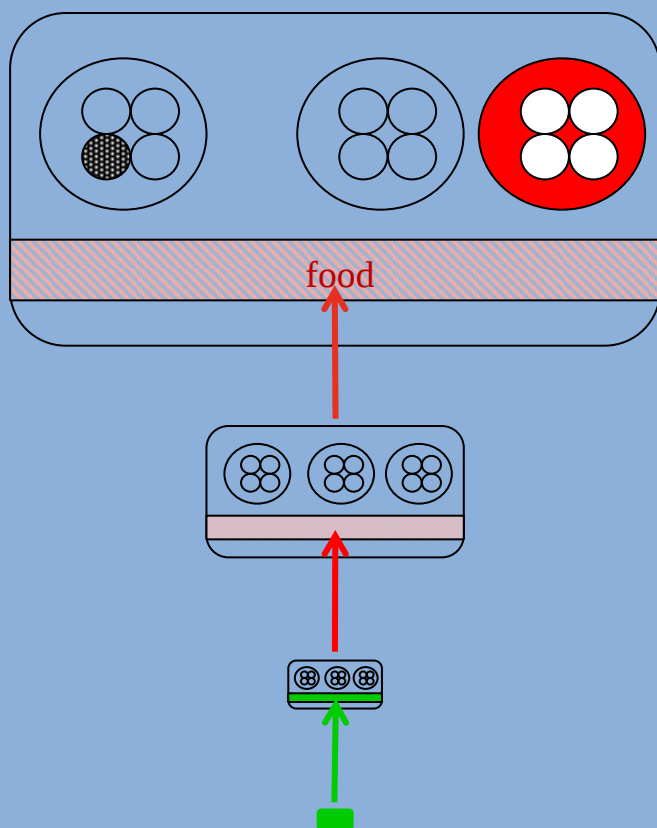


Amélioration des MOdèles de prévision de la dispersion et d'évaluation de l'impact des RADionucléides au sein de l'environnement (ANR-11-RSNR-0002)

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Faire avancer la sûreté nucléaire



Bruno FIEVET
Richard DUPONT
Claire VOISEUX
Pascal BAILLY DU BOIS
Mehdi MORILLON

IRSN, Cherbourg-en-Cotentin, bilan 2017



Contents lists available at ScienceDirect

Science of the Total Environment

journal homepage: www.elsevier.com/locate/scitotenv

Marine radioecology after the Fukushima Dai-ichi nuclear accident: Are we better positioned to understand the impact of radionuclides in marine ecosystems?

J. Vives i Batlle ^{a,*}, M. Aoyama ^b, C. Bradshaw ^c, J. Brown ^d, K.O. Buesseler ^e, N. Casacuberta ^{f,g}, M. Christl ^f, C. Duffa ^h, N.R.E.N. Impens ^a, M. Iosjpe ^d, P. Masqué ^{i,j}, J. Nishikawa ^k

This paper focuses on how a community of researchers under the COMET (CO-ordination and iMplementation of a pan European project for radioecology) project has improved the capacity of marine radioecology to understand at the process level the behaviour of radionuclides in the marine environment, uptake by organisms and the resulting doses after the Fukushima Dai-ichi nuclear accident occurred in 2011. We present new radioecological understanding of the processes involved, such as the interaction of waterborne radionuclides with suspended particles and sediments or the biological uptake and turnover of radionuclides, which have been better quantified and mathematically described.

We demonstrate that **biokinetic models can better represent radionuclide transfer to biota** in non-equilibrium situations, **bringing more realism to predictions**, especially when combining physical, chemical and biological interactions that occur in such an open and dynamic environment as the ocean. As a result, we are readier now than we were before the FDNPP accident in terms of having models that can be applied to dynamic situations.

Rappel des engagements du SRTE/LRC dans le programme BIO-ECO:

Objectif: Détermination des paramètres cinétiques de transfert (Facteur de concentration, période biologique) utilisables pour une modélisation opérationnelle. Méthode: Exploiter les séries temporelles de mesures environnementales de concentrations en radionucléides, disponibles dans les compartiments biologiques en Manche, en utilisant le modèle hydrodynamique MARS pour générer les séries temporelles correspondantes dans l'eau de mer (Fievet and Plet, 2003, <i>Journal of Environmental Radioactivity</i> 65: 91-107). Valorisation: Les recommandations internationales en termes de paramètres de transfert des radionucléides entre l'eau de mer et les espèces marines se limitent aux valeurs des FC (ex: IAEA TRS 422) mais rien n'est proposé pour les périodes biologiques (Beresford et al., 2015, <i>Journal of Environmental Radioactivity</i> 150: 270-276). Hors situation d'équilibre (près d'un émissaire ou lors d'un accident), les calculs sont fortement biaisés si on ne prend pas en compte l'aspect dynamique des transferts. Cette action permet de produire des recommandations de valeurs de période biologiques qualifiées statistiquement en terme de fiabilité.	
Description résumée des tâches Action 1 : Modélisation biologique et écologique ➤ Traitement de séries de mesures disponibles en Manche : estimation des paramètres de transfert vers les compartiments biologiques, facteur de concentration à l'équilibre (FCe) et la période biologique (tb1/2). ➤ Constitution de séries temporelles de mesure des activités dans les indicateurs biologiques en Manche, à proximité de La Hague afin de compléter l'étude de l'existant. ➤ Constitution d'une base de données des paramètres opérationnels utilisables en cas de variations brutales dans l'eau de mer (ex: accident)	Périodes M1-M24 M1-M72
Livrables ○ L.2.1.2 Rapport sur les traitements des séries temporelles en Manche, couplage avec les concentrations issues de la dispersion fournie par le modèle hydrodynamique. Base de données des paramètres de transferts. ○ L.2.1.4 Implémentation d'un module de transfert biologique vers les espèces mobiles en Manche ○ L.2.1.9 Base de données de mesures complémentaires réalisées à proximité de la Hague. Utilisation dans le modèle de transfert au compartiment biologique.	Dates M24 ✓ M48 ✓ M72

1. Richard DUPONT (ALTRAN) a terminé sa mission le 10/07/2016.

Sa contribution consistait à:

1. réaliser un inventaire des séries temporelles de mesures disponibles dans les espèces vivantes en Manche. Les qualifier pour les prioriser en terme d'exploitation
2. générer les séries temporelles de concentrations correspondantes dans l'eau de mer à l'aide du modèle hydrodynamique MARS
3. Estimer les paramètres de transfert cinétiques des radionucléides entre l'eau de mer et les compartiments biologiques en vue de recommandations

Cette première analyse a conduit à développer une méthode de qualification du modèle de transfert biologique à partir d'une analyse statistique des écarts modèle/observations.

Cette méthode va permettre d'affiner ces premières estimations.

Ce travail a démontré l'efficacité de la stratégie et a donné lieu à la production d'un rapport d'avancement (livrable L.2.1.2).

2. Le module de transfert biologique couplé à la modélisation hydrodynamique

1. Récupère les séries temporelles de concentrations dans l'eau en un point fixe ou mobile (déplacement des espèces)
2. Implémente le transfert biologique (FC_e , $tb_{1/2}$) pour le signal ci-dessus (1.)
Implémente le transfert biologique sur toute l'emprise du modèle et la durée de la simulation (cartes)

Cet outil constitue le 2^{ème} livrable L.2.1.4

3. La série temporelle de prélèvement autour du Cap de la Hague constituée à partir de Janv 2014 a été terminée en Juin 2016

1. Elle a pour objectif de compléter l'inventaire (qui couvre la période 1984-2003) avec des données récentes
2. Les mesures sont quasiment complètes
3. Elle nécessite de prolonger les chroniques calculées dans l'eau de mer avec le modèle MARS pour couvrir la période jusqu'en 2016.

