



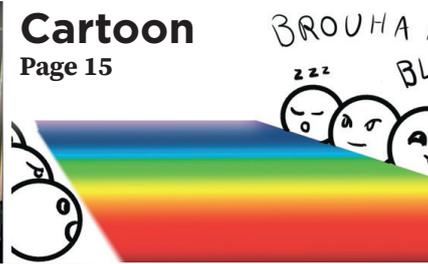
# LE PARAXIAL

Numéro 15 - 10/11/2023  
leparaxial@institutoptique.fr

**Les textes de Lola**  
Page 12 et 13



**Cartoon**  
Page 15

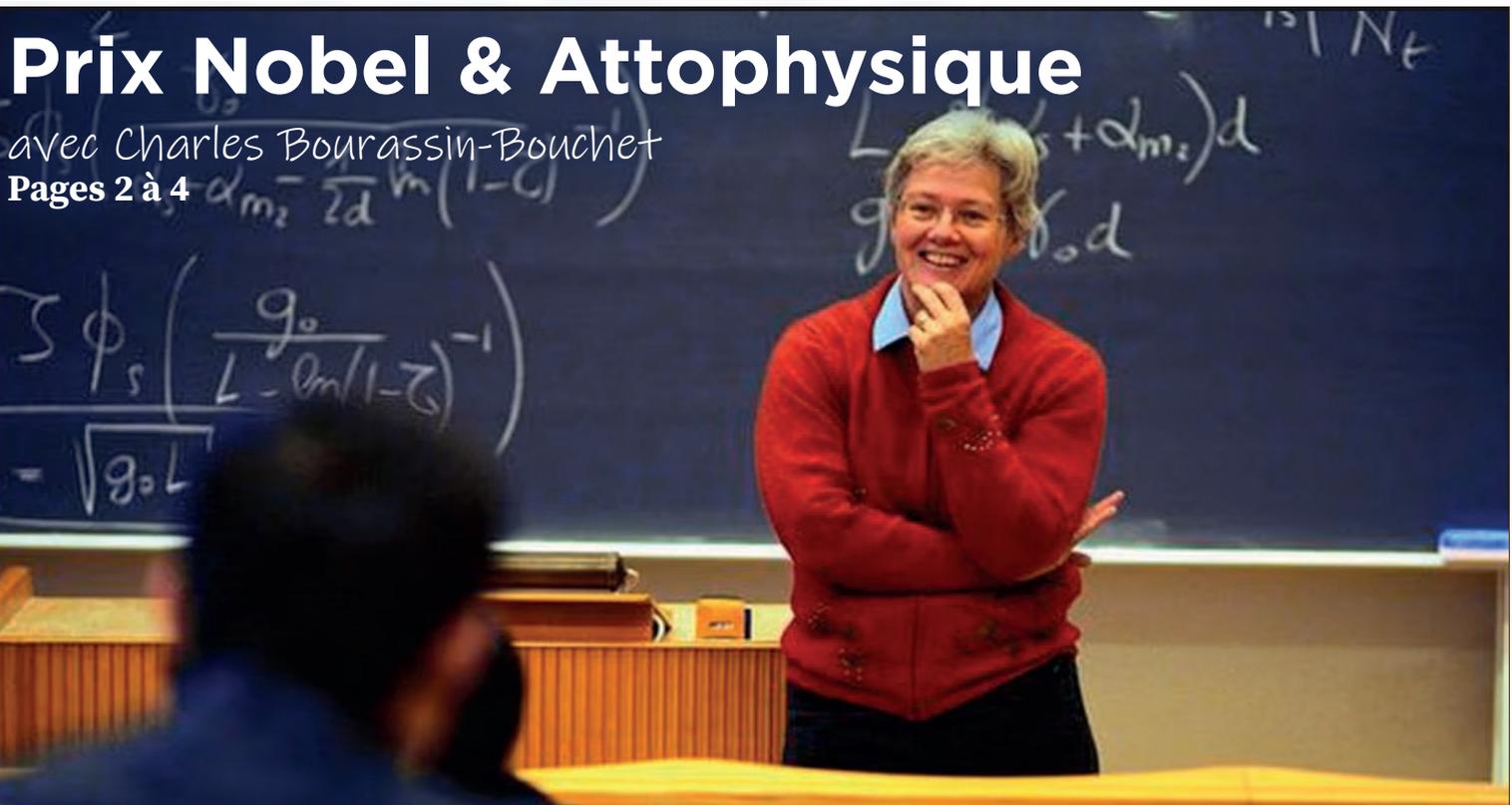


**Retour sur Octobre**  
Pages 10 et 11



## Prix Nobel & Attophysique

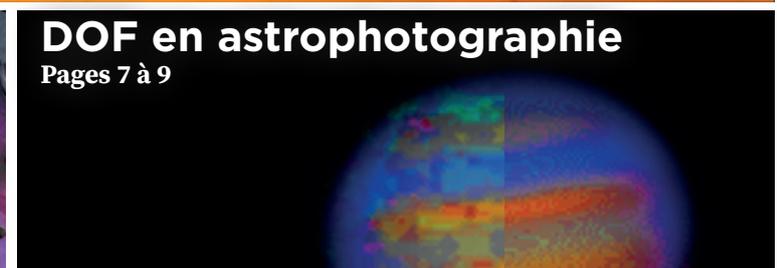
avec Charles Bourassin-Bouchet  
Pages 2 à 4



**Recherche en Laser chez Fraunhofer**  
avec Inès Vergara (P24)  
Pages 5 et 6



**DOF en astrophotographie**  
Pages 7 à 9



### EDITORIAL

par Maurice Mannoni (P25)

#### Un an déjà !

Un an déjà, un an qu'Alain Aspect recevait la consécration, un Prix pour couronner une vie consacrée à la recherche scientifique, un Prix pour l'éternité. Un an après, dans les couloirs de SupOp', les mêmes bruissements se sont fait entendre, deux Français recevaient ce Prix à nouveau, Anne L'Huillier, seulement la cinquième femme à le recevoir en Physique, et Pierre Agostini, pour récompenser leurs travaux pionniers... dans un domaine de l'optique, à savoir les lasers attosecondes. Vous découvrirez tout sur eux et ce domaine passionnant grâce à notre entretien avec Charles Bourassin-Bouchet.

Les lasers sont mis à l'honneur dans ce numéro, Inès (P24) nous détaille son expérience en laboratoire l'an dernier et nous donne plein de clés pour réussir à mieux cerner les chemins possibles dans le cursus offert par l'école.

Pour réussir à s'y retrouver dans toutes ces orientations, il faudrait pouvoir se concentrer sur les informations essentielles, enlever tout le "bruit", c'est le même problème rencontré en Astro quand il s'agit de regarder les étoiles lointaines... tout trouve toujours un écho dans notre quotidien !

**Bonne lecture !**

# Rencontre avec Charles Bourassin-Bouchet

Un an après, le scénario semble se répéter. Alors que le comité Nobel avait récompensé le 04 octobre 2022 Alain Aspect pour ses travaux sur l'intrication quantique, l'optique a récidivé : trois scientifiques de renom, Anne L'Huillier, Pierre Agostini et Ferenc Krausz, ont remporté le Prix Nobel de Physique, en raison de leurs travaux pionniers sur la physique attoseconde. Parmi eux, deux sont Français et Anne L'Huillier, membre du conseil d'administration de SupOp, devient la cinquième femme à recevoir cette distinction.

Le Paraxial ne pouvait pas ne pas bondir sur l'occasion pour rapporter cette nouvelle, et s'est donc adressé à Charles Bourassin-Bouchet pour en savoir plus sur ces heureux récipiendaires, ainsi que sur ce domaine captivant qu'est l'attophysique.

**Le Paraxial : Pouvez-vous nous présenter votre parcours ?**

**Charles Bourassin :** Au départ, j'ai fait SupOp, promo 2008. J'ai fait une thèse à l'école, dans le groupe Optique X-UV, sur la physique attoseconde, ensuite j'ai fait un premier post-doc à l'université d'Oxford, toujours en physique attoseconde, puis au synchrotron Soleil. Un post-doc, c'est un CDD recherche entre la fin de la thèse et le moment où on trouve un poste. J'ai été ensuite recruté enseignant-chercheur à l'Institut d'Optique en 2016 et depuis je continue de faire de la recherche dans ce domaine au LCF.

**LP : Qu'est-ce qui vous a décidé à vous tourner vers la physique attoseconde ?**

**CB :** Pour me mettre dans la peau de l'élève de M2, on ne comprend pas grand-chose à la physique, surtout dans les détails de fond. Il y a une grande partie d'irrationnel, on apprécie un professeur, certains mots-clés résonnent en nous et c'est vrai que « attoseconde », qui désigne les plus courtes échelles de temps accessibles, a un côté « limite du savoir », « nouvelle frontière », et ça m'avait fait rêver. Après, dans la pratique, on se rend compte que, quel que soit le sujet, la recherche, c'est d'abord résoudre des problèmes au quotidien, de manipulations, de programmations.



**LP : En quoi consiste vos recherches actuellement ?**

**CB :** Mes recherches, pour les présenter rapidement, se portent sur l'ionisation d'un système, souvent un atome, ou une molécule à deux atomes avec une impulsion attoseconde. On mesure les propriétés du photoélectron, parce que c'est quelque chose qu'on sait bien mesurer, et à partir de ces données mesurées sur l'électron, on essaye de comprendre ce qu'il se passe sur l'ionisation. Pendant une dizaine d'années, la physique attoseconde consistait à mesurer combien temps mettait l'électron à sortir du système ionique – ça dure une dizaine d'attoseconde. Depuis deux-trois ans, une nouvelle vision arrive dans la communauté attoseconde, on essaye d'avoir une vue d'ensemble sur le processus d'ionisation. En sous-jacent, il y a un phénomène d'intrication : on ne voit pas seulement cela sous la forme d'un électron et d'un ion, de deux systèmes complètement décorrélés, mais on voit ça comme un système total. L'électron contient en fait de la décohérence, la même qu'on retrouve dans les qubits. Cette décohérence est souvent vue comme un problème, nous on la considère comme un vecteur d'information. Elle est la trace du couplage avec l'ion, que l'on n'observe jamais. Toute cette physique se passe dans un temps attoseconde et c'est cette recherche qu'on mène dans le groupe. Et l'histoire qu'il y a derrière ça est passionnante.

