

Rencontre scientifique interdisciplinaire sur le Radon

mercredi 14 mai 2025 - vendredi 16 mai 2025

Université Aix-Marseille, Campus Saint-Charles

Recueil des résumés

Contents

Où est passé le radon de la grotte du Grand Draïoun ?	1
Le Radon dans les eaux karstiques de la source du Lez (Hérault)	1
Improving gamma spectrometry for radionuclide analysis of lunar and Martian regolith samples	2
Présentation du LSBB et des mesures radon qui y sont réalisées	2
Le ^{222}Rn comme traceur des apports d'eau souterraine vers les zones humides méditerranéennes : vers une standardisation des mesures et une aide à la gestion de ces espaces naturels	2
Etudes du radon pour les expériences de physiques des particules dans la plateforme Radon du CPPM	3
Sources de radons faibles et moyennes.Applications	4
Instrumentation et intercomparaison de mesures de radon souterrain en grotte	4
Le radon et ses descendants dans les environnements planétaires	4
Mesures de radon sur le site P2OA du Pic du Midi (2877 m)	5
Etude sur l'exposition au radon des travailleurs dans les lieux de travail spécifiques	5
T2Rn (Transport Of Unsaturated Groundwater and Heat - Radon Module) : développement, validation et exemples d'utilisation pour des besoins de recherche et d'expertises	6
Défi de la quantification du flux d'exhalation du radon 222 sur un ancien site minier	6
Modélisation de radon atmosphérique et des débits de dose gamma à l'échelle continentale	7
Goupil: présentation et applications	7
Keynote Radon et radioprotection en milieux karstiques et souterrains: "Quelles origines pour le radon en environnement karstique ?"	8
Modélisation et mesure du dépôt de descendants du radon	8
Le radon-222 traceur de la dynamique des systèmes naturels.	9
Concentration of short-lived Rn daughters on negative ion generators	9

Surface contamination from plate-out and implantation of radon daughters	10
Signature radon de systèmes hydrothermaux volcaniques et non volcaniques : Exemple des Açores et de l'Himalaya du Népal	10
Dégazage pré-, syn- et post-éruptif du radon et de ses descendants durant l'éruption du Tajogaite (La Palma, Iles Canaries, Espagne) en 2021	10
Etude de la dynamique atmosphérique du radon et de ses descendants au Centre de Recherches Atmosphériques	11
Projet PASTHEL : Etude multi-compartiments et multi-annuelle de l'influence du radon atmosphérique et des paramètres environnementaux sur les mesures de spectrométrie gamma aéroportées	11
Mesures de l'activité du radon dans l'eau à l'aide d'un détecteur de coïncidences ^{214}Bi - ^{214}Po	12
Optimisation de l'analyse du ^{226}Ra via la courbe de croissance du ^{222}Rn au RaDeCC	13
Stratégie anti-radon pour l'expérience SuperNEMO	13
Fouille d'archéologie préventive dans l'ancienne mine de Pradal (34)	13
Compte-rendu informatif concernant la prise en compte du radon dans le cadre du diagnostic scientifique préliminaire de la Grotte de la Fileuse de Verre (Grotte de la Devèze) à Courniou (34)	14
Keynote Radon et géosciences: "Le radon dans les sciences de la terre et au delà : rapide survol d'un demi-siècle."	14
Une petite histoire de la dosimétrie du « radon » dans les mines	15
Apport du radon et de ses descendants à la compréhension des processus de dégazage magmatique de l'Etna	15
Métrologie du radon et étalons	15
Projet Européen : RadonNet - Radon metrology: Sensor networks for big buildings and future cities	16
Stratégies contre le Radon dans l'expérience JUNO en physique des neutrinos	17
Keynote Le Radon et la physique des particules: " Le projet IRENE"	17
Introduction du Workshop	18
Cloture et Perspective	18
Evaluation du risque radon à Djibouti	18
Radonova	18
HTDS	18
Bertin et Dose expert	18

Mirion 18

The RAVIOLI instrument : Radon Analysis on Volcanoes with In-situ Observations of short-Lives Isotopes 19

Session Jeudi après-midi / 3**Où est passé le radon de la grotte du Grand Draïoun ?****Auteur:** Alexandre Zappelli¹¹ *CEREGE-CNRS***Auteur correspondant** zappelli@cerege.fr

La grotte du Grand Draïoun s'ouvre dans les falaises Soubeyranes à 245 m d'altitude. Elle est située sur la commune de La Ciotat (Bouches-du-Rhône, France) au cœur du parc national des Calanques et se développe sur environ 3500 m pour 180 m de profondeur. Son encaissant géologique est constitué d'un empilement complexe de calcaires, calcaires gréseux et poudingues gréseux d'âge turonien.

En 2022/2023 une campagne de mesure de radon a montré de faibles concentrations (valeur maximale de 680 Bq/m³ au fond de la cavité).

Or de nombreux éléments laissent présager des concentrations élevées de radon :

- un faible renouvellement de l'air au fond de la cavité (montré par un suivi des concentration en CO₂) ;
- la présence de roches détritiques ;
- la présence massive de remplissages endokarstiques sablo-argileux ;
- la présence d'uranium mesuré dans les concrétions.

Dès lors comment expliquer ces concentration modérées de radon dans un contexte aussi favorable ?

Session Mercredi après-midi / 4**Le Radon dans les eaux karstiques de la source du Lez (Hérault)****Auteur:** Arnold MOLINA-PORRAS¹**Co-auteurs:** Christelle BATIOU-GUILHE²; Jean-Luc SEIDEL²; Michel CONDOMINES³; Mylène MARIE²¹ *Université du Costa Rica*² *HydroSciences Montpellier*³ *Géosciences Montpellier, Université de Montpellier et CNRS, France***Auteurs correspondants:** arnold.molinaporras@ucr.ac.cr, jean-luc.seidel@orange.fr, mylene.marie@umontpellier.fr, michel.condomines@umontpellier.fr, christelle.batiot-guilhe@umontpellier.fr

A. Molina-Porras^{1,2*}, M. Condomines², J.L. Seidel¹, M. Marie¹, C. Batiot-Guilhe¹

La concentration en Radon dans les eaux karstiques de la source du Lez, alimentant la Métropole de Montpellier, est suivie régulièrement par le laboratoire HydroSciences (Observatoire MEDYCYSS, OSU OREME, SNO Karst). Nous présentons ici les résultats obtenus de 2011 à 2017. Après prélèvement de l'eau dans des flacons étanches, le Rn a été mesuré en laboratoire grâce au système AquaKIT couplé au détecteur AlphaGUARD PQ 2000. Les teneurs en Rn varient de 0,5 à 3,7 Bq/L, les teneurs maximales s'observant dans les eaux les plus diluées suivant un épisode de pluie important. L'essentiel du Rn est produit dans l'épikarst à partir du sol et des altérites riches en U et ²²⁶Ra (jusqu'à 130 Bq/kg de ²²⁶Ra), qui recouvrent et remplissent les cavités des calcaires karstifiés du Jurassique supérieur/Crétacé inférieur. Les teneurs en Rn sont globalement corrélées avec le débit de la source, avec un décalage temporel dans les pics et la décroissance de ces deux paramètres après un épisode pluvieux intense. Les mesures du ²¹⁰Pb, descendant du ²²²Rn, dans les eaux du Lez suggèrent que le couple ²²²Rn-²¹⁰Pb pourrait être utilisé pour estimer le temps de transfert de l'eau entre l'épikarst et la source.

