

AO INSU 2018
Section « Océan-Atmosphère »

Dossier scientifique LEFE

Lien avec le chantier MISTRALS: Cette demande concerne l'organisation d'un exercice en mer Méditerranée. Même si une partie des équipes impliquées participent au chantier MISTRALS et que les résultats de cet exercice bénéficieront aussi au chantier MISTRALS, l'objet de cet exercice concerne l'ensemble de la communauté nationale impliquée dans la validation/correction des données oxygène. Le choix d'un site méditerranéen est lié à des aspects purement logistique et ne concerne pas une question scientifique du chantier MISTRALS autour de la mer Méditerranée.

Description du projet

(1) Nom du porteur du projet et laboratoire de rattachement

Laurent Coppola – Physicien Adjoint CNAP

Laboratoire d’Océanographie de Villefranche sur Mer (LOV – UMR 7093)

Villefranche sur Mer

Thibaut Wagener – Maître de conférences

Institut Méditerranéen d’Océanologie (MIO – UMR 7294)

Marseille

(2) Titre du projet

WINKLEX : un exercice d’intercomparaison pour les équipes impliquées dans les mesures d’oxygène dissous acquises à partir de différentes plateformes fixes et mobiles

Le projet est-il un nouveau projet ? **Oui**

Le proposant a-t-il porté ou participé à un projet financé par le LEFE au cours des 3 dernières années ?
Non

(3) Mots clés

Observation, Biogéochimie, Oxygène dissous, Intercomparaison de laboratoires, Méthode de Winkler

(4) Intérêt scientifique, contexte et état de l’art

Cette demande répond à l’appel d’offre LEFE/GMMC 2018 et vise à mettre en place un projet coordonné pour structurer la communauté nationale impliquée dans la validation/correction des données d’oxygène dissous acquises par différentes plateformes fixes et mobiles (mouillage, bateau, glider et flotteur Argo) contribuant au système d’observation global des océans. L’objet de ce projet est d’organiser au niveau national un exercice d’intercomparaison de mesures d’oxygène dissous dans l’eau de mer par la méthode de Winkler. Cette demande s’inscrit essentiellement dans la recommandation R2 inscrite dans l’annexe thématique complémentaire à l’appel d’offre GMMC intitulé « Préparer et mettre en place son [le système d’observation] extension selon les recommandations Oceanobs09 vers la biogéochimie ».

(4-1) Contexte général : Intégration de la biogéochimie marine dans le système d'océanographie opérationnelle

L'océanographie opérationnelle (entendue comme un système intégrant observations et simulations numériques pour suivre et prévoir en continu le devenir de l'océan) a atteint une certaine maturité pour l'analyse et la description de l'état physique de l'océan hauturier. Comme inscrit dans l'annexe thématique de l'appel d'offre GMMC, l'intégration de la biogéochimie dans le système constitue une recommandation de la prospective GMMC. Cette intégration doit permettre d'aboutir à une description systématique et précise de « l'état biogéochimique de l'océan » afin de poser les bases scientifiques permettant de répondre à des questions sociétales majeures dans le contexte du changement global : le devenir des ressources halieutiques, la biodiversité, l'acidification des océans, la contribution océanique au cycle du carbone global.

Ces recommandations de la communauté française reprennent les recommandations finales de la conférence internationale *OceanObs'09*. Le « *final statement*¹ » fait l'appel suivant: « *Calls on all nations and governments to commit to the implementation and international coordination of systematic global biogeochemical and biological observations, guided by the outcomes of OceanObs'09, and taking into account regional variations in ecosystems.* ». A l'issue de cette conférence, Claustre et al. [2010], dans un « *plenary paper* » identifient les paramètres biologiques et biogéochimiques nécessitant d'être intégré en priorité dans ce futur système d'observations (EOV pour « Essential Oceanic Variables »). L'oxygène dissous est identifié comme un de ces paramètres essentiels.

(4-2) Intérêts scientifique : L'oxygène dissous en biogéochimie marine et en océanographie physique

Les concentrations en oxygène dissous sont le produit d'un équilibre complexe entre les échanges à l'interface océan-atmosphère, l'équilibre thermodynamique de solubilité et les flux biologiques (photosynthèse et respiration) dans la colonne d'eau. Les variations des concentrations d'oxygène dissous intègre l'ensemble de ces phénomènes. Ainsi, une description précise de la dynamique du contenu en oxygène dissous océanique basé sur un système d'observation global peut permettre (entre autres) de contribuer à répondre aux questions suivantes :

