

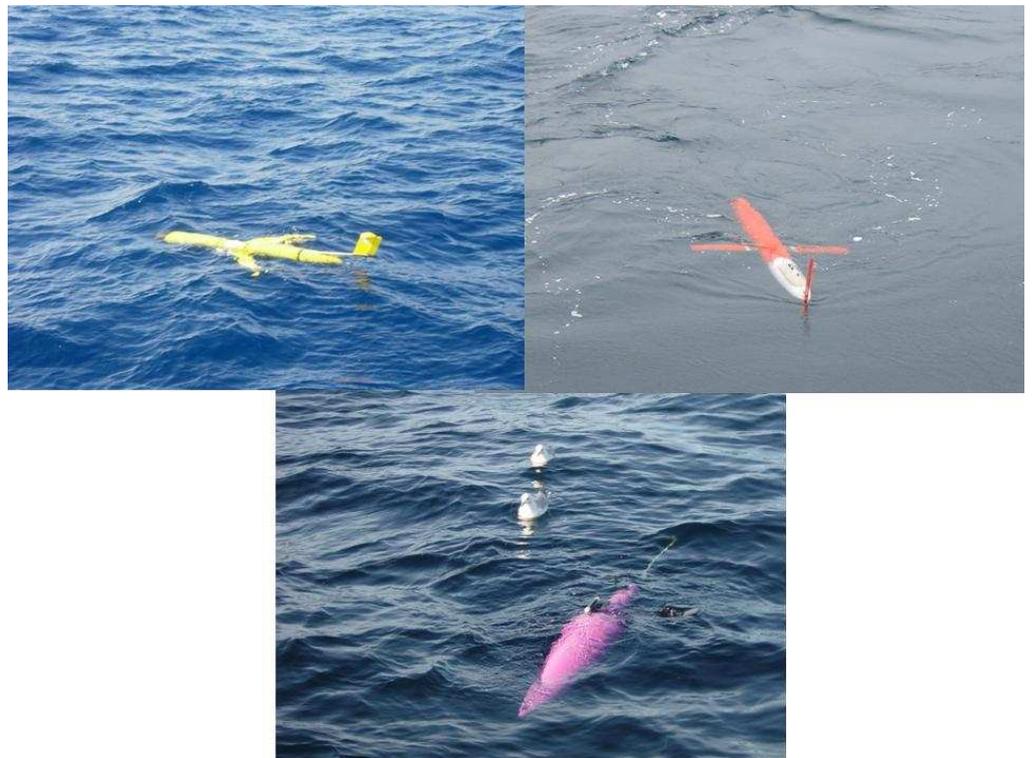
Océanographie Physique et Spatiale
DCB/OPS/LPO
Laboratoire de Physique des Océans
Unité mixte n° 6523 (IFREMER/CNRS/UBO/IRD)

Rapport interne OPS/LPO 09-01

Thierry TERRE
Pascale LHERMINIER

Ifremer

Bilan technologique de l'action hydroplaneurs (gliders) au LPO 2004-2008



Janvier 2009

Bilan technologique de l'action hydroplaneurs (gliders) au LPO 2004-2008

Historique du document

mai 2008	T.Terre	Création
Septembre 2008	T.Terre	Mise à jour avec manip Seaglider
Décembre 2008	T.Terre	Mise à jour avec récupération Spray16
Janvier 2009	T.Terre	Mise à jour avec synthèse

SOMMAIRE

1	CONTEXTE.....	2
2	SLOCUM – WEBB RESEARCH CORPORATION.	4
2.1	ACQUISITION D’UN GLIDER	4
2.2	DEPLOIEMENTS EN MER IONIENNE.....	4
2.3	DEPLOIEMENTS EN MEDITERRANEE OCCIDENTALE	5
3	SPRAY – SCRIPPS INSTITUTION OF OCEANOGRAPHY, UCSD.....	7
3.1	FORMATION	7
3.2	DEPLOIEMENTS ATLANTIQUE NORD-EST (PAP).....	7
3.3	REAPPARITION DU GLIDER SPRAY 16.....	8
3.4	DEPLOIEMENT ATLANTIQUE NORD-EST (CIS).....	10
3.5	DEPLOIEMENTS MEDITERRANEE OCCIDENTALE.....	10
4	SEAGLIDER – SCHOOL OF OCEANOGRAPHY, UW.....	12
4.1	FORMATION	12
4.2	ESSAIS AVEC L’UNIVERSITE DE CHYPRE.....	12
5	SYNTHESE.....	13
6	PERSPECTIVES.....	15
7	CONCLUSIONS.....	16
8	BIBLIOGRAPHIE ET DOCUMENTS	17

1 Contexte

Les gliders sont nés de l'imagination de H. Stommel qui les décrit dans un papier visionnaire paru en avril 1989 dans la revue *Oceanography* [1]. Dans ce texte, non seulement le principe des gliders est décrit mais également l'utilisation qui peut en être faite : observations hydrographiques de routine ou à usage de recherches académiques. La flotte virtuelle de 1000 gliders est répartie entre ces applications dans des proportions de 50-50.

Stommel imagine qu'au tout début des développements, pour populariser l'instrument et surtout pour lever des fonds, une course internationale autour du monde est organisée (Hawaï – Hawaï). Trois instruments sont construits pour trois concurrents : USA, Australie et France. Grand succès populaire et les ressources nationales sont mises en jeu pour faire les prédictions de trajectoires. Pour l'anecdote, la France gagne en 708 jours, mais la retombée essentielle est une manne financière qui permet de faire franchir un cap décisif à cette technologie.

