

Fights Bohr-dom

23rd of February 2021

Édito N₆: La newsletter physicienne pour Normaliens confinés

Chers physiciens, chères physiciennes, je suis heureux de vous présenter la sixième édition de la Normale Physics Review. Alors que beaucoup de nos φ_{20} , dont je fais bien entendu partie, stressent à cause de la recherche de stage pour le mois de juillet, d'autres s'occupent de remplir leurs contrats d'étude sur GPS avant le 28 février (ceux qui ne l'ont pas fait, pensez-y !)

Au menu du jour, un témoignage sur le M2 de physique théorique, un article sur l'agrégation de L. Djadaojee qui devrait intéresser les futurs professeurs du département (dont je fais encore une fois partie), un article passionnant de L.Thiry, thèsard de l'équipe DATA du DI, sur le calcul quantique par réseaux de neurones, et bien d'autres choses.

En espérant que vous trouverez dans cette revue autant d'inspiration que l'équipe de rédaction, je vous souhaite une excellente lecture ! (R. Orageux)

[ANNOUNCEMENTS]

Our newsletter is getting its own mailing list on the ENS Sympa server! You can register here : <https://lists.ens.psl.eu/wws/subscribe/npr>. The address of the list is npr@list.ens.psl.eu.

[CLASS' LIFE]

ICFP, THEORETICAL PHYSICS : TESTIMONY

"You're all nerds whose only interests are maths and how to quantize gravity"

"It is hard to socialise with you"

"All you can do is compute and compute"

"You think you're better than experimental physicists"...

These are the usual clichés about theoretical physicists in the M2 theoretical physics track. But are they all true? Let me demystify them. First, let me tell you about me. I'm Denis, a student in the M2 ICFP theoretical physics track. Yes, I am passionate about high energy physics and my eyes shine when my professors mention the Virasoro algebra in string theory. Yes, some might call me a nerd. Yes, I will start my PhD in primordial cosmology in September. However, I am also a beer enthusiast, a music lover (anything Pink Floyd) and I never pass a chance to prepare an apéro for my friends. Here is my testimony.

What to Expect. I won't lie, the amount of work required during the first semester took me by surprise. Quantum Field

Theory, General Relativity, Statistical Field Theory, Numerical Physics, Advanced Statistical Physics : how I spent my evenings for months. It is a lot of work (too much for one person) but somehow we manage. You have surely already read the course description on the Master's website (in case not, here is the link : <https://urlz.fr/eZh8>) so I'm here to give you more information from a student perspective.

The goal of the first semester is to learn the main tools and methods that all theoretical physicists must be comfortable with, no matter their specific topics of interest (statistical physics, high energy physics, etc). You will quickly see that some standard notions appear throughout several courses (to name just a few : path integral formalism, group theory, Feynman diagrams). The one notion that best summarises the first semester is "field theory". Writing down a Lagrangian, deriving from it the Feynman rules, computing diagrams and renormalizing the theory will become entrenched in your muscle memory. However, it requires practising.

When it comes to the professors, they are very easy to approach (for example, they always answer emails, give additional references when asked and don't mind chatting after the lectures). One of the main advantages of this Master is the large amount of choices we can make concerning the courses (mostly during the second semester). Sometimes, I find myself in a course with ten other students. This is great because you really get to exchange with the professors who are always willing to explain things to you for the fifth time (because yes, you will rarely understand everything the first time around).

Compared to the first semester, the second one is much more chill. You will have to work a lot (obviously) but you will already know all the basics which allows you to really

dig deep into the specific topics that interest you. The lectures are very specific and are meant to prepare you for your PhD.

How. As I said earlier, practising is essential. As the amount of work is huge, you have to prioritise, organise and identify the crucial parts of each course. Accept that you won't be able to read all the lecture notes entirely, do all the tutorials on time, and read extra articles all the while taking care of your social life (if corona didn't kill it already). Working continuously in groups or alone and talking about physics with other students will keep your motivation high and will help you to learn. Personally, I neglected one course which allowed me to understand much better other courses. I made sure to spend time doing actual computations because this is what you will be asked during the exams. Also, whenever I was stuck I didn't hold back from asking for help from my friends.

It is true that you will have to be comfortable with doing a lot of maths (group theory, complex analysis, advanced linear algebra, differential geometry). But don't let yourself stumble on maths. In my class there are two kinds of people : students who care about fundamental ideas and maths, and students who are more attracted to the physics and the concepts. Both succeed just as well.

