

Olympiades de Physique France

XXXI^e concours national

La finale de la XXXI^e édition du concours des Olympiades de Physique France, organisée à l'initiative de la Société Française de Physique et de l'Union des Professeurs de Physique et de Chimie, s'est déroulée à l'Université Paris Cité, sur le campus des Grands Moulins.

Comme chaque année, le concours s'est déroulé en deux étapes :

- une sélection régionale le 6 décembre 2023 : 25 équipes ont été sélectionnées sur les 72 inscrites. Les équipes trop éloignées des centres interacadémiques du concours ont pu présenter leur projet en vidéoconférence ;
- la finale a été accueillie les 2 et 3 février 2024 sur le campus des Grands Moulins à l'Université Paris Cité.

Cette année, Nicolas Laporte, astronome-adjoint au Laboratoire d'Astrophysique de Marseille, astrophysicien au Kavli Institute for Cosmology, University of Cambridge, était notre parrain. Ce fut l'occasion de lui remettre les originaux des mémoires de sa participation aux finales des Olympiades de Physique France en 2003.

Parmi les projets retenus pour la finale nationale de février 2024, voici deux exemples de prestations de grande qualité couronnées d'un premier prix, pour le travail expérimental original et remarquable effectué par les équipes.

Pour rappel, le jury favorise l'originalité du sujet et la rigueur de la démarche de recherche, le soin accordé aux réalisations expérimentales et à leur exploitation ainsi qu'au mémoire, la qualité de la présentation et des démonstrations effectuées et l'implication de l'ensemble de l'équipe.

Comment gèle une bulle de savon ?

Ce projet a été présenté par Sacha Morin, Méline Gourdelier, Robin Paris, Joséphine Berger et Yenuli Alvitigala, élèves au Lycée Douanier Rousseau de Laval, académie de Nantes, encadrés par leur professeur M. Patrice Michel.

Tout commence par *l'atelier science* au cours des années 2020-2022 : une équipe « d'anciens de terminale » avait présenté son travail à la 29^e édition, travail récompensé par un premier prix en 2022. Elle avait invité nos élèves, alors en seconde mais déjà curieux de ce qui se faisait dans cet atelier, à reprendre leur projet. Arrivés en première puis en

terminale, ces cinq chercheurs en herbe ont imaginé, conçu et réalisé un dispositif qui répond au mieux au cahier des charges fixé pour observer la formation de cristaux d'eau au cours du gel de bulles de savon.

Il leur a donc fallu :

- Créer une enceinte peu encombrante et aussi isolée thermiquement que possible. Après avoir comparé la conductivité thermique de différents matériaux, leur choix s'est porté sur une plaque de polystyrène expansé, matériau peu coûteux et facile à travailler.
- Créer différents accès pour introduire l'eau savonneuse.
- Refroidir l'air intérieur à une température la plus basse possible. Afin d'obtenir, dans l'enceinte, une baisse de température suffisante pour permettre l'apparition de cristaux sur les bulles de savon, l'équipe a préparé un mélange d'eau salée eutectique, car alors sa température restera constante lors des changements d'états de fusion et de solidification. La température d'un tel mélange, solidifié par refroidissement dans un congélateur, se maintiendra à $-21,6^{\circ}\text{C}$ tant que la fusion ne sera pas terminée. La pureté du sel, fourni par une entreprise de produits chimiques, est de 99%. L'équipe a assimilé la courbe non linéaire de la concentration en masse d'une solution de chlorure de sodium en fonction du pourcentage en masse de sel à une portion de droite sur le domaine de leur étude.

Les élèves ont alors commencé à mettre au point le dispositif expérimental.

