



OLYMPIADES
DE PHYSIQUE FRANCE



Concours National des Olympiades de Physique France
A l'Université Saint -Charles de Marseille

Vendredi 31 janvier 2025

ANNEXES

Inès LISSARRE Juliette VAAST Louise THOREZ
Lilou LACROIX Jeanne DELEPOUVE Tom PAUCHET

Présentent

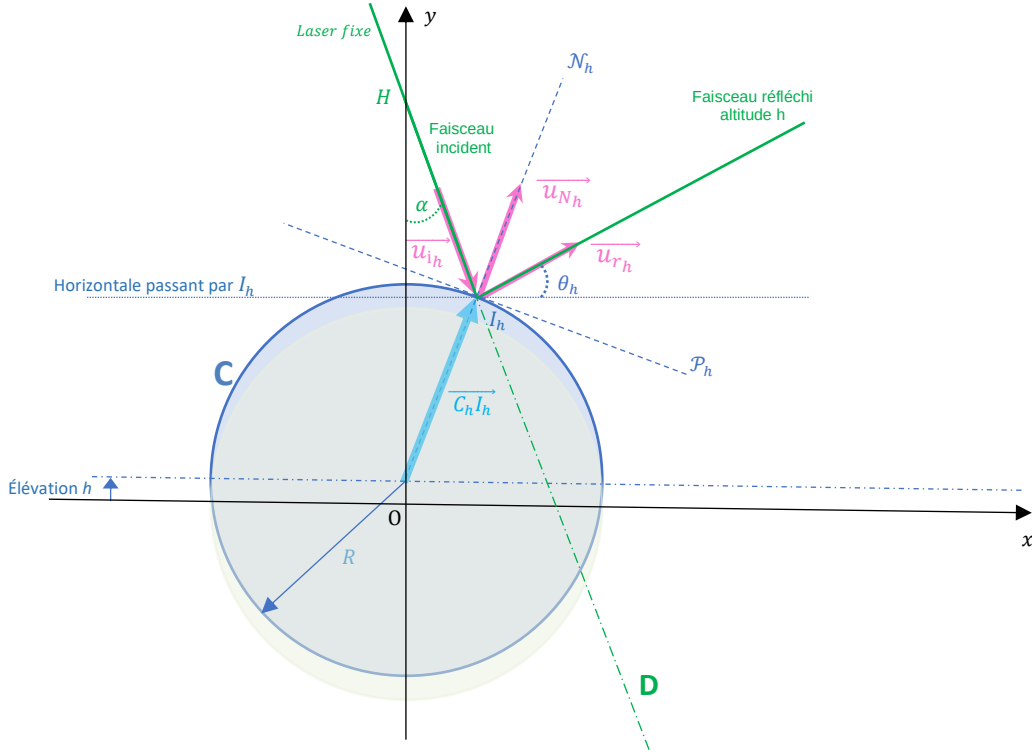
Branly : des ondes au brouillard

Sommaire des annexes

Annexe A : Démonstration de la relation de tangente θ	III
Figure	III
Équation du cercle	III
Équation paramétrique du rayon incident	III
Intersection avec le cercle	III
Coordonnées du point d'intersection I_h	IV
Le vecteur $\vec{C_h I_h}$	V
Vecteur normal unitaire $\vec{u_{N_h}}$	V
Vecteur unitaire du rayon incident, $\vec{u_{i_h}}$	V
Vecteur réfléchi $\vec{u_{r_h}}$	V
Produit scalaire	V
Multiplication par la normale.	V
Ajout du vecteur incident	VI
Angle de réflexion	VI
Annexe B : Relation entre les vecteurs unitaires incident et réfléchi	VII
Annexe C : Signification physique du motif M	VII
Annexe D : Code python pour visualiser la variation de $\tan(\theta)$ en fonction de h	VIII
Annexe E : Test de la limite de validité du modèle	X
Introduction et validation du modèle	X
Comparaison avec GeoGebra	X
Observations et résultats initiaux	X
Analyse des erreurs et précision	X
Comportement de la fonction	XI
Influence de l'angle formé par le laser	XI
Choix de l'angle initial et implications pratiques	XI
Influence de la hauteur H	XII
Influence du rayon R	XII
Validation du modèle	XIII
Annexe F : Quelques rappels	XIV
Une vibration	XIV
Une onde	XIV
Annexe G : Les Olympiades vues par Inès.	XV
Annexe H : Les Olympiades vues par Jeanne	XVI
Annexe I : Les Olympiades vues par Juliette	XVII
Annexe J : Les Olympiades vues par Lilou	XVIII
Annexe K : Les Olympiades vues par Louise	XIX
Annexe L : Les Olympiades vues par Tom	XX

