



# 7<sup>èmes</sup> journées scientifiques SFRP

Panorama des outils et codes de calculs  
utilisés par Orano dans les domaines de la  
Sûreté et de l'Environnement

BRUN F. / COURSIMAULT V. / DEVIN P.

9 - 10 mars 2023



# Sommaire

1. Contexte
2. La situation actuelle : des outils spécialisés pour chaque domaine d'étude
3. Des perfectionnements apportés récemment, destinés à faciliter la mise en œuvre des outils

4. Les idées à terme / perspectives
5. Conclusion

# 01

## Contexte

# Une question de fond : comment évaluer l'impact ?

## L'impact de quoi ?

- des projets de nouvelles installations
- des installations existantes (évaluations des impacts réels ...)
- Rejets radiologiques ? Chimiques ? mais aussi bruit, odeurs, autres nuisances ...
- Situations réelles ? Prédictives ? Fonctionnement normal ou accidentel ?

## L'impact sur quoi ?

- Sur les populations riveraines
- sur l'environnement (faune / flore)

# 02

**La situation actuelle :  
des outils spécialisés  
pour chaque domaine  
d'étude**

# Pas d'outil « miracle », mais plutôt une boîte à outils

Chaque domaine d'étude nécessite des évaluations spécifiques, faisant souvent appel à des modélisations

Chaque modélisation répond à un besoin

- Plusieurs outils sont donc utilisés pour répondre aux différents besoins, et l'objectif est que ces outils soient adaptés à chaque situation étudiée
- Ces outils peuvent être des solutions « *intégratrices* » (= code de dispersion + outil de calcul d'impact) ou uniquement dédiés (la dispersion)

# Des situations parfois très différentes



Usines et installations nouvelles



Démantèlements d'installations anciennes



Modifications d'installations existantes



Laboratoires



Parcs entreposage



Evaluation environnementale, étude d'impact, document d'incidence, étude d'incidence, Interprétation de l'Etat des Milieux, évaluation des risques sanitaires, étude d'impact dosimétrique, étude d'impact environnemental, ...



Mines en exploitation



Mines réaménagées

- ◆ **Des usines, laboratoires, mines ... des rejets liquides et/ou gazeux, des impacts radiologiques et/ou chimiques à évaluer ... des activités en cours ou arrêtées ... présence ou pas de passifs environnementaux ...**

# Evaluer les impacts ... avec quoi ?

Evaluer des impacts revient à utiliser essentiellement 2 types d'outils de démonstrations :

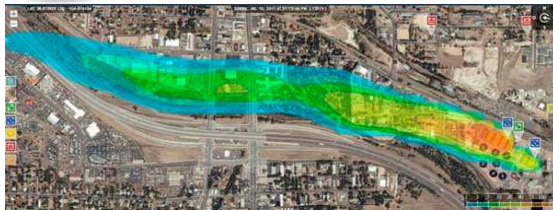
Approche **a priori** ; démarche calculatoire (prévisions, modélisations, ...) permettant de se situer par rapport à des valeurs de référence (toxico, écotoxico, valeurs réglementaires, ...), sur la base d'hypothèses de calculs

Approche **a posteriori** ; démarche basée sur des calculs et/ou sur des mesures analytiques dans les milieux, des observations, des constats écologiques ...

## Modélisations



Codes de calculs, modèles de dispersion atmosphérique / nappe / rivière / mer, facteurs de transfert, PEC, mSv, bioaccumulation, biodisponibilité, PNEC, VTR, coef de dose, ...



## Observations

Prélèvements, eaux, chaîne alimentaire, faune / flore, échantillonnage, diagnostics et suivis écologiques, IBGN, IPR, IBMR, suivi diatomées, inventaires biologiques, stations de référence, bruit de fond, ...



