



Le Laboratoire de mesure des faibles radioactivités (LAFARA) : améliorations et nouvelles possibilités analytiques

Thomas Zambardi, Pieter van Beek, Marc Souhaut

<https://lafara.obs-mip.fr>



Le laboratoire

- Analyse de la radioactivité dans **tous types de matériaux par spectrométrie gamma**

Résines Aliments
Cosmétiques
Algues Composites
Sédiments
Peintures Gaz Métaux Sables
Textiles Ciments Poissons Eaux Briques
Végétaux
Polymères
Mortiers
Champignons

- Expertise en mesure de **radioactivité environnementale**

Domaines d'intervention

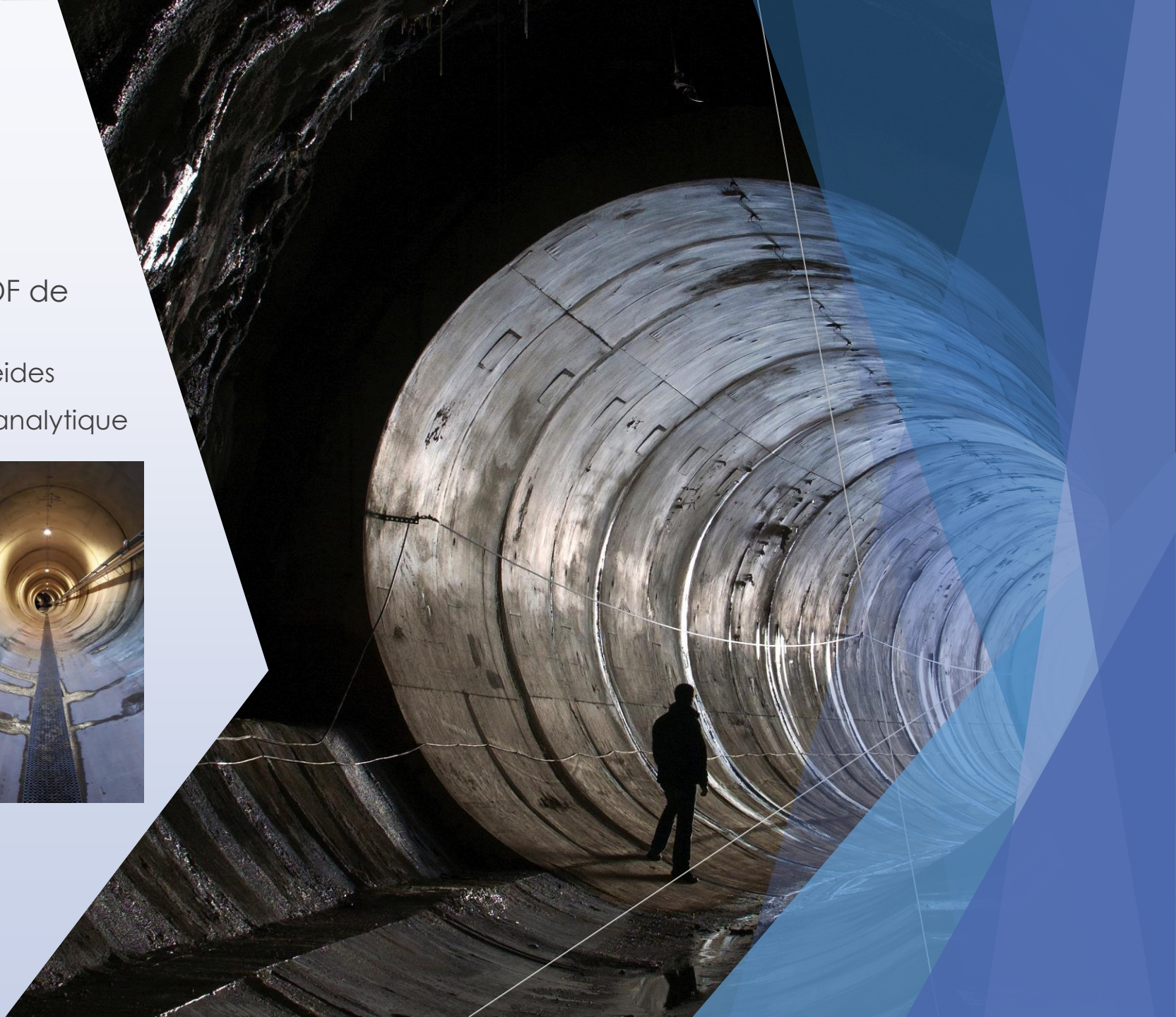
Médical	→	Prothèses, composés radiopharmaceutiques
Bâtiment	→	Matériaux de construction, peintures
Cosmétiques	→	Matières minérales
Environnement	→	Sols, eaux, air (recherche, surveillance)
Agro-alimentaire	→	Fruits, légumes, champignons, etc.
Aéronautique & spatial	→	Matériaux embarqués & recyclage
Répression des fraudes	→	Origine des produits (bois, champignons); âge (vin, cognac); Contrefaçon
Instruments nucléaires	→	Sélection des matériaux

Santé, connaissances, optimisation de procédés



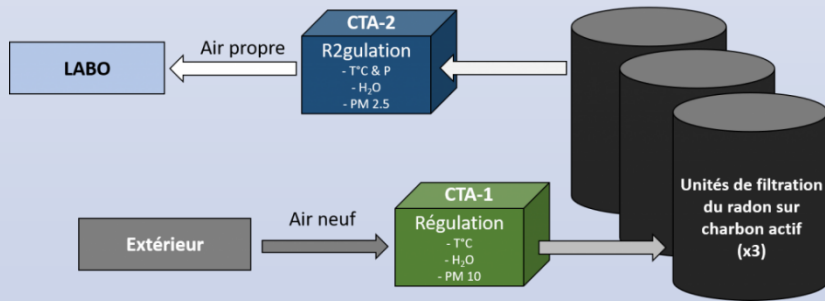
Infrastructure

- Création en **2007**
- Laboratoire **souterrain** (Tunnel EDF de Ferrières) sous 85 m de roche
 - Roche pauvre en radionucléides
 - Diminution du bruit de fond analytique



Infrastructure

- Création en **2007**
- Laboratoire **souterrain** (Tunnel EDF de Ferrières) sous 85 m de roche
 - Roche pauvre en radionucléides
 - Diminution du bruit de fond analytique
- **Traitement de l'air**
 - Environnement type **salle blanche**
 - **Filtration du radon** sur charbon actif



- **Pilotage à distance** via un serveur dédié et un réseau sécurisé



Agréments de l'Autorité de Sûreté Nucléaire

- Laboratoire **agréé par l'ASN** depuis 2020, conforme aux exigences de **l'ISO/CEI-17025**
- **13 agréments** (matrices eaux, sols, gaz et matrices biologiques), 3 en cours

