



## **Campagnes PERLE 2018-2019**

### **Modification de la stratégie et du plan d'échantillonnage**

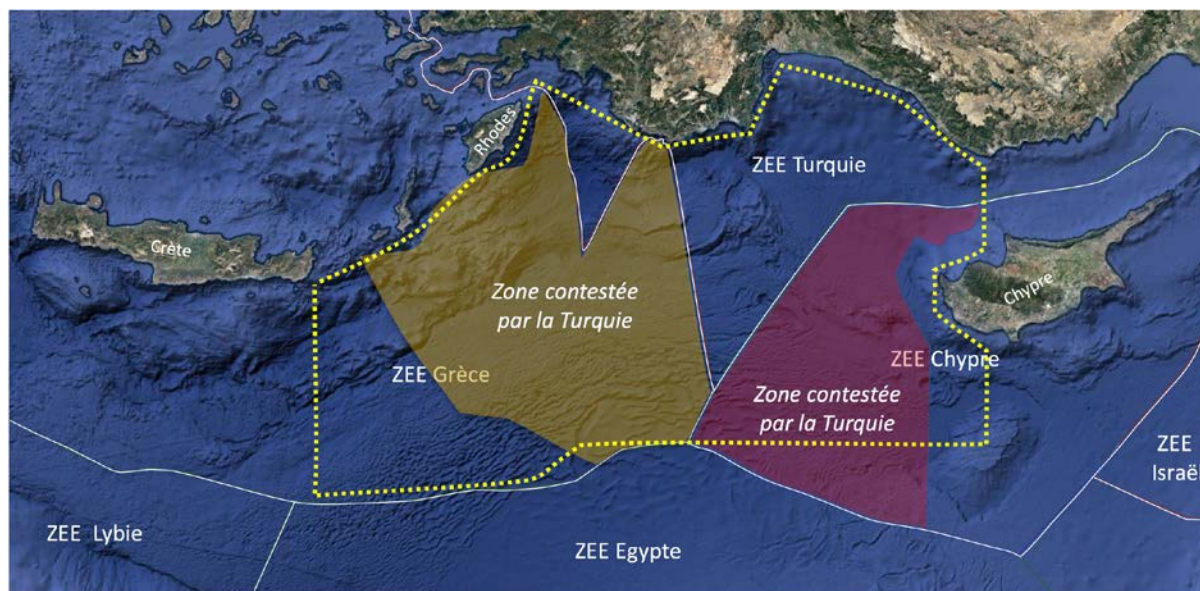
#### **Chefs de mission et responsables scientifiques**

Conan P., Coppola L., D'Ortenzio F.,  
Dumas F. , Durrieu de Madron X.,  
Estournel C., Testor P., Wagener T.

*05 Septembre 2018*

## Contexte

Suite aux refus des autorités turques de travailler dans la ZEE turque, l'absence de retour des autorités chypriotes, la forte recommandation (valant interdiction) du ministère de l'Europe et des Affaires Etrangère (MEAE) de travailler dans la zone contestée par la Turquie (décrite ci-après comme « zone contestée », Figure 1), et l'autorisation des autorités grecques de travailler dans leur ZEE non contestée, nous proposons une nouvelle stratégie de répartition des opérations bateau et plateformes autonomes permettant de répondre aux objectifs de PERLE.



**Figure 1: Carte des Zones Exclusives Economiques (ZEE) des différents pays bordant le bassin Levantin en Méditerranée orientale et zone contestée par la Turquie. La zone d'étude initiale est délimitée par le trait pointillé jaune.**

## Rappel de la stratégie initiale des campagnes PERLE 2018-2019

Les campagnes PERLE visent à décrire la formation et la dispersion de l'Eau Intermédiaire Levantine (LIW) en Méditerranée orientale, et à déterminer son rôle dans la distribution des nutriments et sur la structuration des écosystèmes planctoniques.

Trois campagnes PERLE sont prévues dans la partie centrale du bassin du Levantin - le site principal de formation de la LIW dans et autour du gyre de Rhodes - pour examiner les périodes clés des conditions physiques et biogéochimiques. Ces observations sont complétées par diverses mesures physiques et bio-optiques obtenues simultanément par des plates-formes autonomes (mouillages, flotteurs-profileurs, gliders, bouées dérivantes), ainsi que par des relevés océanographiques saisonniers effectués par des partenaires turcs et israéliens le long des frontières nord et est du bassin levantin.