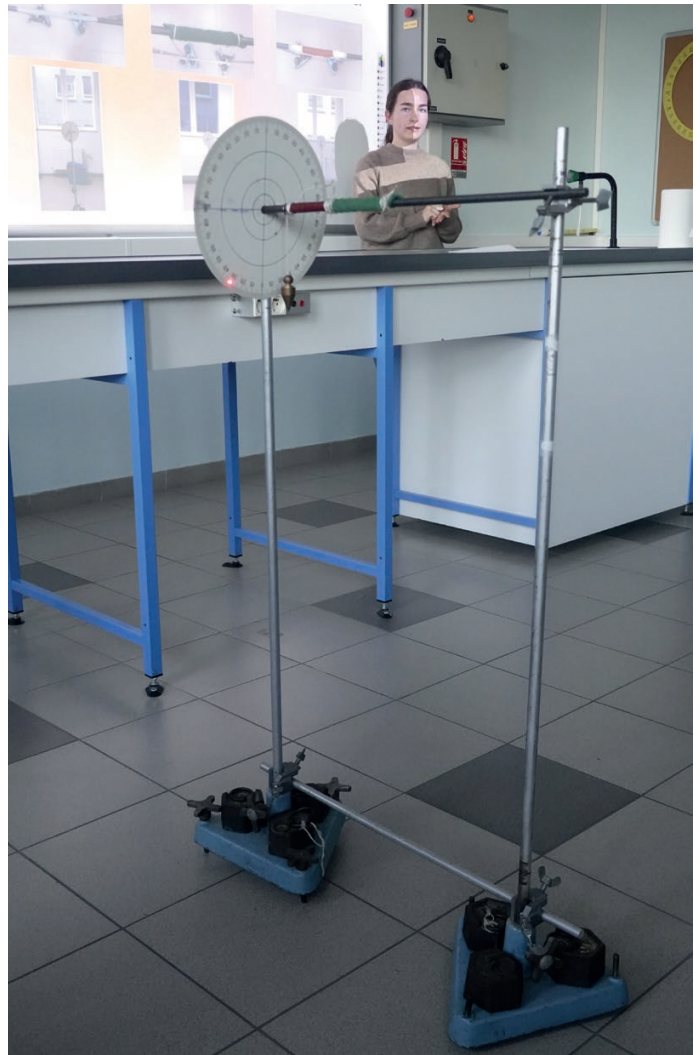
- *Un premier dispositif* s'est révélé un échec et a montré qu'il n'est pas évident d'obtenir une enceinte suffisamment isolée thermiquement.
- *Un deuxième dispositif* a été élaboré à partir d'une boîte en polystyrène aux parois de 40 mm d'épaisseur. Il a permis, après de multiples aménagements, de maintenir à l'intérieur une température de -13°C à -14°C de façon durable. Malgré l'apparition de buée sur la vitre d'observation, les élèves ont commencé à observer (et admirer) le gel des bulles de savon.

- Ces bricoleurs débrouillards ont alors conçu un *troisième dispositif* afin de pallier les manques constatés au cours des premières expériences. Ils ont cherché à résoudre pas à pas chaque problème qui pourrait nuire à une observation des bulles de savon gelées. Afin de minimiser la capacité thermique de l'ensemble de l'enceinte, ils ont choisi de fines barres de laiton pour supporter les blocs réfrigérants positionnés au-dessus de la cavité. Les volumes inutiles sont remplis de mousse expansive. Les élèves font une ouverture rectangulaire sur le côté afin d'introduire les supports et le tube contenant la solution savonneuse pour souffler l'air des bulles. Les fenêtres en plexiglas sont remplacées par des vitres épaisses de 2 mm. Mais la buée persiste. Alors, nos jeunes chercheurs construisent un double vitrage, mais cela ne résout pas complètement le problème.

Le contrôle de la température est un paramètre important. L'équipe se lance donc dans l'étude de thermocouples K (chromel-alumel) de sensibilité $s = 42,0 \mu V/^{\circ}C$, ce qui est fort peu. Un montage amplificateur de tension à deux étages s'impose ; ils font donc l'apprentissage de l'électronique et tout particulièrement des montages avec amplificateurs opérationnels, afin de délivrer un signal pouvant être détecté et envoyé sur une carte Arduino : la lecture de la température interne au dispositif s'affiche alors facilement.

Nos élèves observent (fig. 1) enfin la formation de cristaux « dendrites » (en forme de dents croissant à partir du support de la bulle), dont la vitesse de croissance dépend de la proportion de glycérine dans l'eau savonneuse, et celle de cristaux « délocalisés » (croissant hors support) et donnant lieu à un effet « boule de neige ».

Enfin, ils essaient de faire un bilan thermique de l'ensemble du dispositif avec les conseils de M. Bulou, professeur à l'Université du Mans.



2. Pendule en boucle : le dispositif « maison ».

Voilà. Il reste encore à étudier l'influence de la température de l'air, de la composition de l'eau savonneuse, du taux d'hygrométrie de l'air, de la nature du support sur lequel se forment les bulles... Peut-être que d'autres élèves de ce lycée prendront le relais.

Ce travail, récompensé par un premier prix, montre que beaucoup de persévérance, de détermination avec des moyens matériels assez réduits, permettent de faire de la belle physique quand la réflexion, l'initiative et l'esprit critique sont présents.

Tombera ? Tombera pas ?

Voici le travail original d'une équipe composée d'Adèle Loncke, Cassandre Verriez et Margot Defoort, élèves du lycée Saint-Jacques à Hazebrouck, accompagnées par leurs enseignants, M. Thibaut et Mme Musy.

Leur étude porte sur le "looping pendulum" (pendule en boucle) : deux masses différentes M et m avec $m < M$, reliées par une fine cordelette, pendent de part et d'autre d'une tige horizontale (fig. 2). La masse la plus petite, m , est écartée de la verticale, puis lâchée. M tombe, entraînant m qui ébauche un mouvement d'oscillation. Deux possibilités se présentent : soit la masse m oscille simplement et la



1. Observation des bulles par une élève du lycée Douanier Rousseau.

masse M entraîne m dans sa chute, soit la masse m part en *looping* autour de la tige horizontale, ce qui provoque l'arrêt de la chute de M . Mais pourquoi ? Quelles sont les conditions qui permettent de réaliser ce curieux pendule ?