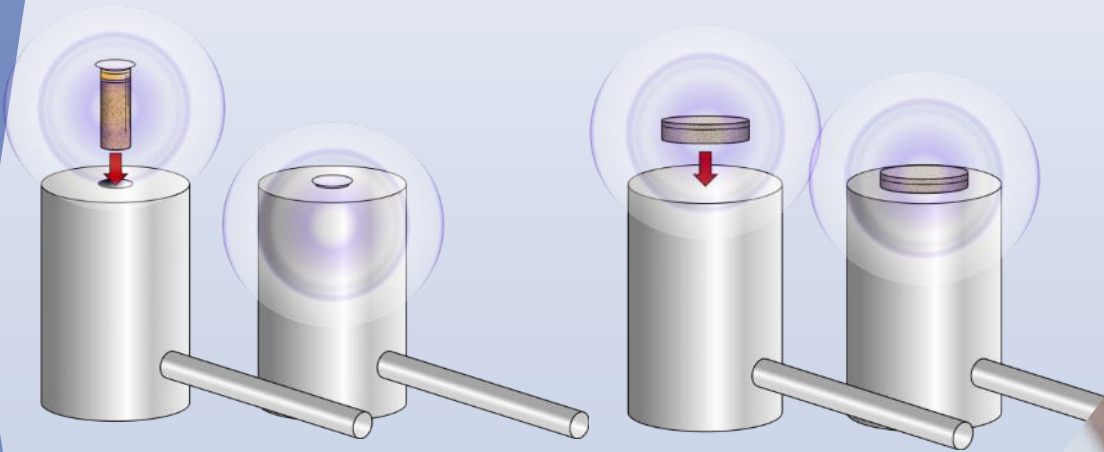


Liste des agréments ASN en cours de validité

TYPE	MATRICE	CATEGORIE	REF.	VALIDITE
1	Eaux	Radium-226 et descendants	1_11	31/12/2024
1	Eaux	Radium-228 et descendants	1_12	31/12/2024
1	Eaux	Uranium pondéral	1_17	31/12/2024
2	Sol/ sédiments	Émetteurs gamma > 100 keV	2_01	30/06/2026
2	Sol/ sédiments	Émetteurs gamma < 100 keV	2_02	30/06/2026
2	Sol/ sédiments	Radium-226 et descendants	2_11	30/06/2025
2	Sol/ sédiments	Radium-228 et descendants	2_12	30/06/2025
2	Sol/ sédiments	Uranium pondéral	2_17	30/06/2025
5	Gaz	Émetteurs gamma > 100 keV	5_01	30/06/2027
5	Gaz	Émetteurs gamma < 100 keV	5_02	30/06/2027
5	Gaz	Gaz halogénés	5_14	30/06/2027
3	Biologique	Radium-226 et descendants	3_11	en cours
3	Biologique	Radium-228 et descendants	3_12	31/12/2027
3	Biologique	Uranium pondéral	3_17	31/12/2027
3	Biologique	Émetteurs gamma > 100 keV	3_01	en cours
3	Biologique	Émetteurs gamma < 100 keV	3_02	en cours

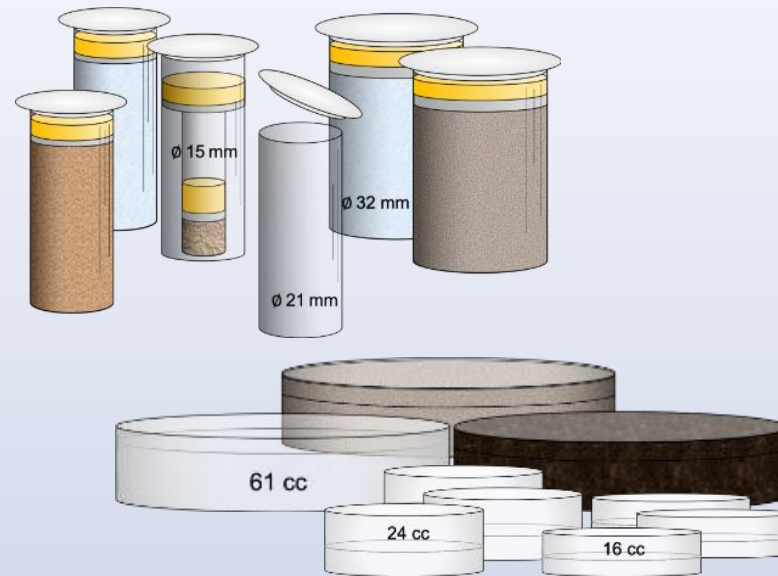
Equipements

- **5 spectromètres gamma de dernière génération HPGe ultra sensibles**
 - 3 de type puits SAGe-Well®
 - 2 de type planaire
 - Etalonnage via sources COFRAC



Equipements

Différentes géométries



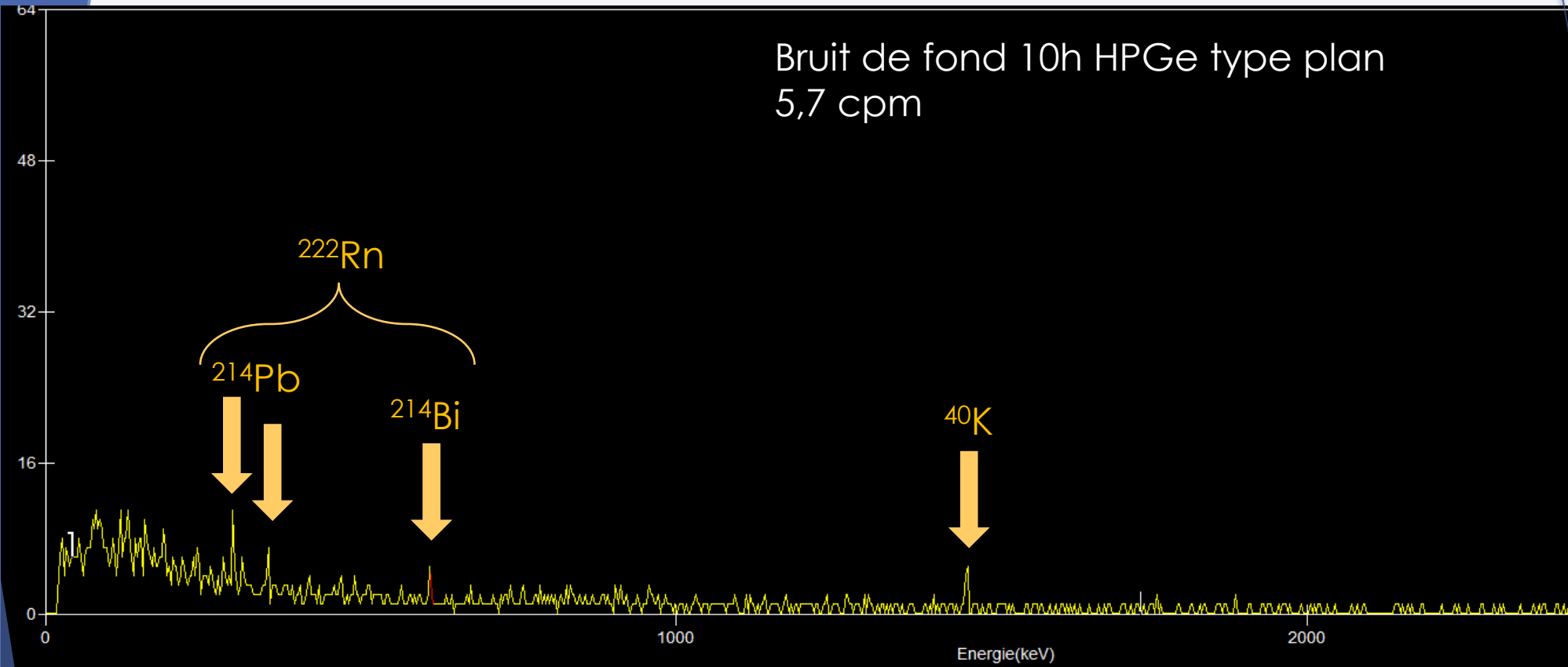
- Passeurs d'échantillons robotisés
- 1200 échantillons/ an

