



# CO<sub>2</sub>InnO - Laboratoire vivant pour une région d'innovation pilote neutre en CO<sub>2</sub>

**Nicolas Arbor**  
**Paul Robineau**  
**Aurelio Labat**

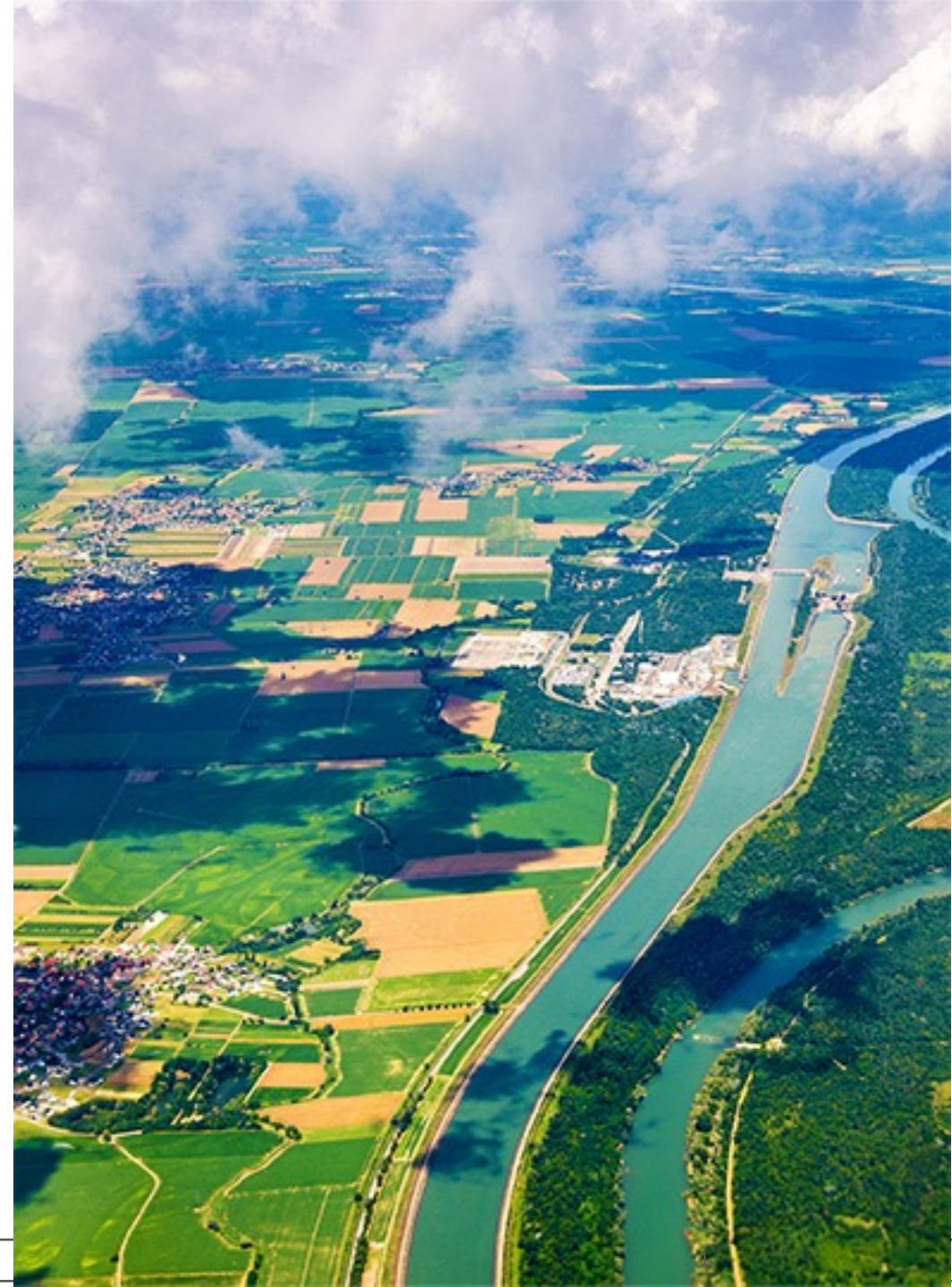


**Interreg**



Co-funded by the European Union

France - Germany - Switzerland (Upper Rhine)



# Le principe du projet (2022-2025)

universität freiburg

Universität de Strasbourg

CNRS KIT

UNIVERSITÉ HAUTE-ALSACE

HKA

HOCHSCHULE KEHL UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

TRION

badenova

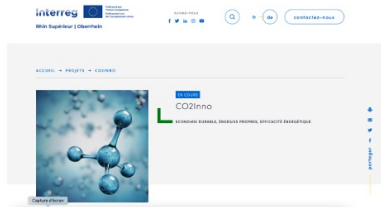
KLIMA PARTNER OBERRRHEIN

Stadt Offenburg

ALSACE

## CO2Inno

Laboratoire vivant pour une région d'innovation pilote neutre en CO2 – Développement de solutions énergétiques et de mobilité



<https://www.interreg-rhin-sup.eu/projet/co2inno-laboratoire-vivant-pour-une-region-dinnovation-pilote-neutre-en-co2-developpement-de-solutions-energetiques-et-de-mobilite/>

L'objectif général et donc le résultat du projet CO2Inno est de créer un laboratoire réel qui accompagne et fait avancer le processus de transformation vers une région du Rhin supérieur climatiquement neutre par la démonstration d'approches concrètes de solutions énergétiques. Dans ce contexte, les centrales de cogénération à base d'hydrogène pour la production d'électricité et de chaleur sont au cœur du projet. La production d'énergie décentralisée qui en résulte est en outre couplée à des réseaux de stations de recharge pour promouvoir l'e-mobilité.

