

## Stage 2023/2024 (version française)

**Entreprise/Laboratoire : G2Elab**

**Adresse :** G2Elab: 21 avenue des martyrs 38031 Grenoble.

**Contacts:** Jean-Marc DUCHAMP (G2Elab), Nelly BONIFACI (G2Elab), Alain GIRARD (CEA)

**E-mails :** [jean-marc.duchamp@g2elab.grenoble-inp.fr](mailto:jean-marc.duchamp@g2elab.grenoble-inp.fr), [nelly.bonifaci@g2elab.grenoble-inp.fr](mailto:nelly.bonifaci@g2elab.grenoble-inp.fr), [alain.girard@cea.fr](mailto:alain.girard@cea.fr)

### Mesure de hauteur de fluides cryogéniques par une technique radar

#### Contexte et objectifs :

Plusieurs nouvelles applications nécessaires à la transition écologique (Energie, transport) ou au spatial requièrent un usage croissant de liquides cryogéniques, tels que l'hydrogène, l'oxygène, l'azote, et le méthane (Figure 1).

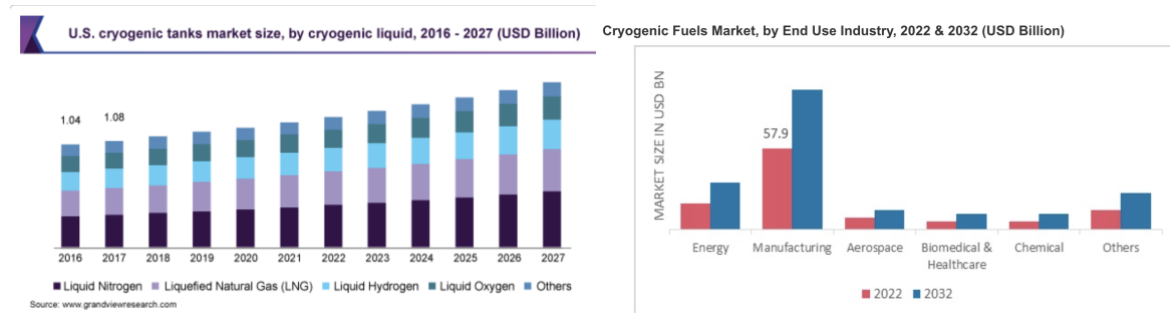
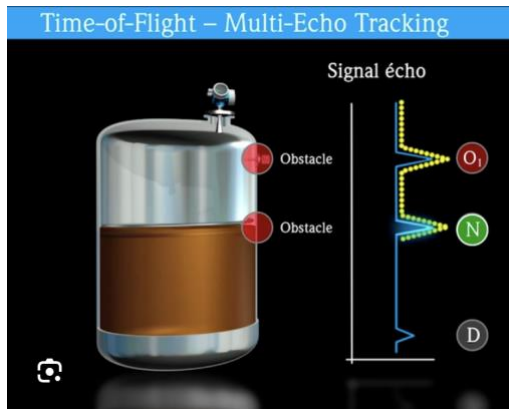


Figure 1 : Projections du marché des liquides cryogéniques

Ce sujet de stage porte sur l'étude de la mesure d'un niveau de liquide cryogénique (azote, oxygène, hydrogène, ...) dans un réservoir à l'aide d'une technique radar sans contact basée sur la propagation d'un signal micro-onde. La solution envisagée doit permettre au travers de la mesure des paramètres de propagation (vitesse, atténuation) d'une onde hyperfréquences au sein du fluide cryogénique dans son cryostat d'estimer la hauteur de liquide traversée.

Le principe de la mesure par absorption est le suivant : un générateur hyper-fréquence relié à une antenne émet un signal RF qui se propage dans un premier temps dans les vapeurs du fluide cryogénique. A la surface du liquide une faible fraction de la puissance RF incidente est réfléchi (du fait de la permittivité relative de ces liquides proche de 1 comme décrit Figure 2), mais la plus grande partie se propage dans le liquide contenu dans un cryostat métallique au fond duquel l'onde subit une réflexion totale. Une seconde traversée de l'épaisseur de liquide conduit à doubler l'absorption dans le liquide. L'antenne capte le signal réfléchi et le compare au signal émis comme dans un analyseur vectoriel de réseau (VNA). La différence de puissance résulte de l'absorption lors de l'aller-retour de l'onde dans le liquide et aux différentes réflexions dues aux interfaces entre milieux. Les pertes peuvent être reliées à la distance parcourue dans le liquide cryogénique et donc à sa hauteur dans le cryostat. Ce principe doit pouvoir être affiné en mettant en œuvre une méthode d'interférométrie micro-onde comme décrit dans les articles [ 1]-[ 2]. Pour garantir une bonne résolution sur la hauteur de liquide est conditionné par une bonne connaissance des pertes d'absorption.