Le travail de terrain proposé était une adaptation de la stratégie utilisée au cours de l'expérience DEWEX 2012-2013 en Méditerranée nord-occidentale (Testor et al.,

2018<sup>1</sup>). Elle consistait en une concentration de moyens d'observations dans la même zone sur un cycle annuel, en se concentrant sur la période de mélange et de formation d'eau dense, et l'efflorescence planctonique subséquente.

Un réseau de 88 stations (Annexe 1) était prévu pour les campagnes PERLE-1 (Octobre 2018), PERLE-2 (Février-Mars 2019) et PERLE-3 (Juillet-Août 2019). Le réseau, défini au cours de plusieurs réunions avec les participants nationaux et internationaux, couvraient les ZEE revendiquées par la Grèce, la Turquie et Chypre (Figure 1).

### Résumé de la nouvelle stratégie proposée

L'impossibilité de réaliser ce réseau de stations nous a conduits à proposer une nouvelle stratégie dans laquelle les plateformes autonomes et les campagnes bateau se voient affecter des rôles différents de leurs rôles initiaux pour des objectifs identiques.

Cette nouvelle stratégie est rendue possible par l'importance et la variété de la flotte de plateformes autonomes (flotteurs-profileurs T/S, BGC, O2, bouées dérivantes et gliders) dont nous disposons. Nous proposons de faire opérer ces plateformes dans la zone contestée afin de décrire le site principal de formation de la LIW (dans et autour du gyre de Rhodes) du point de vue de la physique, de la biogéochimie et de la biologie. Ceci sera rendu possible en tirant parti de méthodes récemment développées (Annexe 3) et pour le développement desquelles le LOV, membre du consortium PERLE, est en première ligne.

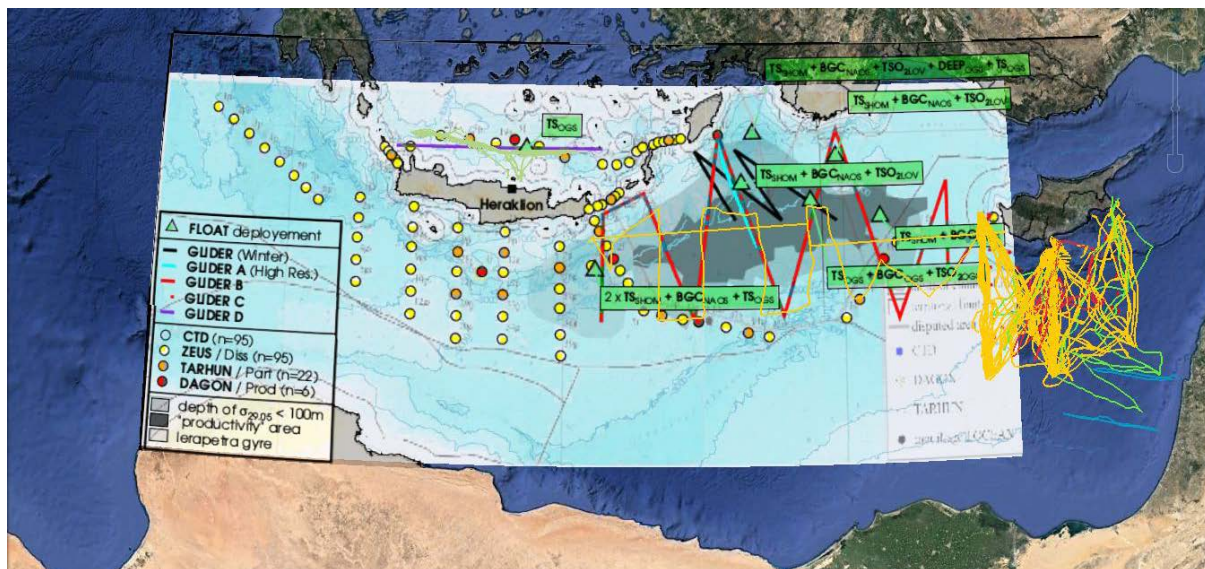
Les campagnes bateau sont alors ré-orientées vers deux grands objectifs : le premier est une description des propriétés physiques et biogéochimiques régionales à une échelle plus large qu'initialement prévue et couvrant bien la partie ouest de la zone d'intérêt, le second est la calibration des données flotteurs-profileurs / gliders et l'apprentissage de réseau de neurones comme discuté dans l'annexe 3. La modélisation numérique, composante importante de PERLE, va particulièrement tirer parti de cette nouvelle stratégie.