Equipements

- Refroidissement sans azote liquide par **cryogénérateurs** CryoPulse-5®+
- **Châteaux de plomb TFA** de 24 cm
 - Diminution du bruit de fond



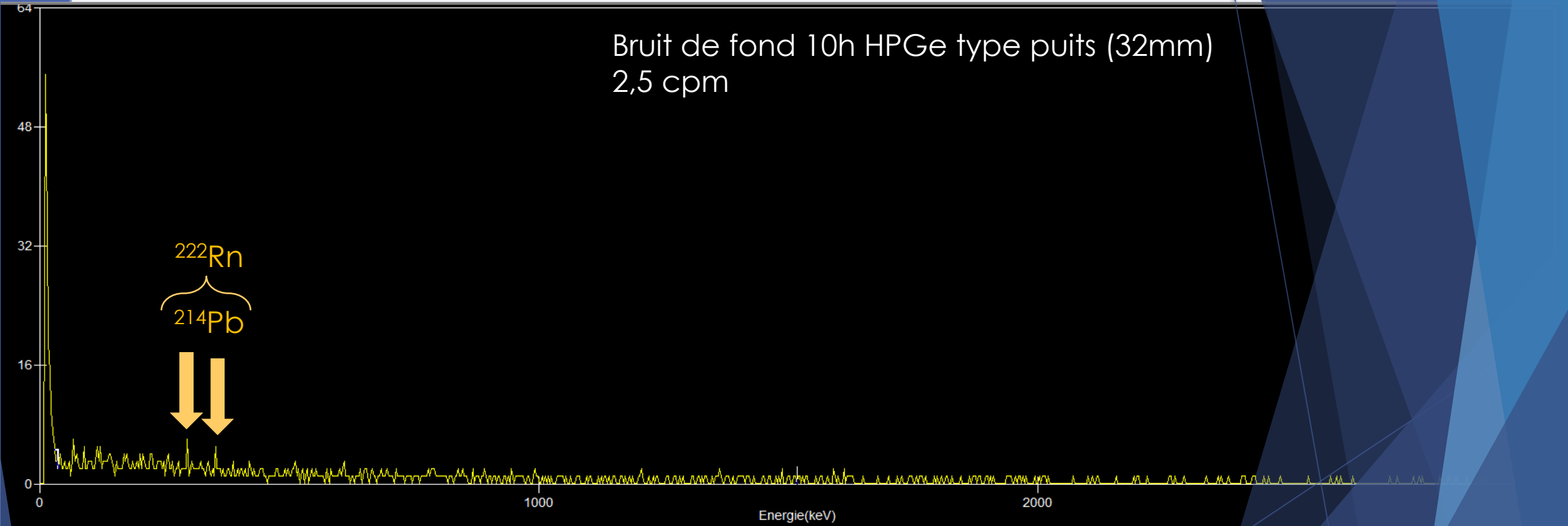
Spectres bruit de fond



Moyenne ^{222}Rn : $32 \text{ Bq.m}^{-3} \pm 32$ (2 s.d.)
Cyclicité quotidienne
Cyclicité saisonnière

BDF min. 5 jours
BDF min. 4 fois par an

Spectres bruit de fond



Moyenne ^{222}Rn : $32 \text{ Bq.m}^{-3} \pm 32$ (2 s.d.)
Cyclicité quotidienne
Cyclicité saisonnière

BDF min. 5 jours
BDF min. 4 fois par an

Développement : analyse « directe » de l'eau

- Mesure des radionucléides dans l'eau
- Méthodes classiques : **~48 h**
 - Pré-concentration
 - Evaporation
 - Co-précipitation
- Méthode par analyse « directe » : **7 s**
 - Pas de préparation
 - Pas d'ajouts, ni de retraits
 - Pas de biais de manipulation
 - Gain de temps x 25000

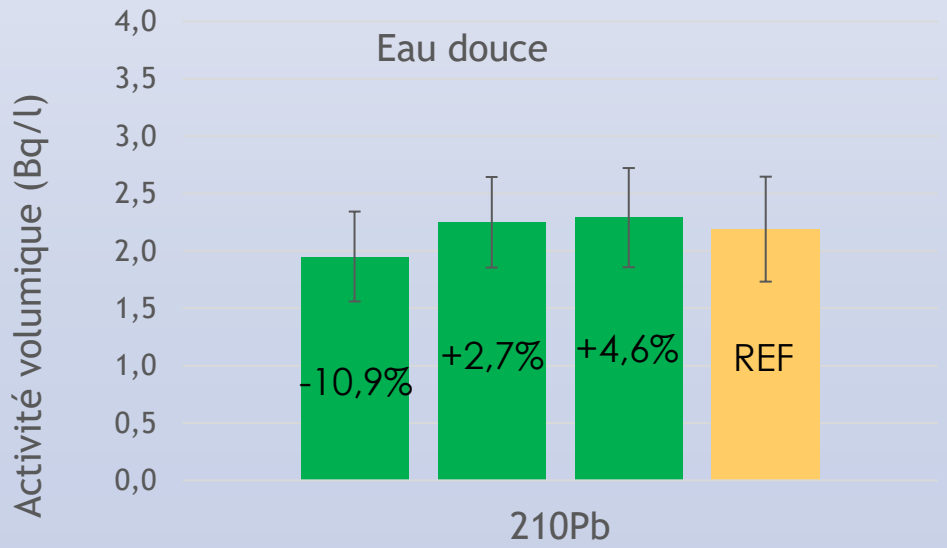
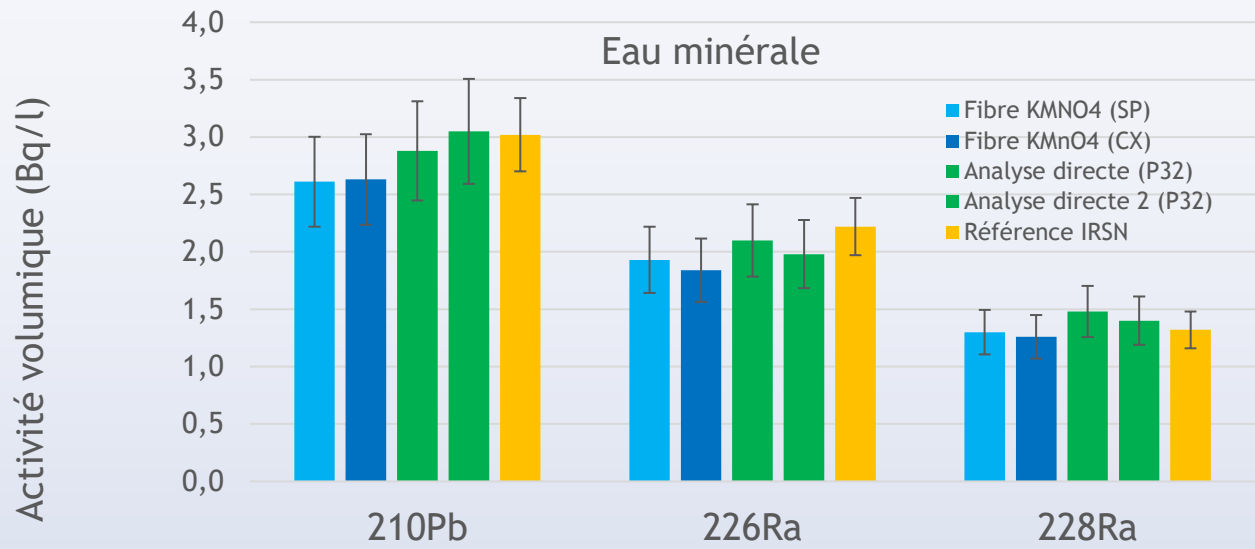
Possible grâce à un puits de grande capacité