When. The first semester culminates in an intense period of exams at the beginning of January (so no Christmas holidays). The second semester is really short as you are meant to start your internship in April. Also note that in November/December you must already start looking for a PhD position or you will be lost in panic and stress during the second semester.

Don't Worry. After talking with my peers, I have realised that even if one is brilliant and has studied physics for many years, one might still be lost concerning what they want to specialise in later. In my track, you won't find two people who want to do the same thing. What is great about this Master is that it allows you to do anything from beyond standard model of particle physics to Monte Carlo simulations (or string theory, cosmology, critical theories, and even machine learning, stochastic processes and finance). Remember that the more you learn, the more you realise that you need to learn even more.

In the end, the ultimate key for success is to love what you do and be passionate about physics.

And for the sake of my friendships with experimental physicists, I don't think I'm better than you.

Don't hesitate to contact me, it would be a pleasure to tell you more about my experience.

Denis (denisrwerth@gmail.com)

PRÉPARER L'AGRÉGATION À MONTROUGE PAR LIONEL DJADAOJEE

Quelques mots au sujet de la préparation à l'agrégation « vue de l'intérieur » ! La prépa de l'Ens se situe à Montrouge, c'est un peu moins classe que le 45, mais ce que l'on y fait mérite le détour. Elle accueille chaque année un petit nombre de personnes, de tous âges et horizons : étudiants de l'Ens, de Jussieu, d'Orsay, mais aussi docteurs et professeurs de lycée. Le profil de la promotion est donc assez hétérogène, ce qui est vraiment sympathique, avec un **bon esprit de groupe**, qui peut ressembler à celui des classes préparatoires (mais avec plus de maturité). De plus, la diversité des profils et des affinités de chacun pour les différentes branches de la physique est très enrichissante pour toute la promotion.

Préparer pendant une année l'agrégation, c'est d'abord acquérir de **solides** compétences expérimentales : devenir pro dans la maîtrise d'un oscillo et autres appareils de mesure, dans le câblage ou les montages d'optique, la prise de données/incertitudes, la conception de protocoles de mesure rigoureux, la compréhension des phénomènes qui peuvent induire des erreurs sur le résultat ... Bref, tout ce qui pourra développer un « sixième sens » expérimental. La réserve expérimentale de Montrouge regorge d'expériences (le célèbrissime gyroscope de Montrouge, le superbe moteur asynchrone, la soufflerie pour tester la loi de Bernoulli, la cloche à vide pour l'observation du point triple de l'azote, et de l'azote liquide à foison (mais à utiliser avec modération...)).

Préparer l'agrégation, c'est aussi apprendre à développer un esprit de synthèse, apprendre à mieux communiquer, selon un niveau d'attente donné. C'est se construire, en tant que physicien, une culture **solide** dans tous les domaines. On ne fait pas forcément des choses très dures, mais ce qui est demandé c'est de les aborder plus en profondeur, avec du recul. Tout le programme de L1/L2/L3, et des CPGE (toutes filières, PC, MP, PSI, ... y compris les anciens programmes !) devra être passé en revue. L'effet gyroscopique, l'optique géométrique revisitée par le principe de Fermat, la notion de d'oscillation, de rétroaction, de résonance, la propagation et le guidage des ondes, les grands principes (méca, thermo), le rayonnement thermique, l'hydrodynamique, les transitions de phase, la diffraction, la microscopie moderne, le ferromagnétisme et la transition ferro-para, ... le tout saupoudré d'un peu de relativité, de physique quantique, nucléaire et de non-linéarités ! Tous les points « saillants », toutes les belles notions et lois de la physique seront passés en revue.

Mais plus qu'apprendre, c'est aussi produire quelque chose de **personnel** à partir de ces connaissances : faire une leçon de physique, c'est choisir un fil conducteur, découvrir sa manière de présenter les choses (introduire une notion par l'expérience ? ou bien l'expérience vient après ?), les colorer par divers exemples afin de rendre sa leçon attrayante. Ainsi, au terme de son année de préparation, on peut être fier de ce que l'on a pu s'appropriier et produire !

