

La mission *Sentinel-5P* sera donc une contribution essentielle pour la surveillance de la qualité de l'air, fournissant des informations critiques au service opérationnel de Copernicus (Cams) et aux politiques. Plus largement, avec sa couverture globale et sa politique d'*open data*, la mission permettra aux scientifiques de mieux caractériser la pollution et d'améliorer la compréhension des processus physiques et chimiques en jeu dans les phénomènes de pollution et leur transport. La mission *Sentinel-5P*, prévue pour 7 ans, soutiendra ainsi les activités scientifiques dans le domaine, en complément des missions déjà en vol comme son prédécesseur *OMI* et

les sondeurs infrarouges, comme Iasi sur *Metop* qui lui aussi a permis un bond en avant dans la cartographie de plusieurs polluants ces dernières années. Le vol en formation rapprochée avec le satellite américain *Suomi-NPP* ouvre également des perspectives de synergies instrumentales entre sondeurs UV (Tropomi) et sondeurs infrarouges (Cris), comme cela se fait déjà pour les instruments Iasi et Gome-2 sur les satellites *MetOp*. *Sentinel-5P* sera complété dans le futur par les missions *Sentinel-4*, satellite géostationnaire, et *Sentinel-5*, satellite défilant en orbite polaire, dédiées à la surveillance de la composition de l'atmosphère, qui font partie de la composante spatiale de

Copernicus et du service Cams. L'Europe disposera ainsi d'un ensemble de sondeurs UV et IR dédiés à l'étude de la composition atmosphérique, contribution majeure aux stratégies d'observation de la Terre depuis l'espace développées au niveau international dans le cadre du Ceos (Committee on Earth Observation Satellites), par exemple.

Gaëlle Dufour, Juan Cuesta

Laboratoire interuniversitaire des systèmes atmosphériques,
IPSL, CNRS / Université Paris-Est-Créteil /
Université Paris Diderot

Peacetime : une campagne inédite associant physico-chimistes de l'atmosphère et biogéochimistes marins

Le projet Peacetime a pour but d'étudier les processus à l'interface air-mer en Méditerranée, région du monde où les apports atmosphériques jouent un rôle clé comme source de nutriments pour la biosphère marine. Cette campagne devrait permettre aux scientifiques de mieux comprendre comment les dépôts atmosphériques modifient le fonctionnement de l'écosystème pélagique aujourd'hui et dans le futur afin de prévoir plus précisément le rôle des changements climatiques sur la biodiversité en Méditerranée.

Les échanges à l'interface océan-atmosphère sont des processus cruciaux sur le contrôle du climat et des changements climatiques. En particulier, l'océan constitue le principal puits de CO₂ à l'échelle globale et l'une des caractéristiques principales de ce puits est qu'il fait largement intervenir les processus biologiques. En effet, une partie importante de ce carbone est transformée *via* son assimilation par le phytoplancton en matière organique, puis séquestrée dans la chaîne trophique et finalement stockée dans les sédiments. Du fait de son efficacité, cette chaîne essentielle pour l'homéostasie terrestre a été nommée « pompe biologique ». Il a été mis en évidence que les apports atmosphériques de particules et notamment de poussières désertiques pouvaient conditionner le développement du phytoplancton marin en apportant certains nutriments (fer, phosphore...) quand leurs concentrations étaient trop faibles. Inversement les composés

émis par la biosphère marine peuvent modifier la composition chimique de l'atmosphère en produisant par exemple des composés impliqués dans la formation du couvert nuageux (figure 1). Pour mieux contraindre nos prévisions sur la réponse de l'océan au changement climatique, un des enjeux majeurs est donc de comprendre et quantifier comment le couplage entre l'océan et l'atmosphère va influencer les processus chimiques, physiques et biologiques à cette interface. Le projet Peacetime (Process studies at the air-sea interface after dust deposition

in the Mediterranean sea) a pour but de caractériser les processus fondamentaux et leurs interactions à cette interface clé en mer Méditerranée, en étudiant l'impact d'un apport atmosphérique sur le fonctionnement des écosystèmes des eaux de surface et le rétrocontrôle vers l'atmosphère, aujourd'hui et dans le futur. La mer Méditerranée, avec ses eaux cristallines (et donc parfois très pauvres en nutriments) et ses bassins cernés de zones semi-arides, est en effet soumise à de fréquents événements de dépôts de poussières désertiques.