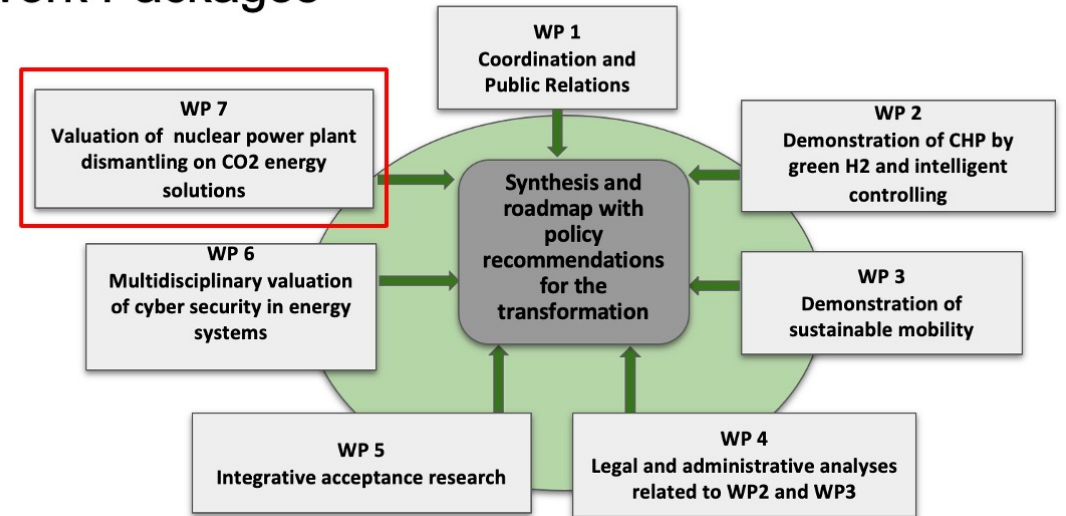
Interreg



Cofinancé par l'Union Européenne  
Kofinanziert von der Europäischen Union

Rhin Supérieur | Oberrhein

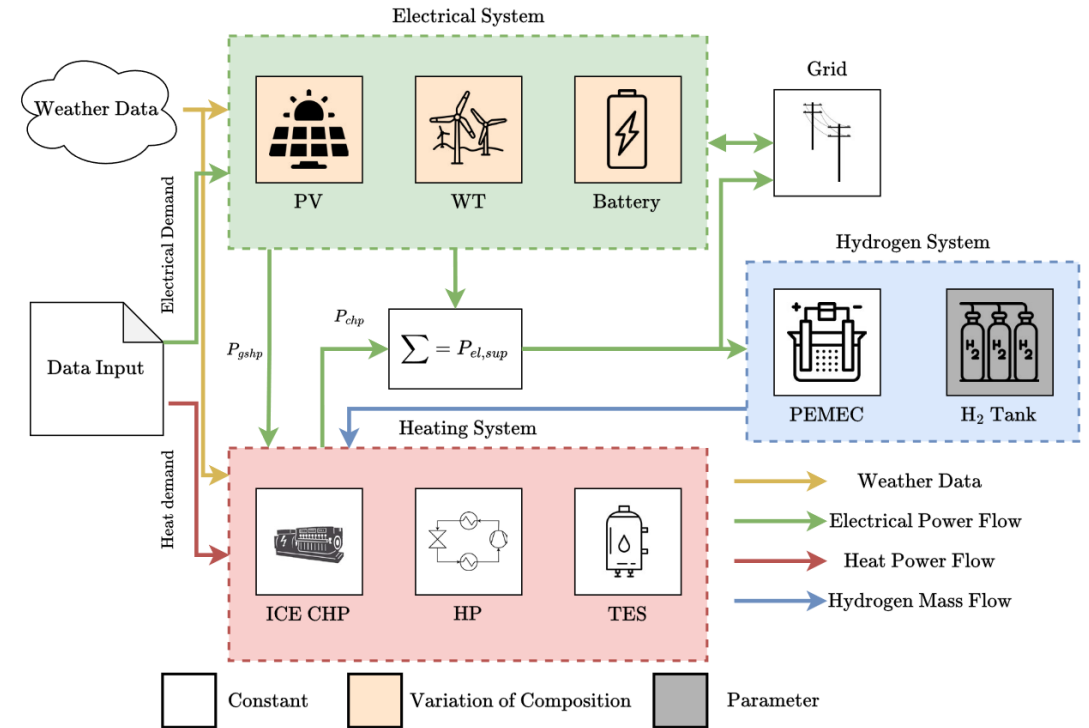
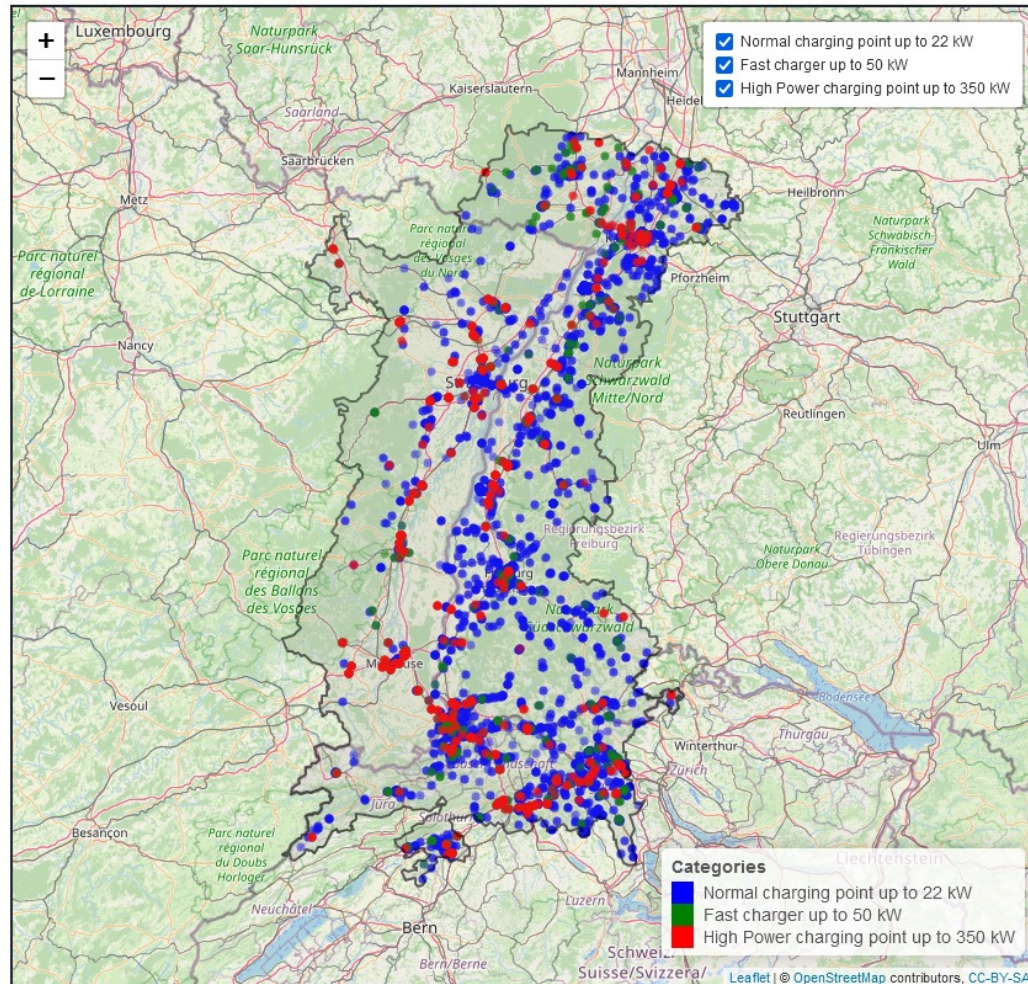
## Work Packages





# Exemples de travaux des autres *work packages* (WP)

Carte des stations de recharge pour voitures électriques



Modélisation de faisabilité d'un système énergétique décentralisé *via* Open Modelica (données de la ville d'Offenburg)

→ Évaluation environnementale par ACV des scénarios en cours dans notre WP

# Le work package 7

## Membres et Institutions :

- Nicolas Arbor (IPHC – Unistra)
- Dominique Badariotti (LIVE – Unistra)
- Frédérique Berrod (CEIE – Unistra) (WP7/WP4)
- Maria Boltoeva (IPHC - CNRS)
- François Chabaux (ITES – Unistra)
- Fanny Greullet (LIVE – Unistra)
- Michal Kozderka (ICube – Unistra)
- Aurélio Labat (IPHC-LIVE – IR Interreg)
- Gaetana Quaranta (IPHC – Unistra)
- Paul Robineau (IPHC – Post-doctorat Interreg)
- Bertrand Rose (Icube – Unistra)
- Thomas Schellenberger (CERDACC – UHA) (WP7/WP4)



## • Objectifs :

- 1) évaluer les impacts environnementaux et le cadre juridique de différents scénarios de transition du site nucléaire de Fessenheim, en mettant l'accent sur la réutilisation des infrastructures et le recyclage des matériaux
- 2) définir les caractéristiques principales d'un futur observatoire du démantèlement (complémentarité recherche académique, industriels, organismes de contrôle, ...)