Si l'on peut dater la naissance des gliders à partir de cet article, nombre des principes et idées trouvent leurs origines dans le développement des technologies des flotteurs SOFAR puis RAFOS dès la fin des années 70. Pour faire écho à ce papier et avec le soutien de l'ONR, 3 groupes démarraient le développement de tels engins :

- Slocum par Webb Research Corp., Falmouth, Ma, [2]
- Spray par Scripps Institution of Oceanography, UCSD, San Diego, Ca, [3]
- Seaglider par School of Oceanography, UW, Seattle, WA. [4]

Une dizaine d'années après la parution de l'article de Stommel, les premières expériences gliders démarraient : août 1999, 1 Spray déployé pendant 11 jours dans le canyon de Monterey, septembre 1999, 1 Seaglider déployé pendant 8 jours dans Puget Sound à Seattle. L'été 2003 marque le début des déploiements en nombre dans le cadre d'un réseau côtier d'observation du projet Autonomous Ocean Sampling Network (AOSN) : 12 Slocum côtiers, 5 Spray pendant un mois. C'est également la démonstration de l'endurance des gliders avec des missions de 4 à 5 mois effectuées par des Seaglider en mer du Labrador et au large de la côte ouest de l'état de Washington avec des plongées à 1000m.

En Europe, l'idée d'acquérir cette technologie fait son chemin. Une tâche glider conduite par IfM-Geomar, (Kiel, Allemagne) et CNR-IST, (Messine, Italie) est définie dans le programme européen MFSTEP. L'objectif est d'explorer les capacités offertes par ces instruments en maintenant une section en continu pendant la phase opérationnelle du programme. C'est l'occasion de définir et mettre en place les divers outils pour assurer le suivi opérationnel de ces engins ainsi que de créer une dynamique au niveau européen. Le programme démarre en en mars 2003 pour une durée de 3 ans. Pierre Testor sera le principal artisan de la tâche glider.

Parallèlement se met en place le programme européen MERSEA dans le cadre duquel une collaboration entre 3 partenaires, IMEDEA, (Palma de Mallorca, Espagne), IfM-Geomar, (Kiel, Allemagne) et IFREMER-LPO, (Brest), propose également un groupe de travail utilisant cette technologie. L'objectif est de faire la démonstration technologique de la capacité des gliders à fournir des données biogéochimiques de qualité sur de longues distances pendant de longues périodes. Le démarrage officiel se fait en avril 2004 pour une durée de 4 ans.

Si l'engagement du LPO dans cette technologie se fait dans le cadre de MERSEA, une contribution significative sera apportée à MFSTEP qui sera le cadre des premiers essais de terrain. L'expérience acquise à ces occasions a directement servi dans MERSEA. Les personnes qui interviennent dans cette action sont :

Pascale Lherminier, chef de projet
Thierry Terre, ingénieur instrumentation
Stéphane Leizour, technicien
Olivier Ménage, technicien

Nous présentons ci-dessous un bilan de l'expérience que nous avons accumulée sur les 3 types d'instruments commercialement disponibles lors de déploiements en Méditerranée et Atlantique Nord-Est.

2 SLOCUM – Webb Research Corporation.

2.1 Acquisition d'un glider

- fin 2005 : commande d'un Slocum profond avec capteur d'oxygène
- 23 octobre – 27 octobre 2006 : recette usine Slocum #69 [5]
- 12 janvier 2007 : livraison à Brest du Slocum #70
- 19 mars – 20 mars 2007 : essais bassin et hyperbare Slocum #70 avec C. Jones [6]
- Septembre 2007 : tests communication et pompe, décharge des piles Slocum #70 [7]

2.2 Déploiements en mer Ionienne

Pour tenir les engagements pris dans MFSTEP, IfM-Geomar Kiel a commandé un Slocum profond (profondeur maximum 1000m) mais le développement de cette version n'était pas terminé. Des retards dans la mise au point ont conduit dans un premier temps à repousser les déploiements prévus puis dans un second temps à les assurer avec un glider côtier (profondeur maximum 200m).

Le planning du projet prévoyait 6 mois après le début une prise en main de la technologie pendant 1 an pour aboutir à un usage opérationnel entre les mois 18 et 24 du programme. Les premiers essais en mer Ionienne en s'appuyant sur les infrastructures de IST à Messine étaient planifiés au printemps 2004. Les retards de livraison ont conduits à finalement assurer une première étape avec le glider côtier à l'automne. Les déploiements dans cette zone se sont succédés jusqu'à l'hiver 2005 :

- 15 septembre – 1^{er} octobre 2004 : déploiement Slocum côtier #31 [8]
- 23 octobre – 1^{er} novembre 2004 : récupération – déploiement Slocum côtier #31 [9]
- 11 décembre – 20 décembre 2004 : récupération Slocum côtier #31 [10]
- 27 janvier – 9 février 2005 : déploiement Slocum côtier #31 + Slocum profond #36 [11]

Ces expériences ont été l'occasion des premiers contacts avec ces instruments. L'enseignement essentiel a été d'appréhender la complexité de ces instruments, d'estimer le personnel, les moyens et les outils nécessaires à la mise en œuvre de ces engins sur tous les aspects : préparation, ballastage, mise à l'eau, gestion des données en temps réel, suivi et contrôle de l'activité du glider, récupération sans oublier les interventions d'urgence nécessaires.

Les acquis :

- bibliographie sur les gliders (principes, capteurs embarqués, communications, énergie, expériences, ...)
- connaissance du fonctionnement d'un glider en général et du Slocum en particulier
- particularité du glider profond et suivi des étapes de mise au point.
- connaissance des données et prétraitements associés pour définition de la chaîne temps réel à installer
- initiation au pilotage à l'aide d'un simulateur
- familiarisation avec Iridium, système de communication par satellites utilisés par tous les types de gliders

- définition de quelques outils pour la maintenance et préparation de ces instruments
- contacts personnels avec les ingénieurs de WRC C.Jones et M. Palanza

Les réalisations :

- début de mise en place d'un site web pour collecter et organiser la documentation sur le sujet : <http://www.ifremer.fr/lpo/gliders/>
- première plongée profonde du Slocum
- plus long déploiement d'un Slocum côtier
- programme de traitement des données issues des dialogues avec le glider lors des passages en surface pour avoir des informations sur les sessions d'appel : durée, nombre et taille des fichiers transmis, nombre de tentatives et d'échec, vitesses de transmission. Production d'un rapport sur les données techniques issues de ces dialogues pour tous les déploiements MFSTEP effectués [12].
- développement d'un logiciel de suivi et de positionnement relatif du glider par rapport au navire synthétisant les informations techniques et de navigation du glider pour faciliter les opérations de déploiement et récupération
- acquisition d'un modem et téléphone Iridium, GPS portable
- réalisation d'un filet de récupération.
- commande d'un Slocum profond, seul glider disponible commercialement à cette date

2.3 Déploiements en méditerranée occidentale

Les engagements pris dans MERSEA concernaient essentiellement la Méditerranée occidentale et l'Atlantique nord est. Pour effectuer une transition entre les 2 programmes MFSTEP et MERSEA, il a été convenu d'effectuer un déploiement à partir de Mallorca pour d'une part permettre une première prise de contact avec IMEDEA et d'autre part continuer à valider la version profonde du Slocum.