1 HSM, Université de Montpellier, CNRS, IRD

2 Géosciences Montpellier, Université de Montpellier, CNRS

*Adresse actuelle: Université du Costa Rica, San José, Costa-Rica

Session Jeudi matin / 5**Improving gamma spectrometry for radionuclide analysis of lunar and Martian regolith samples****Auteur:** Íñigo de Loyola Chacartegui Rojo¹**Co-auteurs:** Benoit SABOT²; Sylvie Pierre³; Frédéric Girault⁴; Pierre-Yves Meslin⁵¹ Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives² CEA³ Université Paris-Saclay, CEA, LIST, Laboratoire National Henri Becquerel (LNE-LNHB), F-91120 Palaiseau, France⁴ Univ. de Paris - IPGP⁵ Université Toulouse 3**Auteurs correspondants:** benoit.sabot@cea.fr, pmeslin@irap.omp.eu, sylvie.pierre@cea.fr, inigo-deloyola.chacarteguirojo@cea.fr, girault@ipgp.fr

Le radon (Rn-222) et ses produits de désintégration servent de traceurs pour étudier les processus géophysiques dans la lithosphère et sur d'autres corps planétaires. Une installation expérimentale a été mise en place au Laboratoire National Henri Becquerel (LNE/LNHB-MA) pour réaliser des mesures de spectrométrie gamma sur un détecteur en germanium de haute pureté. L'instrument et la géométrie ont été optimisés pour atteindre une haute sensibilité et une grande efficacité, même lors de l'analyse d'échantillons de faible masse, permettant ainsi de déterminer les concentrations d'activité de radionucléides tels que U-238, Ra-226, Th-232, U-235 et K-40. Un traitement spécifique a été appliqué pour étudier la fraction non supportée de Pb-210, liée à l'émission du radon, fournissant des données essentielles sur les propriétés thermo-physiques du régolithe.

Session Jeudi après-midi / 6**Présentation du LSBB et des mesures radon qui y sont réalisées****Auteur:** JB Decitre¹¹ LSBB**Auteur correspondant** jb.decitre@lsbb.eu

Le laboratoire souterrain à bas bruit (LSBB) est composé de 4 km de galeries souterraines et de surfaces extérieures avec des expériences déployées sur plusieurs kilomètres carrés. Sous 500 m de roche calcaire, le laboratoire offre un environnement exceptionnel en matière de bruit géophysique (sismique, électromagnétique, gravimétrique, ...). Le LSBB est un site d'accueil d'expérimentations interdisciplinaires, ouvert à tous les laboratoires nationaux et internationaux. Depuis plus de 10 ans nous réalisons des mesures de Radon pour la sécurité du personnel et le suivi des paramètres environnementaux des galeries.

Session Mercredi après-midi / 7**Le ²²²Rn comme traceur des apports d'eau souterraine vers les zones humides méditerranéennes : vers une standardisation des mesures et une aide à la gestion de ces espaces naturels****Auteurs:** Sébastien Santoni¹; Pierre-Alain Guisiano¹; Alexis Guerin¹; Davia Orticoni¹; Emilie Gareil¹; Thomas Leydier¹; Frederic Huneau¹

¹ Université de Corse / CNRS UMR 6134 SPE / Hydrogéologie

Auteurs correspondants: garel_e@univ-corse.fr, guisiano_p@univ-corse.fr, guerin_a@univ-corse.fr, 20181161@web-mail.universita.corsica, leydier_t@univ-corse.fr, santoni_s@univ-corse.fr, huneau_f@univ-corse.fr

Associé à d'autres traceurs tels que la température (T) ou la conductivité électrique (CE), le ^{222}Rn s'est révélé performant pour la détection d'importants flux d'eau souterraine vers de grandes zones humides continentales et de transition, ou en mer à l'exutoire d'aquifères côtiers. En revanche, les flux faibles et diffus demeurent encore peu étudiés alors qu'ils contribuent au maintien de la riche biodiversité de plus petites zones humides, nombreuses et dispersées comme c'est le cas en Méditerranée. Le potentiel du ^{222}Rn pour révéler de telles interactions reste à approfondir, et des protocoles pour garantir la qualité des mesures et des interprétations manquent en particulier lorsque les signaux sont faibles : perte du signal (dégazage, décroissance), bruit de fond (sédiments, discontinuités structurales), sensibilité et incertitude de mesure suivant le contexte géologique (volume à échantillonner ou mesure in situ), nombre d'échantillons à traiter, temps maximal entre échantillonnage et analyse (courte demi-vie), durée et nombre de répétitions de comptage, objectif poursuivi (détection vs quantification).

Afin de préciser le champ d'application du ^{222}Rn dans l'étude des zones humides méditerranéennes, plusieurs centaines de données hydrochimiques (T, EC, SiO_2) et d'activités ^{222}Rn (Durrige® RAD7 et RAD8), issues de cours d'eau, lacs de haute montagne, mares temporaires et petites lagunes côtières, ont été collectées et seront discutées. Ces dernières proviennent de précédentes études menées en Corse, un observatoire représentatif de la Méditerranée, et dont le fond géochimique, dû à la présence des granites hercyniens, est favorable à la présence de ^{222}Rn dans les eaux souterraines et les zones humides qui en sont potentiellement tributaires. Les résultats montrent que les activités ^{222}Rn sont détectables sur la plupart des sites, avec un large panel d'activité, dont les plus fortes peuvent atteindre 47,000 Bq/m³. Les zones humides sont donc tributaires des eaux souterraines, mais dans des proportions variables d'un site ou d'une saison à l'autre. Dans les lagunes, ^{222}Rn , T et SiO_2 augmentent à mesure que la CE diminue. Dans les fleuves et les mares temporaires, ^{222}Rn , T et CE croissent ensemble lors des périodes d'étiage ou d'assèchement. En revanche, aucune corrélation systématique n'est observée entre le ^{222}Rn et ces paramètres dans les lacs. De plus, le ^{222}Rn s'est révélée plus sensible que T, CE et SiO_2 , bien que l'interprétation de son signal demeure complexe : des niveaux faibles peuvent indiquer un apport souterrain variable ou une perte du signal, pouvant de plus être masqué par le bruit de fond. Enfin, l'échantillonnage (et non la mesure in situ) a optimisé le temps d'analyse, mais son applicabilité à l'ensemble des zones humides reste à évaluer.

En conclusion, cette étude met en évidence une claire hiérarchisation du niveau de dépendance des zones humides méditerranéennes vis à vis des eaux souterraines. Dans la mesure où cette connexion est synonyme de meilleure résilience face aux épisodes de sécheresse mais aussi d'une potentielle vulnérabilité face aux pressions humaines du bassin versant dans son entier, le ^{222}Rn pourrait constituer à l'avenir un indicateur clé dans la délimitation de l'espace de bon fonctionnement des zones humides et ainsi permettre d'en optimiser leur gestion pour une conformité de long terme au regard de la DCE, à condition de disposer d'un protocole de mesure et d'interprétation fiable et standardisé.

Session Jeudi après-midi / 8

Etudes du radon pour les expériences de physiques des particules dans la plateforme Radon du CPPM

Auteur: Hichem Tedjditi¹

¹ CPPM

Auteur correspondant tedjditi@cppm.in2p3.fr

Le Radon est un gaz noble radioactif produit dans les chaînes de décroissance de l'uranium et du thorium. En particulier, l'isotope ^{222}Rn , dont la période de décroissance est de 3.82 jours, est une des plus grandes sources naturelles d'exposition aux radiations.

Dans la physique des particules et astroparticule des événements rares ou de la recherche de matière noire, la décroissance du ^{222}Rn et ses descendant, est souvent la source de bruits de fonds limitant

la sensibilité de ces expériences. Ainsi, l'étude du radon et des méthodes de purification dans les gaz et les liquides est d'un grand intérêt.

