

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Faire avancer la sûreté nucléaire

Intérêt de la modélisation de la dispersion des rejets pour la surveillance en milieu marin

**Institut de Radioprotection et de Sûreté
Nucléaire**

Pôle RadioProtection - ENVironnement

**Service de recherche et d'Expertise sur les
RISques environnementaux**

**Laboratoire de Radioécologie de Cherbourg-
Octeville**

IRSN/PRP-ENV/SERIS/LRC

**Pascal Bailly du Bois,
Bruno Fiévet,
Claire Godinot**

**Journées SFRP - Eau
4 décembre 2014**

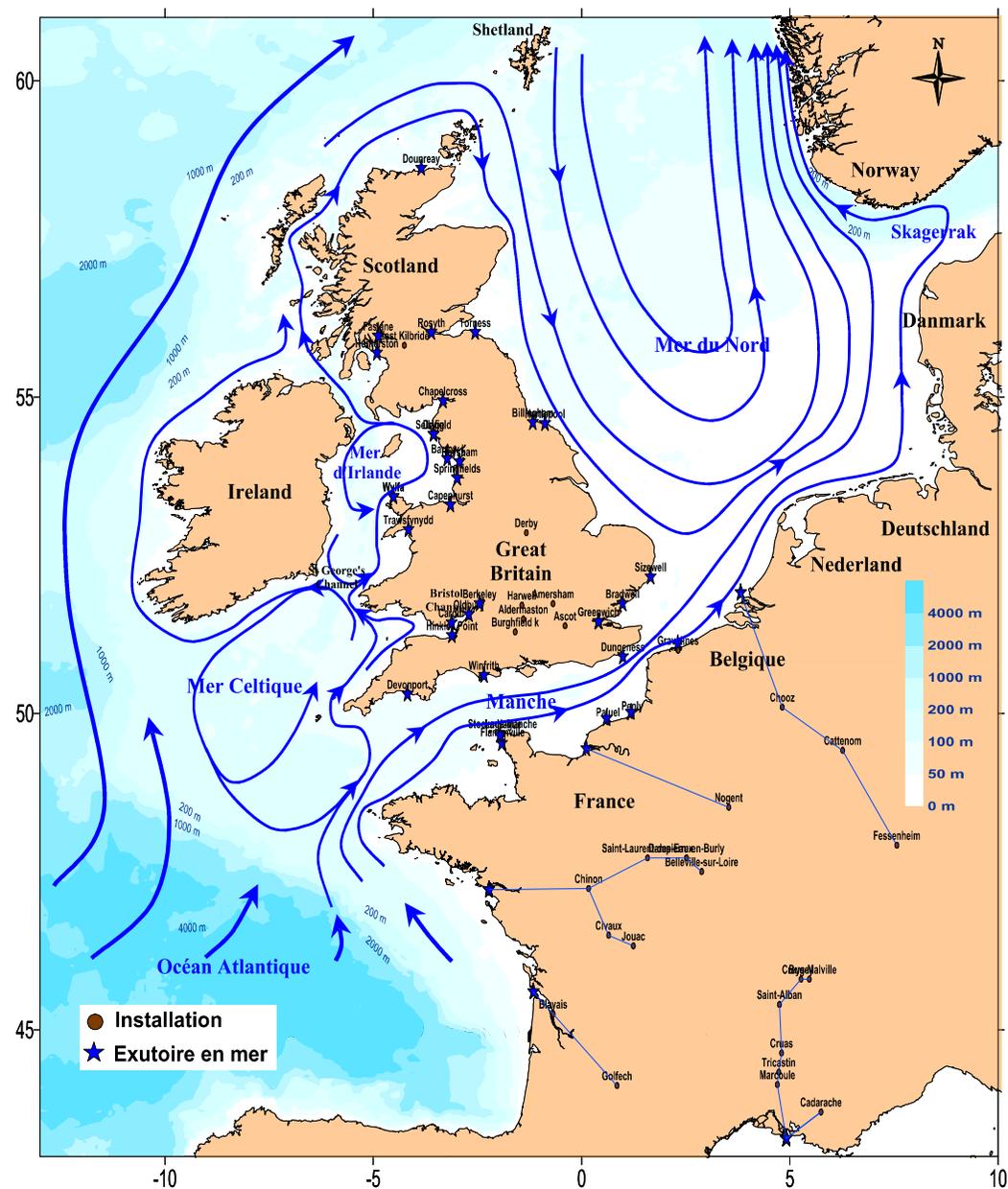


Installations

Installations nucléaires
françaises et anglaises

Exutoires des rejets
liquides en mer

Circulation générale
des masses d'eaux



■ Que représente la mesure d'un radionucléide en mer ?

- L'influence des contributions naturelles et de tous les rejets de ce radionucléide aboutissant en milieu marin en "amont" du point de mesure
- Les conséquences des processus d'advection et de dispersion qui transportent et mélangent les différentes contributions entre elles.

⇒ Il est rarement possible de déconvoluer l'influence de chaque contribution à partir des mesures ponctuelles.

L'interprétation des mesures du point de vue de la surveillance est délicate :

- Quel terme source est détecté ?
- Au bout de combien de temps il est détecté ?
- Quel est sa dilution ?

- On ne peut pas mesurer partout et tout le temps
- Est-il possible d'interpoler entre des points de mesure ou entre des dates ?
 - Une campagne en mer permet de dresser des cartes synoptiques qui représentent des "photographies" à un moment donné.
On ne sait pas ce qui se passe avant et après.
 - Surveillance ponctuelle :
 - La fréquence d'échantillonnage ne permet pas d'identifier toutes les fluctuations entre deux dates
 - On ne sait pas comment varient les concentrations autour du lieu de prélèvement.
 - Plus on est près d'un émissaire, plus les panaches marqués varient rapidement dans le temps et dans l'espace.

Exemple : cap de La Hague

Émissaires

- Rejets liquides de l'usine AREVA-NC
- Rejets liquides de la centrale EDF - Flamanville

Flux rejetés

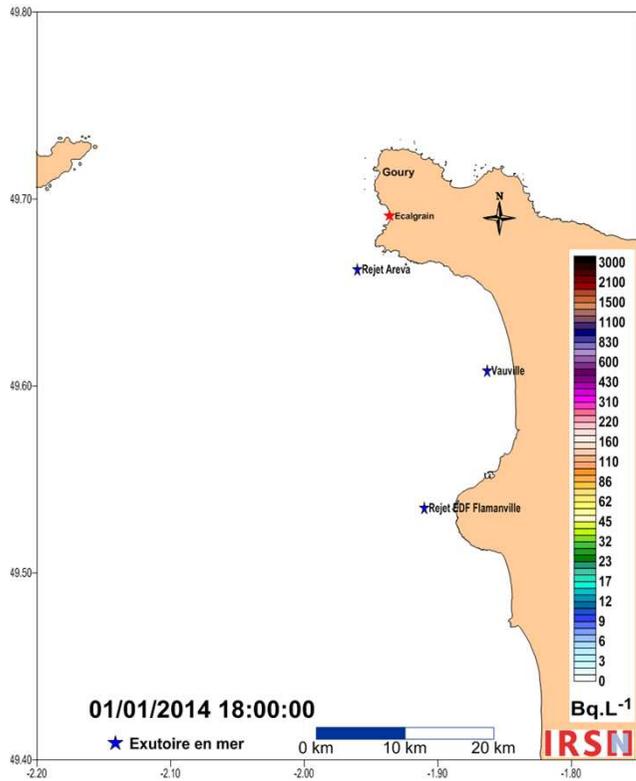
- Rejets identiques pour les deux émissaires :
 - Les flux réels en tritium de l'usine AREVA-NC de janvier à avril 2014 sont appliqués aux deux émissaires
 - Le flux issu d'EDF n'est pas réaliste (environ 100 fois trop élevé)

