



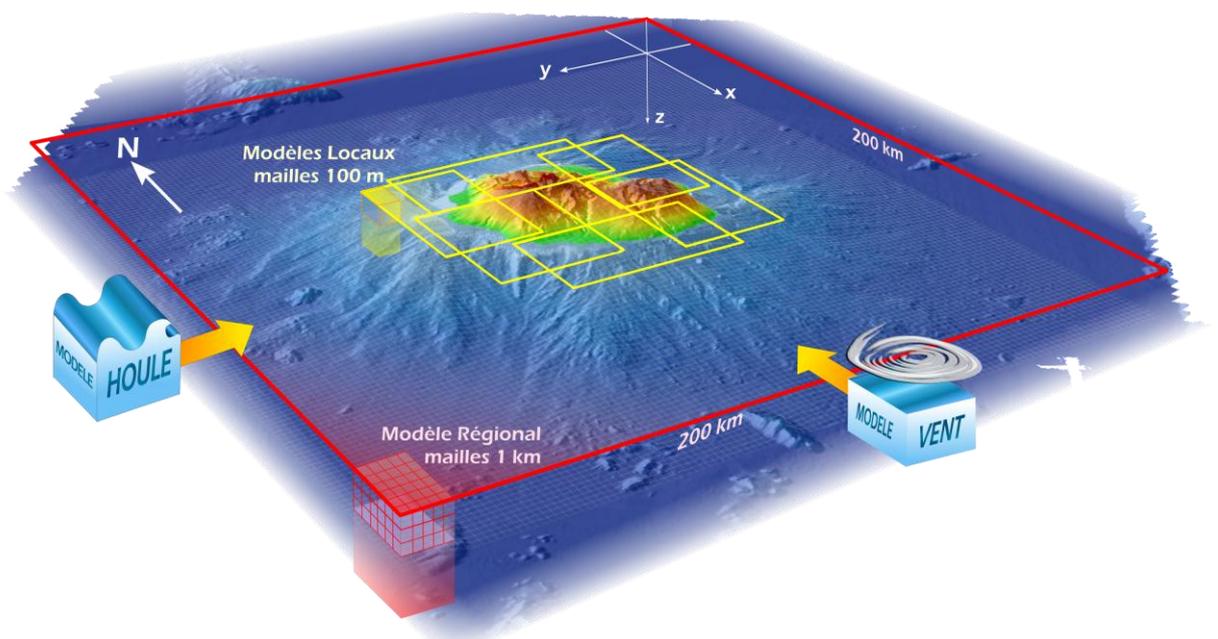
Ifremer/Délégation océan Indien  
Station de La Réunion

Rapport Ifremer **RST-DOI-RUN/2011-01**

Michel ROPERT, Pascal LAZURE

# Projet "HYDRORUN"

Etat d'avancement du projet Ifremer-OIHYDRORUN  
Première année (2010)



juin 2011

Contributions et expertises:



Avec le soutien financier :

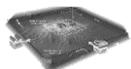




# **Projet "HYDRORUN"**

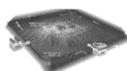
Etat d'avancement du projet HYDRORUN  
Première année (2010).





<b>Numéro d'identification du rapport :</b> <b>RST-DOI-RUN/2011-01</b> <b>Diffusion :</b> libre <input checked="" type="checkbox"/> restreinte <input type="checkbox"/> interdite <input type="checkbox"/> <b>Validé par :</b> Ronan LE GOFF Adresse électronique : <a href="mailto:legoff@ifremer.fr">legoff@ifremer.fr</a>	<b>Date de publication :</b> Juin 2011 <b>Nombre de pages :</b> 27 <b>Bibliographie :</b> oui <b>Illustrations :</b> oui <b>Langue du rapport :</b> Fr
<b>TITRE :</b> <b>Projet HYDRORUN :</b> <b>Etat d'avancement du projet HYDRORUN au terme de la première année (2010)</b>	
<b>Conventions :</b> <i>Rapport intermédiaire</i> FEDER-Ifremer 2009-2012 n°2.09.050.104.2010.237 (Ifr : 10/1218824/BF) DIREN-Ifremer 2008-2011 n°08/12174776/BF CR974-Ifremer 2009-2012 n°DEA3/2010 0503 (Ifr : 08/1218815/BF) OLE-Ifremer 2009-2012 n°DEA3/2010 0503 (Ifr : 10/1218643/BF)	
<b>Auteur(s) principal(aux) :</b> <b>Michel Ropert,</b> <b>Pascal LAZURE</b>	<b>Organisme / Direction / Service, laboratoire</b> Ifremer/Délégation océan indien / RBE Ifremer/DYNECO (BREST)
<b>Contributions:</b> <b>Ronan LE Goff</b> <b>Yoann DENIS / Jean benoit NICET</b> <b>Stéphane POUS</b> <b>Françoise GIRARD</b> <b>Marguerite BRETON</b>	Ifremer / Délégation océan Indien Pareto Ecoconsult LOCEAN (Université Paris VI) ACTIMAR SAFEGE
<b>Cadre de la recherche :</b> Développement de la plate-forme de modélisation hydrodynamique de l'île de La Réunion (Conventions EU, Etat, DIREN, Office de l'Eau, Ifremer)	
<b>Destinataires :</b> partenaires financeurs et scientifiques	
<b>Résumé :</b> La phase opérationnelle du projet HYDRORUN, initié fin 2009, a débuté en avril 2010. A l'échéance de fin 2012, HYDRORUN devrait proposer aux décideurs et aux acteurs du littoral Réunionnais de nouveaux outils d'aide à la décision en matière de préservation et de gestion de la qualité des eaux littorales. Ces outils reposent sur une plate-forme de modélisation hydrodynamique centrée sur 6 modèles mars 3d, à mailles de 100 m, couvrant l'ensemble du littoral de l'île de La Réunion. Au terme de la première année du projet, le travail réalisé avec les différents partenaires du projet est présenté. Les emprises des modèles locaux ont été définies. Les données historiques de références ont été rassemblées. Les modèles atmosphériques et les modèles de houles sont en cours de développement, comme les modèles hydrodynamiques de grandes emprises (niveau I et II) destinés à fournir les conditions aux limites des modèles locaux (niveau III). Enfin, les premières campagnes de suivi de bouées dérivantes (Argos) ont été initiées. Les perspectives pour l'année suivante sont également présentées.	
<b>Mots-clés :</b> HYDRORUN, modèle hydrodynamique, courantologie, Réunion,	

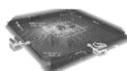




## SOMMAIRE

<b>1</b>	<b>PRESENTATION DE L'OUTIL</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>COLLECTES DE DONNEES DE REFERENCE (ACTION I-1)</b>	<b>2</b>
2.1	BATHYMETRIE.....	2
2.2	HOULES ET COURANTS .....	3
<b>3</b>	<b>DEVELOPPEMENT NUMERIQUE DES MODELES</b>	<b>5</b>
3.1	MODELE HYDRODYNAMIQUE DE GRANDE EMPRISE (NIVEAU I) (ACTION I-4 : LAB. LOCEAN, PARIS VI) .....	5
3.2	MODELE HYDRODYNAMIQUE REGIONAL (NIVEAU II) (ACTION I-4 : SAFEGE).....	6
3.3	MODELES HYDRODYNAMIQUES LOCAUX (NIVEAU III) (ACTION I-5 : SAFEGE) .....	7
3.4	MODELES ATMOSPHERIQUES ET D'ETAT DE MER (ACTION I-3 : ACTIMAR) .....	9
3.4.1	Modélisation atmosphérique .....	9
3.4.2	Modélisation de l'état de la mer.....	10
<b>4</b>	<b>ACQUISITION DE DONNEES COMPLEMENTAIRES (ACTION I-2 PARETO ECOCONSULT/IFREMER)</b>	<b>11</b>
4.1	BOUEES DERIVANTES DE SURFACE WOCE DROGUE A 15M.....	11
4.2	CAMPAGNES DE LARGAGE EN MER.....	12
4.3	GESTION ET TRAITEMENT DES DONNEES.....	13
4.3.1	Importation et Archivage des données brutes.....	13
4.3.2	Traitement et validation des données .....	14
4.3.3	Synthèse cartographique des données.....	16
4.3.4	Visualisation dynamique des données.....	16
<b>5</b>	<b>PERSPECTIVES ET PROGRAMMATION 2011</b>	<b>18</b>
5.1	AXE 1 : DEVELOPPEMENT ET COUPLAGE DES MODELES .....	18
5.2	AXE 2 : ADAPTATION DE LA PLATEFORME MARSWEB DE PILOTAGE DES MODELES.....	18
<b>6</b>	<b>REFERENCES DOCUMENTAIRES :</b>	<b>19</b>





Le projet HYDRORUN, initié à la fin de l'année 2009, vise à développer une plate-forme de modélisation hydrodynamique autour de l'île de La Réunion. A l'échéance de fin 2012, HYDRORUN proposera aux décideurs et aux acteurs du littoral Réunionnais de nouveaux outils d'aide à la décision en matière de préservation et de gestion de la qualité des eaux littorales. La plate-forme Web de pilotage de ces modèles numériques permettra, entre autre, de simuler les champs de courants (vitesse, direction), d'appréhender le devenir de rejets en mer (panaches de dispersion, dilution et diffusion de ces rejets), de calculer des trajectoires de particules dérivantes ou dévaluer des temps de résidence. Ces outils peuvent également se révéler pertinents dans l'étude d'impact d'aménagements côtiers.

Soutenu par La Région Réunion, l'Office de l'eau, La DEAL Réunion (ex DIREN), les fonds FEDER Européens et l'Ifremer, le projet HYDRORUN est le fruit d'une collaboration étroite entre l'Institut et différents partenaires de métropole (Laboratoire LOCEAN de l'Université Paris VI, ACTIMAR Brest, SAFEGE) et de la Réunion (PARETO, SAFEGE Réunion) reconnus pour leur expérience et leurs compétences dans les domaines de la modélisation.

## 1 Présentation de l'outil

D'un point de vue opérationnel, le cœur de la plateforme HYDRORUN repose sur 6 modèles locaux 3D d'environ 1 000 km<sup>2</sup> à mailles de 100 m de côté et comportant 20 cellules sur la hauteur d'eau. Ils couvrent la totalité du littoral Réunionnais pour simuler avec précision les panaches de tout rejet à la mer (particules, pollution, contamination) et les déplacements de masses d'eau à petite échelle.