La stratégie initiale de trois campagnes PERLE avec un échantillonnage de base identique (Figure 2) est maintenu. Les divers niveaux d'échantillonnage (Zeus, Dagon et Tarhun cf. Annexe 1) définis dans le plan initiale sont également maintenus. Cependant, alors que la durée de la campagne PERLE-1 reste inchangée avec un réseau de stations dense, nous proposons un allègement significatif de la durée des campagnes PERLE-2 et PERLE-3 pour lesquelles les opérations seront réduites (Annexe 2). De plus, nous souhaitons reporter PERLE-3 sur le premier trimestre 2020, cette campagne n'ayant plus pour but de compléter le cycle saisonnier qui sera assuré par les plateformes autonomes, mais remplissant des objectifs plus techniques (récupération du mouillage, complétion du jeu de données pour la calibration des flotteurs-profileurs / gliders et l'apprentissage de réseau de neurones sur la période productive).

---

<sup>1</sup> Testor P., Bosse A., Houpert L., Margirier F., Mortier L., Le Goff H., ... Conan P. (2018). Multi scale observations of deep convection in the northwestern Mediterranean Sea during winter 2012–2013 using multiple platforms. *Journal of Geophysical Research - Oceans*, 123,1745–1776. doi : 10.1002/2016JC012671.

Dans le difficile contexte budgétaire de la programmation des campagnes hauturières en 2019, la solution proposée permet de contribuer à la résolution de cette conjonction de problèmes diplomatiques et budgétaires tout en maintenant les objectifs scientifiques annoncés. Ce plan nous semble être la meilleure façon de répondre aux objectifs du projet PERLE et d'étudier le fonctionnement de cette zone d'un intérêt majeur pour l'ensemble du bassin Méditerranéen. Il faut rappeler qu'elle n'est plus étudiée depuis les campagnes POEM (1985-1995).



**Figure 2 : Nouveau plan d'échantillonnage bateau et plateformes. Les stations CTD correspondent à PERLE-1. Le nombre de stations est réduit au sud et à l'ouest de la Crète pour PERLE-2 et 3. Les plans plus détaillés par campagne sont présentés en annexe 2.**

### Principes de la nouvelle stratégie

La nouvelle stratégie pour les trois campagnes PERLE, dont PERLE-1 qui débute le 27 septembre 2018, s'appuie sur les points suivants:

- (1) La formation des LIW dans la région du Gyre de Rhodes et le long des côtes turques, zones pour lesquelles nous n'avons pas d'autorisations de travail, peut être suivie à l'aide des plateformes autonomes (flotteurs-profileurs et gliders), des campagnes PERLE hors zone contestée et des campagnes semestrielles scanfish turques.
- (2) Une partie de la réponse biologique/chimique à la formation/dispersion de la LIW sera également évaluée par flotteurs-profileurs et gliders dans la zone du gyre de Rhodes. Des stations spécifiques seront réalisées dans les zones autorisées pour réaliser l'apprentissage des méthodes récemment développées (voir Annexe 3). Cet apprentissage se fera sur la partie ouest de la zone de formation des Eaux Levantines qui devrait être suffisamment représentative des conditions biogéochimiques de la région.



- (3) Le nouveau plan de stations physique/biogéochimie/biologie des campagnes PERLE se concentre lui (i) sur la dispersion et la modification des LIW de part et d'autre de la Crète, leurs interactions avec d'autres masses d'eau formées comme les eaux crétoises intermédiaires au nord de la Crète et les structures de mésoéchelle au sud (anticyclone de Ierapetra et cyclone de Crète) et (ii) sur la réalisation de stations de calibration et validation des nouveaux algorithmes biogéochimiques appliqués aux flotteurs-profileurs et gliders (point précédent).

## **Le plan d'échantillonnage des campagnes PERLE**

Le nouveau plan de campagne (Figure 2), porte en particulier sur les points suivants :

### **1. La dispersion des LIW: élucider les voies d'export et l'interaction avec les CIW**

Les voies d'export des LIW vers le reste du bassin sont définies dans la littérature comme étant d'une part vers l'ouest, au sud de la Crète et d'autre part par le sud de la Mer Egée à travers les détroits entre la Crète et la Turquie. Le nouvel échantillonnage doit permettre de documenter ces voies d'export. De plus, la voie "Egée" va être documentée pour déterminer les interactions entre la LIW et l'eau Crétoise Intermédiaire (CIW) qui est formée au Nord de la Crète et aurait une profondeur d'équilibre un peu supérieure à la LIW. L'échantillonnage en stations sera complété par deux déploiements de flotteurs.

