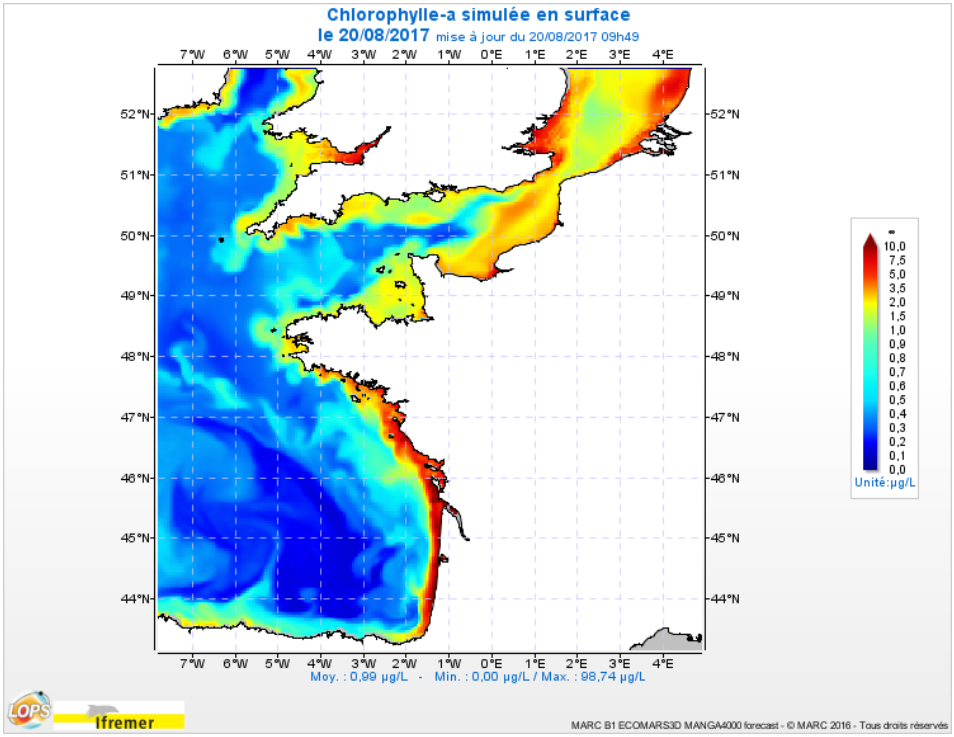


Figure 6-46 Chlorophylle simulée le 20 août (extrait du site web marc.ifremer.fr)

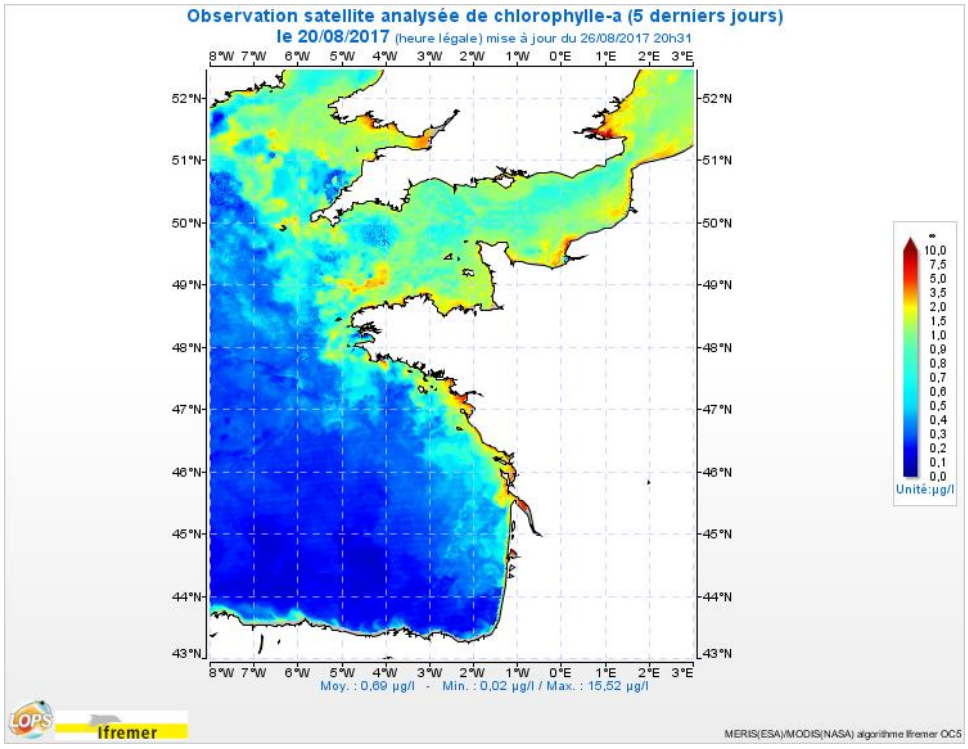


Figure 6-47 Chlorophylle à partir d'observations satellites (extrait du site web marc.ifremer.fr)