QUALITÉ BIOLOGIQUE

Classe de qualité	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
IBGN (Indice Biologique Global Normalisé)	20 à 17	16 à 13	12 à 9	8 à 5	4 à 0



# Panorama des outils utilisés (situations normales)

Outils - Codes	Populations	Environnement
ACADIE (issu du GRNC La Hague)	X	
COMODORE [Cotram (dispersion atmosphérique) + ACADIE modifié + Aquarej (aquatique)]	X	
ADMS (dispersion atmosphérique)	X	X
CERES (outil CEA)	X	
MISTRAL (outil Orano Projets)	X	
ERICA		X

# L'approche d'évaluation de l'impact dosimétrique

Même si la complexité de l'univers est telle que « qui cueille une fleur, fait bouger une étoile », la notion d'impact n'est souvent réellement abordable qu'à l'échelle locale

## Approche calculatoire à partir du bilan des rejets

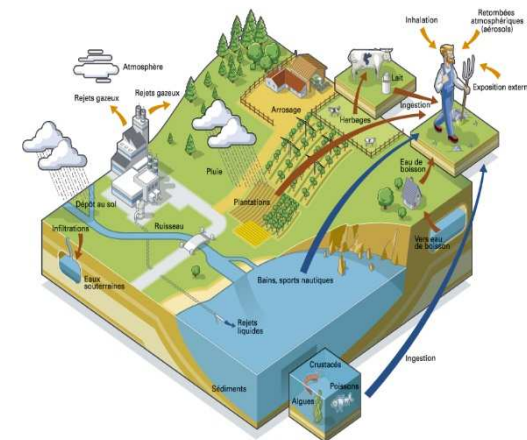
### Des codes de calcul développés sous AQ conjointement avec l'IRSN :

**ACADIE** (Application pour le Calcul de la Dose efficace Interne et Externe) pour le site de La Hague issu des travaux du GRNC

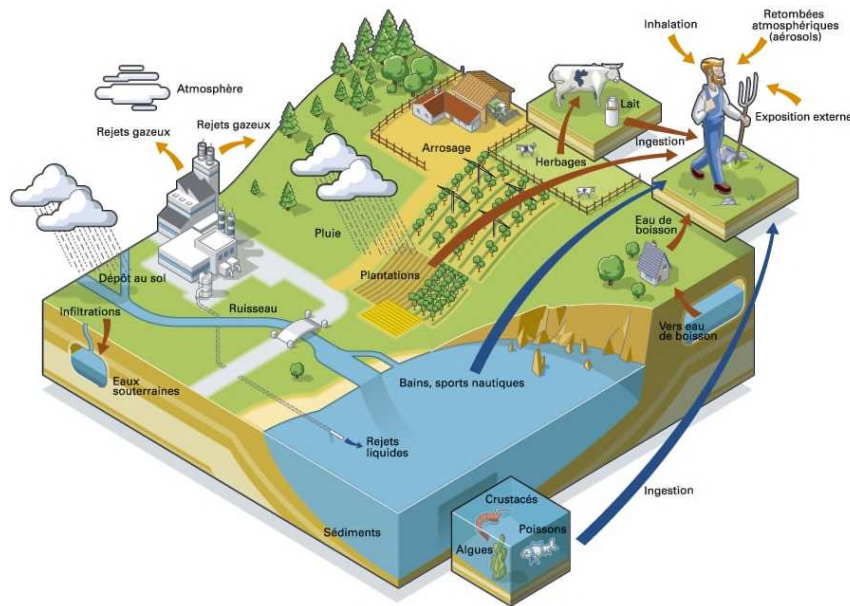
**COMODORE** (COde MOdulaire d'évaluation des DOses liées aux Rejets dans l'Environnement) pour les autres établissements issu d'ACADIE adapté pour les rejets en rivière et pour les installations de l'amont du cycle

## Evaluation la plus réaliste possible

## Réalisation d'études de sensibilité



# Impact dosimétrique de nos installations réévalué régulièrement sur la base des rejets réels



Impacts radiologiques (en mSv)

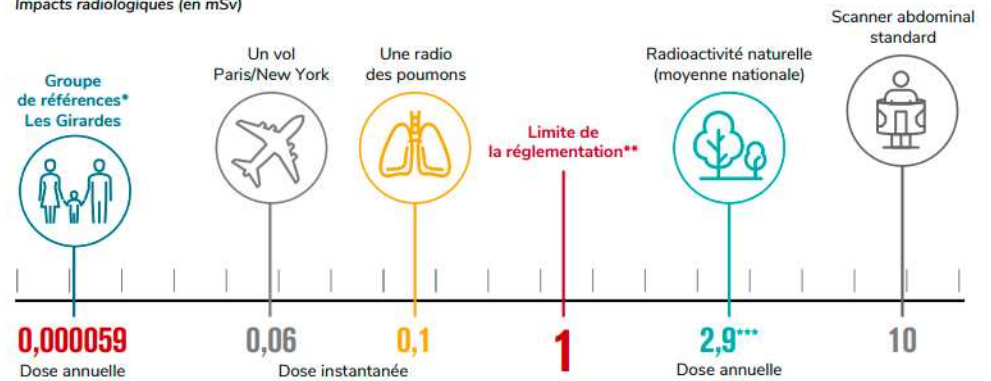


Illustration avec la valeur du site Orano Tricastin

Pour le site Orano La Hague : 0,0114 mSv en 2021 pour le groupe de référence des agriculteurs de Digulleville et 0,0053 mSv en 2021 pour le groupe de référence des pêcheurs de Goury.

