

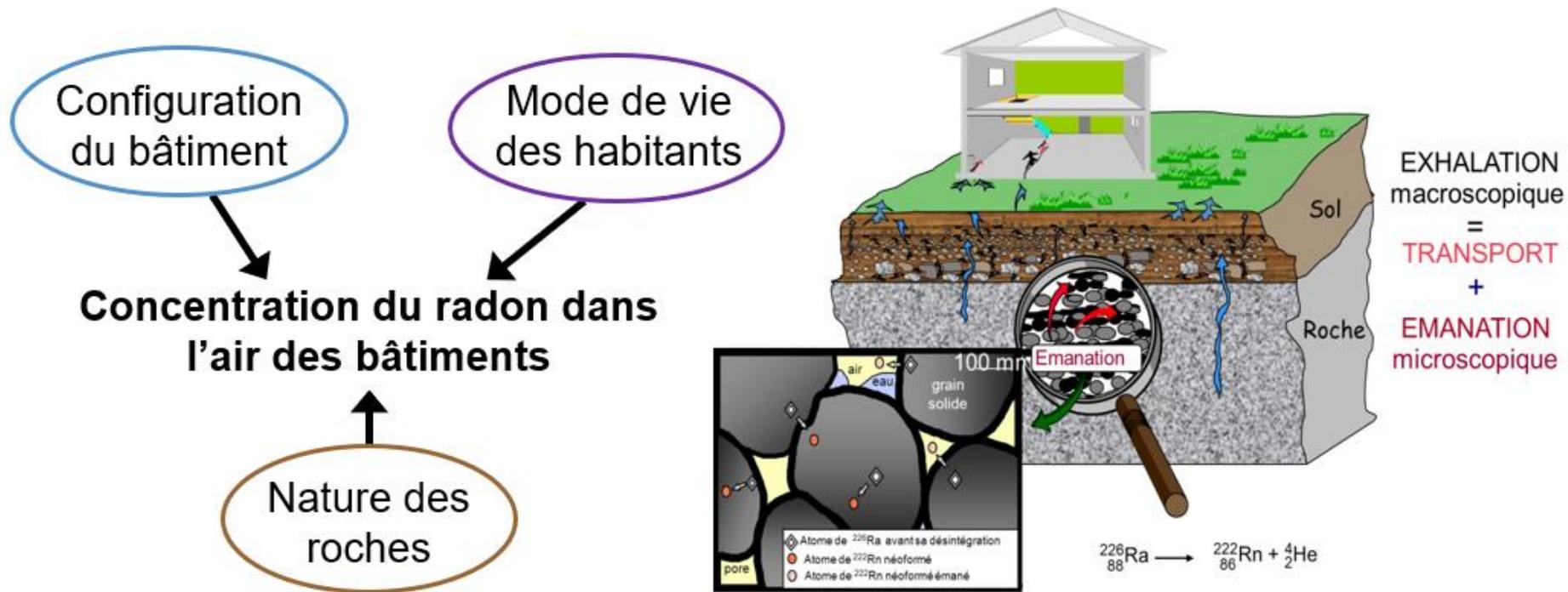
JOURNÉES TECHNIQUES RADON SFRP 4-5 FÉVRIER 2025

# CARTOGRAPHIE DU POTENTIEL RADON DES SOLS

CLAIRE GRÉAU

DIRECTION DE LA RECHERCHE ET DE L'EXPERTISE EN ENVIRONNEMENT

# CARTOGRAPHIE DU POTENTIEL RADON : CONTEXTE



Connaissance des caractéristiques des formations géologiques sur le territoire : cartographie des zones sur lesquelles la présence de radon à des concentrations élevées dans les bâtiments est la plus probable

# CARTOGRAPHIE DU POTENTIEL RADON : OBJECTIF

## Sollicitation de l'Autorité de Sûreté Nucléaire (2007) : perspective de redéfinition des zones prioritaires pour la gestion du risque

Réaliser une cartographie du potentiel radon des formations géologiques sur l'ensemble du territoire français :  
France métropolitaine - 2008-2010  
Outre-Mer - 2013

**A partir d'une méthode harmonisée sur l'ensemble du territoire fondée sur la synthèse des méthodes appliquées localement en France et des recherches nationales et internationales**

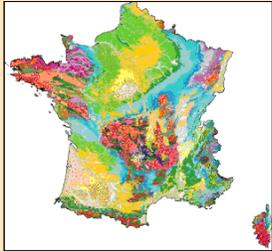
- Réaliser une cartographie complémentaire à celle issue des mesures de radon dans l'habitat qui présente des limites en termes de représentativité statistique
- Compléter et préciser la liste des zones prioritaires pour la gestion du risque lié au radon : à une échelle plus précise que celle du département

# CARTOGRAPHIE DU POTENTIEL RADON : MÉTHODE

- Méthode **indirecte** : fondée sur la connaissance géologique
- Analyse multicritère des paramètres géologiques **à partir des données existantes**
- Echelle et précision : cartographie réalisée à l'échelle des cartes géologiques utilisées (à l'échelle 1:1 000 000 pour la métropole, échelles différentes pour les DROM/COM)

# CARTOGRAPHIE DU POTENTIEL RADON : MÉTHODE

## 1/ Le terme source « radon » (teneur en uranium de chaque unité géologique) : Interprétations lithologiques et géochimiques



Carte géologique  
(France 1 : 1 000 000)

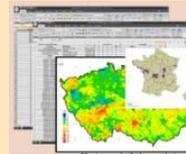
+

**Identification d'unités  
particulièrement riches en U U**

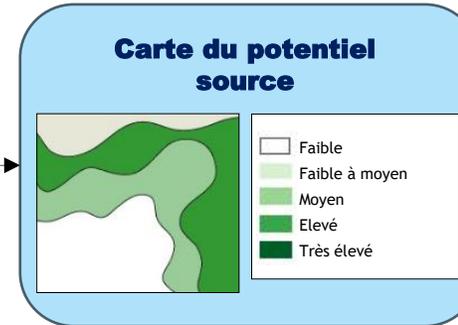


Cartes géologiques  
plus précises  
(1:50 000, 1:250 000 ...)