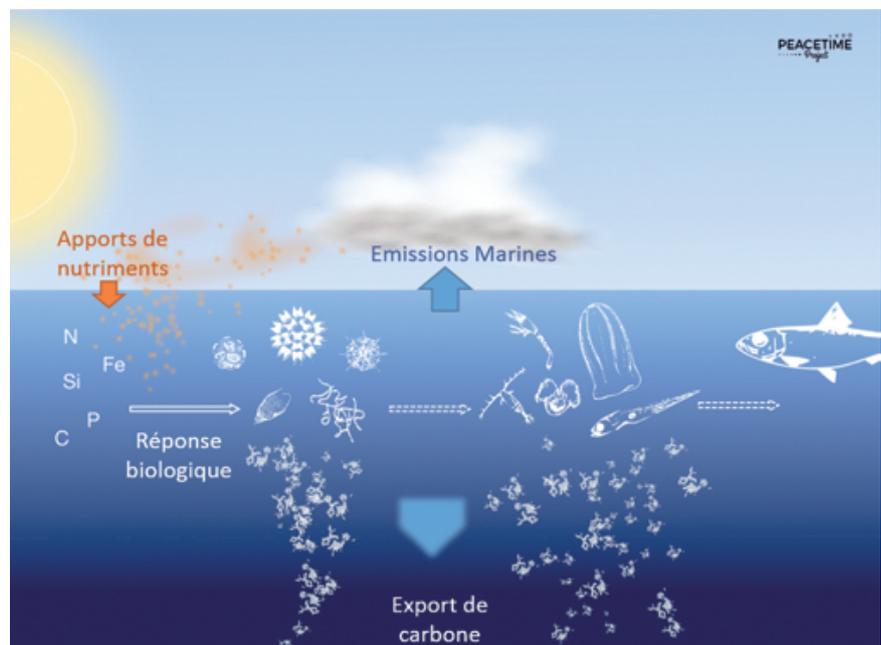


Figure 1. Principaux processus chimiques et biologiques à l'interface air-mer et leurs interactions après un dépôt de poussières désertiques.

Océanographes et « atmosphériciens » embarqués dans une même campagne

La campagne en mer au cœur de ce projet a eu lieu du 10 mai au 11 juin 2017 à bord du navire océanographique *Pourquoi Pas ?* et a rassemblé – pour la première fois – une équipe internationale et pluridisciplinaire de 40 scientifiques, réunissant biogéochimistes marins, dynamiciens des océans et aussi physiciens et chimistes de l’atmosphère.

Le principal défi de cette campagne était la captation et l’étude la plus exhaustive possible (des grandes profondeurs [-3 400 m] à la troposphère libre) d’un événement de dépôts atmosphériques de poussières sahariennes en Méditerranée centrale et occidentale. Afin d’optimiser la probabilité d’étudier un tel événement de dépôt saharien, le trajet initial a été pensé de façon à naviguer dans la zone où la probabilité de rencontrer ce type d’événement est la plus forte (figure 2). Grâce à un travail quotidien de prévisions combinant en temps réel données satellitaires, modèles météorologiques et de chimie transport, le bateau a été détourné de son trajet initial pour se rendre dans la zone des îles Baléares où un événement de dépôt était attendu (figure 3). Cette stratégie a été payante puisque le bateau est arrivé assez tôt en station (*Fast Action*) pour estimer l’état de la zone avant le dépôt (3-4 juin), prélever l’événement de dépôt saharien (4-5 juin), puis suivre son impact sur la colonne d’eau et sa rétroaction sur l’atmosphère (5-6 juin).