- Désoxygénation de l'océan : Le réchauffement global, en diminuant la solubilité dans l'eau de mer de l'oxygène, tend à réduire sensiblement le contenu océanique de surface en oxygène dissous. Il a été montré que cette diminution au cours des dernières décennies dépasse largement la diminution liée à la baisse de la solubilité [Bopp et al., 2002], faisant de l'oxygène dissous une métrique particulièrement sensible pour estimer le changement global [Deutch et al., 2005]. Une étude récente, basée sur une analyse de données d'oxygène disponibles à l'échelle globale confirme la désoxygénation des océans au cours des 50 dernières années [Schmidtko et al, 2017]. Cette étude illustre l'importance de la stabilité et de la détection des biais systématiques des mesures d'oxygène pour quantifier et qualifier ces tendances.
- Estimation la production annuelle nette de la communauté : En s'affranchissant du signal lié aux échanges à l'interface océan-atmosphère, les cycles saisonniers d'oxygène dissous dans la couche euphotique permettent d'estimer la production annuelle nette de la communauté. La

1 "Conference Statement" in *Proceedings of OceanObs'09: Sustained Ocean Observations and Information for Society (Vol. 1)*, Venice, Italy, 21-25 September 2009, Hall, J., Harrison, D.E. & Stammer, D., Eds., ESA Publication WPP-306, doi:10.5270/OceanObs09.Statement

relation stœchiométrique entre production nette et flux annuels de carbone [e.g. Emerson et al., 1997] permet d'estimer le flux de carbone assimilé sous forme de matière organique potentiellement exportable.

- Estimation de l'efficacité de la pompe biologique de carbone : En-dessous de la zone euphotique, l'oxygène est consommé par la respiration des organismes hétérotrophes, et la décroissance d'oxygène intégrée dans la zone mésopélagique permet d'estimer l'efficacité de la pompe biologique de carbone [Jenkins and Donney 2003].
- Estimation indirecte des paramètres du système des carbonates et des concentrations en sels nutritifs : L'utilisation de données d'oxygène (en plus de la salinité, température et position) permet, à partir de méthodes de réseaux de neurones entraînées par des bases de données globale de biogéochimie, d'estimer avec une précision acceptable les paramètres du système des carbonates et les concentrations en sels nutritifs [e.g. Sauzede et al, 2017]. Il est à noter également que, avec d'autres propriétés, l'oxygène permet d'estimer le CO₂ anthropique océanique (e.g. méthodes eMLR, TrOCA).
- Estimation et prévision des événements d'anoxie et hypoxie : Les épisodes d'hypoxie (voir d'anoxie) sont liés à des phénomènes d'eutrophisation en zone côtière. Il a également été montré que la concentration en oxygène des eaux profondes advectées vers les côtes influence l'occurrence d'épisodes d'hypoxie [e.g. Service et al. 2004]. Ainsi une meilleure description de la dynamique globale des concentrations d'oxygène dissous peut aider à mieux prévoir les épisodes d'hypoxie et leurs conséquences sur les ressources halieutiques par exemple.
- Ventilation océanique : L'utilisation des données d'oxygène en complément des données de salinité, température et courant permet d'étudier la ventilation de l'océan intérieur via la documentation des épisodes de convection profonde [Piron et al, 2016, 2017], la quantification du volume d'eau dense ventilée [Coppola et al., 2017], des taux de ventilation, l'identification des chemins suivis par les masses d'eau profondes récemment ventilées et leur mélange avec les masses d'eaux adjacentes.

L'utilisation de données d'oxygène dissous pour répondre à de tels objectifs est tributaire de la qualité des mesures réalisées. Dans une étude définissant les conditions de réussite de l'intégration du paramètre oxygène dans le système ARGO, Gruber et al. [2010] estiment que pour répondre à ces objectifs les mesures d'oxygène doivent avoir : une justesse inférieure à 5 $\mu\text{mol.kg}^{-1}$ (avec l'objectif d'atteindre 1 $\mu\text{mol.kg}^{-1}$) et une précision de 2 $\mu\text{mol.kg}^{-1}$ au moins (avec un objectif à atteindre de 0.5 $\mu\text{mol.kg}^{-1}$).

(4-3) Etat de l'art dans les mesures d'oxygène dissous

Les mesures de concentrations en oxygène dissous dans les systèmes aquatiques ont été rendues possible dès la fin du 19^{ème} siècle grâce à la mise en place de la méthode dite de « Winkler » [Winkler, 1888] (Voir encadré 1). Cette méthode ne permettant que des mesures discrètes sur des prélèvements, des sondes ont été développées pour estimer la concentration en oxygène dissous *in situ* et en continu. Deux familles de sondes, basées sur deux principes de mesures, sont utilisées en océanographie :

- Les sondes électrochimiques. : La technique de détection est basée sur une *cellule de Clark*. Dans cette cellule, l'oxygène se diffuse au travers d'une membrane (perméable au gaz) au contact de l'eau de mer et subit une réduction ampérométrique. Le courant cathodique mesuré

est proportionnel au flux diffusif d'oxygène à l'électrode et peut être relié à la concentration d'oxygène dissous en solution.