## • Outils : Analyse de cycle de vie (ACV), littérature scientifique, textes réglementaires, enquêtes



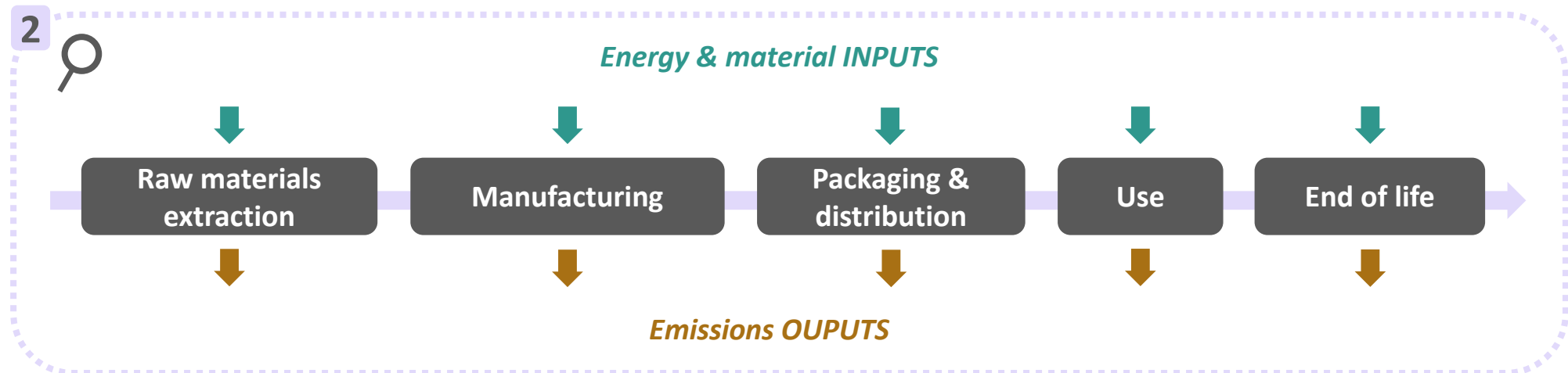
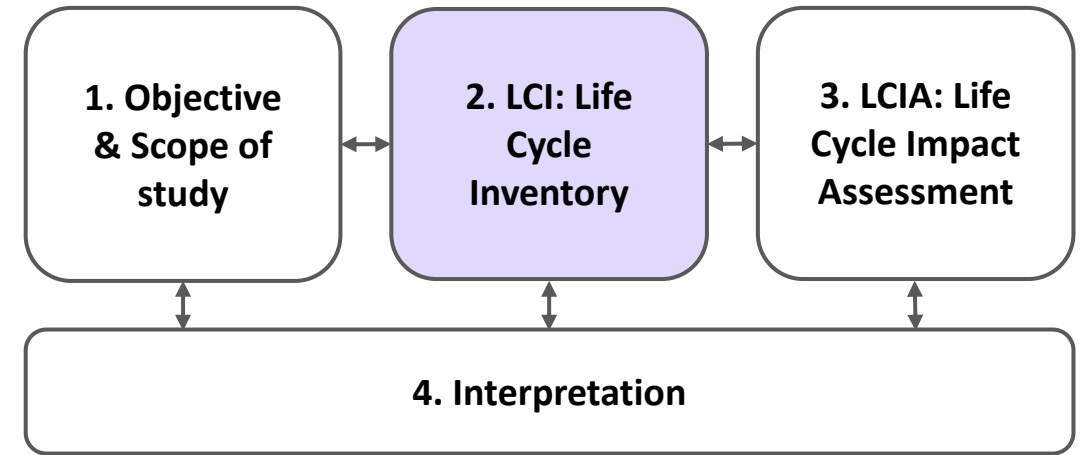
### Projet Technocentre EDF:

- recyclage métaux radioactifs TFA (vs stockage déchets)
- réutilisation infrastructure du CNPE

# Méthodologie de l'analyse du cycle de vie (ACV / LCA)

Méthode d'évaluation d'impacts environnementaux

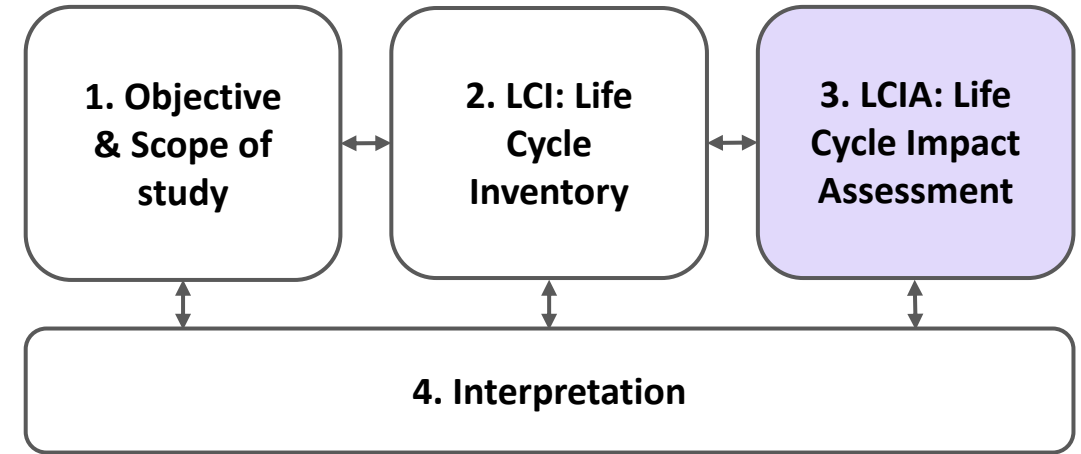
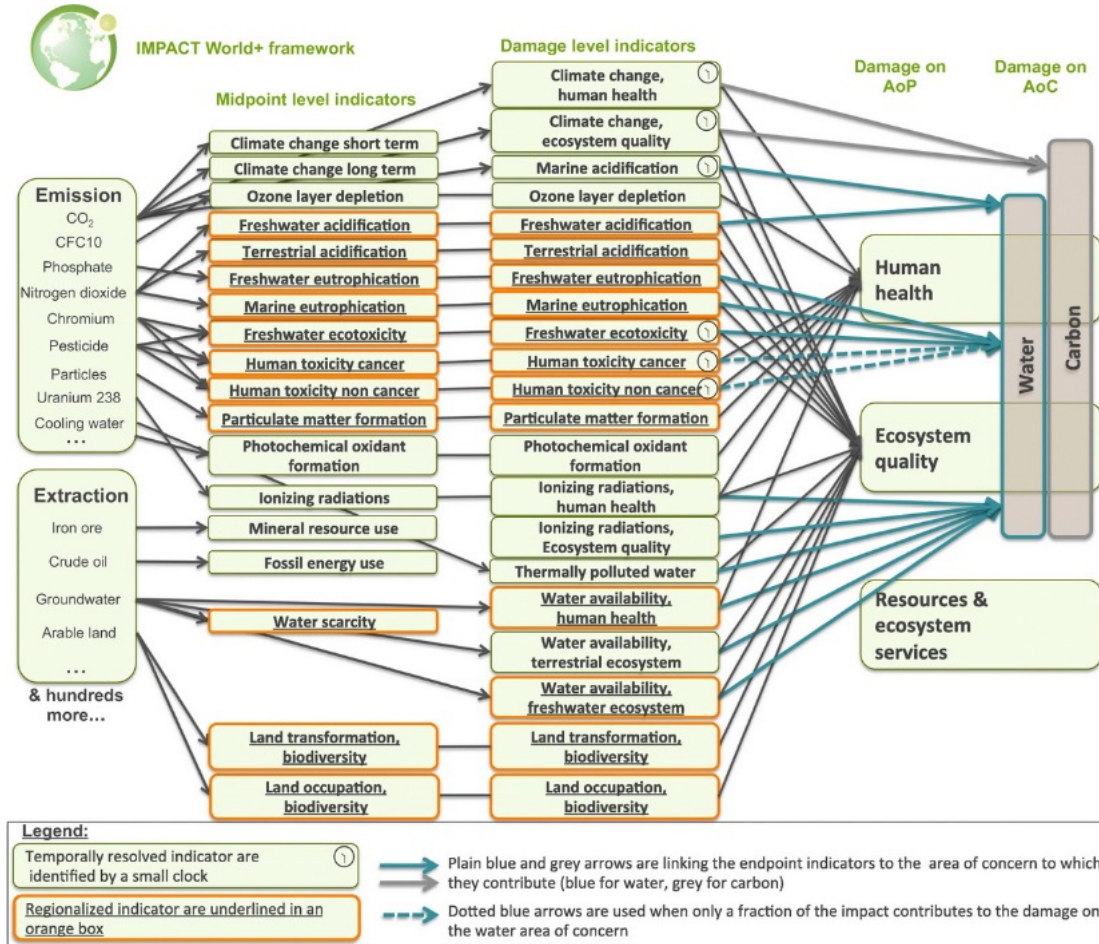
- Applicable à tout système / produit / service
- Portant sur l'ensemble du cycle de vie
  - Multicritères & quantitative
  - Normalisée (ISO 14 040/44)





# Calcul des impacts environnementaux

Bulle et al. 2019. *IMPACT World+: a globally regionalized life cycle impact assessment method*. Int J Life Cycle Assess 24, 1653–1674. DOI.