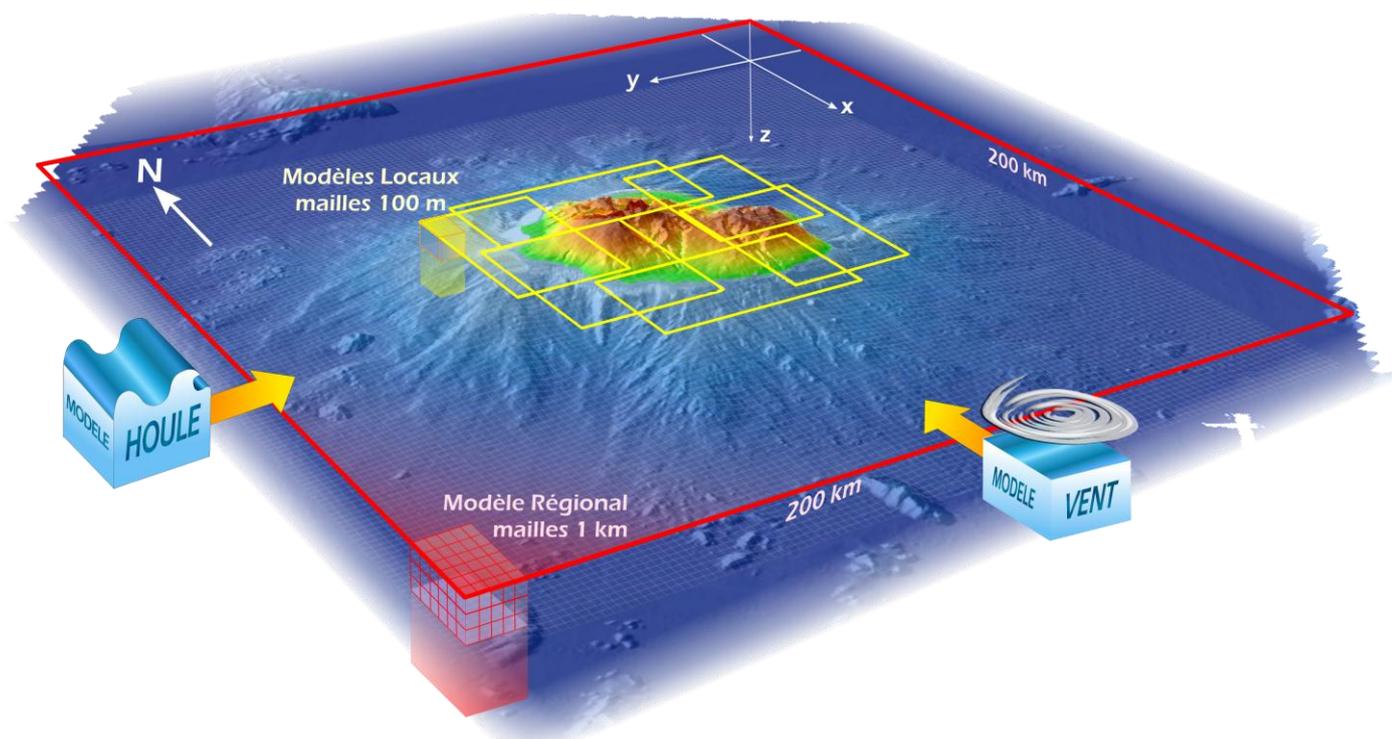
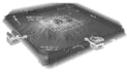


Figure 1: représentation schématique du principe d'imbrication et de couplage des différents modèles développés dans le cadre du projet HYDRORUN



Les conditions aux limites de ces modèles sont définies par un modèle régional de plus grande emprise (initialement 200 km × 200 km, mailles de 1 km, 20 cellules sur la hauteur) couplé à un modèle atmosphérique et un modèle de houle, ce qui permettra de reproduire les grands mouvements des masses d'eau à l'échelle régionale en fonction des conditions climatologiques.

Un troisième modèle numérique global, couvrant l'ensemble du sud-ouest de l'océan Indien à mailles de 10 km vient compléter le système pour permettre de calculer les conditions aux limites du modèle régional.

A terme, la plate-forme sera accessible via une interface Web de "pilotage" des modèles hydrodynamiques. Ouverte à tous les partenaires du projet, cette plate-forme "Mars Web" permettra le paramétrage et le suivi des simulations, puis la visualisation des résultats et leur exportation sous forme de produits évolués (images, données SIG, séquences animées,...)

Le projet HYDRORUN s'articule en 11 actions qui se répartissent selon 2 axes :

- 1) Développement et couplage des modèles hydrodynamiques. Cet axe comprend également des acquisitions de données de référence (existantes ou nouvelles) ainsi que le développement, la mise en œuvre et le couplage des modèles de forçage (houle et atmosphère),
- 2) Adaptation de l'interface MarsWeb, plate-forme de paramétrisation et de visualisation des résultats des simulations).

L'année 2010 est marquée par le lancement officiel du projet HYDRORUN avec l'ensemble des partenaires impliqués (20 avril 2010). Rapidement, le projet a pu démarrer selon différentes actions portées par chacun des partenaires opérationnels.

## **2 Collectes de données de référence** (*action I-1*)

### **2.1 Bathymétrie**

Le développement des modèles numériques s'appuie sur des données de référence telles que la bathymétrie (relief des fonds marins) à l'échelle de l'emprise régional du modèle (200 km × 200 km) ainsi que des limites terrestre de référence (trait de côte). Ces éléments ont pu être réunis en combinant plusieurs sources d'informations issues :

- de Litto3D (SHOM/IGN) initié par la Diren Réunion depuis 2009,
- des données de campagnes océanographiques récentes (2006) menées par l'Institut dans la zone de l'océan indien (missions ERODER et FOREVER), transmises par le département Géosciences Marines de l'Ifremer.
- du MNT Maillé à 300 m du GEBCO

Toutes ces données de référence ont été expertisées puis combinées, ajustées et synthétisées par SAFEGE en charge du développement des 6 modèles locaux du Projet.

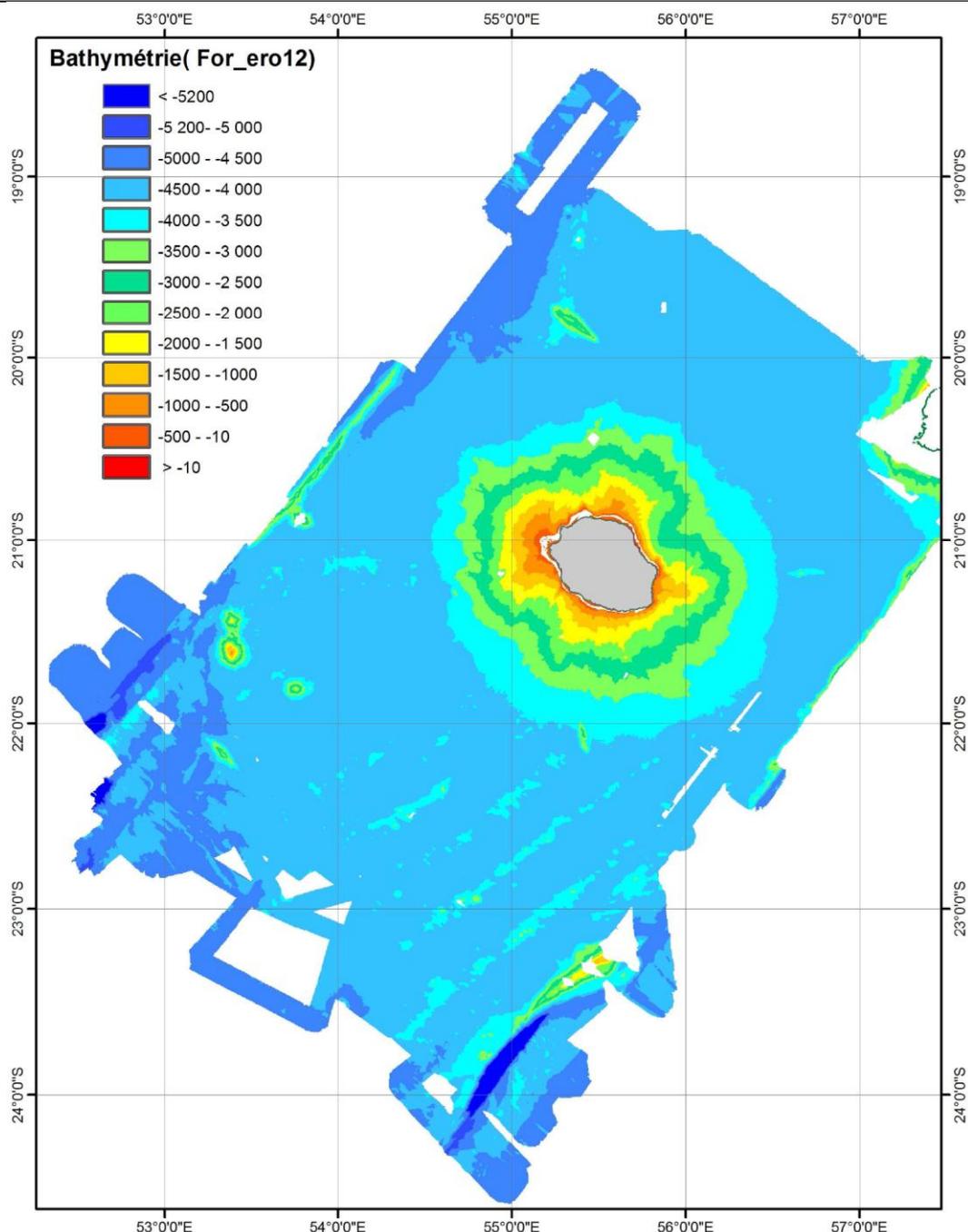
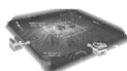
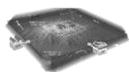


Figure 2 : Bathymétrie de référence utilisée dans le cadre du projet HYDRORUN (données issues des Campagnes ERODER et FOREVER, 2006)

## 2.2 Houles et Courants

Au cours de leur développement, les modèles doivent être calibrés et validés pour s'assurer de leur bonne représentativité. Cette phase déterminante repose sur la confrontation des données de simulation avec des mesures réalisées sur le terrain. De nombreuses données historiques (mesures de houles, de courants, de paramètres hydrologiques) existent et peuvent avantageusement être utilisées. La plupart du temps, ces données ont été acquises dans le cadre de maîtrises d'ouvrages assurées par des acteurs divers (collectivités locales, communautés de commune, structures publiques ou privées, Laboratoire universitaire ...) dans le cadre de recherches ou d'études d'impacts d'aménagements (stations d'épuration, ETM, ...etc).

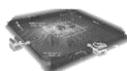


Un important travail d'identification des maîtres d'ouvrage a été mené dans le but d'accéder à ces données dans le cadre du Projet HYDRORUN (Tableau 1).

