CIRM
Un outil de calcul automatique des impacts radiologiques de la marine

A. OHIER – L. TENAILLEAU – B. POURTEAU

Qui sommes-nous ?

Mission : arrêté du 11 mars 1999 (art. 2)

- Contribuer à l'enseignement militaire supérieur interarmées en assurant la formation des officiers et sous-officiers des trois armées, de la gendarmerie nationale et des services interarmées en matière de sciences, de techniques et de sécurité nucléaires.
- Participer à la formation des ingénieurs et techniciens relevant de la direction générale de l'armement et à celle des ingénieurs relevant d'organismes civils travaillant sur des programmes nucléaires militaires.

Domaines concernés

- Propulsion nucléaire
- Armes nucléaires
- Maîtrise des risques
- Recherche, études et développement
  - Groupe d'Etudes Atomiques
  - Laboratoire de Physique Nucléaire





Missions

- Développement et validation des méthodes de mesure de la radioactivité dans l'environnement et les rejets des installations nucléaires de la marine
- **Etude de la diffusion et des transferts des radionucléides depuis le point de rejet vers l'environnement**
- **Validation des calculs d'impact dosimétrique des installations nucléaires de la Marine.**
- Synthèse et archivage des données relatives au suivi des rejets et de la surveillance radiologique des sites nucléaires de la Marine

Capacités d'analyses et d'expertises

- Analyse du 3H et du 14C dans les eaux, l'air, les effluents liquides et les matrices biologiques.
- Analyse par spectrométrie gamma d'échantillons solides, liquides et gazeux.
- Analyse par spectrométrie alpha dans les eaux et effluents liquides.
- Comptages alpha/bêta dans les eaux, les filtres et les frottis.

Accréditation/agréments

- Accrédité COFRAC (NF EN ISO/CEI 17025) pour l'analyse du tritium dans les eaux
- Détient 19 agréments de l'ASNR pour l'analyse de la radioactivité dans l'environnement

cofrac ESSAIS

ASNR Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection

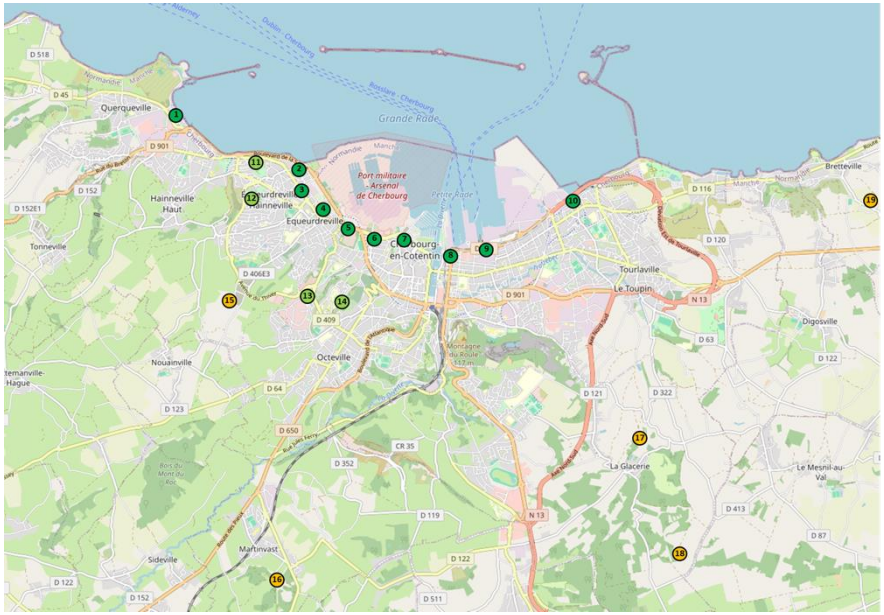
Calculs d'impacts radiologiques

Objectif

- Déterminer l'impact, en Sv, des rejets des installations nucléaires sur les populations alentour
- Remplacer COTRAM et le traitement des calculs d'activités et doses par fichiers Excel

Méthode

- Déterminer les groupes de population autour des installations nucléaires
- Identifier les zones de productions agricoles, maraîchères, …
- Récolter et intégrer les données de rejets des installations (ventilation, concertés, liquides)
- Effectuer les calculs de dispersion afin de déterminer les différentes activités (panache, dépôts, …)
- Calculer les doses efficaces par voies d'exposition



Calculs de dispersion usuels

Les calculs de dispersion consistent à calculer le Coefficient de Transfert Atmosphérique (CTA), relié à l'activité volumique par la relation :

$$CTA = \frac{A_v}{Q}$$

avec Q le débit de rejet.