- Les sondes optiques (ou optode) : Le principe de mesure est basé sur le « quenching » de la luminescence émise par un luminophore immobilisé sur une membrane sensible (un complexe platine-porphyrine sur une matrice de silicone). Par effet de « quenching », l'oxygène réduit la durée de vie de luminescence émise par ce luminophore excité par une impulsion lumineuse. Dans les optodes, le luminophore est excité par une lumière ondulé généré par une LED bleu. Le « quenching » de luminescence induit une différence de phase dans la réponse luminescente de la membrane. Une lecture de phase de référence est réalisée par une LED rouge. Ainsi la différence de phase entre le rayonnement de référence et la luminescence de la membrane est relié à la quantité d'oxygène qui diffuse dans la membrane. Au contact de l'eau de mer, les optodes permettent donc d'estimer la concentration en oxygène dissous.

Ces deux familles de capteurs présentent des avantages et des inconvénients qui justifient leur mise en œuvre. Ainsi, les capteurs électrochimiques développés depuis plusieurs décennies sont précis et ont des temps de réponse court. Ils sont utilisés en routine lors des profils bathysonde aux cours des campagnes océanographiques. Le capteur SBE43 développé par l'entreprise américaine *Seabird* équipe ainsi de très nombreuses bathysonde. Ce capteur dérive cependant fortement au cours du temps (effet de bio-salissure) et présente une consommation d'énergie importante, limitant ainsi son utilisation sur des plateformes autonomes. Les capteurs de type optode ont été développés pour des applications dans l'eau depuis environ deux décennies et des sondes commerciales pour des mesures le long de la colonne d'eau sont disponibles depuis plus de 10 ans maintenant (Aanderaa, Seabird, JFE, Kongsberg, ...). En raison de leur taille, de leur faible consommation en énergie et a priori d'une bonne stabilité de la mesure dans le temps (Körtzinger et al., 2005), les capteurs de types optodes sont largement utilisés sur les plateformes autonomes (glider, flotteur Argo, mouillage instrumenté).

La performance de ces capteurs s'est largement accrue depuis ces dernières années, pourtant la précision des mesures en O_2 n'est pas encore optimale en raison du grand nombre de sources d'incertitudes (Johnson et al., 2007 ; Figure 1). Par exemple, en plus de la forte dérive dans le temps des capteurs électrochimiques, ces deux familles de capteur présentent un biais quasi systématique lors de leur déploiement même s'ils ont été correctement étalonnés par les fournisseurs. Ce phénomène est certainement largement lié au vieillissement des membranes. Il est donc nécessaire d'appliquer des corrections systématiques de ce biais. Dans ce contexte, la communauté Argo- O_2 a fait preuve d'un dynamisme certain ces dernières années pour la validation/correction des données d'oxygène dissous acquise sur les flotteurs à partir des optodes [Thierry et al., 2016]. Des études récentes ont montrées que la mesure de la pression partielle d'oxygène dans l'air par l'optode (placé sur un mât) lorsque le flotteur est en surface permet de corriger la dérive des mesures d'oxygène et d'obtenir des résultats avec une précision de 1% [Johnson et al. 2015, Bittig and Körtzinger 2015]. Cette méthode de correction des données d'oxygène sur les flotteurs (et potentiellement sur les gliders) ouvre de nouvelles perspectives.

Il n'en reste pas moins vrai que l'ajustement des données en amont (avant déploiement du capteur) et à posteriori (une fois les données transmises) **par des mesures de références par la méthode de Winkler resteront indispensable comme référence ultime dans toute chaîne de validation/correction de données d'oxygène.**