	Maître d'ouvrage	projet / Etude	Nature donnée (type de mesure)	Période	Autorisation accordée / données transmises
COURANT	Conseil Régional 974	route du Littoral	Courant (Anderra, 2 points)	Aout-sept 2000	oui / oui
	CINOR (Communauté Intercommunale Nord)	STEP Sainte Marie	Courant (Anderra, 1 point)	Avril 2004 (22 js)	oui / oui
	CINOR (Communauté Intercommunale Nord)	Littoral Saint-Denis	Courant (Anderra, 2 points)	Août 2004 (22js)	oui / oui
	Mairie de Sainte-Rose	STEP Ste Rose	Courant (Anderra, 1 point)	Mai 2005 (16js)	oui / oui
	Mairie de Saint-André	STEP de St André	Courant (Anderra, 1 point)	Déc 2005 (16 js)	oui / oui
	CINOR (Communauté Intercommunale Nord)	STEP Sainte Suzanne	Courant (Profileur AWAC)	fév 2006 (15 js)	oui / oui
	Mairie du Port	STEP du Port/possession	Courant (Anderra, 1 point)	mars 2006 (23js) Mai 2006 (20 js)	oui / oui
	Mairie Saint Benoit	STEP de Saint Benoit	Courant (Anderra, 3 points)	Août 2006 (18js)	oui / oui
	Mairie Saint-Pierre	STEP Saint Pierre	Courant (Profileur AWAC)	juil 2007 (21 js)	oui / oui
	Laboratoire GéoSciences Réunion (LGSR)	Cambaie (St Paul)	courant (Nortek)	août-Oct 2007	oui / oui
	Mairie de st Louis	emissaire en mer	Courant (Profileur AWAC)	Sept-Oct 2007	oui / oui
	Conseil Régional 974	Nouvelle route du Littoral	Courant/Vent (bouée GEOS, 2 points)	Nov 2008 à juil 2009	oui / oui
	ARER(Agence Régionale de l'Energie de La Réunion)	Potentiel hydroliennes	Courant, (ADCP, Colonne d'eau)	Juil à Sept 2009 (3x ~35 js)	oui / oui
	Mairie Saint-Leu	STEP Saint Leu	Courant (Anderra, 1 point)	Sept 2009 (1js)	oui / oui
Société Seawatt	PELAMIS	Courant, (ADCP, Colonne d'eau)	Sept-Nov 2009 (48 js)	non / non	
ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie)	Projet climatisation	Courant, (ADCP, Colonne d'eau + Anderra, 1 point)	Fév-juin 2010 (73 js en 2 points)	oui / oui	
HOULES	CINOR (Communauté Intercommunale Nord)	STEP Sainte Suzanne	Houle (Profileur AWAC)	fév 2006 (15 js)	oui / oui
	Mairie Saint-Pierre	STEP Saint Pierre	Houle (Profileur AWAC)	juil 2007 (21 js)	oui / oui
	Conseil Régional 974	Nouvelle route du Littoral	Houle (bouée GEOS, 2 points)	Mai 2008 à juil 2009	oui / oui
	CETMEF	Baie de la Possession (point 97401 )	Houle archives CANDHIS (23 paramètres d'état de mer)	Nov1996 - Sept 2009	oui (*) / oui
	CETMEF	Pointe du Phare (point 97402)	Houle archives CANDHIS (23 paramètres d'état de mer)	fév 1997 - nov 1997	oui (*) / oui
	CETMEF	Rivière des Galets (point 97403)	Houle archives CANDHIS (23 paramètres d'état de mer)	fév 1997 - sept 2010	oui (*) / oui
	CETMEF	Pointe du Gouffre (point 97404)	Houle archives CANDHIS (23 paramètres d'état de mer)	mai 2000 - sept2010	oui (*) / oui
	CETMEF	St Pierre (point 97405)	Houle archives CANDHIS (23 paramètres d'état de mer)	sept 2000 - sept 2010	oui (*) / oui
	CETMEF	Ste Rose (point 97406)	Houle archives CANDHIS (23 paramètres d'état de mer)	Nov 2000 - fév. 2002	oui (*) / oui
CETMEF	Vincendo (point 97407)	Houle archives CANDHIS (23 paramètres d'état de mer)	Juil 2003 - mars 2009	oui (*) / oui	

(\*) Convention n° DELCE/DHSM/GMD/356-10

Tableau 1 : Sources de données existantes de houle et/ou de courant pouvant être utiles au calage des modèles locaux d'HYDRORUN.



### 3 Développement numérique des modèles

#### 3.1 Modèle hydrodynamique de grande emprise (Niveau I)

(action I-4 : Lab. LOCEAN, Paris VI)

La réalisation d'un modèle hydrodynamique régional, centré sur La Réunion, passe inévitablement par la prise en compte de la circulation des masses d'eau à l'échelle plus large de l'océan Indien. Le laboratoire LOCEAN, en charge du développement du modèle Régional, dispose depuis 2007 d'un modèle de grande emprise (NEMO-IND4) qui propose plusieurs simulations réalistes avec des forçages atmosphériques climatologiques ou inter-annuels.

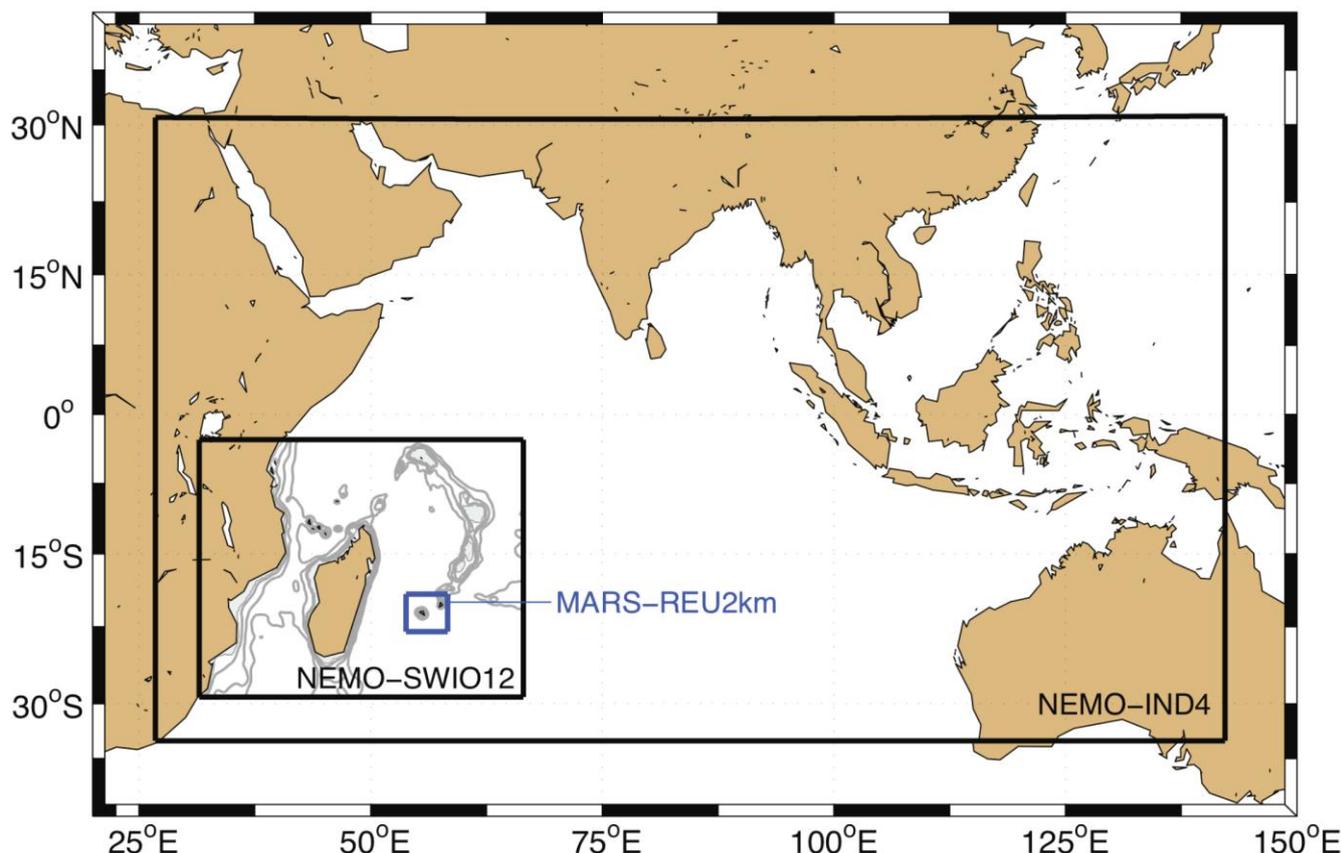


Figure 3 : emprises des différents modèles NEMO et MARS prévus dans le cadre du développement de la plate-forme HYDRORUN (Source LOCEAN)

En s'appuyant sur les résultats de NEMO-IND4, il a été proposé d'élargir les frontières du modèle régional (appelé MARS-REU2km) à 500 km de côté en étendant les mailles à 2 km pour éviter d'alourdir les temps de calculs prévisibles (Figure 3). Parallèlement, un affinement du modèle global NEMO-IND4, centré sur le Sud-Ouest de l'océan-Indien a été développé. Appelé NEMO-SWIO12, ce modèle de grande échelle a pour objectif d'améliorer la représentation de la circulation générale aux frontières de la configuration régionale de premier niveau

Cette configuration intermédiaire (NEMO-SWIO12) présentant, autour de la zone "réunion" des mailles de 9km au lieu de 27km pour NEMO-IND4, devrait permettre d'étudier la variabilité de la circulation dans plusieurs régions clés de l'océan-Indien (Canal du Mozambique, arc des Mascaraignes, dôme de la thermocline).

Une première évaluation du réalisme de ce modèle intermédiaire a pu être réalisée par LOCEAN.

