

## Recherches et développements conduits par Pierre Testor

Les gliders permettent un changement radical, qualitatif et quantitatif, de l'échantillonnage possible de l'océan. Ce sont des drones sous-marins de petite taille (1,50-2m de long, 0.20m de diamètre, ~50kg) qui permettent de collecter le long de sections verticales choisies en fonction des besoins (de la surface jusqu'au fond ou 1000 m et même 6000 m pour des gliders actuellement en développement), des mesures physiques de température et de salinité, des estimations de courants horizontaux et verticaux, et des mesures de propriétés optiques à très haute résolution spatio-temporelle. On peut littéralement les piloter à distance et les faire patrouiller dans des zones d'intérêt. Ils sont capables de remonter la plupart des courants océaniques et ont une capacité de couverture spatio-temporelle, en phase avec les échelles de variabilité océanique, permettant d'éviter les effets d'aliasing. Leur autonomie de plusieurs mois leur permet de réaliser ainsi des observations avec une continuité suffisante pour couvrir la diversité des situations sur une échelle annuelle (et notamment le cycle saisonnier, qui est si important au niveau physique et biogéochimique). Leur coût modéré (~100k€ pièce) permet de constituer des flottilles, utiles pour un échantillonnage à très haute résolution du milieu.

L'utilisation de ces appareils en continu, et/ou en flottille sur des périodes ciblées, constitue un défi scientifique, organisationnel et technologique (en particulier pour le segment 'sol') que Pierre Testor a relevé et surmonté. Il a su d'abord fédérer la communauté internationale des océanographes autour des gliders. Depuis 2006, il organise des « EGO » (Everyone's Gliding Observatories) Meetings and Glider Schools autour de cette technologie et de ses applications en océanographie. Depuis 2009 (dernière et 7<sup>ème</sup> édition en septembre 2016 à Southampton), 120-150 participants académiques et industriels du monde entier, assistent et débâtent des problèmes scientifiques et techniques associés. Cette animation scientifique internationale a été reconnue d'une part, par la publication d'un papier blanc sollicité sur les gliders dans le cadre de la conférence internationale OceanObs'09, qui établit un bilan des 10 dernières années ainsi qu'une prospective pour les 10 prochaines sur l'observation de l'océan global, et d'autre part, par son l'élection en tant président de l'Action COST ES0904 « EGO » sur les gliders, projet de coordination soutenu par l'ESF (COST : COoperation in Science and Technology ; European Science Foundation) et a regroupé 16 pays en Europe ainsi que les Etats-Unis, l'Australie, l'Afrique du Sud, le Canada, le Brésil, l'Israël, le Pérou, le Chili et le Mexique sur cette thématique. Il a ensuite été coordinateur scientifique du projet européen GROOM (Glider for Research Ocean Observation and Management, 19 partenaires européens) qui vise à construire une infrastructure de recherche européenne pour les gliders, à vocation durable et dans une perspective globale, en collaboration avec les partenaires américains et australiens notamment. Ces efforts de coordination internationale se concrétisent aujourd'hui avec la mise en place de la composante « glider », *OceanGliders*, que Pierre Testor coordonne, du programme mondial d'observation de l'océan sur le long terme GOOS (Global Ocean Observing System, <http://www.ioc-goos.org/index.php?lang=fr>).

Au niveau national, Pierre Testor a piloté la mise en place en 2009 du parc national de gliders et d'une cellule « gliders » à La Seyne s/Mer regroupant du personnel technique de la DT-INSU/CNRS et du Centre Européen de Technologies Sous-Marines (CETSM/IFREMER). Cette équipe d'ingénieurs qu'il a formés, s'occupe aujourd'hui de la maintenance et du pilotage de la quinzaine d'appareils qui constitue le parc, pour le bénéfice de la communauté scientifique française. Cette communauté peut ainsi demander du temps « gliders » dans le cadre d'appels d'offres nationaux annuels, projets évalués par le CNPG (Comité National de Pilotage de l'activité Glider) qu'il préside. Le segment « sol » localisé à la Seyne s/Mer comprend des ateliers de ballastage, maintenance, développement,... mais surtout le système de pilotage basé sur une architecture informatique complexe, et les outils de dialogues entre ces machines et de procédures/alarmes automatiques. Ce système permet aujourd'hui le décodage à la volée des données, une première visualisation et facilite le pilotage d'un nombre élevé d'appareils en diminuant fortement les moyens humains nécessaires. Ce système est aujourd'hui adopté au niveau national mais aussi en Espagne, en Italie, à Chypre, et en Norvège et la contribution de Pierre Testor au développement de ce segment sol (développements informatiques, expertise, coordination) a été déterminante pour sa réussite.

Au niveau scientifique, outre des problèmes de calibration des capteurs auxquels il a fallu faire face, l'analyse des données est complexe et délicate du fait de l'échantillonnage particulier de ces nouvelles plate-formes qui récoltent des données sur des trajectoires quasi-Lagrangiennes. Pierre Testor a su exploiter les nombreuses expériences « glider » qu'il a menées, la haute résolution des données de gliders permettant d'accéder à des échelles auxquelles on n'avait pas accès auparavant. Il a pu par exemple démontrer l'importance de structures de submésosécherelle résultant d'instabilités inertielles forcées par le vent, dans les échanges verticaux entre l'océan de surface et l'océan profond (thèses d'Alice Pietri et d'Anthony Bosse qu'il a co-encadrées) et en particulier dans les régions dites de « convection profonde » (thèse de Loic Houpert). Il a pu aussi montrer l'existence et l'importance de tourbillons cohérents (durée de vie ~1 an) de submésosécherelle (rayon ~5km) dans les échanges côte-large. Ceux-ci peuvent transporter les eaux situées dans leurs cœurs (et ce que cela représente en termes de contenu de chaleur, halin, de nutriments et d'organismes) sur de longues distances et grandes échelles de temps. De par leur nombre important, ce sont des acteurs majeurs de la circulation thermohaline et des cycles biogéochimiques. Ses travaux ont abouti à de nombreuses publications sur différents chantiers (en Méditerranée ouest/est, Atlantique Nord Est, Atlantique Sud, Pacifique Sud-Est, et Polynésie) et notamment à la publication d'un Volume Spécial « *Dense water formations in the North Western Mediterranean: from the physical forcings to the biogeochemical consequences* », dont Pierre Testor est un principal contributeur et éditeur associé, du *Journal of Geophysical Research – Oceans*.

Pierre Testor a conduit également des expériences numériques en assimilation de données, démontré l'impact des gliders dans les modèles numériques opérationnels, et développé des méthodes d'assimilation spécifiques aux gliders pour encore mieux valoriser leurs données ; ou encore, mené des études numériques de dimensionnement de réseau d'observations (OSSE ou Observing System Simulation Experiment) qui montrent par exemple comment une flottille permet d'obtenir une vision suffisamment fine de la colonne d'eau pour pouvoir étudier la turbulence de moyenne échelle en 3D.

L'enjeu scientifique se situe aussi dans la continuité des observations du fait de l'importance d'analyser des données, et les variations de l'océan, sur de grandes échelles de temps. Les systèmes d'observation qu'il a largement contribué à mettre en place, permettent aujourd'hui une observation soutenue des océans avec des gliders, notamment en Méditerranée Nord-Occidentale (thèse en cours de Félix Margirier) dans le cadre du service d'observation MOOSE soutenu par AllEnvi, l'INSU, la région PACA et l'Europe, service qui préfigure en Méditerranée un futur système français d'observation opérationnel de la mer côtière et qui représente la contribution « glider » française au GOOS dans le cadre du programme *OceanGliders*.