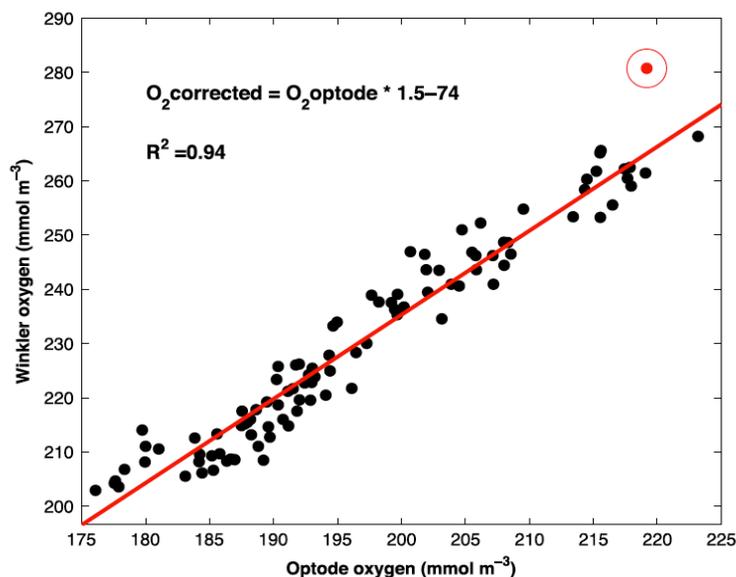


Figure 1 : Exemple typique de dérive entre des mesures d'optode Aanderaa et les mesures in situ Winkler réalisées sur un navire d'opportunité en Atlantique Nord (Ostle et al., 2015). La droite en rouge représente le modèle de régression linéaire pour les valeurs ajustées (pente = 1.5 et offset 74 mmol/m³). Le point rouge correspond à une mesure exclue.

Encadré 1 : La méthode de Winkler

La méthode de Winkler pour le dosage de l'oxygène dissous a été développée par Ludwig Wilhem Winkler au cours de sa thèse à l'université de Budapest et publiée en 1888. Des modifications marginales ont été apportées pour sa mise en œuvre en océanographie [Carpenter 1965]. Cette mesure est basée sur une suite de réactions d'oxydo-réduction initiée par la consommation de l'oxygène contenu dans un volume précis d'eau de mer. La réaction finale est un titrage iodométrique permettant de déduire avec précision la quantité d'oxygène contenu dans le flacon. Les différences essentielles dans la mise en œuvre de cette méthode portent sur la détection du point d'équivalence du dosage iodométrique (Visuel, photométrique, ampérométrique, potentiométrique).

Les mesures d'oxygène dissous souffrent de l'impossibilité de produire des solutions de concentration certifiées en oxygène dissous pour déterminer la justesse des mesures. La méthode de Winkler répond partiellement à ce problème car la justesse du dosage iodométrique peut être contrôlée par des solutions de référence certifiées d'Iodate. Pour le reste, même si le protocole de la méthode Winkler est parfaitement décrit, sa mise en œuvre reste non triviale. Les étapes de préparation (étalonnage du volume des flacons), prélèvement (crucial dans la méthode de Winkler), conservation des échantillons avant la mesure et la mesure elle-même sont autant d'écueils qui peuvent affecter la précision et la justesse des mesures. Ainsi, **seuls des exercices d'intercomparaison de laboratoire sur un site peuvent permettre d'estimer la performance relative de diverses équipes à reproduire des résultats.**

(4-4) Contexte national

La question de la validation/correction des données d'oxygène acquises par plateformes autonomes (notamment pour les flotteurs, mais aussi pour les bathysondes, les mouillages immergés ou encore les gliders) a conduit différents laboratoires français à s'interroger sur leurs pratiques. Depuis 2015, un « atelier national oxygène » est organisé chaque année (réunion annuelle en Septembre 2015, Octobre 2016, prévu fin 2017²) dans le cadre du SOERE CTDO2. Ces ateliers réunissent sur une

2 Les présentations et Comptes rendus des ateliers 2015 et 2016 sont disponibles à : <http://www.umr-lops.fr/Recherche/Equipe-Ocean-Climat/Evenements/Atelier-O2-2016>
<http://www.umr-lops.fr/Recherche/Equipe-Ocean-Climat/Evenements/Atelier-O2-2015>

journée différentes équipes françaises et permettent un échange d'informations fructueux. A terme, ces ateliers visent à faire converger vers des protocoles communs de calibration/correction des données d'oxygène.

Au cours de ces ateliers, il a été constaté que des exercices d'intercomparaison de mesure par la méthode de Winkler existent en France. Dans le cadre du SNO SOMLIT, un exercice d'intercomparaison régulier est organisé avec des mesures de Winkler. De plus, la communauté océanographique en Bretagne organise chaque année un exercice d'intercomparaison Winkler. Cependant cet exercice est organisé en zone côtière, dans des conditions différentes des campagnes hauturières et n'implique pas une partie de la communauté nationale qui travaille en milieu hauturier au niveau régional et global.

Dans ce contexte, il est donc apparu opportun d'organiser un exercice réunissant l'ensemble des équipes impliquées dans l'acquisition et la validation/correction des données d'oxygène et qui contribuent aux réseaux d'observations globaux.

(5) Objectif général et questions de recherche traitées

L'objectif de ce projet est d'organiser un exercice d'intercomparaison de mesures d'oxygène dissous par la méthode de Winkler. Cet objectif peut paraître éloigné (voir accessoire) par rapport à l'ambition affichée d'intégrer les mesures d'oxygène dans un système d'océanographie opérationnel. Cependant la mesure d'échantillons par la méthode de Winkler restant la référence absolue pour s'assurer de la justesse des données d'oxygène acquises, ces mesures constituent « la pierre angulaire » de toute chaîne de validation/correction de données.