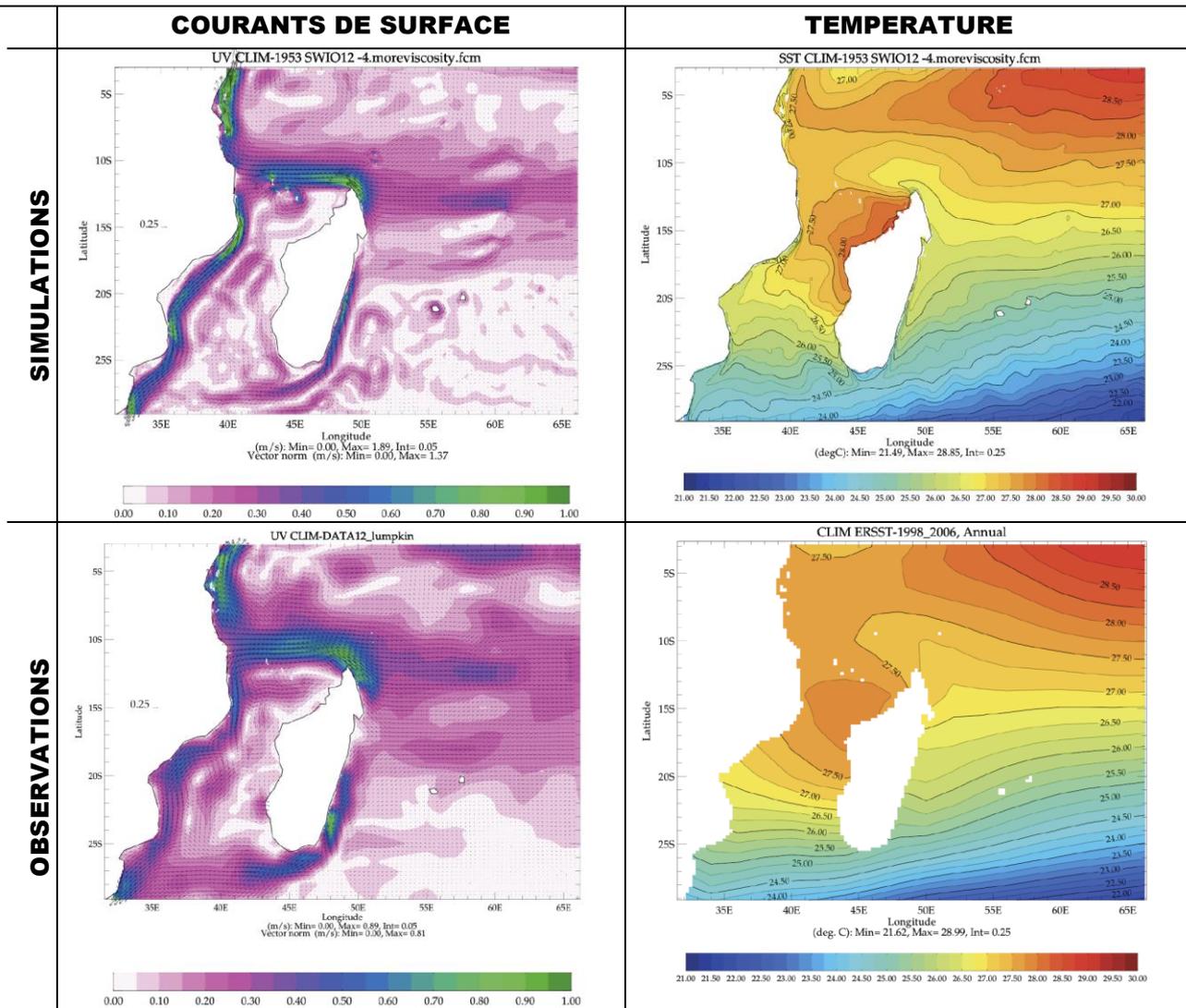
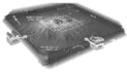


Figure 4 : Moyennes annuelles des courants et températures de surface issues des résultats du modèle NEMO-SWIO12 et des observations. (source LOCEAN)

La figure 2 illustre le réalisme du modèle et présente la moyenne annuelle des courants et de la température de surface au bout de 4 ans de simulation (en haut) comparée aux courants de surface issus de trajectoires de flotteurs (Lumpkin et al., 2005, en bas à gauche) et à la température de surface climatologique 1998-2006 ERSST.V3 (Smith et al., 2008, en bas à droite)

### 3.2 Modèle hydrodynamique régional (Niveau II) (action I-4 : SAFEGE)

Entre le modèle Régional de premier niveau (Mars-REU 2km) (Figure 3) et les modèles côtiers locaux d'HYDRORUN, un modèle de dimension intermédiaire à maille fine (500 m) est défini. Son objectif est d'assurer la transition entre le modèle régional de niveau I (Mars-REU2km) et les modèles locaux (mailles 100 m).

Tableau 2: limites géographiques du modèle régional de niveau 2 (maille 450 m).

Latitude	Latitude	Longitude	Longitude	Taille de la maille
-20.1 °	-22.1 °	55.60 °	54.5 °	450 mètres

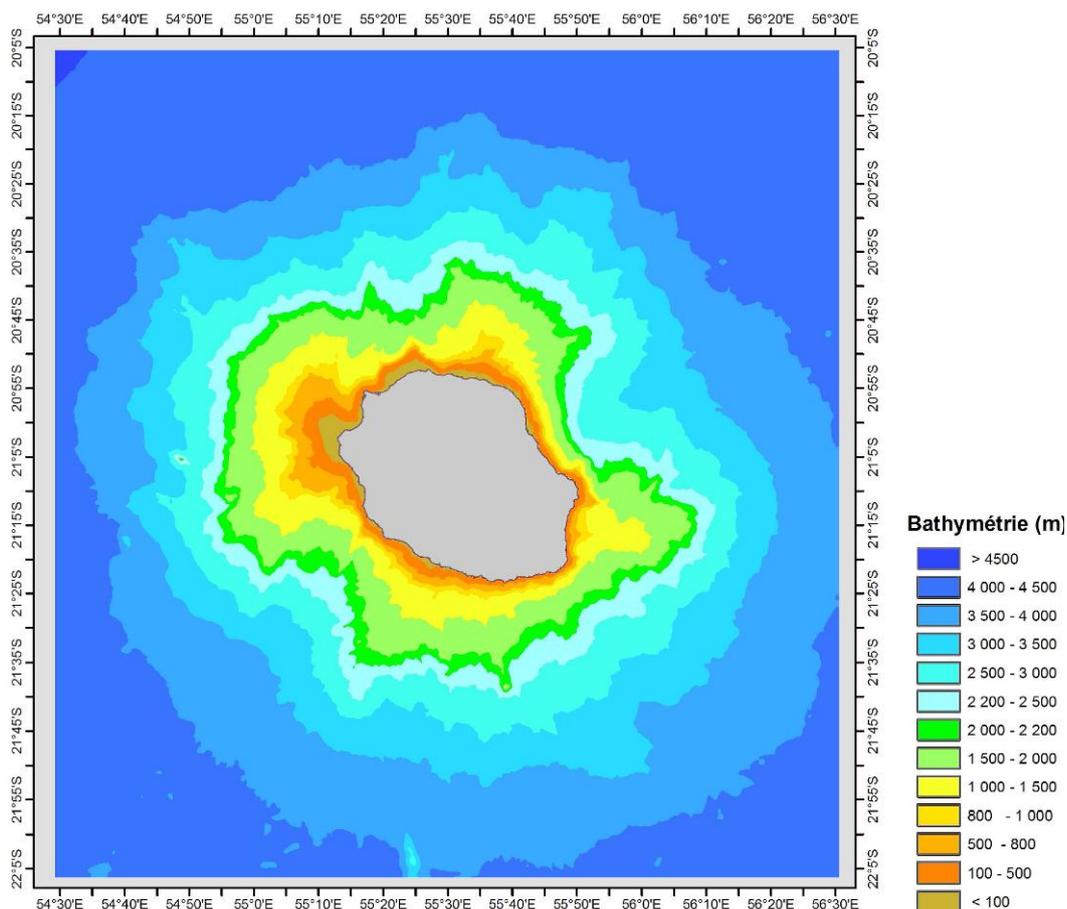
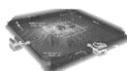


Figure 5: Emprise du modèle régional de niveau II (MARS 3D) et bathymétrie associée (maille 450 m)

Ce modèle est en cours de développement.

### 3.3 Modèles hydrodynamiques locaux (niveau III) (action I-5 : SAFEGE)

Les critères suivants ont été retenus pour formuler une première proposition de limites des emprises de 6 modèles locaux (maille 100 m) de la Plate-Forme HYDRORUN :

- Chaque Masse d'eau DCE doit être intégralement contenue dans au moins 1 emprise de modèle,
- L Réserve Naturelle Marine de la Réunion doit être intégralement contenue dans au moins 1 emprise de modèle,
- Les frontières des modèles doivent respecter une distance minimum de :
  - 5 km du pilote ETM (Energie Thermique des Mers situé au large du Port)
  - 8 km des principales agglomérations côtières (villes et zones à forte urbanisation)
  - 8 km des principaux apports à la mer (rivières et ravines importantes)
  - 8 km des émissaires des stations d'épuration
  - 8 km des limites de l'enclos du volcan (zone d'écoulement des laves)

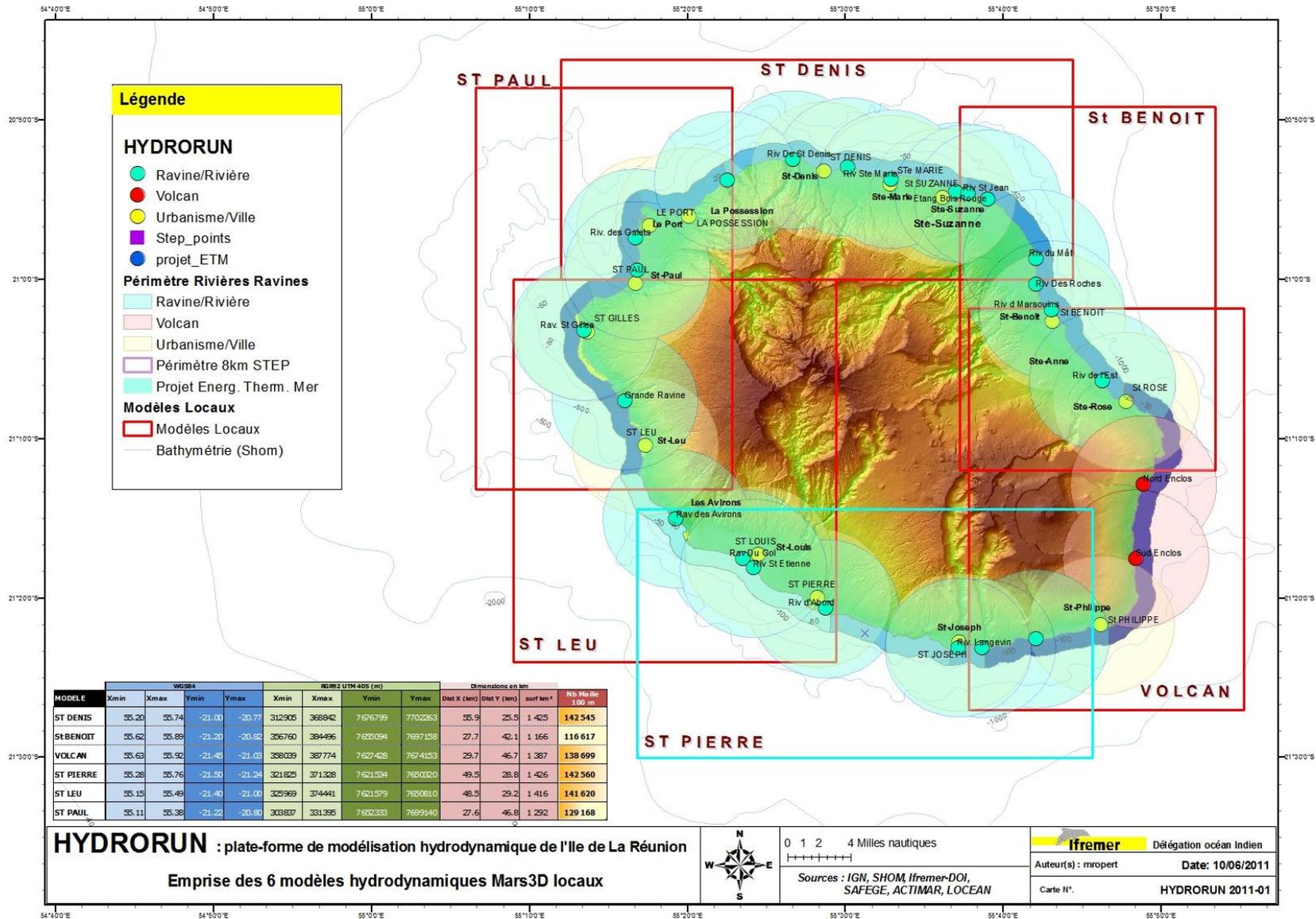
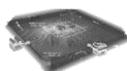


Figure 6 : Délimitation des 6 modèles locaux HYDRORUN selon les critères retenus (voir annexe pour le détail)



### 3.4 Modèles atmosphériques et d'état de mer (action I-3 : ACTIMAR)

Les modèles hydrodynamiques régional (Niveau II) et locaux (niveau III) sont soumis au double forçage des conditions atmosphériques et de houles. Ces forçages vont être eux même générés au moyen de modèles informatiques couplés aux modèles hydrodynamiques. La société ACTIMAR est en charge du développement de ces modèles de forçage en concertation étroite avec les développeurs des modèles hydrodynamiques.