Une caractéristique originale de Peacetime était aussi d’avoir embarqué huit « réacteurs climatiques » (figure 4e) : ces dispositifs expérimentaux, mis au point au Laboratoire d’océanographie de Villefranche (LOV), reproduisent à petite échelle les échanges air-mer dans des conditions environnementales actuelles et futures. Trois expériences ont été menées avec succès dans ces réacteurs sur chacune

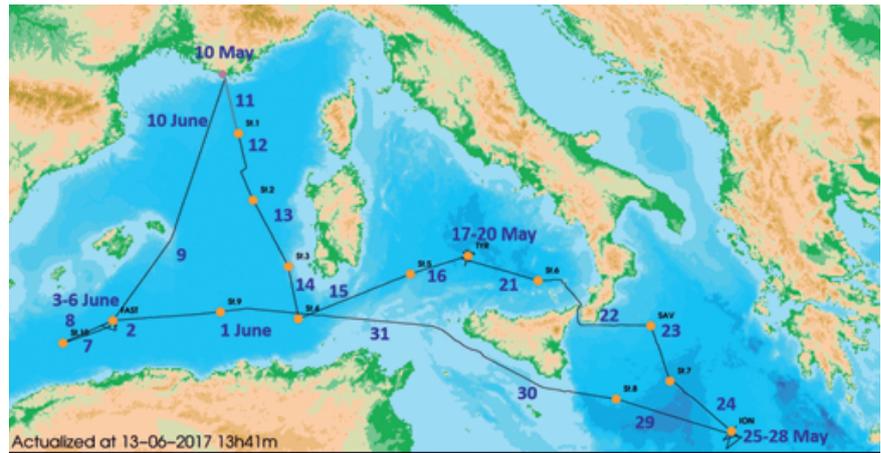


Figure 2. Transect effectué lors de la campagne Peacetime représentant les 2 750 miles nautiques parcourus et intégrant dix stations courtes et des trois stations longues : en mer Tyrrhénienne, en mer Ionienne et dans la zone des Baléares pendant la *Fast Action*, c’est-à-dire la station où un événement de dépôt de poussières sahariennes a été observé.

des stations longues. Dans chaque cas, les réacteurs étaient remplis avec de l’eau de surface collectée *in situ* et deux réacteurs étaient ajustés aux conditions de pH et de température futures de la Méditerranée (+3 °C et -0,3 pH dans 100 ans). Tous les réacteurs étaient ensuiteensemencés avec des analogues de poussières sahariennes afin d’étudier l’effet de ces apports sur les concentrations en nutriments, la réponse biologique, les flux radiatifs à l’interface, ainsi que l’export de carbone.

Une combinaison de mesures inédites des grandes profondeurs jusqu’à la troposphère libre

Un large spectre d’instruments a été utilisé pendant la campagne (figure 4d) et a permis une multitude d’acquisitions en mer puis au laboratoire. C’est la première fois qu’une telle combinaison de mesures en milieu marin est réalisée.

Les 2 750 miles parcourus au cours de la campagne ont permis de suivre en continu les échanges air-mer sur différentes écorégions. Pour cela, un échantillonnage des masses d’air a été réalisé tout au long de la campagne par l’équipe du Laboratoire interuniversitaire

des systèmes atmosphériques (Lisa) grâce à la station mobile Pegasus (figure 4a). En parallèle de la composition de l’atmosphère, les paramètres de la dynamique atmosphérique tels que les paramètres météorologiques, la hauteur de la couche limite et divers paramètres radiatifs (rayonnement incident et épaisseur optique, propriétés optiques des particules) ont également été mesurés. Trois pluies représentatives des dépôts humides en Méditerranée ont également été collectées et analysées durant la campagne. Les données sur la composition de l’atmosphère montrent des situations très différentes le long du trajet avec des périodes sous fortes influences des masses d’air polluées européennes ou au contraire des périodes correspondant à un niveau de fond.