- Ø 32 mm
- Vol. puits = 35 cc/ échantillon
- Vol .Ge = 450 cc



Développement : analyse « directe » de l'eau

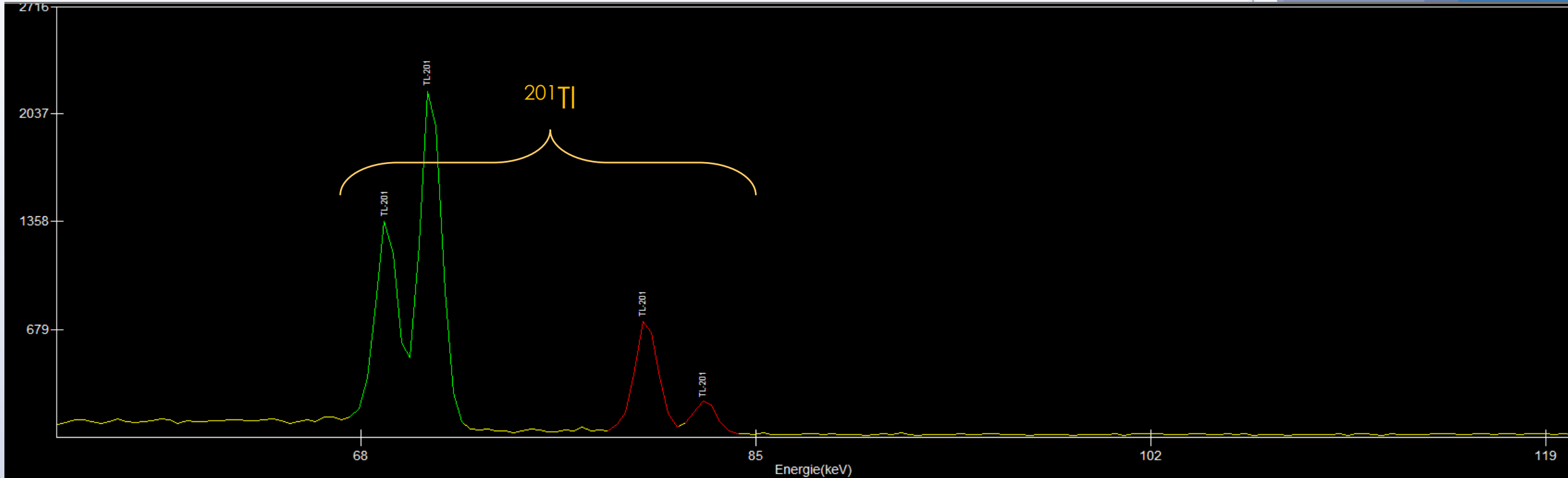
Tests de la méthode sur EIL IRSN (RN naturels)



- Résultats conformes
- 25 x L.D. (~80 mBq/l)

Développement : analyse « directe » de l'eau

Exemple d'application : effluents hospitaliers



Application sur effluents hospitaliers

- 25 ml d'échantillon
- Activité ^{201}Tl = 12,1 Bq/ L

Développement : analyse « directe » de l'eau

- Nouveau spectromètre gamma permet des analyses jusqu'ici non réalisables
- Méthodes complémentaires
- Permet plus de souplesse en fonction du contexte

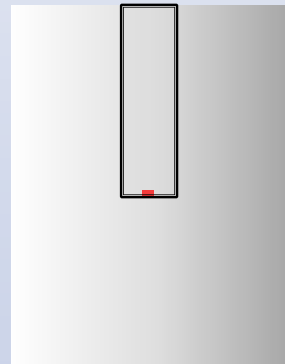
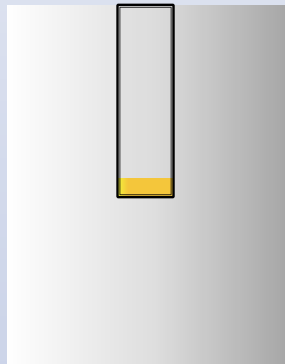
	Méthode	
	Pré-concentration	Mesure directe
Prélèvement et transport	+	+++
Temps de préparation	+	+++
Temps de comptage	+++	+

Développement : mesures de pièces activées

- Accélérateurs de particules (n, p ou les deux)
- Production de pièces activées **difficiles à caractériser**
- **Besoin de caractérisation** radiologique pour la **gestion** des déchets activés



- Production de **très petits échantillons** analysés en **puits**
 - Plus **permissif** sur les écarts de **géométries**

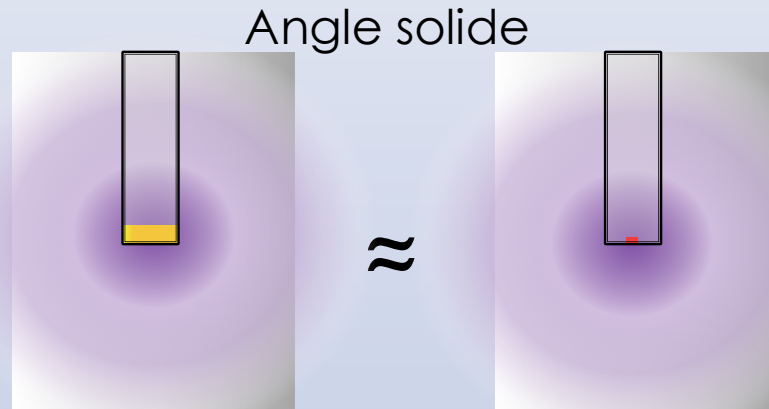


Développement : mesures de pièces activées

- Accélérateurs de particules (n, p ou les deux)
- Production de pièces activées **difficiles à caractériser**
- **Besoin de caractérisation** radiologique pour la **gestion** des déchets activés



- Production de **très petits échantillons** analysés en **puits**
 - Plus **permissif** sur les écarts de **géométries**