Pour le site Orano Melox : l'impact en 2021 est < 0,0000001 mSv pour le groupe de référence des habitants de Codolet.

Pour le site Orano Malvési : l'impact de l'INB Ecrin est de 0,00003 mSv et de 0,025 mSv pour l'ICPE.

7èmes journées scientifiques SFRP / Panorama des outils et codes de calculs utilisés par Orano dans les domaines de la Sécurité et de l'Environnement

## **Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2018 à 2020 (BR 2018-2020) : synthèse dosimétrique**

**Le rapport conclut que :**

**Les doses susceptibles d'être reçues par la population résidant autour des installations nucléaires françaises et estimées à partir des résultats de mesures, sont très faibles**

**Un même cumul de voies d'exposition conduirait, autour de La Hague, à une dose de l'ordre de 10  $\mu$ Sv/an (la plus élevée estimée dans ce bilan), mais qui est 300 fois inférieure à la dose moyenne reçue annuellement par la population française en dehors de toute influence d'une installation nucléaire, du fait du bruit de fond radiologique existant sur notre territoire**

**Ces doses sont en bon accord avec celles estimées par calcul (modélisation de la dispersion et des transferts) par les exploitants des sites nucléaires, à partir des activités réellement rejetées**

**La connaissance de la radioactivité dans l'environnement, fondée sur les différents programmes de surveillance de l'environnement des sites nucléaires français, permet donc d'estimer l'essentiel des doses susceptibles d'être reçues par la population riveraine**

**Elle fournit d'autre part un élément de validation des calculs effectués par les exploitants à partir des rejets et des modèles de calculs d'impact dosimétrique**



## Domaine d'application des modèles de dispersion atmosphériques privilégiés par AREVA : élaboration d'un guide d'aide au choix des outils

	Risques aigus	Risques chroniques
Evaluation d'impact chimique	PHAST CERES pour l'uranium	ADMS
Evaluation d'impact dosimétrique	CERES	COTRAM

**Des variantes peuvent être mises en œuvre par les experts**

# Exemple pour la dispersion marine

- ▶ **Un exemple de complémentarité modèles / mesures en dispersion marine ; une étude en collaboration avec l'IRSN**
  - ◆ Recommandation du GRNC
  - ◆ Exigence dans les Autorisations La Hague (Art.42)
- ▶ **Modèle 2D développé par IFREMER**

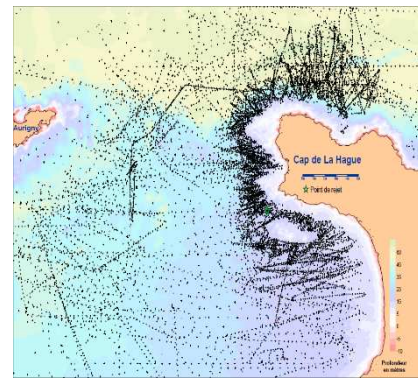
## Validation 2D, programme DISPRO

Validation dans le champ proche des rejets de La Hague (de 1000m à 30km) et pour le court terme (du jour à la semaine)  
A partir des mesures tritium dans la mer durant les épisodes de rejets : plus de 18 000 mesures entre 2002 et 2005

## Validation 3D programme DISVER

A partir de 2008, mise au point d'un système d'échantillonnage par IRSN/LRC pour valider en 3D : de la surface à 50m de profondeur  
Séries de mesures: 20 000 mesures en 2010 et 2011