En parallèle, la composition chimique, biologique et les paramètres optiques ont été suivis en continu dans la couche de surface marine grâce à l’installation d’un laboratoire entièrement dédié dans lequel l’eau pompée en surface était distribuée à une douzaine d’instruments (figure 4d). La colonne d’eau a été caractérisée tout le long du transect, ainsi que les stocks et les flux biologiques et chimiques (incluant les métaux traces) grâce aux 90 profils par

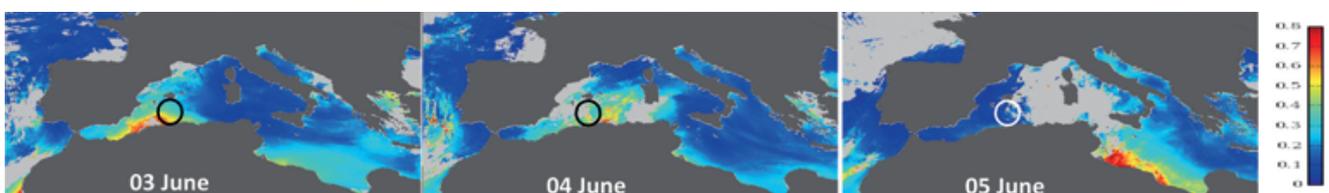


Figure 3. Moyenne journalière de l’épaisseur optique en aérosols à 550 nm et emplacement du *Pourquoi Pas ?* pendant la *Fast Action* (rond).