Par la suite nous avons porté nos efforts sur le glider Slocum acquis par le laboratoire. Une première tentative de déploiement s'est soldée par un échec. Le capteur de pression du véhicule ne fonctionnait pas suite à une mise en huile par WRC du circuit de pression pour tenter de le préserver de la corrosion observée à cet endroit sur d'autres gliders. Le Slocum a été remis en état à Brest et C. Jones est venu nous aider à effectuer une série de tests en bassin et en caisson hyperbare.

Suite à ces essais concluants, nous avons procédé au déploiement du Slocum pour une durée de 62 jours avec des piles au lithium. Le passage d'une technologie alcaline à lithium pour les piles entraîne une répartition des masses à l'intérieur du glider sensiblement différente. La stabilité du glider n'a pu être réglée de manière tout à fait optimale et il s'en est suivi une difficulté de communication assez notable qui a conduit à des situations de pilotage inconfortables. Au cours de la mission, il est apparu une présence de bulles d'air dans le circuit hydraulique qui permet de contrôler la flottabilité du véhicule. Le logiciel du glider permet de s'affranchir dans une certaine mesure d'une petite quantité d'air ce qui a permis de terminer la mission en cours. A la récupération nous avons souhaité tester la communication Iridium du glider ainsi que la pompe hydraulique. Nous avons également tenté de trouver une valeur limite de la tension des piles pour définir plus précisément l'autonomie du glider.

La purge du circuit hydraulique nécessitait un retour chez le constructeur. Ce fut l'occasion d'une mise à jour de beaucoup de points de l'instrument : coques composites, suppression du pinger, circuit du capteur de pression, mise en place de l'altimètre, nouvelle version logicielle. A l'issue de cette révision nous avons contribué à la dernière phase de MERSEA en effectuant un déploiement dans le golfe du lion. Les déploiements dans cette zone méditerranéenne se sont répartis selon :

- 20 septembre – 25 septembre 2005 : déploiement Slocum profond #36 [13]
- 29 janvier – 5 février 2007 : tentative de déploiement Slocum #70 [14]
- 12 avril – 20 avril 2007 : déploiement Slocum #70 [15]
- 18 juin -20 juin 2007 : récupération Slocum #70 [16, 17]
- 22 janvier – 2 février 2008 : déploiement Slocum #70 [18]
- 27 mars – 8 avril 2008 : récupération Slocum #70 [19]

Durant ces déploiements qui ont mis en œuvre d'autres Slocum profonds (NOCS, LOCEAN, IfM-Geomar, IMEDEA, ...) nous avons contribué de façon importante à qualifier cette ligne de produit à la mer. Nous avons mis en évidence la faiblesse ou inadéquation de certains équipements du glider (pompe hydraulique, circuit du capteur de pression, corrosion, ...) qui ont conduit le constructeur à proposer des modifications majeures. Nous avons également apporté un certain nombre d'innovations comme l'utilisation de piles au lithium. Les derniers déploiements de l'hiver 2007-2008 ont permis de démontrer l'aptitude de ces gliders à assurer des missions de longue durée (> 2 mois) et ce avec des conditions météorologiques mauvaises. Des problèmes restent cependant encore à régler : corrosion pour certains modèles, rupture des ailes, gestion logicielle de la pompe hydraulique, ...

Les acquis :

- un Slocum profond équipé d'une optode Aanderaa
- maintenance et service de l'instrument
- formation de techniciens
- pilotage
- gestion des données en temps réel
- estimation de l'autonomie
- fournisseur de blocs de piles
- autonomie supérieure à 2 mois

Les réalisations :

- Site web dédié pour suivi des campagnes <http://www.ifremer.fr/lpo/gliders/>
- Logiciel de réception, traitement, visualisation et mise à jour du site web
- Aide au pilotage : prévision de bathymétrie et de qualité des liaisons Iridium
- Tests en pression de la pompe hydraulique
- Suivi de décharge des batteries
- Schéma d'assemblage de piles selon 2 méthodes
- Méthode de purge de la section hydraulique
- Contributions à EGO [20, 21]
- Communication à l'Atelier Expérimentation et Instrumentation 2007 [22]
- Formateurs à la Glider School du groupe EGO [21]
- Séminaire à l'observatoire océanologique de Banyuls [23]

3 SPRAY – Scripps Institution of Oceanography, UCSD

3.1 Formation

Devant la très faible disponibilité commerciale des gliders au démarrage de MERSEA, des contacts ont été établis avec l'équipe de Russ Davis grâce à la prise de fonction de Uwe Send à SIO. Une collaboration avec SIO sous la forme d'une location d'instruments ont permis de démarrer dès 2005 des campagnes à la mer avec un Spray. Afin d'être le plus autonome possible sur ce programme, nous avons convenu d'une formation à cette instrument. Celle-ci s'est effectuée en 2 fois : un premier contact en avril 2005 a permis de faire connaissance avec l'équipe Spray et en particulier Jeff Sherman, ingénieur en charge du développement. Ce dernier a également assuré la formation pour la mise en œuvre de l'instrument. Avant l'envoi du glider loué, une seconde visite pour consolider la formation et s'assurer que nous avons le matériel nécessaire pour en assurer le service avant et après les campagnes.