**LP : Comment en est-on arrivé là justement ?**

**CB :** Et bien, faisons un zoom arrière. Ce n'est pas du tout parti de là à l'époque. Les trois lauréats, au départ, sont spécialistes de la physique des lasers intenses. Dans les années 80, Agostini est chercheur au CEA, Anne L'Huillier aussi. Les lasers intenses venaient d'émerger et ils regardaient ce qu'il se passe quand on focalise ces faisceaux laser intenses dans des jets de gaz, ce qu'on appelle la phase diluée. Pierre Agostini regardait les électrons éjectés et constatait l'apparition d'électrons avec des énergies bien déterminées après avoir tiré avec un laser. On ne comprenait pas bien ce qu'il se passait. À la fin des années 80, on a commencé à regarder la lumière qui ressortait du jet de gaz. Le laser incident pouvait être infrarouge par exemple, et la lumière qui en ressortait ne l'était pas du tout. On place un réseau et on s'aperçoit qu'il y a plein d'harmoniques qui composent cette lumière. Cette découverte est issue de l'expérience fondamentale réalisée par Anne L'Huillier à Saclay. On compte les ordres, et on atteint des dizaines d'ordre. En plus, ces harmoniques ne décroissent pas de manière exponentielle, on atteint un plateau à partir des harmoniques 9-11 : on change de régime physique. En optique non-linéaire classique, on montre que lorsqu'on absorbe deux photons, on en émet un qui a deux fois l'énergie. Ici, ça voudrait dire que le système absorbe par exemple 29 photons infrarouge, soit assez pour l'ioniser, et en émet un qui a 29 fois l'énergie du photon initial. Cette vision ne tient pas du tout : pourquoi un électron qui n'est plus lié depuis longtemps se recombinerait pour émettre un photon qui a 29 fois l'énergie du fondamental, ça n'a pas de sens.

À ce moment-là, Ferenc Krausz, qui est Hongrois, quitte le bloc soviétique pour l'Autriche pour ses études. Il était spécialisé dans les lasers à impulsions ultra-courtes. Quand on essaye de faire les impulsions laser les plus courtes possibles dans le visible-IR, il y a une limite fondamentale : le cycle optique. À une longueur d'onde de 800 nm par exemple, le champ électrique fait un cycle en 2,7 femtosecondes, qu'on va définir comme la période de la porteuse, et si on veut tailler une enveloppe dedans, on va avoir un flash de lumière, mais on ne peut pas tailler une enveloppe qui a une durée plus petite que le cycle, donc au plus court, on aura une impulsion d'environ 3 femtosecondes. L'IR empêche d'atteindre des durées attosecondes. Le seul moyen, c'est d'aller dans l'X-UV, avec des porteuses qui oscillent beaucoup plus vite. Krausz va opérer ce changement.

En parallèle de ça, il y a de grands travaux théoriques qui se passent pour expliquer l'émission des harmoniques dans l'X-UV. Dans les années 90, on aboutit à un modèle semi-classique. Des chercheurs américains, avec notamment Paul Corkum (lauréat l'an dernier du Prix Wolf<sup>1</sup>, aux côtés d'Anne L'Huillier et Ferenc Krausz) montrent que, sous l'effet du champ laser intense, l'électron fuit hors de l'atome par effet tunnel, et est réaccélééré par le champ électrique du laser. Comme celui-ci change de signe en oscillant, l'électron est réaccélééré vers l'ion, puis se recombine avec lui et perd toute son énergie. Par conservation de l'énergie, l'atome émet un photon X-UV dans un laps de temps attoseconde. Mais on ne peut pas le voir : le détecteur le plus rapide ne descend pas plus bas que la picoseconde. Jusqu'au début des années 2000, on n'a aucun moyen d'observer ça. Des collègues théoriciens de Jussieu proposent de collecter ce rayonnement X-UV, de le focaliser dans un autre jet de gaz – un photon X-UV ionise tout ce qu'il touche, donc on va avoir immédiatement un photoélectron. Si on envoie un autre laser en même temps dans cet autre jet de gaz et que l'on mesure la vitesse des électrons éjectés, on pourra y déceler la présence d'interférences quantiques qui prouveront que le rayonnement X-UV est attoseconde. Les problèmes de cette proposition sont énormes : il faut focaliser ces photons, aligner l'autre laser sur le premier, à l'attoseconde près.

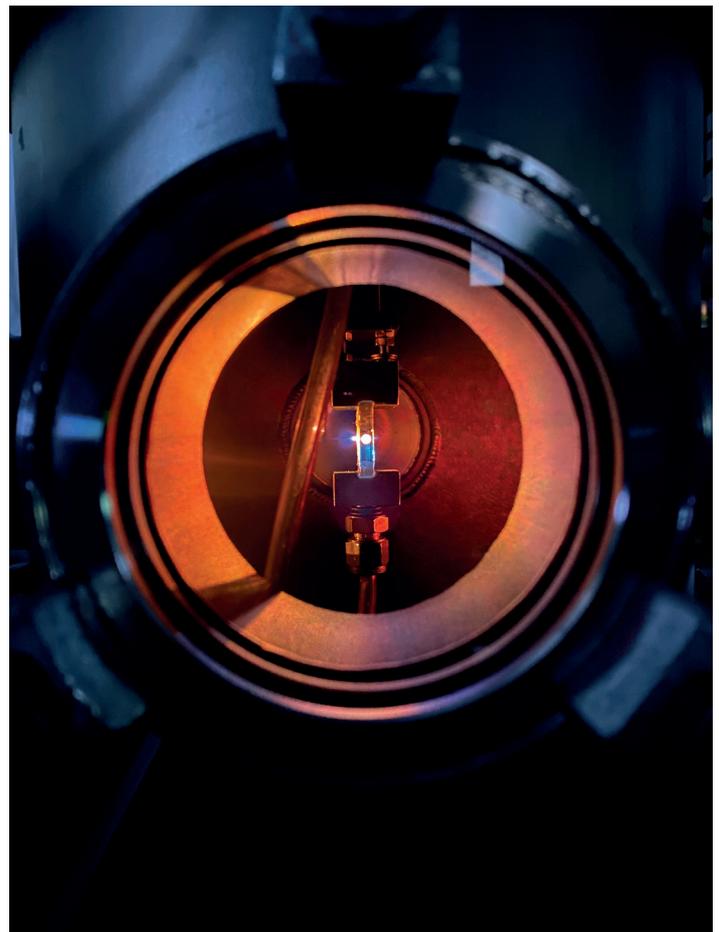
On arrive début 2000, Ferenc Krausz est à Vienne, il cherche à mettre en place l'expérience théorisée à Jussieu. Tout comme Agostini qui travaille, comme Anne L'Huillier, au CEA-SPAM<sup>2</sup> et qui s'associe au LOA<sup>3</sup>, et avec des collègues néerlandais du FOM<sup>4</sup>, pour réaliser l'expérience. Au départ, ils n'envoient dans le jet de gaz que le faisceau X-UV et mesurent des vitesses d'électrons bien espacées, ce qui est attendu. Puis ils envoient le second laser synchronisé avec le premier, et là ils observent des pics qui apparaissent entre les classes de vitesse précédentes. Ces pics se mettent à osciller lorsque le délai de synchronisation entre les deux lasers est modifié : c'est la preuve des interférences quantiques. La phase relative mesurée de ces oscillations montre enfin que le rayonnement est attoseconde. L'article est publié en 2001, Ferenc Krausz fera la même expérience quelques mois plus tard : c'est la naissance de l'attophysique.

Anne L'Huillier se spécialise dans la génération d'harmoniques dans les années 90. Elle travaille avec un laboratoire en Suède. C'est au sein de cette équipe suédoise, de Lund, qu'elle rencontre son mari et qu'elle quitte la France pour la Suède.

Pierre Agostini, quant à lui, atteint à cette époque l'âge de la retraite. Comme le domaine devenait passionnant, il cherche un poste à l'étranger pour continuer ses recherches. Il partira finalement s'installer à l'Université de l'Ohio.

Ferenc Krausz, lui, quitte Vienne, pour l'Institut Max Planck d'optique quantique, près de Munich, qu'il dirige désormais.

Krausz mesure en 2010 le temps de sortie de photoélectrons provenant de couches électroniques différentes. Plus précisément il mesure que les électrons issus des couches 2s et 2p du néon sont éjectés avec un délai relatif de quelques attosecondes. Ça signifie que l'effet photo-électrique théorisé par Einstein ne peut pas être instantané. Mais ces électrons ne sortent pas avec les délais prédits par la mécanique quantique. Pendant sept ou huit ans, on reste dans l'incompréhension. Jusqu'à ce que Anne L'Huillier refasse cette expérience de Krausz, plus finement, et observe que d'autres électrons sortent : ils viennent d'un réarrangement électronique et faussent la mesure du délai faite en 2010. Finalement la mécanique quantique est bien respectée.



Génération de flux lumineux attosecondes, une cellule de gaz traversée par un laser interne  
Crédits photo - Lucie Maeder, Pascal Salières CEA-LYDIL

1. Le Prix Wolf est considéré comme le « pré-Prix Nobel », Corkum est donc celui qui n'a « pas eu » le Prix Nobel. Alain Aspect avait eu en son temps le Prix Wolf. Agostini était l'un des pionniers du domaine, sa présence parmi les lauréats n'est donc pas du tout étonnante.

