



Engineering Department

Issue 4 NEWSLETTER

September 2022

Inside this issue:

Page 1: Editorial - Lars Jensen

Page 2: MACHINA Project – Serge Mathot

Page 3 : Aidforall.ch - Chris Thomas & Connie Potter

Page 4 : Réveil de la sûreté nucléaire : nouvelle norme ISO 19443 - Pierre Ninin

Page 7 : Radio-luminescent optical fibres for dosimetry applications in accelerators and space - Nourdine Kerboub, Diego Di Francesca and Daniel Ricci



Editorial:

Dear readers of the EN Newsletter.

It is my pleasure to present the 4th edition of the EN newsletter. This edition contains articles with topics covering news from a small-scale accelerator called 'MACHINA', background and activities for the 'aidforall.ch' foundation. The two final articles cover safety aspects for future nuclear power plants and the use of optical fibres for dosimetry.

I hope that you find the material interesting and that it inspires you to contact me or your supervisor about providing an article in English or French for a future release.

Lars Jensen, EN Newsletter editor-in-chief

MACHINA Project

En mars dernier, un premier faisceau de proton à 2 MeV a été extrait de MACHINA.

MACHINA, pour Movable Accelerator for Cultural Heritage In situ Non-destructive Analysis, est un projet commun CERN / INFN (Florence). L'idée de ce projet a commencé à germer en 2015, durant la construction au CERN du premier RFQ à haute fréquence (HF-RFQ), 750 MHz au lieu de 352 MHz pour le RFQ du Linac4. Doubler la fréquence permet de réduire d'un facteur 4 la taille du RFQ, est d'avoir donc une cavité accélératrice beaucoup plus compacte. Le premier HF-RFQ est fait de 4 modules de 50 cm pour une énergie finale de 5 MeV. Il est utilisé comme injecteur pour un Linac à haute énergie utilisé pour l'hadron thérapie.

Avec deux modules, on peut construire un accélérateur de seulement 1 mètre de long capable de produire un faisceau de protons 2 MeV. Cette énergie est suffisante pour permettre l'analyse de matériaux par la méthode PIXE (Proton Induced X-ray Emission). C'est l'idée du projet PIXE-RFQ. Durant la même période, le groupe KT a été en contact avec un groupe de l'INFN à Florence (Laboratoire LABEC) voulant réaliser un accélérateur transportable pour l'analyse de matériaux. Les gens du LABEC sont des spécialistes de l'analyse d'objets d'art par méthodes nucléaires et PIXE. L'idée de transporter un accélérateur dans un musée ou un centre de restauration pour y analyser les œuvres les plus fragiles ou intransportables est complètement nouvelle et possible avec le PIXE-RFQ. Début 2017, nous avons obtenu du Fond KT et des groupes KT, RF et MME le budget nécessaire pour construire le PIXE-RFQ au CERN. En avril 2018, un accord de collaboration entre le CERN et l'INFN a été officiellement signé à Florence donnant naissance au projet MACHINA

MACHINA est un accélérateur complet, composé non seulement d'une cavité accélératrice, le PIXE-RFQ, mais aussi d'une source de proton, d'une partie basse énergie (LEBT), haute énergie (HEBT), d'un support, d'un système de pompage, d'un système de contrôle etc.

Toutes ces parties ont été étudiées et mises en place par l'INFN. L'alimentation RF a été achetée via le CERN et testée par le groupe RF. Après plusieurs aller-retour Genève-Florence et des retards notamment liés au Covid, nous avons pu enfin produire il y a quelques semaines un premier faisceau au CERN, au bâtiment 112.