Annexe A : Démonstration de la relation de tangente thêta

Figure



Équation du cercle

Soit un cercle, C , de centre $C_h = (0, h)$ et de rayon R . Son équation cartésienne est :

$$x^2 + (y - h)^2 = R^2 \quad (1)$$

Avec $H \in \mathbb{R}^{*+}$, $R \in]0, H[$ et $h < H - R$

Équation paramétrique du rayon incident

Le rayon incident (la droite D) est donné par la paramétrisation ⁴ suivante :

$$x = \lambda \sin \alpha \quad (2)$$

$$y = H - \lambda \cos \alpha \quad (3)$$

Avec $0 < \alpha < 90^\circ$, 0° correspond à une incidence normale, où le rayon incident est perpendiculaire à la surface et se réfléchit sur lui-même conformément aux lois de la réflexion. En revanche, un angle de 90° correspond à un rayon parallèle à la surface, qui ne peut interagir avec la sphère, car il ne rencontre jamais celle-ci.

Intersection avec le cercle

Pour déterminer le point d'intersection entre ce rayon et le cercle, on remplace $(x(\lambda), y(\lambda))$ dans l'équation (1). On obtient :

$$(\lambda \sin \alpha)^2 + ((H - \lambda \cos \alpha) - h)^2 = R^2 \quad (4)$$

On réécrit en mettant en évidence $(H - h)$:

$$(\lambda \sin \alpha)^2 + ((H - h) - \lambda \cos \alpha)^2 = R^2 \quad (5)$$

En développant, il vient :

$$\lambda^2 \sin^2 \alpha + (H - h)^2 - 2 \lambda (H - h) \cos \alpha + \lambda^2 \cos^2 \alpha = R^2 \quad (6)$$

On regroupe les termes.

$$\lambda^2 (\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha) - 2 \lambda (H - h) \cos \alpha + (H - h)^2 - R^2 = 0 \quad (7)$$

En utilisant l'identité:

$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1 \quad (8)$$

On obtient :

$$\lambda^2 - 2 \lambda (H - h) \cos \alpha + (H - h)^2 - R^2 = 0 \quad (9)$$

⁴ En mathématiques, les équations paramétriques utilisent traditionnellement le paramètre t . Cependant, dans le contexte de la physique, nous avons opté pour le paramètre λ afin d'éviter toute confusion ou association implicite avec le temps.

C'est une équation du second degré en λ de la forme :

$$a \lambda^2 + b \lambda + c = 0$$

Avec :

$$a = 1, \quad b = -2 (H - h) \cos \alpha, \quad c = (H - h)^2 - R^2$$

Le discriminant, Δ , est :

$$\Delta = b^2 - 4 a c = (-2 (H - h) \cos \alpha)^2 - 4 \times 1 \times ((H - h)^2 - R^2)$$

D'où :

$$\Delta = (4 (H - h)^2 \cos^2 \alpha) - 4 ((H - h)^2 - R^2) = 4 ((H - h)^2 \cos^2 \alpha - (H - h)^2 + R^2)$$