Points de suivi

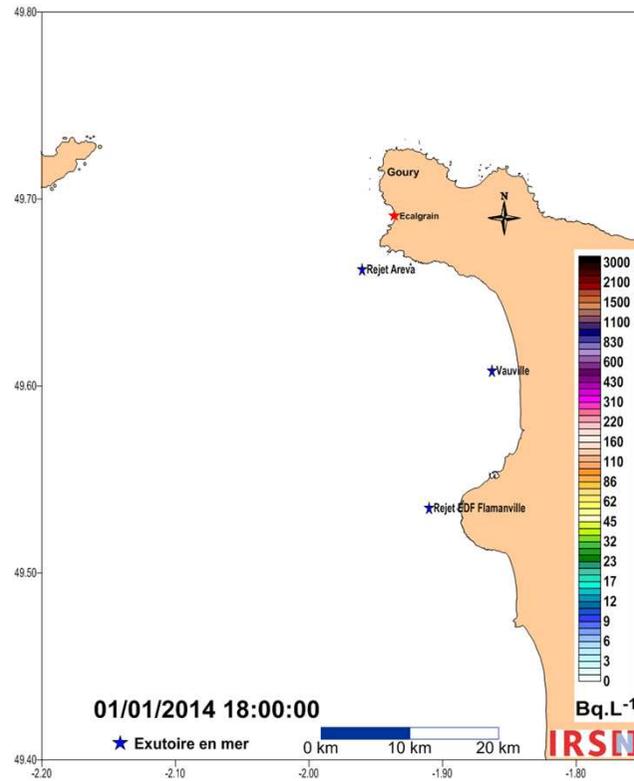
- Baie de Vauville
- Goury

Dispersion des panaches

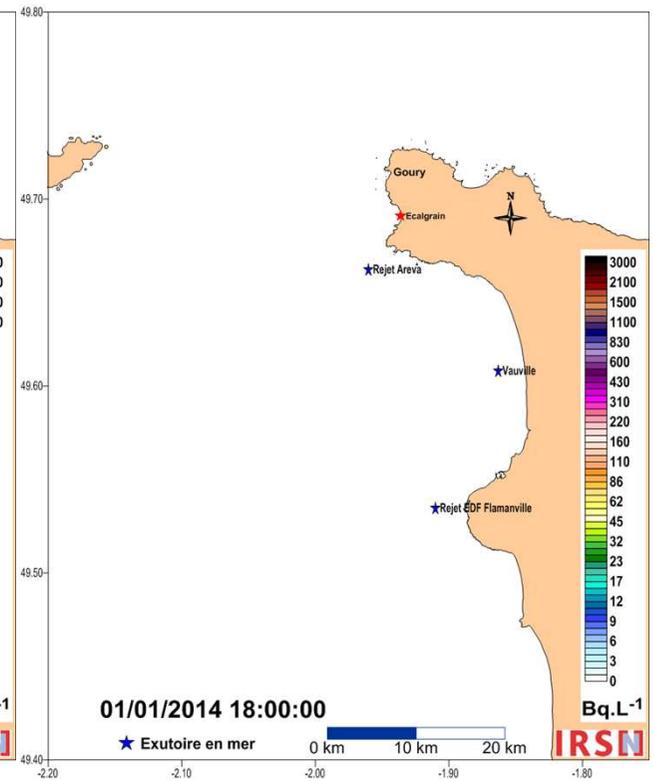
AREVA-NC



EDF

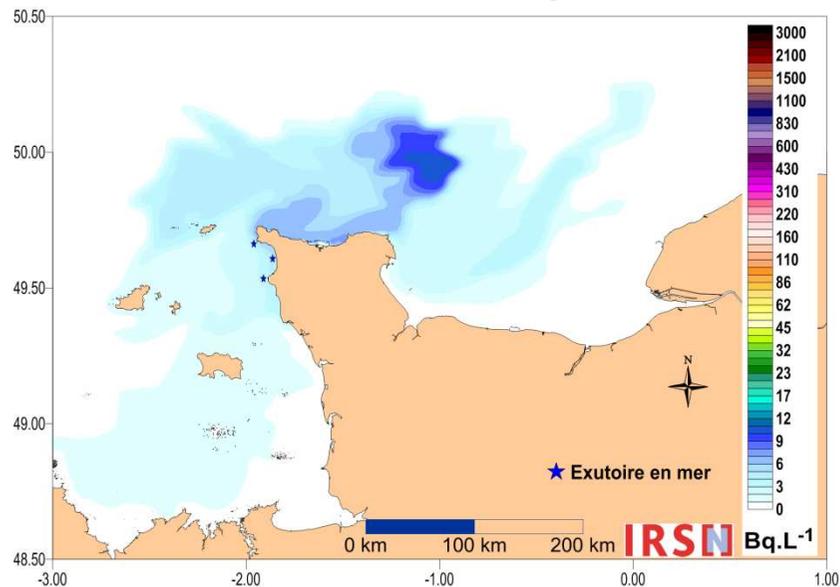


Somme

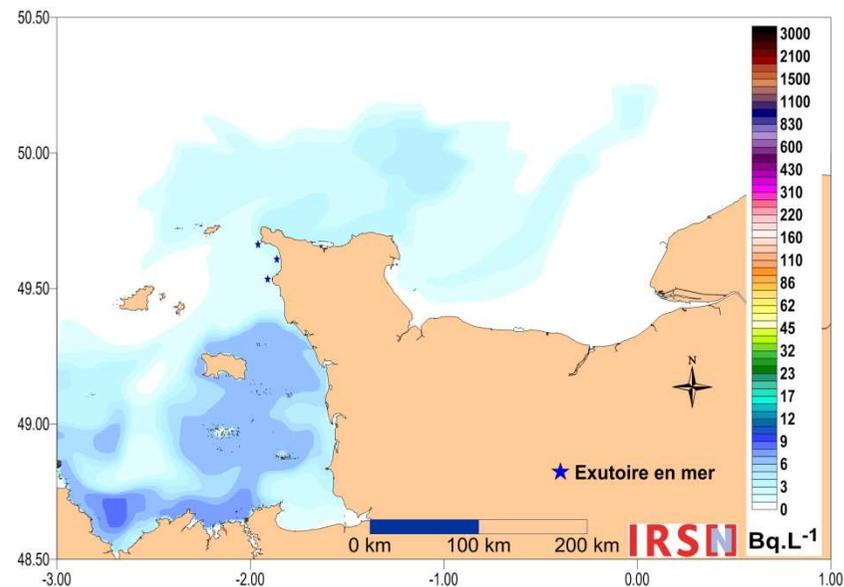


Dispersion après quatre mois

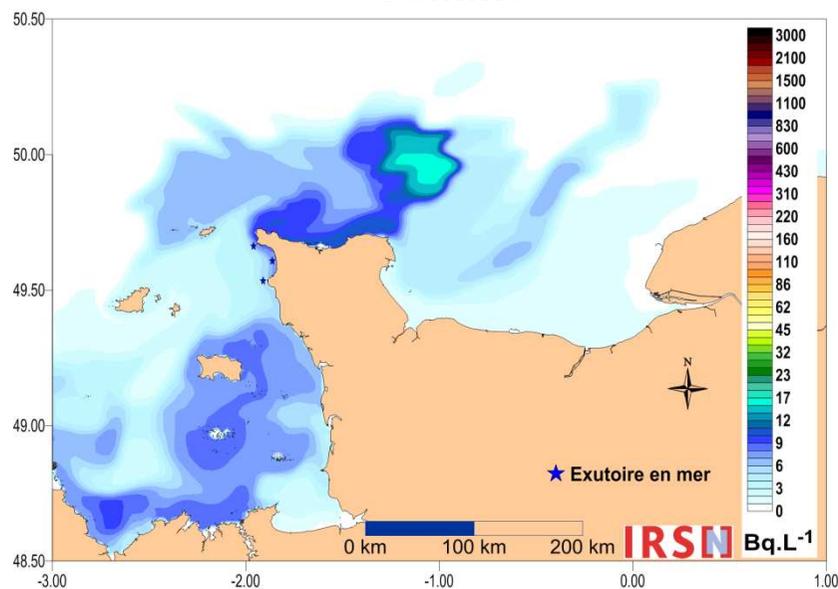
AREVA-NC



EDF



Somme



Suivis de concentrations en point fixe

Flux rejetés

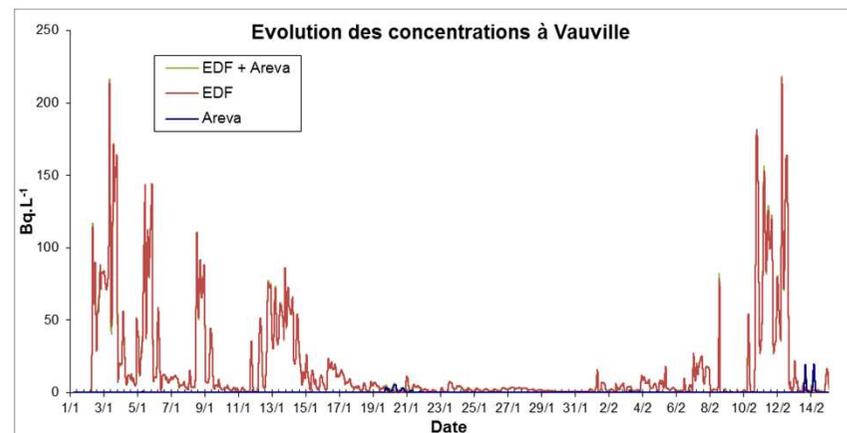
- Rejets identiques pour les émissaires AREVA et EDF (flux réels de l'usine AREVA-NC en 2014)