MARC_WW3* : modèles de vagues

Ces modèles sont tous basés sur le code WAVEWATCH III®. Les modèles MARC_WW3-Globmulti et MARC_WW3-Medmulti permettent de gérer plusieurs échelles allant du global au régional. Le premier modèle couvre ainsi l'océan global avec une résolution de 30 minutes et les zones ultra-marines (Polynésie, Nouvelle Calédonie et Antilles). Les modèles non structurés emboîtés dans les deux premiers ont des résolutions variables atteignant 200 m près des côtes. Ils couvrent le Golfe de Gascogne, la Manche et la Mer du Nord (Norgas-Ug), la Méditerranée nord occidentale (Menor-Ug), les Antilles (Antilles-Ug) et enfin la Réunion (Reunion-Ug).

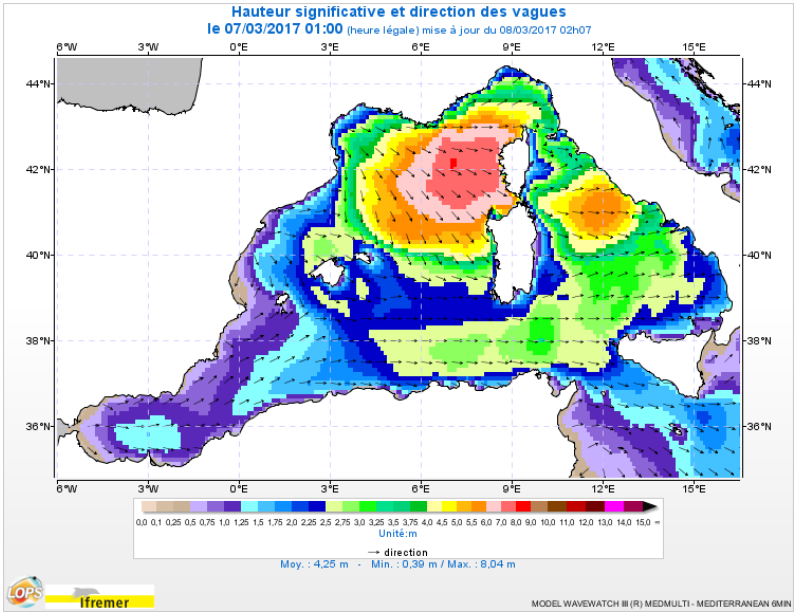


Figure 6-48 Hauteur significative et direction des vagues le 7 mars 2017 : tempête Zeus (extrait du site web marc.ifremer.fr)

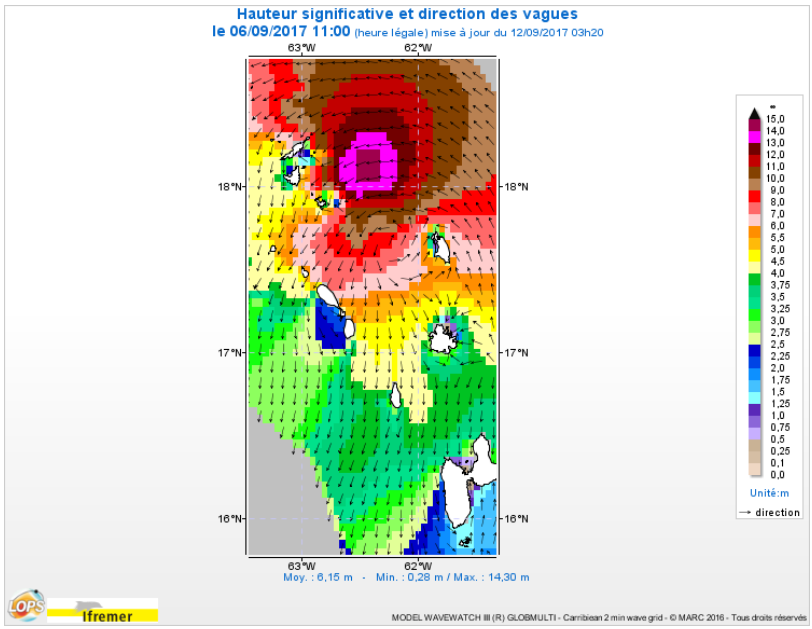


Figure 6-49 Hauteur significative et direction des vagues le 6 septembre 2017 : ouragan Irma (extrait du site web marc.ifremer.fr)

MARC_L2-CORSE400 : modèle 3D de courants, température et salinité pour la Corse

Il s'agit d'un modèle R&D à haute résolution (400m) permettant d'affiner la connaissance des processus hydrodynamiques et d'étudier les transports par les courants.