#### 3.4.1 Modélisation atmosphérique

L'outil retenu pour la modélisation du vent et des flux de chaleur est le "WRF" (Weather Research and Forecasting) qui est un système numérique méso-échelle de nouvelle génération pour les prévisions météorologiques. Le développement du système vient d'une collaboration principalement entre le National Center for Atmospheric Research (NCAR), la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), l'Air Force Weather Agency (AFWA), le Naval Research Laboratory, Oklahoma University, et la Federal Aviation Administration (FAA). WRF est conçu à la fois pour des prévisions opérationnelles et les besoins de la recherche atmosphérique.

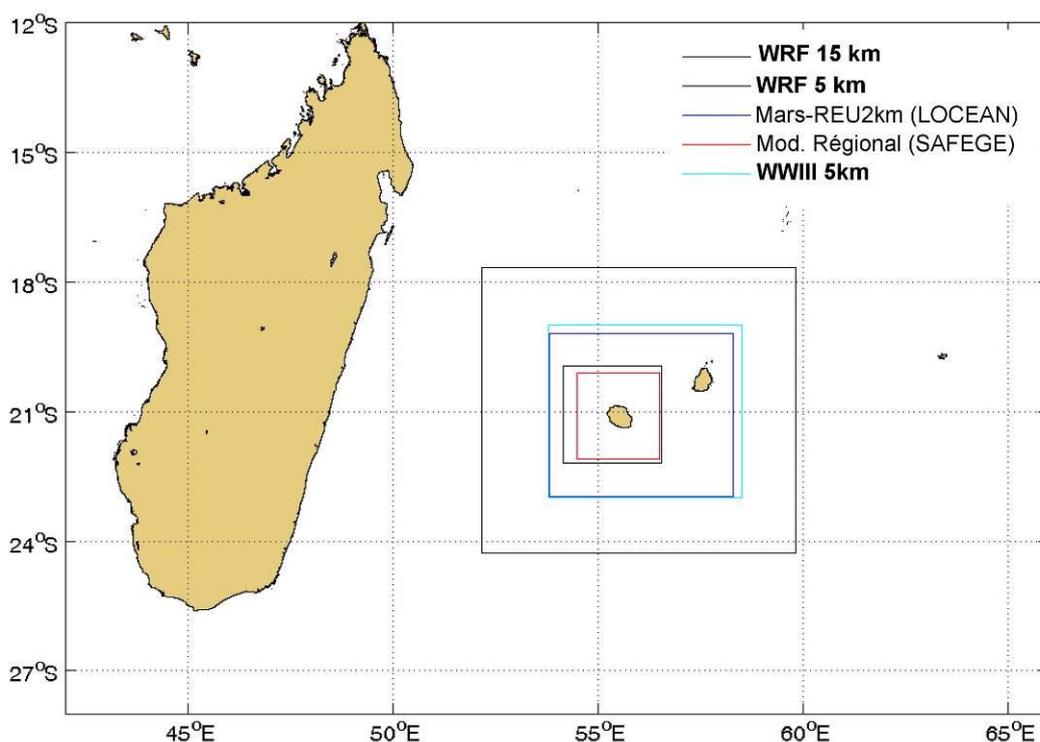
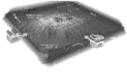


Figure 7 : correspondance entre les différentes emprises des modèles hydrodynamiques d'HYDRORUN et les emprises des modèles atmosphériques retenus (WRF 15 et 5km)

Une première évaluation de la qualité du modèle atmosphérique a pu être réalisée en confrontant les sorties du modèle aux données observées à la station météorologique de St Denis Gillot (61980). Ces dernières sont accessibles via le portail <http://meteo.infospace.ru>. Une période de 2 semaines, du 14 au 28 février 2007, a été choisie pour tester différentes combinaisons possibles : cette période couvre des conditions normales et une situation cyclonique associée au passage de *Gamède* au nord de La Réunion. Les paramètres utilisés sont la température à 2m, la vitesse du vent à 10 m et la pression de surface

Ce travail a permis de commencer à ajuster les paramètres du modèle atmosphérique en procédant à de multiples re-jeux en regard à la fois du



temps de simulation et des erreurs calculées sur la vitesse du vent et la température. L'objectif recherché est de trouver le compromis permettant de minimiser les erreurs de simulation tout en restant à des niveaux de temps de calcul acceptables. La configuration retenue permet de réaliser une simulation d'une journée en 20 minutes.

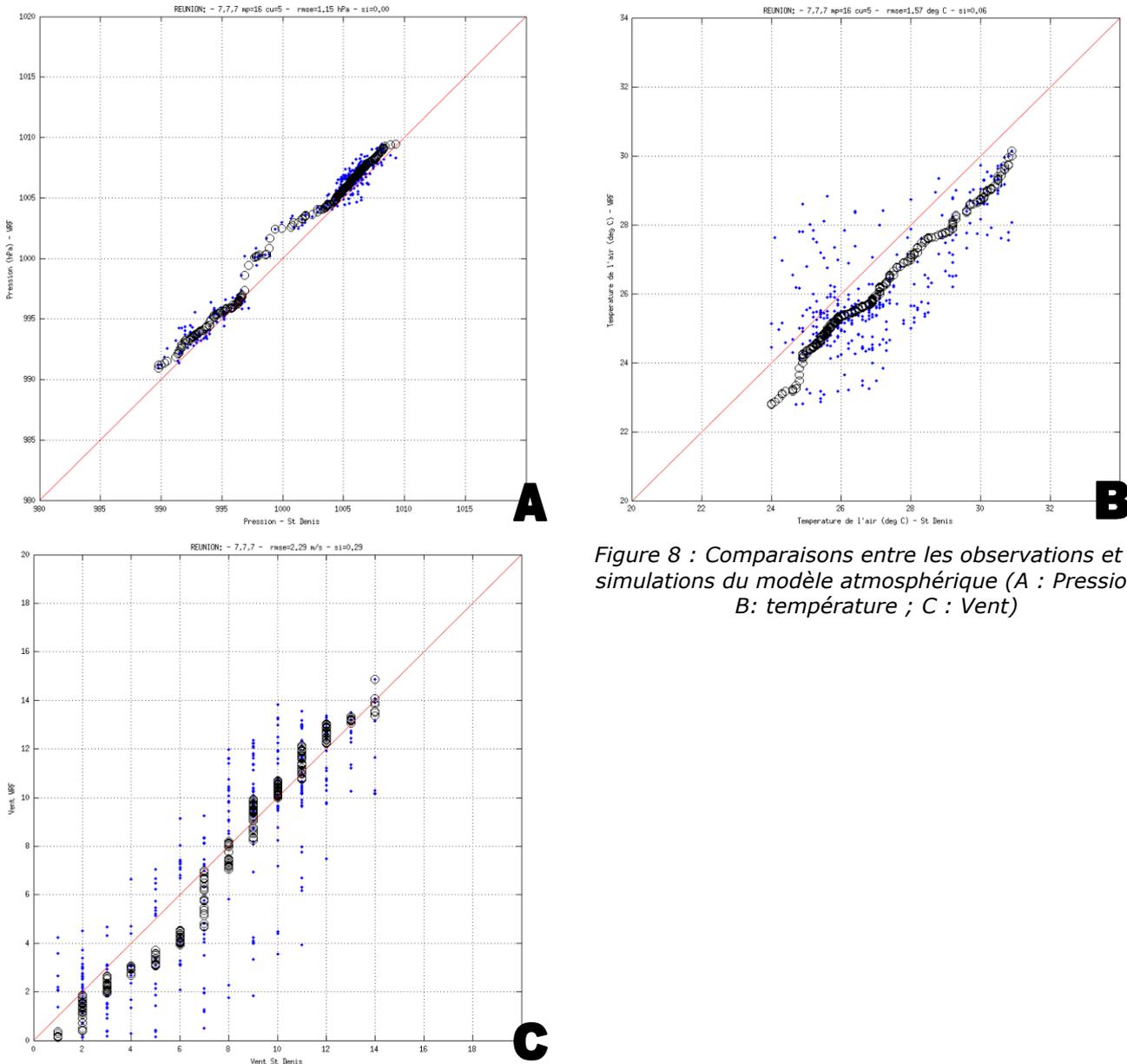
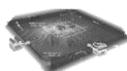


Figure 8 : Comparaisons entre les observations et les simulations du modèle atmosphérique (A : Pression ; B : température ; C : Vent)

### 3.4.2 Modélisation de l'état de la mer

De la même manière que pour la modélisation atmosphérique, le modèle retenu pour la **modélisation régionale des états de mer est Wavewatch III**. Il s'agit d'un modèle spectral de génération et propagation des états de mer. Il est particulièrement bien adapté au calcul des états de mer à petite et moyenne échelle, en domaine océanique et en mer continentale. Le code est maintenu par H.L. Tolman de la NOAA.

Pour les forçages des **modèles locaux côtiers**, l'exploitation d'un modèle SWAN est préférée. Il s'agit d'un modèle spectral permettant le calcul des paramètres des vagues, dans les régions côtières, les lacs et les estuaires, à partir d'informations fournies sur la bathymétrie, les courants et



le vent. Swan est un modèle de "troisième génération". Il n'impose aucune paramétrisation sur la répartition spectrale et directionnelle de l'énergie (ou de l'action d'onde) de la houle. Il offre également la possibilité de fonctionner en modes première ou seconde génération ; cela permet, en fonction des besoins, d'obtenir des gains en ressources informatiques. En outre, "Swan cycle III" fonctionne en mode stationnaire et optionnellement en mode non-stationnaire.