**3** 🔍

Pour toute substance  $i$  émise ou extraite d'un compartiment environnemental  $e$

$$CF_i^e = FF_i^e \cdot XF_i^e \cdot EF_i^e$$

Characterization Factor = Fate Factor · Exposure Factor · Effect Factor

$$I = \sum CF_i^e \cdot M_i^e$$

Impact score = Sum of Characterization Factor · Amount

# ACV pilote sur le démantèlement de la centrale

Peu d'études sur l'impact environnemental d'un démantèlement :

- Focus sur la construction/opération, sur l'impact changement climatique
- Seulement 2 études ACV spécifiques au démantèlement de centrale nucléaire

Wallbridge et al. 2013

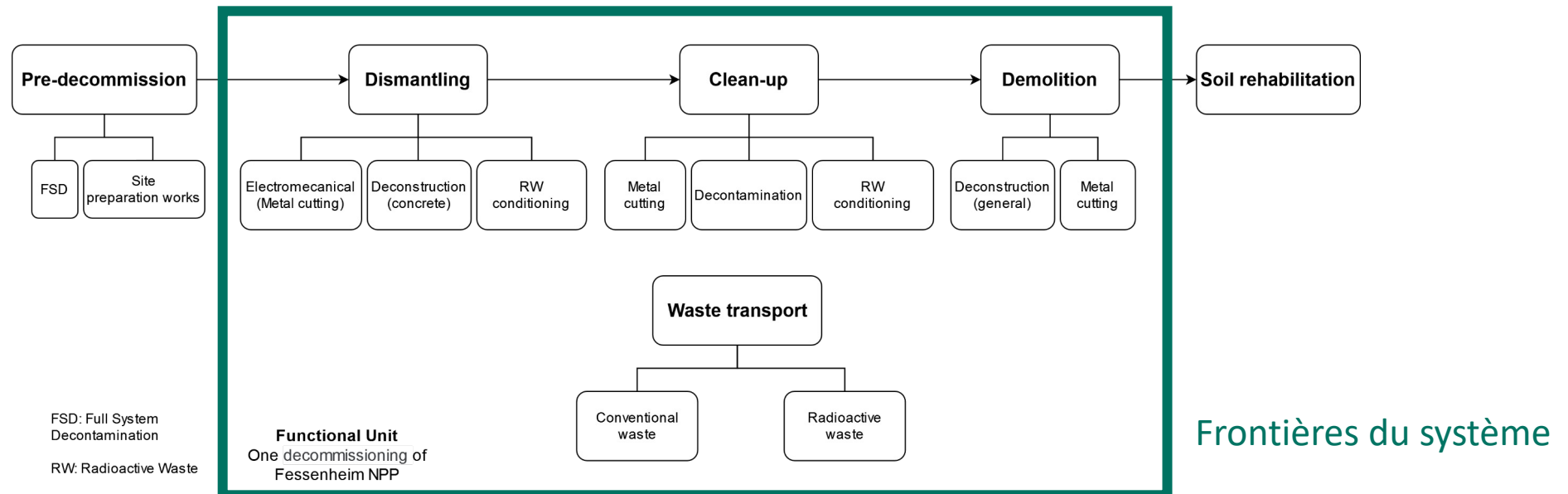
Seier & Zimmerman 2014

À partir des premiers résultats de M. Iguidier (stage OHM Fessenheim) :

*Life cycle assessment of an upcoming nuclear power plant decommissioning: the Fessenheim case study from public data.*

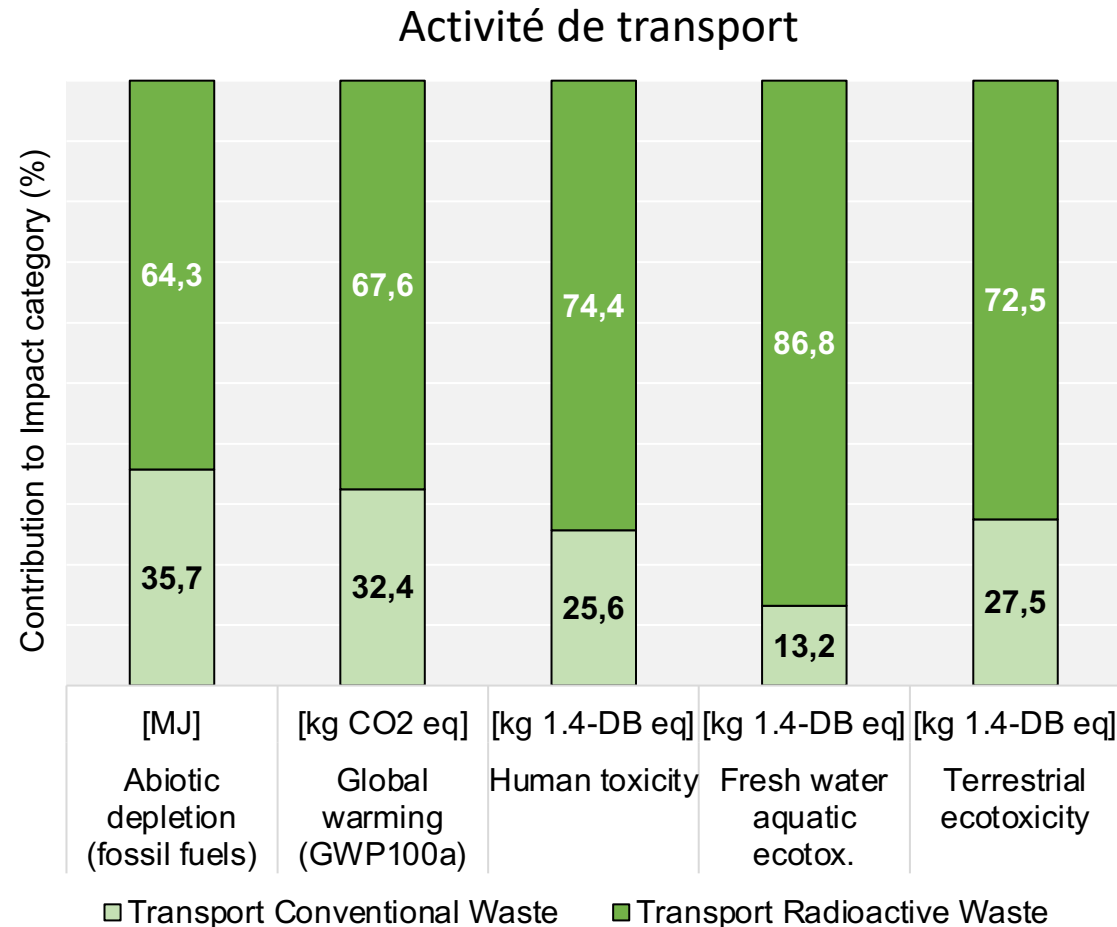
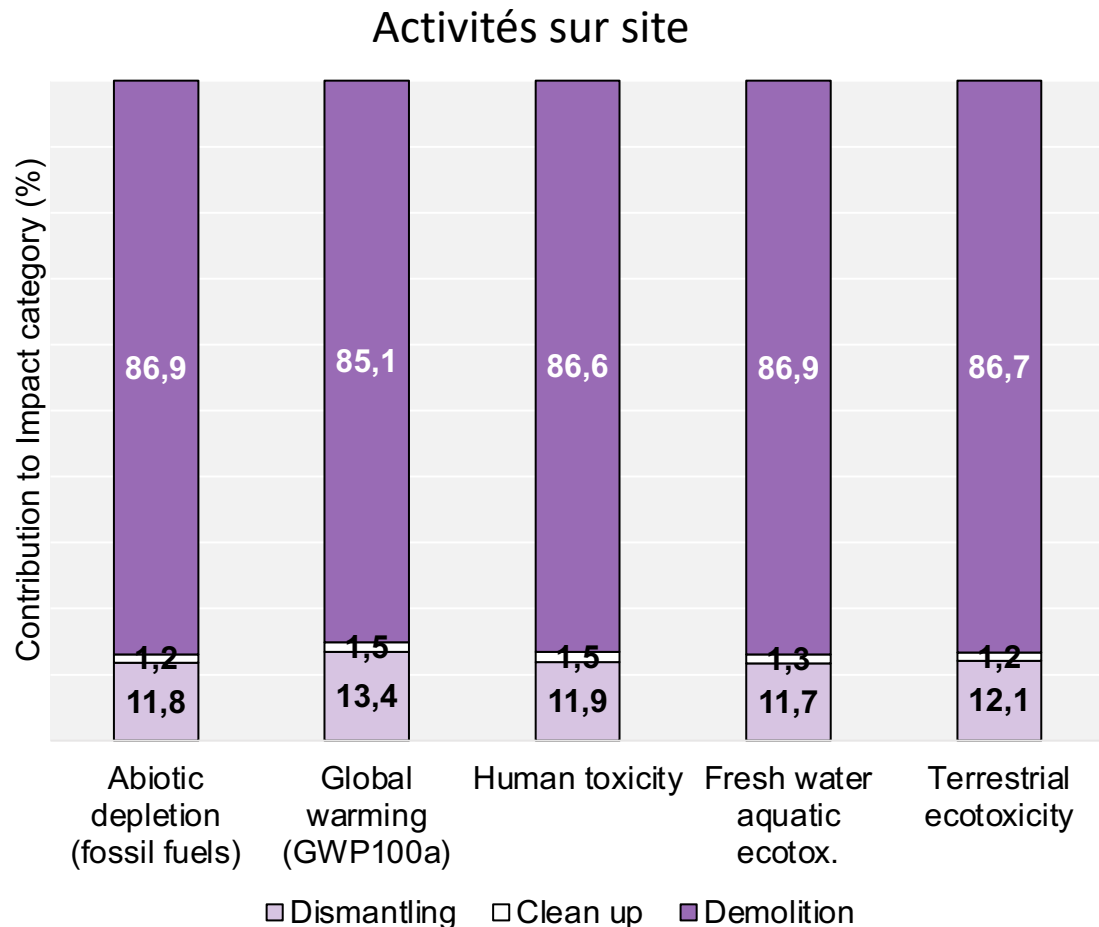
Iguidier M., Robineau P., Kozderka M., Boltoeva M., Quaranta G.