Modèles actuels

Le CTA est la solution des équations d'advection-diffusion dont la forme la plus simple est une fonction gaussienne dépendant de la position de la source et de la vitesse du vent :

$$CTA = \frac{1}{(2\pi)^{3/2}\sigma_x\sigma_y\sigma_z}\exp\left(-\frac{(x-ut-x_0)^2}{2\sigma_x^2}\right)\exp\left(-\frac{(y-y_0)^2}{2\sigma_y^2}\right)\left[\exp\left(-\frac{(z-z_0)^2}{2\sigma_z^2}\right)+\exp\left(-\frac{(z-z_0)^2}{2\sigma_z^2}\right)\right]$$

Solutions possibles

- Modèle à bouffées ou panache
- Ecarts-types de Doury, Pasquill-Briggs (urbain, rural), …

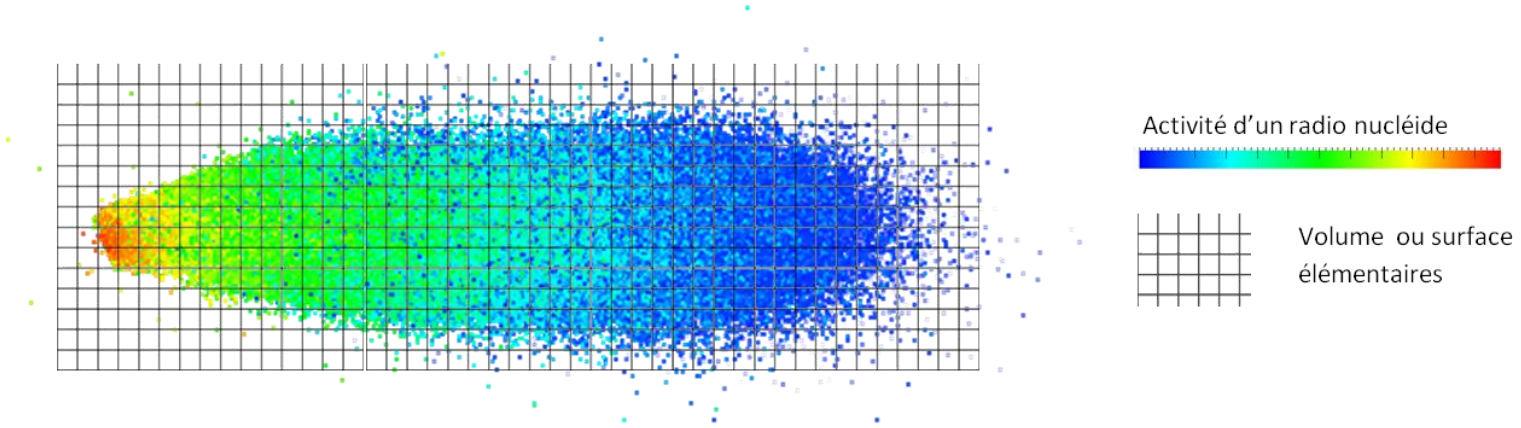
Logiciel utilisé par la marine nationale

- COTRAM (Coefficient de TRansfert Atmosphérique Moyen)

Calculs de dispersion du CIRM

Modèle lagrangien stochastique (Miner & Peirano) : CFD Code_Saturne

- La dispersion est réalisée en calculant les trajectoires des particules injectées dans un maillage tridimensionnel
- Génère une densité de probabilité de présence des particules
- La concentration volumique est reconstruite en multipliant le débit de rejet par la densité de probabilité
- Les dépôts sont reconstruits relativement aux particules ayant atteint la surface