- 19 avril – 29 avril 2005 : formation Spray à San Diego [24]
- 30 octobre – 7 novembre 2005 : pris en charge du Spray #04 [25]

Bien qu'il fût initialement prévu que SIO se charge du pilotage du glider, nous avons finalement pu mettre en place un site web de suivi et installer les outils logiciels développés par J. Sherman nécessaires au pilotage du glider. Si nous sollicitons les conseils de SIO et les tenions informé de nos intentions, nous sommes devenus assez rapidement tout à fait autonomes pour la prise en charge de cet instrument.

3.2 Déploiements Atlantique Nord-Est (PAP)

Au cours de ces déploiements, il s'agissait de se rendre sur le site du mouillage pluridisciplinaire PAP en plaine abyssale de Porcupine en suivant le talus, de naviguer au voisinage du mouillage afin d'en compléter les observations et de revenir au point de départ. Les déploiements concernant ce programme se sont déroulés aux dates suivantes :

- 17 novembre – 14 décembre 2005 : déploiement Spray #04 [26]
- 9 mars – 16 mars 2006 : récupération Spray #04 [27, 28]
- 19 novembre – 27 novembre 2006 : déploiement Spray #04 [29]
- 30 novembre – 4 décembre 2006 : récupération Spray #04 [30, 31]
- 2 août – 8 août 2007 : déploiement Spray #16 [32, 33]

En 2005, cette expérience constituait la première du genre en Atlantique nord est avec ce type de glider. Nous avons partagé le pilotage avec P.Testor du LOCEAN en nous appuyant sur les avis de J.Sherman du SIO. La première section s'est parfaitement bien déroulée et nous avons pu effectuer un déploiement de 97 jours en parcourant près de 2500 km Le Spray s'est montré un instrument relativement simple à piloter, régulier dans ses plongées et communications. Le seul problème rencontré avait pour origine un mauvais paramétrage lié à un changement de modèle de pompe.

Un 2^{ème} parcours de cette section a été tenté un an plus tard avec le même instrument. Après quelques jours de fonctionnement, des anomalies sont apparues sur le moteur contrôlant le roulis (virage du glider et rotation pour mise en position communications des ailes). Le contact a été perdu avec le glider pendant quelques jours. Puis un message en provenance de

l'instrument est parvenu confirmant la panne sur le moteur en question et la dérive de l'instrument en surface. Le seul moyen de repérage restait la balise Argos. Une récupération d'urgence a pu être montée avec des conditions météorologiques très défavorables. Après plusieurs tentatives de récupération avec un filet et au cours desquelles l'antenne Argos a très vraisemblablement été cassé, nous n'avons pas pu récupérer l'engin. Un avis de recherche a été émis auprès des comités locaux de pêche français, espagnol, anglais et irlandais mais sans succès à ce jour.

Une troisième tentative est lancée au cours de l'été 2007 avec un nouveau Spray (#16) toujours dans le même cadre de location-collaboration avec SIO. Ce glider a fonctionné sans aucun problème pendant 14 jours puis n'a plus donné aucun signe d'activité. Aucune localisation Argos n'a été faite. Les hypothèses retenues en collaboration avec SIO pour une telle disparition sont peu nombreuses :

- collision avec un navire
- prise dans des filets
- panne électronique majeure
- entrée d'eau après corrosion d'une portée de joint

Si la perte du Spray04 est due en partie à la volonté de récupérer au plus vite cet instrument en difficulté, celle du Spray16 soulève plus de questions. On peut écarter un problème de conception ou une erreur répétitive dans la mesure ou depuis cette perte en août 2007, un seul Spray a été perdu pour une raison liée à un capteur de niveau d'huile semble t'il. Nous verrons par la suite que l'analyse de ces raisons de perte s'est avérée pertinente.

Les acquis

- Service et mise en œuvre de ce type de glider
- Capacité à recevoir et traiter les données de ce glider
- Contacts personnels avec J. Sherman, J. Dufour, R. Davis
- Prise en main et étalonnage d'un fluorimètre
- Formation de techniciens

Les réalisations

- une chaîne de traitement temps réel des données du Spray
- deux sites web indépendants (LPO et LOCEAN) de suivi du glider
- des outils de mise à l'eau et récupération
- procédure d'étalonnage du fluorimètre

3.3 Réapparition du glider Spray16

En août 2007, le LPO procédait à la mise à l'eau d'un hydroplaneur océanique (glider) sur les pentes de la terrasse de Meriadzeck à partir du N.O. Pourquoi Pas ?. L'objectif de sa mission était de refaire des mesures entre la terrasse de Meriadzeck jusqu'à un mouillage situé dans la plaine abyssale de Porcupine; cette mission avait déjà été parcourue entre décembre 2005 et mars 2006 lors d'un périple de 97 jours et 2440 km [paragraphe 0].

Pendant une quinzaine de jours, l'instrument a effectué nominalement les instructions de « vol » (points à atteindre, altitudes de plongée, ...) qui lui étaient envoyées par les pilotes à

terre. Brutalement et sans qu'aucune des données d'état ne laisse présager un quelconque problème, l'engin a cessé d'envoyer ses données. Le système de localisation de secours (balise Argos) était également muet. Disparition soudaine !

Les hypothèses mises en avant en relation avec l'équipe de Russ Davis (SIO) comportaient des causes inhérentes à l'instrument (panne électronique, entrée d'eau), mais privilégiaient la rencontre inopinée avec un tiers : prise au piège dans un engin de pêche, voire collision en surface avec un navire. C'est en effet dans cette phase que l'instrument est le plus vulnérable. Des contacts ont été pris avec les comités de pêches européens du littoral Atlantique et Manche pour signaler la disparition et donner les coordonnées de contact en cas de récupération.

Le 14 septembre 2008, soit 13 mois après le dernier message reçu, un appel téléphonique des pompiers de Longeville-sur-mer signalait qu'un engin rouge/orange avec des ailes environ 2 m avait été repéré sur une plage de la commune. La description faite a rapidement permis d'identifier notre glider. Nous avons ainsi pu récupérer notre instrument après un séjour de 13 mois en mer. La chance et les courants marins ont voulu que l'échouage se fasse fort heureusement sur une zone sableuse et donc avec des dommages minimum pour l'instrument.