Il y a la chimie aussi, qui compte pour un tiers de la note finale. En dépit des mauvais a priori qui souvent rôdent parmi les physiciens au sujet de cette discipline, j'ai plutôt bien aimé apprendre (car je n'en avais jamais fait auparavant) la chimie organique, dont la démarche est vraiment nouvelle par rapport à tout ce que j'avais pu faire, et j'ai trouvé ça assez amusant et sympathique. Il peut être utile malgré tout de s'y être un peu préparé en amont.

Je pense qu'en classes préparatoires, je suis passé à côté de beaucoup de choses, par manque de recul (ce qui est normal : c'est dense et court!), et aussi parce qu'il y a un aspect très calculatoire dans ce que l'on fait. On peut parfois bien s'en sortir en étant bon en calculs, même pendant ses années à l'ENS. Ce que le jury de l'agrég évalue à mon sens, ce n'est pas seulement la prestation, mais c'est le professeur, le physicien qui est en face d'eux, sa manière de penser, son recul sur les phénomènes, sa réflexion dans la présentation des diverses notions. Cette année peut être l'occasion de faire des liens, des ponts entre les différentes notions physiques, des analogies, développer une intuition : c'est un processus de « murissement » qui opère en quelque sorte.

Pour ma part, j'ai préparé l'agrégation après mon M2 à l'ENS, et j'ai débuté une thèse après mon année de préparation. Mon objectif est de devenir enseignant, donc la question de passer l'agrégation ou non ne se posait pas trop dans mon cas. Et cette année de préparation a été pour moi la plus enrichissante de ma scolarité à l'ENS, j'ai beaucoup appris. Bien sûr ce sera différent pour chacun. Je pense en tout cas que passer l'agrégation peut aussi être intéressant pour ceux qui pensent poursuivre dans la recherche. En particulier pour ceux qui souhaitent poursuivre dans la recherche plutôt expérimentale : avoir passé toute une année à manipuler tout un tas d'appareil, et avoir appris rigoureusement à extraire des données de certaines expériences, peut être intéressant. Mais une chose est sûre : il faut tout de même en avoir envie, être motivé, intéressé, car c'est une année intense, pendant laquelle il faut se donner. Mais si vous vous y sentez prêt, le jeu en vaut vraiment la chandelle !

Lionel Djadaojee

[PHYSICISTS' LIFE]

CALCUL QUANTIQUE, IMAGES ET APPRENTISSAGE

Amis physiciens, bonjour ! C'est un informaticien, de l'équipe DATA du département d'informatique qui vous écrit depuis l'ancienne laverie de l'ENS, au troisième étage à droite du 45 rue d'Ulm.

Je suis en train de terminer mon doctorat sous la direction de Stéphane Mallat (les ondelettes, ça vous dit quelque chose ?), doctorat pendant lequel j'ai travaillé entre autre sur le calcul de l'énergie de molécules et solides par apprentissage supervisé. Késako ?

Vous connaissez peut-être la fonction qu'on appelle la surface d'énergie potentielle (Potential energy surface en anglais). Cette fonction prend en entrée les positions des noyaux des atomes et nous donne l'énergie de l'état fondamental de l'ensemble d'atomes. C'est l'approximation de Born-Oppenheimer qui en mécanique quantique garantit l'existence de cette fonction. Dans le cas d'un système d'atomes isolé, l'énergie potentielle d'un système est la plus petite valeur propre d'une équation aux valeurs propres dans l'espace des fonctions d'ondes qui représentent N_e électrons. On peut faire les calculs pour l'atome d'hydrogène et son unique électron, mais le nombre de fonctions de base nécessaires pour représenter correctement une fonction d'onde dans cet espace fonctionnel croît de manière exponentielle avec le nombre d'électrons. Au delà de 10 électrons, ça devient compliqué...

Une part importante de la recherche en mécanique quantique numérique a consisté à développer des méthodes numériques pour contourner ce problème, les méthodes de structure électronique. Les méthodes de Hartree-Fock [3, 2] ou la théorie de la fonctionnelle de la densité [4, 6] résultent par exemples d'approximations ou d'hypothèses fortes faites sur la fonction d'onde. Ces méthodes sont toutefois coûteuses numériquement, leur coût de calcul étant proportionnel au carré ou au cube du nombre d'électrons présents dans le système. C'est long, et au delà de 1000 électrons, cette fois-ci, ça devient compliqué.

