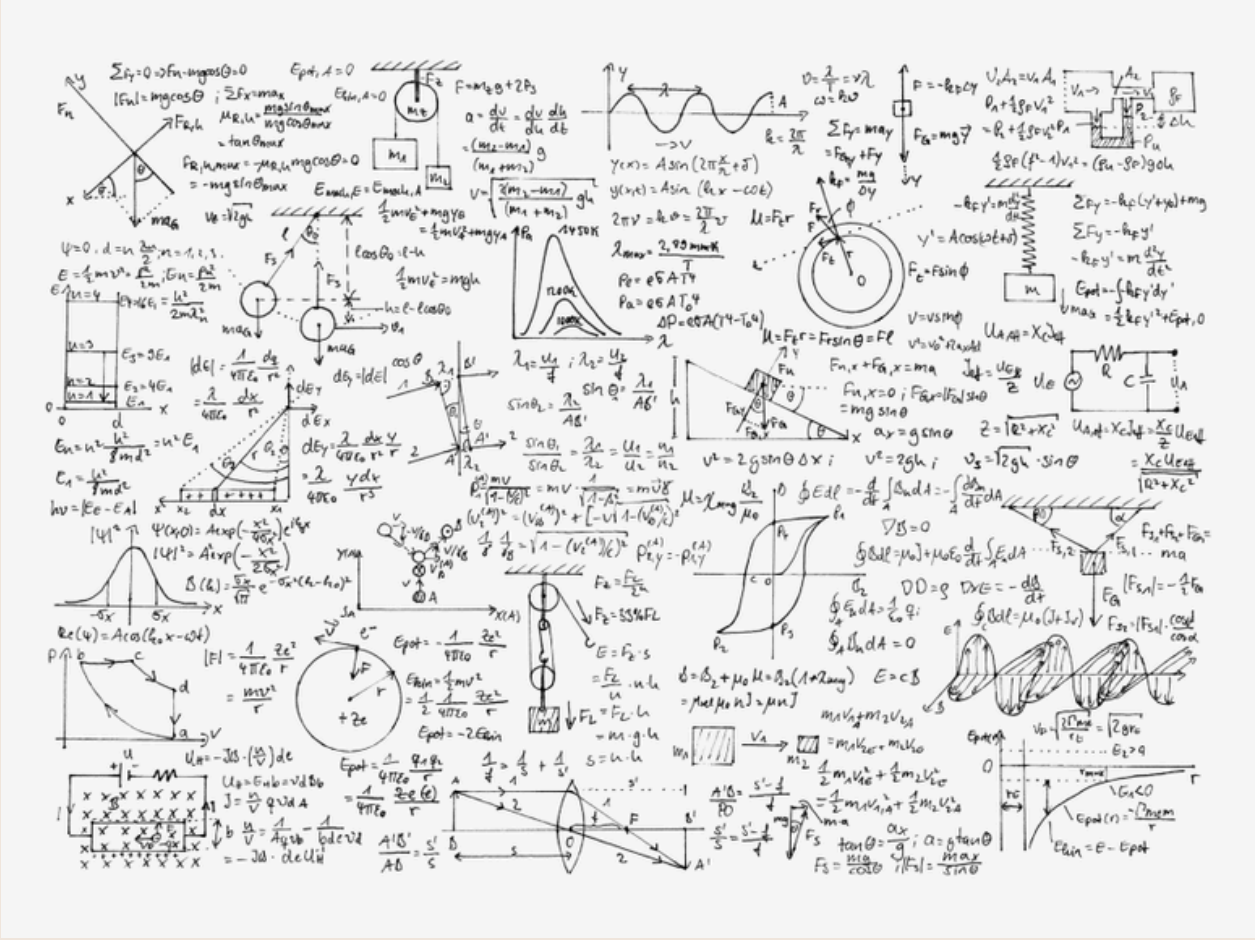
Le Photon



N° 36 - 2024-2025

BULLETIN DE L'ASSOCIATION DES ANCIEN·NES ÉTUDIANT·ES ET COLLABORATEURS·TRICES DU DÉPARTEMENT DE PHYSIQUE DE L'UNIVERSITÉ DE FRIBOURG

Comité de l'Association des ancien·ne·s étudiant·e·s et collaborateurs·trices du Département de physique de Fribourg

Comité du Photon

Président	Roland-Pierre Pillonel-Wyrsch
Vice-présidente	Marie-Laure Mottas
Caissier	Stefan Tresch
Rédactrices (français)	Eliane Esseiva et Amandine Pinard
Rédacteur (allemand)	Peter Stadlin
Président du Dép. de Physique	Christian Bernhard
Membre du comité	Aloïs Raemy
Membre du comité	Roger Röthlisberger
Membre du comité	Lukas Schaller

Administration du Photon

Amandine Pinard – mise en page et envoi	amandine.pinard@unifr.ch

UNIFR - Département de Physique - Chemin du Musée 3 - 1700 Fribourg

Editorial

Dr Roland-Pierre Pillonel-Wyrsch

« La physique est l'étude des propriétés et des interactions de la matière et de l'énergie ». Ce n'est certes pas, et de loin, la seule définition que l'on peut donner de la science que nous avons étudiée à l'Université de Fribourg et qui ne cesse de nous passionner. Elle peut même paraître un peu trop simplifiée compte tenu des évolutions qui l'ont marquée, mais c'est celle qui figure le plus souvent en tête des manuels, proposant aux élèves un premier contact avec elle. Cette définition a en outre le mérite de mettre en évidence le mot « énergie », un mot qui reste non seulement au centre de ses préoccupations, mais encore qui est un souci majeur pour toute la population de notre planète, un mot qui obsède à juste titre bien des gouvernements, un mot enfin qui est aussi malheureusement au cœur des trop nombreux conflits que l'on voudrait voir cesser. Aussi devons-nous remercier toutes celles et tous ceux qui n'ont de cesse de chercher des nouvelles solutions en ne négligeant aucune piste pour assurer la transition énergétique, pour les entreprises et les communes comme pour les particuliers. Or, c'est précisément la mission que se donne Gruyère Energie SA, avec un succès indiscutable. Aujourd'hui, cette entreprise nous fait part de ses recherches dans un domaine encore trop peu connu dans notre pays : la géothermie. Sachant qu'effectivement à l'heure actuelle aucune piste ne doit être négligée, nous sommes heureux de voir une société locale multiplier les initiatives pour trouver des solutions durables.