A partir des résultats de PERLE-1, on réduira le plan d'échantillonnage au sud de la Crète pour PERLE-2 et 3 pour se focaliser sur une ou deux radiales préférentielles Est Ouest (Annexe 2).

### **2. Liens avec les plateformes autonomes**

Ce point est absolument majeur dans la nouvelle stratégie. Il s'agit d'acquérir un large jeu de variables biogéochimiques à différentes saisons et spécifique pour la Mer Levantine, qui va servir d'abord pour affiner et vérifier les méthodes de calibration des capteurs embarqués sur les plateformes autonomes. Ce jeu des données va aussi permettre d'étendre le nombre de variables déduites à partir des plateformes autonomes, notamment en augmentant la base de données d'apprentissage pour les méthodes *Phytofloats* et *Canyon-MED*. Pour plus de clarté, les méthodologies sont développées en Annexe 3.

### **3. L'interaction LIW / mésoéchelle**

Ce point sera principalement étudié lors de PERLE-1 grâce au jeu de stations au sud de la Crète qui échantillonnera les grosses structures quasi permanentes de l'anticyclone de Ierapetra et du cyclone de Crète.

### **4. L'initialisation et la vérification des modèles**

Ce nouveau réseau va permettre de mieux considérer le problème de l'initialisation des modèles à grande échelle. Par exemple, il est impératif pour traiter l'export de LIW que les gradients de densité entre le Levantin et le Sud Egée soient bien représentés pour obtenir des flux corrects dans les détroits. De même nous

voudrions caractériser les échanges entre la zone de formation et le Sud de la Crète. PERLE-1 donnera un échantillonnage relativement serré de cette zone. La position et la structure horizontale et verticale de l'anticyclone de Ierapetra devrait être très précise ce qui est apparu important dans les premiers exercices de modélisation car il existe une délimitation très étroite entre cet anticyclone et le gyre de Rhodes avec une dénivellation des isopycnes de plusieurs centaines de mètres.

Pour la vérification des modèles, un point très important est le monitoring des détroits (CTD, ADCP) qui sera assuré entre la Crète et Rhodes (voir point 1).

Enfin, pour la modélisation biogéochimique, la diversité des stations rencontrées dans les grosses structures de mésoéchelle anticyclonique et cyclonique, et en périphérie du gyre de Rhodes devraient bien correspondre aux besoins de calibration/vérification et de fait, pouvoir se généraliser à une grande partie du bassin Levantin qui est en effet largement peuplé de ces grosses structures de mésoéchelle postées tout autour du gyre de Rhodes (Mersa-Matruh, Shikmona, etc).

### **Nouveau chiffrage du nombre de stations, du calendrier et de la durée des campagnes PERLE-2 et PERLE-3**

Comme mentionné plus haut, le réseau des campagnes PERLE-2 et PERLE-3 sera proche de PERLE-1 mais réduit au sud et à l'ouest. Voir les cartes en annexe.

La période demandée pour la campagne PERLE-2 reste inchangée, soit février-mars 2019. Cette campagne comportera une cinquantaine de stations, au lieu des 88 initialement prévues. La durée de la campagne est dorénavant de 30 jours (soit 6 jours de moins pour le plan d'échantillonnage initial).

La période demandée pour la campagne PERLE-3 est modifiée et est décalée à l'hiver 2020. La caractérisation du devenir des LIW et des paramètres biogéochimiques dans le gyre de Rhodes en période estivale telle qu'envisagée dans le plan initial n'étant pas possible, et étant maintenant assurée par les plateformes autonomes, sa programmation pendant l'été 2019 devenait inutile. Avec une nouvelle programmation pendant l'hiver 2020, cette campagne permettra de récupérer le mouillage qui sera déployée lors de la campagne PERLE-1 et qui restera ainsi plus d'une année à l'eau. De nouveaux flotteurs-profileurs seront déployés tandis que des anciens seront dans la mesure du possible récupérés et reconditionnés. Le plan d'échantillonnage devrait être proche de celui de PERLE-2 au voisinage du gyre de Rhodes en se concentrant sur les zones susceptibles d'enrichir la base de données d'apprentissage (à la lumière des résultats de PERLE-2). La durée de la campagne est de 30 jours (au lieu des 36 jours initiaux).