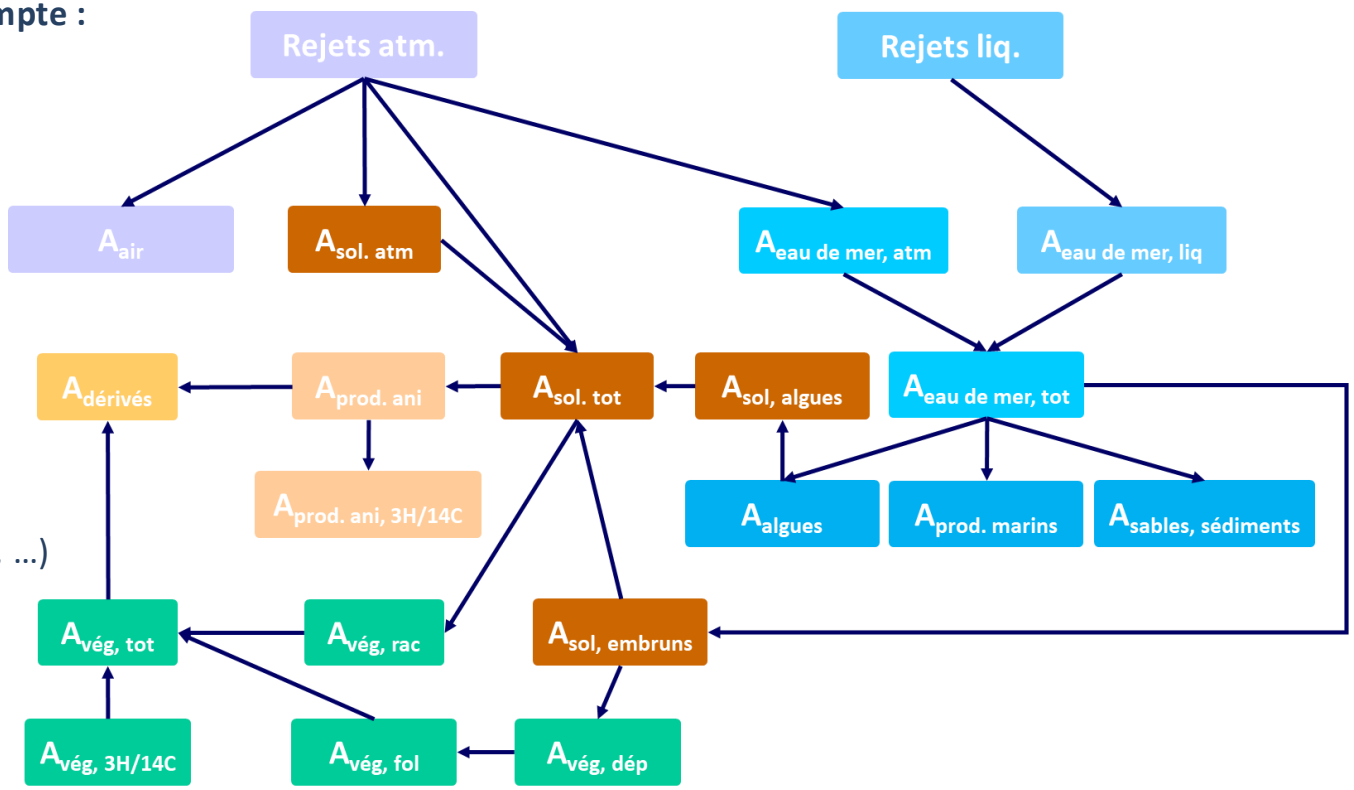
Calcul des activités et doses

Voies d'exposition prises en compte :

- Inhalation
- Exposition externe panache
- Irradiation due aux dépôts
- Ingestion végétaux cultivés, produits, …

Matrices et compartiments :

- Air
- Sols
- Produits végétaux
- Produits animaux
- Produits dérivés (confitures, …)
- Eau de mer
- Produits marins