En remarquant que $\cos^2 \alpha - 1 = -\sin^2 \alpha$, on a :

$$\Delta = 4 ((H - h)^2 (\cos^2 \alpha - 1) + R^2) = 4 (R^2 - (H - h)^2 \sin^2 \alpha) \quad (10)$$

Étude du discriminant :

Le discriminant Δ est positif si et seulement si :

$$R^2 - (H - h)^2 \sin^2 \alpha > 0$$

1. **Cas d'un angle α très petit :**

Lorsque $\alpha \rightarrow 0$, on a $\sin^2 \alpha \approx 0$. Dans ce cas, l'expression $R^2 - (H - h)^2 \sin^2 \alpha$ est positive et tend vers R^2 .

2. **Effet de l'augmentation de α :**

En augmentant progressivement α , la valeur de $\sin^2 \alpha$ croît, ce qui entraîne une diminution de la quantité $R^2 - (H - h)^2 \sin^2 \alpha$.

Lorsque $\alpha = \alpha_{lim}$, le discriminant s'annule. Cela correspond à :

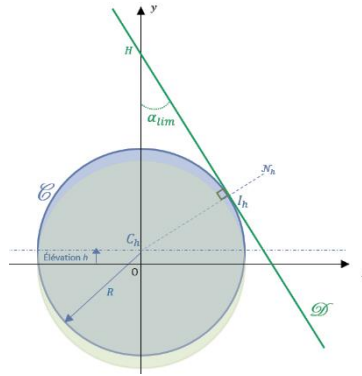
$$R^2 = (H - h)^2 \sin^2 \alpha_{lim}$$

soit :

$$R^2 = (H - h)^2 \sin^2 \alpha_{lim}$$

3. **Interprétation géométrique :**

À l'angle α_{lim} , le rayon lumineux est tangent au cercle.



Détermination de $\sin \alpha_{lim}$:

Considérons le triangle (H, I_h, C_h) rectangle en I_h . Par définition de la fonction sinus, on a :

$$\sin \alpha_{lim} = \frac{C_h I_h}{C_h H}$$

Or :

$$C_h I_h = R \text{ et } C_h H = H - h,$$

Donc :

$$\sin \alpha_{lim} = \frac{R}{H - h}$$

Donc

$$\sin^2 \alpha_{lim} = \frac{R^2}{(H - h)^2} \Leftrightarrow R^2 = (H - h)^2 \sin^2 \alpha_{lim}$$

Hypothèse pour la suite :

Nous considérons désormais $0 < \alpha < \alpha_{lim}$, valeurs pour lesquelles le discriminant est strictement positif.

Solutions pour λ . Si ce discriminant est positif, alors l'équation admet deux solutions. On retient la solution dite *négative* (choix de la solution haute correspondant à la plus petite abscisse x), donnée par :

$$\lambda = \frac{-b - \sqrt{\Delta}}{2a} = \frac{2 (H - h) \cos \alpha - \sqrt{4 (R^2 - (H - h)^2 \sin^2 \alpha)}}{2} = \frac{2 (H - h) \cos \alpha - 2 \sqrt{(R^2 - (H - h)^2 \sin^2 \alpha)}}{2} \quad (11)$$

$$\lambda = (H - h) \cos \alpha - \sqrt{(R^2 - (H - h)^2 \sin^2 \alpha)} \quad (12)$$

Coordonnées du point d'intersection I_h

On réinjecte cette valeur de λ dans (2) et (3). Les coordonnées de I_h sont :

$$x_I = \left((H - h) \cos \alpha - \sqrt{(R^2 - (H - h)^2 \sin^2 \alpha)} \right) \sin \alpha \quad (13)$$

$$y_I = H - \left((H - h) \cos \alpha - \sqrt{(R^2 - (H - h)^2 \sin^2 \alpha)} \right) \cos \alpha \quad (14)$$

