



## Nouvelles applications de la muographie avec les détecteurs Micromegas : De la surveillance nucléaire à la géophysique

**Spécialité** Instrumentation

**Niveau d'étude** Bac+4/5

**Formation** Master 1

**Unité d'accueil** [DEDIP/DEPHYS](#)

**Candidature avant le** 31/12/2022

**Durée** 3 mois

**Poursuite possible en thèse** non

**Contact** [GOMEZ-MALUENDA Hector](#)  
01 69 08 63 80  
[hector.gomez@cea.fr](mailto:hector.gomez@cea.fr)

**Autre lien**

[https://irfu.cea.fr/en/Phocea/Vie\\_des\\_labos/Ast/ast.php?t=fait\\_marquant&id\\_ast=4888](https://irfu.cea.fr/en/Phocea/Vie_des_labos/Ast/ast.php?t=fait_marquant&id_ast=4888)

### Résumé

Ce stage prévoit la réalisation de différentes tâches liées aux activités de muographie qui se déroulent actuellement à l'Irfu. Il comprend l'intégration et l'instrumentation des détecteurs utilisés pour ces mesures (basés sur des détecteurs Micromegas), des études préliminaires par simulations MonteCarlo et l'analyse de données expérimentales. Parmi les différentes applications de cette technique, ce stage sera axé sur celles liées à la surveillance nucléaire et/ou à la géophysique.

### Sujet détaillé

- Contexte :

La muographie comme méthode d'auscultation de grandes structures de manière non invasive et non destructive est actuellement considérée comme une technique potentielle pour une grande variété d'applications allant de la volcanologie à la géophysique, l'ingénierie ou le domaine nucléaire.

En utilisant la capacité des muons atmosphériques à traverser de longues distances de matière avant d'être absorbés ou déviés, la reconstruction des traces de muons permet d'étudier et d'imager les objets traversés en utilisant différentes techniques d'analyse (absorption, transmission ou déviation). Au sein de l'Irfu, le groupe dédié à la muographie effectue des mesures à l'aide d'instruments basés sur des détecteurs Micromegas (MICRO MESH Gaseous Structure). Inventés à l'Irfu, les Micromegas ont été conçus à l'origine pour être utilisés dans des expériences de physique nucléaire et de physique des particules. Parmi les mesures effectuées par le groupe depuis 2015, on peut souligner celles du château d'eau de Saclay, de la pyramide de Kheops ou, dernièrement, d'un réacteur nucléaire au CEA - Marcoule. Ces résultats ont

---

suscité l'intérêt de plusieurs groupes industriels en France et dans toute l'Europe pour les applications mentionnées précédemment ou pour de nouvelles applications. Pour mener à bien toutes ces applications variées, tout un processus d'évaluation du potentiel et d'intégration des instruments pour effectuer les mesures doit être réalisé.

- But :

L'objectif du stage est de réaliser et de participer à l'un des projets de muographie du groupe, en particulier à l'un de ceux liés à la surveillance nucléaire ou à la géophysique. Pour ce faire, l'étudiant devra développer des simulations préliminaires de Monte Carlo afin de réaliser des études de faisabilité. Pour ces simulations, l'étudiant utilisera un outil basé sur Geant4 optimisé pour les applications de muographie (génération de muons, propagation, modèle géométrique, détection et reconstruction). L'étudiant devra adapter l'outil de simulation aux particularités du cas étudié afin d'obtenir les informations nécessaires pour évaluer le potentiel de la technique avec les télescopes développés par l'Irfu. Par ailleurs, l'étudiant contribuera à l'intégration et à l'instrumentation d'un des détecteurs utilisés pour effectuer des mesures de muographie, généralement appelé télescope à muons. Si des données expérimentales sont disponibles pendant le stage, l'étudiant pourra également comparer ces données avec les simulations afin d'analyser les images expérimentales et de valider les simulations.

- Le candidat :

Le candidat doit être étudiant en Master ou en école d'ingénieur. De bonnes compétences en physique et en informatique et développement d'algorithmes sont souhaitables pour la compréhension du principe et la simulation d'un détecteur de particules ainsi que pour l'implémentation des algorithmes d'analyse.

### **Mots clés**

Muographie, simulation Monte Carlo, Geant4, analyse des données, détecteur Micromegas, Instrumentation.

### **Compétences**

Simulation Monte Carlo, analyse de données, Instrumentation en Physique.

### **Logiciels**

C/C++, Geant4, ROOT, python.

---

## **New applications of muography with Micromegas detectors : From Nuclear surveillance to Geophysics**

### **Summary**

This internship expects to carry out different tasks related to muography activities currently performed at Irfu. It includes the integration and instrumentation of the detectors used for these measurements (based on Micromegas detectors), preliminary studies by MonteCarlo simulations and experimental data analysis. Among the different applications of this technique, this internship will be focused on those related to Nuclear surveillance and/or geophysics.

### **Full description**

- Context :

Muography as scanning method of large structures in a non-invasive and non-destructive way is currently being considered as a potential technique for a large variety of applications going from volcanology to geophysics, engineering or nuclear domain.

Taking advantage of the capability of atmospheric muons to go through long distances of matter before being absorbed or deviated, muons track reconstruction allows the study and the imaging the traversed objects using different analysis techniques (absorption, transmission or deviation). At Irfu, the group working on muography performs measurements using instruments based on Micromegas (MICRO MESH Gaseous Structure) detectors. Invented at Irfu, Micromegas were conceived originally to be used at nuclear and particle physics experiments. Among the measurements done by the group from 2015, those of the "château d'eau" at Saclay, the Khufu's pyramid or, lately, of a nuclear reactor at CEA – Marcoule, can be highlighted. These results triggered the interest of several industrial groups at France and all along Europe for the previously mentioned applications or to new ones. To carry out all these variate applications, a whole process of evaluation of the potential and integration of the instruments to perform the measurements should be done.

- Goal :

The goal of the internship is to carry out and participate in one of the muography projects of the group, in particular to one of those related to nuclear surveillance or geophysics. To do that the student is expected to realize preliminary Monte Carlo simulations to perform feasibility studies. For these simulations, the student will use a simulation tool based on Geant4 optimized for muography applications (muon generation, propagation, geometry model, detection and reconstruction). The student will have to adapt the simulation tool to the particularities of the studied case in order to obtain the required information to evaluate the potential of the technique with the telescopes developed by Irfu. Besides, the student will contribute to the integration and instrumentation of one of the detectors used to perform muography measurements, usually referred as muon telescope. If experimental data are available during the internship, the student could also compare these data with the simulations in order to analyze the experimental images as well as to validate the simulations.

- Candidate:

The candidate should be a Master or engineering school student. Good skills in physics and computing and algorithms development are desirable for the understanding of the principle and simulation of a particle detector as well as for the analysis algorithms implementation.

---

**Keywords**

Muography, Monte Carlo simulation, Geant4, data analysis, Micromegas detectors, Instrumentation.

**Skills**

Monte Carlo Simulations, Data analysis, Instrumental Physics.

**Softwares**

C/C++, Geant4, ROOT, python.