**Permet de faciliter la gestion des échantillon
(transport, stockage) et réduire l'exposition**

Développement : mesures de pièces activées

- Accélérateurs de particules (n, p ou les deux)
- Production de pièces activées **difficiles à caractériser**
- **Besoin de caractérisation** radiologique pour la **gestion** des déchets activés



- **Caractérisation du détecteur**
 - Plus permissif sur les écarts de **compositions/ densité**
 - Permet de corriger des **effets d'auto-atténuation et de sommation**
 - **Simulation Monte Carlo**

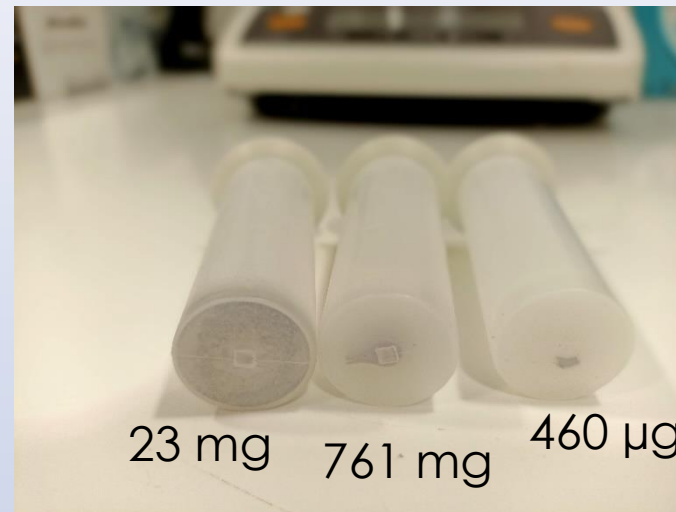
Développement : mesures de pièces activées

Prélèvements et préparation des échantillons

- Forage lent des pièces métalliques

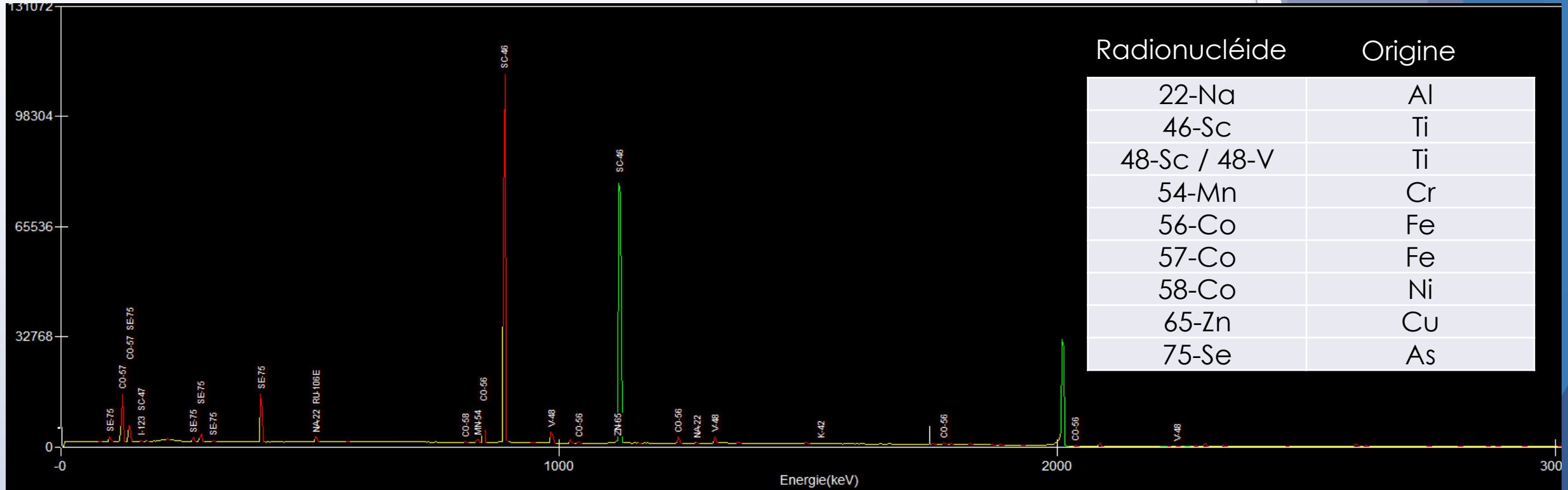


- Mise en tube de quelques mg à g de matériaux



Développement : analyse de pièces activées

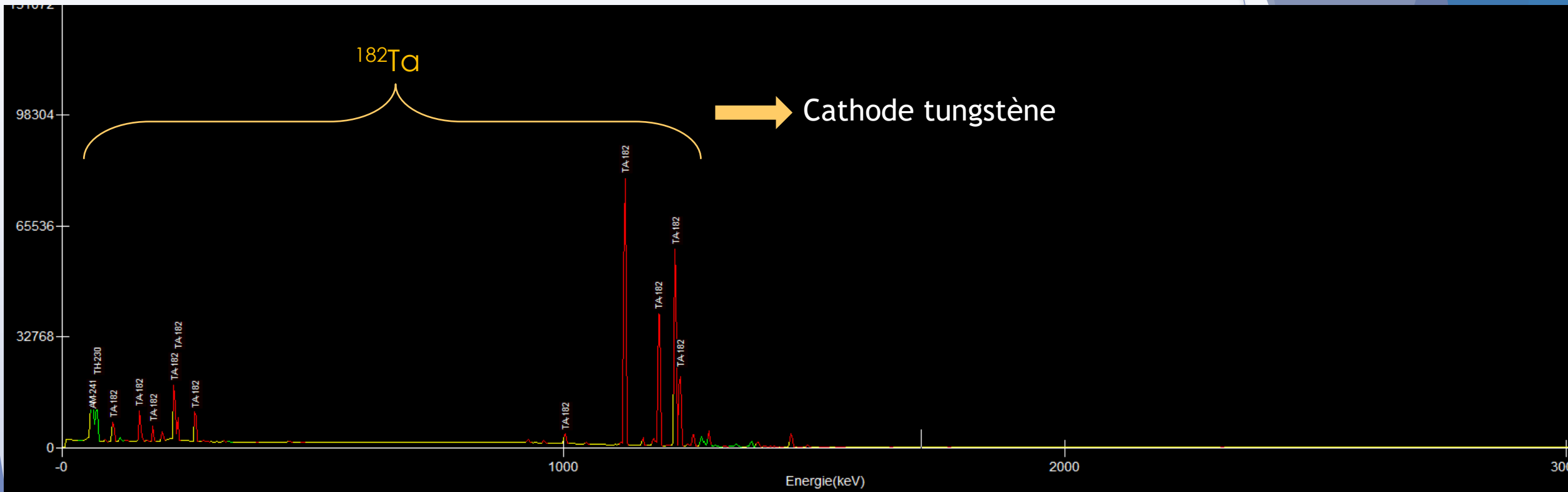
Activation protonique



- 460 µg d'échantillon
- ODG activités = 10^5 à 10^8 Bq/ kg
- Activité manipulée ~ 50 Bq