Points de suivi

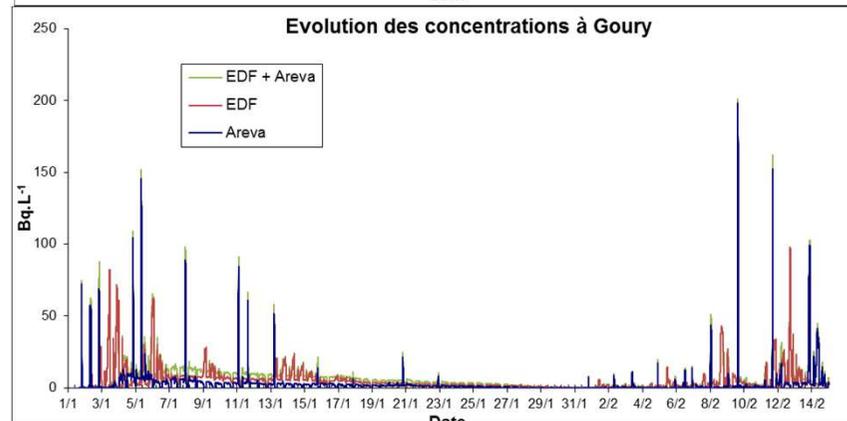
- Baie de Vauville
- Goury

Lieux de suivi

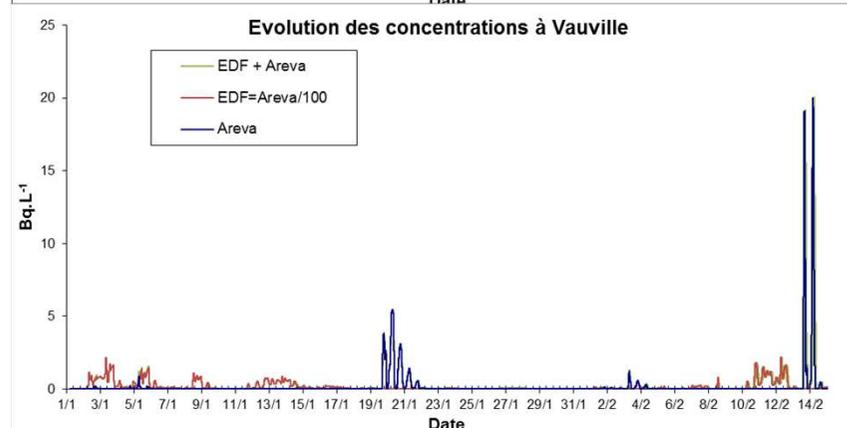
Vauville



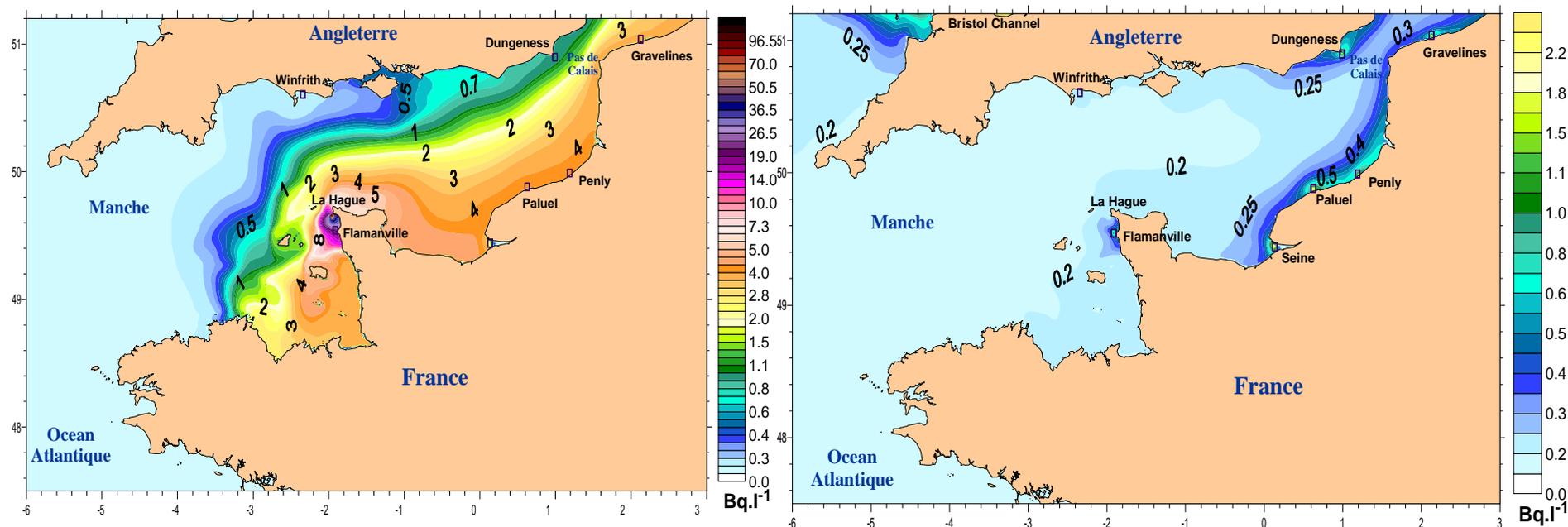
Goury



**Vauville
avec
Rejet EDF =
rejet Areva / 100**



Un marquage peut en cacher un autre



Rejets de l'usine de retraitement des combustibles nucléaires d'AREVA-NC à La Hague

Rejets des centrales nucléaires

- Une simulation permet de prendre en compte tous les termes-sources et de mettre en évidence les principaux contributeurs aux concentrations mesurées

Echelles caractéristiques de la dispersion

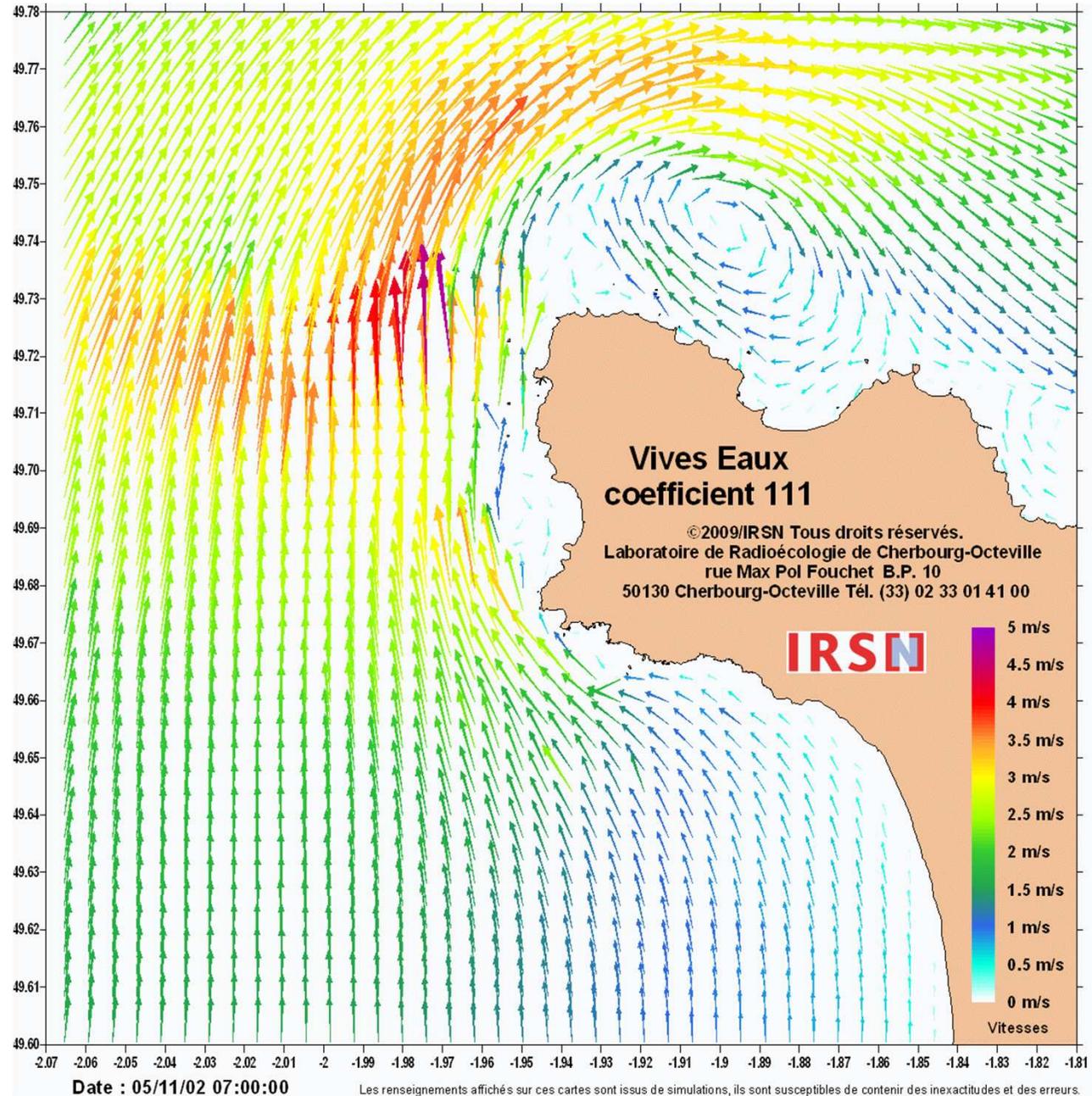
Echelles et principaux mécanismes de la dispersion sur le plateau continental

Dimensions spatiales caractéristiques

- Mètre : environnement de l'émissaire, courants locaux, turbulence **3D**
- 100 mètres - kilomètre : marée instantanée, turbulence **3D**
- 10 km, heure : marée instantanée **2D**
- 10 km, semaine : marée instantanée, résiduelle, vent **2D**
- 100 km - Manche - Mer du Nord : marée résiduelle, vent **2D**
- Golfe de Gascogne, Atlantique Nord - Ouest :
courants de bords (plateau), marée résiduelle, vent **3D**
- Globale : courants généraux, échelles de temps décennales à
séculaires, stratification des océans, marqueur de la circulation
globale des océans (réchauffement climatique) **3D**