### **Nouveau plan de déploiement des flotteurs-profileurs et des gliders**

La flotte de plateformes autonome PERLE est composée de flotteurs-profileurs physiques et biogéochimiques (au total une vingtaine) et de gliders. Nous proposons désormais **un déploiement de la quasi-totalité des flotteurs-profileurs dans la zone contestée par utilisation de bateaux d'opportunité (i.e. bateau de plaisance, navire océanographique turque).**

Les gliders quadrilleront l'ensemble de la zone sur une base de répétition de 2 mois le long de la radiale en dents de scie Est-Ouest tandis qu'une radiale nord-sud sera

répétée à haute fréquence (5-10 jours) au sud de Rhodes **pour intensifier et maintenir des mesures dans cette zone**. Deux gliders supplémentaires seront déployés en hiver et fonctionneront en mode adaptatif pour bien couvrir le bord de la zone de formation des eaux Levantines pendant et juste après le mélange vertical violent qui forme les eaux levantines.

Pour les flotteurs-profileurs, cinq points de déploiements principaux ont été identifiés. Les flotteurs-profileurs ainsi largués devraient raisonnablement se maintenir dans la zone d'intérêt (le gyre de Rhodes qui se situe au nord de 34°N et entre les îles de Crète et Chypre) et fournir un échantillonnage physique et biologique adapté aux objectifs scientifiques qui sous-tendent le programme PERLE.

Sur chaque point, **les flotteurs-profileurs seront largués par groupe de trois** (1 T/S, 1 BGC-Argo, 1 T/S/O<sub>2</sub>). Seule exception, motivée par l'importance de la région, le point dans la fosse de Rhodes (point 1), où un flotteur T/S additionnel et le seul flotteur DEEP à disposition seront déployés en plus.

Les stratégies d'échantillonnage seront aussi modifiées pour **maintenir les flotteurs-profileurs le plus longtemps possible sur les zones de déploiement**. Cela implique de réduire (par rapport au standard de déploiement du programme MEDARGO) la fréquence du cycle (parking-profil) d'échantillonnage à 7-10 jours et d'augmenter (toujours par rapport au standard MEDARGO) la profondeur de parking à 1000 voire 2000 m (où la circulation est très lente). Cette **stratégie pourra être éventuellement modifiée** (ndlr du fait que l'ensemble des flotteurs-profileurs déployés sont « multimissions », pilotables par le lien bidirectionnel Iridium) au cas par cas lors de la transition hiver/printemps, si des événements spécifiques, comme une convection profonde ou une floraison phytoplanctonique sont observés.