En prenant contact avec Gruyère Energie j'ai eu l'agréable surprise de rencontrer M. Sudan, un ancien élève, à l'époque où je dispensais des cours de physique au Collège Saint-Michel. Pour un enseignant, il est toujours valorisant de voir un élève poursuivre dans sa discipline. Dans le cas de M. Sudan, cette satisfaction est renforcée par le fait que sa formation à l'Université de Fribourg l'a conduit dans un poste à responsabilité dans le cadre de la recherche énergétique. Il nous en dit un peu plus sur son parcours.

L'an dernier, nous avions ouvert deux rubriques, l'une intitulée « nos félicitations à … », l'autre pour la présentation de travaux personnels réalisés dans le cadre du Département de physique. Nous combinons cette année ces deux rubriques, puisque Dr Morgane Lorétan, postdoc FNS, qui a reçu le prix *UBS Innovation Challenge* nous fait l'amitié d'une présentation des travaux qui l'ont conduite au doctorat. Et bien sûr, nous aurons toujours le plaisir de prendre connaissance des nouvelles de notre Département grâce à l'article écrit par son Président, que nous remercions sincèrement.

Notre dernière rencontre des ancien·ne·s ayant étudié la physique dans notre Université remonte déjà à 2021. Si l'on respecte le cycle de 5 ans, la prochaine aurait donc lieu l'an prochain. Avant de l'organiser, afin de voir si l'intérêt est maintenu et, le cas échéant, quelle date serait la plus favorable, nous vous serions reconnaissants de remplir le sondage joint au présent envoi.

Merci d'avance et bonne lecture.

La vie au Département

Prof. Christian Bernhard

As the President of the Physics Department it is my great pleasure to give you a short overview of the activities and events that took place in our Physics Department during the past academic year 2024-2025.

Present Situation

We have been rather busy preparing strategies for future teaching and research plans of our Department in the framework of the strategy of our faculty for the years 2028 to 2032. The enthusiasm for developing ambitious plans has, however, been damped by the recent announcements that severe budget cuts are ahead of us concerning the contributions from federal as well as the cantonal governments. Likewise, the Swiss National Science Foundation has recently announced its plans for severe cuts to their funding of research projects. For the near future, our main focus will therefore be on consolidating our existing research activities. In addition, we will strengthen our activities in theoretical condensed matter physics by teaming up with the Paul Scherrer Institute (PSI) in Villigen, the largest research institute in Switzerland that operates unique large-scale facilities, like the Swiss Light Source (SLS) and the Swiss Free-Electron Laser (SWISFEL). For this purpose, we have created two joint Professorship positions. The first one has already been filled in 2022 with Prof. Michael Schüler, who is meanwhile well integrated in both institutions and successfully collaborating with theoretical and experimental groups from both sides. The selection of the second Theory Professor is presently underway and will hopefully be concluded before the retirement of our colleague Prof. Yi-Cheng Zhang in summer 2026.

New Department members (01.11.24-31.10.25)

We are very pleased to welcome the following new members:

- Jason Aebischer, chargé de cours
- Nicolas Brunner, PhD student
- Lucile Chassat, postdoc
- Ivana Domljanovic, senior researcher
- Metya Indah Firmanti, PhD student
- Vincent Garrido, PhD student
- Andrea Gemelli, PhD student
- Mona Ghazalová, PhD student
- Aymen Mahmoudi, postdoc
- Francesco Petocchi, senior researcher
- Anish Rao, postdoc
- Antonio Rubio-Andrés, postdoc
- Jessica Ruffiner, PhD student
- Aaron Shih, postdoc
- Damiano Simoni, apprentice
- Alan Szalai, postdoc
- Shanto Vincent, PhD student

New students and graduates

I can announce that 18 new physics students have started their Bachelor studies in the Autumn semester 2025. We are very pleased that we have managed to stabilize the number of beginners in Physics over the past view years on a two-digit level.

We also proudly announce the following list of Bachelor, Master and PhD graduates in Physics.

Bachelor:

- Kevin Bart
- Christelle Clément

- Erwan Gendre
- Maëva Gischig
- Jonas Hoecker
- Léa Hubert
- Léo Mayques
- Léo Robbiani

Master:

- Mahault Berset (Prof. Monney)
- Romain Eltschinger (Prof. Monney)
- Manuel Helfer (Dr. Trappe)
- Joël Morf (Prof. Schüler)
- Matthias Murray (Prof. Werner)

PhD:

- Jiyu Chen (Prof. Werner)
- Morgane Lorétan (Prof. Acuña)
- Kalpana Manne (Prof. Scheffold)
- Xhorxhina Shaulli (Prof. Scheffold)
- Nicole Siegel (Prof. Acuña)

Awards and Prizes

We proudly announce the following prize awards for our students during the last academic year:

Manuel Helfer received the 2024 Prize for the Best Master's Thesis in Experimental Sciences

Matthias Murray won the 2024 Award for the Best Master's Thesis in Theoretical Sciences

Congratulations to both!

Happy Events

I have good news about the birth of Zefyr on 15.04.25, Sofia Magkiriadou's son, and of Romina, Mattis Reisner's baby born on 12.10.2025.

