

**IRSN**

INSTITUT  
DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

*Faire avancer la sûreté nucléaire*

# Simulation de la dispersion des radionucléides dissous en mer

*Pascal Bailly du Bois, Franck Dumas, Luc Solier, Mehdi  
Morillon, Pierre-Emmanuel Oms, Claire Voiseux*

IRSN / PSE-ENV / SRTE / LRC  
Laboratoire de Radioécologie de Cherbourg

SFRP

Journées codes de calcul  
02/02/2018

Session 8 : Environnement

## Un contexte favorable

### ➤ 30 années de collaboration entre l'Ifremer et l'IRSN pour simuler la dispersion des radionucléides en mer

*Salomon, J.C., Guéguéniat, P., Orbi, A., Baron, Y., 1988. A lagrangian model for long term tidally induced transport and mixing. Verification by artificial radionuclide concentrations, In : Radionucléides : A tool for oceanography. pp. 384-394.*

### ➤ Les radionucléides artificiels solubles : des traceurs exceptionnels

- Termes sources peu nombreux
- Flux connus avec précision
- Mesure possible à très faible concentration (1/10 000<sup>e</sup> du naturel)
- Détection à plus de 1000 km des émissaires

### ➤ En Manche et Mer du Nord, tous les domaines d'application des modèles ont été confrontés à des mesures de radionucléides solubles

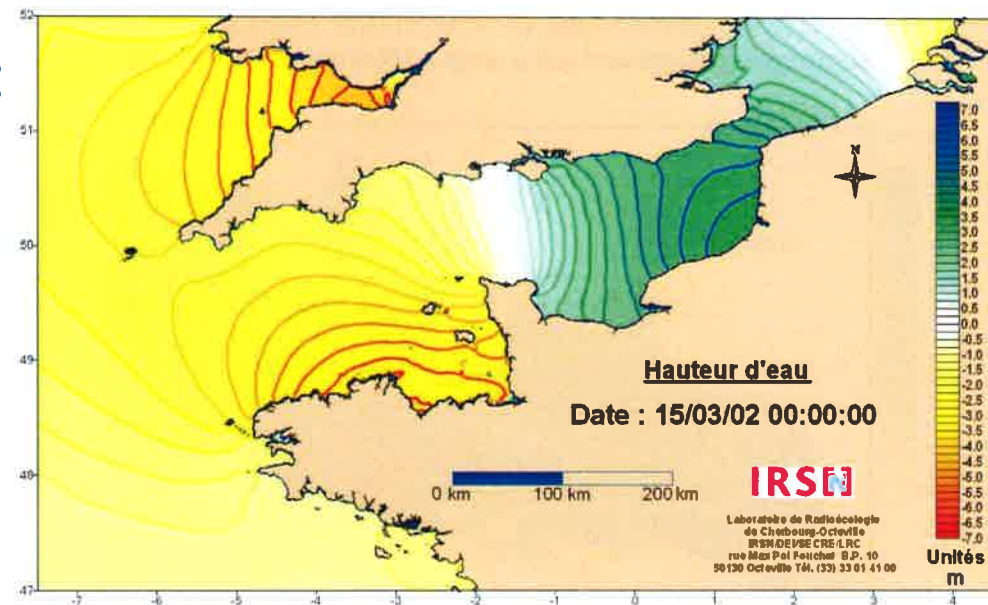
- Dispersion des rejets des installations nucléaires de la Manche et de la Mer d'Irlande (La Hague, Sellafield)

### ➤ Golfe de Gascogne

- Rejets des centrales nucléaires via la Loire et la Gironde

## Un défi : la simulation réaliste de l'environnement

- Application des équations de la dynamique des fluides
- Un forçage prévisible :  
La marée



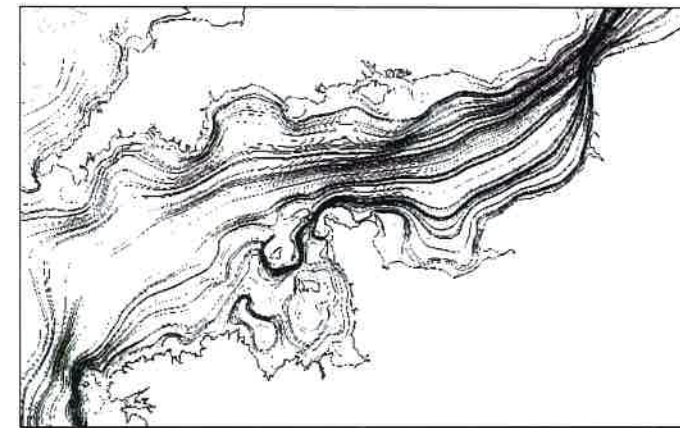
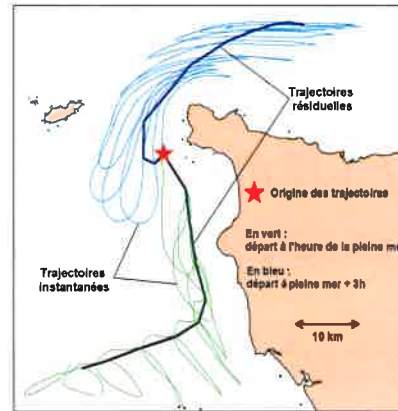
Propagation de la marée en Manche

- Des forçages aléatoires
  - Vent, pression atmosphérique, apports fluviatiles
- Des mécanismes mal connus
  - Interactions vent / courant / houle
  - Contrainte sur le fond

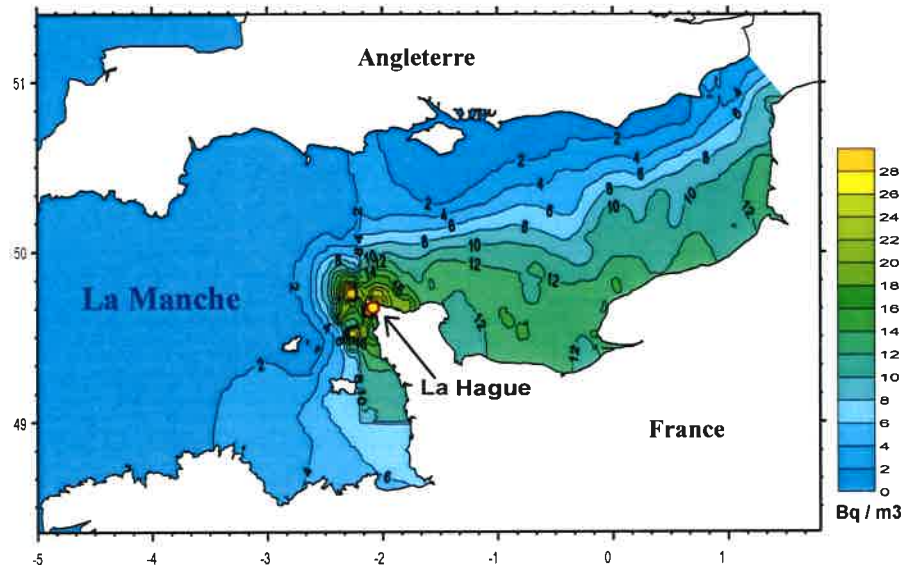
# Simulation avec les courants résiduels de marée

(courants résiduels lagrangiens en coordonnées barycentriques, Salomon *et al*, 1988)

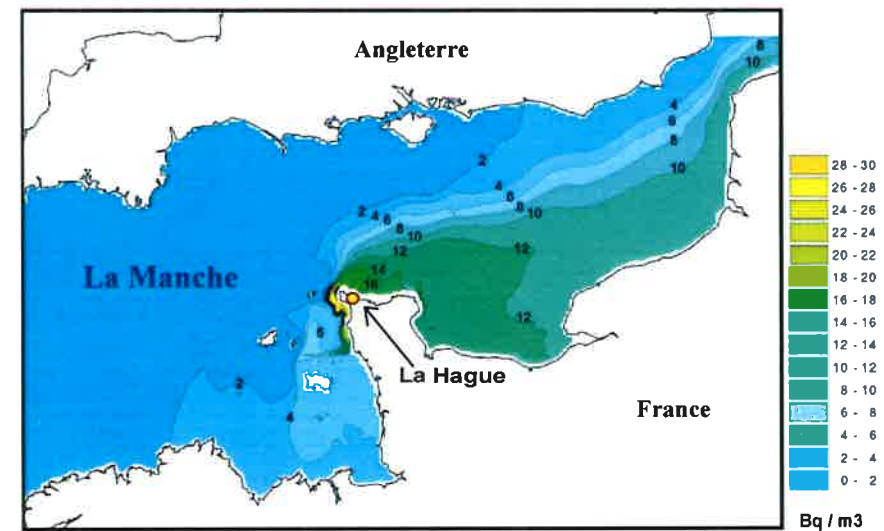
Trajectoires instantanées et résiduelles  
à proximité du cap de La Hague  
(heures de départ des trajectoires  
décalées de 3h)



Trajectoires lagrangiennes pour un vent de sud-ouest



Impact moyen de l'usine de retraitement de la Hague en  
Manche rapporté à un rejet continu d'antimoine 125 de 1 MBq/s  
(répartition déduite de campagnes de mesure)

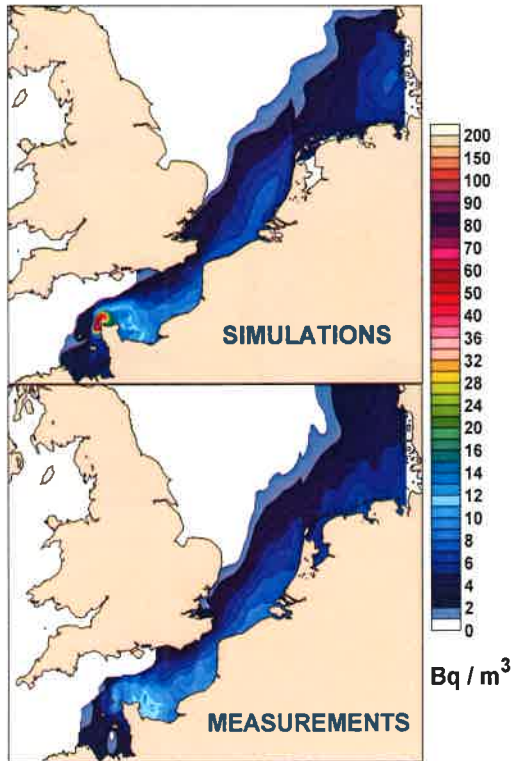


Simulation numérique d'un rejet constant d'antimoine  
125 de 1 MBq/s avec un vent de sud-ouest