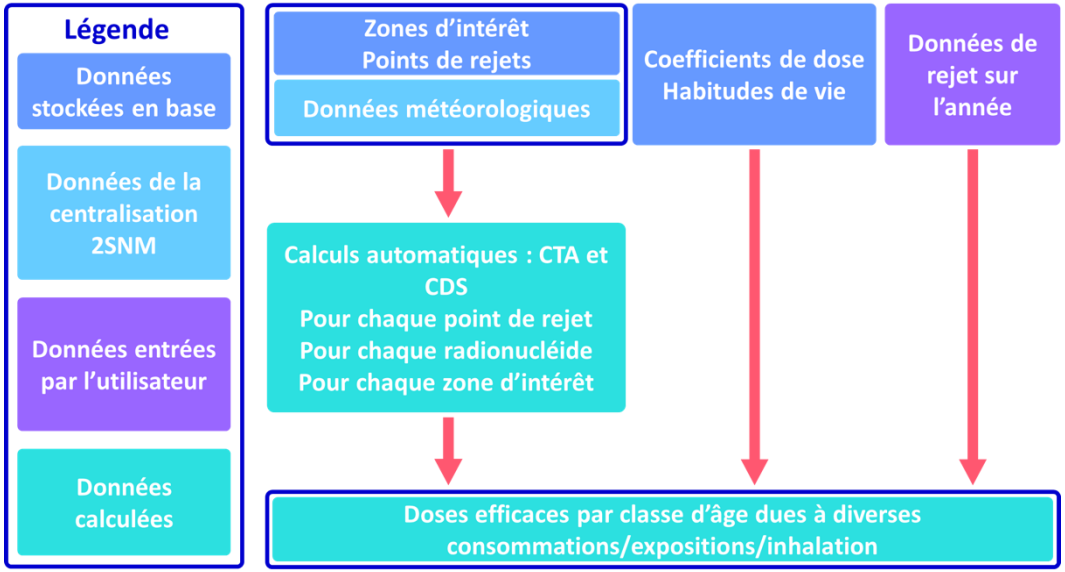
Structure du logiciel CIRM

Objectif

Profiter des modules de calculs du SIAD (Système d'Information et d'Aide à la Décision), utilisé en gestion de crise, pour réaliser les calculs annuels d'impact radiologique

Calcul d'impact en trois temps :