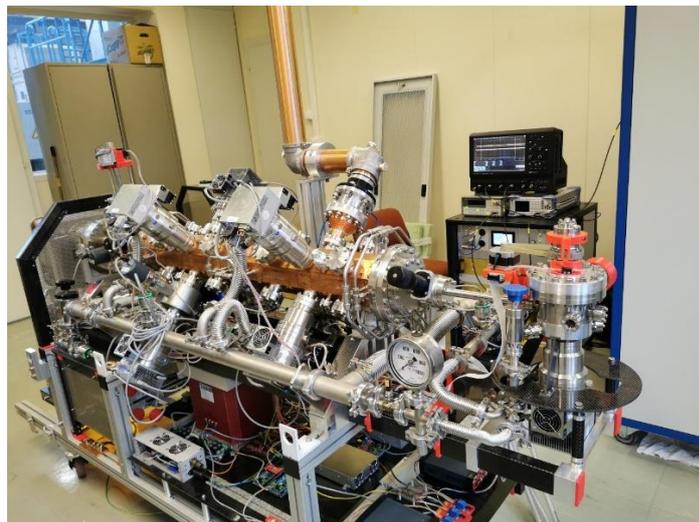


Photo #1 : MACHINA en mars 2022. A gauche la source de proton (20 kV), protégée en fonctionnement par une cage de Faraday. Au centre le PIXE-RFQ. A l'extrémité droite se trouve la fenêtre d'où sort le faisceau de proton à une énergie de 2 MeV

Les premiers résultats sont très encourageants. Cet accélérateur est très sûr au niveau de la radioprotection, ce que l'on va continuer à confirmer par des mesures tout au long des tests. L'énergie des protons est limitée à 2 MeV pour limiter le risque de production de neutrons, notamment sur le cuivre si le faisceau frappe la cavité. Les rayons-X qui sont produits dans le plasma de la source ou par claquage dans le RFQ sont absorbés dans la source et dans la cavité. La dynamique faisceau, développée par le groupe ABP, a été faite pour que les pertes de particules se fassent à basse énergie, limitant aussi le risque de production de radiation. Et surtout, les courants utilisés sont très faibles, qqc nA, plusieurs dizaines de millions de fois moins que pour le Linac4 !

En effet, la méthode PIXE ne nécessite qu'un très faible courant, des nA voir des pA. Ceci parce que la production des rayons-X, qui permettent l'identification des éléments présents dans la cible, est très efficace. Et aussi (et surtout), pour ne pas endommager l'objet analysé qui peut être très précieux. Avec de si faibles courants et avec la faible pénétration des protons à cette énergie, une dizaine de microns dans les métaux, quelques dizaines dans des matériaux légers, la méthode PIXE est absolument non destructive. Elle est en plus extrêmement précise, permettant une analyse avec une très grande sensibilité, quelque ppb (part par million) dans certains cas.

C'est pour cela que cette méthode est utilisée par de nombreux musées. Par exemple, le Louvre a dans ses caves

un accélérateur pour analyser tout type d'objets. Pour donner un exemple, en analysant la proportion de Fe et Cr dans les rubis des yeux de cette statuette en ivoire (entre le 4^e et 10^e siècle av J.C.) on peut confirmer l'origine des Rubis (Birmanie ici) comme écrit dans les textes Sanskrit de l'époque.

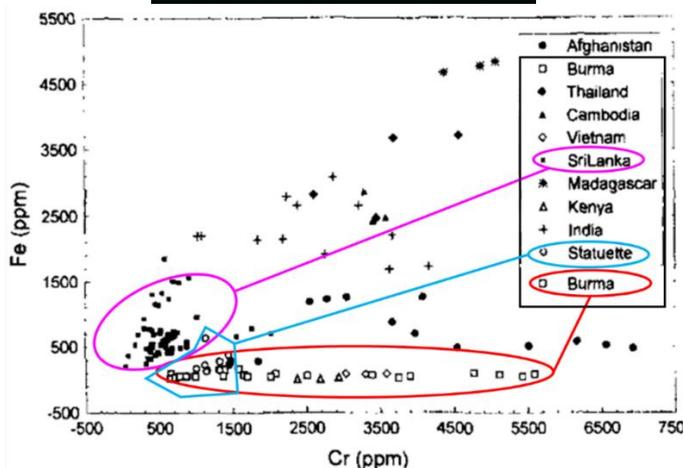


Fig 1 : (en haut) statuette de la déesse Ishtar, Iran. Source Le Louvre, laboratoire AGLAE. Analyse de la composition en Fe et Cr des rubis. Source : AGLAE.

Pour MACHINA, les tests faisceau vont se poursuivre encore durant le mois de mai au CERN. Ensuite le système ira au LABEC pour le développement des systèmes d'analyse PIXE. Les premières analyses sur des objets d'art sont prévues avant la fin de l'année.

Au CERN, on va continuer la construction de ELISA, un accélérateur ayant les mêmes capacités que MACHINA et qui sera installé à Science Gateway. Le public pourra voir ainsi en direct ce type d'analyse mais aussi approcher le faisceau et voir différentes expériences de physique.