Liquid	Temperature		Dielectric Constants
	°K	°C	
Helium	4.21	-269	1.0469 <sup>5</sup>
	2.24		1.0563
	2.19		1.0563 <sup>5</sup>
	2.15		1.0565
	1.83		1.0562
Hydrogen	20.4	-253	1.231
	14.0		1.259
Nitrogen	77.3	-196	1.431
	63.1		1.467
Water	273	0	88
	277	4	88

Figure 2 : Schéma de principe & permittivités relatives [ 3 ]

### Déroulement et étapes clés du stage:

Ce stage peut se décomposer en trois étapes (qui sont à la base des activités recherche)

- La première étape sera dédiée à une brève étude bibliographique sur l'étude des paramètres diélectriques (permittivité et pertes) en fonction de la fréquence pour différents liquides cryogéniques.
- La deuxième étape est la conception d'une ligne de transmission à quelques GHz pour mesurer les pertes diélectriques dans un liquide cryogénique à partir d'une ligne micro-ruban ou une structure de ligne coaxiale. L'étude de cette ligne de test s'appuiera sur des méthodes de conceptions, des simulations et un démonstrateur sera réalisé.
- La troisième étape consistera en la mesure des pertes diélectriques de l'azote liquide dans un cryostat à l'aide de la ligne test étudiée. Les mesures seront réalisées avec un VNA. Une extension de ces mesures de pertes dans l'azote liquide dans un cryostat et exité à l'aide d'une antenne connectée au VNA permettra de valider le concept de mesure de hauteur.

### Profil:

Étudiant de master M2 ou Ingénieur (en électronique avec une très forte motivation pour la RF).

Connaissance ou motivation pour l'utilisation de logiciels de simulation. Des qualités certaines d'expérimentateur pour les mesures hyperfréquences en environnement cryogéniques.

Rémunération : oui.

### Références:

[ 1 ] K. Hoffmann and Z. Skvor, "Contactless distance measurement method," *77th ARFTG Microwave Measurement Conference*, Baltimore, MD, USA, 2011, pp. 1-4, doi: 10.1109/ARFTG77.2011.6034559.

[ 2 ] K. Hoffmann, Z. Skvor and M. Prihoda, "Precise microwave measurement of liquid level," *79th ARFTG Microwave Measurement Conference*, Montreal, QC, Canada, 2012, pp. 1-2, doi: 10.1109/ARFTG79.2012.6291194.

[ 3 ] M. J. Jefferies and K. N. Mathes, "Dielectric Loss and Voltage Breakdown in Liquid Nitrogen and Hydrogen," in *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, vol. EI-5, no. 3, pp. 83-91, Sept. 1970, doi: 10.1109/TEI.1970.299101.

## Research Internship 2023/2024 (English version)

**Company/Laboratory : G2Elab**

**Address:** G2Elab: 21 avenue des martyrs 38031 Grenoble.

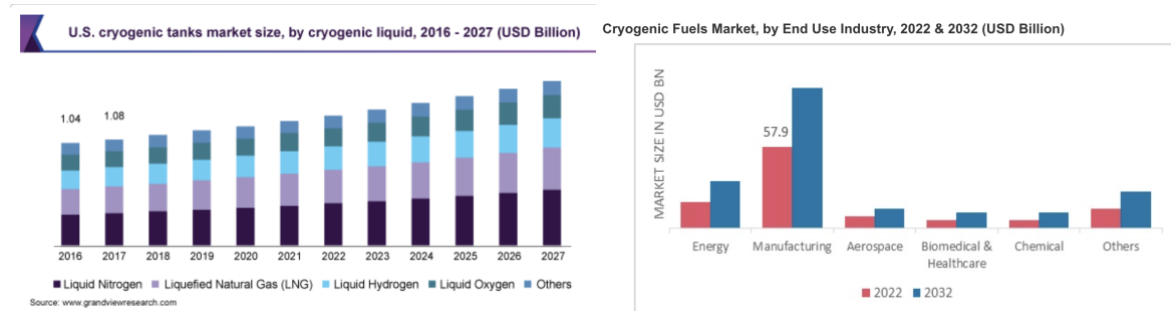
**Contacts:** Jean-Marc DUCHAMP (G2Elab), Nelly BONIFACI (G2Elab), Alain GIRARD (CEA)

**E-mails :** [jean-marc.duchamp@g2elab.grenoble-inp.fr](mailto:jean-marc.duchamp@g2elab.grenoble-inp.fr), [nelly.bonifaci@g2elab.grenoble-inp.fr](mailto:nelly.bonifaci@g2elab.grenoble-inp.fr), [alain.girard@cea.fr](mailto:alain.girard@cea.fr)

### Radars height measurement of cryogenic fluids

**Context and objective :**

Many of the new applications needed for the ecological transition (energy, transport) or for space require the growing use of cryogenic liquids, such as hydrogen, oxygen, nitrogen and methane. (Figure 1).