Bases de données  
des mines de U



Bases de données  
géochimiques  
(géochimie de U)



□ Faible  
□ Faible à moyen  
□ Moyen  
□ Elevé  
□ Très élevé

## 2/ Paramètres additionnels



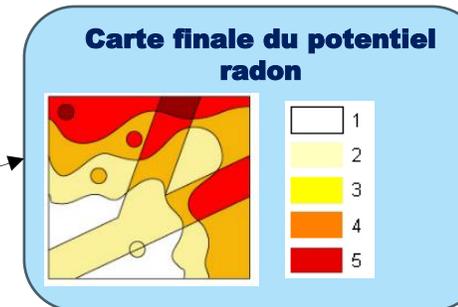
- Failles majeures
- Cavités souterraines
- Sites miniers
- Sources thermo-minérales

Paramètres additionnels  
(points et/ou polygones)

Potentiel source



+



□ 1  
□ 2  
□ 3  
□ 4  
□ 5

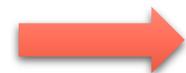
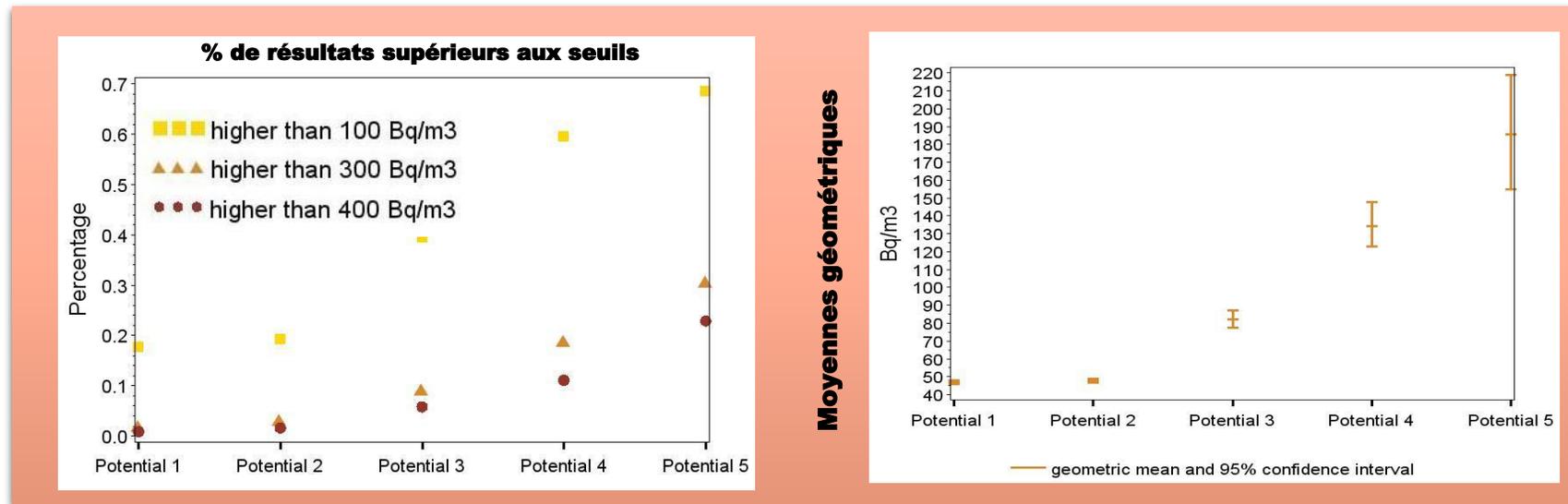
Traitement des données et interprétations

Cartographie

# CARTOGRAPHIE DU POTENTIEL RADON : VALIDATION DES RÉSULTATS (2013)

Association statistique entre :

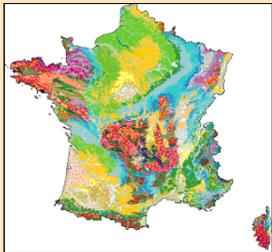
- le **potentiel radon géogénique** ;
- les **résultats de mesure** de la concentration de radon dans l'habitat (10 843 résultats)



La fréquence de l'exposition au radon au-dessus de seuils spécifiques ainsi que les expositions moyennes au radon augmentent nettement selon les classes de potentiel du radon géogénique

# CARTOGRAPHIE DU POTENTIEL RADON : MÉTHODE

## 1/ Le terme source « radon » (teneur en uranium de chaque unité géologique) : Interprétations lithologiques et géochimiques



Carte géologique  
(France 1 : 1 000 000)

+

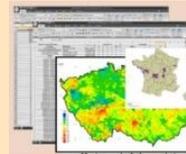
**Identification d'unités  
particulièrement riches en U U**



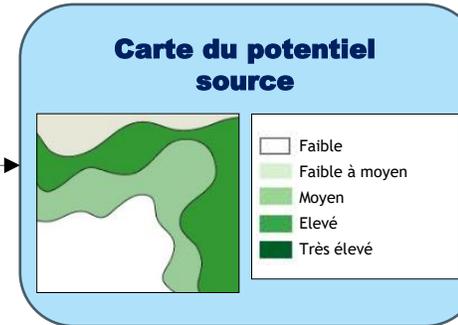
Cartes géologiques  
plus précises  
(1:50 000, 1:250 000 ...)