2. Service des Photons Atomes et Molécules du CEA

3. Laboratoire d'Optique Appliquée de l'ENSTA

4. Foundation for Fundamental Research on Matter, équivalent du CNRS aux Pays-Bas

Anne L'Huillier est donc bien une des actrices – et compétitrices – les plus importantes du domaine. Pour donner un exemple, trois jours la remise du Prix Nobel, son groupe a publié un article sur une expérience qu'on était en train de faire avec les collègues du CEA, et qui prouve l'intrication de l'électron et de l'ion. Trois jours après, tous les téléphones sonnent, France 2 débarque pour filmer l'expérience. D'un seul coup, on est dans une autre dynamique, on se rend compte que ça peut intéresser le grand public.

### LP : Quelles sont désormais les perspectives de l'atmosphère ?

**CB :** L'expérience de 2001 prouvait que la génération et la détection des impulsions attosecondes était un phénomène quantique par essence. Mais même si on affine, à ces échelles de temps on continuera d'observer des dynamiques électroniques, en combien de temps l'électron sort, etc. La nouvelle frontière, c'est le sub-attoseconde. Ça nous conduirait à connaître le comportement des noyaux, des quarks. Toute cette physique des hautes énergies, on ne l'observe que sur le temps long mais on ne résout absolument rien à l'échelle de temps naturelle de ces phénomènes. Je ne sais pas si on y arrivera avec les techniques actuelles.

**LP :** Autant pour Alain Aspect, les travaux étaient assez anciens, autant là, on comprend que le comité Nobel récompense des travaux venus à maturité.

**CB :** Oui, il y a une maturité, mais pour autant, dans la communauté, on ne voyait pas venir le Nobel si vite. Il y avait des signes avant-coureurs, le Prix Wolf par exemple. Il y a aussi régulièrement des symposiums Nobel. Ils invitent des membres importants d'une communauté pour évaluer si elle a la portée d'un Prix Nobel. Ils veulent savoir si ce n'est pas une voie de garage, s'il y a une vraie dynamique. Le symposium de la communauté attoseconde n'avait eu lieu qu'en août dernier. Donc on sentait que quelque chose montait – mais si vite, non !

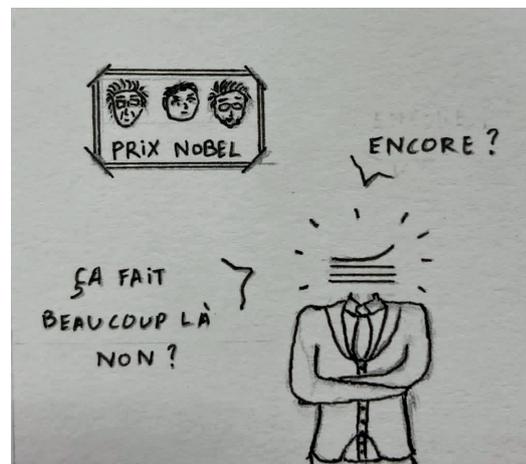
**LP :** Ça fait deux ans de suite que l'optique est récompensée, et deux ans de suite des Français – on peut être fier de la recherche française ?

**CB :** En comptant Gérard Mourou en 2018, Serge Haroche en 2012, oui il y a une vague de Prix. Après quand on regarde la salve de Prix Nobel, Mourou a obtenu le prix Nobel pour avoir développé une technique d'amplification d'impulsions lasers extrêmement courtes et intenses, mais ses expériences ont été faites à Rochester. L'Huillier et Agostini ne sont plus en France depuis plus de 20 ans. Alain Aspect est peut-être une exception. Quand on voit les expériences d'Alain Aspect ou de Serge Haroche, toutes ces prises de risque datent des années 80 et font aujourd'hui des Nobel. Est-ce qu'elles seraient faisables aujourd'hui en France ? Mon impression est que la recherche fondamentale, académique française – c'est-à-dire non financée par des entreprises – est en détresse. Il y a beaucoup moins de financement qu'avant. Pour être au niveau de collègues comme Anne L'Huillier ou Ferenc Krausz, ça demande beaucoup d'argent, et encore, sur le plateau de Saclay, on est très bien doté. On peut donc se féliciter qu'il y ait des Français qui ont des Prix mais à mon avis c'est une vue court-termiste et c'est oublier la liberté de recherche des années 80.



Ce qui exercera une influence, c'est peut-être le soft power du Nobel, je ne crois pas qu'on attirera plus de financement avec ça, mais on peut souhaiter que des jeunes, au lycée par exemple, auront des étoiles plein les yeux et qu'ils se tourneront vers la recherche ■

*Pierre Agostini,  
Ferenc Krausz,  
Anne L'Huillier,  
Lauréats du prix nobel de  
physique 2023*



# Recherche en Laser chez Fraunhofer

## - L'interview d'Inès Vergara (P24)

À l'occasion du retour sur les stages de cet été, nous avons eu l'occasion d'interviewer Inès qui a fait un stage de recherche au sein de l'institut Fraunhofer, en Allemagne. Elle nous raconte d'abord ce qu'elle y a fait, et comment le stage est relié à son projet et au double-diplôme qu'elle fait avec l'ENS Paris-Saclay.

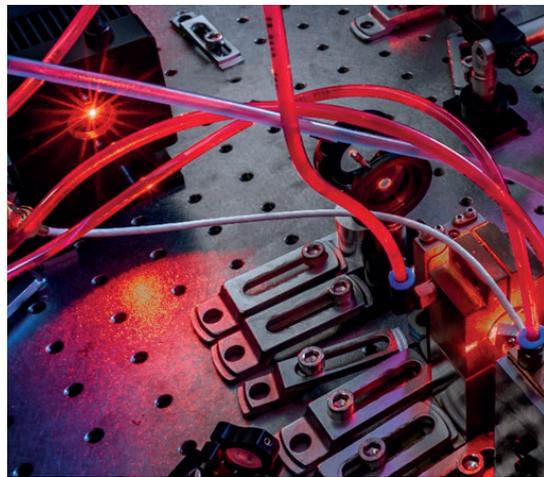
**Le Paraxial : Peux-tu nous présenter le sujet ton stage ?**

**Inès Vergara :** J'ai fait mon stage chez Fraunhofer IOSB, une filiale du groupe Fraunhofer - qui est en quelque sorte l'équivalent du CEA en Allemagne - sur le site d'Ettlingen. J'étais dans l'équipe Laser et on était sept SupOp' à être en stage dans cette équipe d'environ vingt personnes ! C'était sympa, le stage nous a bien soudé, mais on était peut-être même un peu trop nombreux. L'équipe était divisée en deux parties avec ceux qui travaillaient sur les lasers à l'état solide (ceux sur lesquels on travaille à SupOptique la plupart du temps), dont moi et Alexandre (P24) et ceux sur les lasers à fibre dont Hugo (P23), Louis, Simon, Gabriel et Guillaume (P24). Personnellement, j'ai travaillé sur un laser émettant dans l'infrarouge qui était déjà conçu et dont je devais améliorer les performances, surtout en termes de puissance. Pour cela, la solution - qui a été pensée à ma place - était d'utiliser un amplificateur



# Fraunhofer

## IOSB



laser. Le principe est le même qu'un laser, mais au lieu de faire plusieurs allers-retours dans la cavité, le rayon fait un aller simple et le signal est amplifié en sortie. Cette énergie ne vient pas de nulle part : on a pompé le cristal avec un faisceau de pompe. On peut jouer sur plein de paramètres différents : la taille des faisceaux, l'angle de collimation, où on focalise dans le cristal, est-ce qu'on utilise un cristal ou deux cristaux, dans quel sens on pompe le cristal. J'ai pu aboutir sur différents résultats expérimentaux qui ont ensuite été analysés et certains ont pu être expliqués au regard de ce que prévoit la théorie sur les lasers et les différents phénomènes rencontrés - c'était vraiment de la recherche expérimentale. En parallèle, certains travaillaient aussi sur la simulation et essayaient de voir si les résultats que j'avais obtenus étaient cohérents. Alexandre d'ailleurs a plus travaillé sur les simulations, pas celles de mon expérience mais d'une autre expérience de la même équipe. Et globalement, on a tous les sept travaillé sur des choses très différentes mais ça restait toujours assez expérimental en général.

Mon stage a duré 17 semaines. Il faut faire 16 semaines à l'étranger mais c'est toujours mieux d'en prévoir 17 car avec les jours fériés par exemple, il peut facilement y avoir des jours qui sont décomptés.

**LP : Ce sur quoi tu as travaillé est-il terminé ou quelqu'un va reprendre tes travaux ?**

**IV :** J'étais encadrée par Katharina Goth que vous pourrez d'ailleurs retrouver cette année au forum de la photonique (Fraunhofer IOSB était déjà venu au forum l'année dernière). C'est donc dans le cadre des recherches qu'elle mène pour le groupe que j'ai apporté ma pierre à l'édifice. Le travail que j'ai effectué et ce pourquoi j'ai été prise en stage a été bouclé mais débouche sur de nouvelles pistes à explorer. C'est tout le travail de la recherche que de florir au cours des avancées. Donc bien que le stage soit achevé, d'une certaine manière les travaux et premiers résultats vont être réutilisés pour de prochaines expériences, et qui sait vous serez peut-être le ou la prochain.e ?

**LP : Qu'est-ce que ça t'a apporté de plus de faire un stage en Allemagne, toi qui avais pu faire un stage en France en 1A (au LCF) ?**

**IV :** Premièrement, il y a une différence entre le stage de 1A où je travaillais donc dans le public et là où j'étais dans le privé. La nature des sujets abordés, les moyens financiers qui sont accordés changent selon le domaine, mais aussi la nature des équipes. En France, les équipes restent plutôt fixes alors qu'en Allemagne, dans mon équipe, il y avait beaucoup de thésards : plus de la moitié de l'équipe. En Allemagne, les thèses de physique sont plus longues et durent plutôt 4 ans et les équipes se renouvellent beaucoup plus. En entreprise, les projets de recherche aboutissent plutôt à un produit, c'est généralement un petit peu moins fondamental mais ne vous en faites pas, on y fait toujours de la bonne physique et vos cours de SupOp vous serviront, et les choix ne sont pas fait au hasard : on va travailler à telle longueur d'onde, avec tels objectifs de performances.