L'objectif de ce projet est donc de garantir que les mesures de référence (par la méthode de Winkler) réalisées par les différents laboratoires impliqués dans la validation/correction des données d'oxygène répondent bien à l'objectif de précision souhaitée pour les données d'oxygène issues des capteurs autonomes ayant vocation à alimenter un système d'océanographie opérationnel. Pour cela, nous organisons un exercice d'intercomparaison pour évaluer la capacité des laboratoires à atteindre la précision attendue, identifier les éventuels problèmes et améliorer la mise en œuvre des procédures si nécessaires.

(6) Plan de recherche, méthodologie et calendrier de réalisation

Cet exercice d'intercomparaison vise à réunir les différentes équipes dans les conditions suivantes :

- Chaque équipe participante amène son matériel pour réaliser les mesures de Winkler tel qu'elle les réalise en routine.
- Chaque équipe participante réalise l'échantillonnage à partir d'une bouteille Niskin commune (celle utilisée par le SNO SOMLIT)
- Une référence unique d'iodate est utilisée par l'ensemble des participants
- Trois niveaux de concentrations d'oxygène seront analysés avec : un niveau correspondant à des eaux de surface proche de l'équilibre avec l'atmosphère, un niveau correspondant à des eaux de la zone mésopélagique en sous saturation marqué en oxygène et un niveau correspondant à des eaux profondes avec des concentrations en oxygène plus stable

- Les mesures Winkler seront réalisées sur place et une première comparaison de ces dernières sera effectuée le dernier jour.
- Le nombre de réplicats sera de 5 par profondeurs (soit 15 échantillons au total) pour que les tests soient valables statistiquement. Ces chiffres sont issus des exercices d'intercomparaison SOMLIT (rapport « Méthodes statistiques pour les exercices d'intercomparaison du SOMLIT », E.Breton, N.Savoie, N.Garcia)
- Ces conditions permettront de tester les techniques de prélèvements des laboratoires car certains réplicats d'un laboratoire donné seront analysés par un autre laboratoire. Elles permettront de tester la technique d'estimation de la concentration en oxygène dissous par comparaison des valeurs finales

Nous proposons d'organiser cet exercice à l'Observatoire Océanologique de Villefranche sur Mer (OOV) au cours du printemps 2018 (Avril/Mai). Le site d'étude sera situé en sortie de la rade de Villefranche/Mer et en dehors du courant Nord qui se situe en général vers 10-15 miles de la côte. Le site devra être suffisamment profond pour atteindre la zone mésopélagique appauvrie en oxygène et en dehors du courant pour ne pas être influencé par des courants advectifs trop forts (courant situé dans une couche entre 0-150m). Afin de réaliser ces prélèvements en une journée, nous proposons un site idéalement situé entre la sortie de la rade et la zone des 10 miles. En se basant sur les sorties glider effectuées en Avril 2016 (radiale MOOSET00-35), les profils T-S-O₂ et les courants intégrés, il apparaît clairement que ces caractéristiques peuvent être obtenues dans une bande entre 5 et 10 miles (i.e. entre 9 et 18 km) de la côte, soit une fois atteint l'isobathe des 1000 m (Figure 2). Dans cette zone, les concentrations d'O₂ en cette saison devraient se situer entre 260 $\mu\text{mol.kg}^{-1}$ en surface et 180 $\mu\text{mol.kg}^{-1}$ vers 400 m (début de l'apparition de la LIW).

L'Observatoire Océanologique de Villefranche présente deux avantages pour l'organisation de cet exercice :

- Un accès à la mer rendu possible par la disponibilité du navire de station SAGITA III. La SAGITA III permet d'embarquer 10 personnes jusqu'à 20 miles des côtes (ainsi chaque participant pourra embarquer pour réaliser le prélèvement).
- L'espace nécessaire en laboratoire à l'installation des différentes équipes pour la mesure des échantillons collectés. Chaque équipe doit pouvoir accéder à environ deux mètres de paille pour travailler dans de bonnes conditions.

L'exercice réunira 8 équipes (voir liste des participants) utilisant divers techniques de détection du point équivalent. Il sera organisé sur une durée de 4 jours avec le calendrier suivant :

- Jour 1 : Arrivée des participants, mise en place des équipements, contrôle des équipements et organisation concrète de l'exercice.
- Jours 2 et 3 : Collecte et analyse des échantillons d'eau de mer
- Jour 4 : Mise en commun des données acquises, et analyses des premiers résultats. Démontage des instruments et départ des participants.