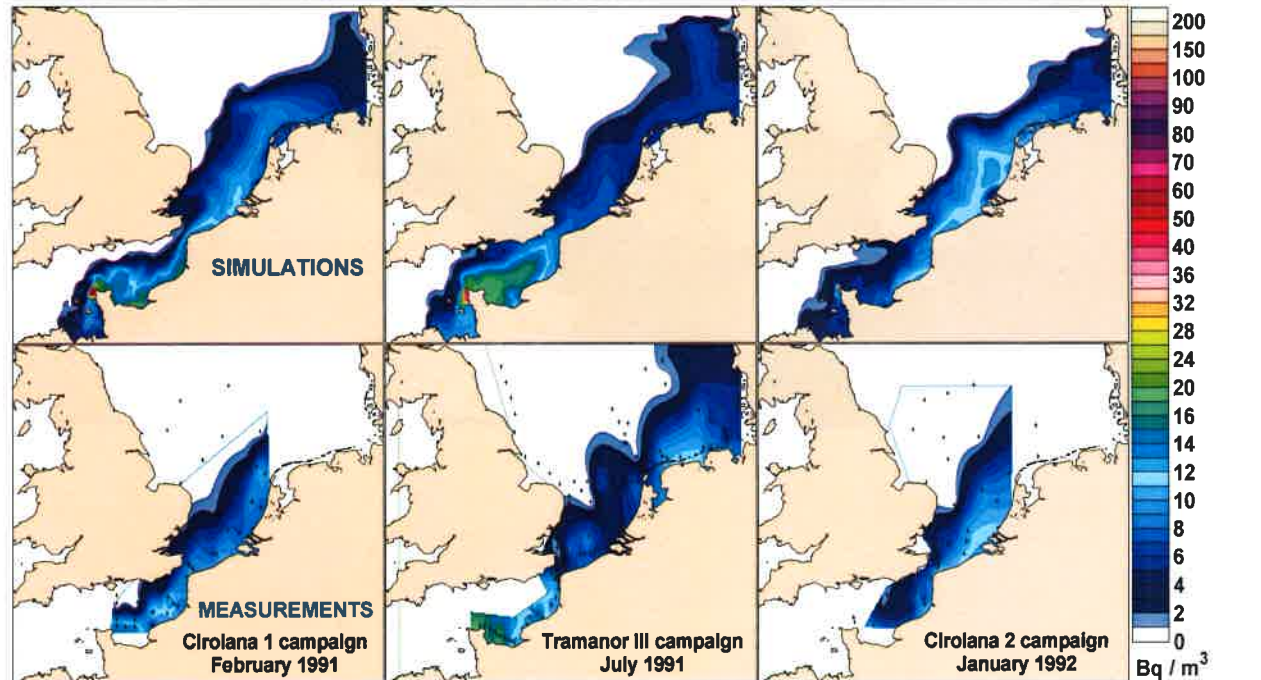
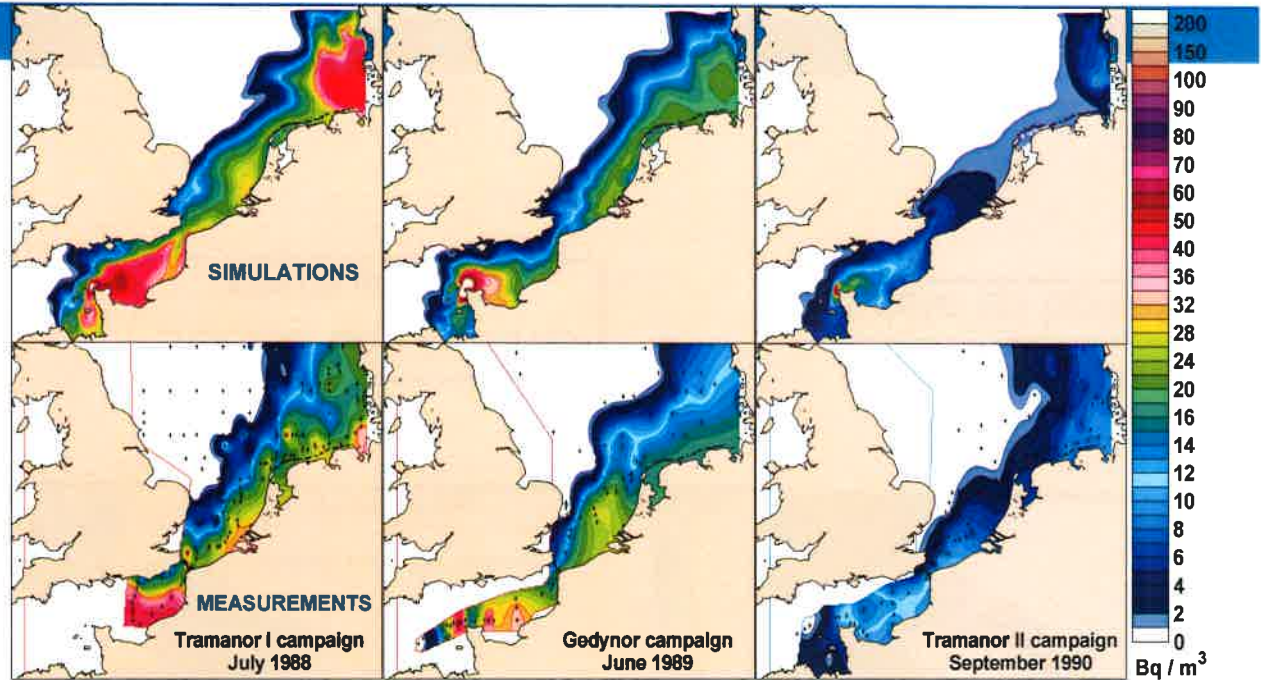
Dispersion moyenne

# Distribution simulée et calculée de l'antimoine 125 dans l'eau de mer

Comparaison 6 principales campagnes			Valeurs ponctuelles			
Ecart Quantités mesurées et calculées			Coeff. Corrél.	Moy. Val.	Perc. Rapp. Val.	0,95
Totalité	Mer du Nord	Manche				
-0%	-0%	-0%	0,798	0,879	54%	3,60