D'autre part, en ce qui concerne le côté Allemagne, c'est vrai que j'étais partie avec des a priori plutôt négatifs et aucune connaissance de la langue allemande ce qui ne m'a pas empêché d'adorer. Au début j'avais d'autres projets et je m'étais dit qu'au moins, ce n'était pas très loin de la frontière, mais finalement je suis très contente d'avoir pu vivre cette expérience. Je vivais à Karlsruhe, qui était à 20 min à vélo de Ettlingen où je travaillais, et qui correspondrait un peu à Nantes en France comme taille de ville. Ce que je peux dire c'est que le cadre est super : beaucoup d'espaces verts, des pistes cyclables absolument partout et beaucoup d'endroits pour sortir (c'est une ville très étudiante qui comporte de grosses universités scientifiques majoritairement). La culture allemande était vraiment sympa et très riche à découvrir. Je recommande vraiment de partir à l'étranger, ça ouvre l'esprit.

Figures, data, facts  
[www.iosb.fraunhofer.de](http://www.iosb.fraunhofer.de)



854 staff  
including 223 students  
69 million euros budget  
operational cost and investment 2022  
17 scientific departments  
5 business units  
Ettlingen

Core competences



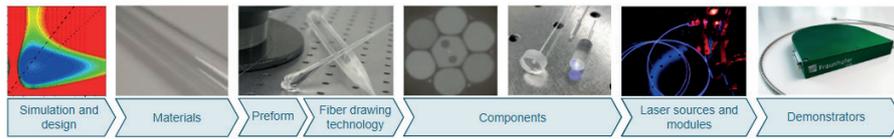
## Department Laser Technology (LAS)

Focus on "Laser systems and photonic components in the near and mid infrared" (1.5  $\mu\text{m}$  - 12  $\mu\text{m}$ )

### Solid-state laser technology



### Fiber laser technology



exemple. J'étais en collocation avec deux Allemands et ça s'est très bien passé, ils parlaient bien anglais. Je pense être tombée sur les bonnes personnes, sur des gens ouverts d'esprit. Mon expérience a été assez riche, humainement comme intellectuellement.

### LP : As-tu choisi ce stage pour le côté recherche ou pas ?

**IV :** Même s'il est vrai que je pense m'orienter vers une carrière de recherche (voire d'enseignement) et que je fais actuellement le double-diplôme avec l'ENS Paris-Saclay, j'avais à l'origine d'autres projets. J'ai vu le stand de l'entreprise au forum et je me suis dit pourquoi pas. Ils ont été super réactifs et j'ai eu une très bonne première impression au moment des entretiens. J'avais vu qu'ils faisaient de la recherche principalement grâce aux publications des thésards et qu'en plus, cela me permettait de valider les 14 semaines en entreprise et les 16 semaines à l'étranger.

### LP : Peux-tu nous décrire ce que tu fais en double-diplôme à l'ENS, qui prépare justement aux métiers de la recherche et de l'enseignement ?

**IV :** Chaque année, il y a deux personnes qui sont choisies à SupOptique et plusieurs modalités sont proposées. Il faut faire la 1A et la 2A à SupOptique et choisir en 4A, ou potentiellement 5A selon la modalité choisie, un M2 assez proche de l'optique pour convenir à SupOp mais aussi assez proche de la recherche pour convenir à l'ENS (les M2 QLMN et GI-PLATO font très bien l'affaire par exemple). Pour ma part, je suis le M1 de physique fondamentale à l'ENS cette année. Certains rajoutent une année pour préparer l'agreg

### LP : Projettes-tu de faire de la recherche après ?

**IV :** En réalité, je vois un peu cette année comme une année d'orientation : j'ai très envie de faire de l'enseignement mais aussi très envie de faire de la recherche et je réfléchis encore à mon projet dans le long terme. Ce qui est bien je trouve à l'ENS c'est qu'il faut valider une compétence enseignement qu'il n'y a pas du tout à SupOptique. Il y a plusieurs façons de la valider mais pour ma part j'aimerais faire un « stage pédagogique ». Il faut faire entre 20 et 40 heures dans un lycée avec d'abord 2-3h d'observation et ensuite tu donnes toi-même des cours. De plus, le M1 ne prends pas trop de temps même si les cours sont difficiles et qu'il faut les travailler, et j'ai décidé cette année de donner des khôlles dans mon ancienne prépa pour voir si au bout de sept mois j'apprécie vraiment l'enseignement dans ce milieu ou si je finis par trouver ça un peu redondant. Ça va me faire un peu de trajet mais ce n'est pas grave, je le fais pour le plaisir !

Ce qui est bien aussi avec le M1 c'est que ça t'ouvre un peu plus sur d'autres branches de la physique si tu n'es pas sûr de vouloir faire que de l'optique. Je pense aussi que c'est toujours utile d'avoir une connaissance générale de la physique, exemple typique : dans les labos, même si tu fais de l'optique avec les lasers, selon moi, c'est bien d'avoir vu un peu de conduction de la chaleur ou de mécanique des fluides pour comprendre d'autres phénomènes qui pourraient apparaître au cours de tes manipulations. En recherche expérimentale, énormément de paramètres peuvent rentrer en compte et faire de la physique plus large peut aider je pense. Par exemple, mes expériences étaient un peu affectées quand il pleuvait et je devais attendre qu'il fasse de nouveau beau pour avoir des résultats les plus précis possibles car les réglages ne sont plus tout à fait optimaux avec l'humidité.

Mais dans tous les cas, il faut être sûr de vouloir faire de la recherche, publique ou privée si tu veux postuler pour le double-diplôme, sinon cela perd de l'intérêt.

### LP : Sais-tu vers quel master de recherche tu souhaites t'orienter ?

**IV :** À l'heure actuelle, je penche plutôt pour le master GI-PLATO (Grands Instruments - Plasmas Lasers Accélérateurs Tokamaks) mais je me laisse jusqu'à décembre-janvier pour trancher sur ce que je fais l'année prochaine. Ce qui est bien au moins c'est que cette année à l'ENS, j'ai des cours de plasmas donc je sais un peu dans quoi je m'engage alors que je n'aurais pas eu cette chance si j'avais dû choisir mon M2 directement après la 2A.

### LP : Un dernier conseil pour la route ?

**IV :** N'hésitez pas à aller voir Fraunhofer au forum parce qu'ils seront de nouveau là cette année. Il y aura ma maîtresse de stage (Katharina Goth) qui est très gentille et devrait normalement être accompagnée de Madeleine Eitner et Clément Romano que certains ont peut-être déjà eu la chance de croiser l'année dernière. D'une manière générale, n'hésitez pas à aller voir les stands, posez des questions et soyez curieux car vous pouvez découvrir des stages qui peuvent vous plaire. J'ai découvert Fraunhofer par hasard alors que je m'apprêtais à partir et j'ai pu faire ce stage qui m'a beaucoup plu ! ■

### LP : Était-ce difficile au niveau de la langue ?

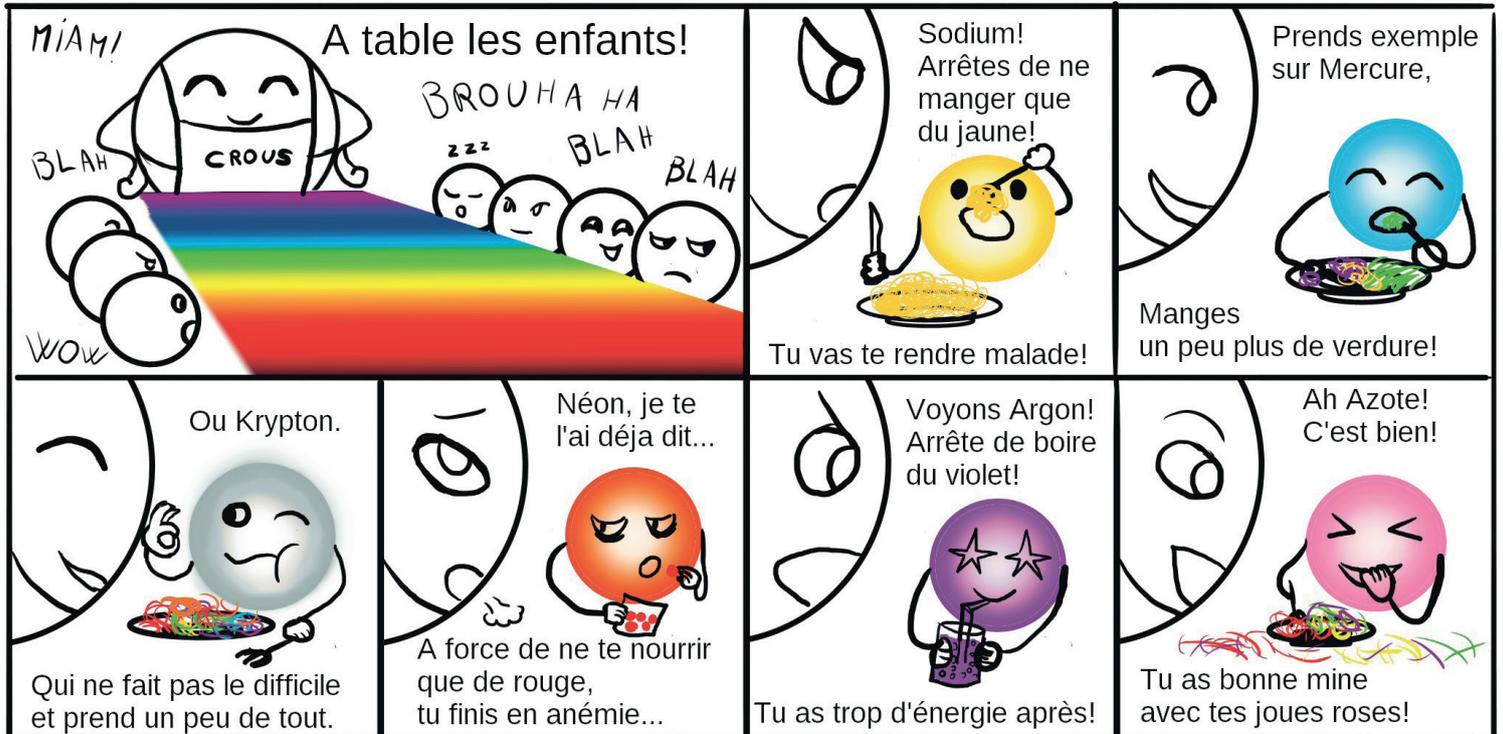
**IV :** En entreprise on parlait beaucoup anglais. De temps en temps les ingénieurs pouvaient bifurquer en allemand sans s'en rendre compte mais ils étaient très sympas et revenaient très vite à l'anglais, il n'y avait pas de problème. Je me suis très bien entendu avec tout le monde.