Activities and Events of the Department

Swiss Meeting of Experiment Preparators

On 26th and 27th June 2025 our Physics Department hosted the annual meeting of the Swiss Preparators of demonstration experiments for the experimental Lectures. This event was organized by our preparator Olivier Huot. As can be seen from the image below, one of the main attractions was the demonstration of our superconducting looping track that was designed and built in collaboration with Frédéric Chassot and our always very helpful and skilled mechanical workshop. An excursion through the old city of Fribourg was also very much appreciated by the preparators from the other Swiss Physics Departments.





Conference in Theoretical Physics

The soft Matter Theory Group of Prof. Joe Brader organized a conference/workshop on “New Frontiers in Classical Density Functional Theory” that took place on the 7th-9th April 2025. This event consisted of talks presenting the latest developments in the application of density functional methods to soft matter and workshop sections where numerical methods and technical details of the latest Fribourg theories were discussed. The event was well attended, as can be seen from the group photo below, and attracted many younger researchers, including local students from our Physics Department.



One of the speakers, Prof. Alberto Scacchi (University of Turku, Finland) is a former student from our Physics Department and did his PhD in the Soft Matter Theory Group. He agreed to host a 'student lunch event' in the Pavillion Vert where he discussed his academic career path and gave advice to interested students from the Department. Around 20 students attended.

Student Excursion to PSI

On April 11, our physics students visited the newly upgraded synchrotron facility “SLS 2.0”, as well as the X-ray free electron laser “SwissFEL” at the Paul Scherrer Institute in Villigen. This gave them the chance to learn more about some of the most modern experimental facilities for cutting edge research in condensed matter physics. These unique facilities are heavily used by researchers from all over the world, but also by members of our Physics Department. It’s therefore quite likely that some of our students will be using them in the near future to perform experiments for the Master or PhD works. I would like to thank Claude Monney, Luc Patthey and Vincent Garrido for organizing this memorable lab visit for our students.



Summer Party

On the 25th of May we had our summer party. The event was jointly organized by the groups of Prof. Claude Money and myself. The party was attended by about 80 people. The weather god was kind to us, so we could enjoy the BBQ and the salad bar while sitting in front of our Physics Building. The party was later continued inside, with a bar, music and dancing, and lasted until the official end at midnight (and probably beyond).



When physicists mix cocktails

Explora

On 25th of September 2025 the University of Fribourg had their annual open day event “EXPLORA”, where the various activities of the University were presented to the interested public. The Physics Department has been contributing to this event. Here we would like to thank in particular Frédéric Chassot, Luis Froufe, Baptiste Hildebrand, Manuel Helfer, Premysl Marsik, Augustin Muster and Mattis Reisner for their great efforts to make this a successful event.



La « sismique réflexion » appliquée à l'exploration de la géothermie profonde

Patrick Sudan, Gruyère Energie

Depuis le lancement de son réseau de chauffage à distance en l'an 2000, la ville de Bulle a vu son approvisionnement énergétique se transformer en profondeur. Après 25 années de développement constant, **Gruyère Énergie** est aujourd'hui à la tête du **plus grand réseau de chauffage à distance au bois de Suisse**. Ce succès repose sur une stratégie visionnaire et un engagement fort en faveur des énergies renouvelables.
En 2024, **97 % de l'énergie thermique distribuée aux clients raccordés** provient du bois, une ressource locale, durable et respectueuse de l'environnement. Avec une dynamique urbaine en pleine expansion, **la perspective d'atteindre une demande annuelle d'énergie thermique finale de 200 GWh à l'horizon 2035** est une réalité.

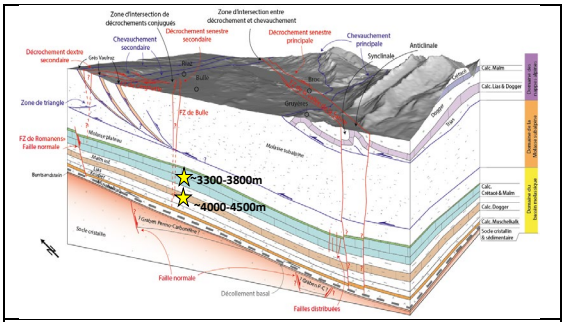
Désireuse de diversifier ses sources d'énergie renouvelable et de renforcer la sécurité d'approvisionnement à long terme, Gruyère Énergie s'engage désormais dans le développement de la **géothermie profonde**.

Le projet bénéficie d'un soutien significatif de la Confédération, via une subvention octroyée dans le cadre de la Loi fédérale sur l'énergie (LEne). Ce soutien financier découle du fait que la géothermie profonde, telle qu'envisagée ici, ne vise pas uniquement la production de chaleur, mais offre un potentiel concret de production d'électricité renouvelable. Ce double objectif – chaleur et électricité – place le projet dans une catégorie prioritaire pour la stratégie énergétique nationale.

C'est en 2021 que le projet a véritablement pris forme, lorsque Gruyère Énergie a entamé un travail exploratoire s'appuyant sur **le patrimoine scientifique de l'Université de Fribourg**. Les données ont été **évaluées grâce à des techniques de *data mining*** et de modélisation numérique. Cette approche a permis de **faire émerger des indices clairs** sur la présence de couches géologiques profondes potentiellement riches en eau chaude, notamment dans les formations du **Crétacé/Malm** et du **Dogger**.

Gruyère Énergie a fondé en 2023 une société spécifique : **Géothermie Préalpes SA**, actuellement détenue à 100 % par le groupe. Cette entité permet de concentrer les compétences, de piloter le projet de manière autonome et de **positionner la Gruyère comme région pionnière** dans l'exploitation de l'énergie du sous-sol en Suisse romande.