Dans ce contexte, la Plateforme Radon du CPPM est une plateforme dédiée à l'étude générale de la physique du radon.

Session Vendredi matin / 9

Sources de radons faibles et moyennes. Applications

Auteur: Maurice Chapellier¹

¹ *IJCLab/Queens*

Auteur correspondant maurice.chapellier@ijclab.in2p3.fr

Après un bref rappel des propriétés des radons, différentes sources de radon (Rn222 et Rn220) sont présentées ainsi que les mesures grossières de leurs activités à l'aide du Calen. Quelques applications de ces sources seront décrites

Session Jeudi après-midi / 10

Instrumentation et intercomparaison de mesures de radon souterrain en grotte

Auteur: Gaël MONVOISIN¹

Co-auteurs: JB Decitre²; Fabien Naessens³; Luca Terray⁴

¹ *CNRS*

² *LSBB*

³ *I2M Bordeaux*

⁴ *Laboratoire de Physique de Clermont*

Auteurs correspondants: luca.terray@clermont.in2p3.fr, fabien.naessens@u-bordeaux.fr, jb.decitre@lsbb.eu, gael.monvoisin@univ-paris-saclay.fr

Le réseau CNRS "Milieux Souterrains et Karsts" a instrumenté plusieurs sites (Grotte de St Marcel d'Ardèche, Laboratoire Souterrain à Bas Bruit et Grotte/résurgence de Port-Miou) pour suivre les évolutions long terme de radon. Ces mesures sont parfois corrélées avec d'autres paramètres climatologiques. Plusieurs capteurs et technologies ont été testés et comparés. Une présentation des premiers résultats et des premières questions soulevées est proposée.

Session Jeudi matin / 11

Le radon et ses descendants dans les environnements planétaires

Auteur: Pierre-Yves Meslin¹

Co-auteurs: Benoit Sabot²; Bill Boynton³; Bing Qi⁴; Frédéric Girault⁵; Grégoire Deprez⁶; Huaiyu He⁷; Inigo de Loyola Chacartegui Rojo²; Jean-Christophe Sabroux⁸; Jean-François Pineau⁹; Jiannan Li⁷; King Wah Wong¹⁰; Naoyuki Yamashita¹¹; Olivier Gasnault¹⁰; Robert Wimmer-Schweingruber¹²; Vincent Thomas¹⁰; Zhizhong Kang⁴

¹ *Université Toulouse 3*

² *CEA*

³ *University of Arizona*

⁴ *CUGB*

⁵ *IPGP*

⁶ *ESA*

⁷ *IGG*

⁸ *IRSN*

⁹ *Albedo Technologies*

¹⁰ *IRAP, Université de Toulouse/CNRS*

¹¹ *Planetary Science Institute*

¹² *Université de Kiel*

Auteur correspondant pmeslin@irap.omp.eu

L'utilisation du radon et de ses descendants comme traceurs de processus de transport ne se limitent plus au seul cadre terrestre. Depuis les années 1970, et particulièrement ces 20 dernières années, plusieurs missions spatiales ont permis de détecter sa présence, de manière plus ou moins fortuite, sur la Lune, Mars et Mercure, parfois à l'aide de nouvelles méthodes que nous présenterons. Ces mesures ouvrent de nouvelles perspectives d'étude de ces radionucléides dans des environnements naturels très différents les uns des autres, et permettent de transposer des méthodes utilisées dans les sciences de l'environnement à l'étude de l'atmosphère et du régolithe de ces corps planétaires.

Session Jeudi matin / 12

Mesures de radon sur le site P2OA du Pic du Midi (2877 m)

Auteur: Francois GHEUSI^{None}

Auteur correspondant francois.gheusi@univ-tlse3.fr

La Plateforme Pyrénéenne d'Observation Atmosphérique (P2OA) réunit deux sites instrumentés en Hautes-Pyrénées : le Pic du Midi (PDM, 2877m) et, au pied de la chaîne, le Centre de Recherches Atmosphériques (CRA, 600m) de Lannemezan. Des mesures continues de radon atmosphérique sont conduites depuis 2017 à PDM et 2019 au CRA. Au PDM est opéré un détecteur de radon à double filtre de très haute sensibilité, développé par l'ANSTO. Sur les deux sites sont également déployés des ensembles de mesures complétant, à des degrés divers, la connaissance de l'environnement radiatif des sites. Les caractéristiques statistiques de la série de mesures de radon collectée en haute altitude au PDM seront présentées ici, ainsi que l'influence sur les niveaux de radon observés des principaux régimes météorologiques rencontrés à la P2OA. Une autre présentation (Philibert et al.) sera dédiée au programme scientifique mené au CRA.

Session Jeudi après-midi / 13

Etude sur l'exposition au radon des travailleurs dans les lieux de travail spécifiques

Auteurs: Caroline Vignaud¹; Laurent Destacamp^{None}; Pascale Blanchart^{None}

¹ *IRSN (ASNR)*

Auteurs correspondants: laurent.destacamp@asnr.fr, caroline.vignaud@asnr.fr, pascale.blanchart@asnr.fr

Plusieurs études sont menées par l'ASNR dans les lieux de travail spécifiques à la demande des pouvoirs publics (notamment la Direction Générale du Travail).

Une première étude concerne les cavités agricoles où des campagnes de mesure de l'activité volumique du radon réalisées de 2021 à 2024 dans 44 cavités agricoles (caves à vins, caves à fromages et champignonnières) ont révélé des activités volumiques moyennes annuelles comprises entre quelques dizaines et plusieurs milliers de Bq/m³. Pour dix cavités, les résultats sont supérieurs au NR de 300 Bq/m³ en activité volumique moyenne annuelle de radon. Des investigations complémentaires sont en cours dans 4 cavités d'affinage de fromages, où le dépassement du NR était significatif et où le temps de présence des salariés était important.

Une seconde étude concerne une demande d'expertise sur le coefficient de dose à utiliser pour le calcul de la dose efficace due à l'exposition au radon des travailleurs dans les grottes touristiques.

Session Jeudi après-midi / 14

T2Rn (Transport Of Unsaturated Groundwater and Heat - Radon Module) : développement, validation et exemples d'utilisation pour des besoins de recherche et d'expertises

Auteur: Nahla Mansouri¹

Co-auteurs: ZAKARIA SAADI ¹; Géraldine IELSCH ¹

¹ ASNR

Auteurs correspondants: zakaria.saadi@asnr.fr, geraldine.ielsch@asnr.fr, nahla.mansouri@asnr.fr

Afin d'exercer ses missions d'expertise et d'accompagnement des pouvoirs publics dans la gestion du risque relatif au radon, il est nécessaire pour l'ASNR de s'appuyer sur des outils de modélisation pour comprendre les phénomènes de transfert du radon dans la géosphère jusqu'à la surface terrestre. Compte tenu de l'absence de codes de calcul commercialisés répondant à ces besoins, l'ASNR a développé le code de calcul T2Rn basé sur la plateforme iTOUGH2 en collaboration avec la société CRC-LLC (Canyon Ridge Consulting LLC, Sandia, USA) et le laboratoire LBNL (Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, USA). Il permet l'étude des phénomènes transitoires de transport du radon en 3D dans des milieux poreux et/ou fracturés diphasiques. Il a été validé à la fois par des solutions analytiques et numériques, et par des données de mesure in situ. T2Rn est désormais utilisé pour diverses applications dans les domaines de l'expertise (investigations radiologiques lors de la réutilisation de résidus et de stériles miniers) et de la recherche (transport dans le continuum karst-roche-sol-bâtiment).