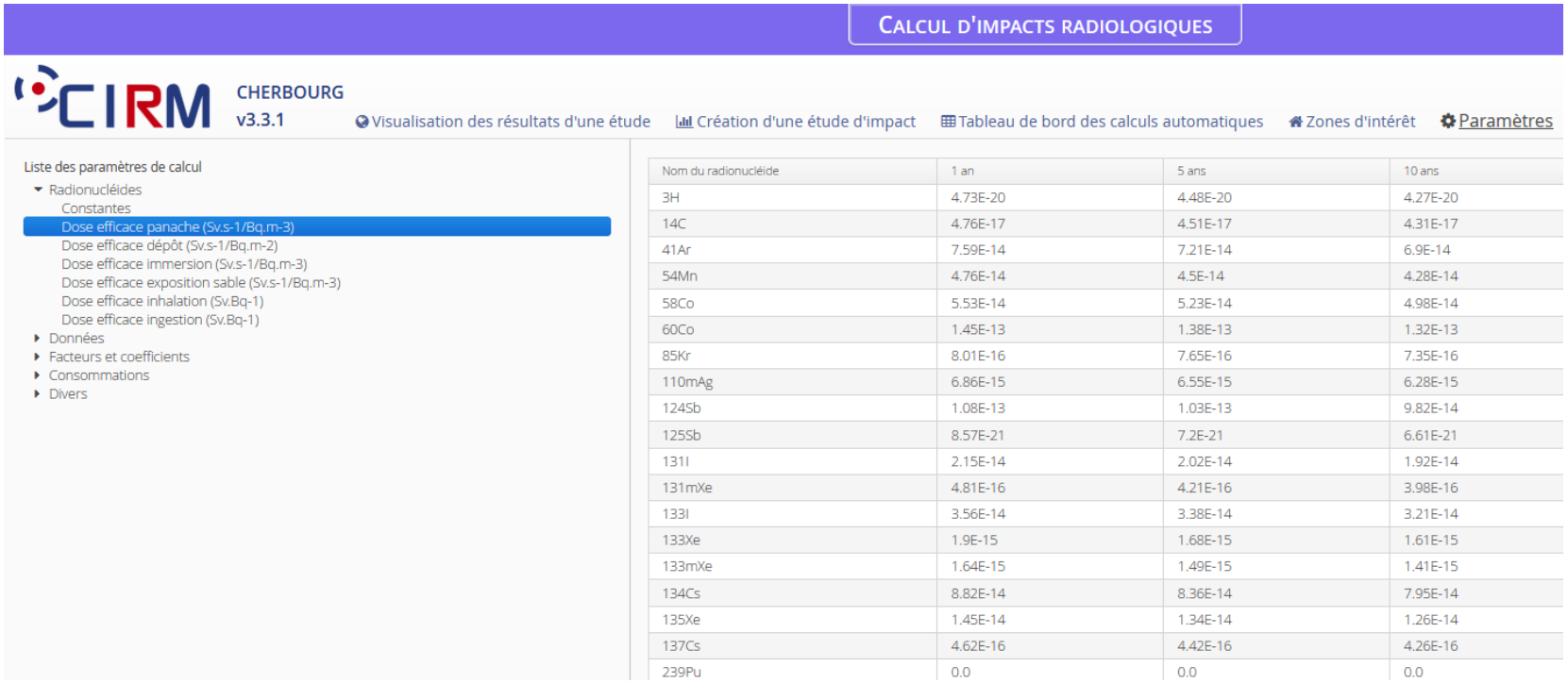
- **Année N-1 :** Validation/révision des données stockées en base (points de rejets, zones d'intérêt, …),
- **Année N :** Lancement des calculs automatiques des CTA et CDS à partir des données météorologiques du Système de Surveillance Nucléaire de la Marine (2SNM),
- **Année N+1 :** Importation des données de rejets effectués durant l'année N et calcul des activités et des doses (dose équivalente à la thyroïde et doses efficaces).



Fonctionnalités du logiciel CIRM

Gestion des paramètres de calculs

- Coefficients de doses (tirés du Federal Guidance 15 et de l'arrêté du 16/11/2023)
- Facteurs de transfert (produits animaux), de concentration (végétaux et produits marins) et coefficients de transformation (produits dérivés)
- Données de consommation
- Définition des zones d'intérêt
- Paramètres divers (vitesses de dépôt,…)



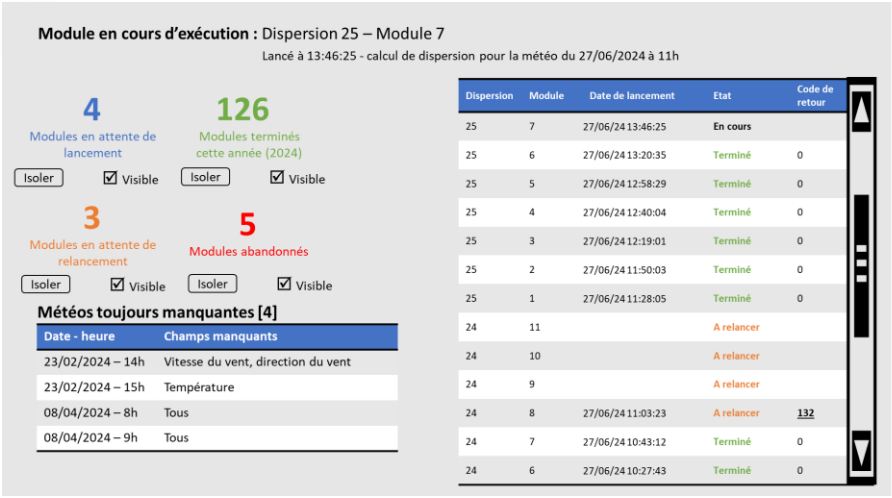
Nom du radionucléide	1 an	5 ans	10 ans
3H	4.73E-20	4.48E-20	4.27E-20
14C	4.76E-17	4.51E-17	4.31E-17
41Ar	7.59E-14	7.21E-14	6.9E-14
54Mn	4.76E-14	4.5E-14	4.28E-14
58Co	5.53E-14	5.23E-14	4.98E-14
60Co	1.45E-13	1.38E-13	1.32E-13
85Kr	8.01E-16	7.65E-16	7.35E-16
110mAg	6.86E-15	6.55E-15	6.28E-15
124Sb	1.08E-13	1.03E-13	9.82E-14
125Sb	8.57E-21	7.2E-21	6.61E-21
131I	2.15E-14	2.02E-14	1.92E-14
131mXe	4.81E-16	4.21E-16	3.98E-16
133I	3.56E-14	3.38E-14	3.21E-14
133Xe	1.9E-15	1.68E-15	1.61E-15
133mXe	1.64E-15	1.49E-15	1.41E-15
134Cs	8.82E-14	8.36E-14	7.95E-14
135Xe	1.45E-14	1.34E-14	1.26E-14
137Cs	4.62E-16	4.42E-16	4.26E-16
239Pu	0.0	0.0	0.0