MACHINA et ELISA sont un bel exemple pour montrer comment les technologies développées au CERN peuvent être utiles dans d'autres domaines.

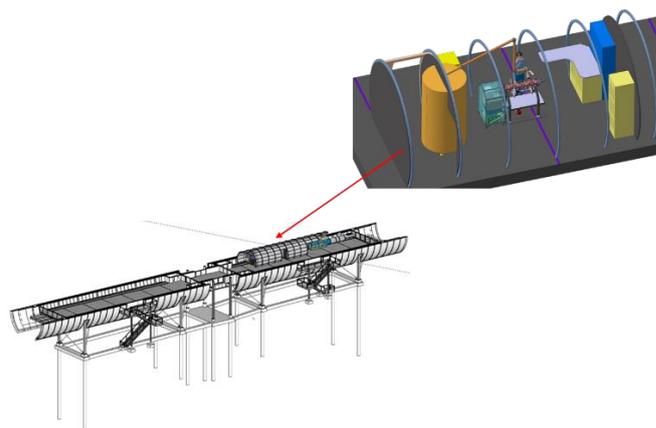


Fig 2 : Coupe du tube n°1 de Science Gateway, situé devant le Globe. La partie de droite, qui est dans la direction de Saint Genis, est consacrée à la découverte des accélérateurs du CERN. Une maquette du tunnel LHC y sera installée et c'est dans ce « mini-tunnel » que sera installé ELISA.

A droite, la maquette de ELISA dessinée par Laurent Zuccalli (EN-MME). Le cylindre orange schématise l'amplificateur RF. Le public entrera dans le minitunnel et passera autour de cet ampli pour s'approcher de l'accélérateur et voir le faisceau.

Serge Mathot EN/MME

Aidforall.ch

The roots of Aidforall lie in early 2011, when Chris Thomas of Iowa State University and Connie Potter of CERN began to support a small orphanage and its associated bakery school in Hue, Vietnam, founded by physicist Than Van Tranh of [Rencontres de Moriond](#) and his wife Kim. The following year they went to Laos and immediately added a second orphanage school for around 600 children in [Luang Prabang](#), plus a book project supplying village schools in the surrounding countryside. The expenses for each trip were paid, and continue to be paid, by their own funds, but money was raised through various ventures such as a regular stand at the Nyon flea-market selling donated items from friends and colleagues or running food-stands at festivals and local events.

Finally, they began to support a small village school outside Kolkata, India, established by an ATLAS physicist and his family. Each year they visited all three countries, did

practical work like building a library, and supplied PCs, tablets, books, clothing, food, and other materials.

The COVID pandemic changed everything, and for two years, they were unable to visit these countries, though they continued to give some support remotely. With the invasion of Ukraine on February 24th they saw the rapid emergence of a humanitarian and refugee crisis within Europe and decided to do what they could to help. They saw people they were following on social media fundraising and buying food and medical supplies for the refugees flooding into Warsaw and responded to a request for logistical support from the Ukrainian Mission in Geneva, which was overwhelmed with donations of aid.

Most were carrying everything they'd been able to save in a single suitcase, or sometimes just a couple of plastic shopping bags. When the refugees finally crossed the border they were taken to a temporary area where they were given hot food. Polish paratroopers were running a soup kitchen, and World Central Kitchen had set up a tent kitchen serving hot meals. The medical team from the local ski resort of Trignes were also there, offering basic medical help. The refugees were then taken into the centre of Przemysl in a bus supplied by the local Fire Brigade, where they were registered before being moved onwards, either to Warsaw or in some cases elsewhere in Europe if they had friends or family to go to. While at the train station, which had been hastily converted into a refugee processing centre, Chris saw individuals arriving in cars, vans and buses from all over Europe to offer help in any way they could. There were people from Finland, Spain, Italy, Germany, the UK, France, the Netherlands and more. Less than 10 days into the war Chris delivered a vanload of donations to a warehouse in Przemysl, a small Polish town close to the Ukrainian border, for onward shipment into Ukraine, and at the same time Connie flew into Warsaw to meet with some remarkable young Polish/Vietnamese women to discuss how we might be able to work with them. Chris made the 23 hour drive accompanied by Lino Gelrach, a physics student who shared the driving. After the delivery he was able to get to the border crossing at Medyka, less than 10km from Przemysl and watched



Fig 1: Women and children crossing on foot into Poland

On meeting up back in Warsaw they began buying food and toiletries for the 'free shops' which were rapidly springing up all over the city to cater to the needs of the hundreds of thousands of refugees who were crossing into Poland, many of whom would pass through Warsaw or even remain there in temporary accommodation for some time. Almost all of these were staffed by local Polish volunteers who turned out in their tens of thousands to help their neighbours. The vast majority of these refugees arrived with little more than the clothes on their backs; they had no money, nowhere to stay, no resources and in some cases had lost everything they had in the world when their homes were destroyed. A few days later, having exhausted their funds, they returned to Geneva.