Le vecteur $\overrightarrow{C_h I_h}$

Le vecteur du centre $C_h = (0, h)$ vers le point I_h est :

$$\left(\overrightarrow{C_h I_h}\right)_x = x_{I_h} - x_{C_h} = x_{I_h} - 0 \quad (15)$$

$$\left(\overrightarrow{C_h I_h}\right)_y = y_{I_h} - y_{C_h} = y_{I_h} - h \quad (16)$$

Soit :

$$\left(\overrightarrow{C_h I_h}\right)_x = \left((H-h) \cos \alpha - \sqrt{(R^2 - (H-h)^2 \sin^2 \alpha)}\right) \sin \alpha - 0 = \left((H-h) \cos \alpha - \sqrt{(R^2 - (H-h)^2 \sin^2 \alpha)}\right) \sin \alpha \quad (17)$$

$$\left(\overrightarrow{C_h I_h}\right)_y = H - \left((H-h) \cos \alpha - \sqrt{(R^2 - (H-h)^2 \sin^2 \alpha)}\right) \cos \alpha - h = (H-h) - \left((H-h) \cos \alpha - \sqrt{(R^2 - (H-h)^2 \sin^2 \alpha)}\right) \cos \alpha \quad (18)$$

On peut résumer les coordonnées du vecteur $\overrightarrow{C_h I_h}$ par :

$$\overrightarrow{C_h I_h} \left(\left((H-h) \cos \alpha - \sqrt{(R^2 - (H-h)^2 \sin^2 \alpha)}\right) \sin \alpha, (H-h) - \left((H-h) \cos \alpha - \sqrt{(R^2 - (H-h)^2 \sin^2 \alpha)}\right) \cos \alpha \right) \quad (19)$$

Vecteur normal unitaire $\overrightarrow{u_{N_h}}$

Soit le vecteur unitaire, $\overrightarrow{u_{N_h}}$, porté par la normale, $\mathcal{N}_h$. Pour obtenir un vecteur unitaire normal à ce cercle au point I_h , on divise $\overrightarrow{C_h I_h}$ par sa norme R (car I_h est sur le cercle de centre $C_h = (0, h)$ et de rayon $R > 0$) :

$$\overrightarrow{u_{N_h}} \begin{cases} x_{u_{N_h}} = \frac{x_{C_h I_h}}{R} = \frac{\left((H-h) \cos \alpha - \sqrt{(R^2 - (H-h)^2 \sin^2 \alpha)}\right) \sin \alpha}{R} \end{cases} \quad (20)$$

$$\overrightarrow{u_{N_h}} \begin{cases} y_{u_{N_h}} = \frac{y_{C_h I_h}}{R} = \frac{(H-h) - \left((H-h) \cos \alpha - \sqrt{(R^2 - (H-h)^2 \sin^2 \alpha)}\right) \cos \alpha}{R} \end{cases} \quad (21)$$

Vecteur unitaire du rayon incident, $\overrightarrow{u_{i_h}}$

Le rayon incident (sens $H \rightarrow I$) admet pour vecteur directeur unitaire :

$$\overrightarrow{u_{i_h}} (\sin(\alpha), -\cos(\alpha)) \quad (22), (23)$$

Vecteur réfléchi $\overrightarrow{u_{r_h}}$

La formule de la réflexion d'un vecteur unitaire incident $\overrightarrow{u_{i_h}}$ sur la normale unitaire $\overrightarrow{u_{N_h}}$ est :

$$\overrightarrow{u_{r_h}} = -2(\overrightarrow{u_{i_h}} \cdot \overrightarrow{u_{N_h}}) \overrightarrow{u_{N_h}} + \overrightarrow{u_{i_h}} \quad (24)^e$$

Produit scalaire

D'abord, on calcule :

$$\overrightarrow{u_{i_h}} \cdot \overrightarrow{u_{N_h}} = (x_{u_{i_h}} \times x_{u_{N_h}}) + (y_{u_{i_h}} \times y_{u_{N_h}}) \quad (25)$$