Les potentiels empiriques (ou paramétriques) sont des approximations beaucoup plus brutales. Ce sont des fonctions directes des positions r_i des atomes. Elles sont beaucoup plus rapides mais beaucoup moins précises que les méthodes de structure. Les potentiels simples ne prennent en compte que les distances r_{ij} entre paires d'atomes comme par exemple le potentiel de Lennard-Jones [5] :

$$F_{LJ}(r_{ij}) = 4\epsilon \sum_{i,j}^{N_a} \left[\left(\frac{\sigma}{r_{ij}} \right)^{12} - \left(\frac{\sigma}{r_{ij}} \right)^6 \right]$$

Les potentiels sont classiquement conçus "à la main" en se basant sur des intuitions et exemples physiques.

Eh bien, figurez-vous que chez les informaticiens, nous avons vu là une aubaine pour faire de l'apprentissage supervisé. L'apprentissage supervisé, c'est quand on vous donne un tas d'exemples $(x_i, y_i = F(x_i))$ où x_i est l'entrée de la fonction, et $y_i = F(x_i)$ est sa valeur. Vous ne connaissez pas cette fonction F , et on vous demande d'en construire une interpolation \hat{F} la plus précise possible à partir des exemples qu'on vous a donnés. C'est comme ça qu'aujourd'hui sont conçus les programmes dits "d'intelligence artificielle" qui font de la reconnaissance d'images, de la reconnaissance de la parole ou de la traduction automatique.

Dans notre cas, les entrées sont les positions des atomes et la sortie est l'énergie. On fait une fois pour toute des gros calculs de mécanique quantique numérique pour calculer un grand nombre de valeurs de notre fonction pour différents solides et molécules, puis on donne ça à des informaticiens pour qu'ils construisent une interpolation, un potentiel en quelque sorte, qui soit beaucoup plus rapide à calculer et à peu près aussi précis que les calculs de mécanique quantique. En plus de cette accélération des calculs, cette approche est intéressante pour mieux comprendre la nature des fonctions. Si on arrive à approximer très bien une fonction avec une fonction linéaire, cela signifie que celle-ci n'est en fin de compte pas très compliquée, même si elle nécessite un grand nombre de calculs.

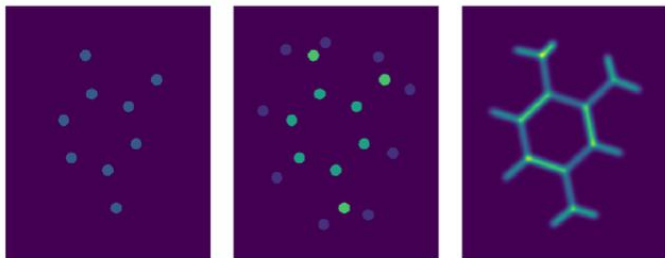


Figure 1 – Images fictives d'une molécule plane

Au sein de l'équipe DATA, nous avons utilisé des techniques inspirées du traitement d'image pour faire cela, avec des résultats très prometteurs. Pour cela nous créons des images fictives des molécules, comme sur la figure 1. Puis nous créons des interférences fictives par des convolutions avec des ondelettes harmoniques sphériques dont les indices l et les échelles j varient (figure 2). En intégrant ces motifs sur toute l'image, on obtient des invariants qui décrivent la géométrie de la molécule à différentes échelles. On les utilise comme variables d'entrée pour régresser l'énergie.

Si tout cela vous intéresse ou vous intrigue, vous pouvez lire cette publication [1], ou bien venir à ma soutenance de thèse virtuelle, dont je vous ferai parvenir la date. A bientôt, Louis Thiry.

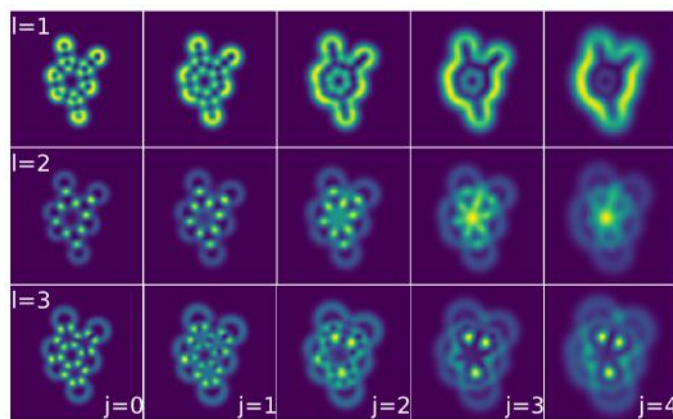


Figure 2 – Motifs d'interférence.