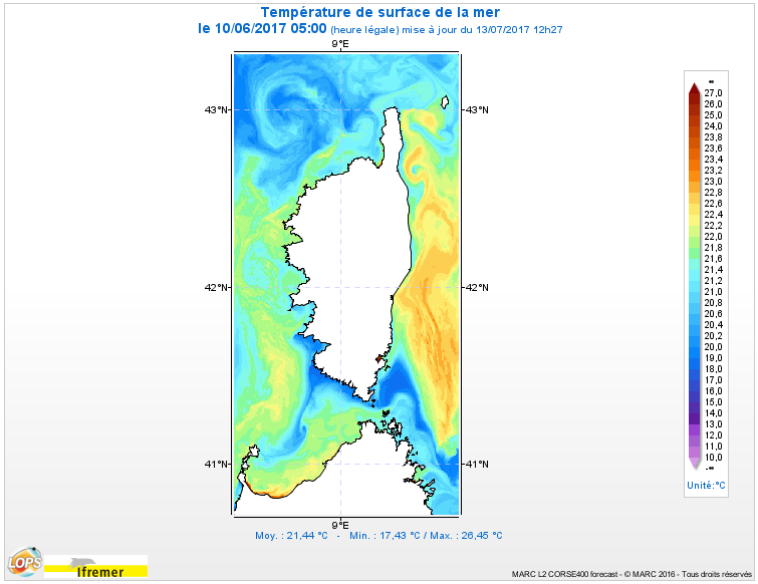


Figure 6-50 Température de surface en Corse le 10/06/2017 (extrait du site web marc.ifremer.fr)

MARC_L1-MARS3D-BREST : modèle 3D de courants, température et salinité pour la Rade de Brest

Il s'agit d'un modèle R&D à haute résolution spatiale (50m) et temporelle (15'), développé pour le suivi environnemental des paramètres physiques (température et salinité), l'estimation du temps d'immersion des huîtres creuses sur l'estran, le suivi larvaire ou de la dispersion de virus, les rejeux d'années sensibles (crises de 2008 et 2009).

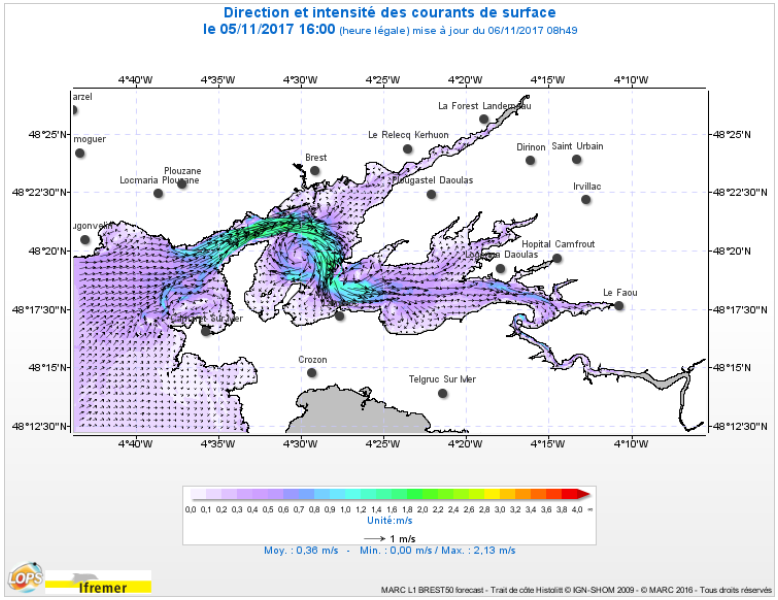


Figure 6-51 Courants de surface en rade de Brest le 05/11/2017 à 16:00 (extrait du site web marc.ifremer.fr)

7 Configuration technique de DATARMOR

La société SGI, reprise par HPE en 2017, a fourni une solution adaptée et performante en réponse aux besoins des utilisateurs scientifiques de l'Ifremer et de ses partenaires, pour le calcul et pour le stockage.

Les services proposés sur Datarmor s'appuient sur différentes composantes.

7.1 Architecture générale

Datarmor propose des solutions spécifiques de calcul associées à des solutions de stockage. Un réseau très performant relie les différentes composantes, tant au sein de la machine qu'avec le réseau de l'Ifremer.

Afin d'obtenir le meilleur rendement PUE, l'organisation des baies informatiques (et donc l'architecture) sépare bien les éléments de calcul/traitement (qui disposent d'un refroidissement à eau spécifique) des éléments dédiés au stockage (qui sont refroidis par un système hybride air/eau).