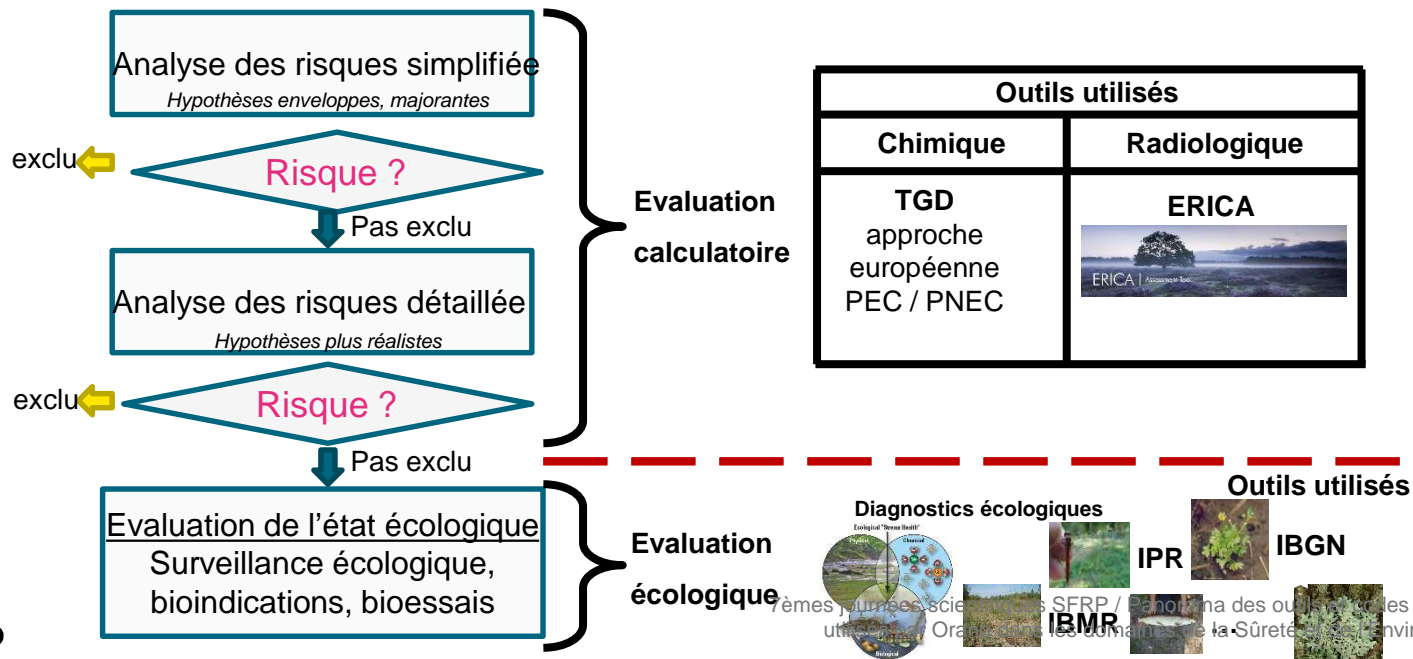
Confirme les Facteurs de dilution mesurés autour de La Hague  
(essais à la Rhodamine B dans les années soixante puis à partir de Sb125 en 1986 et 1994 )



Localisation des échantillons du programme DISPRO

# Exemple de l'impact sur la faune et la flore

Chaque approche présente des avantages et des inconvénients, mais elles peuvent être complémentaires dans le cadre d'une démarche d'évaluation graduée. Exemple de l'évaluation environnementale :



# Panorama des outils utilisés (situations accidentelles)

Outils - Codes	Crise	Études
CERES (code CEA)	X	X
MISTRAL (outil Orano Projets)		X
ADMS (dispersion atmosphérique)		X
PHAST (dispersion atmosphérique)		X
CACATOES (rejets atmosphériques La Hague - outil OP)		X
CORMORAN (rejets hydrogéologique via la nappe phréatique La Hague - outil OP)		X
DORAD (rejets hydrogéologique via le réseau de drainage profond La Hague - outil OP)		X