Une analyse détaillée des forces qui s'exercent sur les deux masses, ainsi que le bilan des énergies potentielles et cinétiques, conduisent les élèves à s'interroger sur l'importance des forces de frottement.

La formule d'Euler-Eytelwein, qui permet d'exprimer la tension exercée sur la corde par chacune des masses de part et d'autre de la barre, est donnée par la relation suivante :

$$T_M = T_m \times \exp(-\mu\varphi),$$

où T_M et T_m sont les tensions exercées sur la corde par M et m respectivement, μ le coefficient de frottement entre la corde et la barre, et φ l'angle de contact (exprimé en radians) entre la corde et la barre, avec dans leur cas $\varphi = \pi$.

Nos élèves cherchent donc à déterminer $\mu = 1/\pi \times \ln(T_M/T_m)$, avec $T_M = M(g-a)$ et $T_m = m(g+a)$, où $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ est l'accélération de la pesanteur, et a l'accélération de la masse M lors de sa chute.

Dans un premier temps, elles cherchent quelles sont les valeurs de M/m pour lesquelles leur dispositif fonctionne.

Un électro-aimant permet de lâcher la masse métallique m sans vitesse initiale. L'accélération est calculée en utilisant le logiciel *Atelier scientifique* qui permet de tracer la parabole donnant la distance parcourue par M en fonction du temps, puis d'en déduire le coefficient de frottement dynamique de la corde sur la barre pour chaque accélération. Enfin, les élèves constatent que la courbe donnant μ en fonction du rapport M/m est une droite.

Il leur reste alors à comprendre l'origine de ces frottements. La barre d'origine était ronde, pleine, en fer, de 10 mm de diamètre. Les élèves font les mêmes expériences avec des barres en aluminium et en cuivre de différents diamètres, et trouvent des résultats similaires. Alors, elles essaient de recouvrir la barre avec un morceau de scotch, puis avec la face verte d'une éponge abrasive. Elles utilisent aussi une corde en rotin. Conséquence : les frottements ne sont pas influencés par les différents métaux constituant la barre car les variations de l'accélération de M ne sont pas significatives, mais bien par différents types de matières constituant la corde ou recouvrant la surface de la barre.

Mais reste LA question : pourquoi est-ce que le "looping pendulum" ne fonctionne pas toujours (fig. 3) ? Le trinôme s'interroge sur le rôle de plusieurs paramètres :

- l'angle minimal dont il faut écarter la corde reliée à la masse m : elles constatent qu'il dépend du rapport M/m ;



3. Le "looping pendulum" suscite beaucoup de questions...

- la distance h parcourue par M entre la position de départ et la position d'arrêt : cette dernière semble indépendante de l'angle dont est écarté m , mais dépend du rapport M/m .

Les élèves cherchent donc le rapport minimal M/m qui permet le fonctionnement du "looping pendulum" : elles observent que ce minimum doit être compris entre 3 et 3,5. Mais les contraintes techniques liées à leur montage ne leur permettent pas de voir s'il existe un rapport M/m maximal.

Elles poussent la curiosité jusqu'à vérifier leurs résultats avec du matériel de gymnastique du lycée, pouvant soutenir *a minima* des masses humaines, ainsi que des haltères de plusieurs kilogrammes. L'expérience se fait avec des masses $M = 8 \text{ kg}$ et $m = 5 \text{ kg}$, soit un rapport M/m de 1,6. Leurs résultats prédisaient que le "looping pendulum" ne devait alors pas se réaliser et... ce fut bien le cas !

Pour terminer, ces élèves déterminées font une analyse critique des causes d'incertitudes expérimentales résultant de leur montage, en indiquant clairement les paramètres qui ont été négligés (résistance de l'air, élasticité de la corde, masse de la corde) et ceux qui pouvaient impacter les résultats (précision des mesures de longueur et d'angle, précision des pointages sur les vidéos d'enregistrement, stabilité du matériel).

Cette étude systématique du "looping pendulum", avec une démarche expérimentale rigoureuse qui explore presque tous les paramètres possibles, vaudra un premier prix à ces trois lycéennes.

Voici donc, cette année encore, deux exemples qui montrent la curiosité, l'ingéniosité, la persévérance, voire l'obstination de jeunes élèves qui, avec beaucoup d'imagination et souvent peu de moyens, réalisent des travaux de grande qualité. Le jury reste, chaque année, admiratif devant le potentiel de tous ces jeunes pour lesquels la science est un plaisir.

Bien d'autres mémoires passionnants sont disponibles sur le site des Olympiades de Physique France : olympphys.fr ; (sur la colonne de gauche de la page d'accueil du site, cliquer sur Rechercher des mémoires). ■



32^e concours national

Les concours interacadémiques auront lieu le mercredi 11 décembre 2024.

La finale du concours national aura lieu le vendredi 31 janvier et le samedi 1^{er} février 2025 à Aix-Marseille Université - Campus Saint-Charles