La rédaction d'un rapport d'intercalibration se fera ultérieurement

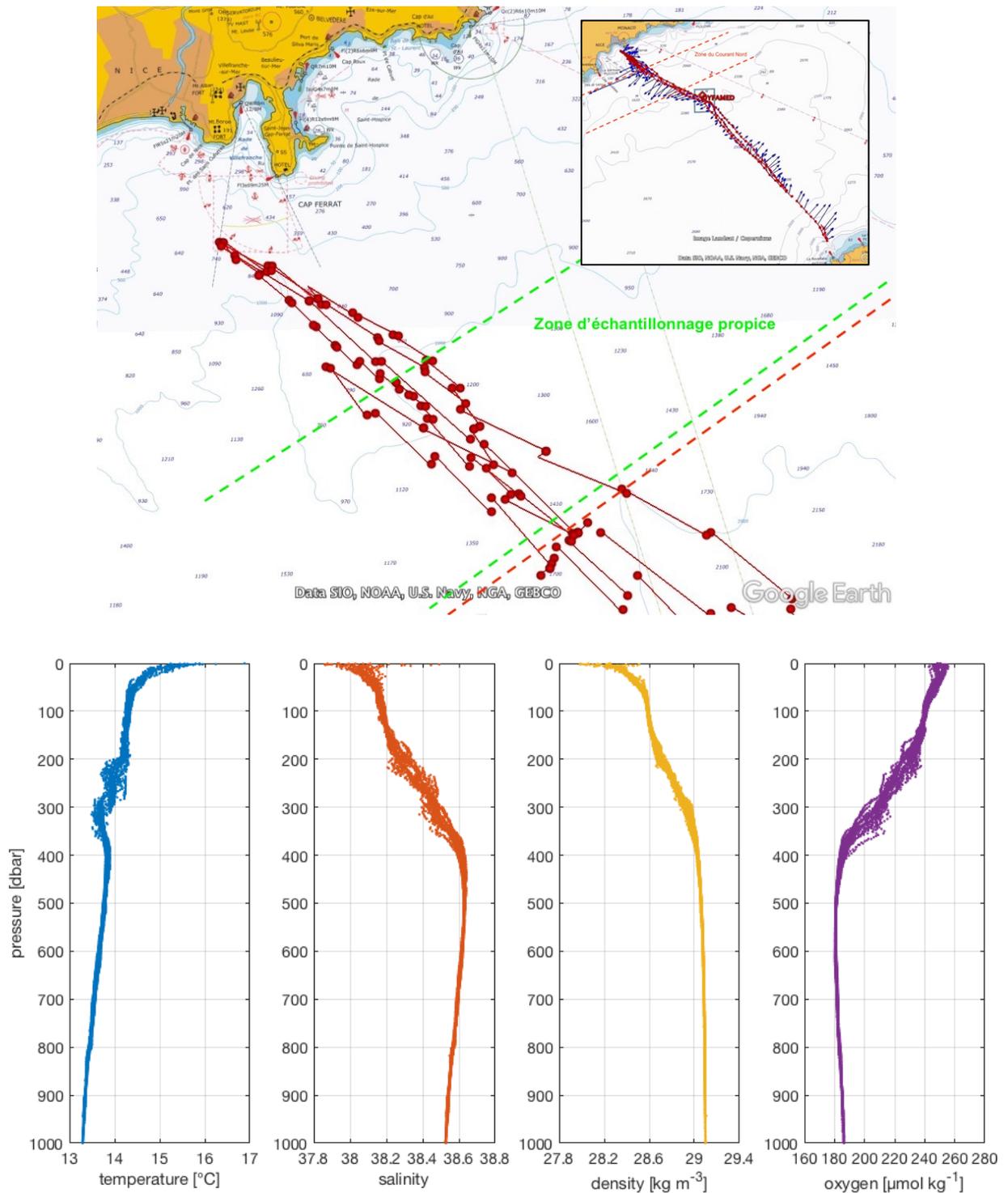


Figure 2 : (A) Radiale glider MOOSET00-35 effectuée en Avril 2016. La figure insérée en haut à gauche illustre la radiale complète avec les courants intégrés (flèches bleues). Les points rouges indiquent les positions du glider en surface et les traits pointillés en rouge la zone où la présence du courant Nord est souvent observée. La zone propice à l'échantillonnage Winkler se situerait dans la bande verte en trait pointillé. (B) Profils T, S, densité et oxygène dissous (ajusté) mesuré par le glider SLOCUM CAMPE pendant la radiale MOOSET00-35. Le maximum d'O₂ est bien visible en surface (> 250 μmol.kg⁻¹) et le minimum d'O₂ commence à apparaître vers 400 m (180 μmol.kg⁻¹).