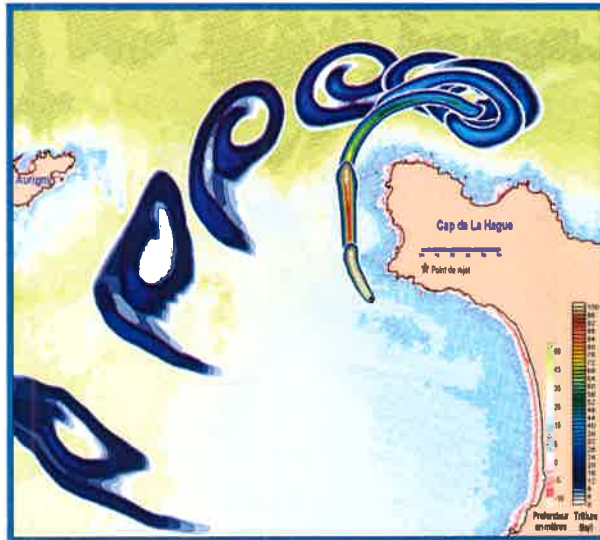


Mean concentrations normalized for a constant release of  $10^6$  Bq/s

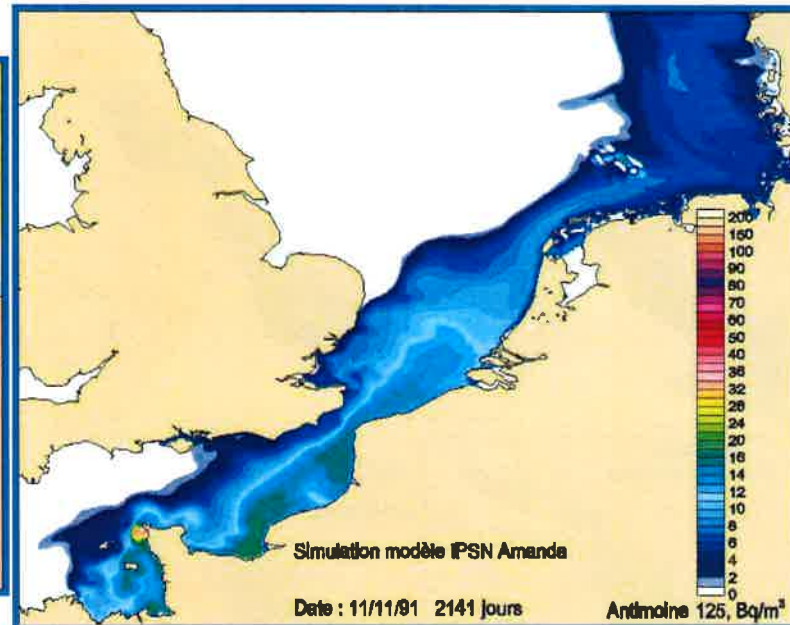


+ : Sampling location

# Types de modèles de simulation de la dispersion dans l'eau de mer



Modèle de courants instantanés : MARS 2D, 3D

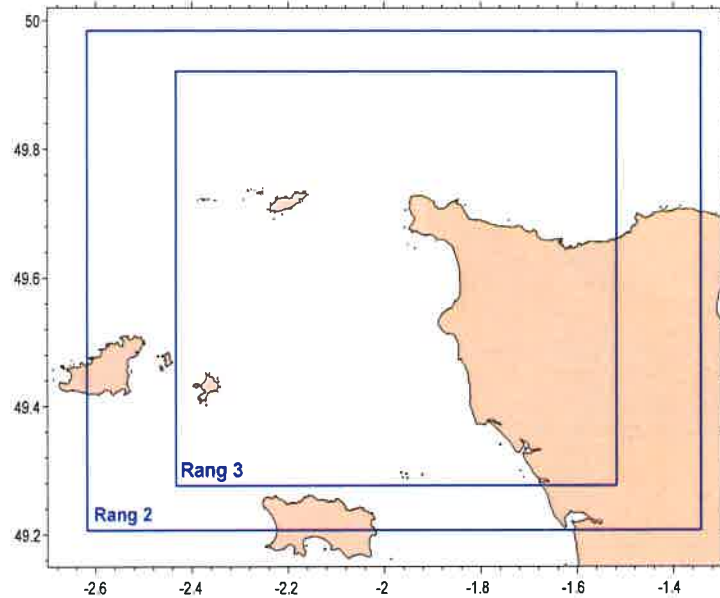
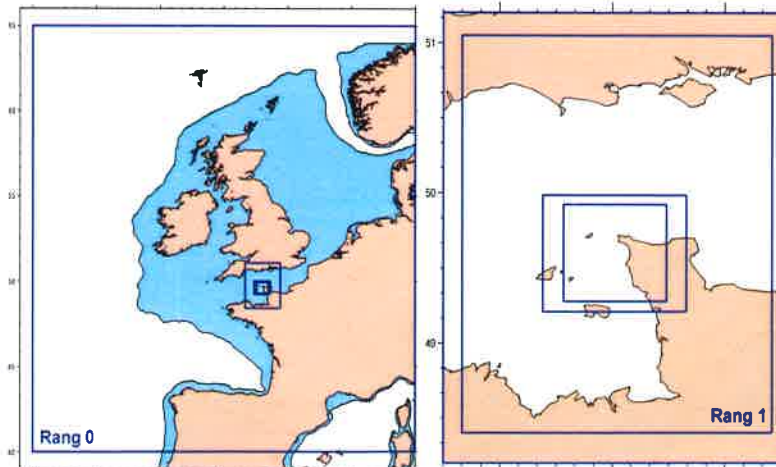


Modèle de courants résiduels, 2D



Modèle en boîtes

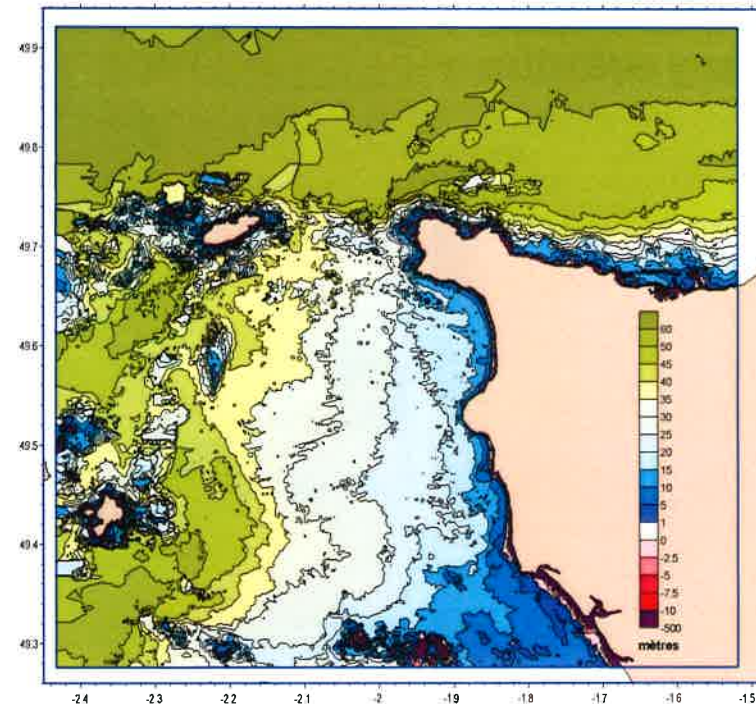
# Exemples d'emprises et résolutions de modèles



Emboîtement des modèles générant les conditions aux limites du DISPRO

Modèle	Résolution (mètres)	Nombre de colonnes	Nombre de lignes	Nombre de mailles	Rapport durée simulation / temps calcul (PC)
Rang 0	5637 m	421	501	210921	667
Rang 1	1606 m	124	185	22940	1746
Rang 2	350 m	263	248	65224	134
Rang 3	110 m	600	653	391800	7

Principales caractéristiques des modèles générant les conditions aux limites du modèle de La Hague en champ proche

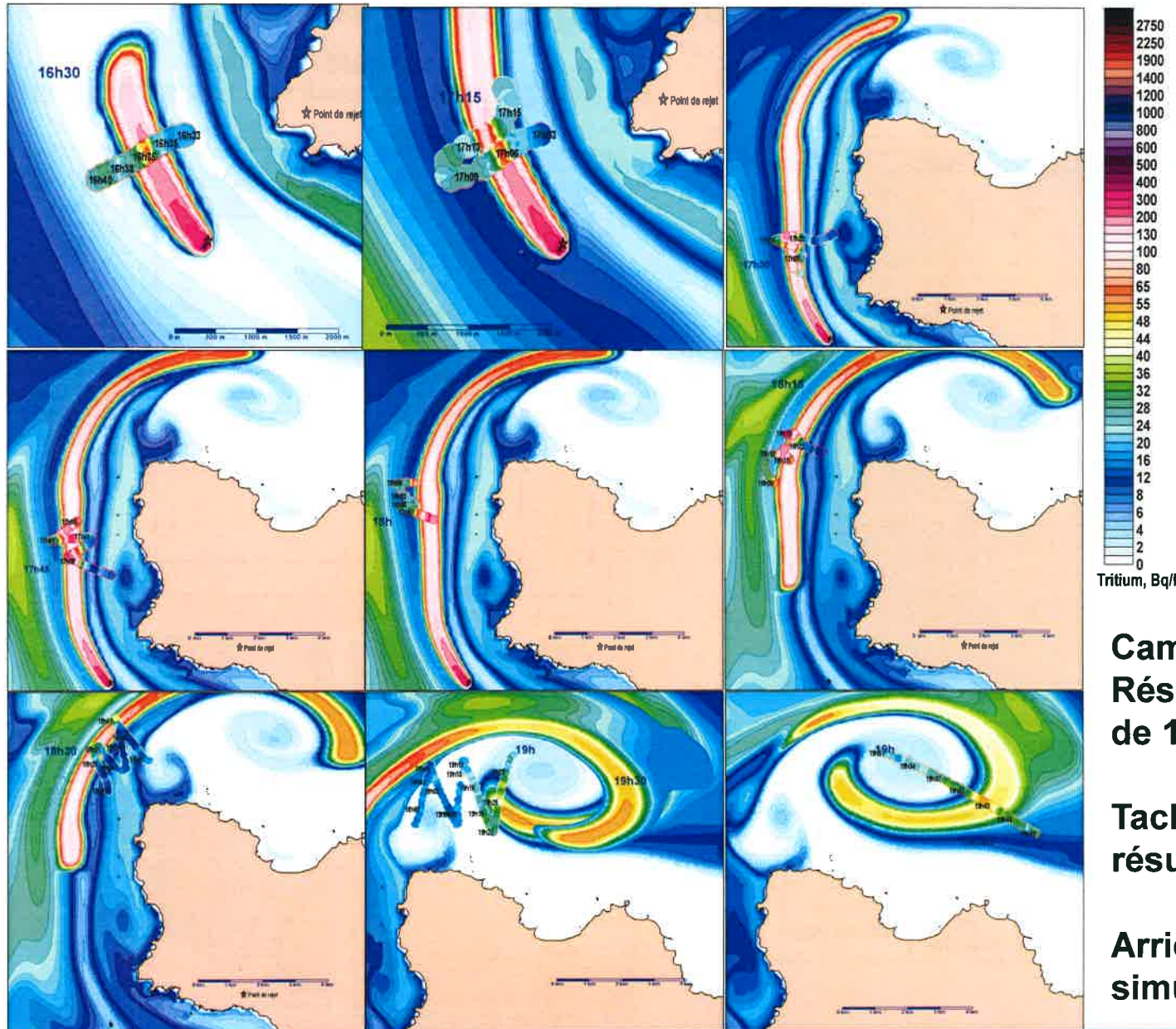


Bathymétrie du modèle de Rang 3 (maille de 110m)

**Un traceur de choix : le tritium rejeté sous la forme HTO dans les rejets liquides des usines de retraitement et des centrales**