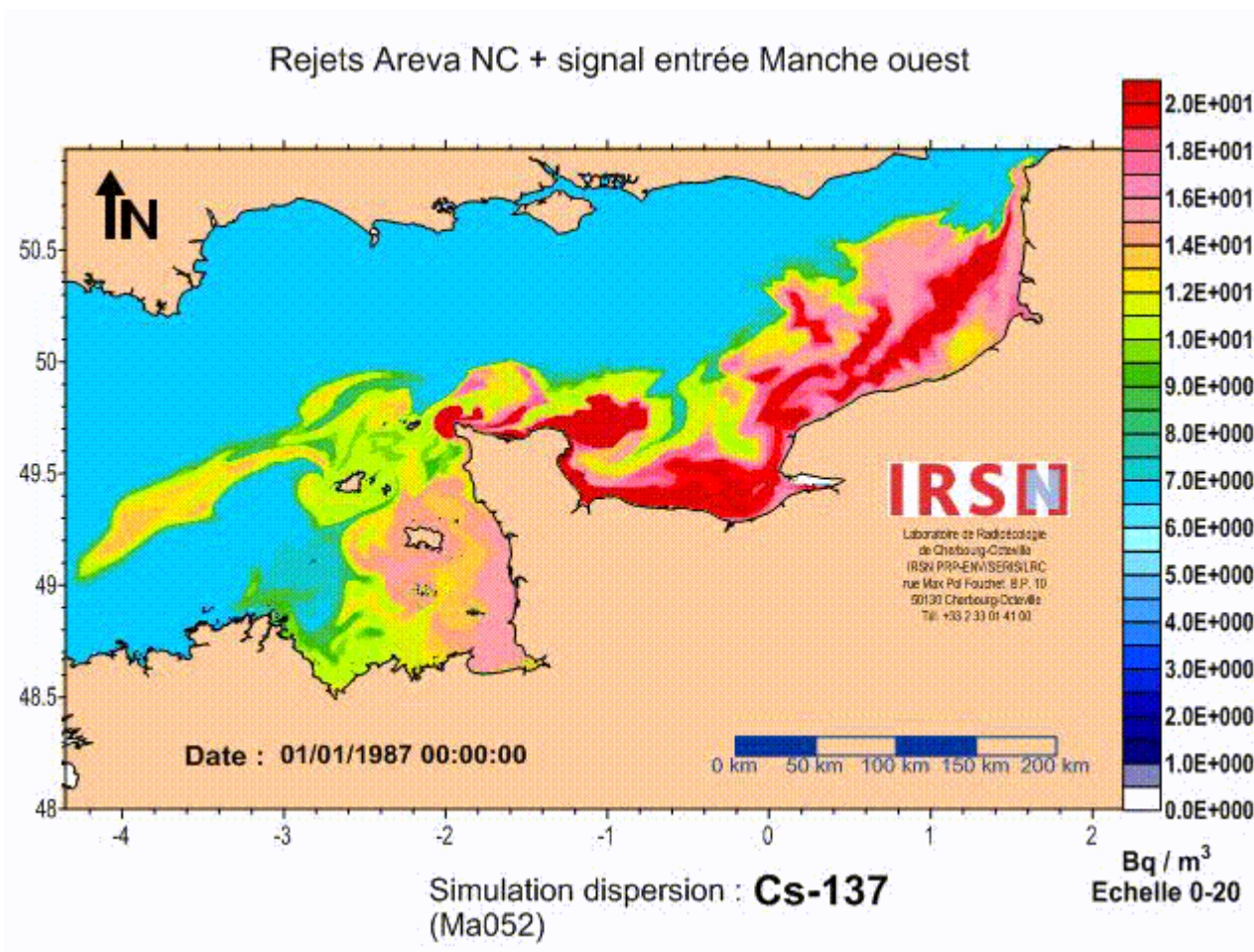
(Cette série temporelle sera le 3^{ème} livrable L.2.1.9)

La Manche "radionumérique"

Construction des séries temporelles de concentrations en radionucléides dans l'eau de mer calculées par le modèle hydrodynamique depuis 1983.