Pause café et Session Posters / 15

Défi de la quantification du flux d'exhalation du radon 222 sur un ancien site minier

Auteur: Philippe Laguionie¹

Co-auteurs: Pascale Blanchart ¹; Didier Hébert ¹; Nahla Mansouri ¹; Luc Solier ¹; Younes Hamroun ¹; Claire Gréau ¹

¹ ASNR

Auteurs correspondants: didier.hebert@asnr.fr, luc.solier@asnr.fr, claire.greau@asnr.fr, pascale.blanchart@asnr.fr, nahla.mansouri@asnr.fr, philippe.laguionie@asnr.fr, younes.hamroun@asnr.fr

La quantification du flux d'exhalation du radon 222 sur d'anciens sites miniers reste un défi en raison de la variabilité spatiale et des incertitudes liées aux méthodes de mesure. Les résidus du traitement du minerai d'uranium stockés sur ces sites contiennent du radium-226, source de radon 222 ($T_{1/2} = 3,8$ j). En fonction des conditions environnementales, une fraction de ce radon exhale du sol et peut contribuer à l'exposition des populations, avec une influence variable selon le bruit de fond régional. Cette étude vise à comparer trois approches pour estimer ce flux sur l'ancien site minier de l'Écarpière : (1) krigeage à partir de mesures sous cloches, (2) flux turbulent par la méthode du gradient et (3) modélisation par T2RN. Ces travaux permettront d'évaluer la robustesse des méthodes et d'améliorer la quantification du radon exhalé. Les premières mesures débuteront en septembre 2025, avec plusieurs campagnes saisonnières.

Session Jeudi matin / 16

Modélisation de radon atmosphérique et des débits de dose gamma à l'échelle continentale

Auteur: Arnaud Quérel¹

Co-auteurs: Denis Quélo²; Jubricia Baboussadiambou Mamadou ; Tanina Hached ; Khadija Meddouni

¹ ASNR, PSE-ENV, STAAR, LMDA

² ASNR, PSE-ENV, STAAR, LERTA

Auteur correspondant arnaud.querel@asnr.fr

Le lessivage (dépôt humide) des descendants du radon atmosphérique cause une augmentation du débit de dose gamma ambiant observable sur les stations de surveillance. Plus de 10 000 événements significatifs par an attribuables à ce lessivage sont ainsi observés sur le réseau Téléray opéré par l'ASNR.

Le modèle de dispersion atmosphérique LdX permet de prévoir ces pics en utilisant les prévisions météorologiques de Météo-France et des cartes d'exhalation du radon. Ces simulations permettent de 1) fournir une validation statistique des modèles de dispersion de la radioactivité 2) travailler sur la représentativité de la mesure 3) fournir des métriques des performances à grande échelles des cartes d'exhalation du radon 4) prédire les fausses alertes sur le réseau de surveillance causées par ce phénomène.

Nous proposons un résumé des travaux des six dernières années de l'ASNR portant sur la modélisation du radon atmosphérique, ainsi que les perspectives à court et moyen terme.

Session Jeudi matin / 17

Goupil: présentation et applications

Auteurs: Luca Terray¹; Valentin Niess²

¹ Laboratoire de Physique de Clermont

² LPC, Clermont

Auteurs correspondants: niess@in2p3.fr, luca.terray@clermont.in2p3.fr

Goupil est un module Python dédié au transport Monte-Carlo de rayons gamma de faible énergie (de l'ordre du MeV), typiquement issus d'isotopes radioactifs. Goupil a été développé dans le cadre d'un projet de recherche interdisciplinaire visant à mesurer, avec un spectromètre gamma, la teneur en radon de panaches volcaniques, cette teneur étant un indicateur de l'état interne du volcan. Goupil met en œuvre un algorithme d'échantillonnage à rebours particulièrement efficace pour ce type de simulations Monte-Carlo, où la source englobe largement le détecteur. En conjonction avec Calzone (une interface Python à Geant4), Goupil permet de simuler la réponse d'un spectromètre gamma à des

radio-isotopes dispersés dans l'environnement avec une précision au pourcent, tout en maintenant des taux d'événements de quelques kHz (pour un processeur à 2,3 GHz).

Nous présenterons brièvement la librairie Goupil, ainsi que quelques résultats obtenus avec cette dernière.

Session Jeudi matin / 18

Keynote Radon et radioprotection en milieux karstiques et souterrains: "Quelles origines pour le radon en environnement karstique ?"

Auteurs: Claire GREAU¹; Eglantine Husson^{None}

Co-auteurs: Nahla Mansouri ¹; Catherine Lerouge ²; Laurent Bailly ²; Philippe Lach ²; Patrick Olivier ²; Alkiviadis GOURGIOTIS ¹; Arnaud Mangeret ¹; Géraldine Ielsch ¹

¹ *ASNR*

² *BRGM*

Auteurs correspondants: claire.greau@asn.fr, nahla.mansouri@asn.fr, e.husson@brgm.fr

La cartographie du potentiel radon réalisée par l'IRSN se base essentiellement sur les teneurs en uranium des formations géologiques et sur la présence de facteurs pouvant faciliter le transfert du radon vers la surface. Toutefois, l'influence des karsts n'est pas prise en compte faute de connaissances suffisantes alors que des niveaux de radon élevés y sont parfois observés.

Une première étude a été réalisée par l'IRSN à partir d'une zone pilote située dans le Doubs. Les principales conclusions ont été que les niveaux élevés de radon mesurés dans l'air du sol résultent principalement de la désintégration du radium-226 contenu dans le sol dont les teneurs peuvent être similaires à celles de sols de milieux granitiques.

Suite à ces résultats, une étude conjointe BRGM-IRSN a été menée dans le Doubs et le secteur des Grands Causses afin d'expliquer les mécanismes d'enrichissement en radium-226 des sols. Les analyses suggèrent que la karstification sous couverture —un processus correspondant à la dissolution de roches solubles situées sous une couche de sédiments —a favorisé l'accumulation, au sein du massif carbonaté, de matériaux extérieurs enrichis en radium-226.

Session Vendredi matin / 19

Modélisation et mesure du dépôt de descendants du radon

Auteur: Ali Dastgheibi Fard¹

¹ *LPSC/LSM/CNRS*

Auteur correspondant ali.dastgheibi-fard@lpse.in2p3.fr

Ce travail résume les différentes approches qui ont été menées dans le Laboratoire souterrain de Modane (LSM). Dans ce travail, la simulation de l'implantation de descendants du radon sur différentes surfaces est présentée. Le travail compare une approche basée sur Geant4 au code SRIM. Il s'agit de la simulation du recul nucléaire sur une plaque métallique. Les différents matériaux sont testés respectivement pour le dépôt de radon. Nous essayons principalement de simuler avec précision le recul nucléaire et les différents états de surface qui régiront la profondeur d'implantation. En outre, différents matériaux ont été testés dans une chambre de dépôt de radon qui nous a permis de tester différentes possibilités environnementales. Le matériau principal et l'emballage sont testés et la précision de la simulation est testée. Dans la conclusion, une discussion est faite pour vérifier si

cette simulation peut être généralisée à l'expérience souterraine et au dépôt de plomb 210 en surface contribution de fond provenant du stockage des matériaux avant la construction de l'expérience. Ce travail pourrait être discuté comme une possibilité d'anticiper le fond venant en surveillant le niveau de radon ou en donnant un budget de radon pour la construction de l'expérience et d'anticiper la contribution de plomb 210.

Session Mercredi après-midi / 20

Le radon-222 traceur de la dynamique des systèmes naturels.