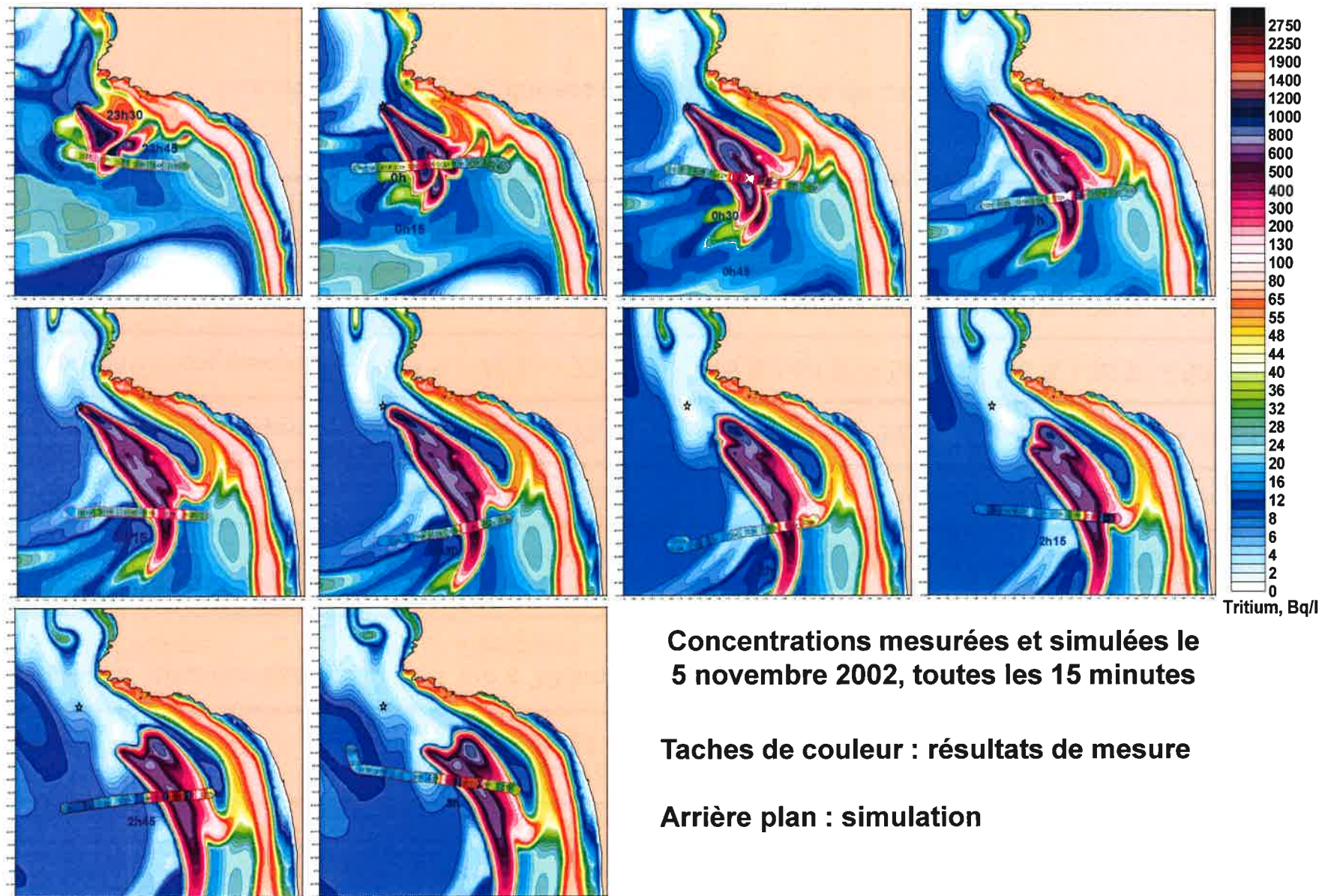
# Exemple de comparaison modèle / mesures en champ proche

## Rejet de l'usine de La Hague en tritium





## Exemple de comparaison modèle / mesures (marée descendante)

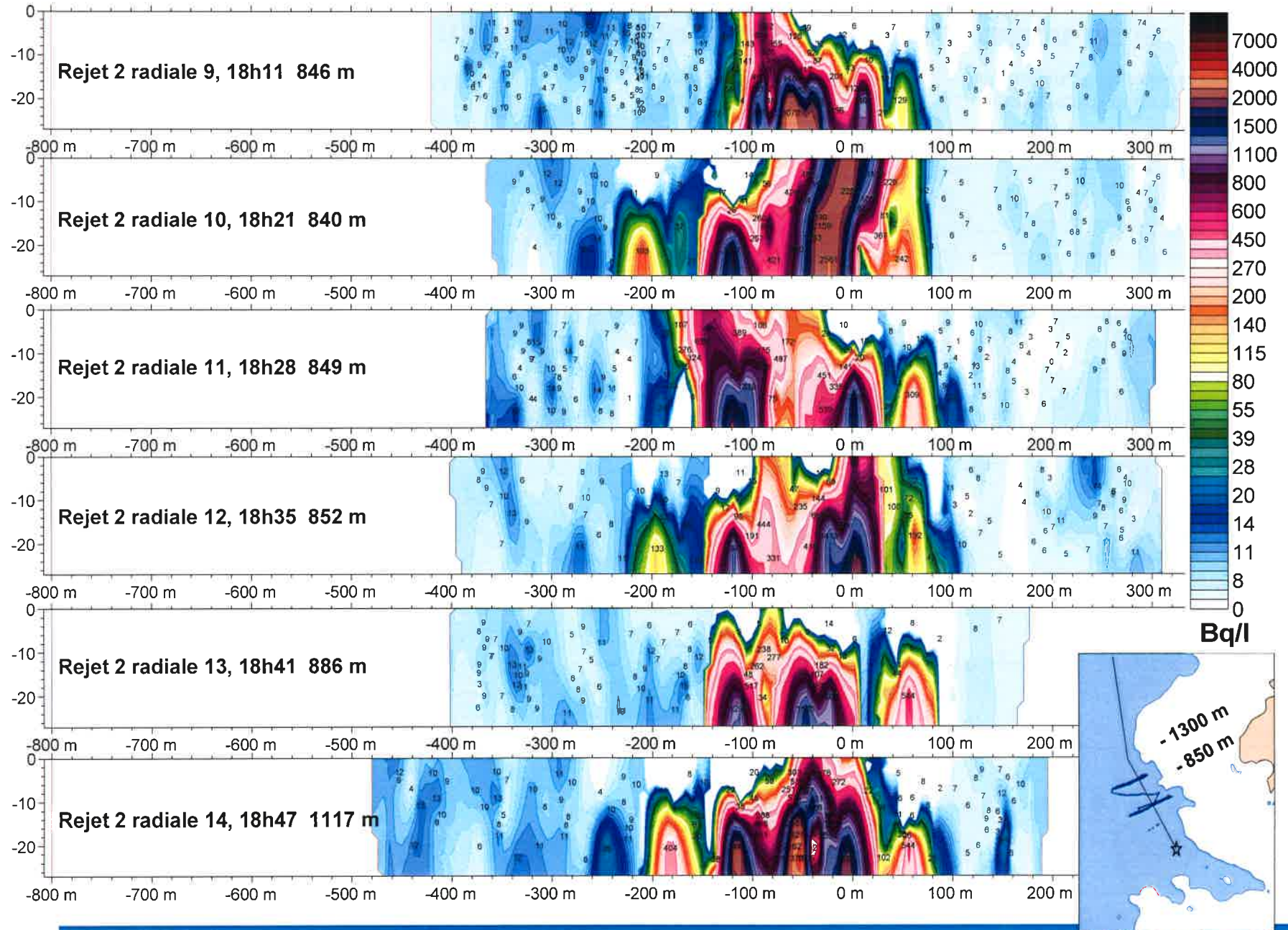


## Résultats de validation en champ proche

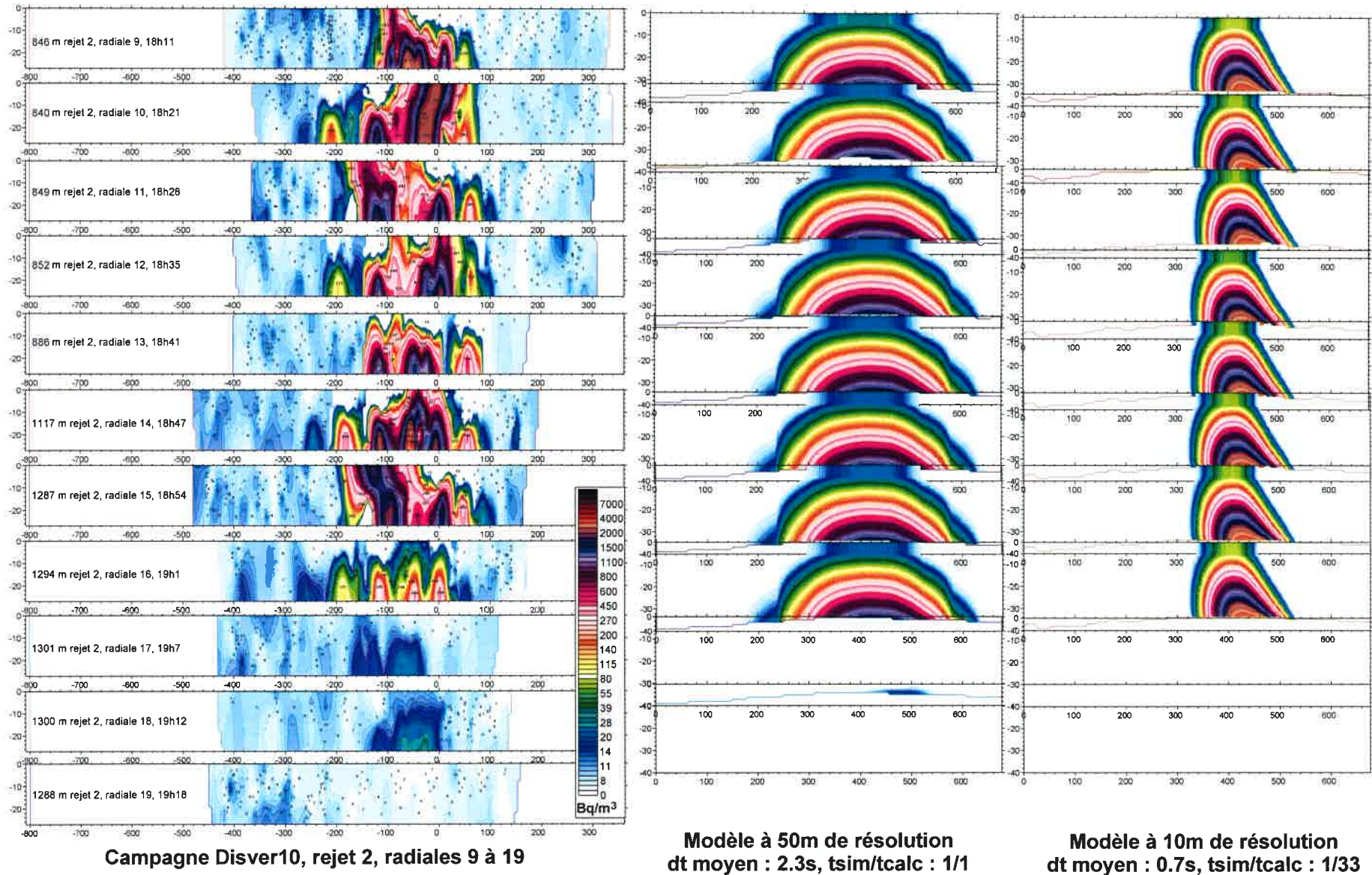
	Modèle Cap de La Hague, rang3	Modèle Golfe Normand Breton, rang2	Modèle Manche, rang1
Domaine d'utilisation dans l'espace	De 1 km à 20 km de l'émissaire	De 20 km à 100 km de l'émissaire	De 20 km à 200 km de l'émissaire
Domaine d'utilisation dans le temps	Entre 1 h et 48 h après le début d'un rejet	Entre 12 h et 1 mois après le début d'un rejet	Entre 48 h et 1 an après le début d'un rejet
Précision spatiale, temporelle	110 mètres, 15 secondes	400 mètres, 1 minute	1666 mètres, 4 minutes
Ecart concentrations moyennes	9 % (-66 % -> 70 %)	-1 % (-44 % -> 52 %)	-13 % (-47 % -> 41 %)
Ecart concentrations maximales	3 % (-72 % -> 73 %)	-16 % (-64 % -> 56 %)	6 % (-38 % -> 50 %)
Ecart largeur du panache	-6 % (-73 % -> 65 %)	-2 % (-80 % -> 73 %)	9 % (-70 % -> 36 %)
Ecart position du panache / distance du point de rejet	-1 % (-22 % -> 22 %)	5 % (-61 % -> 96 %)	3 % (-54 % -> 83 %)