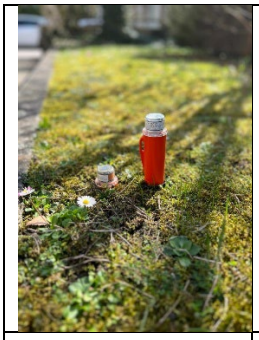
Le modèle géologique régional — souvent comparé à un **"mille-feuille" stratigraphique** — a été élaboré à partir de données issues de forages réalisés dans les années 1970, notamment dans les secteurs de **Sorens** et **Romanens**. Toutefois, **la région de Bulle reste peu documentée**, ce qui rend la phase actuelle de **recherche et de caractérisation du sous-sol** particulièrement déterminante.



Modèle stratigraphique régional à l'endroit de Bulle sur la base des données disponibles connues à ce jour

L'exploration géothermique vise à identifier des réservoirs profonds où la température est suffisante pour une valorisation énergétique. La sismique réflexion, en fournissant une image détaillée de la stratigraphie et des structures profondes, est incontournable dans ce processus. Elle permet de localiser des horizons favorables, des failles actives, et des zones fracturées potentiellement perméables. En combinant précision verticale et couverture latérale étendue, elle constitue un outil de réduction du risque en phase de prospection.

L'acquisition consiste à disposer, le long de lignes ou sur une surface, une série de récepteurs (géophones) à intervalles réguliers. La source est activée à plusieurs emplacements par des camions munis de plaques vibrantes afin de créer une couverture dense en signaux. Dans les projets profonds, on utilise souvent des configurations multi-canal (plusieurs centaines à milliers de traces).



Géophone



Camion avec la plaque vibrante

La densité de l'échantillonnage spatial (intervalle entre les géophones et les tirs) conditionne la résolution latérale. La fréquence du signal influe sur la profondeur d'investigation : les fréquences basses pénètrent plus profondément mais offrent une moins bonne résolution.

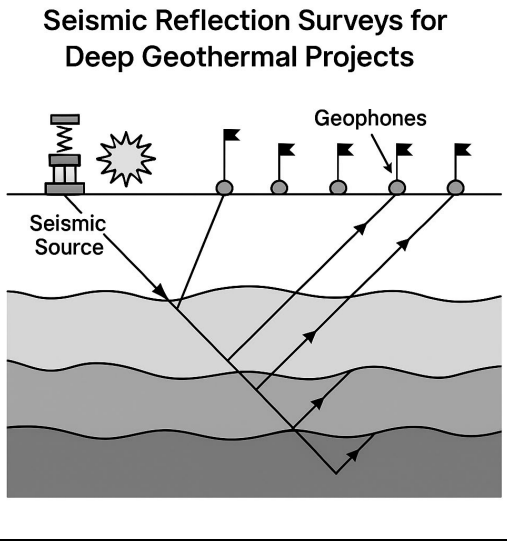
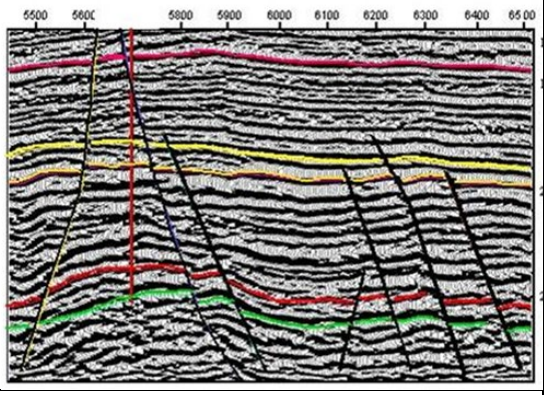


Schéma illustrant le principe de la sismique réflexion : propagation, réflexion et enregistrement

La vitesse de propagation dépend de la densité et du module d'élasticité des roches. La réflexion se produit chaque fois qu'il y a un contraste d'impédance acoustique. L'objectif est d'enregistrer les temps d'arrivée des ondes réfléchies pour reconstruire la géométrie des couches en profondeur.

Les données brutes enregistrées doivent être traitées pour restituer une image exploitable du sous-sol. En analysant l'amplitude, la continuité et la géométrie des réflecteurs, il est possible de déduire la nature des formations (couches sédimentaires, failles, intrusions, zones de fracturation).



Exemple de résultat final d'une image 2D après traitement des données

Application de la méthode par Géothermie Préalpes SA

Dans le cadre du projet mené à Bulle et environs, Géothermie Préalpes SA a eu recours à la sismique réflexion pour caractériser la structure du sous-sol à grande profondeur.
Une première campagne de **mesures géophysiques**, menée en novembre 2023, a livré des résultats prometteurs. Les données recueillies ont permis d'interpréter la présence des couches géologiques ciblées, potentiellement riches en eau chaude, ainsi que la présence de **failles naturelles**, favorisant la circulation et la perméabilité des fluides.

Une deuxième campagne devrait avoir lieu au début du printemps 2026. Le nombre de géophones et de sources sera beaucoup plus dense que dans la 1ère campagne 2D. Grâce à la densité des données, il sera possible de modéliser le sous-sol en 3D.

Les données recueillies en 2023 ont permis de confirmer le modèle théorique envisagé. L'objectif est de valider les structures géologiques favorables et d'affiner le modèle numérique 3D du sous-sol, en vue de sélectionner l'emplacement optimal d'un éventuel forage exploratoire.

Logiquement, la prochaine étape d'un tel projet de géothermie est le forage exploratoire. Ce forage a comme but de vérifier en conditions réelles la température du sous-sol, la pression des couches aquifères profondes, leur perméabilité ainsi que leur débit. L'ensemble de ces paramètres est essentiel pour confirmer le potentiel de cogénération (chaleur + électricité) envisagé. Le débit de l'eau souterraine trouvée et la température sont évidemment les données essentielles qui seront testées lors d'un tel forage. Ceci servira à évaluer la performance du site en vue de l'exploitation d'une future centrale géothermique.