Dans la vie de tous les jours, surtout au début, c'était assez compliqué. Les Allemands parlent bien anglais même si c'est toujours mieux de faire quelques efforts et d'utiliser quelques mots allemands quand même. J'avais téléchargé Duolingo et commencé à travailler un peu la langue. Maintenant j'ai des petites bases, je sais comment commander une bière - sans aucun doute la première chose qu'on apprend là-bas - ou je connais les noms des produits de bases pour faire les courses par



par Léa Viard (P25)

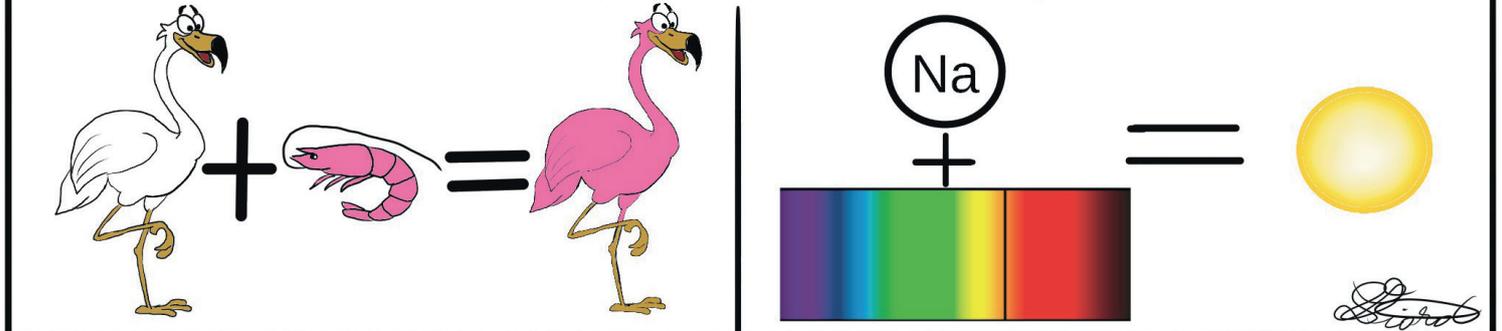
## Le festin des éléments



### La réalité : Les spectres d'émission



Les éléments sont comme les flamants roses, ils ont la couleur de ce qu'ils mangent :



Les petits cartoons présents dans les articles ont été réalisés par Gabriel Morel (P26)

## Les événements du mois du Novembre

### Novembre 2023

#### Agenda de la vie associative

- BDE
- BDS
- BDA
- Autres

#### Du 10 au 12 Novembre No WEISE Home : Far from Palaiseau ✨

Après le WEIB, venez découvrir l'ultime campus de SupOp !  
N'oublions pas qu'un grand pouvoir implique de grandes responsabilités...

#### 13 Novembre ESOS

Le début tant attendu des campagnes BDE ! Les listes s'affronteront pour bien commencer la semaine de pré-campagne

#### 15 Novembre Soirée avec l'ENSAE

Venez profiter de l'ambiance enflammée de cette première soirée en collaboration avec l'ENSAE !

#### 30 Novembre Forum de la photonique - Campus iXBlue

L'occasion parfaite pour trouver un stage, étendre son réseau... dans un cadre incroyable !

#### 1er Décembre Gala - Le Flow, Paris

Réunir élèves et alumnis dans un lieu magique, voilà toute l'ambition de cette soirée hors-norme.

Le mois de novembre, déjà bien rempli, sera en plus rythmé par le début des listes. Avec les allos, les moulons et les activités, on peut espérer que celles-ci nous fassent rêver jusqu'au vote final, à Palaiseau mais aussi sur les sites !

## Le WEISE arrive enfin !

Dit comme ça, Saint Étienne ça ne fait pas forcément rêver.

Pourquoi aller aussi loin, pour visiter une ville qui, a priori, ne semble pas exceptionnelle ?

Mais ça, c'était sans compter sur nos amis supopticiens stéphanois !

Ils ont concocté un programme d'exception pour faire kiffer tous ceux ayant eu la merveilleuse idée de venir.

Au menu : un barathon pour bien entamer le week-end le vendredi soir, une chasse au trésor le samedi pour découvrir la ville et gagner des goodies, un before pour déguster les cocktails les plus délicieux de la ville (faits par notre super bricolo), un repas signé le clubmarché le dimanche midi, mais surtout l'emblématique soirée au bul le samedi soir !



Le BUL à Saint-Etienne

Le tout entouré par l'incroyable hospitalité des stéphanois! En bref, un week-end d'exception qui n'attend plus que vous! ■

# 1er Décembre - Le Gala de Supoptique

Le Gala de SupOptique revient pour une nouvelle édition le **Vendredi 1er Décembre** à partir de 20h00 !

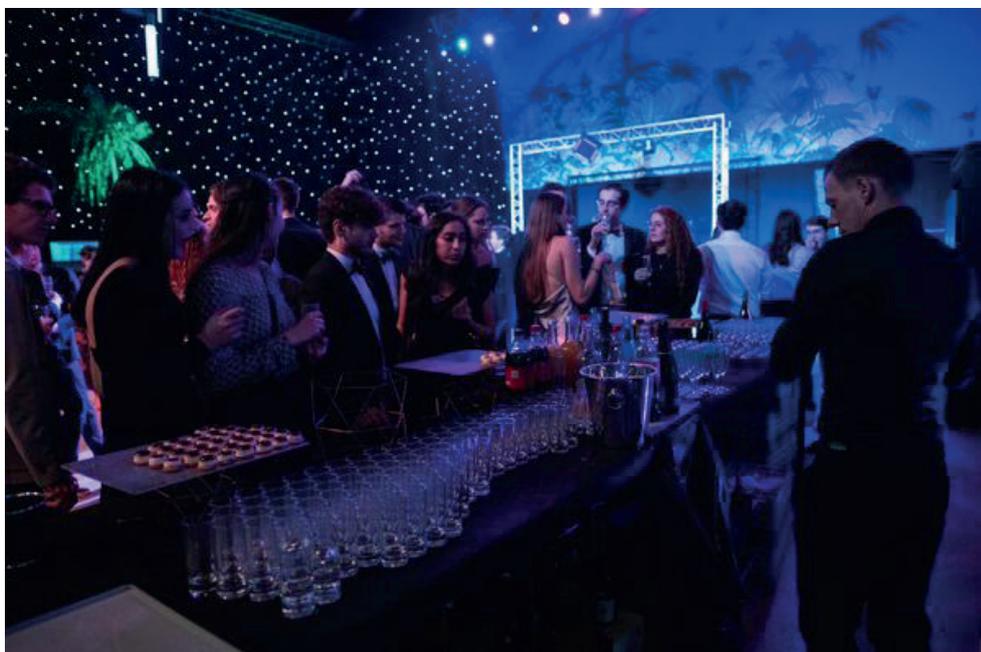
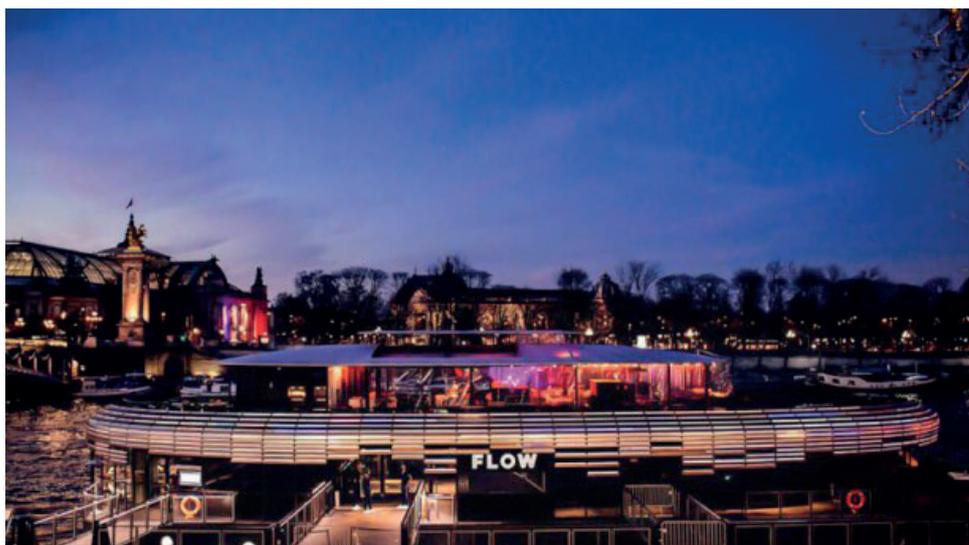
C'est l'évènement le plus distingué de l'année qui rassemble étudiant.es, alumni et personnel de SupOptique autour d'un repas chic avec vin à volonté et groupe de musique.

Il a lieu chaque année dans un décor de rêve en plein cœur de Paris. Cette année, la communauté supopticienne prendra le large avec comme incroyable décor *Le Flow*, un bateau sur la Seine au *Port des Invalides*. C'est le moment de sortir ta plus belle tenue pour rencontrer les anciennes promos et retrouver les sites de Bordeaux et Saint-Étienne.