Soit explicitement

$$\left(\sin(\alpha) \times \frac{\left((H-h) \cos \alpha - \sqrt{(R^2 - (H-h)^2 \sin^2 \alpha)}\right) \sin \alpha}{R} \right) + \left(-\cos(\alpha) \times \frac{(H-h) - \left((H-h) \cos \alpha - \sqrt{(R^2 - (H-h)^2 \sin^2 \alpha)}\right) \cos \alpha}{R} \right) \quad (26)$$

Ensuite, on considère la multiplication par -2 :

$$-2(\overrightarrow{u_{i_h}} \cdot \overrightarrow{u_{N_h}}) = -2 \left[\left(\sin(\alpha) \times \frac{\left((H-h) \cos \alpha - \sqrt{(R^2 - (H-h)^2 \sin^2 \alpha)}\right) \sin \alpha}{R} \right) + \left(-\cos(\alpha) \times \frac{(H-h) - \left((H-h) \cos \alpha - \sqrt{(R^2 - (H-h)^2 \sin^2 \alpha)}\right) \cos \alpha}{R} \right) \right] \quad (28)$$

Après simplification, il apparaît la combinaison :

$$-2(\overrightarrow{u_{i_h}} \cdot \overrightarrow{u_{N_h}}) = -2 \left[\frac{\left((H-h) \cos \alpha - \sqrt{(R^2 - (H-h)^2 \sin^2 \alpha)}\right) \sin^2 \alpha - (H-h) \cos \alpha + \left((H-h) \cos \alpha - \sqrt{(R^2 - (H-h)^2 \sin^2 \alpha)}\right) \cos^2 \alpha}{R} \right] \quad (29)$$

Multiplication par la normale.

Pour obtenir la partie

$$-2(\overrightarrow{u_{i_h}} \cdot \overrightarrow{u_{N_h}}) \overrightarrow{u_{N_h}}$$

On multiplie l'expression ci-dessus par :

$$\overrightarrow{u_{N_h}} = (x_{u_{N_h}}, y_{u_{N_h}}) = \left(\frac{\left((H-h) \cos \alpha - \sqrt{(R^2 - (H-h)^2 \sin^2 \alpha)}\right) \sin \alpha}{R}, \frac{(H-h) - \left((H-h) \cos \alpha - \sqrt{(R^2 - (H-h)^2 \sin^2 \alpha)}\right) \cos \alpha}{R} \right) \quad (30)$$

^e Nous avons démontré cette relation en annexe B

Soit pour les coordonnées (appelées (x, y)) :

$$x = -2 \left[\frac{\left((H-h) \cos \alpha - \sqrt{R^2 - (H-h)^2 \sin^2 \alpha} \right) \sin^2 \alpha - (H-h) \cos \alpha + \left((H-h) \cos \alpha - \sqrt{R^2 - (H-h)^2 \sin^2 \alpha} \right) \cos^2 \alpha}{R} \right] \times \frac{\left((H-h) \cos \alpha - \sqrt{R^2 - (H-h)^2 \sin^2 \alpha} \right) \sin \alpha}{R} \quad (31)$$

$$y = -2 \left[\frac{\left((H-h) \cos \alpha - \sqrt{R^2 - (H-h)^2 \sin^2 \alpha} \right) \sin^2 \alpha - (H-h) \cos \alpha + \left((H-h) \cos \alpha - \sqrt{R^2 - (H-h)^2 \sin^2 \alpha} \right) \cos^2 \alpha}{R} \right] \times \frac{(H-h) - \left((H-h) \cos \alpha - \sqrt{R^2 - (H-h)^2 \sin^2 \alpha} \right) \cos \alpha}{R} \quad (32)$$