Les éléments dédiés au traitement/calcul sont :

- l'ICE XA constitué de 396 nœuds de calcul pour un total de 11088 coeurs, principalement dédié au calcul parallélisé,
- l'UV3000 fournissant 5 To de mémoire non distribuée, donc, principalement dédiée aux travaux demandant une grande quantité de mémoire et ne pouvant utiliser la mémoire distribuée de l'ICE XA,
- une composante GPU sur deux serveurs avec un total de quatre GPU Nvidia Quadro K6000,
- une composante de dix serveurs pour fournir des services type web, base de données, …

Les éléments dédiés au stockage sont :

- un espace dédié aux données de travail (datawork) géré par le système de fichier GPFS totalisant 4,5 Pio,
- un espace dédié aux données de référence (dataref) géré par le système de fichier lustre totalisant 1,395 Pio,
- un espace dédié aux données des comptes utilisateurs (datahome) géré par système de fichier xfs totalisant 37 Tio,
- un espace dédié aux données temporaires (scratch) géré par le système de fichier lustre totalisant 522 Tio,
- un espace dédié aux services (web, sgbd, …) totalisant 135 Tio.

Ces éléments sont reliés entre eux par un réseau infiniband à 56 Gbits, en double plan. Les accès depuis le réseau ifremer ou externe se font par un réseau à 10 Gbits permettant des accès en NFS (unix) et CIFS (windows).

Le matériel informatique de Datarmor prend place dans une infrastructure comprenant

- la salle machine sécurisée (accès, détection et extinction incendie), un local onduleur, une plateforme extérieure ainsi qu'un transformateur (TGBT),
- un onduleur de 320 KVA et batteries associées,
- un groupe électrogène de 550 kVA permettant une reprise en pleine charge avant une minute,
- une climatisation des serveurs par trois inrows (salle machine) avec condenseurs (plateforme extérieure),
- une dissipation de la chaleur de l'ICE XA par dry cooler (plateforme extérieure) redondée/secondée par l'eau glacée de site au travers d'un échangeur.

7.2 Les clusters d'exécution

L'exécution des travaux des utilisateurs est orchestrée par le gestionnaire de tâches PBS pro. C'est ce gestionnaire qui redirige les « jobs » sur la partie ICE XA (traitements MPI), l'UV3000 ou les serveurs ayant des GPU (traitements non MPI). Ce gestionnaire est directement accessible à partir des quatre nœuds de login proposés sur Datarmor.

L'ICE XA dispose de 396 nœuds de calcul contenus dans deux racks. Chacun de ces nœuds dispose de deux processeurs (E5 2680 v4 à 2.4 GHz), chaque processeur ayant 14 coeurs. Ainsi, chaque nœud propose 28 coeurs de calcul, le double en s'appuyant sur la technologie intel de l'hyperthreading. La puissance de calcul crête de cette solution est de 426 Tflops. Chaque nœud de calcul comprend 128 Go de mémoire DDR4 2400 MHz, totalisant ainsi 50 To de mémoire distribuée pour l'ICE. Chaque nœud est connecté à la « fabric infiniband » par deux liens de 56 Gb/s chacun. La configuration en place utilise un lien pour les échanges de données (accès disque) et un lien pour les échanges entre les nœuds (communication MPI). L'ICE XA est associé au refroidissement selon un agencement très dense : 4 nœuds de calcul par lame. La dissipation des calories se fait directement au niveau de chaque CPU par liquide, le refroidissement global (mémoire, carte mère, ...) est lui fait par air, l'ensemble de l'ICE étant dans un compartiment fermé. La chaleur produite par l'ICE est gérée par un CDU qui assure l'échange des calories avec l'installation extérieure ainsi que la circulation et la pression du fluide dans l'ICE XA.

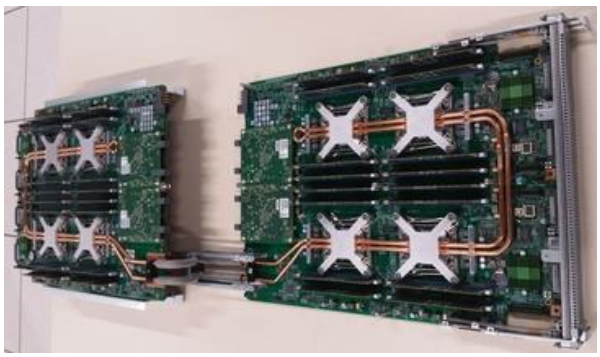


Figure 7-1: lame contenant 4 noeuds de calcul, refroidissement liquide des CPU

L'UV3000 offre une capacité importante de mémoire non distribuée : 5 To (DDR4 2133MHz). Cette machine est constituée de 10 lames assemblées en une solution vue comme unique, destinée à des traitements non MPI. Chaque lame comprend deux processeurs Intel Xeon E5-4650v3 à 2.1 Ghz, chacun ayant 12 coeurs de calcul. Cette solution correspond, du point de vue de l'utilisateur, à une machine de 240 coeurs et 5 To de mémoire pour une puissance de calcul de 8 TFlops. Les échanges avec les autres composantes de Datarmor (stockage disque) se font par le réseau infiniband à 56 Gb/s. La chaleur dégagée par l'UV3000 est évacuée par les inrows de la salle machine qui proposent en face avant de l'air frais.