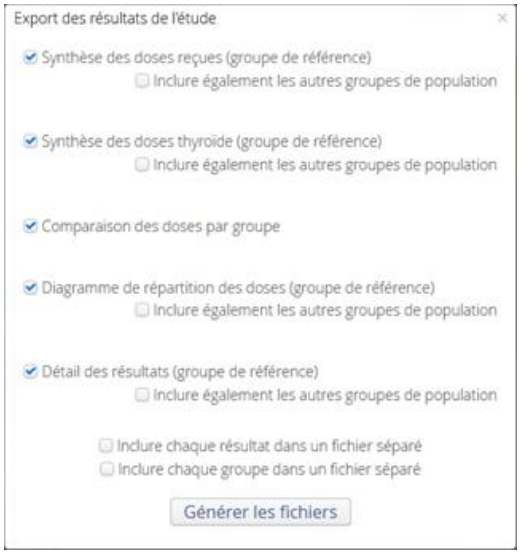
Fonctionnalités du logiciel CIRM

Visualisation de l'étude en cours

Export des résultats par :

- Voie d'exposition
- Comparaison par zone d'intérêt
- Diagramme de répartition des doses





Données de sortie du logiciel CIRM

Synthèse des résultats de doses par voie d'exposition et par classe d'âges

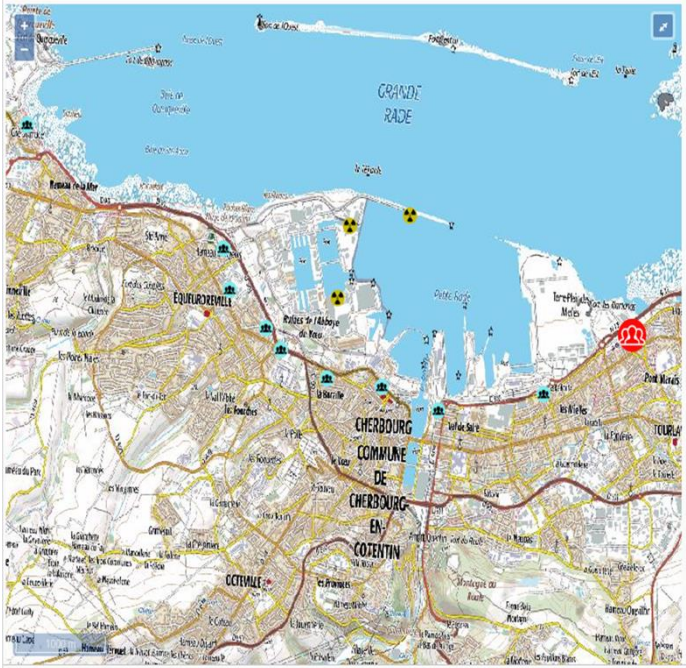
CALCUL D'IMPACTS RADIOLOGIQUES

CIRM CHERBOURG v3.0.2 — Visualisation des résultats d'une étude — Création d'une étude d'impact — Zones d'intérêt