Le moteur de la dispersion : l'hydrodynamique

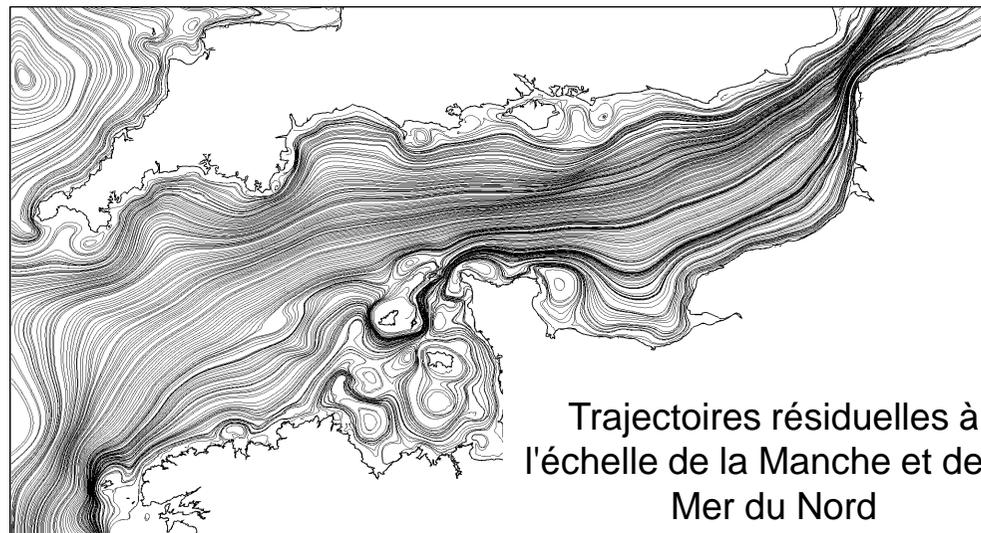
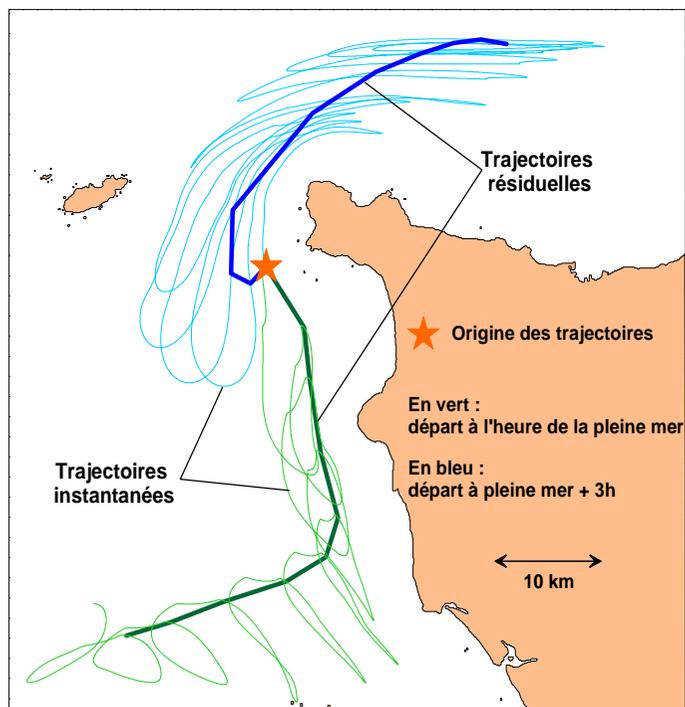
Courants autour du cap de La Hague (raz Blanchard)



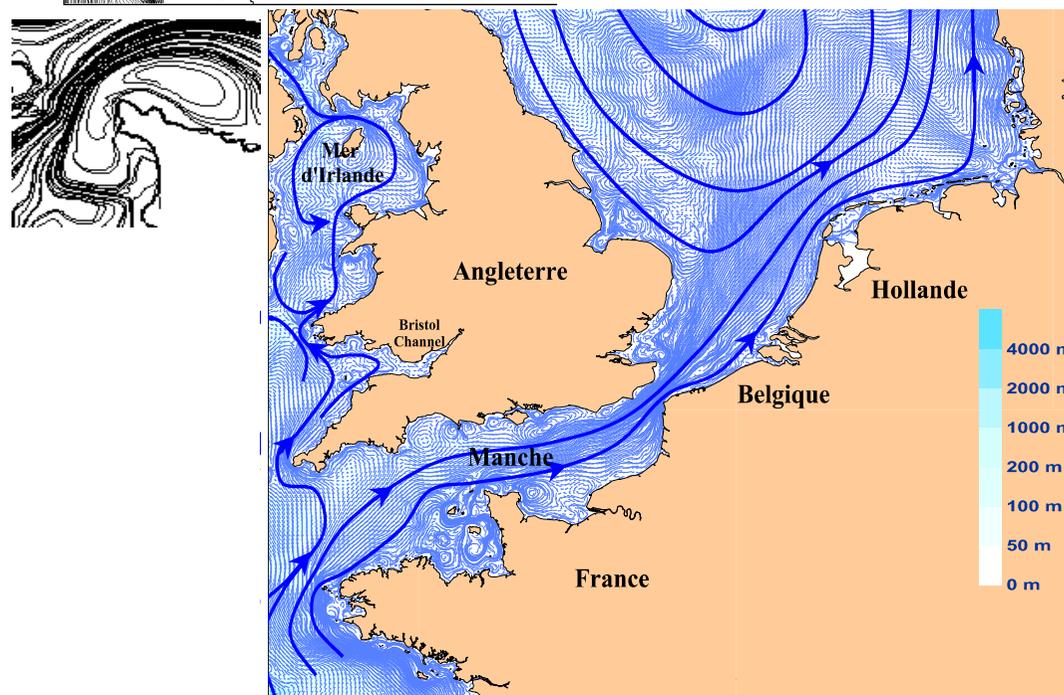
La marée : plusieurs échelles pour un même mécanisme

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

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



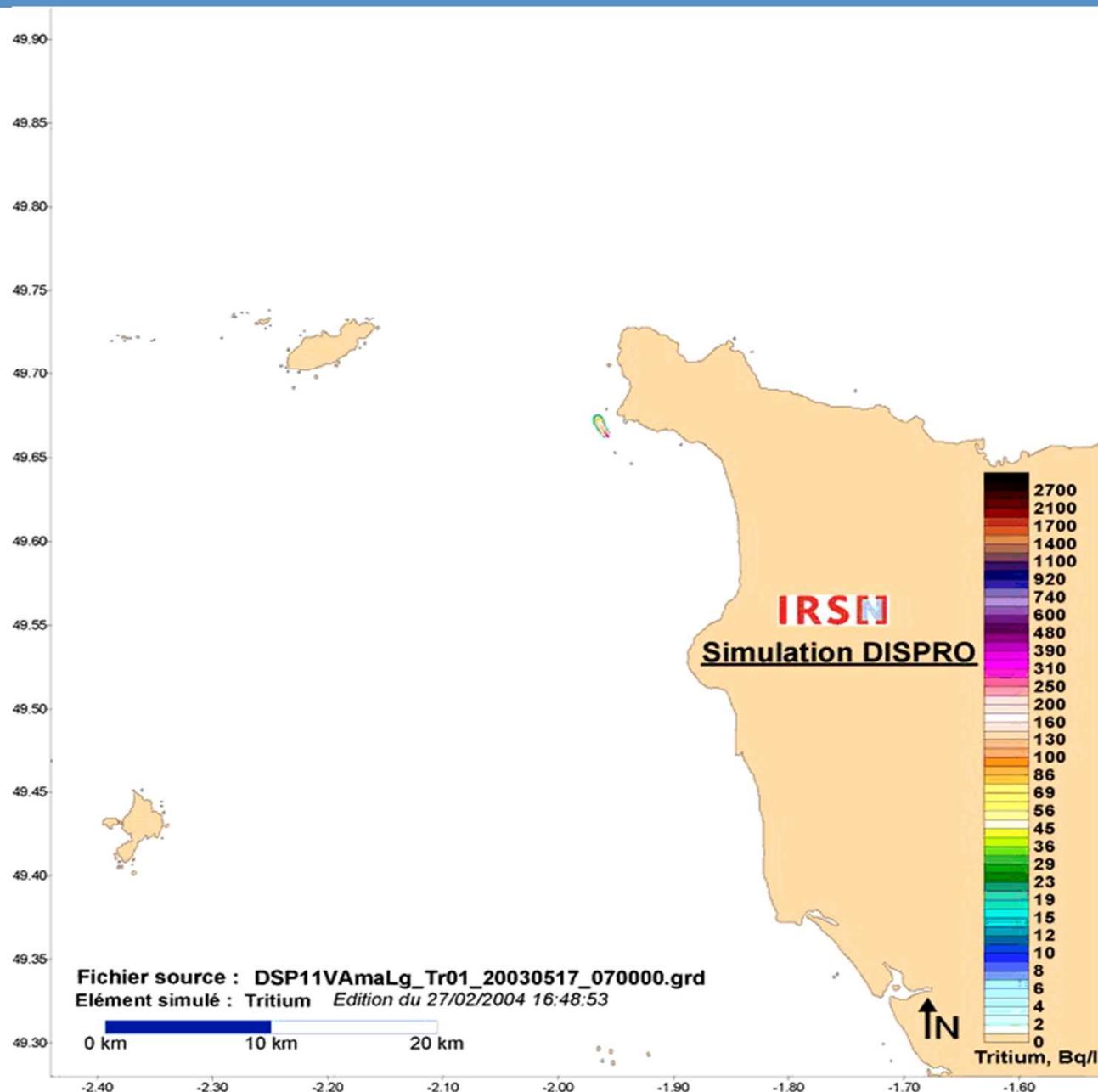
Trajectoires résiduelles à l'échelle de la Manche et de la Mer du Nord