Int J Life Cycle Assess (2024). [DOI](#).



# Répartition générale des impacts

Iguider M., Robineau P., et al., 2024. *Life cycle assessment of an upcoming nuclear power plant decommissioning: the Fessenheim case study from public data*. Int J Life Cycle Assess. 29.7. [DOI](#).

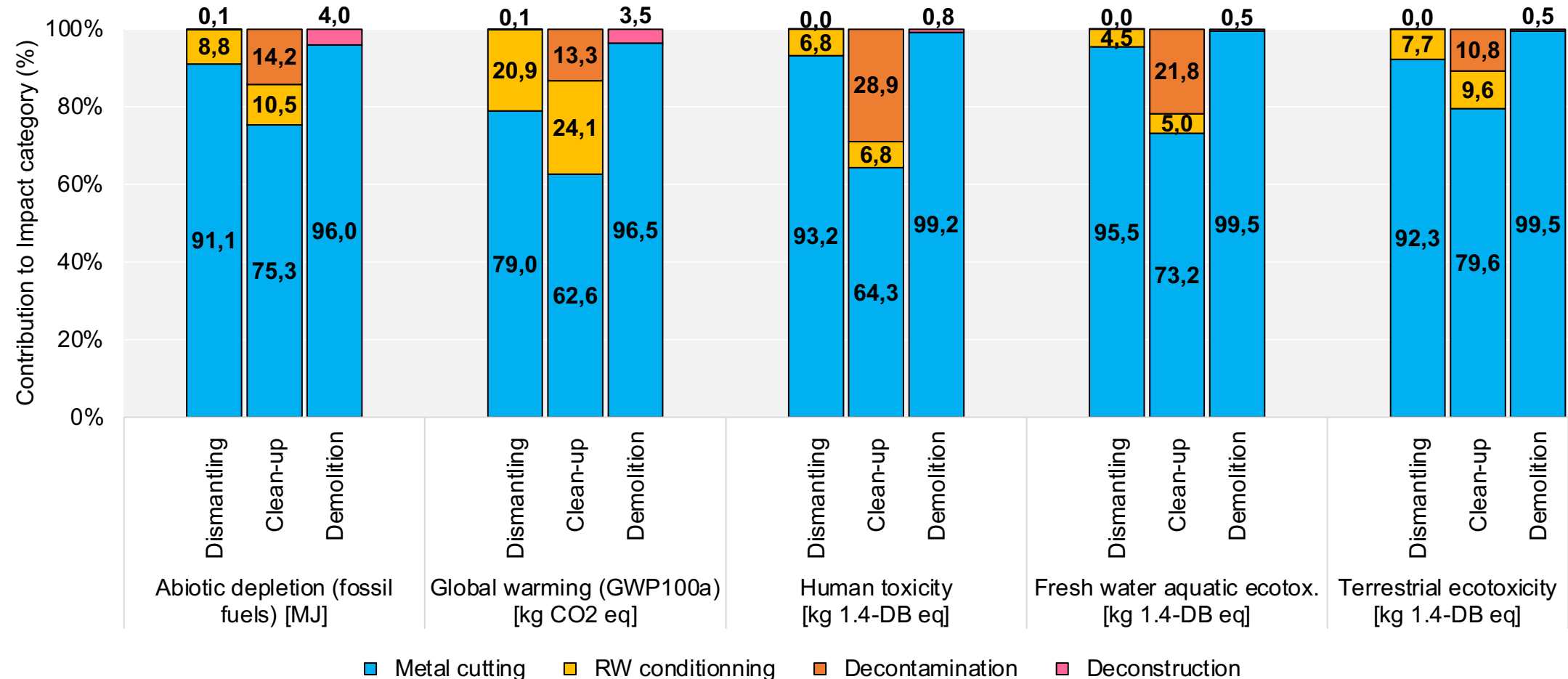


Méthode de calcul d'impact : CML-IA baseline



# Contributions pour les activités sur site

Iguider M., Robineau P., et al., 2024. *Life cycle assessment of an upcoming nuclear power plant decommissioning: the Fessenheim case study from public data*. Int J Life Cycle Assess. 29.7. [DOI](#).