Auteur: Patrick RICHON¹

¹ CEA/DAM

Auteur correspondant patrick.richon@cea.fr

Le gaz radon est souvent cité comme indicateurs des processus géodynamiques à grande échelle tout en étant associés à une multitude de disciplines comme la radioprotection, la dynamique de l'atmosphère, la planétologie, la volcanologie et l'étude des précurseurs séismiques. Mesurable dans l'air, l'eau et les roches, les concentrations de radon-222 sont généralement extrêmement faibles. En effet, une concentration usuelle de 37 Bq m⁻³ représente seulement un millionième de ppb par volume (ppbv) dans l'atmosphère. De telles concentrations en radon-222 restent pourtant faciles à mesurer grâce à la très grande énergie de la désintégration alpha. Il est théoriquement possible de détecter un atome de radon, une précision inaccessible aux méthodes d'analyses chimiques. C'est justement cette particularité, associée à sa période radioactive de 3.82 jours, qui rend le radon-222 si intéressant pour le traçage des phénomènes naturels. Mais cette extrême sensibilité de détection implique que la mesure du radon (en particulier dans les sols) devient alors très sensible aux processus hydrogéologiques de surface et aux forçages météorologiques, tout particulièrement si la méthodologie de mesure et d'implantation des capteurs n'est pas parfaitement maîtrisée.

Cette présentation fait le point sur les problèmes liés à l'instrumentation, aux méthodes de mesures et ceux liés au traitement du signal. Grâce au déploiement de sondes radon sur différents sites à forte dynamique comme les sites volcaniques, tectoniques et souterrains, nous montrons comment extraire de ces enregistrements les signatures pertinentes, si elles existent, des processus géodynamiques en jeu. Par exemple, la mise en évidence de la présence des ondes de marées terrestres M2 et O1 dans les enregistrements radon du laboratoire sous-glaciaire d'Argentière tendent à confirmer l'existence d'une relation entre les déformations mécaniques de la roche « strain » et les variations d'activité du radon-222.

Ces exemples de résultats démontrent le réel potentiel de la mesure du radon-222 appliquée au traçage des phénomènes naturels, à la condition toutefois d'avoir la maîtrise de l'instrumentation, de l'implantation des capteurs et d'avoir une connaissance approfondie des processus physiques qui lui sont associés. En appliquant des outils d'analyse du signal adaptés, le radon-222 s'avère être un traceur prometteur pour la compréhension fine de la dynamique des systèmes naturels.

Session Vendredi matin / 21

Concentration of short-lived Rn daughters on negative ion generators

Auteur: Vincent BRETON¹

¹ {CNRS}UMR6533

Auteur correspondant vincent.breton@clermont.in2p3.fr

Various indoor air treatment methods are efficient to reduce the lung dose due to inhalation of 222Rn decay products. Ion generators are known to induce the deposition of radon charged daughters in air as a result of the electric field gradient from the generator to the room surfaces. We document

the concentration of short-lived Rn daughters (alpha, beta and gamma emitters) on air filters placed on the surface of a negative ion generator located in an experimental room enriched with radon. Up to 1000-fold increase of activity from alpha emitters (^{214}Po and ^{218}Po) was notably observed within a few millimeters from the needles used to induce an artificial Corona discharge. This result opens perspectives for indoor radon mitigation, for designing radon detectors with higher sensitivity, particularly in the context of outdoor radon air sampling.

Session Vendredi matin / 22

Surface contamination from plate-out and implantation of radon daughters

Auteur: Silvia Scorza^{None}

Auteur correspondant scorza@lpsc.in2p3.fr

Protection from and rejection of backgrounds are key issues for direct dark matter detection and neutrinoless double beta decay experiments.

The potential of next-generation rare event search experiments for achieving very low energy threshold can be challenged by radioactive background at energies below a few tens of keV. Surface contamination from plate-out and implantation of radon daughters can give rise to neutron and gamma-ray backgrounds in the region of interest. Ongoing R&D projects to characterize these backgrounds will be discussed.

Session Mercredi après-midi / 23

Signature radon de systèmes hydrothermaux volcaniques et non volcaniques : Exemple des Açores et de l'Himalaya du Népal

Auteur: Frédéric Girault¹

¹ Univ. de Paris - IPGP

Auteur correspondant girault@ipgp.fr

Les systèmes hydrothermaux émettent du dioxyde de carbone (CO_2) marqué en radon-222. Ces émissions sont étudiées à l'aide de mesures du flux de radon et de CO_2 à la surface réalisées sur le terrain et de mesures du terme source radon de roches et de sols effectuées en laboratoire. Ces données permettent de contraindre une modélisation du transport du radon dans ces systèmes naturels. Cette approche permet de quantifier le budget radon, de diagnostiquer les mécanismes de transport couplé du CO_2 et du radon, et de contraindre la profondeur de la source de gaz de systèmes hydrothermaux volcaniques des Açores (Portugal) et non volcaniques de l'Himalaya du Népal. Les flux de CO_2 et de radon présentent une forte corrélation sur l'ensemble des sites étudiés, ouvrant ainsi des perspectives pour le suivi temporel et l'étude des interactions fluides-séismes. Les systèmes volcaniques émettent une grande quantité de radon qui peut affecter l'ionisation de l'atmosphère et le climat.

Session Mercredi après-midi / 24

Dégazage pré-, syn- et post-éruptif du radon et de ses descendants durant l'éruption du Tajogaite (La Palma, Iles Canaries, Espagne) en 2021

Auteur: Pierre-Jean Gauthier¹

Co-auteurs: Cristina Trull-Hernandis²; Garance Hervé-Carpentier¹; Luca Terray³

¹ *Laboratoire Magmas et Volcans - UMR6524*

² *Universita Politecnica de Valencia*

³ *Laboratoire de Physique de Clermont*

Auteurs correspondants: pierre-jean.gauthier@uca.fr, luca.terray@clermont.in2p3.fr

En 2021, le système volcanique de La Cumbre Vieja sur l'île de La Palma (Canaries) a été frappé par l'éruption la plus importante de son histoire récente avec l'émission de 0.2 km³ de magma durant 85 jours, créant ainsi le nouveau volcan Tajogaite. L'analyse par spectrométries alpha et gamma de la radioactivité naturelle des laves et scories collectées juste après leur mise en place a permis d'étudier très finement la volatilité de ²²²Rn et ²¹⁰Po dans ces magmas basanitiques et d'établir des bilans de dégazage pour les différentes phases de l'éruption. Cette présentation discutera des modalités de dégazage de ces deux isotopes et ce qu'elles nous apprennent sur les processus pré- et syn-éruptifs. Elle sera également l'occasion de dresser un bilan quantitatif de l'impact environnemental lié à l'injection atmosphérique de ces deux radioisotopes et de son effet sur les populations exposées. Elle se conclura par une discussion du rôle de l'émanation spontanée du radon à partir des produits solides de cette éruption comme source de radon atmosphérique en domaine volcanique.