Durant les heures suivant un rejet : courants de marée instantanés

Simulation de rejets réels avec une météo réelle

Une image toutes les 15 mn



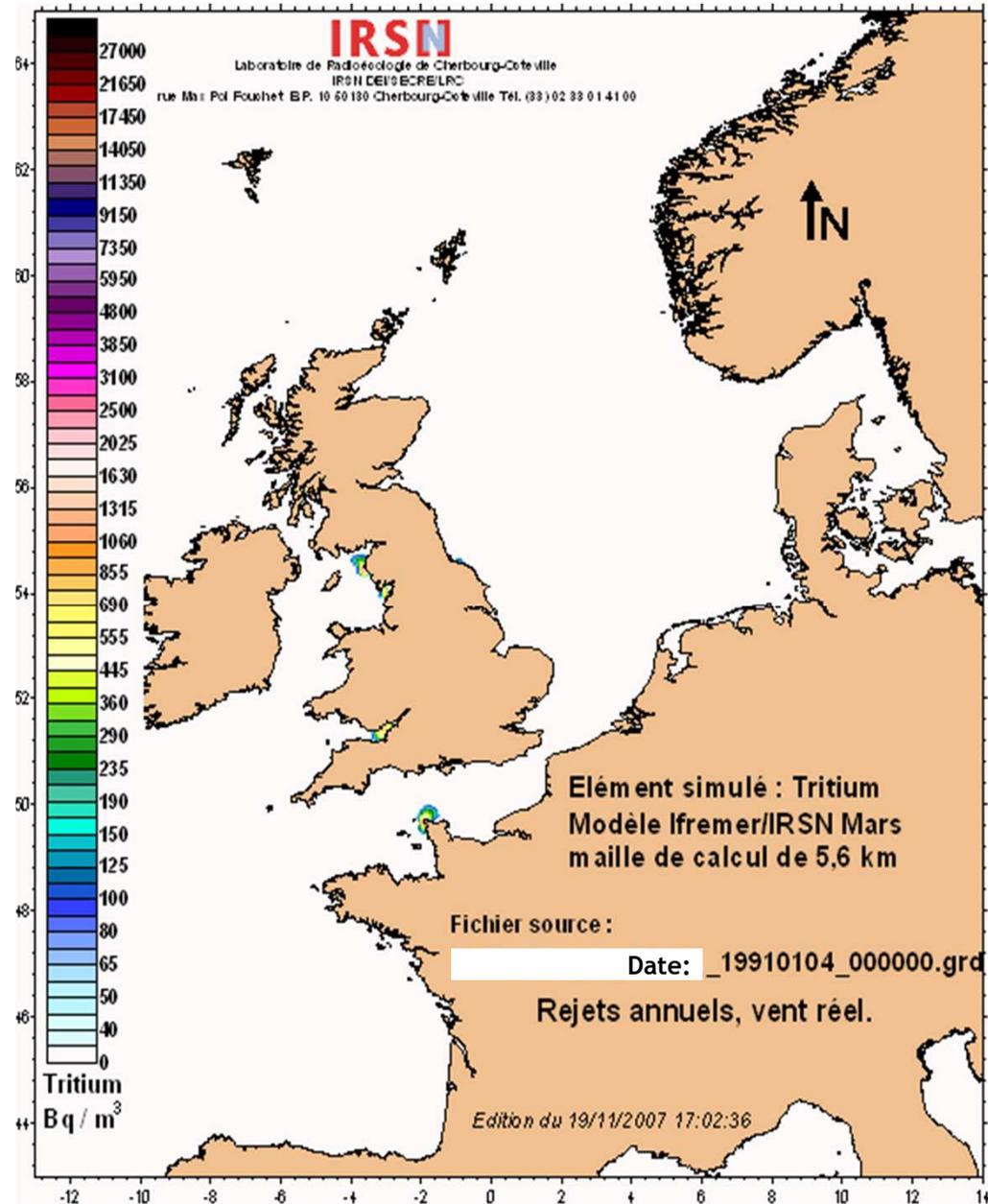
Dispersion à l'échelle du plateau continental européen

Simulation des rejets de tritium à l'échelle du plateau continental européen.

1991 -> 2005

**Pas de temps : 10 jours
Météo, marée et rejets réels des installations françaises et anglaises.**

L'influence du vent devient prépondérante



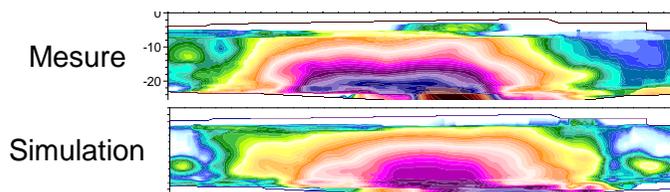
En manche et Mer du Nord, les modèles sont éprouvés

Validation à toutes les échelles par les mesures de radionucléides solubles
(^{125}Sb , ^3H , environ 30 000 mesures)

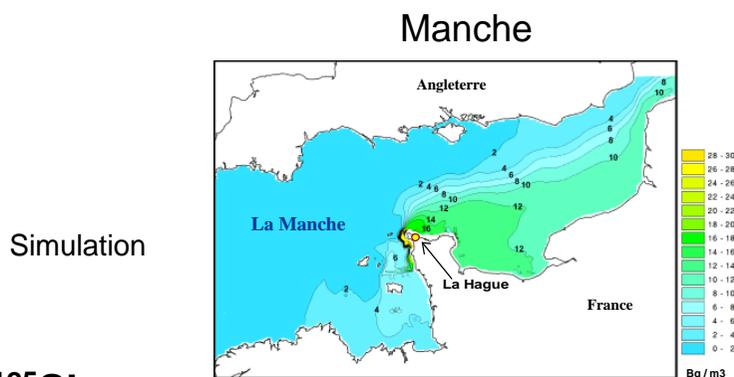
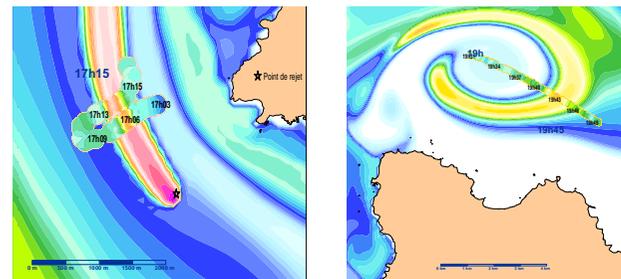
Champ proche en 3D
(projet DISVER : dispersion verticale)

Champ proche en 2D
(projet DISPRO)

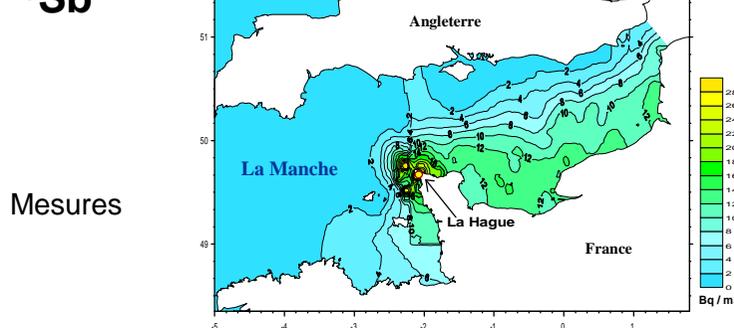
Coupe du panache
à 800 mètres de
l'émissaire



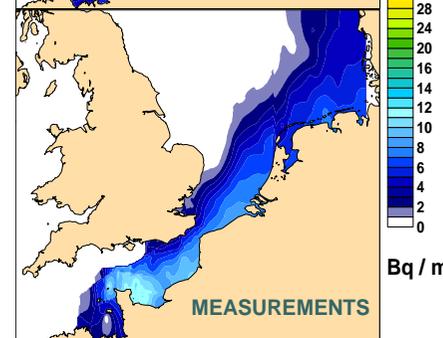
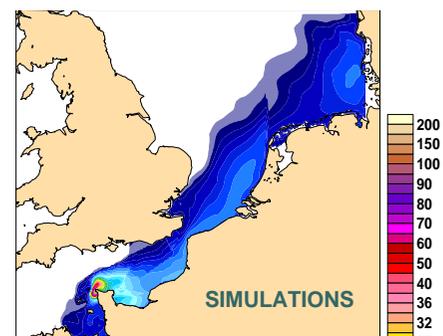
Tritium