Méthode de calcul d'impact : CML-IA baseline

# Analyse de sensibilité

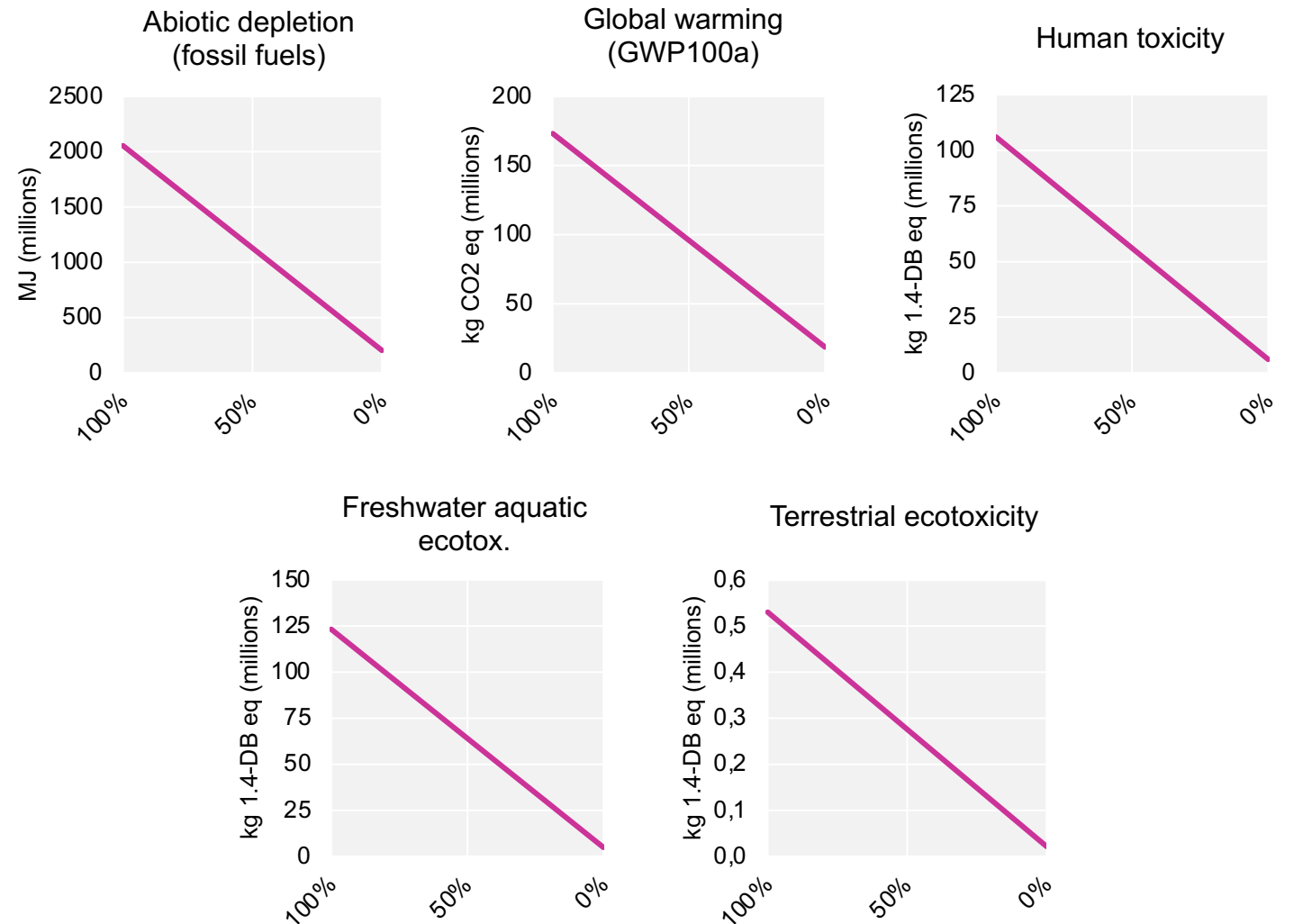
Iguider M., Robineau P., et al., 2024. *Life cycle assessment of an upcoming nuclear power plant decommissioning: the Fessenheim case study from public data*. Int J Life Cycle Assess. 29.7. [DOI](#).

## Hypothèses :

- Proportions relatives de découpes Oxy-acétylène / Plasma stables (découpe thermique)
- MAIS : remplacement découpe thermique par découpe mécanique

## Impacts évités :

- Parts 50/50 : ~ 45-48 %
- Parts 0/100 : ~ 89-96 %



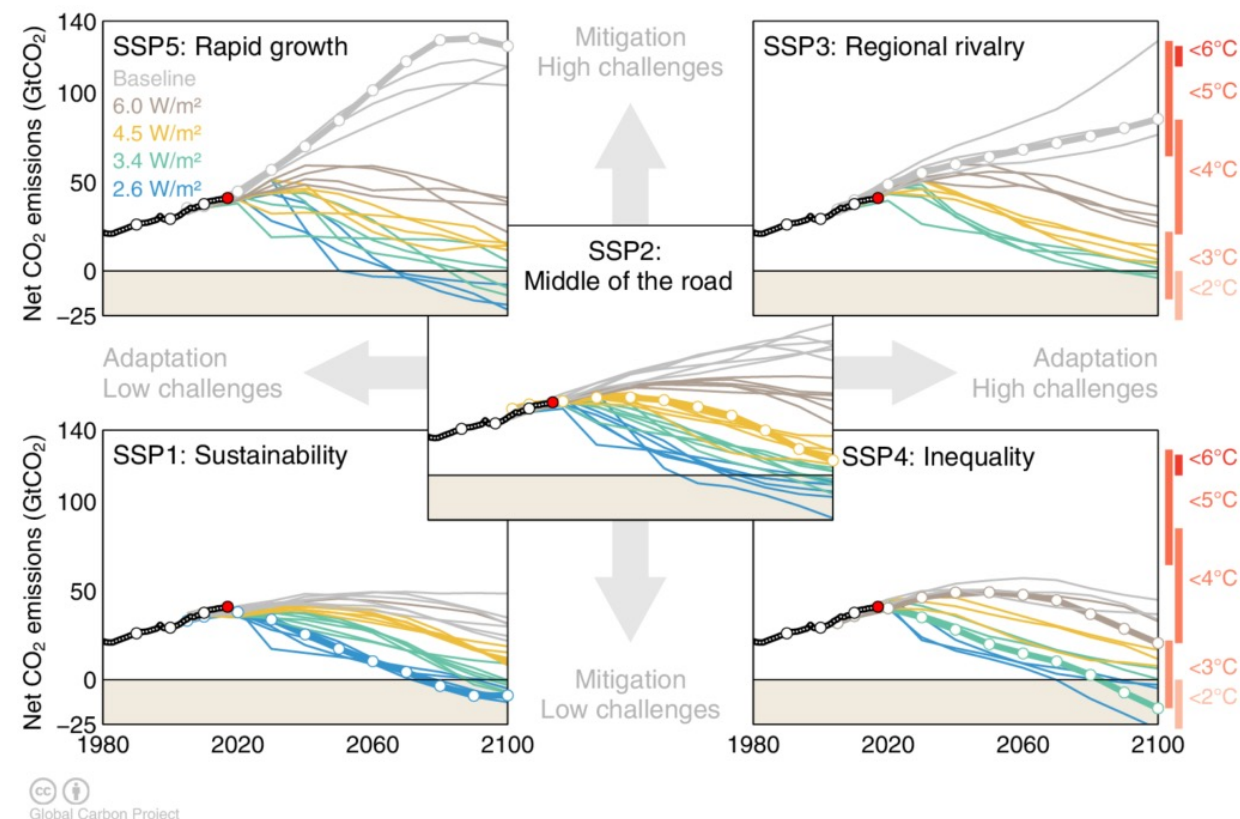
Méthode de calcul d'impact : CML-IA baseline

# Extension vers l'ACV prospective (en cours)

« *Futurisation* » de la base de donnée utilisée pour les calculs (ecoinvent) via scénarios :

Prise en compte des tendances socioéconomiques globales :

- Activité économique
- Population
- Évolutions technologiques
- Consommation de matières premières
- Politiques publiques de transition
- Émissions
- etc.