Session Jeudi matin / 25

Etude de la dynamique atmosphérique du radon et de ses descendants au Centre de Recherches Atmosphériques

Auteur: Alban PHILIBERT¹

Co-auteurs: Arnaud Quérel²; Francois GHEUSI ; Julien AMESTOY ; Pierre-Yves Meslin³

¹ *LAERO*

² *ASNR*

³ *Université Toulouse 3*

Auteurs correspondants: arnaud.querel@asn.fr, francois.gheusi@univ-tlse3.fr, alban.philibert@univ-tlse3.fr, julien.amestoy@cea.fr, pmeslin@irap.omp.eu

Le Centre de Recherches Atmosphériques (CRA), situé sur le plateau de Lannemezan (65), est une partie intégrante de la Plateforme d'Observation de l'Atmosphère (P2OA, présentée par Gheusi et al). Dédié à l'observation pérenne de grandeurs atmosphériques des plus petites aux plus grandes échelles, le site permet par son infrastructure l'accueil de campagnes extérieures dont celle sur le radon présentée par Amestoy et al. Les profils de radon obtenus sur le mât multi-instrumenté de 60m sont étudiés en fonction de la stabilité atmosphérique et des situations synoptiques afin d'améliorer les modèles de dispersion. De plus, la spectrométrie gamma couplée aux nombreux instruments de télédétection (radars, lidars, ceilomètre) permet une caractérisation fine des dépôts humides des descendants du radon, indispensable à la bonne interprétation des réseaux de surveillances radiologiques tel que Teleray.

Session Jeudi matin / 26

Projet PASTHEL : Etude multi-compartiments et multi-annuelle de l'influence du radon atmosphérique et des paramètres environnementaux sur les mesures de spectrométrie gamma aéroportées

Auteurs: Julien Amestoy¹; Pierre-Yves Meslin²

Co-auteurs: Alban Philibert³; David Baratoux⁴; François Gheusi⁵; Marc Souhaut⁶; Marie Lothon⁵; Patrick Richon¹; Pieter Van Beek⁶; Solène Derrien⁵; Thomas Zambardi⁶

¹ CEA/DAM

² Université Toulouse 3

³ IRAP, Université de Toulouse/CNRS

⁴ GET, IRD, Université de Toulouse/CNRS

⁵ LAERO, Université de Toulouse/CNRS

⁶ LEGOS, Université de Toulouse/CNRS

Auteurs correspondants: pmeslin@irap.omp.eu, julien.amestoy@cea.fr

Les mesures aéroportées de spectrométrie gamma dépendent de paramètres environnementaux qui introduisent des variations spatiales et temporelles du signal mesuré indépendantes de la concentration en radionucléides des sols, et qu'il est donc nécessaire de corriger pour mesurer ces derniers plus précisément. Outre l'humidité des sols, la pression, les précipitations, l'un des principaux paramètres à prendre en compte est la concentration atmosphérique de radon, qui peut fortement impacter les mesures d'uranium. Afin d'étudier l'influence de chacun de ces paramètres, nous avons équipé le site du Centre de Recherche Atmosphérique de l'Observatoire Midi-Pyrénées (OMP) d'un spectromètre gamma NaI(Tl) de 20L sur un mât météorologique de 60 m, accompagné d'un ensemble de capteurs de radon dans les sols et l'atmosphère et de sondes d'humidité, qui viennent compléter toute l'instrumentation atmosphérique déjà existante sur le site (voir aussi les abstracts de Gheusi et al. et Philibert et al.). Le prélèvement de nombreux échantillons de sol et leur analyse au laboratoire LAFARA du LEGOS ont également permis une caractérisation radiologique précise du site. Ce projet transversal entre le CEA et les laboratoires IRAP, LAERO, LEGOS et GET de l'OMP, dénommé PASTHEL, nous a permis de collecter plus de 6 années de données en continu, ce qui nous a permis d'établir les facteurs de sensibilité liés à chaque paramètre environnemental et de mettre au point une méthode de mesure du radon atmosphérique par spectrométrie gamma aéroportée. Cette méthode a été validée lors d'une campagne de survol du site par le système Helinuc® du CEA. Une sonde Teleray de l'IRSN/ASNR est venue compléter le dispositif. Nous présenterons l'instrumentation déployée sur ce site d'étude et les résultats relatifs au radon.

Pause café et Session Posters / 27

Mesures de l'activité du radon dans l'eau à l'aide d'un détecteur de coïncidences ²¹⁴Bi-²¹⁴Po

Auteurs: Adriano Mayer¹; Jose Busto²; Olivier Llido³; Hichem Tedjditi⁴; Léo Riquelme¹

¹ Avignon-Université - UMR EMMAH - Equipe Hydro

² CPPM/IN2P3/ Université d'Aix-Marseille

³ CEA - Cadarache DES/DER/LDCI

⁴ CNRS - CPPM

Auteurs correspondants: tedjditi@cppm.in2p3.fr, adriano.mayer@univ-avignon.fr, busto@cppm.in2p3.fr, olivier.llido@cea.fr, leo.riquelme@alumni.univ-avignon.fr

L'activité du ²²²Rn dans des eaux souterraines a été déterminée avec un prototype de compteur alpha-bêta à scintillation solide basé sur les coïncidences ²¹⁴Bi-²¹⁴Po. L'appareil mesure l'activité du ²¹⁴Po issue du radon en équilibre avec l'eau à partir des taux des désintégrations d'atomes ayant des temps de demi-vie caractéristique de 163 µs. Cet appareil a l'avantage d'être relativement insensible à l'humidité présente dans l'air qui transporte le radon au détecteur. Ceci permet l'utilisation de l'appareil sur le terrain dans des zones humides pour des mesures en continue dans l'eau ou dans les sols sans la nécessité de mettre en place des systèmes de déshumidification (exemple CaSO₄). Des comparaisons avec d'autres appareils de mesure de l'activité du radon ont permis d'étalonner la chaîne complète d'obtention des données : dégazage et transport du radon au détecteur, définition

des seuils de détection, temps de mesure ^{214}Bi - ^{214}Po , correction du bruit du fond et calcul de la sensibilité globale. Le temps de réponse du détecteur vis-à-vis des variations d'activité a été déterminé en analysant des eaux ayant des activités du radon variables à différentes échelles de temps.

Session Mercredi après-midi / 28

Optimisation de l'analyse du ^{226}Ra via la courbe de croissance du ^{222}Rn au RaDeCC

Auteur: Sabine Veuille¹

Co-auteurs: Adriano Mayer²; Barbecot Florent³; Dominique Claveau-Mallet¹; Paul Baudron⁴

¹ Polytechnique Montréal

² EMMAH

³ UQAM-GEOTOP

⁴ IRD

Auteur correspondant sabine.veuille@polymtl.ca

La détection alpha à coïncidence retardée (RaDeCC) est une méthode analytique reconnue, fiable et économique pour mesurer les ^{224}Ra et ^{223}Ra via les couples ^{220}Rn - ^{216}Po et ^{219}Rn - ^{215}Po [1], [2], [3]. Des avancées récentes ont montré le potentiel du RaDeCC pour estimer l'activité du ^{226}Ra dans un échantillon via la pente au début de la courbe de croissance du ^{222}Rn [4], [5]. Cette dernière méthode repose cependant sur une discrimination temporelle des désintégrations alpha plutôt que sur une différenciation par niveau d'énergie, ce qui ajoute deux difficultés : la première est de différencier les sources provenant des descendants du radon des trois chaînes U-Th; la seconde est de limiter le bruit de fond. Pour perfectionner la méthode, 180 analyses ont été effectuées avec des solutions sources de ^{226}Ra et ^{232}Th mélangées ou non. Les résultats ont permis de développer une équation empirique pour corriger les interférences liées aux descendants alphas du ^{212}Pb du trio ^{222}Rn - ^{214}Pb - ^{214}Po . Le protocole a par ailleurs été optimisé, réduisant l'erreur sur le ^{226}Ra à moins de 12 %, pour un seuil d'activités minimal de 0,3 dpm/L.