Les chiffres entre parenthèses donnent l'intervalle de confiance à 95%

# Mesure de la dispersion verticale du tritium

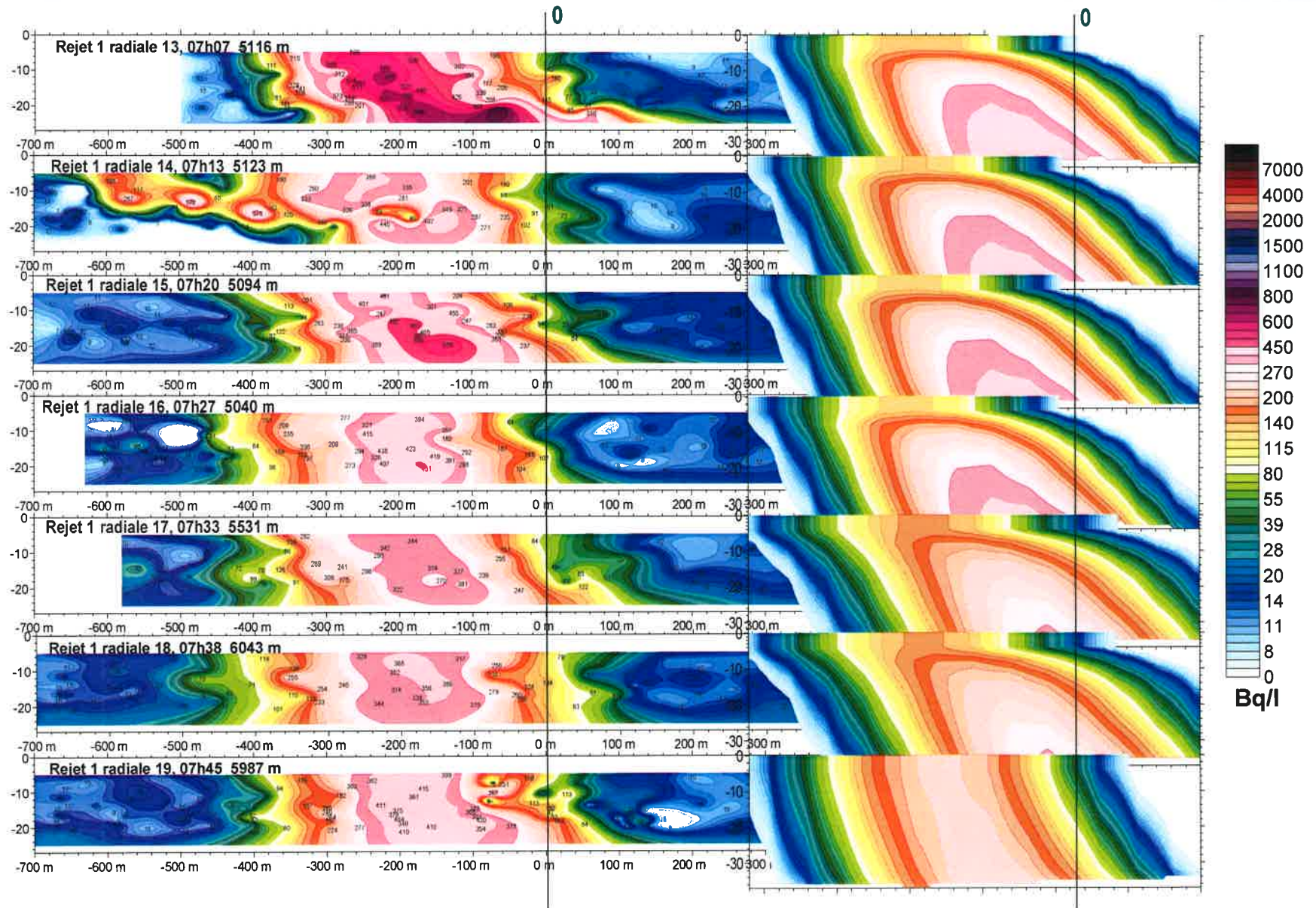


# Comparaisons modèle/mesures en 3D à 1 km d'un émissaire



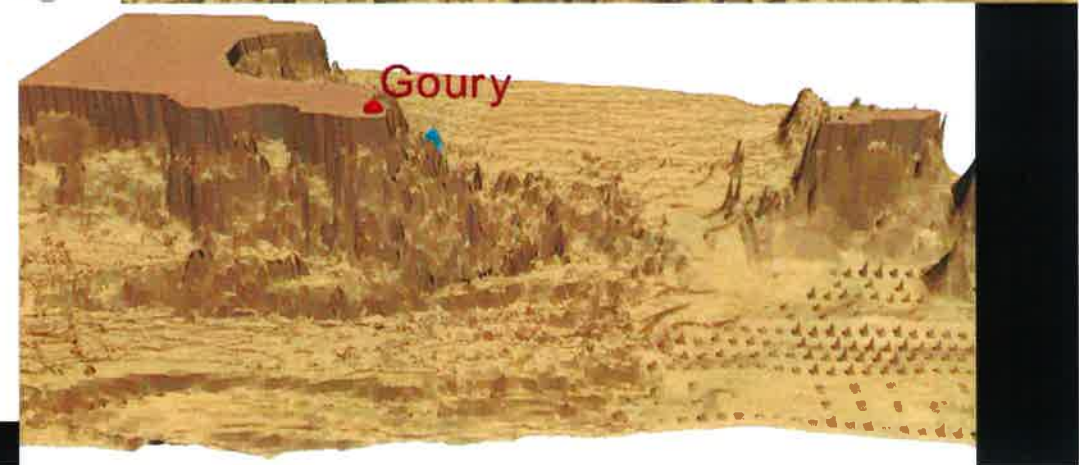
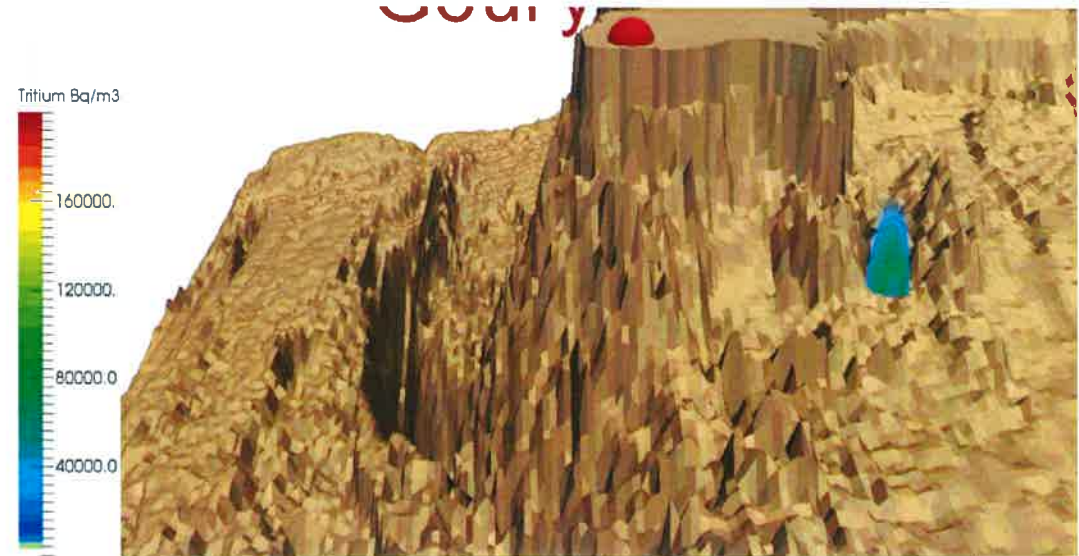
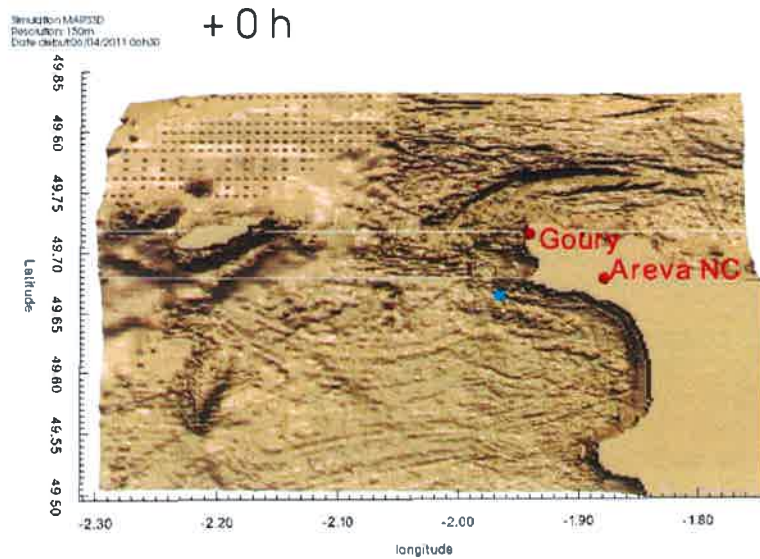
Le modèle appliqué n'est pas adapté pour la représentation de la turbulence à petite échelle