# 03

**Des perfectionnements  
apportés récemment,  
destinés à faciliter la  
mise en œuvre des  
outils**

# Perfectionnement des outils : cas de CACATOES

## Outil CACATOES (Chaîne d'Automatisation des Calculs ATmOsphériques)

- **Permet de calculer les doses efficaces engagées dues aux rejets atmosphériques en situation accidentelle sur les ateliers de La Hague en considérant 5 voies d'exposition : exposition externe panache, inhalation panache, exposition externe dépôts, inhalation de la remise en suspension dépôts, ingestion**
- **Produit des abaques pour un ou des terme(s) source(s) normé(s) qui sont ensuite utilisées (via un autre outil : CIDRE) pour les démonstrations de sûreté en fonction du risque traité : incendie, chute de charges, séisme, ...**
- **CACATOES encapsule les résultats de différents codes, que ce soit pour la dispersion ou pour le calcul des doses ingestion :**
  - La dispersion atmosphérique réalisée aux travers de calculs effectués avec des codes MISTRAL et ADMS et du REX des mesures krypton pour les rejets à 100 m de hauteur et pour les villages cibles de Herqueville et Digulleville. L'outil considère la valeur pénalisante
  - Utilisation des fonctions de transfert dans la chaîne alimentaire du code COMODORE pour la voie d'exposition due à l'ingestion

# Perfectionnement des outils : cas de CACATOES

- **CACATOES a été développé en Visual Basic sous Excel ®  
Actuellement en version v3.3**
- **Les données d'entrées nécessaire au calcul se font via un fichier Excel et des boîtes de dialogue :**
  - Termes sources parmi 153 radionucléides disponibles
  - Différentes distances des points de calculs : de 500 à 20 000 m
  - Plusieurs hauteurs de rejets : 0, 5, 8, 9, 10, 13, 15, 18, 20, 30, 34, 45 et 100 m
  - 3 Classes d'âges : Nourrisson (0-2 ans), Enfant de 10 ans (7-12 ans) et Adulte (>17 ans)
  - Des durées d'ingestion et d'exposition aux dépôts de 24h, 48h, 1 mois, 1 an, 50 ans (pour les adultes) et 70 ans (pour les nourrissons et les enfants)
  - 3 conditions météorologiques représentative du site de La Hague : DF3, DN7, DN8P1

# Perfectionnement des outils : cas de CACATOES

- **L'outil CACATOES permet également d'évaluer les concentrations des radionucléides dans les aliments, qui peuvent être déterminées avec leur évolution dans le temps afin de les comparer avec les valeurs réglementaires en vigueur (notamment les niveaux maximaux admissibles ou NMA)**
- **post-traitement des résultats en générant un tableau de synthèse regroupant l'ensemble des résultats**
- **CACATOES au fil de ses améliorations a permis de gagner très notablement en productivité : amélioration des performances de calcul et de l'ergonomie, vérification plus facile, automatisation des sorties résultats sous pdf, calcul en batch...**
- **Même si CACATOES est dédié au site d'Orano La Hague, il pourrait être adapté à un autre site**
- **Une version de l'outil sous Python est en cours d'élaboration pour gagner en performances de calcul et être plus simple à modifier à terme**

**Gain  
facteur  
2 à 3**

# 04

**Les idées à terme /  
Perspectives**

# Les idées à terme / Perspectives

**Si ces améliorations déjà apportées ou en cours permettent de rendre plus performantes et robustes les études réalisées, d'autres réflexions sont en cours pour encore améliorer la mise en œuvre de ces outils ou exploiter au mieux les perspectives ouvertes par les nouvelles technologies**

## Réflexions :

- **Outils de calculs : conserver une boîte à outils multiples au sein du groupe, ou évoluer vers une liste d'outils « unifiés » (ex : fusionner ACADIE et COMODORE pour les études d'impact dosimétrique ?)**
- **Big Data : réflexions pour intégrer les outils de Data Science (logiciel KNIME) avec par exemple : gestion des données très nombreuses type rose des vents (on passe de plusieurs jours de travail à qq heures)**

# 05

## Conclusion

# Conclusion

**Choix des modèles : simples ou perfectionnés ? ça dépend du cas de figure étudié et du contexte. Exemple en dispersion atmosphérique avec les modèles Gaussien (simples et efficaces, adaptés le plus souvent) ou les modèles 3D (plus complexes et adaptés à des situations très précises, mais très consommateurs de données de base)**

**Apporter de la fiabilité en automatisant des tâches répétitives**

**Cela reste une affaire de spécialistes voire d'experts**



# Alors, une solution miracle ?

ou

- ▶ « *Tous les modèles sont faux, mais certains sont utiles* » **Georges BOX**



Les deux approches sont en fait complémentaires, et peuvent permettre d'apporter une preuve supplémentaire de l'absence d'impact.



**orano**

Donnons toute sa valeur au nucléaire