Figure7-2 : UV3000, 10 lames

Figure 7-3 : Nvidia Quadro K6000

Les deux **serveurs de visualisation** ont chacun deux processeurs Intel Xeon E5-2630v4 2,2GHz, chaque processeur ayant dix coeurs. Ils disposent de 128 Go de mémoire DDR4 2400MHz. Ils sont connectés (stockage disque) avec un lien infiniband à 56 Gb/s. Ils embarquent chacun deux cartes graphiques Nvidia Quadro K6000, chacune proposant 448 coeurs cuda. La chaleur dégagée par ces serveurs est évacuée par les inrows de la salle machine qui proposent en face avant de l'air frais.

Figure 7-4 : serveurs de service

Les dix **serveurs de services** (web, données, ...) sont des bi-processeurs Intel Xeon E5-2620v3 cadencé à 2,4GHz, chaque processeur ayant 6 coeurs de calcul. Ils contiennent 64 Go de mémoire DDR4 à 2133MHz. Ils sont tous connectés au réseau Ifremer par des ports 10 Gb/s, cinq sont également connectés à l'ensemble Datarmor (stockage) par un lien infiniband à 56 Gb/s. Ils sont directement connectés au stockage dédié par fibre channel. La chaleur dégagée par ces serveurs est évacuée par les inrows de la salle machine qui proposent en face avant de l'air frais.

7.3 Les clusters de stockage

Plusieurs espaces sont proposés sur la plateforme Datarmor avec des rôles spécifiques :

- **datawork** dédié aux données de travail est un espace de 4,5 Pio. Il s'appuie sur une appliance DDN pour le système de fichier GPFS, appliance composée de deux contrôleurs redondants reliés à dix tiroirs de disques. L'ensemble contient 825 disques SAS de 8 To à 7200 tr/mn ainsi que 10 disques SDD de 800 Gb. Cette solution de stockage permet des accès à un débit effectif de 30 Go/s en lecture/écriture parallèle. Cet espace ne dispose pas d'une sauvegarde sur bande mais peut, pour des contextes spécifiques, mettre en œuvre des instantanés (snapshot).

Figure 7-5 : tiroir de disque du GPFS

- **dataref** est un espace d'accueil des données de référence, 1,395 Pio sont proposés. Cet espace est supporté par le système de fichier lustre avec un serveur d'administration, deux serveurs de meta-donnée et deux serveurs de donnée. Ces serveurs sont reliés à Datarmor par des liens infiniband à 56 Gb/s. Le stockage des méta-données se fait sur 12 disques SAS de 1.2 To à 10000 tr/min dans une baie de stockage IS5100, le stockage des données se fait sur 240 disques de 8 To SAS à 7200 tr/min avec gestion par un contrôleur redondé. Cette solution de stockage permet des accès à un débit effectif de 25 Go/s en lecture/écriture parallèle.

Figure 7-6 : contrôleurs et baies disques des espaces lustre

- **scratch** est un espace d'accueil temporaire des données produites, 522 To sont proposés. Cet espace est supporté par le système de fichier lustre avec un serveur d'administration, deux serveurs de meta-données et quatre serveurs de données. Ces serveurs sont reliés à Datarmor par des liens infiniband à 56 Gb/s. Le stockage des méta-données se fait sur 12 disques SAS de 1.2 To à 10000 tr/min dans une baie de stockage IS5100, le stockage des données se fait sur 180 disques de 4 To SAS à 7200 tr/min avec gestion par un contrôleur redondé. Cette solution de stockage permet des accès à un débit effectif de 25 Go/s en lecture/écriture parallèle. Les données présentes sur cet espace sont effacées au bout de 15 jours.

Figure 7-7: serveurs et stockage des home directories

- **datahome** est l'espace des répertoires des utilisateurs, les « home directories ». Cet espace de 37 Tio est supporté par deux serveurs redondants reliés à une baie de stockage (IS5100) disposant de 24 disques de 2 To à 7200 tr/mn. Ces serveurs sont reliés à Datarmor par des liens infiniband à 56 Gb/s, au réseau Ifremer par des liens ethernet à 10 Gb/s. Cet espace est sauvegardé chaque nuit avec une durée de rétention des sauvegardes de deux mois.

- **dataweb** est un stockage de 135 Tio associé aux serveurs de service tels que le web. Il est contenu dans une baie IS5600i avec 50 disques de 4 To à 7200 tr/mn ainsi que 2 disques SSD de 400 Go avec une licence « flash cache ».
- L'accès aux données de datawork, dataref et scratch, depuis le réseau Ifremer, se fait au travers de **passerelles** redondées proposant NFS (accès depuis des machines unix) et CIFS (accès depuis des machines windows). Les quatre serveurs dédiés sont des bi-processeurs Intel Xeon E5-2620v4 cadencés à 2,1GHz ayant 8 coeurs par processeur et 64 Go de mémoire DDR4 à 2400MHz. Ils sont reliés à Datarmor lien infiniband à 56 Gb/s et reliés au réseau Ifremer lien ethernet 10 Gb/s.