^{125}Sb

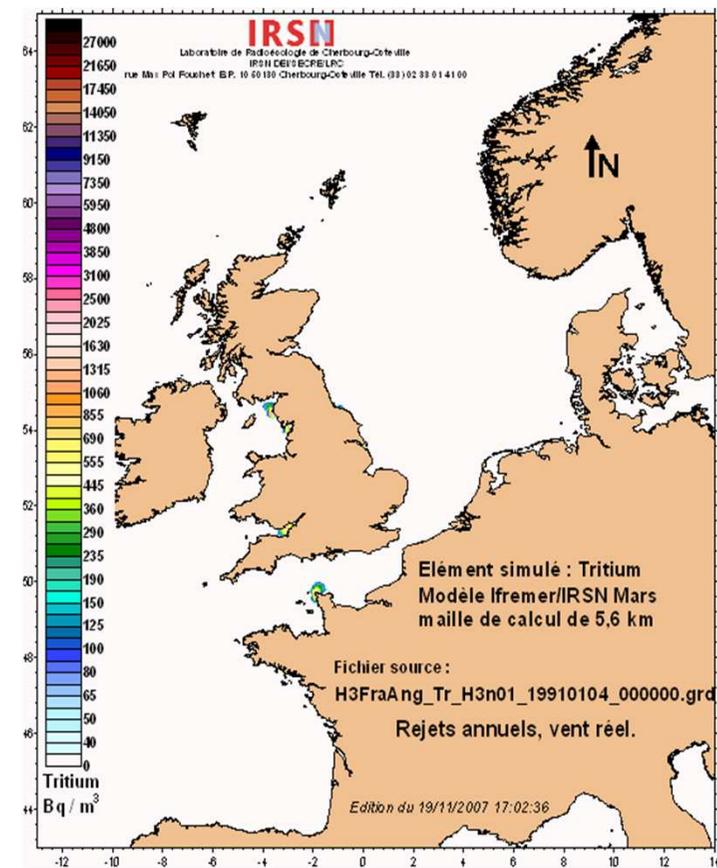
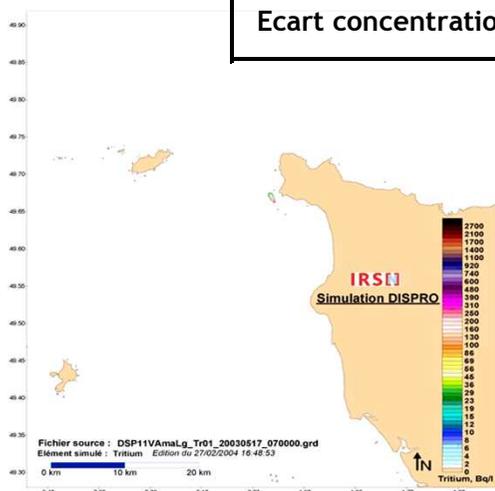


Mer du Nord

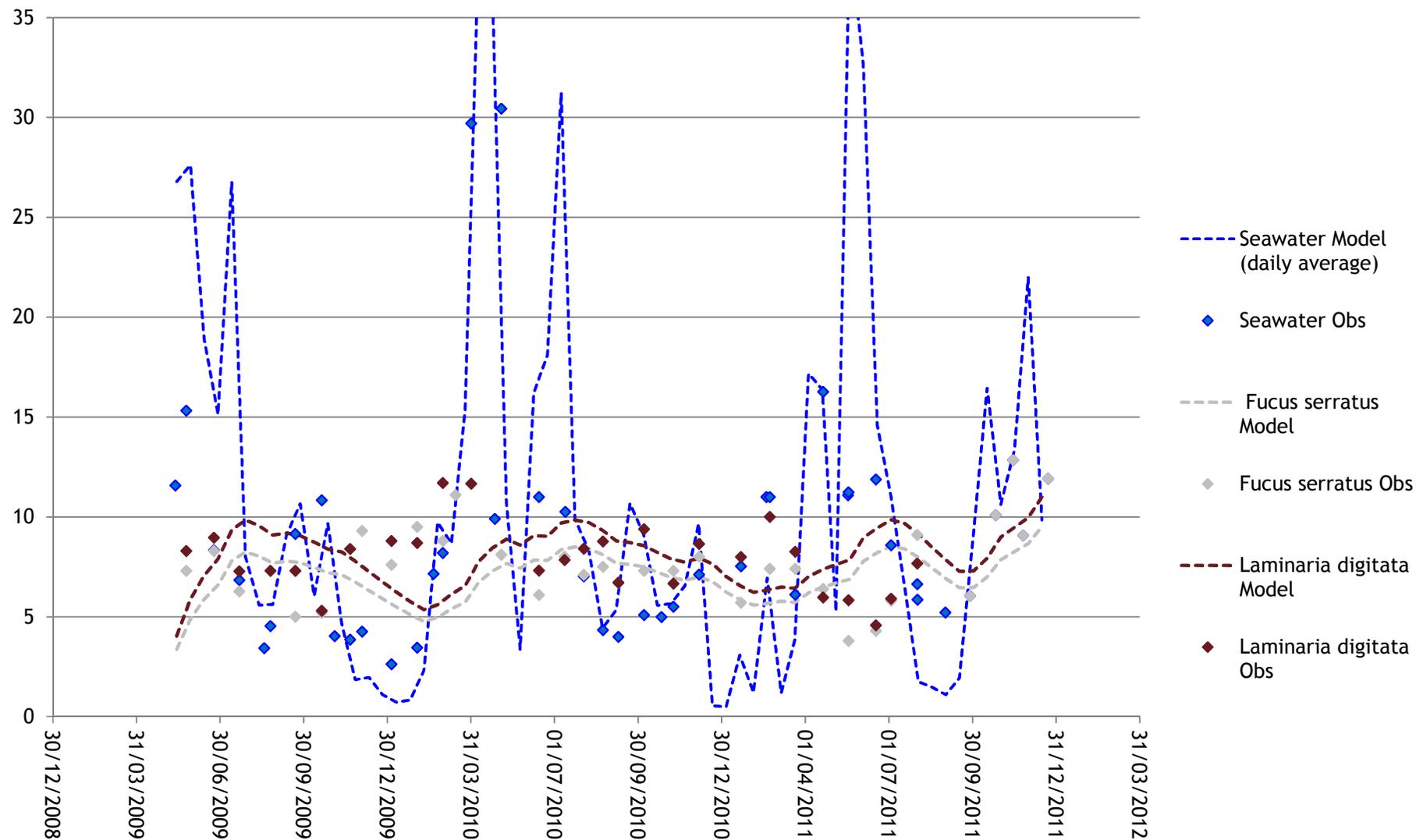


Les modèles sont applicables à la plupart des échelles

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 %)