L'apparence externe montre qu'il est plutôt dans un état satisfaisant après un séjour aussi long en mer : peu de fouling et de coquillages, pertes de divers éléments de protection, quelques chocs assez marqués sur l'enceinte de l'instrument, l'antenne cassée de la balise Argos laissent penser qu'une collision a dû se produire.

Des investigations ont été menées en coordination avec J. Sherman (SIO/IDG) [42] pour tenter d'en savoir plus sur les causes de la disparition momentanée de cet instrument. Une collision en surface apparaît être à l'origine des problèmes. En effet, il en a résulté des dommages mécaniques internes qui ont rendu l'engin inapte à la navigation. Suite à la collision, il a tenté de refaire une plongée à 1000 m mais les dégâts causés ne lui ont pas permis d'effectuer normalement son retour en surface. Au contraire il a poursuivi sa plongée et s'est posé sur le fond heureusement limité à 1750 m à cet endroit. Un système de sécurité (largage de lest) a permis un retour en surface au bout de quelques heures. Les dommages internes ne permettaient pas non plus à l'instrument de communiquer sa position ni d'être localisé par le système Argos, il a donc par la suite dérivé pendant plus d'une année avant de s'échouer. Une certaine robustesse quand même !

Les acquis

- techniques de démontage et d'évaluation d'un Spray endommagé
- techniques de décodage des données de la carte mémoire endommagée

Les réalisations

- bilan de l'état du Spray et reconstitution de l'historique de l'instrument [42]

3.4 *Déploiement Atlantique Nord-Est (CIS)*

Dans ce cas il s'agissait du même type d'opérations : complément de mesures au voisinage du mouillage pluridisciplinaire CIS en mer centrale d'Irminger. Ce déploiement s'est fait dans le cadre de la campagne OVIDE 06 aux dates suivantes :

- 24 avril – 23 mai 2006 : préparation CIS Spray #04 [34]
- 17 juin – 24 août 2006 : déploiement – récupération Spray # 04 [35]

Le déploiement a demandé une synchronisation entre l'équipe à bord, embarquée pour 1 mois, et une équipe à terre seule en mesure de piloter aisément le glider. En effet le manque de lien internet continu ne permet pas de suivre en temps réel l'activité du glider. Or, c'est une des caractéristiques indispensables pour piloter le glider : pouvoir réagir rapidement.

Par ailleurs, une collaboration avec B. Owens (WHOI) a été envisagée afin de déployer un glider Spray également pour un trajet Groenland-Péninsule ibérique. Le déploiement de l'instrument nous avait été confié par B.Owens. Lors d'une vérification de routine, il est apparu plus ou moins accidentellement un fonctionnement erratique du compas. Il va sans dire que dans ce cas, maintenir le glider sur une trajectoire relève de l'impossible. Après consultation de J.Sherman et B. Owens, le déploiement de ce glider a été annulé. Les tests effectués par la suite ont bien confirmé une panne du module compas. L'instrument déployé dans ces conditions aurait eu de grandes chances de perte.

Les acquis

- Consolidation de l'expérience sur le Spray
- Expérience sur le compas qui a entraîné une révision du modèle et des procédures d'étalonnage.
- Expérience de pilotage pour approche du plateau continental
- Contacts avec B. Owens de WHOI

Les réalisations

- Rédaction de guides de l'utilisateur pour déploiement et récupération [36 - 40]
- Mise à jour des procédures de service de l'instrument
- Travail en synchronisation bateau-terre pour les opérations à la mer.
- Mise à jour de la chaîne de traitement temps réel
- Interventions à la première réunion European Gliders Observatory (EGO) [20, 21]
- Formateurs à la Glider School du groupe EGO [21]

3.5 *Déploiements Méditerranée occidentale*

Dans le cadre de MERSEA mais également dans celui de EGO, nous avons déployé le glider Spray pour assurer une section entre Majorque et le golfe de Gênes durant l'hiver 2007 afin d'aider à la documentation du contexte de la convection hivernale dans le golfe du lion :

- 29 janvier – 5 février 2007 : déploiement Spray #16 [14]
- 12 avril – 20 avril 2007 : récupération Spray #16 [15]

Ce déploiement s'est parfaitement déroulé en utilisant le jeu de batteries qui avait déjà effectué la mission en mer centrale d'Irmingier. La somme cumulée des durées des 2 expériences représente 140 jours en autonomie. Une estimation de l'énergie restante dans les batteries permet d'envisager une autonomie de 150 à 160 jours.

Les acquis

- Vérification expérimentale de l'autonomie annoncée du Spray

Les réalisations

- Mise à jour de la chaîne de traitement temps réel
- Formateur à la Glider School du groupe EGO [41]

4 SEAGLIDER – School of Oceanography, UW

4.1 Formation

Dans le contexte d'EGO, nous avons convenu de répondre positivement à une demande d'apporter notre expérience glider à l'Université de Chypre. Cette dernière s'équipe de 2 Seagliders pour une expérience en Méditerranée Orientale au printemps 2008. C'était également l'occasion de se former au 3^{ème} type de glider actuellement commercialisé.

- 5 janvier – 13 janvier 2008 : formation Seaglider [43]

Cette formation nous a permis de comparer les caractéristiques et modes de fonctionnement des 3 gliders. Nous serons alors à même de décider en connaissance du glider le mieux adapté aux critères de choix qui seront élaborés par le LPO pour un futur achat. Le document rédigé à l'issue de la formation recense divers points de comparaison des 3 gliders [44].

4.2 Essais avec l'Université de Chypre

L'Université de Chypre nous a proposé l'accès à la formation concernant le Seaglider en échange d'une aide lors de la mise en œuvre pour un premier déploiement. Ce déploiement au large de Chypre aurait du intervenir au printemps mais des problèmes de transport pour la livraison des instruments a très sérieusement retardé les premiers essais en mer.

- 16 septembre - 19 septembre 2008 : Essais au large de Chypre [45]

La mission a permis de contribuer à la mise à l'eau de 2 Seagliders et de participer à la fois aux opérations de terrain et *a minima* au pilotage des gliders vue la courte durée des plongées (80 m) et des sorties (quelques heures par jour). L'infrastructure pour des missions de longue durée est en place.