Pascal BAILLY DU BOIS

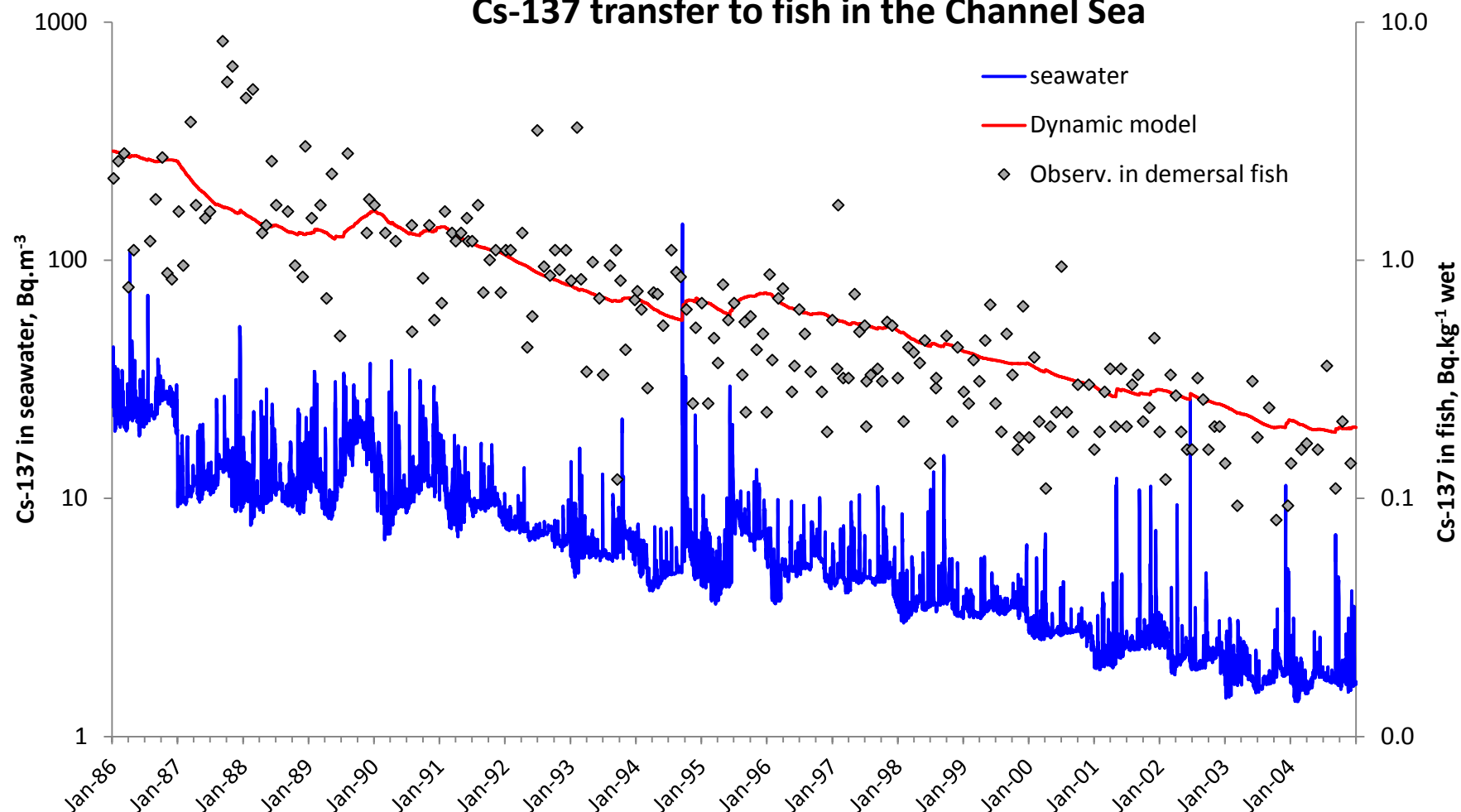


Les paramètres cinétiques pour les espèces et radionucléides suivants (cellules jaunes) seront estimés au cours du projet:

Facteurs de concentrations (FC) et période biologiques ($tb_{1/2}$, jour) disponibles dans les espèces marines							
Espèces	Cs-137	Ru-106	Co-60	Sb-125	Ag-110m	Mn-54	Zn-65
Fuc. Ser	X	X	X	X	X	X	X
Fuc. Ves	X	X	X	X	X		
Patelles	X	X	X	X	X		X
Moules	X	X	X	X			
Bulots	X	X	X		X		
Coq. St Jacques	X	X	X	X	X	X	
Huîtres	X	X	X	X			X
Homards	X		X				
Tourteaux	X	X	X	X	X	X	X
Araignées			X				
Vieilles	X		X				
Tacauds	X						
Congres	X						
Pois. Ronds	X		X				
Pois. Plats	X		X				
Roussettes	X		X				

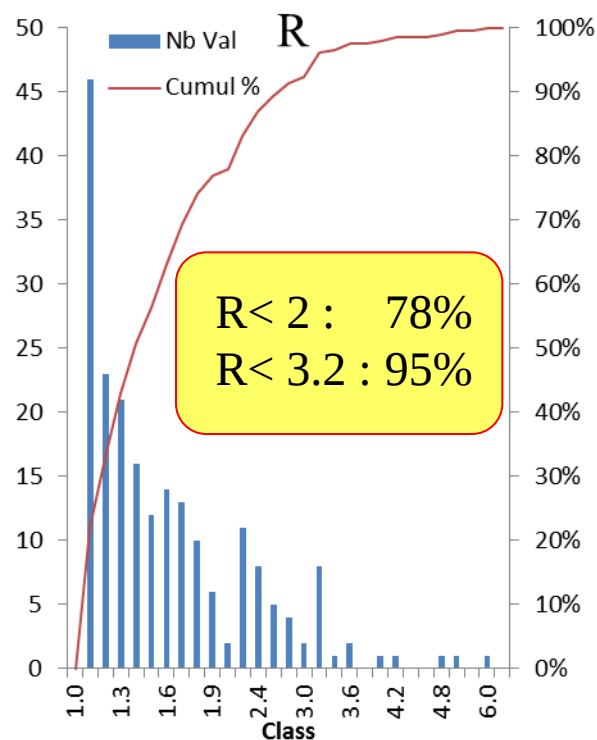
L'exemple suivant illustre l'exploitation d'une série temporelle de mesures du Cs-137 dans les poissons "ronds" de la côte Nord par AREVA NC La Hague:

Cs-137 transfer to fish in the Channel Sea



Le signal d'entrée (dans l'eau de mer) est calculé par le modèle hydrodynamique. L'ajustement optimal du modèle dynamique de transfert (avec $FC = 100$) donne une valeur de $t_{b1/2}$ de 151 jours.