Bases de données  
des mines de U

+



Bases de données  
géochimiques  
(géochimie de U)



## 2/ Paramètres additionnels



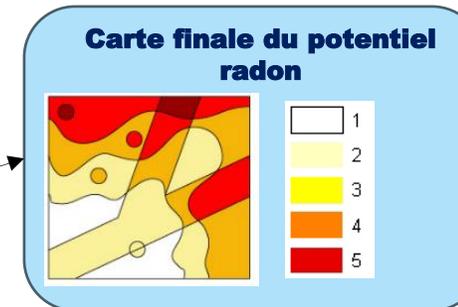
- Failles majeures
- Cavités souterraines
- Sites miniers
- Sources thermo-minérales

Paramètres additionnels  
(points et/ou polygones)

Potentiel source



+



Traitement des données et interprétations

Cartographie

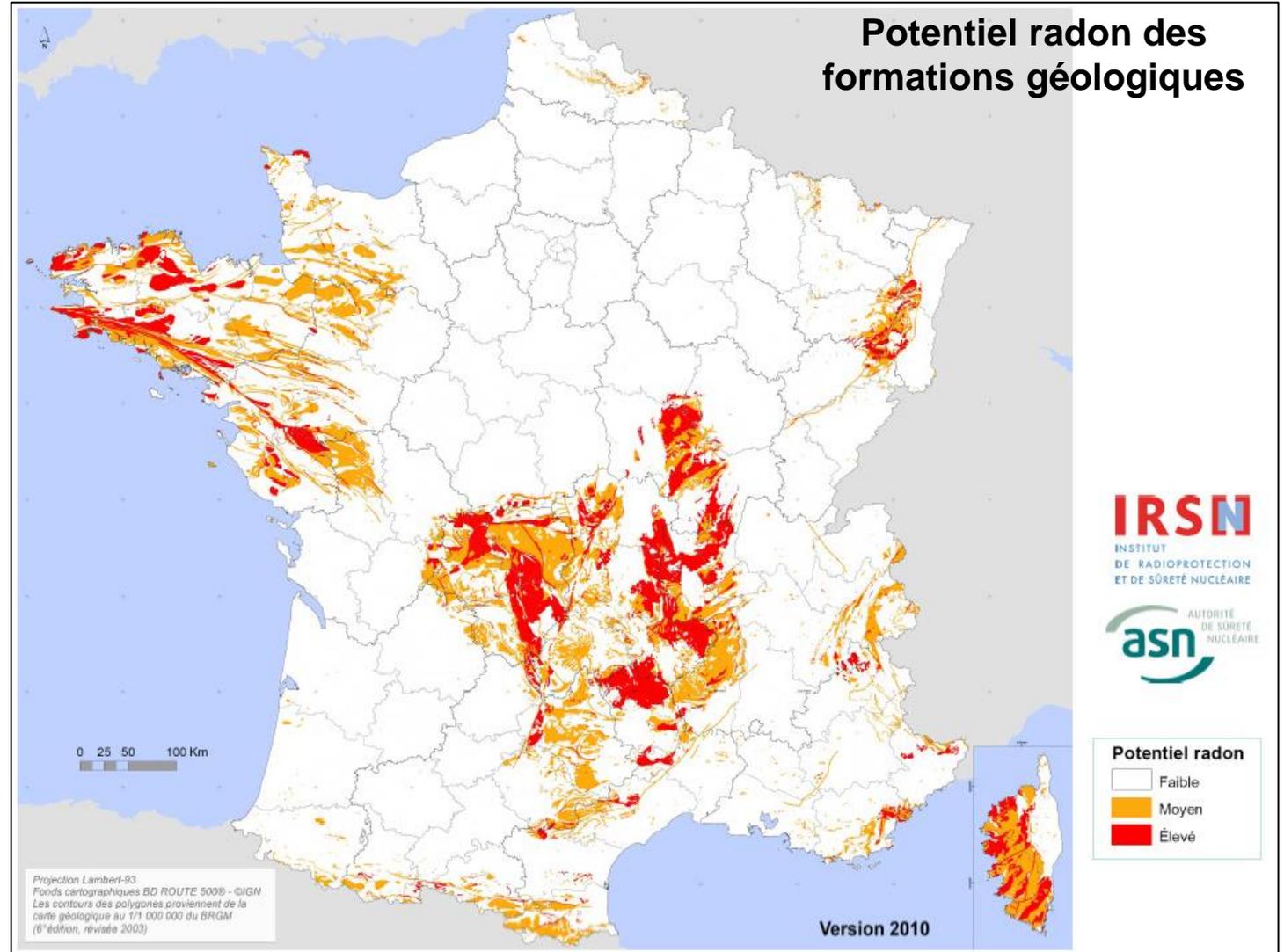
Potentiel radon géogénique (5 classes)	Classification simplifiée (3 classes)
Faible	Faible
Faible à moyen	
Moyen	Moyen
Elevé	Elevé
Très élevé	

# CARTOGRAPHIE DU POTENTIEL RADON : RÉSULTATS POUR LA MÉTROPOLE (2010)

## CLASSIFICATION SIMPLIFIÉE POUR LES AUTORITÉS

Les potentiels radon moyen ou élevés sont observés dans les zones caractérisées par des lithologies spécifiques (granites et roches métamorphiques uranifères sédiments riches en charbons, roches volcaniques acides...) et/ou par la présence de certains facteurs pouvant jouer sur le transfert du radon (failles majeures, ouvrages miniers etc.)

Potentiel géogénique faible : **84,5%** de la surface ;  
Potentiel géogénique moyen : **10%** ;  
Potentiel géogénique élevé : **5,5%**.



# TRANSPOSITION AUX COMMUNES

## CARTOGRAPHIE DU POTENTIEL RADON DES COMMUNES : 3 CATÉGORIES REPRISSES DANS LA RÉGLEMENTATION PAR LES POUVOIRS PUBLICS

Arrêté du 27 juin 2018 portant délimitation des zones à potentiel radon du territoire français

- **Catégorie 1** : zones à potentiel radon faible

Communes localisées sur les formations géologiques présentant les teneurs en uranium les plus faibles.