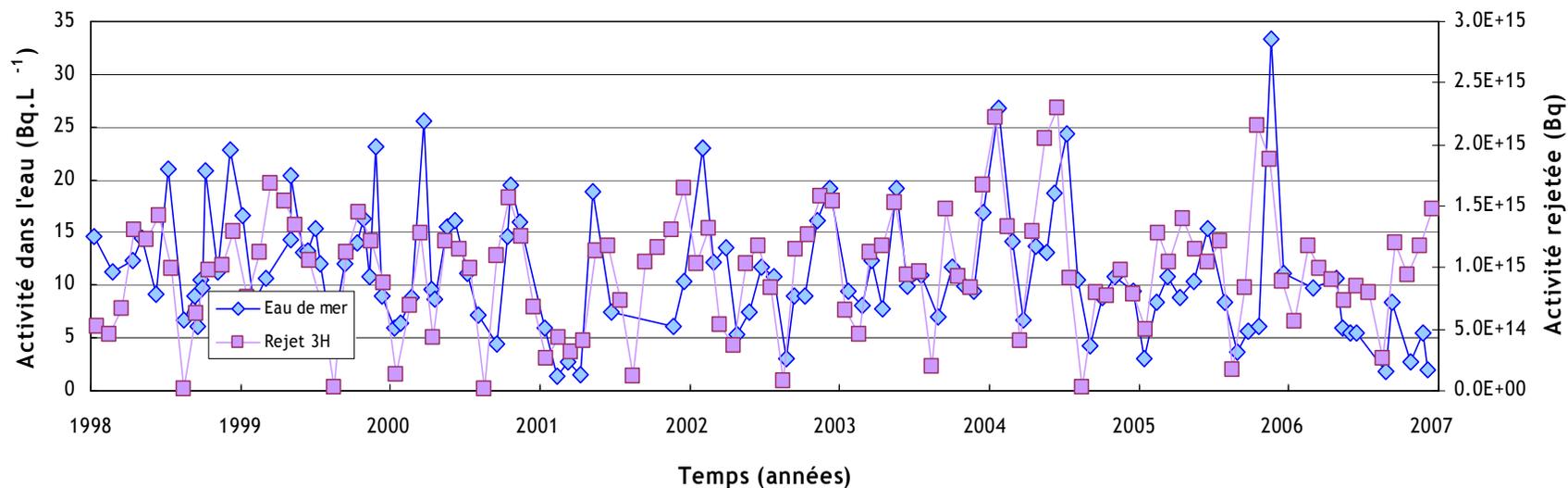


Les transferts aux espèces vivantes peuvent être pris en compte

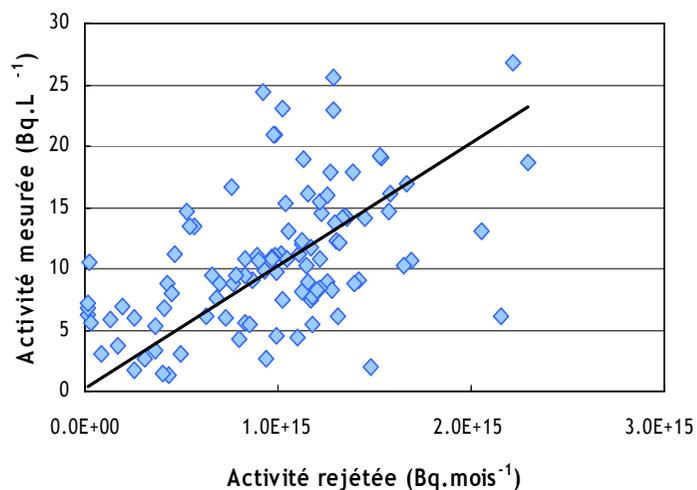


Exemple d'application : Mesures de surveillance à proximité d'un émissaire

Evolution mensuelle des activités en ^3H dans l'eau de mer à Goury (Bq.L^{-1}) et des rejets d'AREVA NC (TBq.mois^{-1})

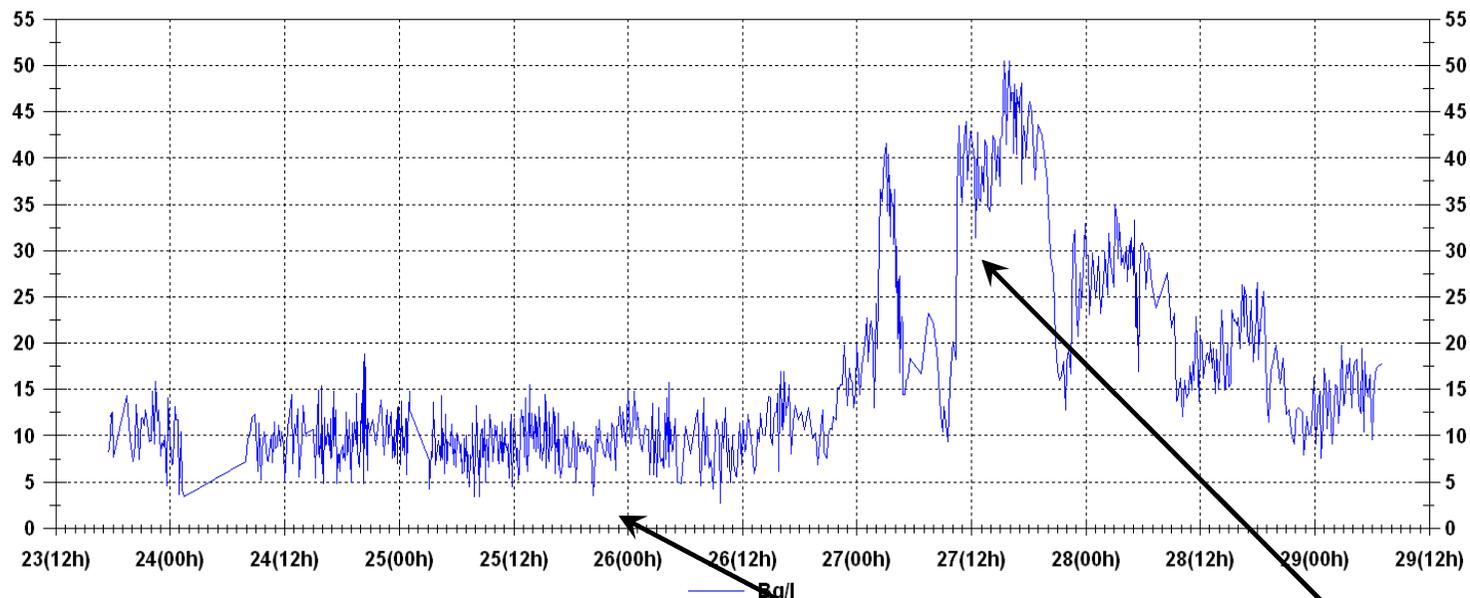


➔ Facteur de dilution moyen de $0,90 \text{ Bq.m}^{-3}$ par TBq.an^{-1}

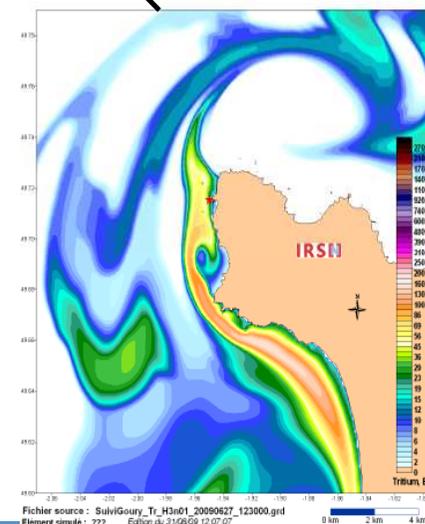
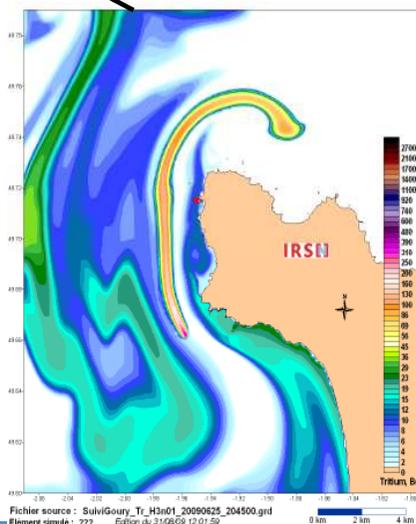


La simulation permet d'expliquer la variabilité près d'un émissaire

Explication des activités en ^3H mesurées toutes les 10 mn dans l'eau de mer à Goury par la simulation (rejets réels, météo réelle, juin 2009)