# Comparaisons modèle/mesures en 3D a 5000 m de l'émissaire



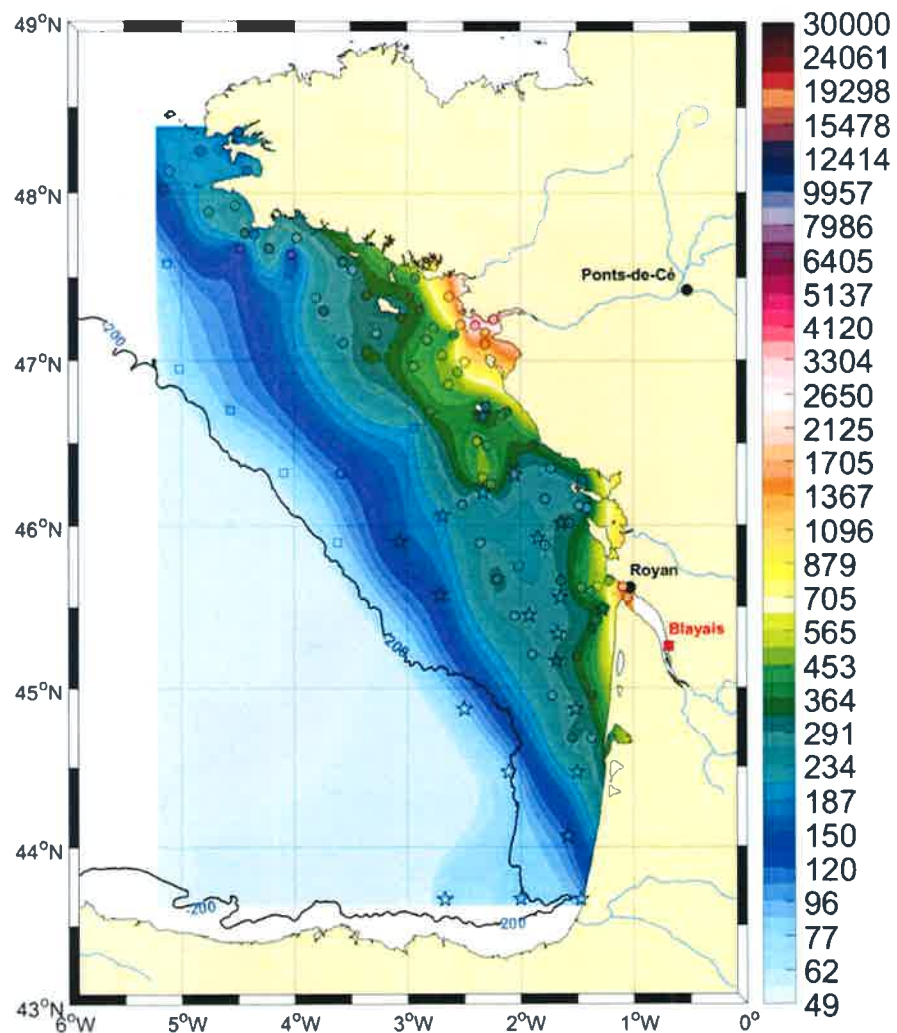
A 5km de l'émissaire, la dispersion des panaches mesurés et simulés devient comparable

# Simulation de la dispersion en 3 dimensions

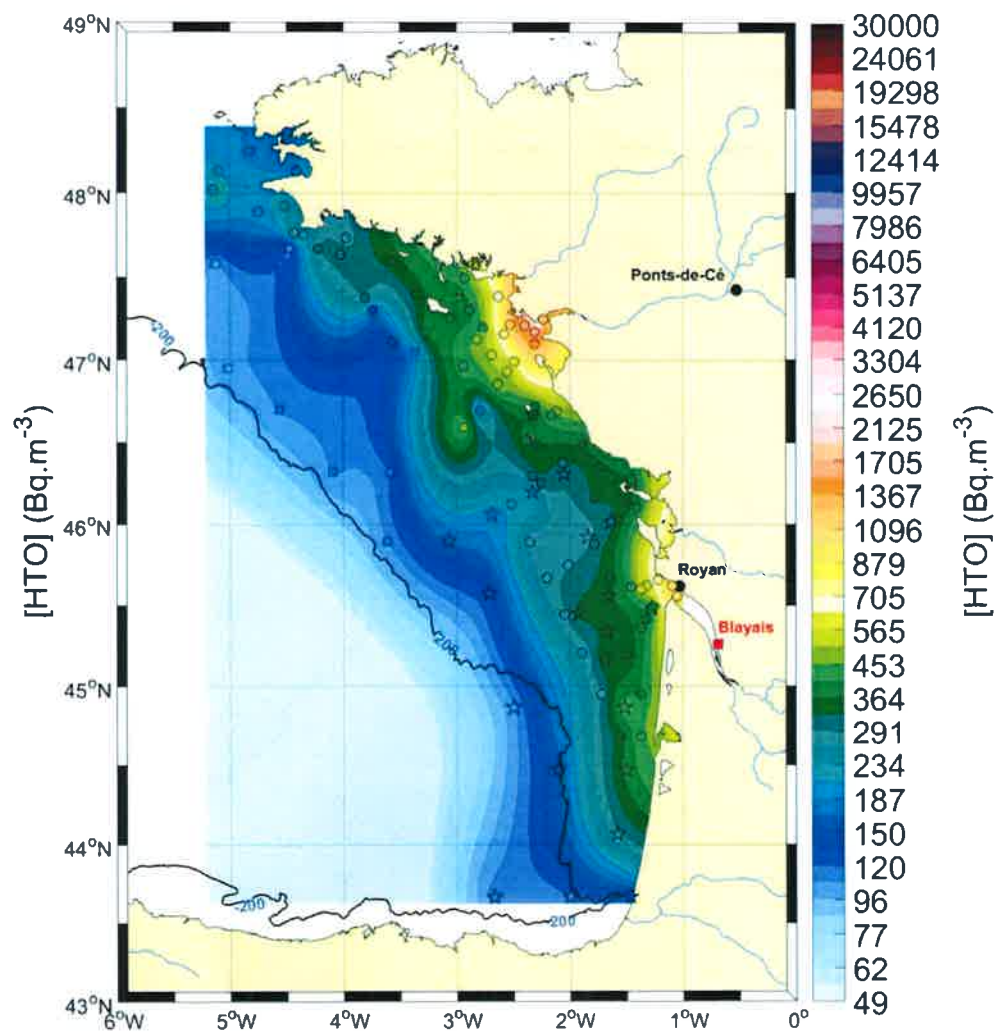


# Golfe de Gascogne, rejets issus de la Loire et de la Gironde

Comparaisons mesures / modèle en surface (0 - 10 m)