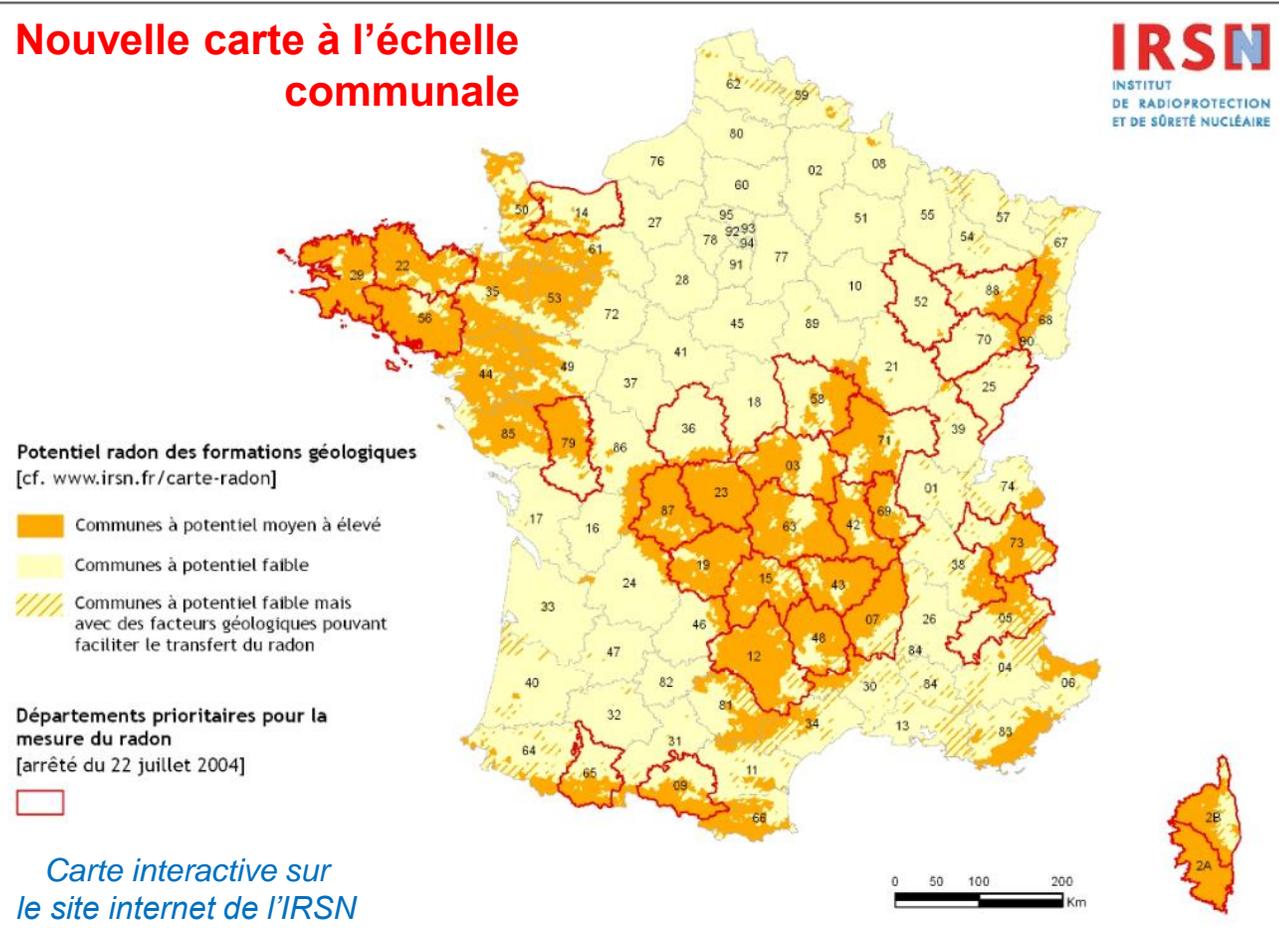
- **Catégorie 2** : zones à potentiel source faible mais sur lesquelles des facteurs géologiques particuliers peuvent faciliter le transfert du radon vers les bâtiments

Communes localisées sur des formations géologiques présentant des teneurs en uranium faibles mais sur lesquelles des facteurs géologiques particuliers peuvent faciliter le transfert du radon vers les bâtiments. Communes recoupées par des failles importantes ou dont le sous-sol abrite des ouvrages miniers souterrains....

- **Catégorie 3** : zones à potentiel radon significatif.

Communes qui, sur au moins une partie de leur superficie, présentent des formations géologiques dont les teneurs en uranium sont estimées plus élevées comparativement aux autres formations.

### Nouvelle carte à l'échelle communale



**Catégorie 3 : 6 999 communes réparties sur 70 départements (découpage 2016)**  
(à comparer aux 10 195 communes des 31 départements prioritaires)

# BILAN DE LA CARTOGRAPHIE DU POTENTIEL RADON

## LES APPORTS DE CETTE CARTOGRAPHIE DU POTENTIEL RADON

- La carte permet d'identifier les zones les plus susceptibles de produire des concentrations élevées de radon dans le sol et donc les zones dans lesquelles la présence de radon dans les bâtiments à des concentrations élevées est la plus probable.
- Elle permet d'envisager un zonage plus précis que l'échelle du département (classification des communes)