Pour couronner le tout, le Gala se prolonge par une soirée à la mode SupOptique comme on les aime, avec le Sonop et le LaserWave pour ambiancer la piste de danse. Alors n'hésite plus à prendre ta place !

Rendez-vous sur Vibly pour la prendre et pour plus d'informations.

**!! Attention !!** À partir du **24 Novembre** les places seront des late birds. Pour éviter de les payer plus cher, prenez les dès maintenant ■



# Rubrique Astronomie

## Maîtrisez les secrets du Pré-Traitement : Décryptage des DOF en Astrophotographie

par Thomas Gabillet, Maxime Laurendin (Promo 25)



Nous allons parler ce mois-ci des DOF. Mais qu'est ce que c'est ? Non il ne s'agit pas de Doubles Oréos Fourrés...

L'astrophotographie est l'art de prendre en photo les objets du ciel. Cependant, la simple photographie n'est pas suffisante à l'obtention de belles photos. La maîtrise du pré-traitement est une composante essentielle à la bonne réalisation d'une prise de vue du ciel nocturne.

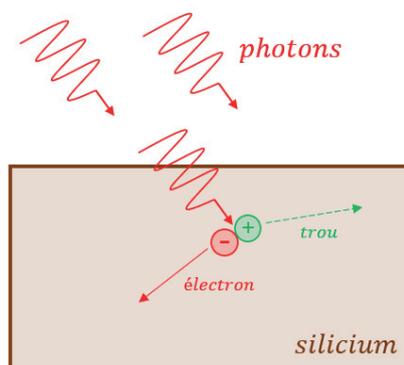
Les DOF, sont une partie essentielle à l'astrophotographie, notamment pour du ciel profond. Il s'agit d'images particulières (de calibration) que l'on utilise pour améliorer la qualité des photos. Il y en a trois types qui servent chacun à faire ressortir des défauts du capteur (de la caméra) ou des défauts optiques (de l'objectif ou du télescope). Nous allons vous expliquer en détails le rôle, le but et le type de capture de ces images.

### Les Darks :

Un capteur photo de type CCD ou CMOS (utilisé pour les caméras) est fait à partir d'une couche de semi-conducteur (silicium) qui transforme les photons lumineux qu'il reçoit en paires électron-trou par effet photoélectrique. Ainsi, le nombre d'électrons collectés par le capteur est proportionnel à la quantité de lumière reçue.

Cependant, il existe ce que l'on appelle le bruit thermique, qui résulte de l'agitation thermique des particules dans le capteur. Ce phénomène génère des charges électriques aléatoires même en l'absence de lumière incidente et donc crée de l'information qui dégrade la qualité de l'image.

Les Darks vont réduire ce signal thermique. Ces images permettent de ne capturer que ce signal pour ensuite pouvoir le soustraire sur les images brutes. Les darks vont donc faire ressortir des défauts du capteur.



Effet photoélectrique

Le bruit thermique dépend de 3 paramètres :

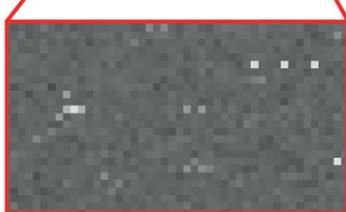
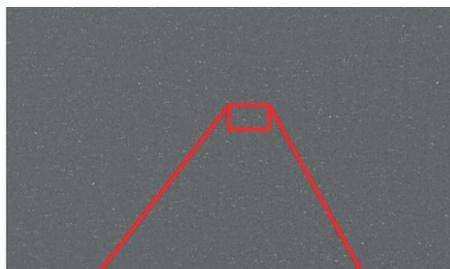
- **Le temps de pose** : plus le temps d'acquisition est long, plus le bruit thermique est susceptible de dégrader l'image.
- **La température extérieure** : plus la température extérieure est grande plus le bruit thermique va avoir d'importance sur l'image
- **L'ISO** : qui est la sensibilité du capteur de l'appareil photo à la lumière. Plus il est grand plus le bruit thermique va être amplifié.

En plus du bruit thermique global du capteur, les darks permettent de réduire ce que l'on appelle les **pixels chauds** du capteur. Ce sont des pixels qui émettent un signal erroné lorsque le capteur chauffe et sont dus à des imperfections dans le capteur.

*Comment les faire ?*

Comme leur nom l'indique, les Darks sont des images sombres. En effet, pour ne capturer que le bruit thermique, il ne faut pas que de la lumière extérieure arrive en plus sur le capteur. Ainsi, il faut simplement cacher le capteur soit sur l'objectif de l'appareil photo directement, soit sur le télescope.

Concernant les réglages des darks, ils doivent être pris avec les **mêmes paramètres que les images brutes** (temps de pose, température, ISO). Car pour réaliser une soustraction il faut que les deux bruits soient les plus identiques possibles (bien qu'aléatoires) entre le dark et l'image brute.



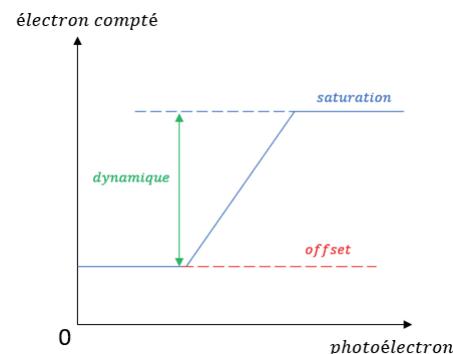
Dark avec des pixels en blanc

Ainsi, si vous prenez des images brutes à -10°C dehors, il faudra que vous preniez les darks à -10°C. La plupart des astronomes amateurs prennent leurs darks tout au long de la soirée d'observation (car la température fluctue au cours de la nuit). Si vous ne voulez pas gâcher une soirée d'observation, il est aussi possible de faire ses darks une autre nuit où la température est similaire. Pour les plus téméraires, vous pouvez aussi vous constituer une bibliothèque de darks à chaque température pour ne plus avoir à en refaire avec votre capteur photo.

### Les Offsets :

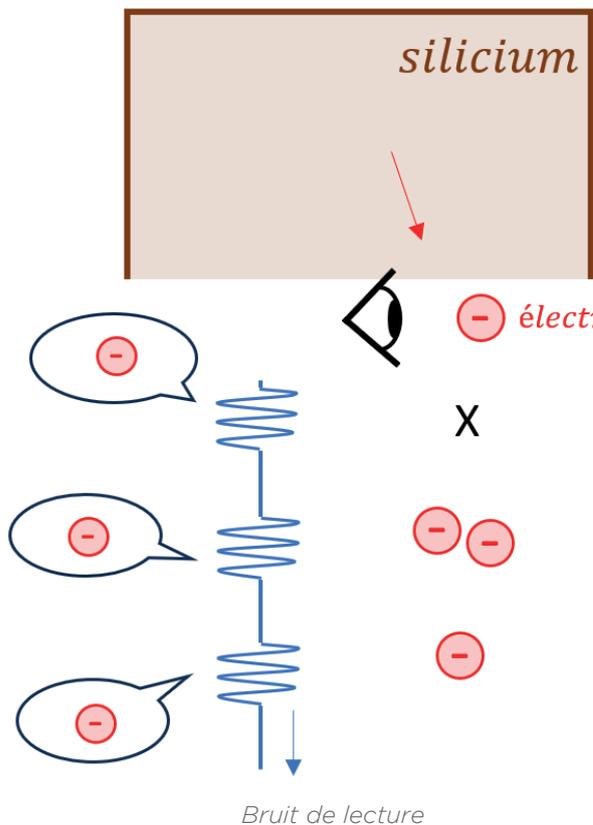
Revenons à notre capteur photo : une fois que le photon a été absorbé et que l'effet photoélectrique a produit un électron, il faut maintenant que notre système « compte » cet électron pour le convertir en signal électrique (valeur numérique de pixel).

Un pixel peut seulement prendre un nombre fini de valeurs, c'est-à-dire un nombre fini de niveaux de gris. Par exemple, pour un capteur 12 bits on a 4096 valeurs (de 0 à 4095), 0 représentant le noir et 4095 le blanc. Chaque pixel peut donc capter jusqu'à 4095 électrons avant d'être saturé et perdre de l'information.





Cependant les constructeurs mettent en place ce que l'on appelle un offset qui est une valeur d'ajustement qui corrige le niveau de signal électronique de chaque pixel. Ainsi, le noir ne correspond pas en réalité à 0 mais à une valeur supérieure qui est l'offset. Le nombre de teinte que peut prendre le pixel varie donc de l'offset à la saturation (la dynamique du capteur).



Cet offset est présent pour corriger ce que l'on appelle le bruit de lecture. En effet, lorsque, le système effectue le « comptage » des électrons, il y a toujours une petite imprécision, qui implique donc des fluctuations aléatoires. Ces fluctuations peuvent ajouter ou soustraire de petites quantités à la valeur réelle de la charge électrique capturée. En conséquence, il est possible d'obtenir des valeurs numériques légèrement plus élevées ou plus basses que ce qui a été réellement capturé.

L'offset va ajouter une valeur positive aux valeurs de pixel pour garantir que les valeurs enregistrées par le capteur en l'absence de lumière soient correctement calibrées et proches de zéro, donc corriger le bruit de lecture.

Pour des images de jour, ce bruit est négligeable, cependant pour des images de nuit où « peu » de photons arrive sur le capteur, il devient suffisamment élevé pour perturber l'image comme c'est le cas en astrophotographie.

Il va par exemple compter un électron alors qu'il n'y en a pas, ou un seul électron alors qu'il y en a 2.

Les images offsets vont permettre de faire ressortir le signal d'offset du capteur ainsi que le bruit de lecture pour pouvoir ensuite les retirer des images au pré-traitement. Il est important de comprendre que le bruit de lecture et l'offset sont des caractéristiques inhérentes au capteur photo.