**Premiers résultats sur le processus des transports, en cours d'application au démantèlement complet**

# Impacts radiologiques du démantèlement

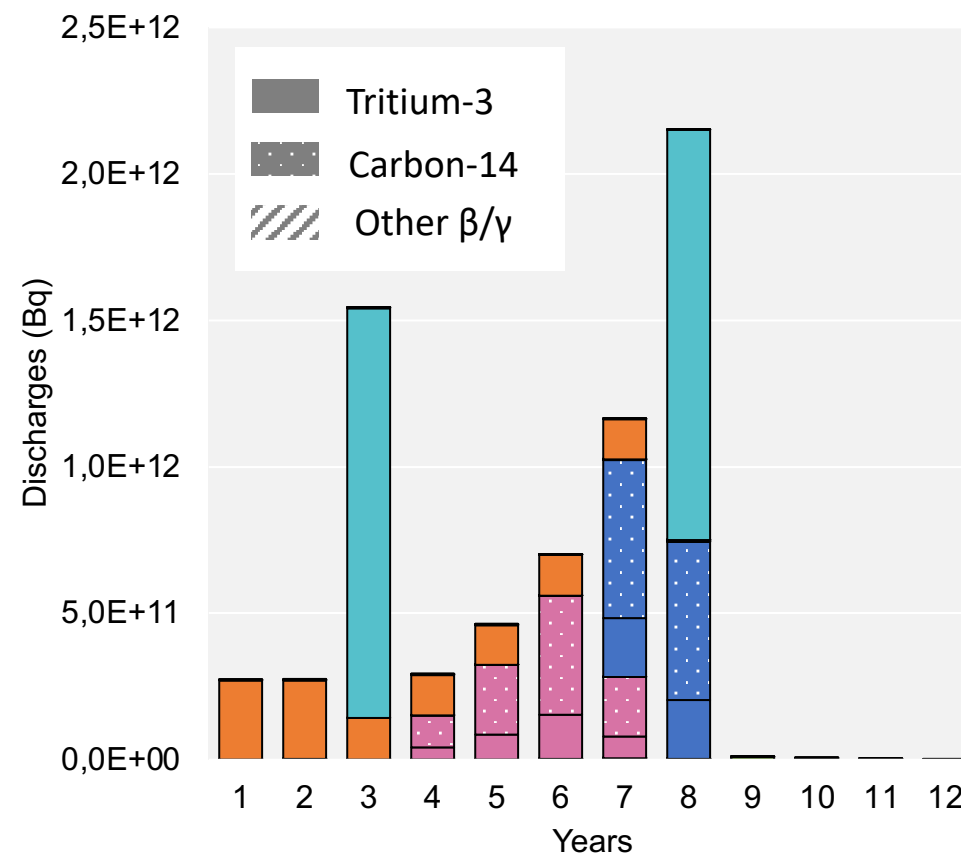
Robineau P., et al., 2024. *Radiological Impact of the Fessenheim Nuclear Power Plant Decommissioning Through Prospective Life-Cycle and Risk Assessment Approaches*. Science of The Total Environment. [DOI](#).  
(Acc. W minor revisions)

## À partir de l'étude d'impact réglementaire de EDF :

- Inventaire annualisé des émissions radioactives du démantèlement
- Résultats d'impacts selon une approche d'évaluation des risques (ER)

## Étude comparative des approches ACV/ER :

- Mise à l'épreuve des méthodes de calcul d'impact développées pour l'ACV
- Recommandation méthodologiques



Émission :

(A) Atmosphérique

(L) Liquide

■ Air Metal cutting (A)

■ Water Metal cutting (L)

■ Regular exploitation (A)

■ Water Metal cutting (A)

■ Cleaning for clearance (A)

■ Regular exploitation (L)



# Impacts *midpoint* (risques, en Sv)

Robineau P., et al., 2024. *Radiological Impact of the Fessenheim Nuclear Power Plant Decommissioning Through Prospective Life-Cycle and Risk Assessment Approaches*. Science of The Total Environment. [DOI](#).  
(Acc. W minor revisions)

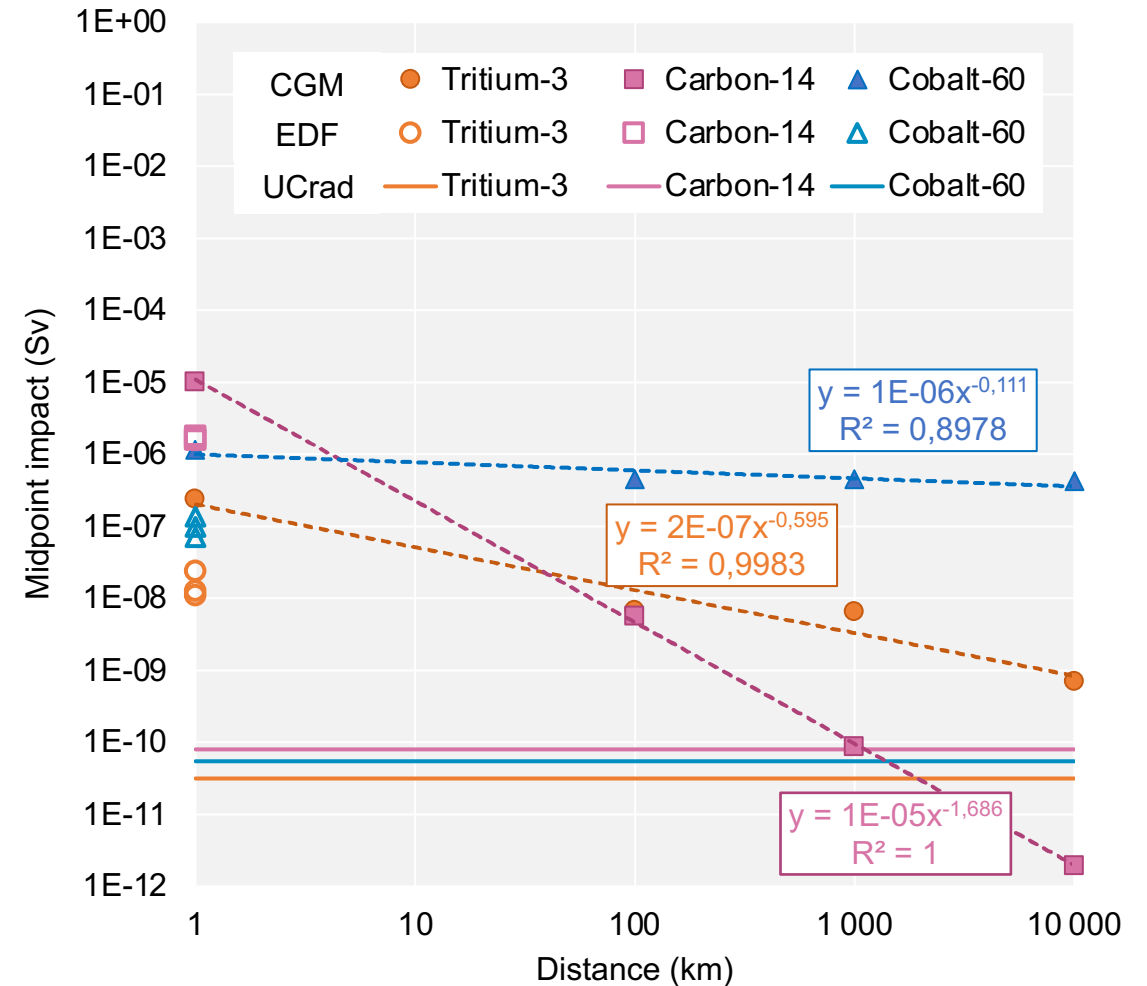
## 3 radionucléides dominants

Variation des contributions selon la méthode utilisée

### CGM 1 km > EDF (ER) :

- Surestimation intrinsèque de CGM
- Même via CGM : dose efficace 400 fois inférieure à l'exposition annuelle moyenne française (4,5 mSv)

Method	Relative contributions (%)			Total (Sv)
	Tritium-3	Carbon-14	Cobalt-60	
EDF (ER)	0.66-1.23	91.23-94.53	4.22-7.63	$1.77 \cdot 10^{-6}$
CGM 1 km	2.04	87.36	9.98	$1.16 \cdot 10^{-5}$
CGM 100 km	1.44	1.22	97.31	$4.64 \cdot 10^{-7}$
CGM 1000 km	1.42	0.02	98.54	$4.56 \cdot 10^{-7}$
CGM 10 000 km	0.17	$5 \cdot 10^{-4}$	99.82	$4.22 \cdot 10^{-7}$
UCrad	18.94	48.04	32.86	$1.66 \cdot 10^{-10}$