## SES LIMITES

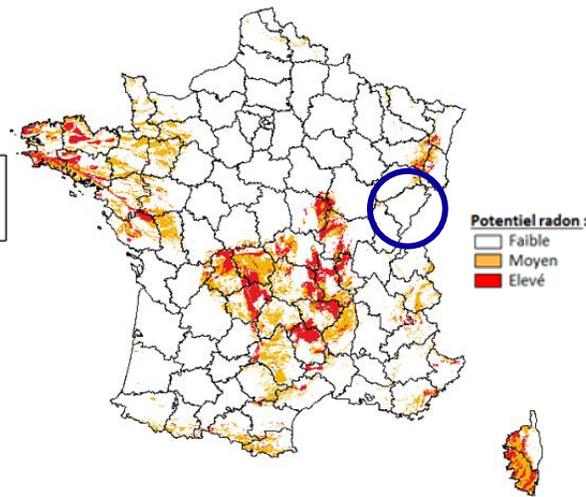
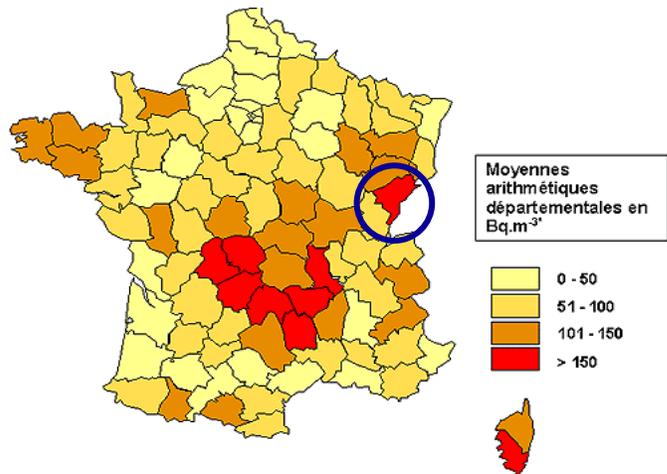
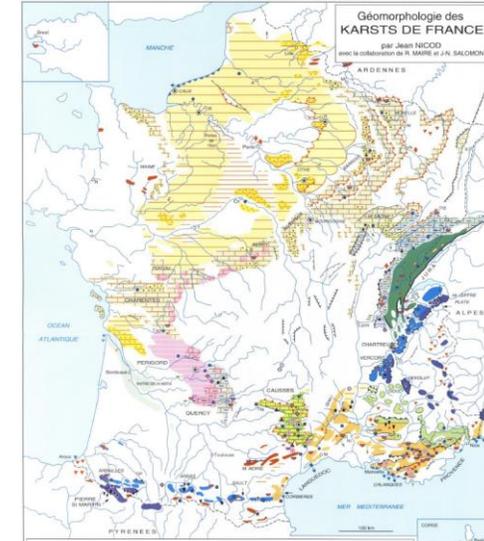
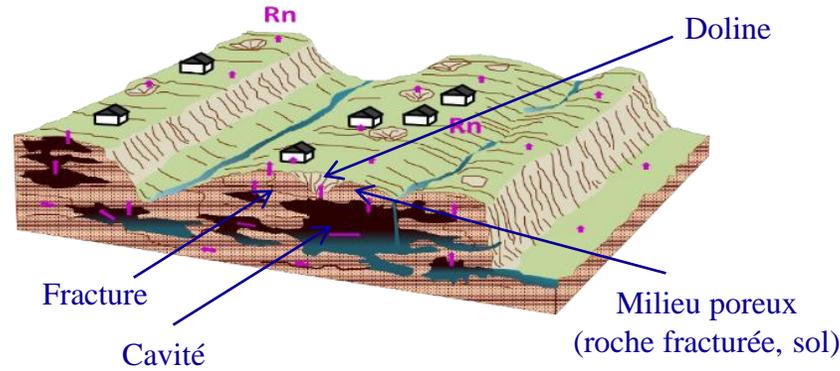
- Compte tenu de la résolution spatiale des informations utilisées, la carte proposée n'est exploitable que jusqu'à l'échelle de la commune.
- Le potentiel radon fourni ne présage pas directement des concentrations présentes dans les bâtiments, celles-ci dépendant de nombreux autres paramètres ; seule une mesure directe de l'activité volumique du radon dans l'atmosphère intérieure d'un bâtiment peut garantir un résultat fiable à cette échelle.

Plusieurs études sont poursuivies actuellement à la demande de la DGS sur des facteurs géologiques pouvant influencer les concentrations de radon dans l'environnement (PNAR 2020-2024, fiche action 9)

# ETUDES EN COURS : POTENTIEL RADON DANS LES RÉGIONS KARSTIQUES

## QU'EST CE QU'UN KARST ?

- Structure géomorphologique résultant de l'érosion hydrochimique de roches solubles, principalement de roches carbonatées (essentiellement des calcaires)
- Distribution très importante mais également très grande hétérogénéité des types de karst en France



## CONTEXTE DE L'ÉTUDE

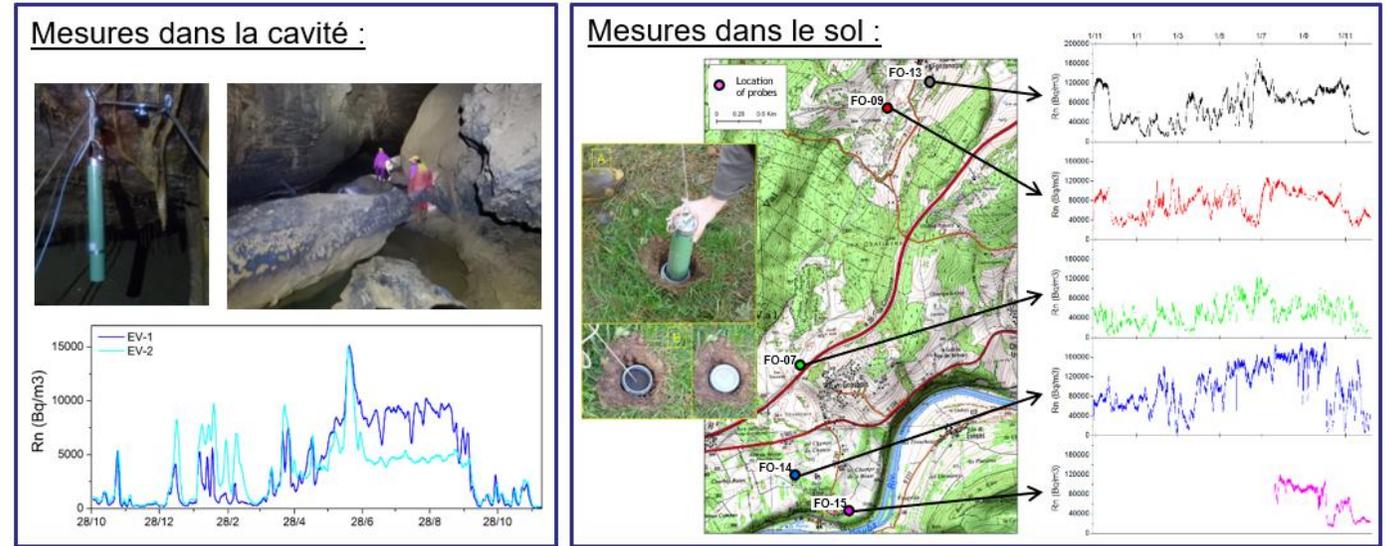
- La cartographie actuelle ne reflète pas bien le potentiel radon des régions karstiques : les milieux karstiques sont représentés avec un potentiel radon faible car leur impact n'a pu être évalué
- Des niveaux de radon élevés dans l'habitat sont observés dans au moins une région karstique (Doubs) et peu de mesures existent dans les autres régions karstiques françaises