#### 4 Acquisition de données complémentaires (action I-2 PARETO Ecoconsult/Ifremer)

En parallèle au travail de développement des modèles numériques par les partenaires du projet, des mesures *in situ* de dérive des masses d'eau à proximité du littoral doivent venir compléter les éléments apportés par les données historiques.

Si les grandes tendances des courants océaniques sont aujourd'hui bien représentées à l'échelle de l'océan indien par les modèles de grande emprise, beaucoup d'incertitudes persistent pour ce qui concerne les courants côtiers (moins de 5 milles des côtes).

Pour répondre à ces interrogations, il a été envisagé, dans le cadre de l'action n° 2 du projet HYDRORUN, de pouvoir procéder à des suivis de masses d'eau au moyen de bouées dérivantes capables de transmettre en temps réel leur position.

##### 4.1 Bouées Dérivantes de surface WOCE Drogue à 15m

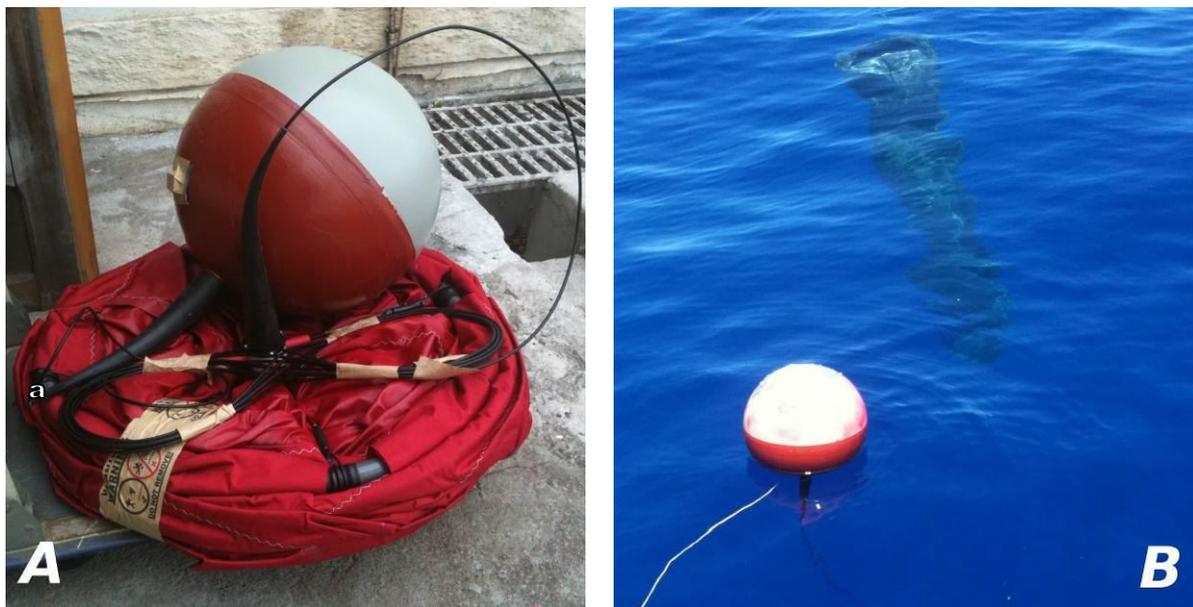
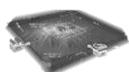


Figure 9 : Bouée WOCE DROGUE (A) à la livraison et (B) lors du déploiement en mer.

Douze bouées de type WOCE DROGUE, développées par la Société Technocean (basée en Floride, USA), ont été livrées à la Délégation Ifremer du port en Novembre 2010. Une première campagne de largage a été programmée en décembre 2010 à l'occasion de la venue sur l'île de Pascal LAZURE et Jean-François LEROUX (Ifremer DYNECO Brest) ainsi que de Stéphane POUS (Lab. LOCEAN, Paris VI). Familiarisés avec l'utilisation de ce type de matériel, ils ont pu, durant 2 semaines, former les équipes locales de l'Ifremer et de PARETO à la manipulation et au traitement des données émises par les bouées.



Le matériel se présente sous la forme d'un flotteur sphérique, d'environ 40 cm de diamètre, relié par un câble à une ancre flottante (ou drogue) située à 15 m sous la surface. La drogue est constituée d'un tube de tissu ouvert de 6,7 m de long et lesté. Après largage, la drogue se déploie à la verticale du flotteur. L'ensemble de l'électronique d'instrumentation se situe dans le flotteur. Il est composée d'un système de positionnement classique de type ARGOS auquel est couplé :

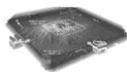
- un système GPS Trimble Lassen iQ
- un émetteur Telonics ST21A
- Quatre capteurs (tension de batterie, immersion drogue, Température, GPS).

## 4.2 Campagnes de largage en mer

Au total, 27 largages suivis de 24 récupérations de bouées ont été réalisés entre le 30 novembre et le 8 décembre 2010. Ces opérations à la mer ont été coordonnées en lien étroit avec PARETO en faisant appel à des navires de pêche professionnelle côtière depuis les 3 ports Réunionnais de Ste Marie (bateau "Charles V"), St Pierre (bateau "Tethis") et St Gilles les Bains (bateau "Portus Veneris").

Tableau 3 : détail de l'ensemble des largages/récupérations (date/position) effectués au cours de la campagne HYDRORUN de décembre 2010.

N° Bouée	LARGAGE			RECUPERATION			N° Campagne
	Date heure	latitude S (degrés décimaux)	Longitude E (degrés décimaux)	Date heure	latitude S (degrés décimaux)	Longitude E (degrés décimaux)	
102031	30/11/10 14:23	-21.07542	55.83533	01/12/10 04:22	-21.06620	55.78628	Camp1
102031	01/12/10 14:23	-21.39170	55.48492	02/12/10 02:45	-21.39750	55.54682	Camp1
102031	02/12/10 14:35	-21.06568	55.18023	03/12/10 02:50	-21.00770	55.18663	Camp1
102031	03/12/10 13:23	-21.13300	55.19200	07/12/10 06:07	-20.99797	55.23825	Camp2
102031	07/12/10 06:55	-21.12030	55.18782	08/12/10 12:00	-20.94500	55.22300	Camp3
102032	03/12/10 13:01	-20.86580	55.60803	05/12/10 09:55	-20.87475	55.36937	Camp2
102032	08/12/10 04:49	-21.26483	55.27260	Dérive en cours			Camp3
102033	03/12/10 13:10	-20.84968	55.60807	05/12/10 06:50	-20.81055	55.19285	Camp2
102033	08/12/10 05:23	-21.20968	55.24203	10/12/10 04:17	-21.34860	55.41087	Camp3
102035	29/11/10 13:38	-20.87400	55.60700	30/11/10 05:27	-20.86930	55.54990	Camp1
102035	30/11/10 14:52	-21.10343	55.80142	01/12/10 04:44	-21.10533	55.78687	Camp1
102035	01/12/10 14:37	-21.37483	55.48397	02/12/10 02:24	-21.38735	55.53615	Camp1
102035	02/12/10 14:23	-21.06850	55.16228	03/12/10 03:03	-21.02382	55.18575	Camp1
102035	03/12/10 13:18	-21.11800	55.19800	05/12/10 03:45	-21.06018	55.21677	Camp2
102035	07/12/10 06:50	-21.10948	55.19872	08/12/10 12:00	-20.94800	55.25600	Camp2
102036	30/11/10 14:42	-21.09163	55.81460	01/12/10 02:44	-21.09273	55.79245	Camp1
102036	01/12/10 14:05	-21.41670	55.48488	02/12/10 03:20	-21.41580	55.49388	Camp1
102036	03/12/10 13:20	-20.83238	55.60687	05/12/10 07:15	-20.79025	55.19398	Camp2
102036	07/12/10 06:36	-20.99752	55.73703	08/12/10 05:55	-20.85743	55.41693	Camp3
102037	02/12/10 14:11	-21.06902	55.14340	03/12/10 03:17	-21.03737	55.18017	Camp1
102037	03/12/10 13:20	-21.13800	55.17497	07/12/10 05:43	-20.94948	55.26582	Camp2
102037	07/12/10 07:05	-21.13300	55.17600	Dérive en cours			Camp3
102038	03/12/10 12:23	-21.38358	55.47593	05/12/10 12:37	-21.48677	55.69133	Camp2
102038	07/12/10 06:46	-20.98948	55.75302	09/12/10 06:23	-20.84038	55.36885	Camp3
102041	03/12/10 12:34	-21.40078	55.47692	05/12/10 11:05	-21.48677	55.56882	Camp2
102041	07/12/10 06:58	-20.98382	55.77002	09/12/10 06:55	-20.80152	55.39068	Camp3
102042	03/12/10 12:43	-21.41800	55.47675	Défaut d'émission de données (bouée perdue)			



Ces campagnes de largages/récupérations peuvent se décomposer en trois séries :

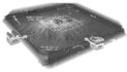
- série I (du 30/11 au 03/12/2010): En l'absence de connaissance et de recul, une première série de largages de nuit a été organisée dans le cadre d'un tour de l'île effectué par le "Charles V". A cette occasion, des lâchers de 12 heures maximum ont été effectués au large de Ste Marie (nord) de Ste Rose (est), St Pierre (sud) et St Gilles les Bains (ouest).
- série II (du 03/12 au 06/12/2010) : l'objectif de cette seconde campagne était de pouvoir enregistrer des dérives sur 24 à 48h à proximité immédiate des côtes (moins de 5 milles marins). Les bouées ont été lâchées par groupes de 3, réparties le long d'un transect perpendiculaire à la côte à une distance de 2, 3 et 4 milles.  
C'est à l'occasion de cette seconde campagne que la bouée n° 102042 a montré, dès son largage, un dysfonctionnement dans le processus d'émission de données. Devenue silencieuse, cette bouée n'a plus pu être localisée par la suite. Sa désactivation a été demandée.
- série III (à partir du 07/12/2010): au terme de la seconde série de largages, il a été décidé de ne pas récupérer les bouées 102037 (partie de St Gilles les Bains) et 102032 (partie du sud du secteur de l'Etang Salé) afin de pouvoir observer leur comportement à une échelle plus large (emprise du modèle régional)

### **4.3 Gestion et traitement des données**

#### **4.3.1 Importation et Archivage des données brutes**

Dès son activation (interrupteur aimanté), le système fournit des positions réactualisées toutes les ½ heures. Les données des 8 dernières heures (16 mesures) sont mémorisées en permanence (position GPS, température de surface de la mer, indication de l'état de l'ancre flottante et tension de batterie). Ces informations sont transmises en 8 messages distincts, chacun de ces messages contenant les données de 2 demi-heures. Cette particularité permet de s'affranchir de la perte d'informations durant d'éventuels trous satellitaires (à condition que ces derniers ne dépassent pas 4 heures). Ces messages sont répétés jusqu'à ce qu'ils soient réactualisés à chaque demi-heure.