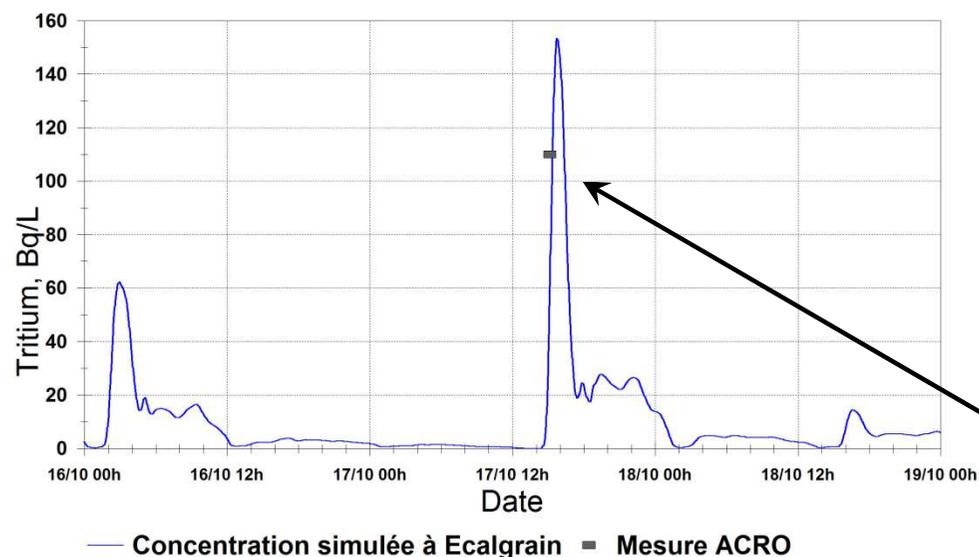


Automate de prélèvement

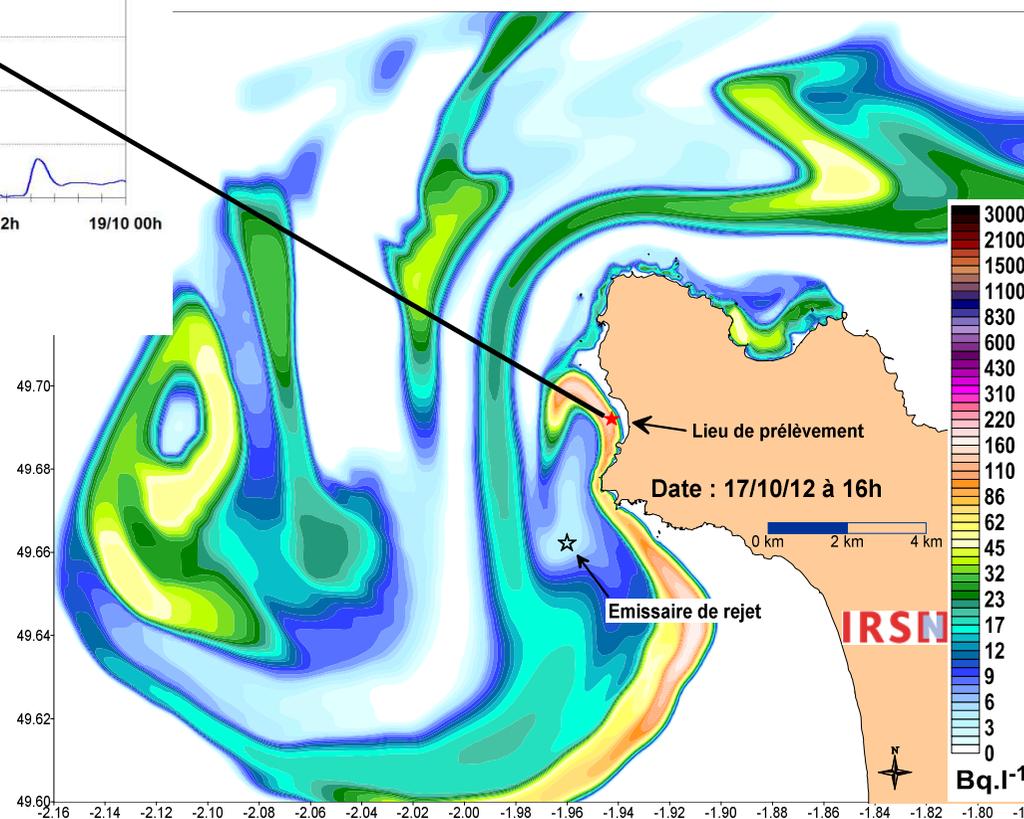


Interprétation d'une mesure singulière

Le 17 octobre 2012, une mesure de tritium effectuée par l'ACRO est plus élevée que la normale (110 Bq.L^{-1})



La simulation permet d'expliquer cette valeur par des conditions hydrodynamiques particulières



Applications des modèles pour la surveillance

- Il est possible de connaître a priori les concentrations dans l'environnement qui résultent des rejets contrôlés.
- On peut savoir ainsi si un rejet est détectable et les performances de mesure à atteindre pour le mettre en évidence
- Les simulations permettent de choisir et d'optimiser le nombre et la fréquence de prélèvement des stations de surveillance. Ces outils ont été appliqués pour optimiser le réseau de surveillance de l'IRSN
- Les résultats de simulation permettent d'interpréter les résultats de mesure en routine ou d'évènements singuliers.
- Les résultats de simulation donnent une meilleure représentativité spatiale et temporelle aux résultats de mesures.
- Des outils existent pour la Manche et la Mer du nord
- En situation accidentelle, les simulations sont essentielles pour guider l'échantillonnage et interpréter les premières mesures

Limites

- Il faut connaître les bruits de fond naturels et anthropiques en milieu marin, et les rejets détaillés des installations
- Les modèles ne peuvent être appliqués que pour le domaine dans lequel ils ont été testés et validés : emprise géographique, précision spatiale et temporelle
- Plus les points de suivi sont proches d'un émissaire, plus grande sera la précision demandée aux modèles mis en œuvre
- Les paramètres de transfert pour les couples radionucléides et espèces suivies doivent être connus (facteurs de concentration FC, périodes biologiques et Kd dynamiques)
- Il peut être nécessaire de prendre en compte les phénomènes de rémanence et de transport à long terme pour les radionucléides fixés sur les sédiments (modèles hydro-sédimentaires)
- Il faut une connaissance et une appropriation des outils par les personnes qui exploitent les mesures de surveillance

Conclusion

- Si un modèle est adapté et validé, il peut simuler ce qu'il y a autour, avant et après les mesures de surveillance
- La simulation de la dispersion est une aide à l'interprétation des mesures
- Des scénarios de rejets théoriques, passés, présent ou futurs peuvent être simulés
- La précision des simulations doit être inversement proportionnelle à la distance des émissaires pris en compte
- Le système "Prévimer" peut être un support pour l'utilisation de modèles radioécologiques (www.previmer.org)
- Tous les domaines ne sont pas représentés avec la même précision, des progrès significatifs sont possibles en utilisant les radiotraceurs comme outils de validation (projet Golfe de Gascogne)

Merci de votre attention



- Bailly du Bois P., Salomon J.C., Gandon R., Guéguéniat P., 1995b. A quantitative estimate of English Channel water fluxes into the North Sea from 1987 to 1992 based on radiotracer distribution. *Journal of Marine Systems* 6, 5-6 457-481.
- Bailly du Bois P., Guéguéniat P., 1999. Quantitative assessment of dissolved radiotracers in the English Channel: sources, average impact of la Hague reprocessing plant and conservative behaviour (1983, 1986, 1988 and 1994). *Continental Shelf Research ; FluxManche II dedicated volume 19 1977-2002*.
- Bailly du Bois P., Maro D., Germain P., 1999. Le tritium dans l'environnement marin de la manche, Journée tritium SFRP, UICF, 19 octobre 1999, pp. 2p., 14 transp.
- Bailly du Bois P., Dumas F., 2005a. Fast hydrodynamic model for of medium- and long-term dispersion in seawater in the English Channel and southern North Sea, qualitative and quantitative validation by radionuclide tracers. *Ocean Modelling* 9, 2 169-210.
- Bailly du Bois P., Dumas F., 2005b. TRANSMER, hydrodynamic model for medium- and long-term simulation of radionuclides transfers in the English Channel and southern North Sea. *Radioprotection* 40, S575-S580. 10.1051/radiopro:2005s1-084
- Bailly du Bois P., 2007a. Exemple de modélisation pour étudier la dynamique des masses d'eaux océaniques, "Cycles biogéochimiques et écosystèmes continentaux", Académie des Sciences, rapport sur la science et la technologie n° 27, EDP Sciences, 2007-2027 p.2352 - 2354.
- Bailly du Bois P., Boyer P., Duffa C., 2008. Etude préliminaire pour un outil de gestion de crise radiologique dans les zones marines de France métropolitaine. IRSN/DEI/SECRE, 2008-57, 34 p.
- Bailly du Bois P., 2011. Automatic calculation of bathymetry for coastal hydrodynamic models. *Computers & Geosciences*, 37 (2011), pp. 1303-1310. 10.1016/j.cageo.2010.11.018
- Bailly du Bois P., Dumas F., Solier L., Voiseux C., 2012c. 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
- Bailly du Bois P., Laguionie P., Boust D., Korsakissok I., Didier D., Fiévet B., 2012e. Estimation of marine source-term following Fukushima Dai-ichi accident. *Journal of Environmental Radioactivity* 114, 0 2-9. 10.1016/j.jenvrad.2011.11.015
- Bailly du Bois P., 2014b. Dispersion des radionucléides dans les mers du nord-ouest de l'Europe : observations et modélisation, Collection HDR ed. IRSN.
- Bailly du Bois P., Garreau P., Laguionie P., Korsakissok I., 2014a. Comparison between modelling and measurement of marine dispersion, environmental half-time and 137Cs inventories after the Fukushima Daiichi accident. *Ocean Dynamics* 64, 3 361-383. 10.1007/s10236-013-0682-5
- Bailly du Bois P., Morillon M., L. S., 2014b. Mesure et modélisation de la dispersion verticale dans le raz Blanchard (projet DISVER). IRSN/Prp-Env/SERIS, 2008-57, 56 p.
- Bailly du Bois P., Pouderoux B., Dumas F., 2014c. System for high-frequency simultaneous water sampling at several depths during sailing. *Ocean Engineering* 91, 0 281-289. 10.1016/j.oceaneng.2014.09.022
- Charmasson S., Bailly du Bois P., Thébault H., Boust D., Fiévet B., 2014. Radioactivité d'origine anthropique en milieu marin, in: editions, I. (Ed.), Collection « Mer et Océan » (coord. A. Monaco et P. Prouzet). *Environnement : des milieux et des Sociétés (HERMES SCIENCE PUBLISHING)*, Hermes Science Publishing Ltd 27-37 St George's Road London SW19 4EU UK, 6 pp. 331-372.
- Fiévet B., Voiseux C., Rozet M., Masson M., Bailly du Bois P., 2006. Transfer of radiocarbon liquid releases from the AREVA La Hague spent fuel reprocessing plant in the English Channel. *Journal of Env. Radioactivity*, 90 2006 2173-2196.
- Fiévet B., Pommier J., Voiseux C., Bailly du Bois P., Laguionie P., Cossonet C., Solier L., 2013. Transfer of tritium released into the marine environment by French nuclear facilities bordering the English Channel. *Environmental Science & Technology*, ss press. dx.doi.org/10.1021/es400896t
- Laguionie P., Bailly du Bois P., Boust D., Fievet B., Garreau P., Connan O., Charmasson S., Arnaud M., Duffa C., Champion D., 2012. Consequences of radioactive releases into the sea resulting from the accident at the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant - Evolution of expert investigation according to the data available. *Radioprotection* 47, 3 423-447.
- Science-Council-of-Japan, 2014. A review of the model comparison of transportation and deposition of radioactive materials released to the environment as a result of the Tokyo Electric Power Company's Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. Science Council of Japan, in: Sectional Committee on Nuclear Accident Committee on Comprehensive Synthetic Engineering, S.C.o.J. (Ed.), 111 p.