**Action 9 du PNAR : Étude de certains facteurs géologiques influençant les concentrations en radon. Demande de la DGS**

# ETUDES EN COURS : POTENTIEL RADON DANS LES RÉGIONS KARSTIQUES

## PREMIÈRE PHASE DE L'ÉTUDE

- ▶ Etude réalisée sur un site pilote en Franche-Comté, à proximité de Baume-les-Dames (25)
- ▶ Acquisition de nombreuses données sur le terrain (mesures ponctuelles de flux surfacique d'exhalation du Rn-222, teneurs en Ra-226 et U-238 des roches et des sols) + instrumentation d'une cavité karstique et mise en place de sondes dans le sol → 1 an de données dans différents compartiments ([Rn-222], température, pression, pluviométrie...)
- ▶ Modélisation numérique du transfert du radon dans le système karstique avec le code T2Rn



Exemples de mesures en continu de radon-222 acquises sur le secteur de Baume-les-Dames

## CONCLUSIONS DE CETTE PREMIÈRE ÉTUDE :

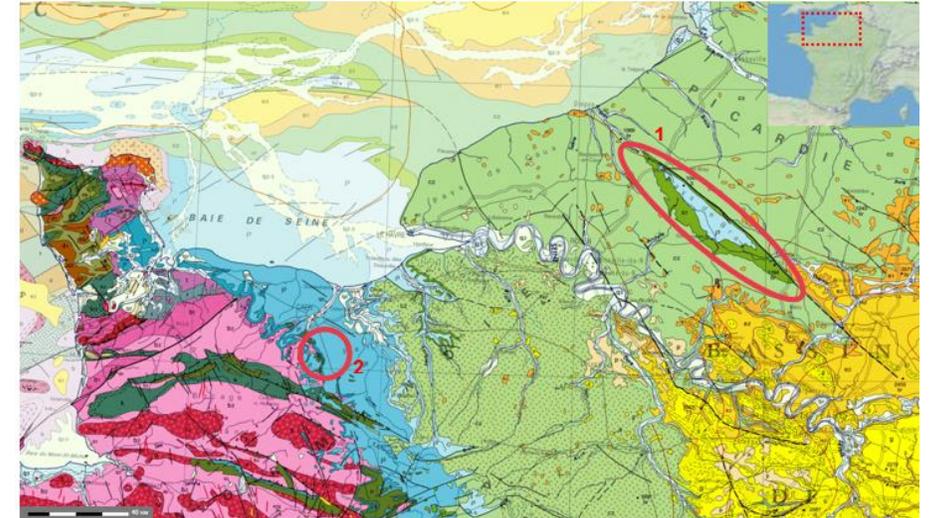
- ▶ Les environnements karstiques peuvent bien être à l'origine de valeurs de radon dans l'air du sol localement élevées ;
- ▶ Forte variabilité aussi bien spatiale que temporelle ;
- ▶ Les concentrations de radon dans l'air du sol semblent résulter essentiellement de l'émanation du radium-226 contenu dans le sol ;
- ▶ Bien que développé sur des roches calcaires pauvres en U-238 et en Ra-226, le sol du secteur d'étude présente des teneurs en Ra-226 similaires à celles de sols développés sur des roches granitiques riches en uranium et en radium.

# ETUDES EN COURS : POTENTIEL RADON DANS LES RÉGIONS KARSTIQUES

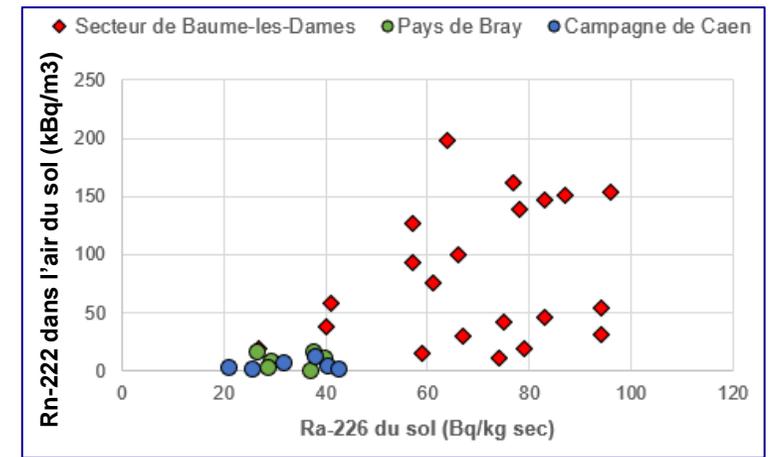
## AMÉLIORATION DES CONNAISSANCES SUR LES NIVEAUX DE RADON-222 ET DE RADIUM-226 EN MILIEU CALCAIRE PEU KARSTIQUE

- ▶ Peu de données disponibles sur les niveaux de radon-222 et de radium-226 en milieu calcaire non karstique
- ▶ Pour évaluer l'enrichissement en radium-226 dans les milieux karstiques, il est nécessaire d'acquérir des données dans des régions calcaires non ou peu karstiques → données « témoins »
- ▶ Sélection de deux secteurs témoins en Normandie
- ▶ Géologie : calcaires Jurassique → lithologie similaire au secteur d'étude proche de Baume-les-Dames
- ▶ Mission de terrain avec mesures ponctuelles de radon-222 dans l'air du sol et prélèvements d'échantillons de sol pour analyse des teneurs en U-238 et Ra-226

Ces mesures ont confirmé qu'en l'absence de karstification significative, les régions caractérisées par des formations géologiques carbonatées sont des zones à faible potentiel radon.