Figure 7-8 : stockage associé au web, un tiroir sorti

Les espaces de stockage dégagent une chaleur importante. Les calories sont évacuées par les trois inrows de la salle machine qui soufflent un air refroidi en face avant des racks.

Les tailles des espaces sont exprimées en Tio ou Pio, le facteur multiplicateur est donc 1024 et non 1000. Cela correspond aux valeurs par défaut fournies par la commande df.

7.4 Les interfaces et les réseaux

Figure 7-9- : switchs infiniband et cablage dans l'ICE XA

Les constituants de Datarmor sont reliés par différents réseaux. Celui permettant les bonnes performances de la machine est l'infiniband FDR à 56 Gb/s. Les liens avec le réseau Ifremer sont en ethernet à 10 Gb/s. Un réseau s'appuyant sur des brocades et des liens fibre channel relie l'espace dataweb aux serveurs de service et permet la sauvegarde journalière des répertoires des utilisateurs. Enfin, un réseau spécifique d'administration permet le suivi et la gestion des composantes de la machine.

Le **réseau infiniband** s'appuie sur les switchs infiniband compris dans l'ICE XA, 4 switchs dans chaque IRU des racks. Ces switchs permettent de relier les nœuds de calcul entre eux mais également de connecter les composantes hors de l'ICE XA : serveurs dédiés au stockage, composantes de traitement non MPI, serveurs pour les services web, nœuds de login, passerelles. Ce réseau est en double plan : un plan pour les échanges dédiés aux données (stockage) et un plan pour les échanges entre machines dans le cas de traitement MPI. La topologie mise en œuvre est « enhanced hypercube », solution optimisant les échanges entre les matériels dans le cadre d'un réseau double plan avec une meilleure tolérance aux pannes.

Le **réseau 10 Gb/s** s'articule autour de deux commutateurs réseau Extreme Networks X670-G2 48 ports à 10 Gb/s, chacun ayant deux liens avec le coeur de réseau Ifremer à 40 Gb/s. Ce réseau propose un accès performant à l'architecture Datarmor depuis le réseau Ifremer. C'est le cas par exemple des serveurs de répertoires utilisateur (datahome) ainsi que des passerelles et des serveurs de service.

Figure 7-10

Certains échanges s'opèrent en s'appuyant sur un **réseau fibre channel** connectés à des brocades, connexion au stockage dataweb et connexion à l'espace de stockage des répertoires des utilisateurs. Le matériel en œuvre est de deux brocades switchs 300 avec 24 ports 8 Gb/s

Figure 7-11

Le suivi et la gestion des matériels de l'architecture s'appuient sur un **réseau d'administration** avec deux switchs Extreme Network Switch X440 48 ports 1Gb/s.

7.5 La logistique

Plusieurs contraintes sont à prendre en compte pour la mise en place d'une architecture matérielle comme Datarmor. Bien sûr, une fourniture électrique continue et fiable pour assurer le bon fonctionnement de matériels. Conséquence de cette consommation, la chaleur générée doit être évacuée, au moindre coût. La sécurisation de l'ensemble du périmètre doit également être en place : contrôle entrées et sorties, détection incendie, extinction incendie.

Figure 7-12 : CDU de l'ICE XA

Il y a plusieurs sources de chaleur dans l'installation Datarmor et ainsi que plusieurs solutions d'**évacuation de la chaleur**.

Figure 7-13 : dry cooler de l'ICE XA

L'ICE XA avec 396 nœuds de calcul est la principale source. Sa conception fait qu'il est thermiquement isolé du reste des installations et de la salle. La reprise des calories se fait directement par eau au niveau des processeurs ou par air dans l'enceinte close de l'ICE XA. Cet échange se fait sur une plage de température haute : 30 / 35 °C. Le CDU assure l'échange calorique avec le dry cooler sur la plateforme extérieure. Celui-ci, sans action d'un compresseur, évacue la chaleur dans l'air extérieur si la température de l'air est inférieure à 25 °C. Au-delà de cette valeur ou lors d'un arrêt du dry cooler, l'eau glacée du site Ifremer est utilisée en modulant le débit selon le besoin par une vanne trois voies motorisée.

Les autres éléments de Datarmor (stockage, réseau, serveurs, UV3000, ...) génèrent une chaleur en arrière d'une rangée de racks, air chaud repris par les inrows qui soufflent une lame d'air frais en avant des racks. Ces trois inrows, nombre assurant une redondance, utilisent un compresseur et un fluide calo-porteur pour évacuer les calories vers trois condenseurs sur la plateforme extérieure de Datarmor.
Enfin, l'onduleur installé dans une salle technique dédiée, génère également de la chaleur. Une climatisation redondante est en place pour garantir la constance des conditions d'exploitation.