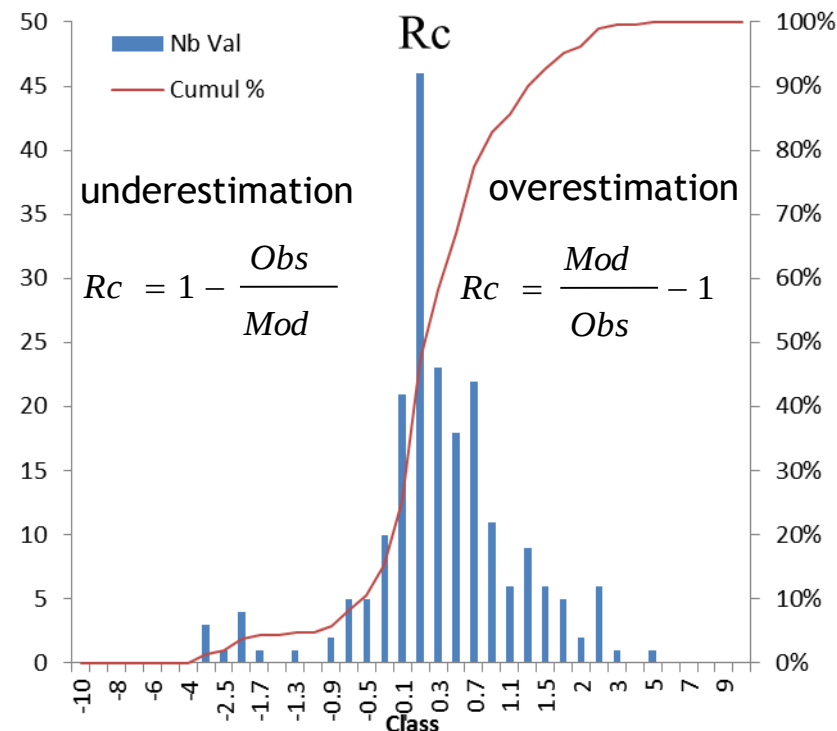
👉 Probabilité d'un écart d'un facteur R entre le calcul et l'observation ?



$$R = \text{Max} \left(\frac{\text{Mod}}{\text{Obs}} ; \frac{\text{Obs}}{\text{Mod}} \right)$$

R=1 signifie un parfait accord

👉 Écart dans quel sens ?



Rc=0 signifie un parfait accord

R and Rc comparent les valeurs Observée et Modélisée pour chaque observation individuelle

- **L.2.1.9 Base de données de mesures complémentaires réalisées à proximité de la Hague. Utilisation dans le modèle de transfert au compartiment biologique.**
Elle va aussi permettre de vérifier si les valeurs des paramètres dérivées des données des années 80 sont toujours valides aujourd'hui (2 décennies après) avec des rejets qui ont encore diminué.

Série temporelle récente 09/2013-06/2016 (prélèvements mensuels)

1. nous avons des séries de mesures dans les *Fucus serratus* et la chair des patelles de Cs-137, Co-60, Ru-106, I-129, K-40, Pu-238, Pu-239,240, Am-241, Cm-244, C-14, H-3 HTO et H-3 TOL.
2. il manque encore qq résultats de C-14,
3. les calculs dans l'eau jusqu'au 30/11/2016 sont réalisés pour Cs-137, Co-60, Ru-106, I-129, C-14, H-3, Mn-54, Zn-65, Sb-125.
il reste à produire les alpha (Pu-238, Pu-239,240, Am-241, Cm-244) dès que nous aurons récupéré les données de rejets

Ce qui reste à faire...

1. Encore qq données à acquérir (mesures et calculs)
2. reprendre les estimations des paramètres de transfert dans leur ensemble, en considérant les données récentes, pour aboutir à des recommandations par groupe biologique.
3. assortir ces recommandations d'une qualification basée sur la documentation statistique des écarts modèle/observations.
4. publication de ces recommandations (2018-2019)