Les acquis

- Formation au Seaglider
- Contacts personnels avec l'équipe du SFC (F. Stahr) et UC (D. Hayes)
- Consolidation de l'expérience sur le Seaglider [45]

Les réalisations

- Synthèse sur les 3 gliders [43 - 44] dont un résumé est fourni ci-après.

5 Synthèse

Le concept de glider évoqué par Stommel dans l'article visionnaire en 1989 (1) a été repris et développé par les 3 unités. A partir de caractéristiques communes soutenues par l'Office of Naval Research pour financer ces développements, les trois groupes ont abouti à des projets montrant des différences d'approche et de réalisation significatives sur l'ensemble des fonctions à réaliser. Les seules constantes des trois semblent être la technologie GPS pour le positionnement et la technologie Iridium mais il est vrai également que le choix dans ces domaines est très restreint voire inexistant !

Tous ces instruments partagent les mêmes problèmes (équilibre, ballastage, communications) inhérents à ce type d'instrument et à l'état de la technologie. Chacun fait preuve d'innovation dans des domaines divers (coque, antennes, déplacement de masses,...) qui fait que chaque véhicule présente des avantages et des inconvénients. Le Slocum bien que présentant de nombreuses fuites de par sa conception très modulaire semble actuellement le plus sûr en terme de pertes. Le Spray offre le meilleur taux de réussite dans les communications mais présente une faiblesse quant aux mécanismes de déplacement de masses. Le Seaglider apparaît comme le glider le mieux intimement décrit (modèle hydrodynamique, répartition des masses, consommation électrique selon l'activité) mais les systèmes de sécurité sont insuffisants ce qui explique son plus fort taux de perte.

Par ailleurs sur les 3 modèles, on peut sentir la différence de conduite dans la conception. Le Slocum est un projet mené par des ingénieurs, Doug Webb en tête, qui a conduit à un système très ouvert (logiciel source disponible), de conception simple et modulaire (baie science dédiée à la charge utile séparée du reste du véhicule), de manutention aisée (chariot, ailes démontables aisément) mais avec une interface utilisateur qui demande à être améliorée. C'est également le seul à être décliné en plusieurs versions côtières (30m, 100m et 200m). La présence d'un gouvernail et les pompes à piston adaptées le rend très maniable particulièrement en eau peu profonde. Les développements en cours portent essentiellement sur la version thermique qui propose de tirer son énergie des gradients de température entre la surface et la profondeur de plongée.

Le Spray est né de l'expérience de l'équipe de Russ Davies sur les flotteurs SOLO. L'idée de base était d'effectuer des profils réguliers et de transférer les données scientifiques acquises le plus simplement possible. C'est un projet qui est piloté par les données. La transmission par messagerie ne demande a priori pas de moyens dédiés puisqu'il suffit de posséder une adresse courriel. C'est le seul glider qui utilise une CTD avec une pompe et qui par conséquent fournit des données de qualité jusqu'en surface. Pour les autres le flux d'eau à travers les capteurs conductivité, qui impacte directement la qualité de ces mesures, est directement lié à la vitesse de déplacement du véhicule. La mise en place de nouveaux capteurs demande probablement une attention particulière. Par ailleurs, la fonction antenne réalisée par les ailes le rend délicat à manier à bord par son encombrement. Nous n'avons pas d'informations concernant des développements en cours pour la ligne Spray sauf un système de récupération téléopéré depuis le navire.

Le Seaglider est également un projet conduit par un scientifique qui a imposé comme ligne directrice de collecter les données à vitesse verticale constante. C'est également un projet guidé par les données. Le glider est parfaitement connu ce qui est un plus pour optimiser son

autonomie comme on peut le constater dans les faits. Le souci d'autonomie se traduit par un échantillonnage spatial irrégulier : le glider adapte son angle de plongée en fonction de la distance au point-cible. L'ajout de nouveaux capteurs n'est pas non plus chose aisée. Le pilotage de l'engin demandant un échange de fichiers relativement nombreux le rend un peu complexe à prendre en main pour connaître et maîtriser les fonctions et formats de chacun ainsi que pour en gérer les versions successives. Les développements en cours sont axés sur la mise au point d'une version 6000 m.

Notons enfin que sous l'impulsion de l'ONR, une interface commune de pilotage de ces 3 gliders est en cours de définition. Cela rendra à terme beaucoup plus aisée la mise en œuvre de ces instruments dans une même expérience. Un effort similaire est mené au LOCEAN à Paris par l'équipe de Laurent Mortier et Pierre Testor

Dans chaque cas, la formation suivie qui fait partie de l'achat du glider ne s'adresse qu'à la fonction mise en œuvre (déploiement, pilotage, récupération) mais aucunement à la maintenance. Une formation maintenance qui nous permettrait d'être plus autonomes pour gérer un hydroplaneur serait pourtant un atout notable pour les utilisateurs européens qui ne bénéficient pas de la proximité des constructeurs qu'ont leurs collègues d'outre-Atlantique.

L'année 2008 a également vu des changements importants dans l'industrialisation de ces 3 gliders. Tout d'abord, Webb Research Corporation est entrée dans le groupe Teledyne sous le nom de Teledyne Webb Research (<http://www.teledyne.com/aboutus/companies.asp>) La phase d'industrialisation du Spray, démarré en 2005 avec le transfert de la fabrication et commercialisation à Bluefin (<http://www.bluefinrobotics.com/>, importateur français Neotek) mais avec un soutien peut-être faible de leur part, a pris probablement un nouveau tournant avec l'intérêt de Teledyne RDI pour cet instrument. Le Seaglider Fabrication Center, intégré à l'Université de Washington continuera à fabriquer les gliders pour les besoins propres des équipes de l'Université (School of Oceanography, Applied Physics Lab, ...), mais l'industrialisation pour les autres clients sera assuré par la compagnie iRobot (<http://www.irobot.com/>).

Les conséquences de l'industrialisation du Spray et du Seaglider sont encore mal évaluées aujourd'hui. Par ailleurs, le délai d'environ un an entre commande et livraison ne semble pas avoir diminué pour tous les modèles, ce qui constitue une forte contrainte dans le montage des projets.