Pour les jours de collecte d'échantillons et d'analyse, l'organisation suivante est proposée :

1. Embarquement des participants sur la Sagita III
2. Transit jusqu'au site d'étude (dans la zone propice voir Figure 1)
3. A l'arrivée sur site, réalisation d'un profil avec une CTD autonome équipé d'un capteur d'oxygène (La Sagita III ne permet pas encore l'utilisation d'un câble électroporteur).
4. Dépouillement du profil de CTD autonome à la remontée et définition de deux ou trois profondeurs de prélèvement en fonction du profil d'oxygène.
5. Mise en œuvre de la bouteille Niskin Large Volume et Multi robinet (6 robinets) et collecte des échantillons par chaque laboratoire (réalisation éventuelle de plusieurs palanquées aux profondeurs choisies).
6. Retour au laboratoire
7. Analyse des échantillons

Il est à noter que :

- La bouteille Niskin Large Volume et Multi robinets (6 robinet) appartient à la station biologique de Roscoff (SBR) et est utilisé lors des exercices d'intercomparisons SOMLIT.
- La programmation de 2 jours de collecte d'échantillons et d'analyse semble indispensable. En effet en cas de problème (météo, matériel), deux jours permettent de trouver des solutions et de ne pas avoir fait déplacer les participants des différents laboratoires pour rien. Si aucun problème n'est rencontré, ceci permettra de réaliser un plus grand nombre de réplicats
- Enfin, une radiale glider (Slocum ou SeaExplorer) sera opérationnelle entre Nice et Calvi au printemps 2018, ce qui nous permettra d'anticiper la bonne position du site de prélèvement

(7) Résultats attendus

Le principal résultat attendu de cet exercice est une évaluation de la capacité des laboratoires à mesurer des concentrations d'oxygène dissous avec une précision d'ensemble de l'ordre de $1 \mu\text{mol.kg}^{-1}$, de mettre en évidence les raisons éventuelles des différences obtenues et d'homogénéiser les futures mesures Winkler qui seront réalisées au niveau national. *In fine*, l'objectif est de garantir que l'ensemble des équipes participantes sont capable de mesurer des concentrations d'oxygène dissous avec une précision d'ensemble de l'ordre de $1 \mu\text{mol.kg}^{-1}$.

L'exercice d'intercomparaison fera l'objet d'un rapport complet sur les résultats obtenus au cours de l'exercice et présentera des recommandations sur la mise en œuvre de la méthode Winkler. Le format de publication de ce rapport reste à définir avec en particulier la question de l'anonymisation des laboratoires participants. Afin de diffuser largement les conclusions de ce rapport, cet exercice pourra faire l'objet (si le comité scientifique GMMC le juge nécessaire) d'une présentation au cours du colloque annuel du GMMC. Une discussion avec les équipes SOMLIT (coord : N.Savoye et expert qualité : N. Garcia) est aussi envisagée.

Enfin, bien que représentant un résultat difficilement quantifiable, ce genre d'exercice doit permettre de renforcer les collaborations nationales autour de la problématique de la validation/correction des données d'oxygène.

(8) Références bibliographiques principales des proposant

Branellec Pierre, Thierry Virginie (2016). RREX 2015. CTD-O2 Data report. ODE/LOPS/16-26 . <http://doi.org/10.13155/47156>

Coppola, L., L. Prieur, I. Taupier-Letage, C. Estournel, P. Testor, D. Lefevre, S. Belamari, S. LeReste, and V. Taillandier (2017), Observation of oxygen ventilation into deep waters through targeted deployment of multiple Argo-O₂ floats in the north-western Mediterranean Sea in 2013, *J. Geophys. Res. Oceans*, 122

Paulmier A, Ruiz-Pino D Garçon V (2011) CO₂ maximum in the oxygen minimum zone (OMZ). *Biogeosciences*, 8: 239-252.

Paulmier A, Ruiz-Pino D (2009) Oxygen minimum zones (OMZs) in the modern ocean. *Prog. Oceanogr.* 80(3-4): 113-128.

Piron A., V. Thierry, H. Mercier and G. Caniaux, 2016a: Observation of basin-scale deep convection in the Irminger Sea with Argo floats in the 2011-2012 winter, *Deep-Sea Research Part I*, 109, 76-90, doi: 10.1016/j.dsr.2015.12.012

Thierry Virginie, Bittig Henry, The Argo-Bgc Team (2016). Argo quality control manual for dissolved oxygen concentration. <http://doi.org/10.13155/46542>

(9) Participation effective, prévue ou envisageable à d'autres programmes de recherche régionaux, nationaux et européens sur les mêmes problématiques

Cet exercice servira aux communautés travaillant sur les mesures et les données O₂ au niveau global (Argo-O₂), régional (MOOSE, NAOS, PIRATA, ...) et côtier (SOMLIT).

(10) Compléments

Bopp, L., C. LeQuéré, M. Heimann, A. C. Manning, and P. Monfray (2002), Climate-induced oceanic oxygen fluxes: Implications for the contemporary carbon budget, *Global Biogeochem. Cycles*, 16, 1022, doi:10.1029/2001GB001445.