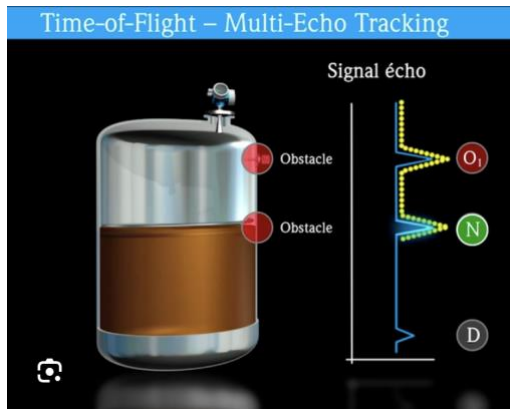


*Figure 3 : Projections du marché des liquides cryogéniques*

This internship involves studying the measurement of a cryogenic liquid level (nitrogen, oxygen, hydrogen, etc.) in a tank using a non-contact radar technique based on the propagation of a microwave signal. By measuring the propagation parameters (velocity, attenuation) of a microwave wave within the cryogenic liquid in its cryostat, the proposed solution is designed to estimate the height of the liquid passed through.

The principle is as follows: a microwave generator connected to an antenna emits an RF signal which initially propagates in the air. At the surface of the liquid, a small fraction of the incident RF power is reflected (due to the relative permittivity of the liquid being close to 1, as described above Figure 2) but most of it propagates in the liquid contained in a metal cryostat, at the bottom of which the wave undergoes total reflection. A second pass through the thickness of the liquid doubles the absorption in the liquid. The antenna picks up the reflected signal and compares it with the transmitted signal, as in a vector network analyzer (VNA). The difference in power results from absorption as the wave travels one way and return in the liquid, and from the various reflections due to the interfaces between media. Losses can be related to the distance travelled in the cryogenic liquid and therefore to its height in the cryostat. This principle can be refined using microwave interferometry, as described in the articles [ 1]-[ 2].

A good knowledge of absorption losses is a prerequisite for good liquid height resolution.



Liquid	Temperature	Dielectric Constants	
	°K °C		
Helium	4.21	−269	1.0469 <sup>5</sup>
	2.24		1.0563
	2.19		1.0563 <sup>5</sup>
	2.15		1.0565
	1.83		1.0562
Hydrogen	20.4	−253	1.231
	14.0		1.259
Nitrogen	77.3	−196	1.431
	63.1		1.467
Water	273	0	88
	277	0	88

Figure 4 : Schéma de principe & permittivités relatives [ 3 ]

### Internship milestones:

This internship can be structured in three stages (which are the basis of the research activities)

- The first stage will be dedicated to a brief bibliographical study of dielectric parameters (permittivity and losses) as a function of frequency for cryogenic liquids.

- The second step is the design of a transmission line at a few GHz to measure dielectric losses in a cryogenic liquid using a microstrip line or a coaxial line structure. The study of this test line will be based on design methods and simulations, and a demonstrator will be produced.

- The third stage will involve measuring the dielectric losses of liquid nitrogen in a cryostat using the test line studied. The measurements will be carried out using a VNA. An extension of these measurements of losses in liquid nitrogen in a cryostat and exited using an antenna connected to the VNA will validate the concept of height measurement.

### Profil:

M2 Master's student or Engineer (in electronics with a strong motivation for RF). Knowledge of or motivation to use simulation software. Strong experimental skills for microwave measurements in cryogenic environments.

Salary : yes.

### References:

[ 4 ] K. Hoffmann and Z. Skvor, "Contactless distance measurement method," *77th ARFTG Microwave Measurement Conference*, Baltimore, MD, USA, 2011, pp. 1-4, doi: 10.1109/ARFTG77.2011.6034559.

[ 5 ] K. Hoffmann, Z. Skvor and M. Prihoda, "Precise microwave measurement of liquid level," *79th ARFTG Microwave Measurement Conference*, Montreal, QC, Canada, 2012, pp. 1-2, doi: 10.1109/ARFTG79.2012.6291194.

[ 6 ] M. J. Jefferies and K. N. Mathes, "Dielectric Loss and Voltage Breakdown in Liquid Nitrogen and Hydrogen," in *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, vol. EI-5, no. 3, pp. 83-91, Sept. 1970, doi: 10.1109/TEI.1970.299101.