Les données transmises par les bouées sont automatiquement archivées sur un serveur ARGOS accessible de manière sécurisée depuis n'importe quel navigateur WEB (<https://www.argos-system.org/>). Le portail propose différents outils allant de la simple visualisation des dernières positions transmises jusqu'au téléchargement des données archivées au cours des 10 jours précédents (sous format CSV, XLS ou KML).



The screenshot shows the ArgosWeb portal interface. The main content area is titled "Sélection des données" and includes a "Messages" section with filters for "Plate-forme" (set to "Par N°ID(s)" with value "102032,102037"), "Période" (set to "Depuis n jour(s)" with value "3"), and "Classe de localisation". Below this is a "Colonnes" section with a table titled "Sélectionner les colonnes à afficher - 48 items".

Ordre	Nom	Libellé	
<input checked="" type="checkbox"/>	1	N° ID	Numéro de plate-forme
<input checked="" type="checkbox"/>	2	Plate-forme	Nom de la plate-forme
<input checked="" type="checkbox"/>	3	N° prg	Numéro de programme
<input checked="" type="checkbox"/>	4	Latitude	Latitude
<input checked="" type="checkbox"/>	5	Longitude	Longitude
<input checked="" type="checkbox"/>	6	Cap	Cap
<input checked="" type="checkbox"/>	7	Vitesse	Vitesse
<input checked="" type="checkbox"/>	8	Qualité loc.	Qualité de localisation
<input checked="" type="checkbox"/>	9	Date de loc.	Date de localisation
<input checked="" type="checkbox"/>	10	Altitude	Altitude déclarée ou estimée en km
<input checked="" type="checkbox"/>	11	Passage	Durée du passage
<input checked="" type="checkbox"/>	12	Sat.	Identifiant du satellite
<input checked="" type="checkbox"/>	13	Frequence	Fréquence d'émission calculée

At the bottom of the table, there is a checkbox for "Données diagnostic" which is checked. A "Télécharger" button is located at the bottom right of the selection area.

Figure 10 : Portail ArgosWeb permettant le téléchargement des données transmises par les Bouées WOCE drogue.

#### 4.3.2 Traitement et validation des données

Près de 80 % du contenu des messages est constitué par des informations dupliquées (chaque position peut ainsi être répétée jusqu'à 8 reprises). D'autre part, la transmission des messages peut être perturbée par des éléments extérieurs (problème de réception satellite, interruption du signal durant la transmission, immersion de la bouée liée à de la houle, ...). Le signal brut téléchargé doit donc impérativement faire l'objet d'une procédure de validation et de traitement rigoureuse pour en extraire les données réellement exploitables.

Au total, le message transmis par la bouée comporte 48 champs qui pour 65 % d'entre eux informent sur les conditions de positionnement ARGOS (latitude et longitude Argos, identifiants satellites, qualité de localisation, ...etc). Les données GPS exploitables dans le cadre de ce travail sont contenues dans 17 champs (ou SENSOR) sur lesquels le traitement va porter.

Avant émission des données par la bouée, les valeurs hexadécimales des 17 SENSOR font l'objet d'un codage suivi d'un calcul binaire dont la valeur (appelé Checksum) est reportée dans le premier SENSOR.

Après téléchargement des données depuis le serveur, l'utilisateur va procéder au même décodage afin de s'assurer que la valeur Checksum recalculée par ses soins est bien la même que celle reportée avant émission dans le SENSOR 1. L'égalité entre les 2 calculs garantit que le message a été transmis dans son intégralité. Dans le cas contraire, le message a été altéré et doit être écarté du traitement.

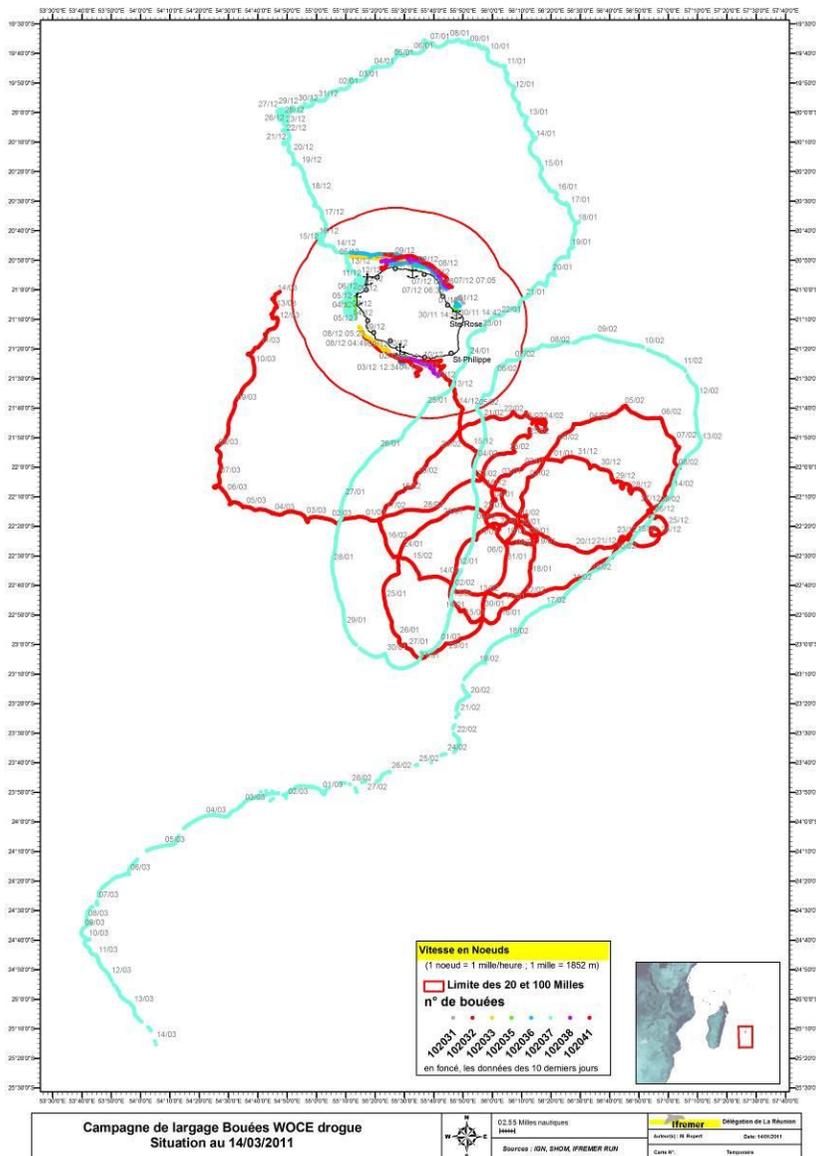
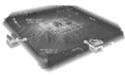


Figure 11 : carte des trajectoires des bouées WOCE Drogue utilisées dans le cadre d'Hydrorun entre le 28/11/2010 et le 14/03/2011

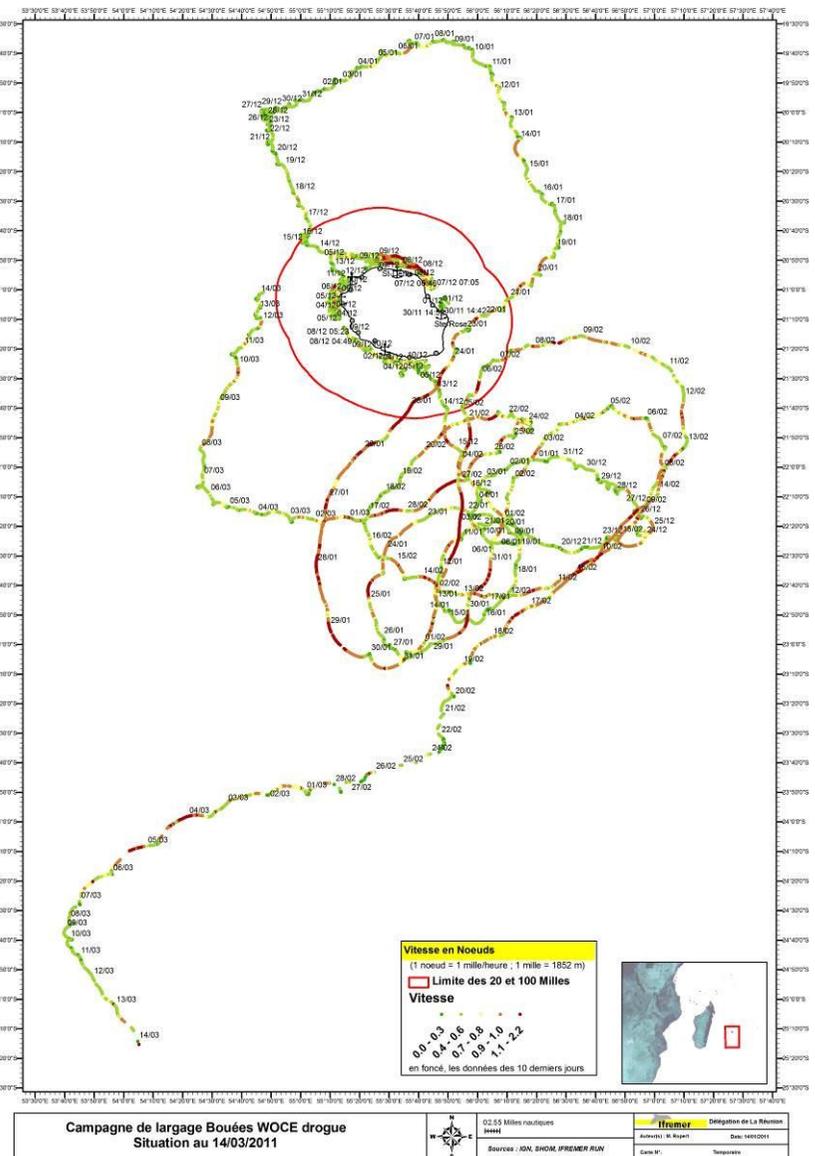
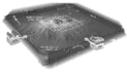


Figure 12 : carte des vitesses de dérive des bouées WOCE Drogue utilisées dans le cadre d'Hydrorun entre le 28/11/2010 et le 14/03/2011



Une chaîne complète de traitement a été développée en Visual Basic® sous interface EXCEL® pour automatiser cette phase de nettoyage des données brutes. Le Tableau 4 détaille les différentes phases de validation en regard du nombre de données retenues à chaque étape :

Tableau 4 : Etapes de la chaîne de traitement automatisée (VB®) développée pour filtrer et nettoyer les données brutes ARGOS des bouées WOCE

Procédure	Nb de positions (exemple développé pour 2 bouées dérivant durant 10 jours)
1. Importation des données au format CSV	7 334 (100%)
2. Filtre sur positions Argos validées	6 002 (80 %)
3. Test traitement ChekSum	4 337 (60%)
4. Retrait des données redondantes	751 (10 %)

#### 4.3.3 Synthèse cartographique des données

Au terme de la phase de traitement et de nettoyage des données, les informations sont archivées dans une table XLS pour être intégrées sous ARCGIS.