# Impacts *endpoint* (dommages, en DALYs) d'après UCrad

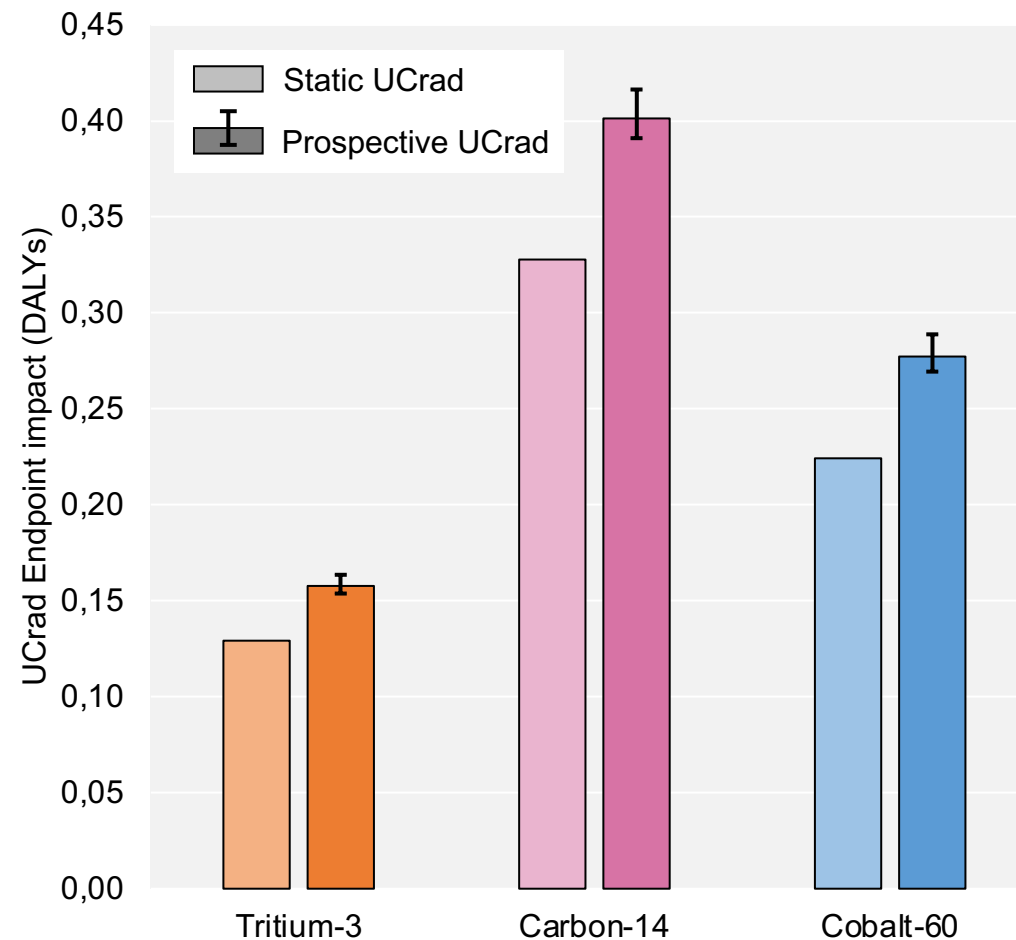
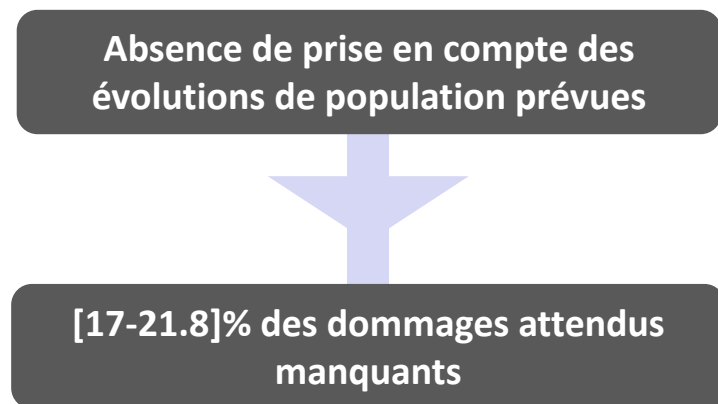
Robineau P., et al., 2024. *Radiological Impact of the Fessenheim Nuclear Power Plant Decommissioning Through Prospective Life-Cycle and Risk Assessment Approaches*. Science of The Total Environment. [DOI](#).  
(Acc. W minor revisions)

## Static UCrad

Facteurs de caractérisation (CFs) originaux  
(Paulillo et al. 2023)

## Prospective UCrad

Utilisation de données prospectives de population pour modifier les CFs



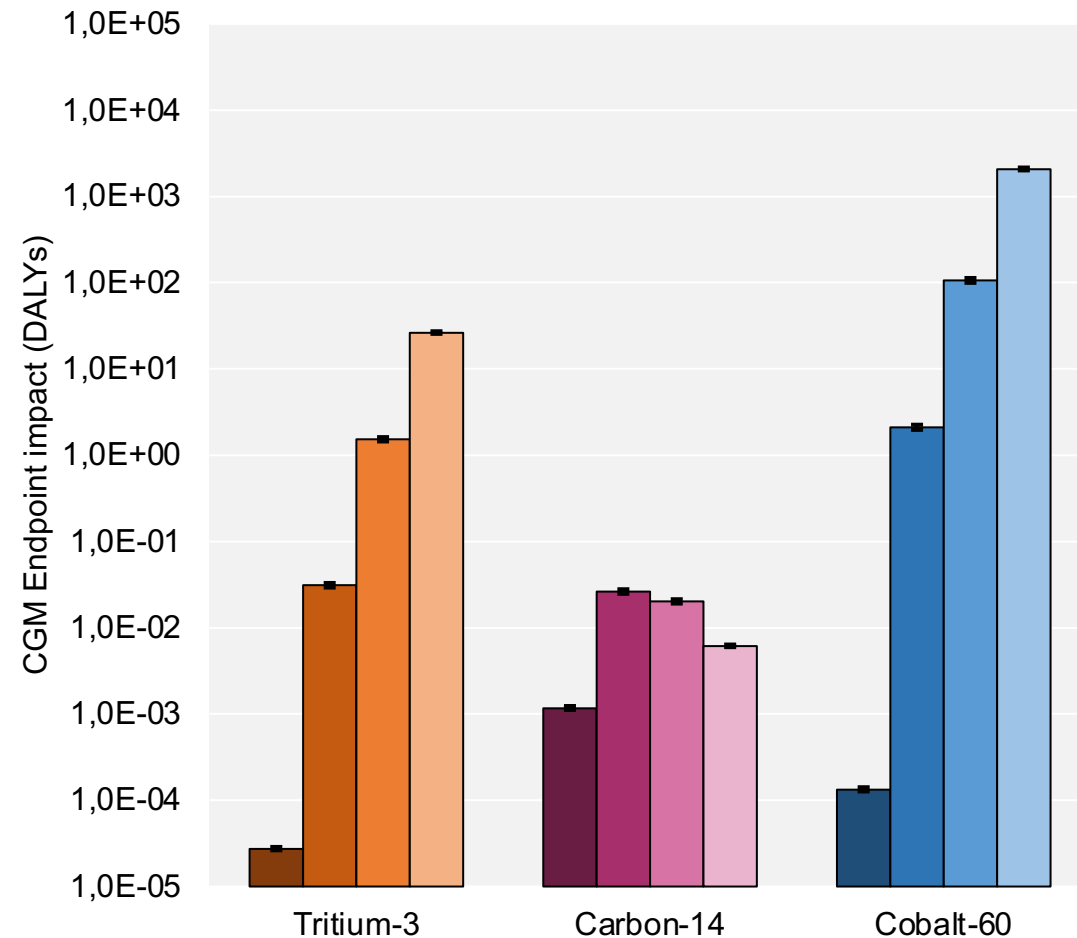
# Impacts *endpoint* (dommages, en DALYs) d'après CGM

Robineau P., et al., 2024. *Radiological Impact of the Fessenheim Nuclear Power Plant Decommissioning Through Prospective Life-Cycle and Risk Assessment Approaches*. Science of The Total Environment. [DOI](#).  
(Acc. W minor revisions)

## Prospective CGM 1 – 10 000 km

Population de chaque intervalle spatial :

- Extraite uniformément
- Traitée comme agrégée à la frontière la plus éloignée
- ➔ Résultats eq. à une estimation minimale
- ➔ Peut sous estimer l'impact jusqu'à un facteur 8



# Merci de votre attention !

**Nicolas Arbor**

IPHC - Institut pluridisciplinaire Hubert Curien  
nicolas.arbor@iphc.cnrs.fr

**Paul Robineau**

IPHC - Institut pluridisciplinaire Hubert Curien  
paul.robineau@iphc.cnrs.fr

**Aurelio Labat**

Labo  
aurelio.labat@iphc.cnrs.fr



France – Germany – Switzerland (Upper Rhine)