Cette prochaine étape du forage étant si cruciale, car extrêmement coûteuse (> 20 MCHF), les décisions devront être prises sur la base d'informations les plus fiables possibles. C'est pourquoi, il est primordial de mener des campagnes de mesures géophysiques de qualité. Elles doivent apporter une donnée qui permettra à Géothermie Préalpes de décider de poursuivre le projet en réduisant l'incertitude sur la recherche d'eau souterraine.

Une vision alignée sur la stratégie énergétique suisse

L'Office fédéral de l'énergie (OFEN) considère la géothermie comme une ressource d'importance stratégique pour la Suisse. Les projets sont soutenus dans la phase de prospection (campagne sismique et forage exploratoire) jusqu'à hauteur de 60% des investissements afin de donner une garantie du risque. Les projets qui visent des cibles d'eau souterraine permettant de générer de la chaleur sont financés sur la base de la loi sur le CO2 et les projets qui ont des cibles de ressource en eau suffisamment chaude permettant de générer de l'électricité sont financés par la loi sur l'énergie. C'est justement le cas du projet de Géothermie Préalpes à Bulle.

Dans un futur de 5 ans environ, Géothermie Préalpes, respectivement Gruyère Energie, espère disposer d'installations qui seront des piliers importants de son approvisionnement en électricité et en chaleur avec une ressource qui présente de nombreux avantages. En effet, la ressource géothermique est locale, sans émission de CO2, disponible en continu et renouvelable, car présente en quantité infinie à l'échelle de temps de l'être humain.

La possibilité de produire non seulement de la chaleur, mais aussi de l'électricité à partir du sous-sol gruérien, confère à ce projet une portée nationale. Il pourrait devenir un modèle reproductible dans d'autres régions suisses aux conditions géologiques similaires.
Ce projet s'inscrit dans une vision à long terme : celle d'un territoire capable de s'appuyer sur ses propres ressources naturelles pour couvrir une part croissante de ses besoins énergétiques.

Référence : www.geothermie-prealpes.ch

Un travail de doctorat : Morgane Lorétan

Lors de sa thèse de doctorat, Morgane Lorétan a développé un microscope à fluorescence portable permettant un diagnostic rapide des maladies infectieuses. Son projet a été récompensé par le prix UBS Innovation Challenge *en 2023.*

Qu'avez-vous étudié à l'Université ?
Avant mon doctorat, j'ai étudié la physique à l'EPFL pour le Bachelor et le Master. Lors de ma dernière année de Master, j'ai eu l'occasion de faire un stage au CSEM de Bâle dans le domaine des lentilles dites « Freeform », puis j'ai enchainé avec ma thèse de Master sur les LED. J'ai obtenu mon Master avec le titre d'ingénieure physicienne.

Que recherchiez-vous après vos études ?
Bien qu'ayant étudié la physique expérimentale et effectué des recherches fondamentales pendant mes études, j'ai toujours plus apprécié les projets qui pourraient avoir un impact plus direct pour la société. C'est-à-dire une recherche qui pourrait servir rapidement notamment en industrie ou pouvant être commercialisée. À la fin de mes études, je recherchais donc un doctorat qui correspondait. J'ai trouvé l'annonce pour un projet de ce type sur le site de l'Université de Fribourg qui se déroulerait dans le groupe de recherche du Prof. Guillermo Acuña.

Quelles sont les recherches effectuées dans le groupe du Prof. Acuña ?
Le groupe « Photonic Nanosystems » fondé par le Prof. Acuña en 2018 est essentiellement axé sur la recherche expérimentale et fondamentale. Il propose des recherches interdisciplinaires dans cinq domaines principaux :

- La nanotechnologie d'ADN et les ADN origami
- Les techniques de microscopie et de super-résolution
- La nanophotonique et la plasmonique
- Les bioessais et la détection d'ADN
- La nanoélectronique et les portes logiques

Le point commun entre ces domaines, utilisé dans chaque projet de recherche est l'utilisation de ces nanotechnologies basées sur l'ADN et les nanostructures d'ADN origami.
Le projet, pour lequel j'ai postulé et été acceptée, touche essentiellement la partie de la microscopie et des bioessais et de la détection d'ADN avec un peu de plasmonique.

Quel est le sujet de votre thèse ?
Le sujet de ma thèse était de développer un microscope à fluorescence portable, utilisant un smartphone et accessible pour un large public et pouvant servir comme appareil de détection pour des tests diagnostiques faits directement sur le terrain.

Quels résultats avez-vous obtenus ?
Au début de ma thèse, j'ai travaillé sur un microscope utilisant un smartphone, mais aussi une table optique et des éléments de qualité utilisés dans les microscopes de recherche de pointe. Ce projet avait été commencé par le Prof. Acuña lorsqu'il était group leader à l'Université de Braunschweig chez le Prof. Tinnefeld. Ensuite avant mon arrivée à Fribourg, c'est le Dr. Mathias Lakatos qui l'avait poursuivi puis qui m'a supervisée pendant une année environ.
J'ai testé différents éléments optiques et configurations et ai finalement

développé le microscope portable (figure 1) avec l'aide précieuse de Nathan Fuchs (collaborateur scientifique au Département de physique).



Figure 1: Photo du microscope à fluorescence portable utilisant la caméra d'un smartphone pour détecter la lumière émise par des molécules fluorescentes.