La carte produite permet au choix de visualiser les trajectoires de chaque bouée (Figure 11), ou d'autres informations telles que la vitesse de dérive (Figure 12).

#### 4.3.4 Visualisation dynamique des données

La plupart des outils SIG, du type d'ArcGis®, permettent de visualiser des situations à un instant donné. Ces cartes sont donc figées. Il existe aujourd'hui des outils qui intègrent aisément la dimension temporelle pour avoir une vision dynamique des données. La plus connue, et la plus emblématique de ces applications, de par son caractère gratuit, ouvert et intuitif, reste Google Earth®. En outre, de nombreuses ressources sont mises à disposition par une large communauté d'utilisateurs, ce qui facilite d'autant plus l'utilisation de ces outils.

Ainsi, toutes les données acquises dans le cadre d'HYDRORUN ont été transférées sous Google Earth® afin de pouvoir visualiser plus aisément les dynamiques temporelles des trajectoires enregistrées depuis le 30 novembre 2010. (Figure 11, Figure 13 et Figure 14)

Ces données animées seront accessibles sur le site Web de la délégation Ifremer de La Réunion (<http://wwz.ifremer.fr/lareunion/>)

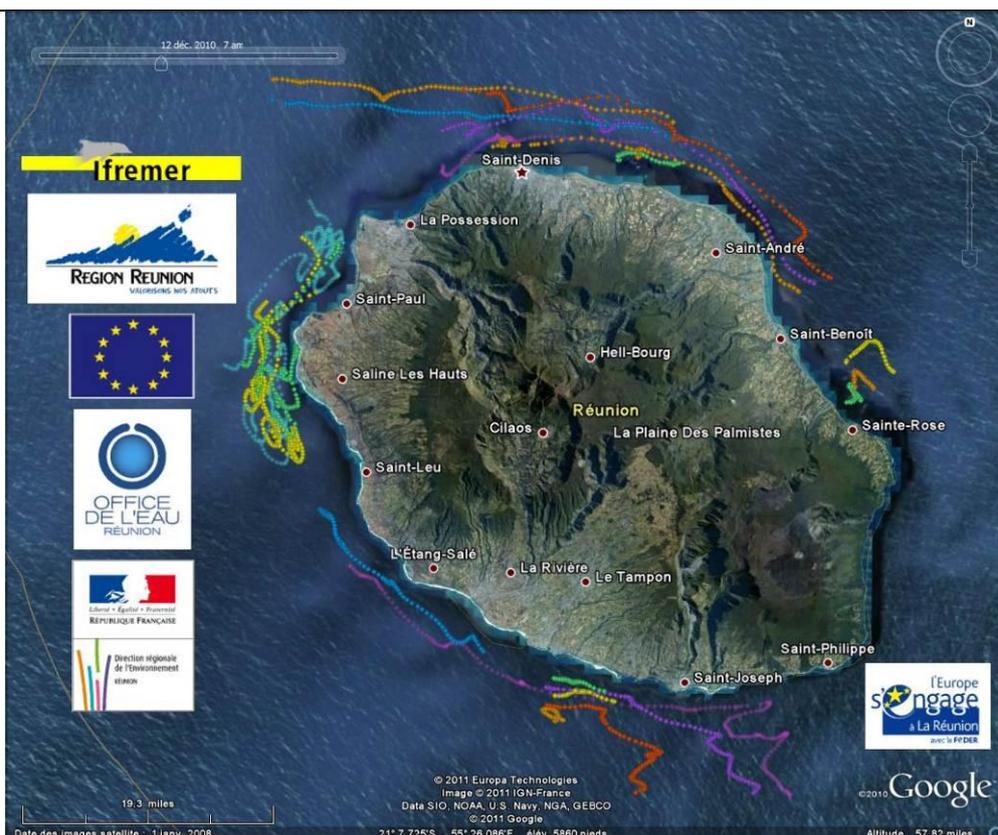
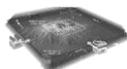


Figure 13 : dynamique des trajectoires des campagnes I et II visualisables sous Google Earth®

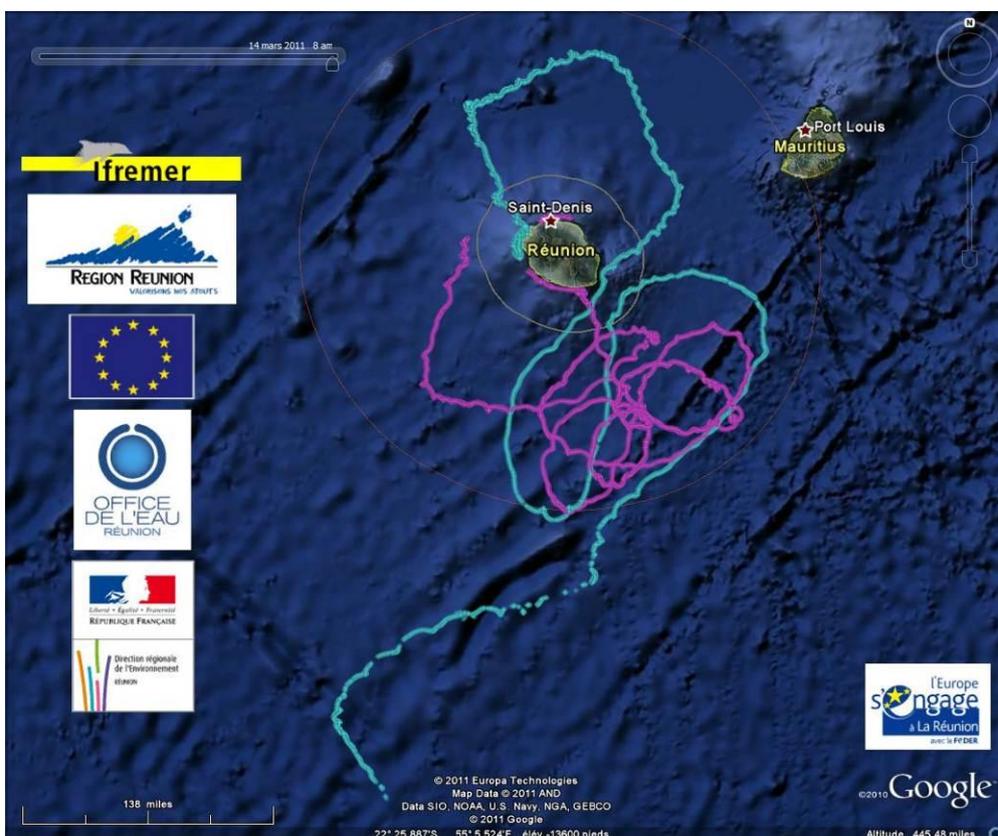
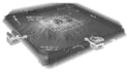


Figure 14 : dynamique des trajectoires de la campagne III visualisables sous Google Earth®



## **5 Perspectives et programmation 2011**

### **5.1 Axe 1 : Développement et couplage des modèles**

Au terme de l'année 2011, il est prévu que l'ensemble des modèles hydrodynamiques régionaux et locaux aient été développés, calés et validés au moyen des données provenant d'études antérieures ou acquises dans le cadre des campagnes de largages des bouées dérivantes qui doivent se poursuivre durant le premier semestre 2011.

Une incertitude demeure toutefois, liée au retard imprévu de la livraison finale du référentiel terre-mer de Litto3D. En effet, les informations bathymétriques de Litto3D doivent servir de référentiel à l'ensemble des 6 modèles locaux. Or l'intégration de ces données constitue une étape préliminaire à leur développement.

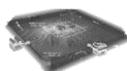
N'étant plus en mesure de retarder cette phase sans risque pour l'ensemble du projet, il a été proposé de s'appuyer temporairement sur le référentiel existant (données historiques du SHOM).

Il a été également demandé au partenaire développeur de ces modèles d'évaluer la possibilité d'intégrer, a posteriori, le référentiel bathymétrique Litto3D. Le coût de cette option, s'il elle doit être envisagé, est en court de chiffrage.

### **5.2 Axe 2 : Adaptation de la plateforme MarsWeb de pilotage des modèles**

La plate-forme MarsWeb actuelle a été développée pour les modèles existants en métropole. Son adaptation au contexte Réunionnais (modèles 3D couplés météo et houles/vagues) est prévue dans le courant du second semestre 2011.

L'objectif est qu'elle soit opérationnelle pour la fin du premier trimestre 2012, de telle sorte que des formations puissent être proposées aux partenaires Réunionnais du projet à partir du second trimestre 2012.



## 6 Références documentaires :

- Frelin C., Girard F. 2010. PLATEFORME DE MODELISATION HYDRODYNAMIQUE DE L'ILE DE LA REUNION : Modèles météorologique et d'états de mer : rapport d'avancement. Rapport n° 10.36, ACTIMAR , 16p.
- Lumpkin, R., Garraffo, Z., 2005. Evaluating the decomposition of tropical Atlantic drifter observations. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* I 22, 1403–1415.
- Madec, G., 2008. NEMO reference manual, ocean dynamic component: NEMO-OPA. Preliminary version, Tech. Rep. 27, Note du pôle de modélisation, Institut Pierre Simon Laplace (IPSL), France, ISSN No 1288-1619.
- Nicet J.B., Denis, Y, 2010. Etat d'avancement de la collecte des données bibliographiques et mise en place de la phase de terrain. Note Technique PARETO Ecosonsul n° P262 du 15/10/2010. 2p.
- Pous S., 2010. Projet FEDER : Développement de la plate-forme de modélisation hydrodynamique de l'île de la Réunion (HYDRORUN). Rapport d'avancement LOCEAN L10P123 du 28/10/2010, 4p.
- Ridderinkhof, H., P. M. van der Werf, J. E. Ullgren, H. M. van Aken, P. J. van Leeuwen, and W. P. M. de Ruijter, 2010, Seasonal and interannual variability in the Mozambique Channel from moored current observations, *J. Geophys. Res.*, 115, C06010, doi:10.1029/2009JC005619.
- SAFEGE, 2010. Hydrodun mise en œuvre de modèles hydrodynamiques 3d sur le littoral de La Réunion. Note d'avancement n° 1 SAFEGE. 14p.
- Smith, T.M., R.W. Reynolds, Thomas C. Peterson, and Jay Lawrimore, 2008: Improvements to NOAA's Historical Merged Land-Ocean Surface Temperature Analysis (1880-2006). *Journal of Climate*, 21, 2283-2296.