Développement : analyse de pièces activées

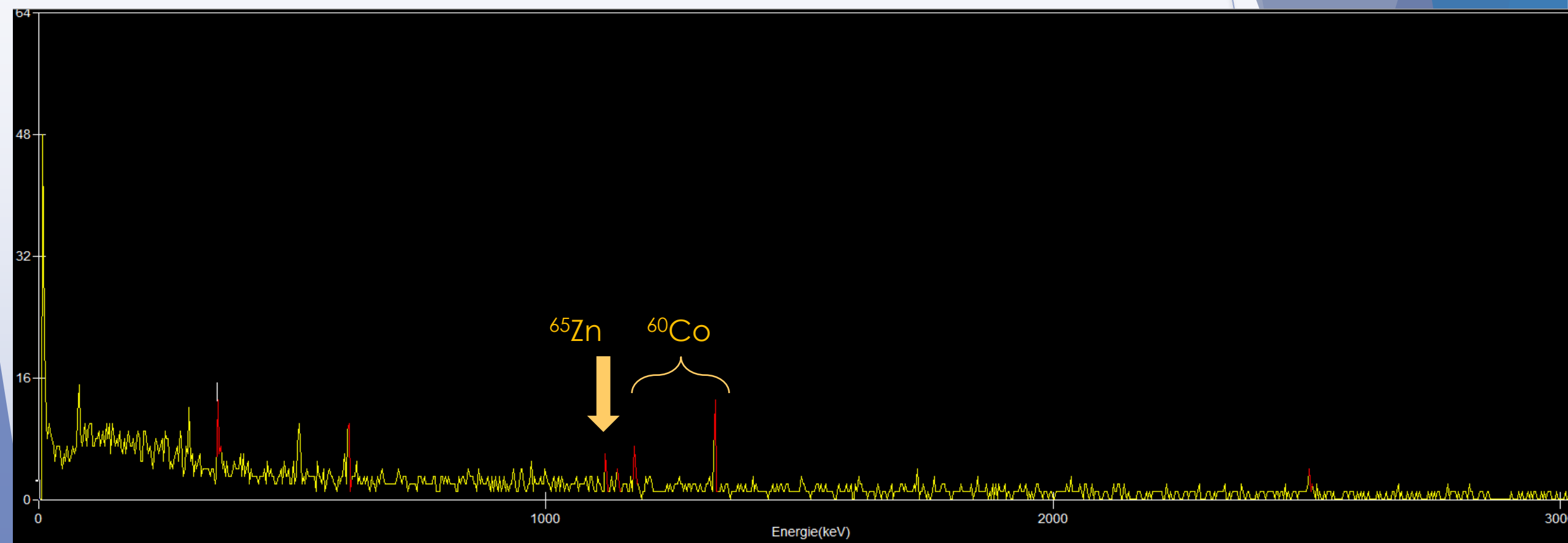
Activation protonique



- 761 mg d'échantillon
- ODG activité = 10^5 Bq/ kg
- Activité manipulée ~75 Bq

Développement : analyse de pièces activées

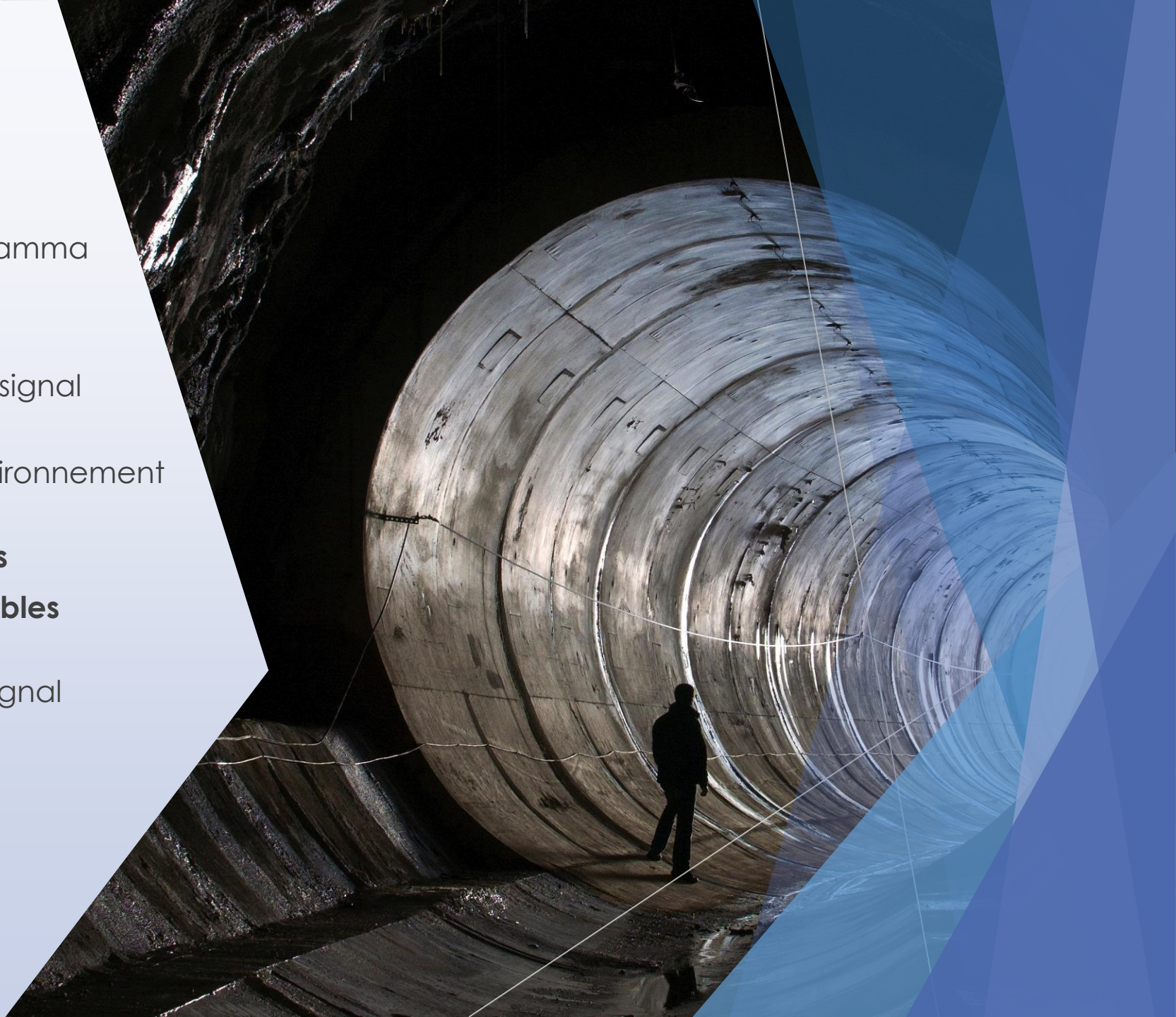
Activation protonique



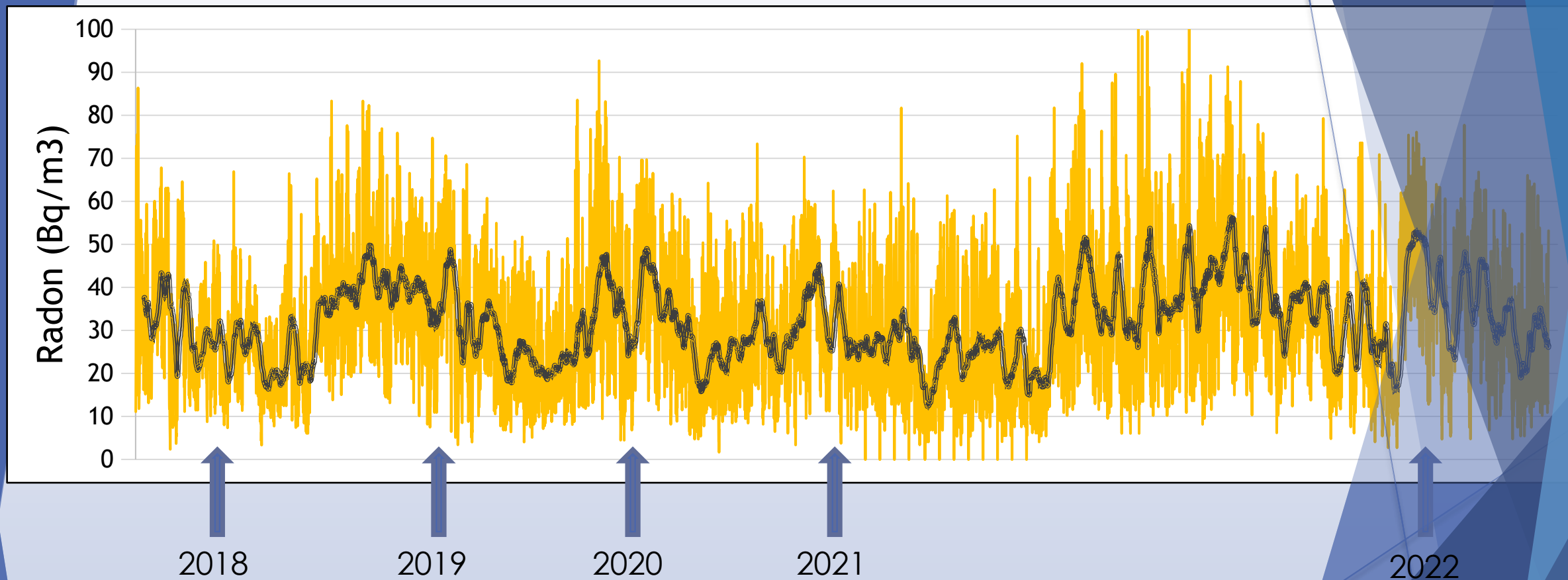
- 23 mg d'échantillon
- ODG activités = 10^2 Bq/ kg
- Activité manipulée ~ 0,1 Bq

En résumé

- **25 ans d'expérience** en analyse gamma
- Laboratoire universitaire
 - **Expertise** en traitement du signal
- **Equipements ultra sensibles** et environnement bas bruit
 - **Limites de détection basses**
 - Mesure possible des **très faibles radioactivités**
 - **Rapidité** d'acquisition du signal
- **Laboratoire automatisé**
 - Analyses **365 jour/ an**



Suivi du radon



Moyenne : $32 \text{ Bq.m}^{-3} \pm 32$ (2 s.d.)