On their return they began fundraising again, and three weeks later were back on the road to Warsaw. Over the following months they made four trips in total to Poland, and finally, bulletproof jackets in hand, at the end of May they made the trip into Ukraine itself, travelling to Kyiv, where they handed over food and medical supplies to a small territorial army unit, and then on to Cherkasy, which lies on the line between Kyiv and Mariupol. A town of around 270,000 inhabitants, its population had grown hugely with the arrival of more than 100,000 refugees from the Mariupol area. They delivered around 700 kilos of food to a small group called Open Space in the town, and met with a van driven by two enterprising young men from a group called Po Angels who had come from Dnipro to collect a similar quantity of food and medication (worth following this group on Instagram - po_angel-). Driving back via Warsaw they stayed another 48 hours and spent that time using their remaining funds to buy more food and supplies for the free shops.

In the meantime, they also bought a quantity of medication which they managed to have delivered to Peremoha underground station in Kharkov, where almost 1400 people were living in order to avoid the bombing and shelling

above them, where they were cared for by a doctor and 2 nurses.



Fig 2: Storage of medication

Since returning to Geneva, they have continued fundraising and are currently focused on arranging deliveries directly from supermarkets in Warsaw to those ‘free shops’ which remain as well as to the Open Space centre in Cherkasy. Donations have fallen off dramatically, and some places the shops have reduced their opening hours from 7 days a week to as little as 2. Others have closed down completely. The need however remains the same. Before leaving Warsaw, Chris was able to visit the World Central Kitchen setup at Central Station and spoke to one of the young men running it. He told Chris that they were currently serving around 10,000 meals a day; around 5,000 between 6am and 3pm, and another 5,000 or so from late afternoon through to around 1am. The numbers, he said, were practically unchanged from their first week of operations.

They are considering making another trip to Poland and Ukraine in the next few weeks. They are collecting medication and other medical supplies from the US and locally, which they hope to deliver directly to where it is needed in Ukraine. In areas where supply chains have been disrupted local residents are unable to get even their prescription medication, and basic toiletries and sanitary items are extremely hard to find. They now get specific requests for these things via contacts we have made ourselves within Ukraine, or through refugees who have arrived in the Geneva/Pays de Gex area and have left family and close friends behind. Most of this they are able to source in Poland; even some of the prescription medications thanks to contacts in the medical community and other small groups like Aidforall. In addition, their buying power is between 2.5 and 3 times greater in Poland!

One of the most desperate needs at the moment in the local area is for affordable housing. In the early days of the war, many local people offered space in their own homes or vacant small apartments to house the arriving refugees. Now, however, more than 6 months later, some of these people understandably have to ask for these places to be returned to them for their own use.

From the beginning, Aidforall have paid all costs from their own pockets – fuel, flights, food, accommodation – everything, and they use their own annual leave for each trip. Every franc or euro donated is spent directly on the people who need it. Please check out the website, Aidforall.ch, and get in touch if you have any questions about what they do. And thanks for taking the time to read this!

Chris Thomas & Connie Potter, Co-founders, www.aidforall.ch

Réveil de la sûreté nucléaire : nouvelle norme ISO 19443

La filière nucléaire française, et plus particulièrement quatre de ses principaux acteurs : EDF, Framatome, Orano, et le CEA, ont engagé une profonde transformation visant à atteindre les plus hauts standards de qualité pour la réalisation et la maintenance des installations nucléaires. Ces entités ont initié une démarche de certification tout en y associant leurs partenaires industriels stratégiques, de produits ou de services « importants pour la sûreté nucléaire » A court terme l'ensemble des acteurs impliqués dans la filière devra s'y conformer.