Pour alléger l'écriture on appelle, M, le motif ^f:

$$M = (H-h) \cos \alpha - \sqrt{R^2 - (H-h)^2 \sin^2 \alpha} \quad (33)$$

Alors, les expressions deviennent :

$$x = -2 \left[\frac{M \sin^2 \alpha - (H-h) \cos \alpha + M \cos^2 \alpha}{R} \right] \times \frac{M \sin \alpha}{R} \quad (34)$$

$$y = -2 \left[\frac{M \sin^2 \alpha - (H-h) \cos \alpha + M \cos^2 \alpha}{R} \right] \times \frac{(H-h) - M \cos \alpha}{R} \quad (35)$$

Après simplification, on obtient :

$$x = \frac{-2 [M \sin^2 \alpha - (H-h) \cos \alpha + M \cos^2 \alpha] [M \sin \alpha]}{R^2} \quad (36)$$

$$y = \frac{-2 [M \sin^2 \alpha - (H-h) \cos \alpha + M \cos^2 \alpha] [(H-h) - M \cos \alpha]}{R^2} \quad (37)$$

Ajout du vecteur incident

Le vecteur réfléchi complet est :

$$\vec{u}_{r_h} = -2(\vec{u}_{i_h} \cdot \vec{u}_{N_h}) \vec{u}_{N_h} + \vec{u}_{i_h} \quad (38)$$

Ses coordonnées finales sont :

$$\vec{u}_{r_h} \begin{cases} x_{u_{r_h}} = \frac{-2 [M \sin^2 \alpha - (H-h) \cos \alpha + M \cos^2 \alpha] [M \sin \alpha]}{R^2} + \sin \alpha \\ y_{u_{r_h}} = \frac{-2 [M \sin^2 \alpha - (H-h) \cos \alpha + M \cos^2 \alpha] [(H-h) - M \cos \alpha]}{R^2} - \cos \alpha \end{cases} \quad (39)$$

$$\quad \quad \quad (40)$$

On peut factoriser R^2 pour réécrire :

$$x_{u_{r_h}} = \frac{-2 [M \sin^2 \alpha - (H-h) \cos \alpha + M \cos^2 \alpha] [M \sin \alpha] + R^2 \sin \alpha}{R^2} \quad (41)$$

$$y_{u_{r_h}} = \frac{-2 [M \sin^2 \alpha - (H-h) \cos \alpha + M \cos^2 \alpha] [(H-h) - M \cos \alpha] - R^2 \cos \alpha}{R^2} \quad (42)$$

Angle de réflexion

Si on souhaite l'angle θ que fait $\vec{u}_{r_h}$ avec l'axe x , on utilise :

$$\tan \theta = \frac{y_{u_{r_h}}}{x_{u_{r_h}}} \quad (43)$$

Car $x_{u_{r_h}} \neq 0$

Explicitement,

$$\tan \theta = \frac{\frac{-2 [M \sin^2 \alpha - (H-h) \cos \alpha + M \cos^2 \alpha] [(H-h) - M \cos \alpha] - R^2 \cos \alpha}{R^2}}{\frac{-2 [M \sin^2 \alpha - (H-h) \cos \alpha + M \cos^2 \alpha] [M \sin \alpha] + R^2 \sin \alpha}{R^2}} \quad (44)$$