Cyclicité quotidienne
Cyclicité saisonnière

BDF min. 5 jours
BDF min. 4 fois par an

Exemples d'application : études environnementales

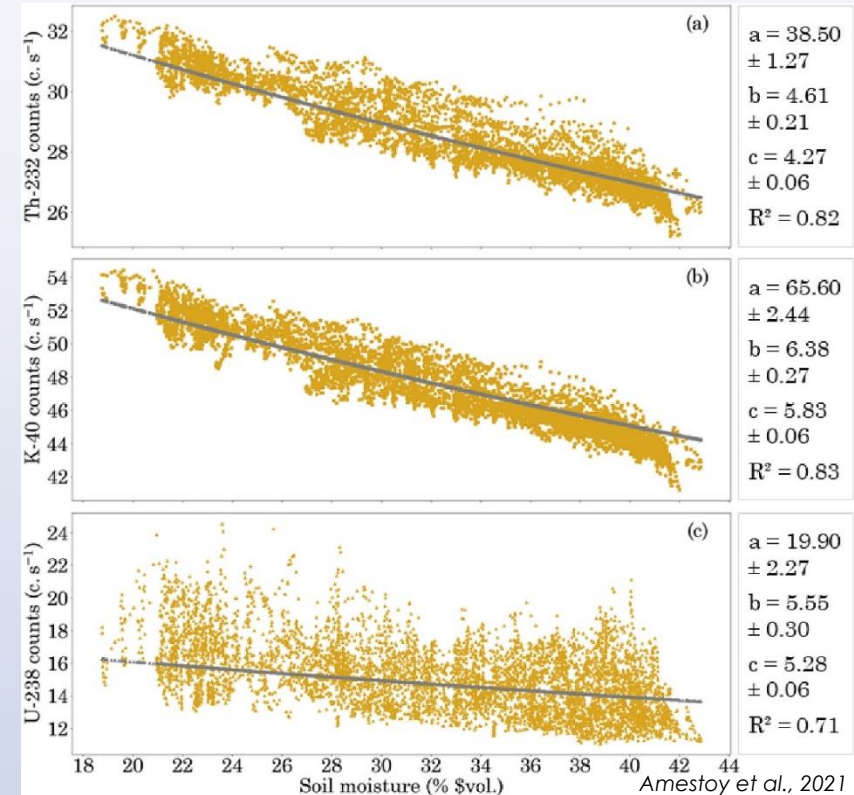
Détecter le « nuage de Fukushima »



Etude de la **quantification des activités d' ^{131}I , ^{134}Cs et ^{137}Cs associées au nuage de Fukushima** via des analyses réalisées sur des aérosols collectés au sommet du Pic du Midi (Pyrénées).

- Evrard et al. 2012, *Journal of Environmental Radioactivity*, vol. 114, pp. 54-60.
- Masson et al. 2016, *Journal of Environmental Radioactivity*, vol. 162-163, pp. 14-22.

Etudier l'influence de l'environnement sur la mesure



Etude sur l'**influence des facteurs environnementaux sur la mesure aéroportée des radioéléments.**

- Amestoy et al., 2021, *Journal of Environmental Radioactivity*, vol. 237, 106695.