6 Perspectives

D'un point de vue technologique et indépendamment des gliders utilisés, il nous semble qu'un axe de travail à développer concerne les moyens et techniques de récupération de ces engins. Cette phase est en effet le point le plus délicat dans les manœuvres à opérer avec ces engins.

La finalisation du développement du logiciel de suivi et de positionnement relatif du glider par rapport au navire apporterait également un soutien non négligeable au cours des opérations à la mer. Ce module développé en matlab récupère les informations transmises par le glider Slocum, la trame NMEA d'un récepteur GPS lié au bateau et traduit les informations sous formes graphiques et visuelles pour une interprétation plus aisée.

Le coût des communications Iridium est un poste important dans le fonctionnement d'un glider. A titre d'exemple, lors des mois de février et mars 2008, les factures se sont élevées respectivement à 1456.67 et 1819.19 Euros. Toute source d'économie (réduction du volume de données, réduction du temps en ligne) est à rechercher. Une liaison Iridium-Iridium est à évaluer également tant d'un point de vue coût que fiabilité. Nous signalons également l'émergence d'une autre solution (RUDICS : Router based Unrestricted Digital Interworking Connectivity Solution) pour établir des connexions IP directes via le réseau Internet et qui demande à être évaluée en terme de fiabilité et coût.

Pour l'instant les capteurs CTD n'ont pas fait l'objet d'un quelconque étalonnage, seules quelques vérifications –souvent ponctuelles- ont eu lieu. La procédure à suivre n'est pas toujours clairement définie : retour chez le constructeur glider, chez le constructeur capteurs (SeaBird) ou encore procédure maison à mettre en place en terme d'outils et de méthodes.

En l'absence d'étalonnage des capteurs, si le temps, la météo et le navire le permettent, il pourrait être envisagé de positionner le glider sur un châssis CTD et d'effectuer quelques profils dans ces conditions . Cela permettrait une calibration des données au moins avant et/ou la mission.

La définition de procédures de suivi des évolutions, de suivi systématique des capacités énergétiques des piles après expériences, de rapport d'incident et des solutions apportées reste encore à faire.

7 Conclusions

Le travail fourni pour l'acquisition de la technologie glider a abouti à un certain nombre de résultats et d'outils dont le bilan détaillé est présenté dans ce document. On retiendra les points forts suivants :

- Acquisition de compétences sur les 4 gliders commercialisés : Slocum côtier, Slocum profond, Spray et Seaglider
- Réalisation des chaînes de traitement en temps quasi-réel des données transmises par les gliders de type Slocum et Spray
- Mise à jour en temps quasi-réel d'un site web pour le suivi des missions de ces instruments
- Diffusion en temps quasi-réel des données à Coriolis
- Outils de service à la mer pour ces instruments
- Mise en place de deux sources de fournisseur de piles lithium pour les gliders type Slocum
- Relations étroites avec les constructeurs
- Reconnaissance de la compétence acquise par les constructeurs et la communauté européenne via EGO

L'ouverture du Centre Européen de Technologies Sous-Marines (CETSM) à la Seyne-sur-Mer est une opportunité pour rationaliser les aspects assez contraignant de la logistique: gestion des piles, des communications, du frêt, recherche des navires d'opportunité pour déploiement, récupération ou urgence, maintenance légère, outils de suivi en temps réel. Equipé d'une flotte de gliders, ce centre devrait apporter également de la flexibilité dans l'utilisation de ces instruments qui demandent à être régulièrement renvoyés aux constructeurs.

Notre expérience montre cependant que le pilotage et le suivi des gliders pendant les missions (surtout en mode recherche) doivent être étroitement encadrés par au moins un chercheur de l'équipe du projet, qui doit avoir été sérieusement formé pour le type de glider qu'il utilise, et sensibilisé à la qualité des données obtenues. Le suivi d'un glider en mission peut-être extrêmement chronophage, même avec une équipe technique à disposition.

Les objectifs du LPO de savoir (i) opérer des hydroplaneurs dans le cadre d'un projet de recherche dans l'océan hauturier, et (ii) mettre à disposition les données en temps réel pour l'océanographie opérationnelle, ont été atteints. La mise en place de chaînes de traitement en temps différé permettra de produire un jeu de données qualifiées ainsi qu'un rapport de données interactif. La documentation sur les divers instruments et outils associés à cette technologie sera également mise à disposition.