Localisation des secteurs témoins étudiés sur la carte géologique au 1/1 000 000 : le Pays de Bray (1) et de la Campagne de Caen (2)



Activités volumiques de radon-222 dans l'air du sol vs. teneur en radium-226 des sols des deux secteurs témoins comparés au secteur de Baume-les-Dames

# ETUDES EN COURS : POTENTIEL RADON DANS LES RÉGIONS KARSTIQUES

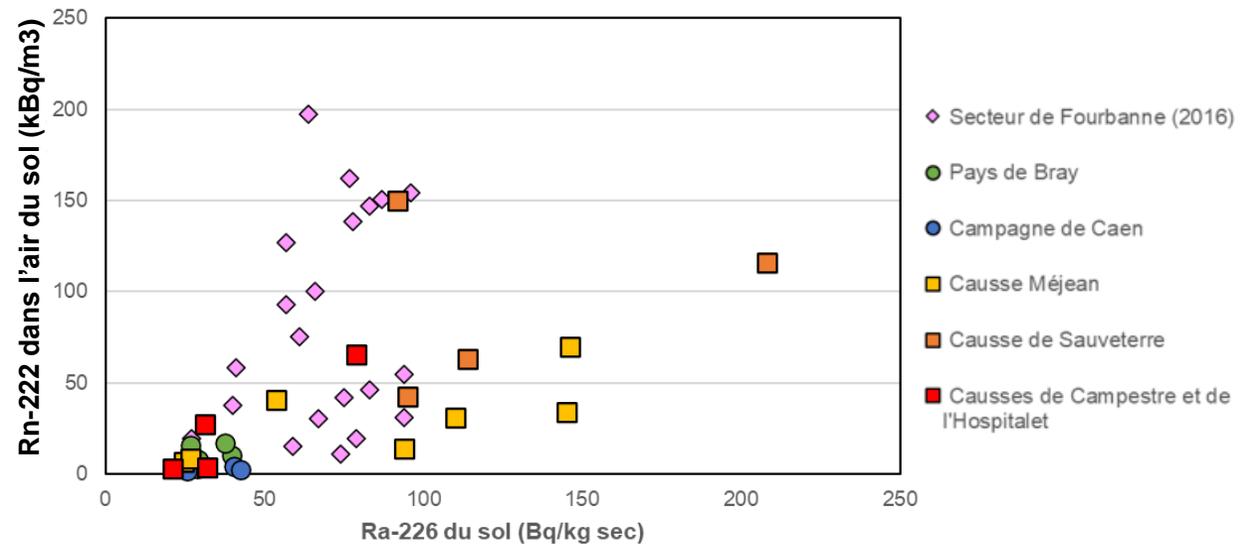
## COMPRÉHENSION DES MÉCANISMES D'ENRICHISSEMENT EN RADIUM-226 DES SOLS

- ▶ Pour pouvoir réviser la cartographie du risque radon, besoin de comprendre les mécanismes d'enrichissement du sol en Ra-226 observés dans le secteur de Baume-les-Dames afin de vérifier si ces manifestations se retrouvent dans d'autres environnements karstiques.
- ▶ 2 hypothèses à l'étude pour expliquer la provenance du Ra-226 en milieux karstiques (potentiellement complémentaires) :
  - 1ère hypothèse : l'enrichissement en Ra-226 des sols proviendrait de la dissolution des carbonates : bien que la teneur en U-238 et en Ra-226 des calcaires soit faible, lors de leur dissolution, les radionucléides libérés sont fixés par les minéraux argileux, les oxydes de fer et la matière organique ce qui entraîne leur accumulation dans le sol.
  - 2nde hypothèse : le Ra-226 pourrait provenir de formations superficielles antérieures correspondant aux résidus des anciennes couvertures sédimentaires, aujourd'hui disparues par érosion, piégés dans les dépressions et cavités karstiques.
- ▶ Collaboration avec le BRGM débutée en septembre 2021 : apport de leur connaissance de la géologie des régions karstiques et leur compréhension des mécanismes de karstification
- ▶ 2 missions réalisées conjointement avec le BRGM :
  - Septembre 2021 : Région des Grands Causses : Causse Méjean et causses environnants (Lozère, Aveyron, Gard)
  - Septembre 2022 : Massif du Jura : secteur de Baume-les-Dames et autres secteurs karstiques voisins (Doubs, Haute-Saône et Suisse)

# ETUDES EN COURS : POTENTIEL RADON DANS LES RÉGIONS KARSTIQUES

## COMPRÉHENSION DES MÉCANISMES D'ENRICHISSEMENT EN RADIUM-226 DES SOLS

- ▶ Les mesures dans la région des Grands Causses ont confirmé que d'autres régions karstiques que celle initialement étudiée dans le Massif du Jura (à proximité de Baume-les-Dames) peuvent être à l'origine de concentrations élevées de radon
- ▶ Une corrélation entre les teneurs en radium-226 et les activités volumiques de radon-222 mesurées dans l'air du sol est également observée ce qui semble conforter les conclusions de l'étude précédente
- ▶ Les rapports isotopiques de l'uranium ainsi que les teneurs en thorium-232 des sols de la région des Grands Causses indiquent l'existence d'un apport significatif de matériel détritique → **la principale source de radium-226 dans les sols des environnements karstiques ne serait pas la dissolution des carbonates mais l'apport de matériel détritique provenant de formations superficielles.**



### Perspectives :

- Confirmer que la sources du radium-226 est bien l'apport de matériel détritique et caractériser ce matériel
- Caractériser les éventuelles remontées profondes de radon (mesures sur des profils transverses à des failles)

# ETUDES EN COURS : IDENTIFICATION DES ZONES À HAUT POTENTIEL RADON

## CONTEXTE DE L'ÉTUDE

- Identifier les secteurs présentant un risque d'exposition au radon particulièrement élevé (exposition au radon dans l'air intérieur significativement supérieure à celle attendue sur le reste du territoire)
- Préciser la cartographie en utilisant à la fois les données géologiques et les résultats de mesures récentes dans l'air intérieur collectées et compilées
- Vérifier si le classement de certaines communes ne doit pas évoluer au regard de leurs caractéristiques géologiques, conduisant ainsi à une mise à jour de la cartographie.