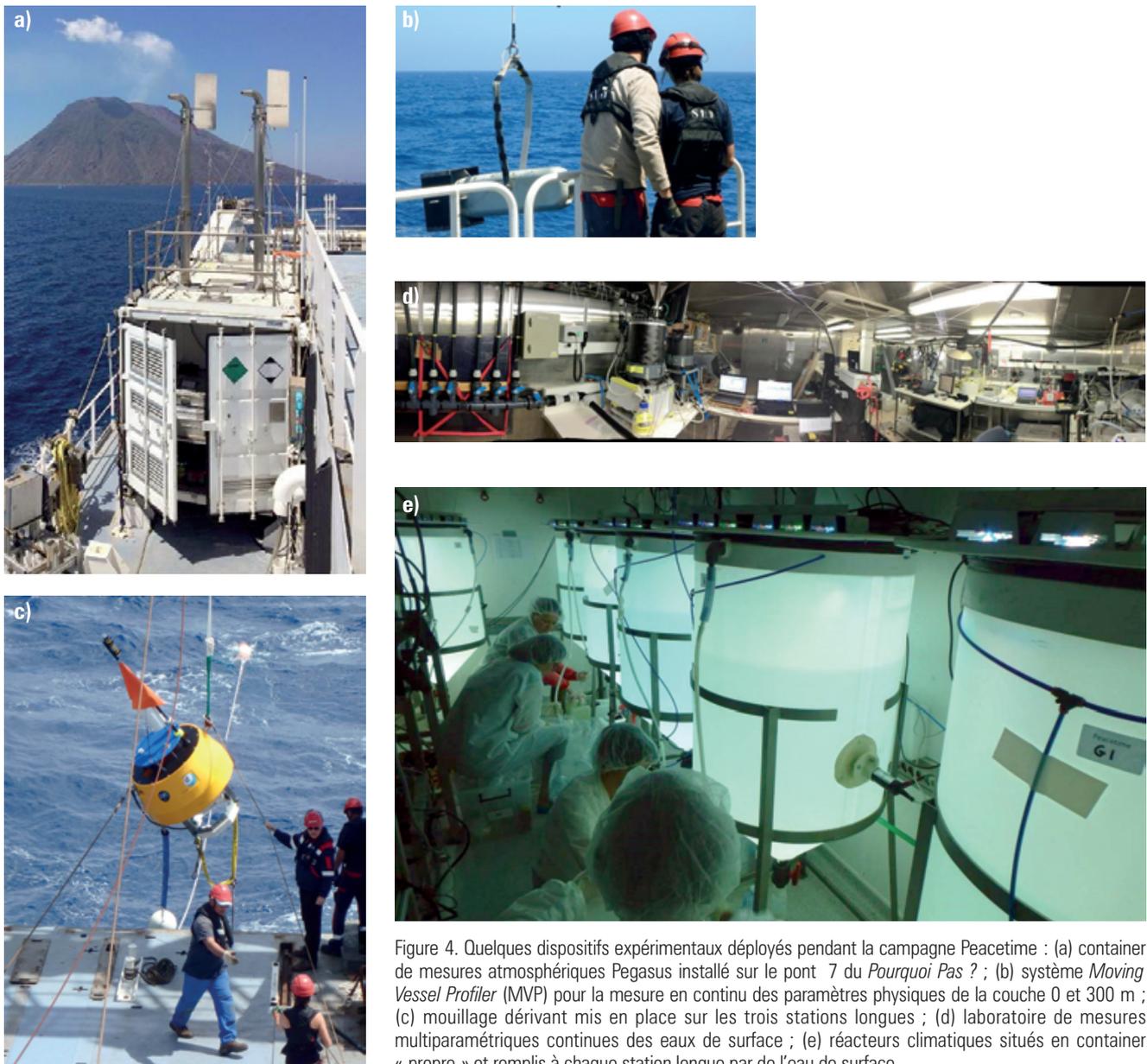


Figure 4. Quelques dispositifs expérimentaux déployés pendant la campagne Peacetime : (a) container de mesures atmosphériques Pegasus installé sur le pont 7 du *Pourquoi Pas ?* ; (b) système *Moving Vessel Profiler* (MVP) pour la mesure en continu des paramètres physiques de la couche 0 et 300 m ; (c) mouillage dérivant mis en place sur les trois stations longues ; (d) laboratoire de mesures multiparamétriques continues des eaux de surface ; (e) réacteurs climatiques situés en container « propre » et remplis à chaque station longue par de l'eau de surface.

rosette CTD classique et aux 27 profils avec la rosette « propre ». Des traits de filets permettront d'étudier la biodiversité du zooplancton. Enfin, trois mouillages dérivants ont été déployés (figure 4c) au cours de la campagne comprenant différents types de pièges à sédiments et plusieurs instruments mesurant la respiration *in situ*. L'étude de la dynamique marine réalisée par plusieurs instruments (dont le *Moving Vessel Profiler*) (figure 4b) était complétée en station longue par le largage de nombreuses bouées dérivantes. Ces observations ont pour but de mieux comprendre le devenir de la matière entre la surface et les eaux profondes, en particulier le lien entre le dépôt de poussières sahariennes et l'exportation de carbone.

La campagne s'est terminée il y a seulement quelques mois. Une première réunion « post-campagne » a réuni les participants du projet à Marseille début novembre (<https://mermex.mio.univ-amu.fr/?p=3098>) pour commencer à discuter la moisson de résultats très prometteurs obtenus. La prochaine réunion aura lieu fin mai 2018 à Villefranche-sur-Mer pour envisager d'ores et déjà la valorisation du projet à travers un numéro spécial d'un journal international.

Site du projet :
<http://peacetime-project.org/>

Twitter :
<https://twitter.com/peacetimecruise>

Remerciements

Peacetime est un projet du chantier Méditerranée Mistral et concerne les programmes Mermex et Charmex. Il est cofinancé par le CIO Mistral, la Flotte (fonds de soutien), Insu-CNRS, Cnes, Naos, LOV, AD2M et les laboratoires participants étrangers tous autofinancés.

Karine Desboeufs

Laboratoire interuniversitaire des systèmes atmosphériques, IPSL, CNRS / Université Paris-Est-Créteil / Université Paris Diderot, Créteil

Cécile Guieu

Laboratoire d'océanographie de Villefranche, Sorbonne Université / CNRS, Villefranche-sur-Mer