*Comment les faire ?*

Comme pour les darks, il ne faut pas qu'il y ait de lumière extérieure. Cependant, pour les offsets, on veut un temps de pose le plus court possible. En effet, pour n'avoir que le bruit de lecture et pas le bruit thermique, il faut le plus petit temps de pause possible (par exemple 1/60000ème s). Il faut donc choisir le temps de pose le plus court que vous pouvez sélectionner sur la caméra. De plus, la température n'est pas importante pour les offsets. Le seul paramètre à garder par rapport aux images brutes va donc être l'ISO.

Étant assez rapide à faire, ils peuvent être fait la même soirée que les brutes. Vous pouvez de même que les darks faire une bibliothèque d'offset par caméra. En effet, pour une caméra, les offsets n'évoluent que très peu sur des temps assez longs.

## Les flats :

Contrairement aux darks et aux offsets qui permettent de corriger les défauts du capteur, les flats quant à eux vont permettre de réduire les défauts liés aux optiques. Donc de l'objectif ou des optiques du tube (lentilles ou miroirs).

En particulier 2 types de défauts :

- **Le vignettage**
- **Les poussières**, rayures ou taches présentes sur les optiques

Si vous avez déjà fait de la photométrie, vous savez probablement que même si vos optiques sont exemptes d'aberrations optiques, la conception optique en elle-même peut provoquer du vignettage et donc dégrader la qualité de l'image obtenue.

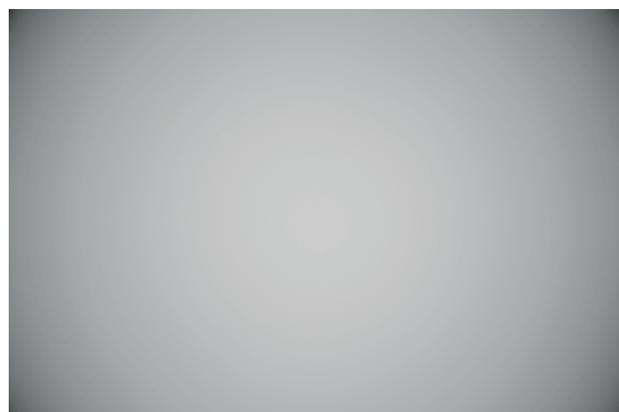
Il se manifeste sous la forme de zones sombres qui apparaissent dans les coins de l'image lorsque la luminosité de l'image diminue progressivement de son centre vers ses bords.

*Comment les faire ?*

Les flats doivent être prises avec le système optique au complet (capteur + objectif/télescope). On veut les mêmes conditions optiques que lorsqu'on a pris les brutes. Donc même focale, ouverture, mise au point.

Pour pouvoir capturer les défauts liés aux optiques il va falloir mettre devant le système optique une source lumineuse uniforme pour n'avoir que les défauts des optiques sur l'image (baisse de luminosité due aux imperfections). Il ne faut pas saturer l'image avec une source lumineuse trop forte car on veut voir les atténuations lumineuses dues aux défauts optiques. Un bon repère pour cela consiste à placer son histogramme au 2/3 de la saturation.

On peut utiliser pour cela un simple t-shirt blanc ou un panneau LED Leroy Merlin. Dans le cas d'une source LED ou d'un écran, il faut faire attention au temps de pose que l'on choisit pour les flats, car les LED n'émettant pas de la lumière en continu mais avec une trame de rafraîchissement, on verra apparaître ces rafraîchissement sur l'image et pas une source uniforme.



*Flat avec vignettage*

# Rubrique Astronomie

## Pré-traitement :

Une fois l'acquisition des 3 types d'images, pour une meilleure efficacité, on peut réaliser ce que l'on appelle des masters (maîtres) qui sont les empilements d'un grand nombre de darks, d'offset ou de flats pour avoir une moyenne des différents défauts et donc avoir plus de précision.

On peut regrouper l'ensemble des opérations du traitement suivant une équation :

$$image\ traitée = \frac{Brute - (Dark - offset) - offset}{Flat - (Dark - offset) - offset}$$

Les flats ne se soustraient pas comme les darks ou les offsets, mais se divisent. Cela va permettre de corriger la réponse inégale du capteur à la lumière (vignettage) et d'atténuer les imperfections des poussières. C'est donc une correction et pas une suppression des défauts, contrairement aux darks qui sont utilisés pour éliminer le signal thermique du capteur.

Comme l'image d'offset (en rouge) est présente dans le dark et le flat, et que le dark (en vert) est présent dans le flat. Il faut les enlever pour ne pas corriger/supprimer plusieurs fois les défauts.

Ainsi, on peut réécrire l'équation sous la forme suivante :

$$image\ traitée = \frac{Brute - dark}{Flat - dark}$$

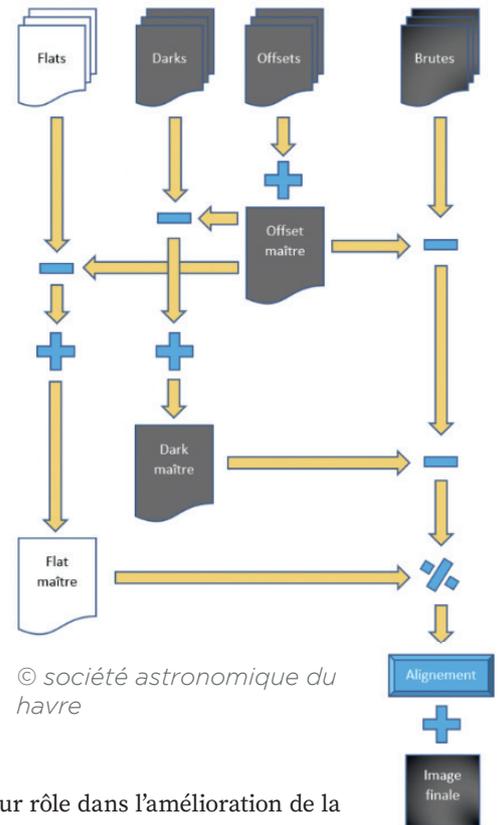
Où le dark qui est soustrait à l'image brute comporte aussi l'offset. Et le flat qui est en dessous divise l'image brute en ayant préalablement enlevé le dark (donc l'offset aussi) pour ne pas avoir 2 fois le même traitement.

On peut pour finir, faire une dernière simplification qui consiste à dire que les flats sont pris avec des temps de pause relativement court (<10sec) et donc qu'on peut supposer que le signal thermique est négligeable pour eux donc qu'il ne reste que le signal d'offset à soustraire des flats :

$$image\ traitée = \frac{Brute - dark}{Flat - offset}$$

En conclusion, il est intéressant de voir qu'un capteur photo présente de nombreux défauts qui peuvent être corrigés par un pré-traitement des photos brutes. Les darks, offsets et flats, regroupés sous l'acronyme DOF, sont des outils essentiels pour corriger ces imperfections. Leur rôle dans l'amélioration de la qualité des images astronomiques est indéniable.

Bien que les aspects de post-traitement ainsi que les nombreuses options de calcul par logiciel n'ont pas été évoquées dans cet article, le processus de pré-traitement peut sembler déjà complexe. Cependant, il est accessible à quiconque est prêt à investir du temps et de l'effort pour perfectionner son art. Les résultats sont gratifiants, car ils transforment des images brutes en véritables œuvres d'art astronomiques, capturant la beauté de l'espace infini... ■

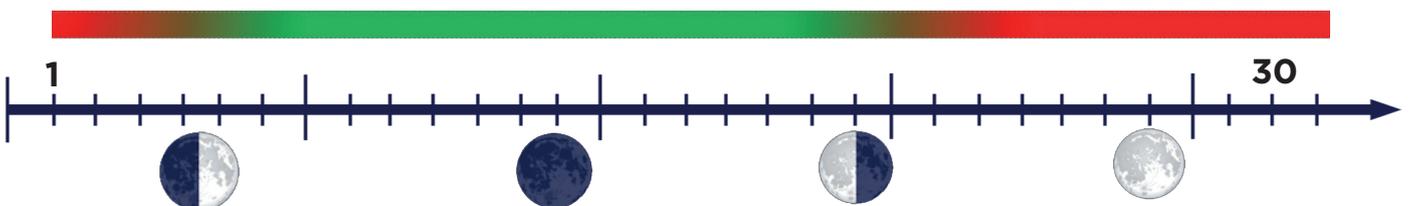


© société astronomique du havre

## Quoi de neuf en Novembre ?

- **Semaine du 23 Novembre : Observation** au lac de l'X
- 27 Novembre : Pleine Lune
- Tout au long de Novembre : conditions d'observations optimales pour Jupiter qui est visible toute la nuit

 Nuit claire  
 Nuit noire  
de 19h à 02h



# Retour sur Octobre

## Revue photo du

L'idée est de revenir en image sur des moments de vie à l'IOGS capturés par le SOAP



La fête de la science, qui s'est tenue le week-end du 7 octobre



Eidolon



La Dark Light Party



## Les textes de Lola

par Lola Deygout (P25)

J'ai toujours aimé lire – surprenant, se diront les quelques présent.es au club lecture. Et quand j'étais enfant, mon dada, c'étaient les contes moralisateurs. La Fontaine ? Par cœur. Les frères Grimm ? Basique. Andersen ? Petit joueur. J'étais convaincue que si je lisais tous les contes, je pourrais avoir la réponse à tous les problèmes, et je saurais toujours bien faire. J'avais une obsession avec le Bien. Il fallait que je l'incarne, que je le vive, que je le fasse. Je lisais la Bible pour enfants et je me disais que la prochaine sainte, ça serait moi. Intelligente, mais pas arrogante, admirable, mais pas trop d'hybris, et puis belle, je restais une femme, fallait pas déconner non plus. J'étais destinée à être la messagère de Dieu, puisque j'avais si envie d'être sainte, puisque j'étais si bonne à l'école, puisque j'allais au lycée français, mais je lisais les articles de Malala, puisque j'habitais les quartiers chics, mais j'apprenais l'internationale, et puisque j'étais pacifiste, mais je foutais des claques aux enfants qui criaient « Vive Pinochet ! » dans la cour.