8 Bibliographie et documents

1. Stommel, H., «The Slocum mission », *Oceanography*, vol. 2, n°. 1, pp 22-25, 1989.
2. Webb, D.C., P. J. Simonetti, C. J. Jones, « Slocum : an underwater glider propelled by environmental energy », *IEEE J. Oceanic Eng.*, Vol. 26, n°. 4, pp 447-452, October 2001.
3. Sherman, J., R. E. Davis, J. Valdes, « The autonomous underwater, glider Spray », », *IEEE J. Oceanic Eng.*, Vol. 26, n°. 4, pp 437-446, October 2001.
4. Eriksen, C. C., T. J. Osse, R. D. Light, T. Wen, T. W. Lehman, P. L. Sabin, J. W. Ballard, A. M. Chiodi, « Seaglider : A long range autonomous underwater vehicle for oceanographic research », *IEEE J. Oceanic Eng.*, Vol. 26, n°. 4, pp 424-436, October 2001.
5. Terre, T., Compte rendu de mission, visite à WRC, Falmouth, 23-27/10/06, octobre 2006
6. Terre, T., Report on Clayton Jones (WRC) visit to IFREMER LPO, Brest, 19-20/03/07, mars 2007
7. Terre, T., Report on Iridium, pump tests and batteries discharge after Mediterranean Sea deployment, september 2007.
8. Terre, T., Compte-rendu de mission de déploiement d'un planeur (glider) dans le cadre de MFSTEP, Messine, 15/09-1/10, octobre 2004
9. Terre, T., Compte rendu de mission récupération et redéploiement du planeur (glider) pour le leg 2 dans le cadre de MFSTEP, Messine, 23/10-1/11, novembre 2004
10. Terre, T., Compte rendu de mission récupération et redéploiement du planeur (glider) pour le leg 3 dans le cadre de MFSTEP, Messine, 13-20/12, décembre 2004
11. Terre, T., Compte rendu de mission redéploiement planeur côtier pour le leg 4 et premiers essais du glider profond dans le cadre de MFSTEP, Messine, 27/01- 9/02/05, février 2005.
12. Terre, T., P. Lherminier, P. Testor, « MFSTEP gliders deployment : report on technical data », 97p, Juin 2005
13. Terre, T., Compte rendu de mission : déploiement du planeur (glider) Slocum profond de l'IfM-Geomar Kiel dans le cadre de MFSTEP, Palma de Mallorca, 20-25/09/05, octobre 2005
14. Terre, T., P. Lherminier, Compte rendu de préparation et déploiement d'un planeur Spray et du Slocum profond du LPO en Méditerranée Occidentale dans le cadre de MERSEA WP3. Brest, Palma de Mallorca, 08/01-25/02/07, Mars 2007
15. Terre, T. Compte rendu de récupération d'un planeur Spray et de préparation et déploiement du Slocum profond du LPO en Méditerranée Occidentale dans le cadre de MERSEA WP3, Banyuls, 12-20/04/07, mai 2007.
16. Terre, T., Compte rendu de récupération d'un planeur Slocum profond du LPO en Méditerranée Occidentale dans le cadre de MERSEA WP3, Banyuls, 18-20/06/07, juin 2007
17. Terre, T., Report on opérations with Slocum Potame (unit #70) in Western Mediterranean Sea, 17/04-19/06/07, juillet 2007.
18. Terre, T., Compte rendu de préparation et déploiement du Slocum profond du LPO en Méditerranée Occidentale dans le cadre de MERSEA WP3, Banyuls, 22/01-2/02/08, février 2008.
19. Terre, T., Compte rendu de récupération de deux planeurs Slocum profond en Méditerranée Occidentale dans le cadre de MERSEA WP3, Banyuls, 27/03-6/04/08, avril 2008
20. Terre, T., Near real time data streams from Slocum and Spray gliders to Coriolis, Paris, 1rst EGO meeting, octobre 2006
21. Terre, T., P. Lherminier, P. Testor, J. Sherman, Operating Spray gliders or Spray gliders pictures show, 2nd EGO meeting, 1rst glider school, Mallorca, octobre 2007
22. Terre, T., P. Lherminier, P. Testor, Les hydroplaneurs océaniques au Laboratoire de Physique des Océans ; passé, présent, futur, Villeurbanne, avril 2007

23. Terre, T., P. Lherminier, P. Testor, L. Mortier, Les hydroplaneurs océaniques (gliders) : nouvel outil pour l'océanographie, Banyuls, avril 2008
24. Terre, T. Compte rendu de mission : formation à l'utilisation du planeur Spray pour un déploiement en Atlantique nord est dans le cadre de MERSEA WP3, San Diego 19-25/04/05, mai 2005
25. Terre, T., Compte rendu de mission : prise en charge du planeur Spray pour un déploiement en Atlantique nord est dans le cadre de MERSEA WP3, San Diego 30/10-7/11/05, novembre 2005
26. Terre, T., Compte rendu de préparation et déploiement du planeur Spray en Atlantique nord est dans le cadre de MERSEA WP3, Brest, 17/11-14/12/05, janvier 2006.
27. Terre, T., Compte rendu de mission : récupération du planeur Spray en Atlantique nord est dans le cadre de MERSEA WP3, Brest, 09-16/03/06, mars 2006
28. Testor, P., S. Leizour, T. Terre, Report on Spray04 recovery on board N/O Pourquoi Pas ?, Brest, 9-16/03/06, mars 2006
29. Terre, T., P. Lherminier, Compte rendu de déploiement du planeur Spray en Atlantique nord est dans le cadre de MERSEA durant la mission ESSCOM6/6 du N/O Pourquoi Pas ?, Brest, 19/11-27/11/06, décembre 2006.
30. Terre, T., Compte rendu de récupération du planeur Spray en Atlantique nord est dans le cadre de MERSEA durant la mission CONGAS du N/O Pourquoi Pas ?, Brest, 30/11-4/12/06, janvier 2007
31. Terre, T., P. Lherminier, Report on Spray04 operations for the second PAP deployment, janvier 2007
32. Terre, T., Compte rendu de préparation et déploiement du planeur Spray16 en Atlantique nord est, Brest, 02-06/08/07, Août 2007.
33. Terre, T., P. Lherminier, P. Testor, Report on Spray16 operations for the third PAP deployment, Octobre 2007.
34. Terre, T., Compte rendu de préparation et déploiement du planeur Spray pour un déploiement durant la campagne OVIDE en Atlantique nord est dans le cadre de MERSEA WP3, Brest, 24/04-23/05/06, juin 2006.
35. Terre, T., Résumé des opérations de déploiement et récupération du planeur Spray déployé durant la campagne OVIDE en Atlantique nord est dans le cadre de MERSEA WP3, Brest, 24/04-4/09/06, octobre 2006.
36. Terre, T., Procédure de connexion au serveur minou via Iridium, mai 2006
37. Terre, T., Chaîne de traitement SIO pour le glider Spray, mai 2006
38. Terre, T., Guide de déploiement du Spray, mai 2006.
39. Terre, T., Guide de récupération du glider Spray, juillet 2006
40. Terre, T., J. Sherman, Spray recovery guide, août 2006
41. Terre, T., Operating a Spray glider, Glider School, La Spezia, Octobre 2008
42. Terre, T., J. Sherman, Report on Spray16 reappearance, novembre 2008.
43. Terre, T., Compte rendu de mission : formation au pilotage du Seaglider, Seattle, 7-11/01/08, Février 2008.
44. Terre, T., Report on Seaglider pilot training, avril 2008
45. Terre, T., Compte-rendu de mission : Essais de 2 Seagliders, Chypre, 16-19/09/08, septembre 2008
46. Site web du LPO consacrés aux gliders: <http://www.ifremer.fr/lpo/gliders/>