Ce microscope est composé de trois modules pour le laser, l'échantillon et l'objectif, offrant le plus de degrés de liberté pour aligner les éléments entre eux, déplacer l'échantillon et obtenir une bonne mise au point de l'image. Comme le but de ce microscope est de servir à la détection précoce de maladies, la sensibilité doit être la plus grande possible. C'est pour cela que la fluorescence a été choisie. Les microscopes de laboratoire peuvent détecter une seule molécule fluorescente et cela permet, en théorie, d'obtenir une très grande sensibilité pour les tests. Cependant, les caméras scientifiques sont autrement plus sensibles que celles d'un smartphone. De plus, les objectifs de tels microscopes ont une ouverture numérique plus large permettant une meilleure collecte de la lumière et une meilleure résolution que celle d'un microscope portable qui se doit d'être bon marché. C'est donc un vrai défi de construire un prototype ultra-sensible. D'ailleurs, beaucoup de groupes de recherche ont utilisé des techniques afin d'augmenter l'intensité des molécules fluorescentes, comme l'utilisation de nanoantennes optiques. Ces techniques ont le désavantage d'être plus difficiles à implémenter et l'amélioration de l'intensité des molécules n'est pas uniforme. Obtenir des intensités uniformes pour chaque molécule permet de quantifier plus précisément les résultats d'un test diagnostique par exemple.

Mais détecter une seule molécule fluorescente directement sans ces techniques d'amélioration avec la caméra d'un smartphone est possible !

Afin d'y arriver, j'ai créé un microscope qui utilise la réflexion totale interne du laser dans l'échantillon afin de diminuer le bruit de fond que créent les éléments optiques bon marché. De plus, l'angle n'est volontairement pas choisi proche de l'angle critique mais bien plus grand afin d'assurer une réflexion totale d'un faisceau dans un prisme de petite taille (4 mm de diamètre) afin de rendre le microscope compact. Le schéma optique du microscope se compose comme suit :

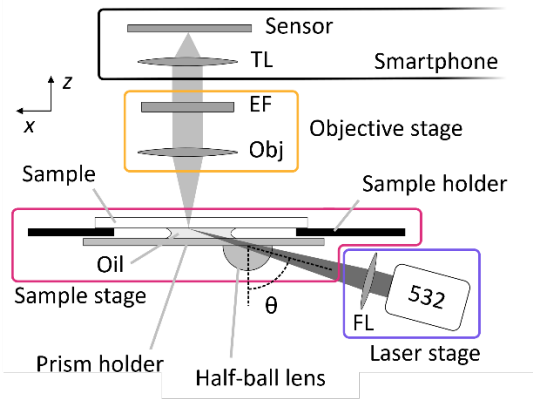


Figure 2: Chemin optique du microscope portable basé sur smartphone

Grâce à cette configuration et à un alignement précis du laser sur l'échantillon, il a été possible de démontrer que le microscope portable est capable de détecter une seule molécule fluorescente.

Pour le démontrer, il a fallu créer une structure qui puisse être observée par le microscope portable et également par un microscope haut de gamme pour la confirmation. C'est pour cela que la méthode dite « DNA origami » a été utilisée. Cette méthode permet la fabrication de milliers de nanostructures d'ADN dans un seul tube. Ces nanostructures ont la propriété d'être conçues sous différentes formes et de placer, avec une précision nanométrique, des éléments tels que des fluorophores, des nanoparticules et bien d'autres molécules. Pour cette expérience, la nanostructure a une forme rectangulaire et contient deux fluorophores, un absorbant dans le vert (532 nm) et l'autre dans le rouge (640 nm). Comme ces molécules ont un budget de photons limité, il est impératif d'éviter d'exciter les deux en même temps. Pour cela, le fluorophore rouge est d'abord imagé par le microscope haut de gamme, puis à la même position, c'est le vert qui est observé avec le microscope portable. Dans les deux cas une vidéo collectant l'intensité par rapport au temps de chaque structure dans le champ de vision des microscopes est enregistrée. Le résultat est présenté dans la figure ci-dessous.

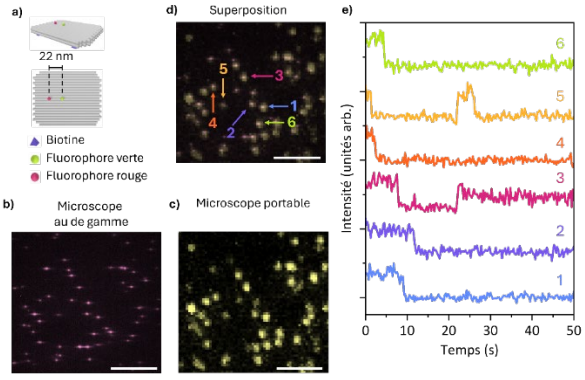


Figure 3: a) Nanostructure d'ADN incluant les deux fluorophores et de la biotine pour l'attacher à la surface de l'échantillon. b) Image extraite de la vidéo prise avec le microscope haut de gamme. Chaque point correspond à une nanostructure. Les points pour le microscope sont plus larges, car sa limite de diffraction (FWHM) est d'environ 1,3 ± 0,3 µm. Celle du microscope haut de gamme est de 0,27 ± 0,01 µm. c) Image extraite de la vidéo du même échantillon à la même position prise avec le microscope portable. d) Superposition des deux images. Chaque flèche correspond à la structure ou l'intensité par rapport au temps (appelé aussi « trace ») qui a été extraite dans e). e) Intensité par rapport au temps de certain fluorophore vert. La « marche unique » correspond à l'intensité d'une seule molécule qui cesse d'émettre. Sur certaines traces (3 et 5), la molécule passe d'abord par un état sombre avant de cesser d'émettre. Les échelles correspondent à 10 µm.