Session Jeudi après-midi / 29

Stratégie anti-radon pour l'expérience SuperNEMO

Auteur: Antoine LAHAIE¹

¹ LP2IB

Auteur correspondant lahaie@lp2ib.in2p3.fr

Le démonstrateur SuperNEMO, installé au Laboratoire Souterrain de Modane, vise à observer la désintégration double bêta sans émission de neutrinos ($\beta\beta\nu$) du sélénium 82 (^{82}Se) via sa technologie trajecto-calorimétrique, qui permet une reconstruction topologique des événements. Sa découverte prouverait la nature de Majorana du neutrino. Ce processus très rare nécessite un bruit de fond extrêmement faible. Le radon 222 (^{222}Rn) peut émaner des matériaux du détecteur ou diffuser depuis l'air du laboratoire vers le gaz du trajectographe. Il se désintègre en bismuth 214 (^{214}Bi), dont le Q_β (3,27 MeV) recoupe la région d'intérêt du $\beta\beta\nu$ ($Q_{\beta\beta} = 2,99$ MeV), contribuant fortement au bruit de fond. L'activité du radon dans le gaz, mesurée via l'effet BiPo, doit rester sous 0,15 mBq/m³. SuperNEMO applique pour cela une stratégie anti-radon : sélection rigoureuse des matériaux, filtration du gaz et volume tampon entre air du laboratoire et détecteur.

Pause café et Session Posters / 30**Fouille d'archéologie préventive dans l'ancienne mine de Pradal (34)****Auteur:** Christophe Marconnet^{None}**Co-auteur:** Gérald Bonnamour**Auteur correspondant** christophe.marconnet@arkemine.fr

La société Arkemine a réalisé, du 13 janvier au 21 février 2025, sous la responsabilité scientifique de Gérald Bonnamour, une fouille d'archéologie préventive dans l'ancienne mine de Pradal (34) avant sa fermeture définitive pour mise en sécurité. Les mesures en radon effectuées les 5 et 6 juin 2024 par le BRGM montrent une activité moyenne du ^{222}Rn de l'ordre de 4400 Bq.m³ qui témoigne de la présence d'importantes sources de Radon dans cet ouvrage souterrain. L'ouvrage minier ne pouvait pas accueillir d'archéologues pour une durée supérieure à 45 heures sans installation d'un système de ventilation mécanique. La société Arkemine a donc fait appel à la société Cogemacoustique pour effectuer une étude de ventilation de la mine et pour fournir le matériel nécessaire à sa mise en œuvre. Par ailleurs, l'équipe Arkemine a été sensibilisée au travail dans des milieux présentant des niveaux élevés de radon par l'IRSN et par la société Algade, organisme de formation agréé, qui a fourni les dosimètres passifs individuels ainsi que des moniteurs de contrôle pour suivre en continu l'activité volumique du radon.

Nous vous proposons donc de partager cette expérience de fouille archéologique préventive quelque peu inhabituelle à l'occasion du colloque sur le radon.

Session Jeudi après-midi / 31**Compte-rendu informatif concernant la prise en compte du radon dans le cadre du diagnostic scientifique préliminaire de la Grotte de la Fileuse de Verre (Grotte de la Devèze) à Courniou (34)****Auteurs:** Gaël Cazes^{None}; Guilhem Maistre^{None}; Johan Jouvès^{None}**Co-auteur:** société CENOTE

Dans le cadre d'une étude de l'atmosphère de la Grotte de la Fileuse de Verre à Courniou (34) réalisée en 2021 et 2022, la société CENOTE a mis en place deux enregistreurs d'activité radon, aux points le plus bas et le plus haut de la visite. Les données collectées ont été traitées, comparées à des données collectées antérieurement, et interprétées.

Les résultats ont permis de mieux comprendre la dynamique du radon dans la grotte et de formuler des préconisations concernant le contrôle de l'exposition des personnels.

Session Mercredi après-midi / 32**Keynote Radon et géosciences: "Le radon dans les sciences de la terre et au delà : rapide survol d'un demi-siècle."****Auteur:** J.C. Sabroux¹

¹ IRSN (retraité)

Un quart de siècle après sa découverte, le radon, nommé comme tel, s'est définitivement installé dans la case N° 86 du Tableau périodique des éléments —il y a très exactement cent ans. Le sixième et dernier des gaz rares a dès l'origine suscité la curiosité des savants, puis donné lieu à des utilisations parfois discutables, en médecine et surtout en cosmétologie. Il a ensuite été source d'inquiétude pour

les travailleurs dans les industries extractives, principalement les mines d'uranium, et ultérieurement dans toutes les cavités souterraines, dont par exemple les grottes ornées. Enfin, cette inquiétude s'est également répandue dans le grand public, dûment alerté du risque radon sur les lieux de travail et dans les habitations.

Les géophysiciens et les géochimistes, aidés par les progrès de la métrologie du radon, ont très vite saisi l'intérêt que présentait ce gaz rare, radioactif, et son cortège de descendants, tout aussi radioactifs, pour l'étude d'une grande variété de mécanismes en œuvre dans la géosphère, l'hydrosphère ou l'atmosphère, à des échelles temporelles et spatiales très diverses.

Pour illustrer cette ubiquité, divers exemples d'utilisation du radon en sciences de la terre seront présentés : prospection d'uranium, aérologie, volcanologie, hydrologie, sismologie, etc. Le potentiel de ces méthodes est important, tout particulièrement en ce qui concerne la modélisation des transferts atmosphériques. En revanche, compte tenu par exemple du caractère multifactoriel de la migration du radon dans le sol, l'interprétation de ses séries temporelles n'est pas univoque. Pareille difficulté ne peut être sous-estimée, mais ce champ de recherche reste prometteur.

Session Jeudi matin / 33

Une petite histoire de la dosimétrie du « radon » dans les mines

Auteur: Jean François PINEAU¹

¹ *ALBEDO Technologies*

Cette histoire commence en 1553 : Paracelse, un médecin Suisse parle dans un ouvrage posthume du « mal des mineurs ». On apprendra par la suite qu'il s'agit de cancers du poumon créés par les descendants solides du radon, présents sous forme d'aérosols dans l'atmosphère des mines. En France, dès après 1945 on se préoccupe de ce risque pour les mineurs d'uranium et une radioprotection basée sur la mesure du radon, puis sur celle des descendants du radon est mise en place. Le système intégré de dosimétrie est mis en place en 1983 autour d'un dosimètre individuel. On décrit dans ce document l'évolution et le fonctionnement du dosimètre, les éléments détectés et analysés, les unités particulières utilisées. Le concept d'énergie alpha potentielle est présenté et l'importance de la taille de l'aérosol porteur est mise en avant. On parle enfin de la complexité de l'analyse des données et de l'intégration dans un même appareil des différentes mesures d'exposition des travailleurs ainsi que de leur traitement. La présentation se termine avec quelques idées pour le futur.

Session Mercredi après-midi / 34

Apport du radon et de ses descendants à la compréhension des processus de dégazage magmatique de l'Etna

Auteur: Luca TERRAY¹

¹ *LPC Clermont*

Auteur correspondant luca.terray@uca.fr

Session Vendredi matin / 35

Métrologie du radon et étalons

Auteur: Benoit Sabot¹

¹ CEA Saclay

Cette présentation mettra en avant les développements récents menés par le Laboratoire National Henri Becquerel (LNHB) concernant les étalons primaires de radon (²²²Rn), de thoron (²²⁰Rn), ainsi que

le nouvel étalon de radon dans l'eau, essentiels pour garantir la traçabilité métrologique des mesures d'exposition à ces gaz radioactifs.