Connecté en tant que admin_ssnm (Administrateur 2SNM)

07/11/2024 16:49:51

Etude d'impact pour l'année 2023



Synthèse des résultats par groupe | Comparaison des groupes

Synthèse des résultats pour un groupe - Les Flamands

	1 an	5 ans	10 ans	15 ans	Adultes
Dose efficace totale (Sv)	**4,51e-05**	4,04e-05	4,33e-05	4,30e-05	4,24e-05
Dose efficace par exposition externe	8,74e-06	7,92e-06	8,13e-06	**8,96e-06**	8,46e-06
Dose efficace due à l'exposition externe sous le panache de rejets gazeux	1,66e-06	2,29e-06	**2,33e-06**	2,28e-06	2,17e-06
Dose efficace due à l'irradiation des dépôts au sol	**2,39e-06**	1,39e-06	1,50e-06	2,36e-06	2,38e-06
Dose efficace due à l'irradiation lors de séjours à la plage	**4,69e-06**	4,25e-06	4,30e-06	4,32e-06	3,90e-06
Dose efficace engagée par exposition interne	**3,63e-05**	3,25e-05	3,51e-05	3,40e-05	3,39e-05
Dose efficace engagée due à l'inhalation du panache de rejets gazeux	**2,88e-06**	2,53e-06	1,94e-06	2,15e-06	2,26e-06
Dose efficace engagée due à l'ingestion de végétaux cultivés (jardins potagers)	**9,47e-06**	8,15e-06	8,69e-06	8,46e-06	8,74e-06
Dose efficace engagée due à l'ingestion de produits animaux	1,48e-05	1,38e-05	**1,56e-05**	1,49e-05	1,44e-05
Dose efficace engagée due à l'ingestion d'eau de boisson	2,35e-06	1,72e-06	2,11e-06	1,99e-06	**2,38e-06**
Dose efficace engagée due à l'ingestion de produits marins	6,82e-06	6,24e-06	**6,85e-06**	6,54e-06	6,17e-06

	1 an	5 ans	10 ans	15 ans	Adultes
Dose engagée totale à la thyroïde due à l'exposition interne (Sv)	3,40e-06	**3,57e-06**	3,40e-06	3,17e-06	3,13e-06
Dose équivalente à la thyroïde due à l'inhalation du panache de rejets	**2,88e-06**	2,53e-06	1,94e-06	2,15e-06	2,26e-06
Dose équivalente à la thyroïde due à l'ingestion de produits végétaux	**1,00e-06**	9,76e-07	7,95e-07	9,57e-07	7,95e-07
Dose équivalente à la thyroïde due à l'ingestion de produits animaux	1,19e-06	**1,60e-06**	1,43e-06	1,16e-06	1,35e-06
Dose équivalente à la thyroïde due à l'ingestion d'eau de boisson	1,53e-07	1,67e-07	1,72e-07	1,37e-07	**1,82e-07**
Dose équivalente à la thyroïde due à l'ingestion de produits marins	6,85e-07	5,50e-07	**7,99e-07**	7,63e-07	5,04e-07