Figure 7-14 : condenseurs associés aux inrows

Le PUE ou Indicateur d'efficacité énergétique constatée pour la plateforme Datarmor est de 1,27, depuis sa mise en exploitation.

L'apport électrique est assuré par plusieurs sources : EDF en nominal via la boucle 20 000 V du site. Un TGBT dédié à Datarmor a été mis en place.

La qualité de la fourniture électrique au matériel informatique est assurée par un onduleur de 320 KVA. Cet onduleur, associé à un banc de batteries, permet également le fonctionnement en pleine charge de l'ensemble Datarmor pendant au moins cinq minutes.

Un groupe électrogène de 550 KVA dédié à Datarmor, situé sur la plateforme extérieure, permet la reprise en pleine charge de Datarmor en moins d'une minute (trente secondes lors des tests). Les génératrices du site de Brest peuvent également, par la suite, reprendre la totalité du site dont Datarmor.

Figure 7-15 : groupe électrogène de Datarmor

La s**écurisation de l'installation** contre l'incendie est assurée par un ensemble de detecteurs installés de manière dense dans la salle datarmor et dans la salle onduleur. Ces détecteurs sont reliés à une centrale incendie et un ensemble d'éléments d'avertissement. Un système d'extinction par gaz inerte est également installé et couplé à la centrale incendie, dans la salle datarmor et dans la salle de l'onduleur. Des matériels spécifiques sont mis en œuvre en salle datarmor pour protéger les éléments de stockage en cas de déclenchement de l'extinction. Un détecteur de fluide est également en place sous l'installation informatique pour alerter d'une fuite de liquide en salle.

L'accès à la salle datarmor est couplé au système de contrôle des accès mis en place sur les sites de l'Ifremer. Les outils déjà en place permettent donc de gérer les droits sur les cartes utilisées au quotidien par les agents Ifremer.

Figure 7-16 : extinction incendie

7.6 Les liaisons réseau inter-organisme

Les liens entre l'Ensta Bretagne, le Shom Brest, l'IUEM et l'UBO sont établis en point à point entre établissements sur la base de fibres noires louées à Brest Métropole, afin de limiter les règles de sécurité à intégrer dans les pare-feux. Le débit de ces liens est de 1 gbit/s, donc équivalent à celui d'un réseau local. Le but du réseau INFUSER est de rendre transparents à l'utilisateur les transferts de données volumineuses.

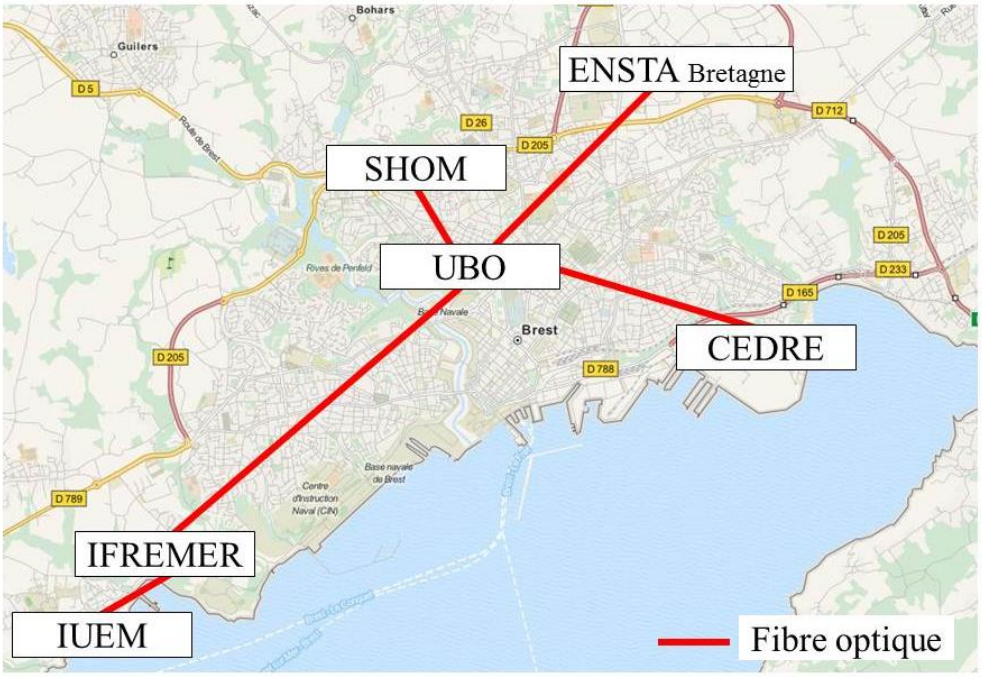


Figure 7-17 : Réseau métropolitain de Brest (réseau INFUSER)

7.7 Les principaux logiciels

La plateforme Datarmor propose des ensembles de logiciels nécessaires au large éventail des applications utilisées dans le cadre des sciences marines.