Dans ce contexte est née la certification ISO 19443 dédiée à la filière nucléaire, ayant pour but d'améliorer le niveau de qualité des produits et des services « importants pour la sûreté nucléaire », avec une volonté de déploiement rapide de cette démarche qualité chez les acteurs du nucléaire dans la période 2021-2023.

Le réveil du secteur nucléaire va pouvoir tirer parti de cette nouvelle norme ISO. En effet, dans celui-ci, les accidents de grande ampleur sont heureusement rares, mais leurs conséquences sont extrêmement graves ; c'est pourquoi l'industrie nucléaire est un domaine où les plus hautes exigences sont attendues en matière de sécurité et de qualité applicables aux entreprises de la chaîne d'approvisionnement. Les fournisseurs les plus dynamiques du secteur nucléaire ont d'ores et déjà entrepris une démarche d'amélioration de leur processus d'assurance qualité afin de pouvoir soumissionner aux futurs contrats.

Le CERN étant une installation nucléaire de base, et spécifiant cette contrainte dans certains de ses appels d'offre, devrait bénéficier directement de cette amélioration.

La norme ISO 19443, qui n'est autre qu'un système de gestion de la qualité, reprend les principes de la norme ISO 9001:2015, tout en posant des exigences spécifiques pour la fourniture de produits ou de services dans le secteur nucléaire. Elle traite tous les aspects, dont l'amélioration de la maîtrise, aura une valeur ajoutée conséquente pour la sûreté nucléaire.



Figure 1 - Piliers de la normes ISO 19443

La norme ISO 19443 couvre des thèmes tels que :

- Le développement d'une culture sûreté nucléaire notamment chez les sous-traitants,
- Le principe de vérification indépendante,
- La gestion des sous-traitants et des fournisseurs
- La maîtrise de la conception,
- La maîtrise des articles contrefaits, frauduleux et suspects,
- La justification des compétences et qualifications du personnel.

L'ensemble de ces aspects s'inscrit dans le cadre d'une approche graduée de la maîtrise des risques dans la droite ligne de l'approche de défense en profondeur qui régit nombre des activités en lien avec les risques nucléaires. Cette graduation se retrouve d'ailleurs dans les approches appliquées pour dimensionner les systèmes de protections physiques et logiques qui entourent les installations nucléaires.

Les secteurs industriels concernés sont le processus nucléaire, la chaudronnerie, la tuyauterie, le levage et la manutention, les machines tournantes, la robinetterie, le contrôle commande, l'instrumentation et le génie civil.

L'amélioration de la sécurité et de la sûreté est un objectif clé de la plupart des industries et, pour y parvenir, il est nécessaire d'améliorer la qualité des produits et services qui y contribuent. Les entreprises vont devoir renforcer et maintenir des méthodes de travail rigoureuses dans tous les domaines de leur fonctionnement et ceci au moyen de guides, de procédures, de formations, d'audit et de Responsables Qualité exigeants.

La norme défend le principe que seul une approche qualité rigoureuse dans chaque étape de la conception et pour tous les participants impliqués, contribuera à l'amélioration de la sûreté nucléaire. Ceci inclut tous les aspects de gestion de projet, basé sur un traditionnel modèle de développement en V, la formation continue des protagonistes, l'intégration permanente des retours d'expérience (REX), et l'applications de ces principes à la sous-traitance.

L'industrie nucléaire française est en pleine effervescence, celle-ci étant vue comme la filière énergétique la plus prometteuse et maîtrisable. Toutefois, les leçons des retards importants de l'EPR de Flamanville ont été tirées. Pour mémoire, l'EPR (Réacteur à Eau Pressurisée) de 1650 MWe, utilise de l'uranium enrichi à 5% et a pour but de l'utiliser de manière beaucoup plus efficace, soit 17% de moins d'uranium par Kilowatt-heure que la précédente génération, tout en améliorant la sûreté des installations. Pour ce faire, il dispose de quatre systèmes de refroidissement de secours, d'une enceinte de confinement et d'une enceinte de 2.6 m d'épaisseur assurant une protection contre des impacts aériens.

L'EPR de Flamanville, dont la mise en service était initialement prévue en 2012, a connu de nombreuses malfaçons, ainsi qu'un coût quadruple par rapport aux estimations initiales. La mise en service devrait toutefois intervenir en 2023.