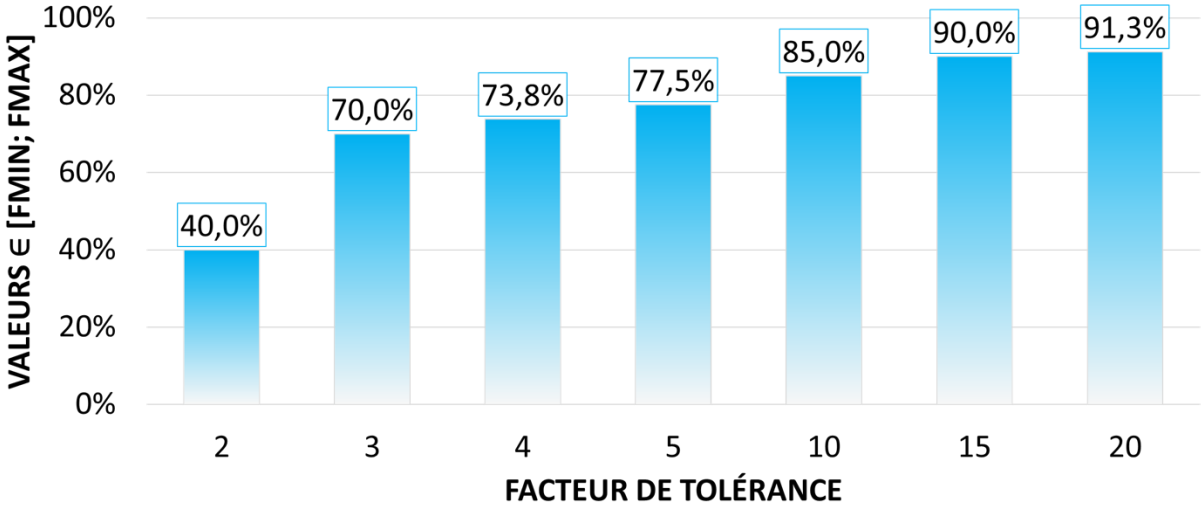
Exporter des résultats de l'étude

Validation des résultats

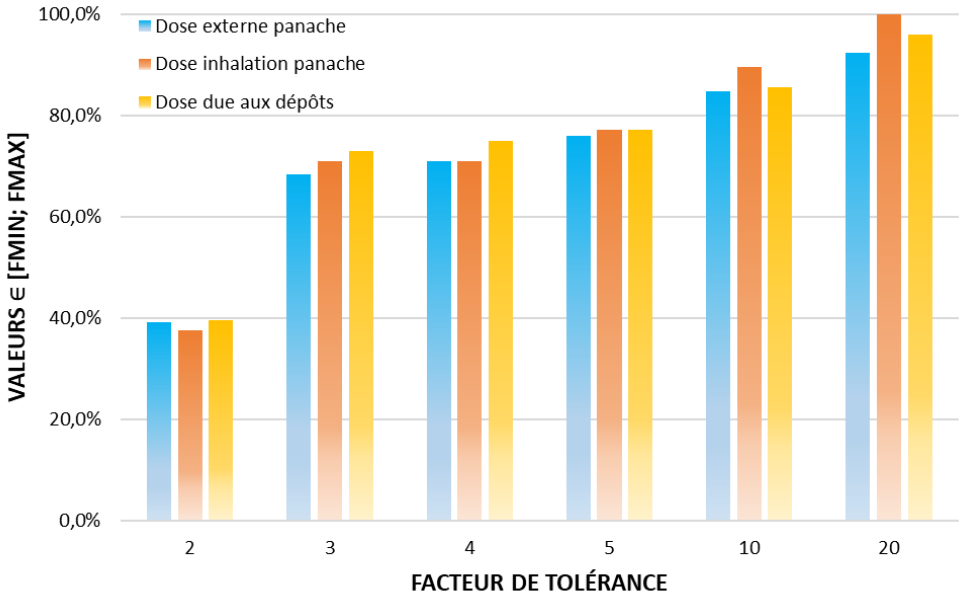
Comparaison des CTA effectuée avec le logiciel COTRAM

$$R_{CTA} = \frac{CTA_{CIRM}}{CTA_{COTRAM}}$$

- Nombre de données test : 32 988 → 3 mois
- Critère d'acceptabilité (facteur 4) : $R_{CTA} \in [0{,}25; 4]$
- 73,8% des valeurs validées à moins d'un facteur 4 entre les deux modèles



Résultats sensiblement similaires pour les doses : 70% de similitude à moins d'un facteur 3 entre COTRAM et CIRM



Finalisation et validation complète du logiciel prévues à l'automne 2026
Mise en opération prévue au 1er janvier 2027

Merci pour votre attention