## Adéquation des plateformes autonomes aux objectifs PERLE

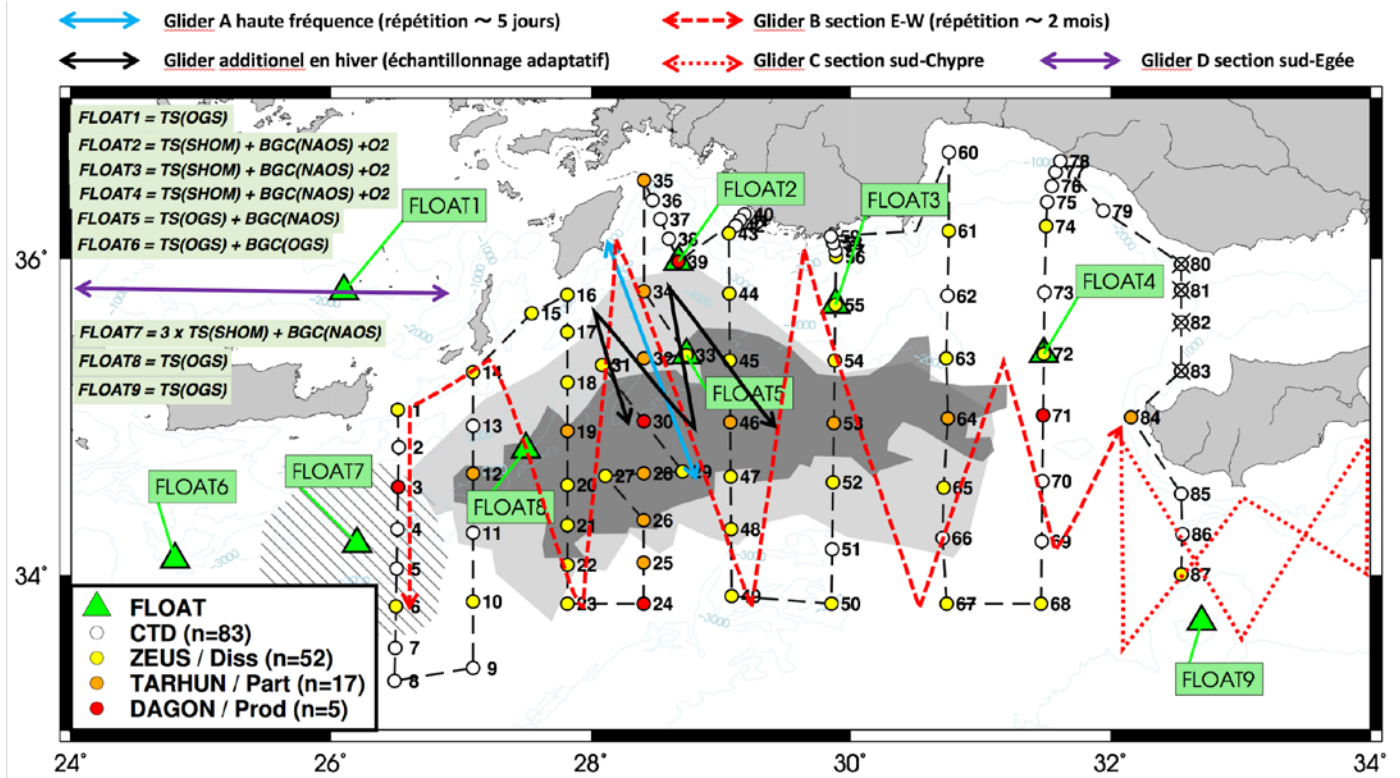
### Formation de la LIW

L'ensemble des flotteurs-profileurs et des gliders PERLE (tous équipés en T/S) devrait permettre d'observer de façon précise les événements de production d'eau levantine intermédiaire (LIW). La limitation de la profondeur de profilage des BGC-ARGO et des gliders (i.e. 1000m) est ici non critique car la LIW se positionne généralement autour de profondeurs entre 200 et 400m.

Le flotteur-profileur DEEP (qui pourra échantillonner jusqu'à 3500m) assurera aussi l'observation des couches profondes, au cas où un événement de formation de EMDW (Eastern Mediterranean Deep Water) ait lieu.

**Réponse biogéochimique** Toutes les zones dans lesquelles une réponse biogéochimique aux événements liées à la formation de la LIW aura lieu, devraient être bien échantillonnées par le réseau BGC-Argo et O<sub>2</sub> et les gliders de PERLE. Cela voudrait dire que, *a minima*, les effets générés par la formation de la LIW sur la Chl-a, sur l'O<sub>2</sub> et sur le NO<sub>3</sub> (i.e. les variables mesurées directement par les flotteurs-profileurs et les gliders) seront échantillonnés et observés. Par ailleurs, l'utilisation des méthodes "PhytoFloats" et "CANYON-MED" permettront d'obtenir des informations (moins précises que les mesures bateaux mais plus étendues dans l'espace et dans le temps) sur la composition, des groupes phytoplanctoniques, ainsi que sur les éléments inorganiques autres que les NO<sub>3</sub>.

