

## Invitation à la soutenance de thèse

### ETUDE DES COUPLAGES ENTRE L'EAU DE SURFACE, L'EAU ATMOSPHERIQUE ET LES RAYONS COSMIQUES AUX ECHELLES DIURNES ET SAISONNIERES

*Study of couplings between surface water, atmospheric water and cosmic rays at seasonal and diurnal scales*

Anaïs TILHAC

**11 décembre 2025 - 14h00**

Salle de conférence du CESBIO  
Rond-Point du Professeur Francis Cambou, 31400 Toulouse

Lien visio : [https://rdv.onera.fr/soutenance\\_ANAIS\\_TILHAC\\_111225](https://rdv.onera.fr/soutenance_ANAIS_TILHAC_111225)

#### Devant le jury composé de :

Karine COULIÉ	IM2NP, Université Aix-Marseille	Rapportrice
Jean-Luc AUTRAN	IRP, Université de Rennes	Rapporteur
Frédéric WROBEL	IES, Université de Montpellier	Rapporteur
Pierre-Yves MESLIN	IRAP, Université de Toulouse	Examinateur
Fabienne LOHOU	LEARO, Université de Toulouse	Directrice de thèse
Guillaume HUBERT	DPHY, ONERA	Co-directeur de thèse

#### Résumé

L'étude du contenu en eau des sols est essentielle pour comprendre les échanges hydriques entre l'atmosphère, la lithosphère et la biosphère. Parmi les méthodes disponibles – mesures in situ, télédétection, détection active de neutrons –, la spectrométrie des neutrons cosmiques, via un Spectromètre à Sphères de Bonner (BSS), offre un compromis intéressant : elle est non invasive, ne nécessite pas de source radioactive et opère à une échelle intermédiaire entre les mesures locales et satellitaires. Cette méthode repose sur la détection des neutrons produits par les interactions des particules cosmiques avec les noyaux atomiques composant l'atmosphère. Ces neutrons interagissent à leur tour avec l'atmosphère, et certains d'entre eux sont rétrodiffusés par le sol lorsqu'ils atteignent la surface (neutrons albédos). Leur flux est fortement anti-corrélaté à la teneur en eau des sols.

Cependant, la partie basse énergie du spectre neutronique, très sensible aux conditions environnementales (pression, humidité de l'air et des sols), reste difficile à interpréter. Le BSS permet de mesurer le spectre neutronique sur une large plage d'énergies, des neutrons thermiques ( $\simeq$  meV) aux très hautes énergies ( $\simeq$  GeV), en combinant un compteur proportionnel sphérique central et des coques modératrices en polyéthylène. Dans un contexte environnemental, il constitue un outil pertinent pour analyser le flux neutronique ambiant et son lien avec les conditions hydrologiques locales.

L'interprétation des mesures nécessite de prendre en compte la variabilité du rayonnement cosmique incident et les effets de l'atmosphère et du sol. Les variations combinées de pression, d'humidité atmosphérique et de teneur en eau des sols modulent le signal détecté, compliquant l'isolement de l'effet purement hydrologique. Pour affiner la compréhension de ces phénomènes, les mesures expérimentales sont complétées par des simulations Monte Carlo avec le code de transport neutronique URANOS, permettant d'étudier séparément l'influence des différents paramètres environnementaux et d'évaluer la sensibilité des sphères du spectromètre.

Ces travaux visent donc à mieux comprendre les interactions entre le rayonnement cosmique, l'atmosphère et les sols, afin d'améliorer la correction et l'interprétation des signaux neutroniques dans un cadre hydrologique. Ils s'inscrivent dans une approche interdisciplinaire, combinant hydrologie, physique des neutrons et étude des cycles environnementaux. L'objectif final est de fournir un socle de compréhension des couplages entre ces différents facteurs d'influence, et de développer une méthodologie complète de traitement des données issues de mesures BSS en environnement radiatif naturel.

Le Centre de Recherches Atmosphériques de Lannemezan (Hautes-Pyrénées) constitue le site d'étude de référence. Il combine mesures neutrons (ONERA) et mesures hydrologiques (CRA). Les résultats attendus devraient permettre de mieux comprendre l'influence des perturbations environnementales sur les mesures et de présenter le BSS comme instrument innovant pour les recherches environnementales, domaine où il reste encore peu utilisé. Cette approche ouvre la voie à de nouvelles perspectives pour l'observation du cycle de l'eau et des interactions entre hydrologie et rayonnement cosmique.



Spectromètre à sphères de Bonner déployé au CRA

## Mots clés

Neutrons atmosphériques, teneur en eau des sols, vapeur d'eau atmosphérique, spectromètre à sphères de Bonner