Le radon (²²²Rn) est un gaz radioactif d'origine naturelle, reconnu comme le deuxième facteur de risque

du cancer du poumon après le tabac. Afin de répondre aux besoins de calibration des instruments de

mesure in situ, le LNHB a développé un étalon primaire de radon basé sur la méthode de l'angle solide

défini (ASD). Le dispositif repose sur la mesure par spectrométrie alpha d'un disque de radon gelé à 80 K sur un doigt froid, après migration depuis une source de ²²⁶Ra. Ce système, maintenu sous vide secondaire, permet de produire des activités de 100 Bq à 3 MBq, avec une incertitude relative de 0,3 %. Il s'agit à ce jour de la méthode la plus précise au niveau international pour la production d'un étalon

primaire de radon.

Concernant le thoron (²²⁰Rn), un étalon primaire spécifique, adapté à sa courte période radioactive ($T_{1/2} = 55,8$ s) a été développé. Un dispositif de mesure a été conçu pour générer une atmosphère stable

de thoron, à partir d'une source solide de ²²⁸Th, et permettre sa mesure primaire en condition réelle de température, de pression, et d'humidité. Ce système est également capable de discriminer le radon et le thoron par analyse spectrale des descendants solides collectés.

Enfin un nouvel étalon de radon dans l'eau a récemment été développé afin de répondre aux exigences

de surveillance croissantes dans les réseaux d'eau potable. Il est conçu pour incorporer le ²²²Rn dans l'eau et permet une traçabilité précise en activité massique ou volumique. Une attention particulière a été portée pendant sa création pour permettre un transfert d'étalon pour la scintillation liquide ou la spectrométrie gamma. Cet étalon vise à garantir des mesures fiables pour la protection sanitaire de

la population et viendra compléter les dispositifs existant dans l'air.

Après une brève présentation des deux premiers étalons primaires gaz, la présentation portera principalement sur le nouvel étalon de radon dans l'eau ainsi que sa validation par différentes comparaisons inter-laboratoires.

Pause café et Session Posters / 36

Projet Européen : RadonNet - Radon metrology: Sensor networks for big buildings and future cities

Auteur: Benoit Sabot^{None}

Le projet RadonNet (23IND07) a débuté le 1er septembre 2024 pour une durée de trois ans. Il est financé dans le cadre du Partenariat européen en métrologie, cofinancé par le programme Horizon Europe de recherche et d'innovation de l'Union européenne ainsi que par les États participants. Le projet vise à répondre au besoin d'une surveillance et d'une atténuation efficaces du radon (²²²Rn), en

conformité avec la Directive 2013/59/Euratom, qui impose la réduction des concentrations de radon dans les bâtiments publics et les habitations. L'exposition au radon représente un risque sanitaire grave, notamment le cancer du poumon, rendant essentiel le suivi et la gestion des niveaux de radon intérieur, en particulier dans les bâtiments futurs à faible consommation d'énergie, connectés et de grande taille.

Le projet a pour objectif de développer des réseaux de capteurs de radon innovants, économiques, à faible consommation d'énergie et capables de surveillance en temps réel. Ces capteurs offriront des temps de réponse plus rapides, une meilleure sensibilité et une incertitude réduite par rapport aux capteurs actuellement disponibles. Ils seront produits grâce à des procédés de fabrication avancés en

collaboration avec des PME européennes. RadonNet vise également à mettre au point des procédures d'étalonnage in-situ avec une incertitude inférieure à 10 % pour des concentrations de radon faibles, garantissant des mesures précises et dynamiques.

Le projet envisage la création d'un réseau robuste de capteurs, intégrant des technologies avancées telles que l'intelligence artificielle, l'Internet des objets (IoT) et les jumeaux numériques, afin d'optimiser la consommation d'énergie et la qualité de l'air intérieur, tout en protégeant contre l'exposition aux radiations. En outre, le projet prévoit d'élargir les applications de ces réseaux en intégrant les données d'autres systèmes de capteurs, dans un objectif de gestion énergétique et de qualité de l'air.

En encourageant l'adoption de cette technologie par les instituts de métrologie, les laboratoires d'étalonnage et les organismes de normalisation, RadonNet renforcera la capacité de l'Europe à détecter et à atténuer le radon.

Les objectifs et les tâches du projet seront présentés lors de la conférence. Une attention particulière sera accordée aux défis métrologiques et technologiques liés à l'étalonnage des capteurs et aux opérations d'assurance métrologique à faibles concentrations de radon en intérieur, ainsi qu'aux activités prévues pour relever ces défis. Des exemples d'analyse d'une large série de mesures de radon

seront présentés et discutés. La structure du projet sera également exposée, ainsi que les parties impliquées dans les différents lots objectifs scientifiques.

Nom du financeur : Partenariat européen en métrologie

Identifiant du financeur : 10.13039/100019599

Session Jeudi après-midi / 37

Stratégies contre le Radon dans l'expérience JUNO en physique des neutrinos

Auteur: Frédéric PERROT¹

¹ LP2i / Université de Bordeaux

Auteur correspondant frederic.perrot@u-bordeaux.fr

L'expérience JUNO (Jiangmen Underground Neutrino Observatory), réalisée dans le cadre d'une collaboration internationale de plus de 700 scientifiques principalement entre l'Europe et la Chine, a pour but de mesurer précisément certaines propriétés des neutrinos, notamment l'ordre des masses des trois neutrinos connus et les paramètres d'oscillation grâce à l'observation des antineutrinos issus

de réacteurs nucléaires situés à 53 km. Installé en Chine dans la province du Guangdong et situé à 700

m sous terre, JUNO est le plus gros détecteur à scintillation jamais construit avec 20000 tonnes de liquide scintillant et près de 45000 photomultiplicateurs. Il est entouré de 35000 tonnes d'eau pour protéger le liquide scintillant de la radioactivité naturelle de la roche mais aussi pour détecter le passage des muons. JUNO est également le détecteur qui va permettre notamment d'observer près de 400 géoneutrinos par an issus de la Terre pour répondre à des controverses sur le rapport U/Th dans la croûte terrestre et le manteau. Pour atteindre tous ces objectifs, la radioactivité naturelle et le

Radon en particulier doivent être réduits au maximum, à un niveau d'activité de l'ordre de 10 mBq/m³ dans l'eau et de l'ordre de 1 mBq/m³ dans le liquide scintillant. C'est pourquoi la collaboration a mis en place de nombreux dispositifs, permettant de réduire le niveau de Radon dans le détecteur, qui seront présentés dans cet exposé.

Session Jeudi après-midi / 38

Keynote Le Radon et la physique des particules: " Le projet IRENE"

Auteur: Jose Busto¹

¹ *CPPM / Université Aix-Marseille*

Auteur correspondant busto@cppm.in2p3.fr

39

Introduction du Workshop

Auteur correspondant luca.terray@uca.fr

40

Cloture et Perspective

Pause café et Session Posters / 41

Evaluation du risque radon à Djibouti

Auteur: Mohamed Hassan^{None}

L'étude proposée a pour objectif dans un premier temps d'effectuer une cartographie des zones à risque d'exposition au Radon en République de Djibouti et d'étudier d'autre part, les effets sur la santé de la population exposée au Radon. Les travaux envisagés s'articuleront autour des axes suivants : méthodologies de mesure à mettre en place, identification et caractérisation radiologique des zones à potentiel radon, modélisation numérique, et évaluation des doses et étude des effets sanitaires de la population exposée au radon.

Session Entreprises / 42

Radonova

Session Entreprises / 43

HTDS

Session Entreprises / 44

Bertin et Dose expert

Session Entreprises / 45

Mirion

Pause café et Session Posters / 46

The RAVIOLI instrument : Radon Analysis on Volcanoes with In-situ Observations of short-Lives Isotopes

Auteur: Luca TERRAY¹

¹ *LPC Clermont*

Auteur correspondant luca.terray@uca.fr