## ANNEXE 1: Stratégie initiale PERLE



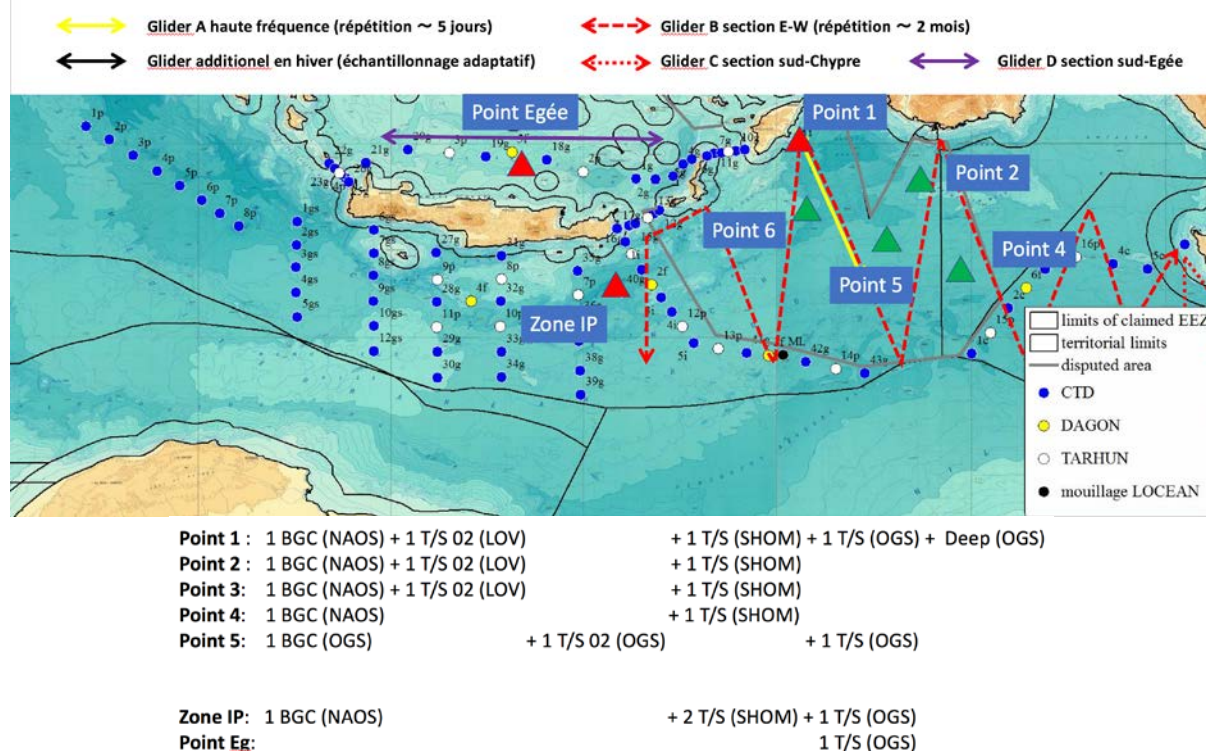
Réseau initial des stations des campagnes PERLE.

- Les points verts correspondent aux points de déploiement des flotteurs-profondeurs.
- Les lignes pleines et pointillées indiquent les différentes sections glider.
- Les zones sombres et gris clair correspondent respectivement à la biorégion de la teneur en Chl-a en surface et à la région où l'isopycne 29.05 est moins profond que 150 m.
- La zone hachurée délimite la zone du tourbillon de Ierapetra. Les différents types de stations comprennent les stations CTD, CTD+prélèvements pour les éléments dissous (Zeus), CTD+prélèvements pour éléments dissous et particuliers (Tarhun), et CTD+prélèvements pour éléments dissous et particuliers et production biologique (Dagon).