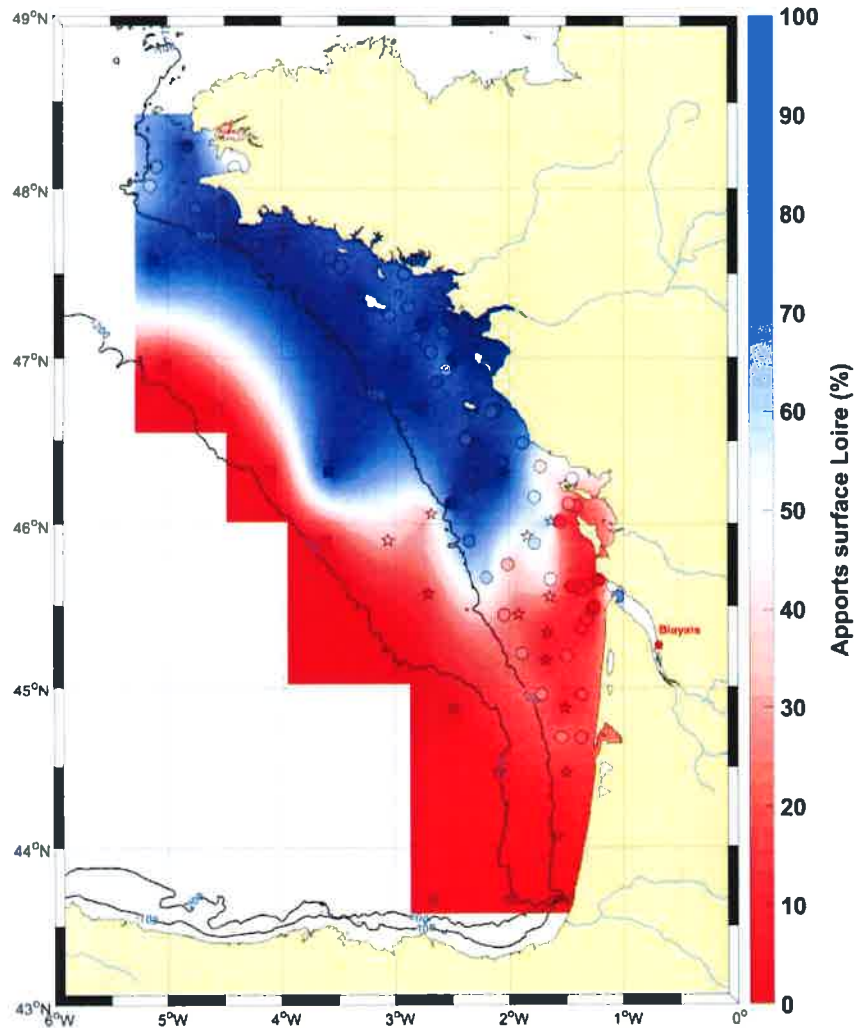


Mesures

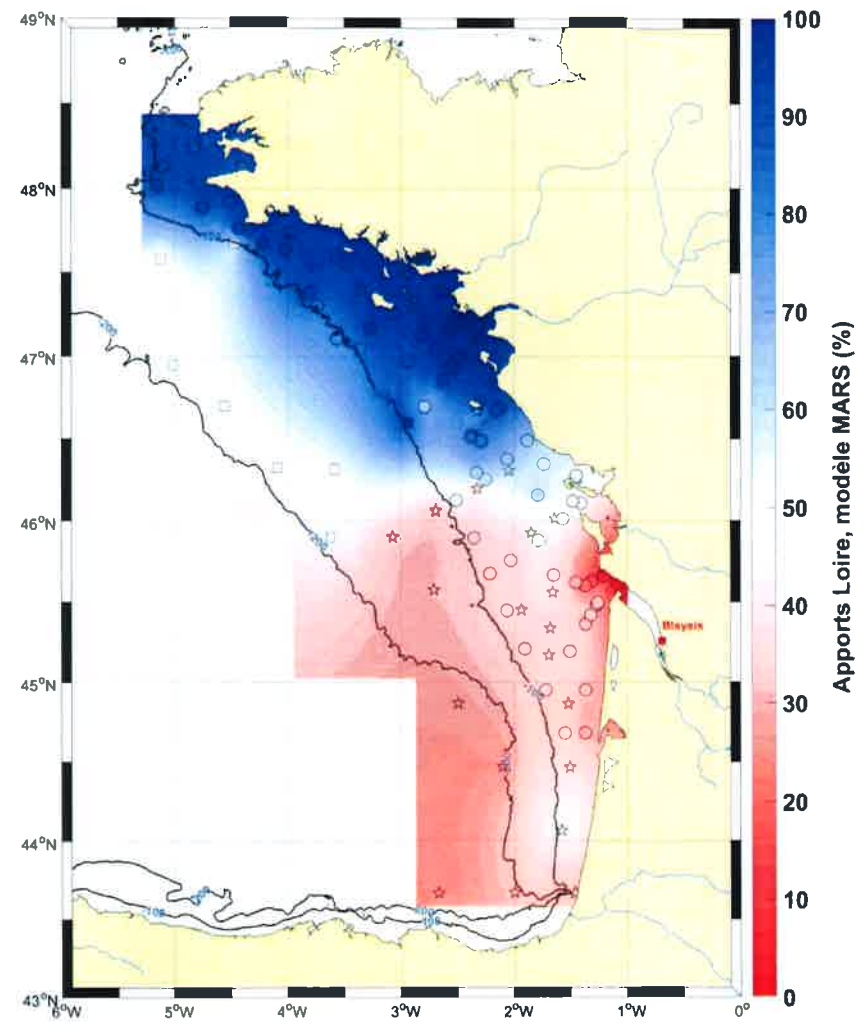


Modèle

# Comparaison des contributions relatives (%) Loire, Surface



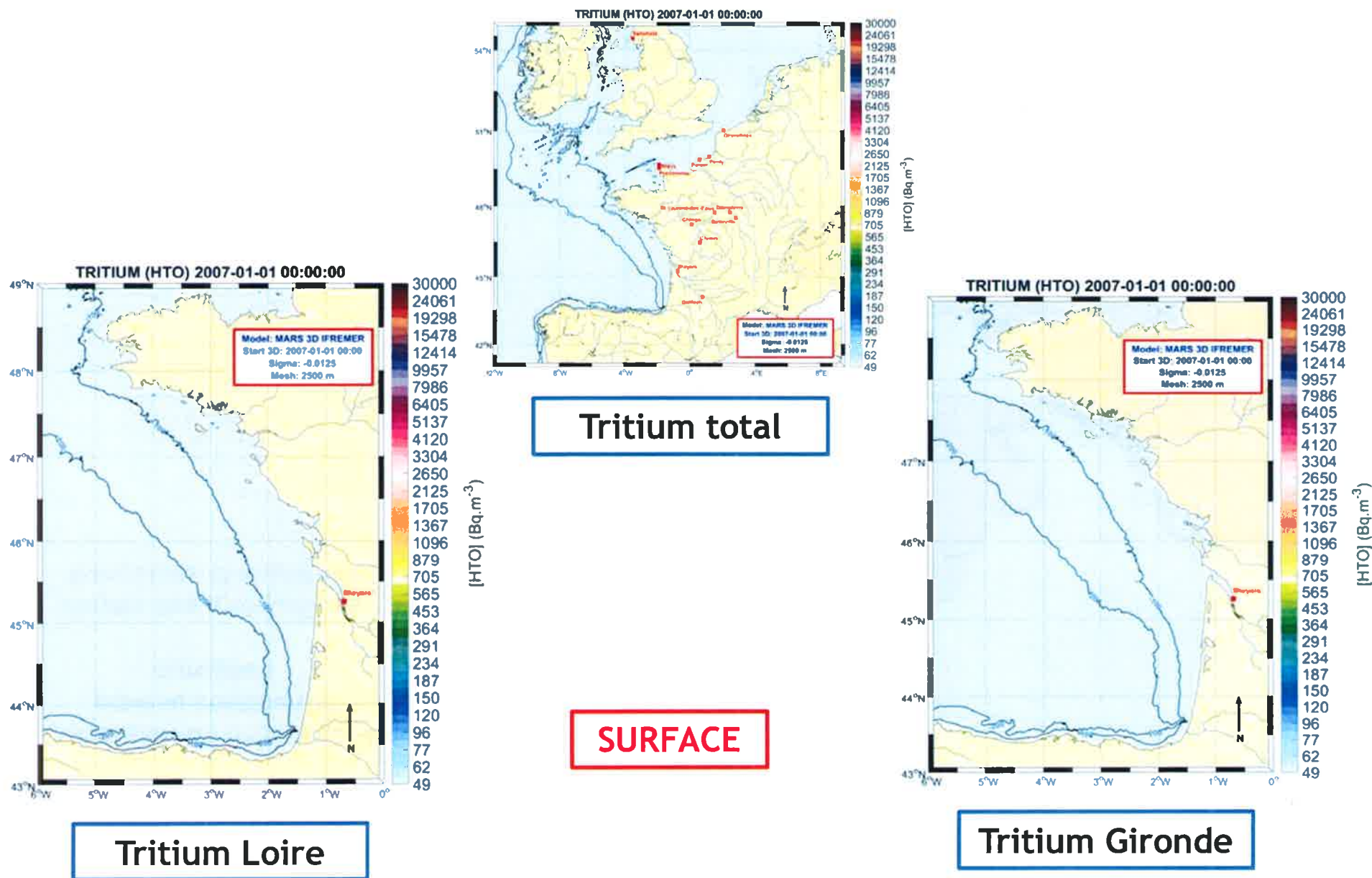
MESURES



MODELE

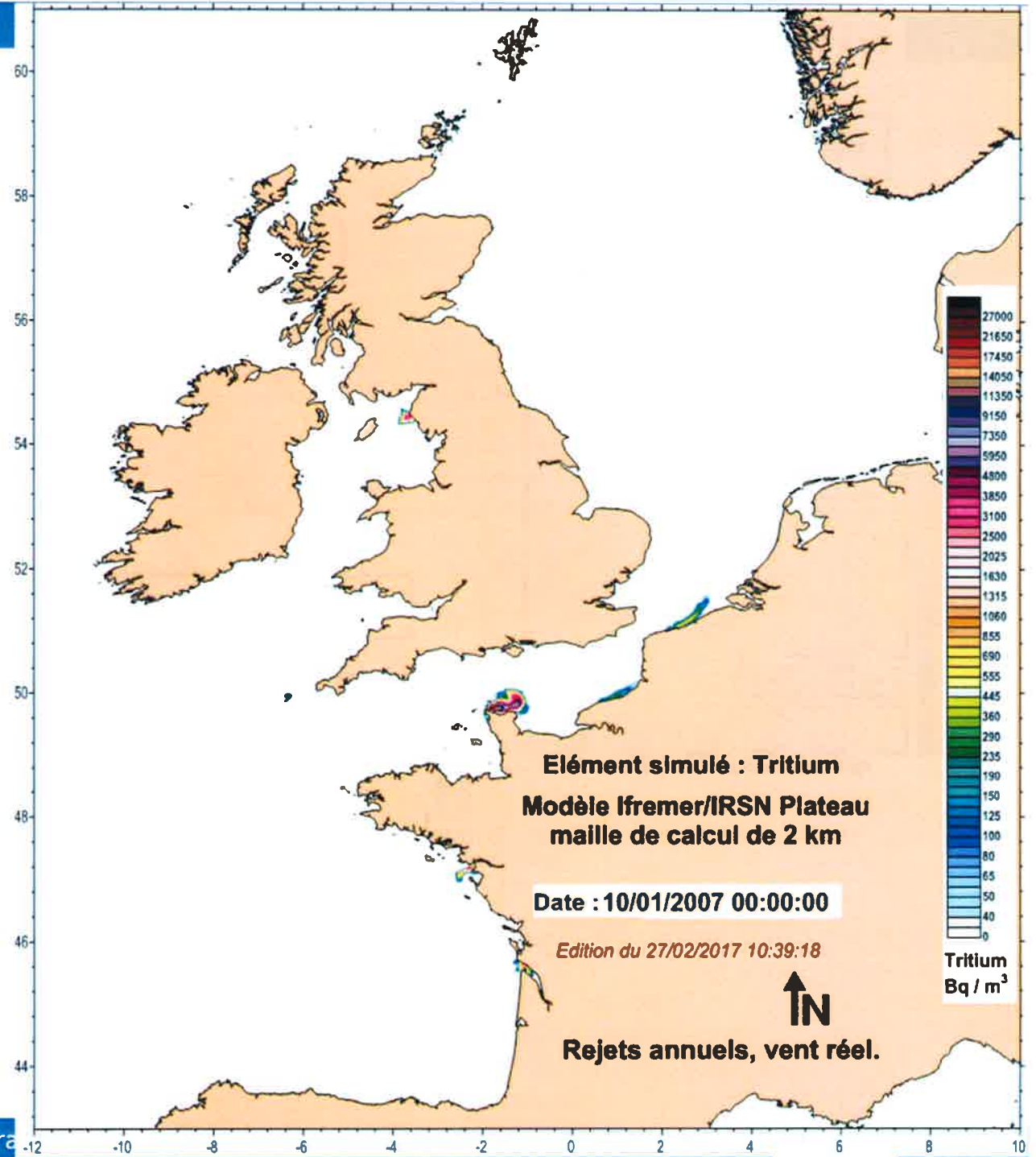


# Simulations 3D golfe de Gascogne



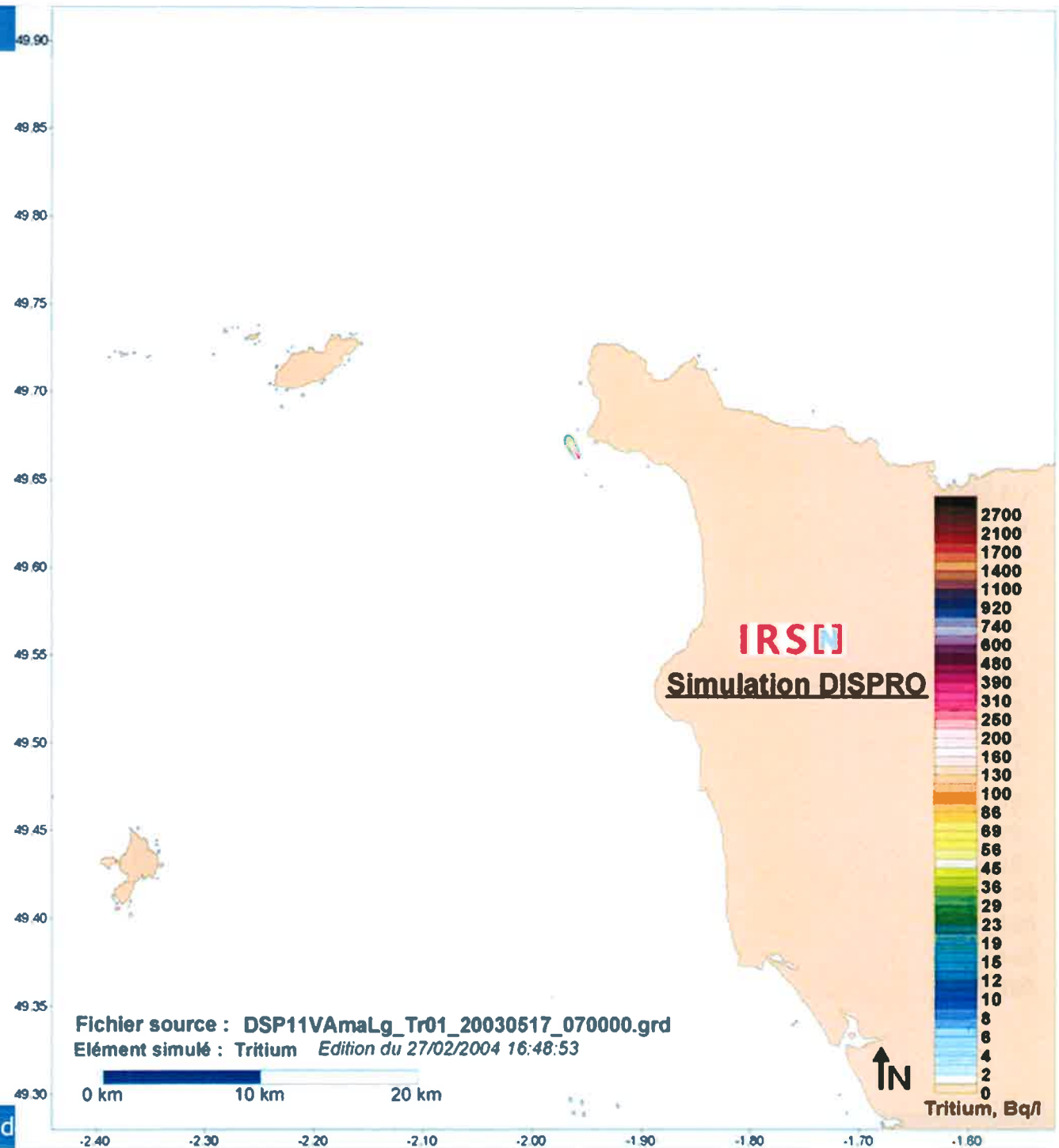
**Dispersion du tritium sur le plateau continental européen**

**Rejets des installations françaises et anglaises**



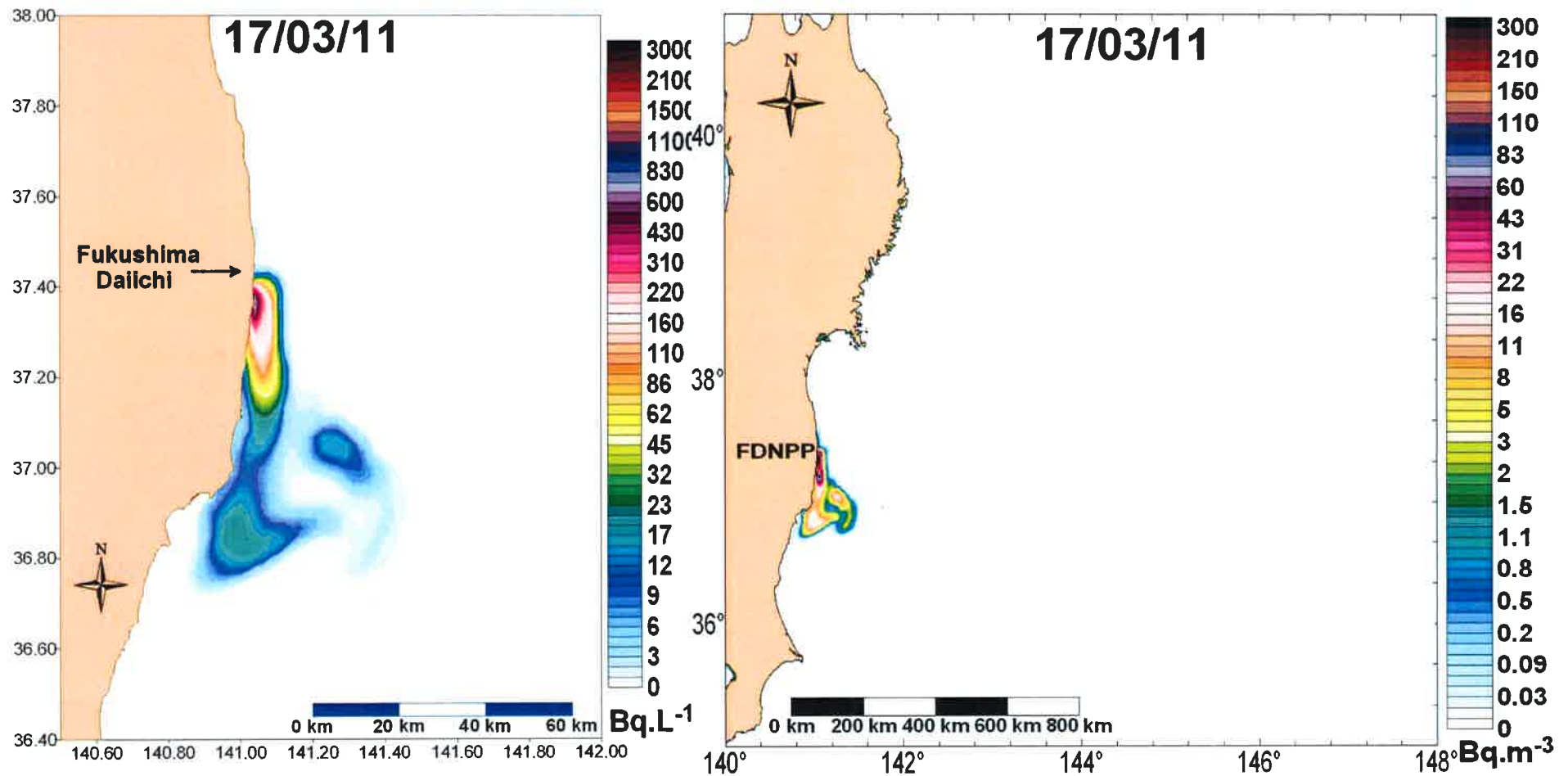
# Dispersion du tritium près du cap de La Hague

Une image toutes les 15 minutes



Simulation de la dispersion d

# Accident de Fukushima



**Simulation (arrière plan) et mesures (carrés colorés) de la dispersion dans l'eau de mer des rejets de césium 137 suite à l'accident de Fukushima**

**La dispersion des substances solubles est bien reproduite**

- Depuis le champ proche d'une installation (500 mètres, 5 minutes)
- Jusqu'à l'échelle du plateau continental du nord-ouest de l'Europe (1000 Km, années)

**L'erreur moyenne entre des concentrations simulées et mesurées est d'environ 50%, quelle que soit l'échelle.**

**Les modèles reproduisent bien la position des panaches horizontaux et les gradients verticaux de concentration.**

**La force de frottement du vent sur la mer est le principal paramètre de calage**

**Les travaux en cours sur le golfe de Gascogne sont prometteurs**

**Les données collectées ont été publiées sous la forme de boîtes à outils pour la validation de modèles de dispersion marine utilisables par toute la communauté scientifique.**

Bailly du Bois P., Dumas F., Solier L., Voiseux C., 2012. In-situ database toolbox for short-term dispersion model validation in macro-tidal seas, application for 2D-model. Continental Shelf Research 26 63-82. 10.1016/j.csr.2012.01.011

# Un travail d'équipe



Simulation de la dispersion des radionucléides dissous en mer

P. Bailly du Bois *et al*

IRSN

22