J'étais enveloppée dans la Mythologie du Bien. Avant de comprendre ce que ça voulait dire, je savais que j'étais de Gauche, parce que Maman parlait de quand elle avait été leader étudiante du Parti Socialiste. J'ai essayé de devenir gauchère et mon échec m'a causé bien des peines. La justice de Dieu, c'était la justice sociale, et c'était possible de l'atteindre, si seulement j'apprenais à tout le reste de la Terre ce que c'était le Bien. Pas tous avaient eu la chance d'avoir les Contes sur l'honnêteté, les Contes sur la bravoure, les Contes sur la douceur. C'était à mon tour de relayer les informations, et de les guider avec mon halo de sagesse, suivre le chemin du Bien. J'étais la chaire de Mafalda, et afin d'être tout comme elle, je m'étais coupée les cheveux et j'ai arrêté de manger de la soupe – ça, c'est bien resté.

Jusqu'à mes vingt ans, je n'y ai jamais vraiment pensé à cet acharnement. Certes, mes idées politiques se complexifiaient – ouf – et ma vision du Bien et du Mal était de moins en moins dichotomique. Mais au lieu de passer ma petite enfance à la loupe, je me confortais dans des récits bien similaires au miens, comme celui de Marjane Satrapi (avez-vous déjà lu Persépolis ? Je recommande).

Jusqu'au jour où j'ai lu un article sur le bannissement de *Gone with the wind* (Autant en emporte le vent, pour les anglophobes) sur Disney+. Je sais, au premier abord, c'est assez nul comme chute. Ok, un film raciste a été enlevé d'un site internet, soit. Mais moi je n'en avais jamais entendu parler de ce film, et quand j'ai appris que le livre homonyme était le deuxième livre le plus vendu aux Etats-Unis après la Bible, ma curiosité a pris le dessus. J'ai lu le résumé de dix pages ultra détaillé sur internet – j'étais à un mois des concours, pas le temps de lire le roman – et j'ai été intriguée. La trame était excellente (d'où la foi de lire dix pages). C'était une héroïne femme (wow !). Il y avait une lutte intelligente, mais humaine, pour le Bien (bingo !). Mais, comment autant de racisme (et de misogynie) (et de classisme) pouvait sortir d'une écrivaine intelligente ? Je me suis donc renseigné sur l'autrice, Margaret Mitchell – oui, n'importe quoi pour éviter réviser les courbes paramétrées – et j'ai eu un bain d'eau froide.

Parce qu'il apparût sous mes yeux sa mythologie du Bien. Celle où les Confédérés n'auraient pas dû perdre la Guerre Civile, celle où le paradis avait été la richesse du Sud, où les esclaves n'étaient pas maltraités, au contraire, ils faisaient partie de la famille. La recherche du bien c'était de transmettre au pays la difficulté de la guerre, la misère de l'après-guerre, à travers les erreurs et les réussites d'une héroïne au début capricieuse et égoïste, ensuite forte et illuminée. Et bien sûr, belle. Margaret Mitchell apprit à 12 ans que la Guerre Civile fut gagnée par l'Union. Et en 1936, elle écrivit l'épopée d'une époque qu'elle n'avait jamais connue.

Et pourquoi parler de ça maintenant ? Parce que hier j'ai lu Les Contes de Sophie par la Comtesse de Ségur, et j'ai enfin compris la mythologie du bien de mes amies en France (oui, au féminin). J'ai lu comment Camille, Marguerite et Madeleine subissaient la violence de Sophie, mais ne disent rien, pour lui apprendre la pitié, malgré son éducation violente. J'ai lu comment leur silence était la plus grande preuve de leur bonté. J'ai pensé à mes amies, et ça m'a fait pleurer. Toutes ces fois que je n'ai pas compris leurs besoins muets, toutes ces fois où à mes pleurs elles ne me consolait que par le regard, toutes ces fois où face à une situation familiale terrible, elles encaissaient, et ne se laissaient aller qu'après s'être assurées d'un silence sépulcral.

Des siècles plus tard, Les Contes de Sophie dépeignaient parfaitement leur mythologie du Bien.

Pas besoin d'être détective pour comprendre que ce conditionnement m'énerve. Pourquoi les récits de notre entourage social ont un aussi fort impact sur qui nous sommes, dans nos repères moraux, dans notre relation aux autres ? Ça m'énerve. Et si les Israéliens et les Palestiniens n'avaient pas appris à l'école que leurs voisins étaient des sous-hommes, aurait-on une guerre qui cache si peu sa volonté de génocide ? Ça m'énerve. Pourquoi malgré la maturité et le recul, je suis quand même émerveillée par les chants révolutionnaires de la Guerre Civile Espagnole ? Ça m'énerve.

Pourquoi malgré toutes mes amitiés perdues, j'ai tellement de mal à concevoir un mal-être qu'on ne m'exprime pas verbalement ?

La seule chose que je puisse dire, c'est qu'il faut continuer à essayer. Se détacher de nos mythologies. Se détacher de nos croyances de comment faire le bien. On s'en fout du bien, de toutes manières ça ne veut rien dire. Aimez, aimez les autres, aimez-vous vous-mêmes. Écoutez, essayez, pardonnez. Conciliez le grotesque de l'humanité avec sa bonne volonté. Arrêtez de chercher un Bien Absolu, émerveillant et beau, unique et déterminé. Confrontez-vous aux mixed-feelings que signifie de comprendre l'effort (jamais suffisant) des autres, et du vôtre. Et quand je dis vous... J'essaye de me faire écouter moi-même.

Quoi, vous n'aviez pas encore compris que cet article, c'est juste moi qui ramène sa fraise ?

PS : Promis ma tête est plus petite qu'une pastèque et que j'arrive toujours à faire mes lacets, malgré mes chevilles ■



**Mots mêlés (facile) :** Retrouve les mots préférés des Supopticiens écrits dans tous les sens afin de faire apparaître le message mystère !

P	A	R	A	X	I	A	L	A	D	B	O
G	C	B	E	T	C	E	P	S	A	R	P
A	Y	O	P	O	N	O	S	S	I	E	T
L	E	R	S	B	D	E	T	U	D	S	I
A	L	D	F	E	M	T	O	O	B	A	B
Y	L	E	Q	E	T	N	I	R	W	L	A
T	O	A	U	B	D	S	O	L	E	A	R
E	V	U	M	U	R	O	F	I	I	R	P
F	L	X	I	C	H	E	E	R	S	T	A
F	E	N	N	E	I	T	E	T	S	L	O
O	J	T	F	O	C	A	L	E	E	U	S
B	E	R	S	G	O	I	S	O	N	I	D

----- ?

En espérant n'oublier personne, l'équipe du Paraxial souhaite remercier tous ses membres ainsi que toutes les personnes qui ont permis l'élaboration de ce quinzeième numéro.

**Crédits :**

- **Directrice de publication :** Hermine Hamard (P24)
- **Rédacteur.rice en chef :** Hannah Engler, Maurice Mannoni (P25)
- **Responsable stratégie & prospection :** Maxime Laurendin (P25)
- **Pôle Communication :** Nathan Lagoutte (P26), Julie Guyot (P26), Gabriel Morel (P26)

**Pour ce numéro en particulier :**

- **Rédaction :** Maurice Mannoni (P25), Maxime Laurendin (P25), Thomas Gabillet (P25), Lola Deygout (P25), Hannah Engler (P25), le BDE, le Gala
- **Cartoons :** Léa Viard (P25), Gabriel Morel (P26)
- **Jeux :** Gabriel Prévert (P26)
- **Mise en page et édition :** Maxime Laurendin (P25)

**Remerciements :**

- **Charles Bourassin-Bouchet et Inès Vergara (P24) pour avoir pris le temps de répondre à nos questions**
- **Le Bureau des Elèves de l'Institut d'Optique**
- **L'Association des Alumni de l'Institut d'Optique**
- **Opto Services, la Junior-Entreprise de l'Institut d'Optique**
- **SupOptique Art Production (SOAP)**
- **Graça Martins, pour son aide à la reprogrammation**

Le Paraxial, 2 Av. Augustin Fresnel, 91120, Palaiseau, France

L'équipe du Paraxial espère que vous avez apprécié votre lecture. Destiné aux étudiant·e·s, alumni, doctorant·e·s et membres du personnel de l'IOGS, ce mensuel ne saurait exister sans vous !

Encore à ses balbutiements, le Paraxial vous invite donc à partager vos remarques, ressentis, suggestions ou conseils.

**Une place dans le Paraxial pour faire rayonner votre entreprise/association ? Ou des envies d'écrire, qui vous empêchent de finir vos nuits ?**

Toutes les raisons sont bonnes pour nous contacter à l'adresse suivante :

[leparaxial@institutoptique.fr](mailto:leparaxial@institutoptique.fr)

Vous pouvez également nous trouver sur les réseaux sociaux :



@le\_paraxial



Le Paraxial

**Souvenir du CE2 :** Remplissez la grille avec des chiffres allant de 1 à 9 tout en respectant les règles de calcul et les règles du sudoku.

1	$\square \times \square = \square$				
2	$\square + \square + \square = \square$				
3	$\square \times \square = \square$				
4	$\square + \square = \square = \square \times \square$				
5	$\square - \square = \square$				
6	$\square - \square = \square$				
7	$\square = \square / \square = \square / (\square - \square)$				
8	$\square + \square = \square = \square \times (\square - \square)$				
9	$\square + \square = \square + \square = \square = \square + \square$				

**Pair ou impair ? (difficile) :** Les règles normales du sudoku s'appliquent mais :

- Les chiffres impairs doivent être reliés entre eux par des chemins constitués uniquement de cases aux chiffres impairs
- Chaque cercle a au maximum un chiffre impair autour de lui
- Les chiffres dans les cercles apparaissent dans les cases autour

		467			
				58	
	348		245		
268					246
			128		467
		568			