RÉFÉRENCES

- [1] Michael Eickenberg, Georgios Exarchakis, Matthew Hirn, Stéphane Mallat, and Louis Thiry. Solid harmonic wavelet scattering for predictions of molecule properties. *The Journal of chemical physics*, 148(24) :241732, 2018.
- [2] Vladimir Fock. Näherungsmethode zur lösung des quantenmechanischen mehrkörperproblems. *Zeitschrift für Physik*, 61(1-2) :126–148, 1930.
- [3] D. R. Hartree. The wave mechanics of an atom with a non-coulomb central field. part ii. some results and discussion. *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 24(1) :111–132, 1928.
- [4] Pierre Hohenberg and Walter Kohn. Inhomogeneous electron gas. *Physical review*, 136(3B) :B864, 1964.
- [5] John Edward Jones. On the determination of molecular fields.—ii. from the equation of state of a gas. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character*, 106(738) :463–477, 1924.
- [6] Walter Kohn and Lu Jeu Sham. Self-consistent equations including exchange and correlation effects. *Physical review*, 140(4A) :A1133, 1965.

SIR, I HAVE A QUESTION

Vous êtes khôlleur ou tout simplement curieux ? Peut-être trouverez-vous dans les questions suivantes un problème ouvert intéressant. Vous observez un phénomène étrange ? Arrêtez de regarder *The Queen's Gambit* et envoyez-nous une question (adresses mail en fin de review) !

I : Combien de matelas faut-il pour amortir le saut depuis l'espace de Felix Baumgartner ? ;

- II** : Comment, à partir d'un profil de température, pouvons-nous déterminer la trajectoire d'un rayon lumineux ? ;
- III** : En ne considérant que le cône d'un porte voix, jusqu'à quelle distance peut-on être entendu ? ;
- IV** : À quelle vitesse doit se déplacer un électron pour avoir le même effet qu'une mouche quand il rebondit sur notre corps ? ;
- V** : Supposons qu'il existe des monopôles magnétiques (caractérisés par $\text{div}\vec{B} = \mu_0\rho_m$), comment devons-nous modifier les équations de Maxwell pour avoir une équation de conservation de la charge magnétique ? ;
- VI** : Quel doit être le débit d'une fontaine pour qu'un objet de 10kg placé au dessus de cette fontaine puisse être éjecté à 5m du sol ? ;
- VII** : Combien un être humain a-t-il d'électrons en moyenne dans son corps ? ;
- VIII** : Comment déterminer la capacité thermique d'une tempête de neige sur Paris ? ;
- IX** : Comment réaliser un bon *PeaceMaker* ? ;
- X** : Combien de temps met un glaçon pour fondre dans de l'eau à 100C ?

Merci à **N.Clavier** :)

ABOUT THE PREVIOUS QUESTIONS...

As you may know, a new painting campaign of the Eiffel tower has started two weeks ago, in order to take care of its disruptive look before the olympic games. I think it's a good time to wonder how many liter of paint are needed to recover the *Iron women*.

Because of the deadline of OG, I assume that the duration of a campaign is around 2 years (104 weeks). And on this 104 weeks, only 80 are workable because of weather (rain, cold). Assuming that there are 100 painters, working 35 hours per week, we get that there is around 280 000 hours worked to paint the tower.

Painters deal with huge constraints : they have to paint **everything** with a brush, being suspended above Paris with plenty of ropes. This should heavily hinder their movement and slow down their work. I'm able to paint around 30m^2 in one hour. Because of the constraints below, I will assume that a paint of the Eiffel tower is twice slower than me. Hence he paints 15m^2 per hour. Then, we get that 420.000m^2 are painted ! Around 1 Liter of metallic paint is needed to cover 10m^2 . **Then, 42.000 L are need.**

On the official website (www.toureffel.paris), one can read that 60 tonnes of paint are needed. Acrylic paint is usually twice heavier than water, then with our calculus, we get that 84 tonnes are needed. One can also read that there is

less painter working during the campaign than assumed (around 25). I think that the calculus leads to a similar order of magnitude because the total surface is overestimated : indeed : on the website, a total surface of "only" 250.000m^2 is claimed. (**L.Brivady**)

MYSTERY PHOTO



Figure 3 – Merci à **Ludovic Brivady** pour sa photo ! Arriverez-vous à trouver de quoi il s'agit ?