Les utilisateurs peuvent installer leurs ensembles applicatifs dans les espaces disques spécifiques attachés à leur compte sur le calculateur. L'équipe RIC installe, met à disposition et effectue le suivi de logiciels nécessaires à des communautés d'utilisateurs.

Les logiciels de base fournis avec la plateforme matérielle comprennent

- le gestionnaire de taches PBS pro de la société Altair,
- l'environnement de compilation, débogage et optimisation Intel Parallel Studio XE Cluster Edition dont les performances sur processeurs Intel sont largement reconnues, cas de la librairie mathématique MKL,
- Alinea DDT, débogueur adapté au cas du traitement HPC
- les outils fournis par le constructeur SGI Performance Suite et SGI Management Suite permettant à la fois une utilisation performante de la plateforme mise en œuvre et l'administration d'un ensemble matériel et logiciel complexe.

A ces logiciels, l'équipe RIC propose des logiciels dont le besoin a été identifié et confirmé au cours des années :

- bien sûr, les compilateurs comme le Fortran de PGI, le compilateur gcc pour C, C++ et fortran de Gnu, le langage python utilisé dans de très nombreux développements, le compilateur GO de google qui vise performance et parallélisassions,
- des outils pour identifier/traquer les problèmes comme valgrind : recherche d'erreurs de gestion mémoire de codes,
- des applications scientifiques comme R et Octave ainsi que les librairies associées à python comme numpy,
- des applications thématiques comme le sont les logiciels dédiés à la bio-informatique,
- les outils associés au format netCDF comprenant les librairies utilisées lors de la compilation des codes, les outils de manipulation des fichiers (cdo et nco), les outils de visualisation comme ncview.

Ces logiciels sont mis en commun mais d'autres sont également installés et proposés en réponse à des besoins parfois plus spécifiques, dans un premier temps au moins. Ces nombreux outils sont sous forme de briques que chaque utilisateur peut lister et, selon ses besoins, mettre en œuvre dans son environnement via des modules unitaires à charger.

8 Annexes

8.1 Liste des membres du Comité de Pilotage Datarmor

Membres titulaires :
M. Pierre GARREAU - IFREMER ODE/LOPS/OC - PRESIDENT DU COMITE
M. Erwan JOUANNET – SHOM
M. Jean-Marc DANIEL - IFREMER REM
Mme Sylvie LE GENTIL - IFREMER ODE/LOPS
Mme Stéphanie MAHEVAS – IFREMER RBE/EMH
M. Jean-François PIOLLE – IFREMER ODE/LOPS
M. Philippe CUGIER - IFREMER ODE/DYNECO

Membres invités :
M. François DENISET - ECOLE NAVALE
Mme Anne-Laure TIBERI - CEREMA
M. Nicolas GUILLOU – CEREMA
M. Bruno FREDERIC – ENSTA BRETAGNE
M. Olivier AUMONT – IRD
M. Cédric ODY – UBO/IUEM
M. Philippe MONBET – POLE MER BRETAGNE ATLANTIQUE
M. Gilbert MAUDIRE - IFREMER IRSI
Mme Anne THOMAS-DOARE - IFREMER IRSI/RIC
Mme Tina ODAKA - IFREMER IRSI/RIC
M. Denis CROIZE-FILLON - IFREMER IRSI/RIC
M. Dominique LE BRUN - IFREMER IRSI/RIC
M. Patrick DURAND - IFREMER IRSI/RIC/BIO-INFORMATIQUE
M. Pierre COTTY - IFREMER IRSI - SECRETAIRE DU COMITE

8.2 Glossaire

CIFS : Common Internet File System
CONDA : outil/logiciel de conteneur virtualisé
CPER : Contrat de Plan Etat-Région
CPU : central processing unit
DOCKER : outil/logiciel de conteneur virtualisé
FDR : Fourteen Data Rate (infiniband)
GPFS : General Parallel File System
GPU : graphics processing unit
HPC : High Performance Computing (=calcul intensif, utilisant la parallélisation)
HPE : Hewlett Packard Enterprise
ICE : Integrated Cluster Environnement
IR : Infrastructure de Recherche (label donné par le MESRI)
IRU : Individual Rack Unit
LUSTRE : système de fichiers parallèle d'origine opensource
MARC : Modélisation et Analyse pour le Recherche Côtière
MESRI : Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation
MPI : Message Passing Interface
NetCDF : Network Common Data Form
NFS : Network File System
OCTAVE : logiciel GNU de calcul numérique
PUE : Power Usage Effectiveness
PYTHON : langage de programmation (script)
R : logiciel opensource de calcul statistique et visualisation, associés à de nombreux paquets numériques
SGI : Silicon Graphic International
TGBT : Tableau Général Basse Tension

Impression : Service IRSI-RIC
IFREMER – Centre de Bretagne
CS 10070 – 29280 Plouzané
Tél. : 02 98 22 43 53