Exemples d'application : études d'impact minier

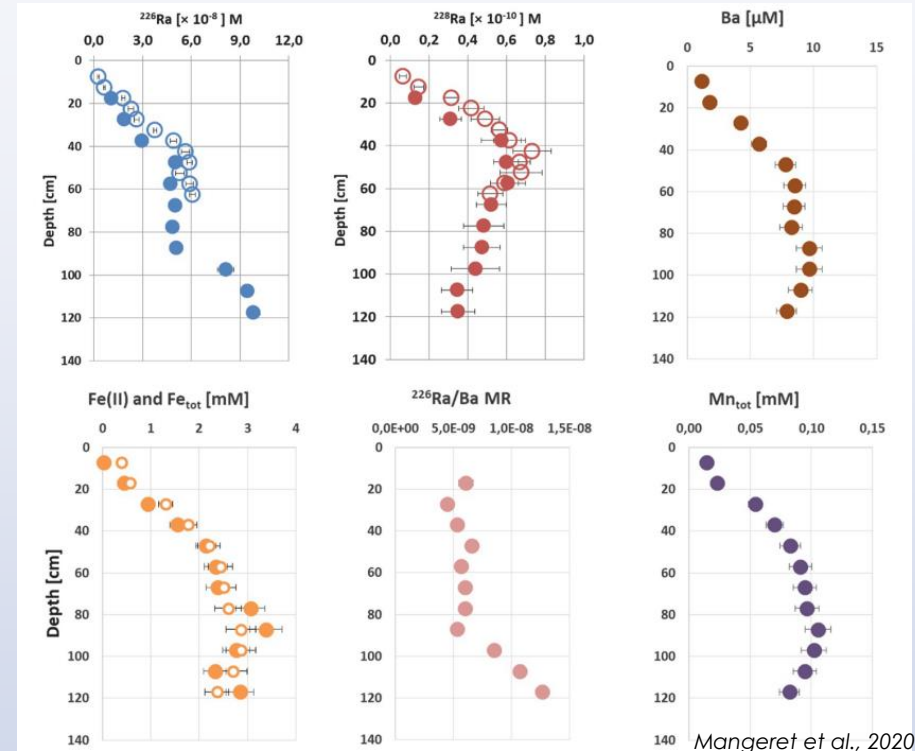
Production de phosphates



Etude de l'impact de l'usine de phosphates de Gabès sur le transfert de radioéléments (NORM) dans l'environnement (Golfe de Gabès, Tunisie).

- El Zrelli et al. 2019, *Marine Pollution Bulletin* vol 146, pp. 454-461.

Mines d'uranium

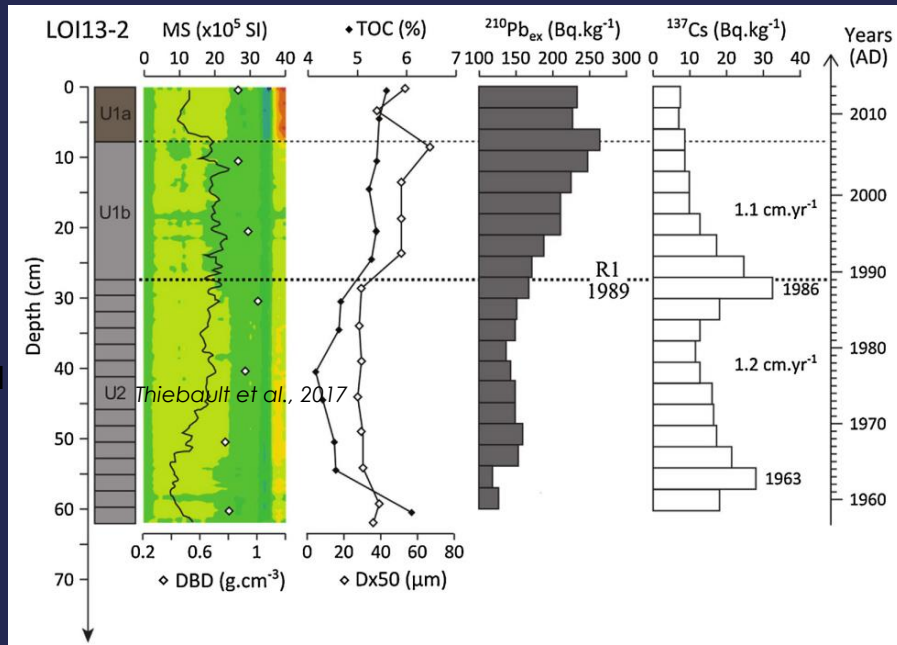


Etude de l'impact des activités minières sur l'environnement (lac de Saint Clément, Massif Central).

- Mangeret et al., 2020, *Journal of Environmental Radioactivity*, vol. 222.

Exemples d'application : datations et flux de matière

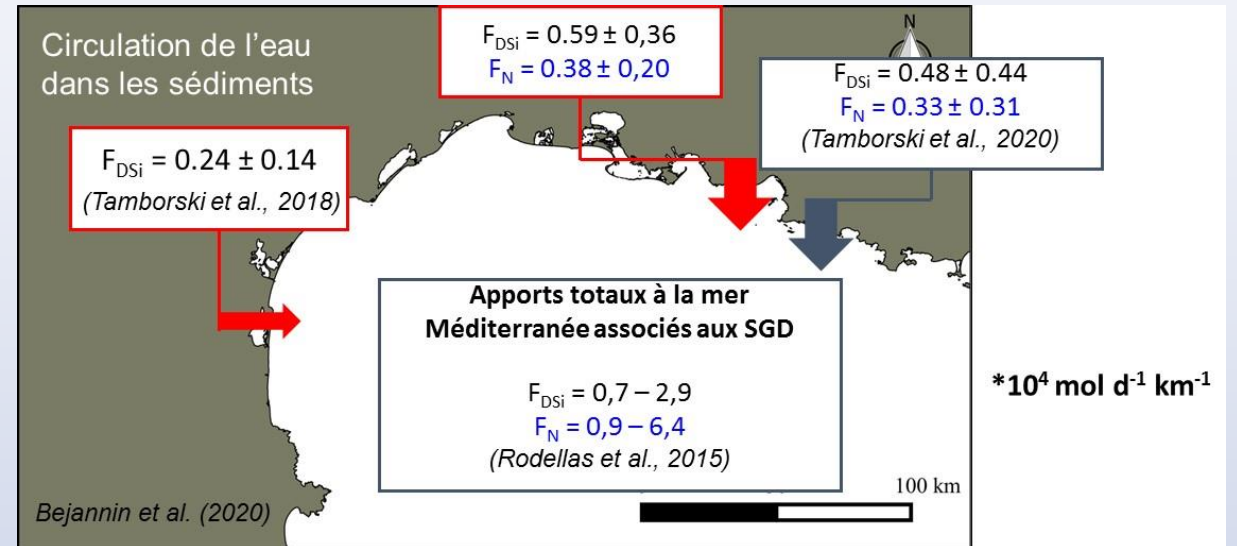
Dater des sédiments (^{210}Pb , ^{137}Cs et ^{241}Am)



Etudes du ^{210}Pb et ^{137}Cs dans des carottes de sédiment et de tourbe afin de quantifier les vitesses de sédimentation et de dater ces enregistrements.

- Thiebault et al., 2017, *Anthropocene*, vol. 18, pp. 47-56.

Quantifier le transfert d'éléments à l'interface continent-océan



Etudes des flux d'éléments chimiques (nutriments, contaminants) associés aux décharges d'eau souterraine en mer, le long du Golfe du Lion. Ces flux ont été quantifiés au moyen des isotopes du radium qui sont utilisés comme traceurs de ces apports souterrains.

- Bejannin et al., 2017, *Journal of hydrology*, vol. 13, pp. 72-90
- Bejannin et al., 2020, *Frontiers in environmental science*, doi: [10.3389/fenvs.2019.00205](https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00205)
- Tamborski et al. 2018, *Geochimica et cosmochimica acta*, vol. 238, pp. 496-515.
- Tamborski et al. 2020, *Science of the total environment*, vol. 732, 139106.