Bittig, H. C. and Körtzinger, A. (2015), Tackling oxygen optode drift: Near-surface and in-air oxygen optode measurements on a float provide an accurate in situ reference, *J. Atmos. Ocean. Tech.*, 32, 1536-1543, doi:10.1175/JTECH-D-14-00162.1.

Carpenter, J.H. (1965). The accuracy of the Winkler method for dissolved oxygen analysis. *Limnol. Oceanogr.* 10, 135-140.

Claustre, H. & Co-Authors (2010). "Guidelines Towards an Integrated Ocean Observation System for Ecosystems and Biogeochemical Cycles" in *Proceedings of OceanObs'09: Sustained Ocean Observations and Information for Society (Vol. 1)*, Venice, Italy, 21-25 September 2009, Hall, J., Harrison, D.E. & Stammer, D., Eds., ESA Publication WPP-306, doi:10.5270/OceanObs09.cwp.39

Deutsch, C., S. R. Emerson, and L. Thompson (2005). Fingerprints of climate change in North Pacific oxygen, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L16604, doi:10.1029/2005GL023190.

Emerson, S., P. Quay, D. Karl, C. Winn, L. Tupas, and M. Landry (1997) The carbon pump in the Subtropical Pacific Ocean: Implications for the Global Carbon Cycle, *Nature*, 389, 951- 954.

Gruber, N. & Co-Authors (2010). "Adding Oxygen to Argo: Developing a Global In Situ Observatory for Ocean Deoxygenation and Biogeochemistry" in *Proceedings of OceanObs'09: Sustained Ocean Observations and Information for Society (Vol. 2)*, Venice, Italy, 21-25 September 2009, Hall, J., Harrison, D.E. & Stammer, D., Eds., ESA Publication WPP-306, doi:10.5270/OceanObs09.cwp.39

- Service, R. (2004) New dead zone off Oregon Coast hints at sea change in currents. *Science* , 305, 1099.
- Johnson, K.S.; Needoba, J.A.; Riser, S.C.; Showers, W.J (2007), Chemical sensor networks for the aquatic environment. *Chem. Rev.*, 107, 623–640.
- Johnson, K. S., J. N. Plant, S. C. Riser, and D. Gilbert (2015), Air Oxygen Calibration of Oxygen Optodes on a Profiling Float Array, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* , 32 (11), 2160-2172, doi:10.1175/jtech-d-15-0101.1.
- Jenkins, W. and S. Doney (2003) The subtropical nutrient spiral, *Glob. Biogeochem. Cycles*, 17, doi: [10.1029/2003GB002085]
- Körtzinger, A., J. Schimanski, and U. Send (2005). High-quality oxygen measurements from profiling floats: A promising new technique, *J. Atm. Ocean. Techn.* 22, 302-308.
- Ostle, C., M. Johnson, P. Landschützer, U. Schuster, S. Hartman, T. Hull, and C. Robinson (2015), Net community production in the North Atlantic Ocean derived from Volunteer Observing Ship data, *Global Biogeochem. Cycles*, 29, 80–95, doi:10.1002/2014GB004868.
- Piron A., V. Thierry, H. Mercier and G. Caniaux, 2016b, Gyre scale deep convection event in the north-atlantic ocean during winter 2014-2015, submitted to GRL
- Piron A., V. Thierry, H. Mercier and G. Caniaux, 2016a: Observation of basin-scale deep convection in the Irminger Sea with Argo floats in the 2011-2012 winter, *Deep-Sea Research Part I*, 109, 76-90, doi: 10.1016/j.dsr.2015.12.012
- Sauzede, R., H. Claustre, J. Uitz, C. Jamet, G. Dall'Olmo, F. D'Ortenzio, B. Gentili, A. Poteau, and C. Schmechtig (2016), A neural network-based method for merging ocean color and Argo data to extend surface bio-optical properties to depth: Retrieval of the particulate backscattering coefficient, *Journal of Geophysical Research-Oceans*, 121(4), 2552-2571, doi:10.1002/2015JC011408.
- Schmidtko, S., Stramma, L. & Visbeck M. (2017), Decline in global oceanic oxygen content during the past five decades, *Nature* 542, 335–339
- Service, R. (2004) New dead zone off Oregon Coast hints at sea change in currents. *Science* , 305, 1099.
- Thierry V., Gilbert D., Kobayashi T., Schmid C., Kanako S. (2016). Processing Argo oxygen data at the DAC level cookbook . <http://doi.org/10.13155/39795>
- Winkler, L. W. (1888). Die Bestimmung des im Wasser gelosten Sauerstoffes. *Ber. Dtsch. Chem. Ges.* 21: 2843-2853.