Figure 2 - EPR Flamanville 3

Un autre domaine sous la plus grande attention des acteurs du nucléaire et qui bénéficiera de cette nouvelle norme, est le développement de micro centrales appelées « SMR - Small Modular Reactor ». Ces réacteurs dont la puissance sera comprise entre 10 et 300 MWe, sont censés révolutionner l'industrie nucléaire dans les prochaines décennies. Le terme « SMR » regroupe un ensemble de technologies de réacteurs très différentes, et trouve selon la littérature son origine au croisement de deux axes : une initiative de développement de nouveaux réacteurs répondant aux quatre critères « clean, sustainable, safe and cost effective » et aussi la déclassification de la technologie militaire utilisée par les navires à propulsion nucléaire.

Alors qu'il faut compter de 4 000 à 6 000 dollars le kilowatt électrique (kWe) pour la construction d'un réacteur à eau pressurisée de 1000 MW, les SMR promettent de réduire à terme le coût d'un tiers. Il ne faudrait que quatre à cinq ans pour les construire et ils seraient installés avec un minimum de génie civil et à coût réduit.

EDF et ses partenaires (TechnicAtome, Naval Group et le CEA) ont baptisé leur futur SMR : « Nuward » pour « Nuclear Forward ». Ce petit réacteur de 170 mégawatts électriques (MWe) à eau pressurisée (la même technologie que les réacteurs du parc actuel et que l'EPR), dont le design a été présenté en avril 2022, et devrait leur permettre de rentrer dans la course internationale aux SMR. Un prototype devrait être opérationnel à l'horizon 2030.

Le Nuward n'est pas le seul modèle de SMR en développement, fin 2020, 72 concepts de SMR étaient en développement dans le monde. La moitié de ces projets concerne des réacteurs à eau légère ; tandis que les autres sont des réacteurs caractérisés par des liquides de refroidissement alternatifs (métal liquide, gaz, sels fondus).

En termes de sûreté, les SMR présentent, sur le papier, potentiellement des avancées très significatives, notamment en ce qui concerne le risque de fusion du cœur. La plupart des SMR sont intégrés dans des enveloppes cylindriques

verticales (typiquement 20 m de haut sur 5 m de diamètre), à la base desquelles est placé le cœur combustible, ce qui permet d'exploiter les remontées par convection de leurs fluides caloporteurs pour en assurer la circulation globale passive, ne dépendant pas de dispositifs de pompage actifs pouvant tomber en panne.

La modularité des SMR permet leur production en usine et leur certification après un contrôle qualité minutieux avant autorisation de mise en fonction par les autorités de sûreté gouvernementales. Ce processus présente des garanties supérieures à celles que peuvent donner les validations « sur site » des réacteurs.

Toutefois, la littérature sur le sujet, souligne que les avancées potentielles portées par les SMR en matière de sûreté globale ne pourront se concrétiser que sur des filières maîtrisées en profondeur, sur l'ensemble des technologies qu'elles mettent en œuvre, en particulier celles des matériaux. Ce qui est par ailleurs exactement l'objet de la nouvelle norme ISO 19443.

Il est donc plutôt rassurant de voir arriver la nouvelle norme ISO 19443 qui devrait encadrer ce réveil de l'industrie nucléaire, et par la même occasion améliorer les prestations des partenaires industriels de cette filière œuvrant également dans les projets du CERN.

Les promoteurs de la norme ISO 19443, la positionnent comme une synthèse des exigences applicables à toute la filière nucléaire, pour un standard de gestion de la « supply chain » reconnu par tous les donneurs d'ordre du secteur dont le seul but est de faire tendre l'ensemble de l'industrie nucléaire vers plus d'efficacité, de qualité, et répondre mieux aux-exigences de sûreté, et ce partout dans le monde.

P. Ninin – EN-AA

Radio-luminescent optical fibres for dosimetry applications in accelerators and space

The use of optical fibres (OF) in telecommunications has grown dramatically over the past decades, sustained by their increasing performance in terms of data transfer rate, low cost, light weight, and small size which, among others, pushed optical fibres to the state of the art for both terrestrial and trans-continental communications. Despite being insensitive to electromagnetic perturbation, it was discovered that OFs can be sensitive to other environmental factors, which naturally led to the first investigations of OF-based sensors. Such a novel technique for sensing, revealed to be effective to measure different quantities such as, for

example, temperature and strain. The presence of ionizing radiation can be also detected with suitable optical fibres, which makes them particularly interesting for CERN applications, as described in this paper.