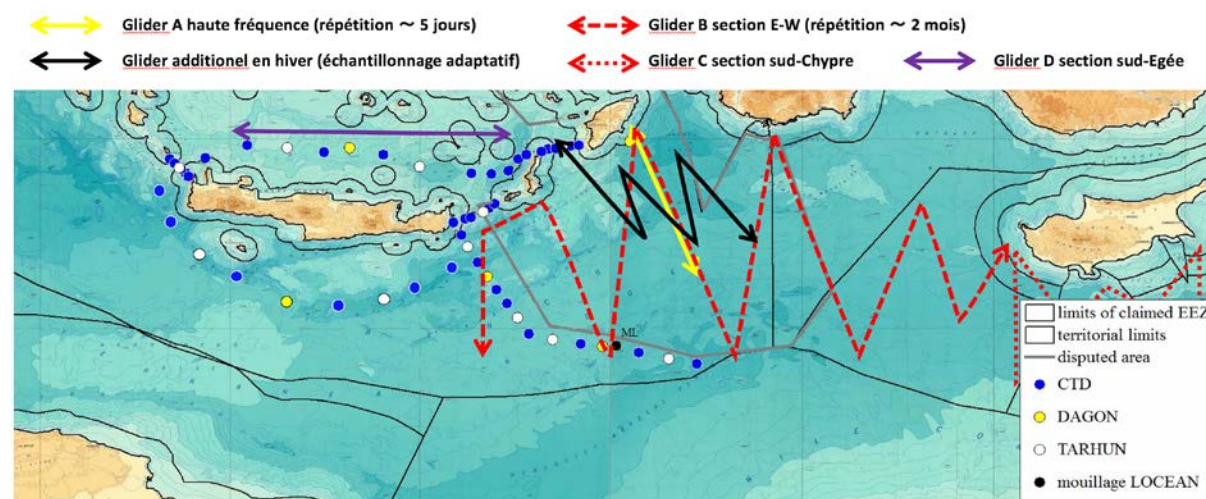


## ANNEXE 2: Nouveaux plans d'échantillonnage des campagnes PERLE

### PERLE-1



### PERLE-2 et PERLE-3



#### Nouveau réseau des stations des campagnes PERLE.

- Les triangles verts et rouges correspondent aux points de déploiement des flotteurs-profondeurs.
- Les lignes pleines et pointillées indiquent les différentes sections glider. Le suivi glider couvrira prioritairement la période automne 2018 - automne 2019.
- Le point noir (ML) correspond à la ligne de mouillage.
- Les points correspondent aux différents types de stations comme pour les campagnes initiales (cf Annexe 1).

### ANNEXE 3 : Nouvelles variables biogéochimiques

Dans les eaux ultra-oligotrophes de la zone PERLE, la seule observation de Chl-a, O<sub>2</sub> et NO<sub>3</sub>, bien que très informative, risque ne pas répondre à l'ensemble de questions ouvertes en biogéochimie du programme PERLE. Deux points sont particulièrement critiques : la distribution et la variabilité des éléments nutritifs autre que l'azote (comme la silice ou le phosphore) et la composition des groupes phytoplanctoniques principaux. Pour cela, on appliquera dans PERLE deux avancées scientifiques récentes liées à l'exploitation des données flotteurs.

**Méthode « PhytoFloats »** - Basée sur une approche développée dans l'océan austral (Rembauville et al., 2017<sup>2</sup>), cette méthode permet d'obtenir, à partir des paramètres observés par les flotteurs-profileurs BGC-Argo, les concentrations des principaux groupes phytoplanctoniques. L'algorithme nécessite une base de données d'apprentissage, composée d'observations d'HPLC, de cytométrie, de microscopie et de POC, obtenue par bathysonde équipée du même capteur optique que celui monté sur les flotteurs-profileurs BGC-Argo et les gliders. Sept stations « PhytoFloats » ont été déjà réalisées au cours de la campagne PERLE-0 et dix sont prévues pour chacune au cours des la campagnes PERLE-1-2-3, ce qui permettra d'adapter la méthode de Rembauville et al. (2017) aux spécificités de la zone PERLE

**Méthode « CANYON-MED »** - Une méthode a été récemment développée et publiée (CANYON, Bittig et al., 2018<sup>3</sup>) pour évaluer, à partir des données de flotteurs-profileurs BGC-Argo, les éléments inorganiques autres que le NO<sub>3</sub>, ainsi que pour estimer les variables du système des carbonates océaniques. Il s'agit de développer une fonction de transfert à partir de méthodes neuronales appliquées à des bases de données méditerranéennes historiques. Les données PERLE-1-2-3 permettront aussi de valider la fonction de transfert, avant une application à l'ensemble du réseau BGC-Argo de PERLE (CANYON-MED). Une thèse (sous encadrement de L. Coppola au LOV) démarrera sur le sujet en octobre 2018.

Il est important de rappeler ici que les deux méthodes ci dessus sont basées sur des algorithmes empiriques développés à partir de base des données in situ. La qualité des paramètres obtenues une fois les algorithmes appliqués aux données flotteurs-profileurs et gliders dépend fortement de la précision de la base des données d'entraînement ainsi que de la "variété" des conditions biogéochimiques échantillonnées. Seul un échantillonnage par bateau peut assurer la précision de la base des données d'entraînement. et permettre d'obtenir la variété des conditions tropiques/biogéochimiques pour entraîner efficacement les algorithmes.

---

<sup>2</sup> Rembauville, M., Briggs, N., Ardyna, M., Uitz, J., Catala, P., Penkerch, C., Poteau, A., Claustre, H. and S. Blain (2017). Plankton assemblage estimated with BGC-Argo floats in the Southern Ocean. *Journal of Geophysical Research - Oceans*. doi: 10.1002/2017JC013067.

<sup>3</sup> Bittig, H., Steinhoff, T., Claustre, H., Fiedler, B., Williams, N.L., Sauzede, R. Körtzinger, A. and J.-P. Gattuso (2018) An alternative to static climatologies: Robust estimation of open ocean CO<sub>2</sub> variables and nutrient concentrations from T, S and O<sub>2</sub> data using Bayesian neural networks. *Frontier in Marine Science*. doi : 10.3389/fmars.2018.00328