Légende de la photo précédente - N_5

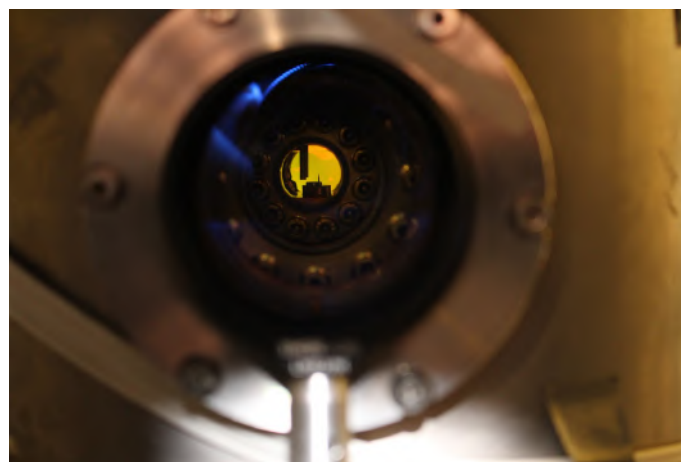


Figure 4 – Photo mystère numéro précédent

Alors vous avez deviné ce qu'était la photo mystère précédente ? Ce n'était autre que le cœur même de l'expérience de Lionel Djadaojee sur l'hélium superfluide. On peut y voir la cuve « super-étanche » qui empêche ce fluide quantique non visqueux de s'échapper. Cette cuve est placée dans un

cryostat à 5 couches isolantes qui permet de rester à une température de 1K. On peut même apercevoir l'aiguille qui sert de repère pour croiser deux lasers avec une précision de l'ordre de 10^{-5} rad! Ceux-ci servent à sonder le milieu par spectroscopie Brillouin stimulée... Pour plus d'informations, n'hésitez pas à solliciter L.Djadojee. (**E.Foucher**)

I. CARTE POSTALE DES M1

Chers conscrits,
Recevez cette première carte postale des M1 (rendez-vous à la dernière page de ce numéro). Vous y trouverez l'ensemble des laboratoires où nous travaillons, à distance ou bien sur place. Bien sûr avec le contexte sanitaire il y a moins d'institutions étrangères que d'habitude. On espère quand même que cela vous inspirera dans vos recherches de stage de L3 ou de M1.
G.de Rochefort

[ACKNOWLEDGEMENTS]

We thank our contributors for their fantastic articles and questions. We also thank everyone who send us their feedback and encouragements. And thank you dear reader!

We need you!

If you would like to contribute or support us, don't hesitate to contact us :

- **Esteban Foucher** $\varphi 20$:
esteban.foucher@ens.fr
- **Rodrigue Orageux** $\varphi 20$:
rodrigue.orageux@ens.fr
- **Basile Dhote** $\varphi 19$:
basile.dhote@ens.fr
- **Ludovic Brivady** $\varphi 19$:
ludovic.brivady@ens.fr
- **Guillaume de Rochefort** $\varphi 19$:
guillaume.de.rochefort@ens.fr

(The Editorial Board)



MAX-PLANCK-GESellschaft



Ciências
ULisboa
Faculdade
de Ciências
da Universidade
de Lisboa



Imperial College
London



INSTITUT
d'OPTIQUE
GRADUATE SCHOOL

ParisTech



UNIVERSITÉ
PARIS
SUD

Comprendre le monde,
construire l'avenir



université
PARIS-SACLAY



Inmed
Institut de neurobiologie
de la méditerranée



東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO



ENS
ÉCOLE NORMALE
SUPÉRIEURE



Technical
University of
Denmark



UNIVERSITÀ DI PISA



université
PARIS-SACLAY



UNIVERSITY OF
CAMBRIDGE



SORBONNE
UNIVERSITÉ



ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB



IP PARIS



Niels Bohr Institutet



UNIVERSITÉ DE STRASBOURG



TÉCNICO
LISBOA



UNIVERSITY
OF CRETE



KEK