One of the main effects of radiation on OFs is the RIA (Radiation Induced Attenuation), which occurs when radiation creates point defects in the core of the OF, where the light propagates. Under certain conditions, including the use of previously calibrated OFs, a measure of the RIA can be used to infer the TID (Total Ionizing Dose) in a given radiation area. This technology is for instance implemented at CERN within the Distribution Optical Fibre Radiation Sensors (DOFRS) system, which is developed, operated, and maintained by the Fibre Optics Section of the Electrical Engineering Group, Engineering Department (EN-EL-FO).

Other promising OF based dosimetry techniques, such as RIL (Radiation Induced Luminescence) are also investigated by the section: when radiation travels through an OF, some defects can be excited, which induces the emission of a photon during the recombination process.

The number of photons emitted by the RIL process in the fibre, is directly proportional to the dose rate. The use of very sensitive photodetectors, allowing for the measurement of very small light levels, enables deriving the corresponding dose rates. In other words, it is possible to monitor the emitted light from a calibrated fibre during irradiation to obtain the temporal evolution of the dose rate over time at the location of the sensor. To deduce the TID it is sufficient to integrate the recorded signal over time. In addition, depending on the fibre type, the RIL signal can have a response time to radiation as small as a few tens of nanoseconds for the fastest sensors, which makes it interesting when working with pulsed beams.

RIL optical fibre-based dosimetry is investigated through a PhD project, in collaboration with CNES (Centre National D'Études Spatiales – The French Space Agency. Toulouse, France) and University Jean Monnet of Saint-Etienne. The aim of this project is to develop RIL based dosimetry solutions adapted for accelerators and space project needs.

In the framework of this project, we have performed a complete characterization of a set of differently doped optical fibres, specifically developed by a laboratory of the University of Lille (France). Several types of OFs were studied, showing different behaviours under irradiation. The RIL response to the dose rate of certain samples showed very high efficiency, and a linear response over at least 6 orders of magnitude of dose rate. That is an important feature when measuring radiation from pulsed beams which

can result in very high dose rates.

Moreover, a complete study of the dose effects on the sensors, up to several hundreds of kGy, was carried out for all the fibres under study, using the experimental setup presented in Fig.1. This is an important work to perform to ensure that the response of the sensor is not affected by the radiation induced degradation of the OF. The results showed that the response of the sensors varies during the first phase of the irradiation, before becoming much more stable at about 100 kGy (easily achievable with x-rays in few hours). The conclusion of the study is that a pre-irradiation of the OF sensors should be performed before use, and that in certain cases the pre-irradiation of the fibre could potentially enable the use of the OF sensor over a large dose range, of several hundreds of kGy, without significant change of the response due to TID.

The results of this R&D activity pave the way for boosting the use of RIL-based OF dosimeters for efficient radiation dose measurement in accelerators and space applications, as complementary to the distributed passive OF dosimeters. The key advantages of this technology are, the size of the sensor (down to 1 cm long, 250 μm wide) allowing very localized measurement, the minimal weight, the ability to measure dose rate and the possibility to deport the measurements fully optically by means of transport optical fibres.

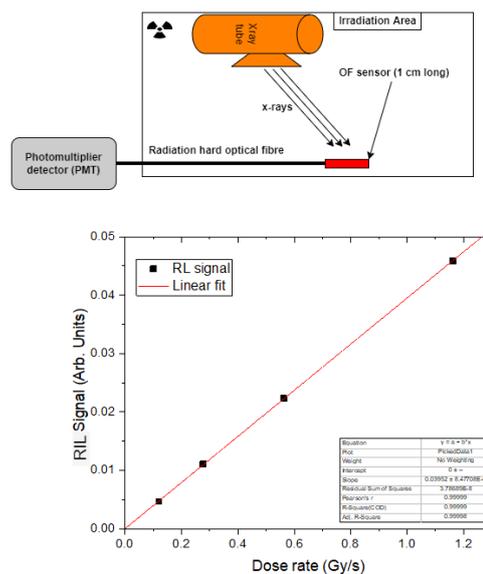


Fig. 3: Experimental setup for RIL characterisation under X-rays and linearity of the RIL response

Nourdine Kerboub, Diego Di Francesca and Daniel Ricci from EN-EL-FO