Cette détection d'une seule molécule fluorescente a ouvert la voie à une autre technique d'imagerie, la super-résolution. Limitée en raison de l'ouverture numérique de l'objectif du microscope portable, la résolution est de 1,3 ± 0,3 µm (FWHM). Plusieurs techniques existent pour améliorer la résolution obtenue d'une image. La technique utilisée pour le microscope portable est nommée « Points Accumulation for Imaging in Nanoscale Topography », autrement dit : DNA-PAINT. Dans cette technique, les fluorophores sont attachés à un brin d'ADN court qui va s'hybrider avec une séquence complémentaire présente sur l'échantillon à imager. Comme la séquence est courte, le brin reste temporairement lié et se détache. La solution dans laquelle est présent l'échantillon contient des millions de ces brins dits « Imager ». Les brins vont donc se succéder compensant le budget de photons limité et permettant d'imager plusieurs événements à la même position au cours du temps. Le centre de chaque point diffracté est calculé par un fit gaussien en 2 dimensions. Les centres obtenus permettent de reconstituer l'image de structures à distance plus courte que la limite de diffraction et qui sera irrésolvable. Grâce à cette

technique, il est possible avec un smartphone d'obtenir une résolution de 210 nm (FWHM) seulement. Cela est démontré à l'aide de microtubules de cellule U2OS fonctionnalisée avec un anticorps « primaire ». Un deuxième anticorps « secondaire » lié à un brin d'ADN court et complémentaire à celui de l'Imager s'attache sur le « primaire » permettant de créer un site d'attache pour les fluorophores.

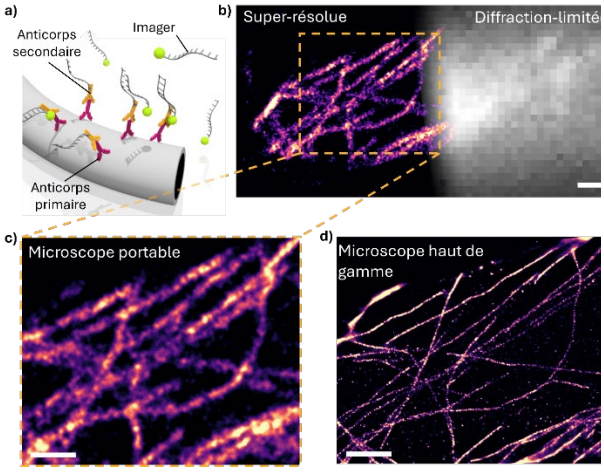


Figure 4: a) Schéma d'un microtubule d'une cellule U2OS avec les différents anticorps et Imager permettant d'imagerie par super-résolution. b) Image super-résolue obtenue avec une vidéo enregistrée avec le microscope portable (droite) et image extraite de la vidéo sans l'utilisation de la technique de résolution à gauche. Échelle : 2 µm. c) Agrandissement de l'image super-résolue. Échelle 2 µm. d) Image super-résolue obtenue à partir d'une vidéo prise avec le microscope haut de gamme. L'échelle est également de 2 µm.

Des nanostructures d'ADN ont aussi été imagées grâce à cette technique et une preuve de concept d'un test diagnostique détectant un fragment de l'ARN du virus Ebola a aussi été démontrée avec la super-résolution. Ces résultats seront publiés prochainement dans le journal Nature Communications qui vient d'accepter l'article lié à ma thèse de doctorat.

Quel est le futur de ce microscope portable maintenant que votre thèse est terminée ?

Le projet continue.

Pendant ma thèse de doctorat, je n'ai pas seulement développé le microscope portable et démontré ses capacités. Avec l'aide du Bureau de transfert de technologie, un brevet a été déposé pour protéger le microscope. Il est en cours d'évaluation et j'espère qu'il sera accepté. C'est un processus long et fastidieux.

Un fonds a pu être débloqué pour une collaboration avec l'Université de Los Andes en Colombie. Le but de cette collaboration est de coupler le microscope portable avec un de leurs tests permettant de détecter le parasite de la malaria. Le but est que ce test puisse être fait rapidement sur site dans les zones reculées où les tests de laboratoire ne sont pas accessibles.

De plus, j'ai eu l'occasion de présenter le projet du microscope portable pour l'utilisation comme appareil de détection pour faire du diagnostic précoce de maladie lors de *l'UBS Innovation Challenge de Fribourg* de 2023. Présenter un projet, qui ne touche pas seulement le monde académique mais également celui du business, fut très intéressant et enrichissant. Cela m'a sortie de ma zone de confort et a été payant. J'ai obtenu le premier prix pour ce projet. Cela m'a motivée à aller beaucoup plus loin. Actuellement, je suis en train de rédiger une demande Innosuisse afin de développer un test diagnostique compatible avec le microscope et utilisant la technique des « DNA origami » avec le but de pouvoir commercialiser le microscope et de le rendre directement utile pour la société.