**Action 9 du PNAR : Étude de certains facteurs géologiques influençant les concentrations en radon**  
**Demande de la DGS**

# ETUDES EN COURS : IDENTIFICATION DES ZONES À HAUT POTENTIEL RADON

## DONNÉES DISPONIBLES

### ► Fonds cartographique :

- Cartographie du potentiel radon des formations géologiques
- Carte géologique du BRGM à l'échelle nationales (1/1 000 000) et cartes géologiques locales (1/50 000)

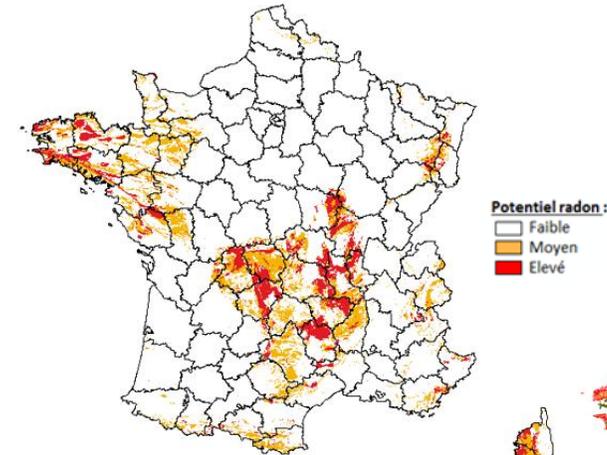
### ► Autres données complémentaires : données géochimiques (U), indices miniers, localisation des failles ...

### ► Données de radon dans l'air intérieur :

- Habitat
- ERP
- Lieux de travail

#### Sources des données de radon dans l'air intérieur :

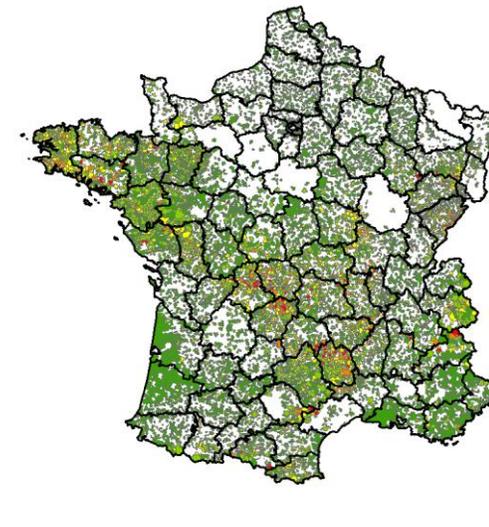
- Campagne nationale DGS-IRSN
- Campagnes locales (ARS, associations, ...)
- Sise-ERP et Démarche simplifiée
- Transmissions réglementaires des laboratoires accrédités



Carte du potentiel radon des formations géologique



Carte géologique de France au 1/1 000 000 (BRGM)

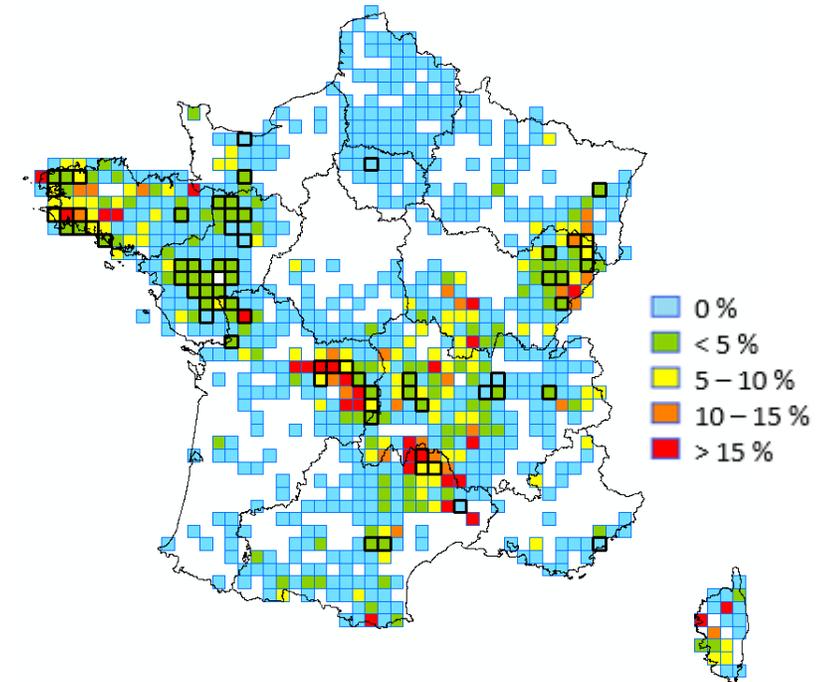


Localisation de l'ensemble des résultats de mesure de radon dans l'air intérieur compilées en 2024

# ETUDES EN COURS : IDENTIFICATION DES ZONES À HAUT POTENTIEL RADON

## MOYENS ET MÉTHODES

- ▶ Exploitation des données à l'aide de SIG (système d'information géographique)
  - A partir de la compilation des données de radon dans l'air intérieur, identification de « **points chauds** » : petites régions où les activités volumiques de radon mesurées à l'intérieur des bâtiments sont significativement plus élevées que la moyenne nationale
  - A partir de la cartographie du potentiel radon géogénique et de la compilation des données de radon dans l'air intérieur, identification des « **anomalies** » : valeurs (ou groupe de valeurs) qui semblent ne pas appartenir à une population
  - Identification des caractéristiques géologiques associées
- ▶ Développement d'outils géostatistiques
  - Construction de nouveaux modèles géostatistiques afin de prendre en compte les nouvelles données de radon dans l'air intérieur compilées ces dernières années et la cartographie du potentiel radon géogénique



*Exemple d'identification de « points chauds » : pourcentage de dépassement de la valeur de 1000Bq/m<sup>3</sup> sur une grille de 20x20 km*

Objectif : Interprétation des facteurs d'influence des zones à plus fortes expositions

***MERCI POUR VOTRE ATTENTION 😊***