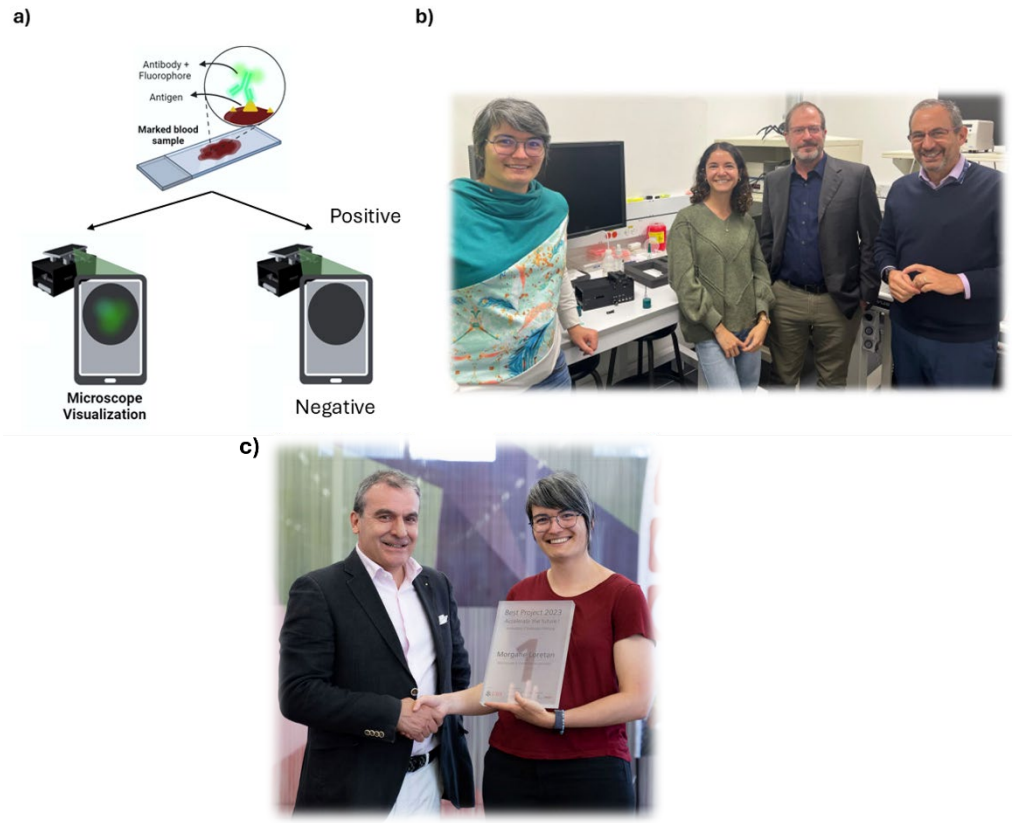


*Figure 5: a) principe du test diagnostique de l'université de Los Andes couplé avec le microscope portable. b) Photo de l'équipe de l'université de Los Andes et de l'université de Fribourg lors d'une visite à Bogota (Prof. Acuña non présent). c) Photo prise lors de la remise du prix de l'*UBS Innovation Challenge *de 2023 à Fribourg.*

Que sont-ils devenus ?

Patrick Sudan
Directeur des développements stratégiques chez Gruyère Energie SA



Le sujet passionnant de l'énergie

Après mon travail de diplôme en physique auprès du Prof. Louis Schlapbach, j'ai quitté l'Université pour rejoindre une petite société en tant que développeur informatique. Durant mes études, j'avais acquis les bases de la programmation, ce qui m'a permis de faire cette transition. Pourtant, très vite, un sentiment d'inachevé s'est imposé : la physique continuait de m'habiter.

Environ un an après avoir quitté l'Université de Fribourg, j'ai eu la chance d'obtenir une place de doctorant dans le groupe de Louis Schlapbach, sous la direction d'Andreas Züttel. Nous étions en 1999, à une époque où le thème de l'énergie n'était pas encore au cœur des débats publics comme aujourd'hui. On connaissait l'hydrogène et l'on explorait la possibilité de le stocker dans des nanostructures de carbone ou des métaux, mais il était encore difficile d'imaginer qu'il puisse devenir un vecteur énergétique essentiel dans une stratégie mondiale de décarbonation.

Un peu plus de vingt-cinq ans plus tard, je constate que le premier élément du tableau périodique a été le déclencheur de ma carrière. L'énergie, sous toutes ses formes, est aujourd'hui le fil conducteur de mes activités professionnelles. Sous l'impulsion du Prof. Andreas Züttel, qui donnait également le cours « Physique de tous les jours » à l'Université de Fribourg, j'ai évolué dans un environnement où il était possible à la fois d'acquérir des connaissances solides et de mener des recherches appliquées à des situations concrètes.

Une application concrète

À ce propos, je tiens à partager une photo d'une installation de production d'hydrogène vert construite à Bulle. J'ai eu le privilège de diriger ce projet dans le cadre de ma fonction chez Gruyère Énergie. Il y a 25 ans, je n'aurais probablement jamais imaginé vivre une telle aventure. Cette installation de 2 MW peut produire près de 300 000 kg d'hydrogène par an et stocker 200 kg d'hydrogène dans des matériaux que nous avions déjà testés à l'université.



Installation de production d'hydrogène vert à Bulle vers la zone industrielle de Planchy

Dès le début de ma thèse, avec l'hydrogène comme fil conducteur, le thème de l'énergie m'a véritablement passionné. Pour approfondir mes connaissances, j'ai complété mon doctorat par des études postgrades en

énergie à l'EPFL, suivies parallèlement durant les deux dernières années de ma thèse. Ce cycle abordait toutes les sources d'énergie, sous leurs aspects techniques, politiques et économiques, et réunissait des participants issus aussi bien du monde académique qu'industriel.

Au fil de mon parcours professionnel, j'ai occupé divers postes dans des entreprises d'approvisionnement en énergie. Les années 2007-2008 ont marqué un tournant avec l'essor des énergies renouvelables. C'était une période où la nécessité de diversifier les sources de production d'électricité s'est imposée, au-delà des grandes centrales traditionnelles. Mais ce développement n'a pas échappé aux dilemmes de société : tout le monde s'accorde sur l'importance des renouvelables, mais peu sont prêts à accepter les contraintes qu'elles impliquent. Trop souvent, l'inertie, les habitudes ou l'égoïsme freinent l'action.

En résumé, le thème de l'énergie est d'une complexité que beaucoup reconnaissent, mais sur lequel chacun aime donner son avis comme s'il en était spécialiste. C'est pourquoi il est essentiel d'adopter une analyse globale, dépassionnée et non dogmatique. Pour vulgariser efficacement les enjeux et les choix de société qui en découlent, une solide compréhension de la physique me semble être un préalable indispensable – nécessaire, mais pas suffisant – pour appréhender au mieux ce sujet crucial.