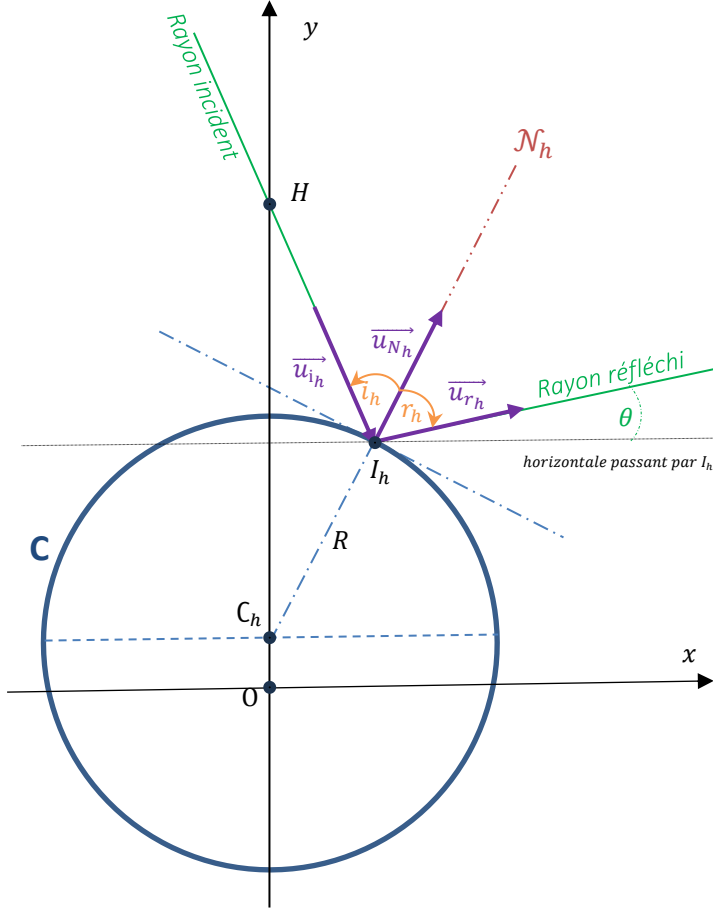
Soit

$$\tan \theta = \frac{-2 [M \sin^2 \alpha - (H-h) \cos \alpha + M \cos^2 \alpha] [(H-h) - M \cos \alpha] - R^2 \cos \alpha}{-2 [M \sin^2 \alpha - (H-h) \cos \alpha + M \cos^2 \alpha] [M \sin \alpha] + R^2 \sin \alpha} \quad (45)$$

Une telle relation n'est pas immédiatement intuitive et n'apporte pas d'informations directes sur l'évolution de la tangente de l'angle entre le rayon réfléchi et l'horizontale. Afin de mieux comprendre l'influence des différents paramètres et d'évaluer la pertinence de cet outil, une analyse par représentation graphique sera réalisée à l'aide de Python.

^f Nous avons établi dans l'annexe C la signification physique de ce motif M

Annexe B : Relation entre les vecteurs unitaires incident et réfléchi



Soient :

- $\vec{u}_{ih}$ un vecteur unitaire dirigé selon le rayon incident en I_h ,
- $\vec{u}_{Nh}$ un vecteur unitaire dirigé selon la normale N_h en I_h ,
- $\vec{u}_{rh}$ un vecteur unitaire dirigé selon le rayon réfléchi en I_h .

D'après la première loi de Snell–Descartes, les vecteurs $\vec{u}_{ih}$, $\vec{u}_{Nh}$ et $\vec{u}_{rh}$ sont coplanaires. De plus, et les vecteurs $-\vec{u}_{ih}$ et $\vec{u}_{rh}$ sont symétriques par rapport à la normale $\vec{u}_{Nh}$

Ainsi on a :

$$\vec{u}_{ih} \cdot \vec{u}_{Nh} = -\vec{u}_{rh} \cdot \vec{u}_{Nh} \quad (\text{les angles sont opposés et les vecteurs sont unitaires})$$

Par ailleurs, la symétrie implique :

$$-\vec{u}_{ih} + \vec{u}_{rh} = k \vec{u}_{Nh}$$

Où k est une constante scalaire. En prenant le produit scalaire avec $\vec{u}_{Nh}$, il vient

$$(-\vec{u}_{ih} + \vec{u}_{rh}) \cdot \vec{u}_{Nh} = (k \vec{u}_{Nh}) \cdot \vec{u}_{Nh}$$

$$(-\vec{u}_{ih} + \vec{u}_{rh}) \cdot \vec{u}_{Nh} = k (\vec{u}_{Nh} \cdot \vec{u}_{Nh})$$

$$(-\vec{u}_{ih} + \vec{u}_{rh}) \cdot \vec{u}_{Nh} = k \quad (\text{car } \vec{u}_{Nh} \text{ est un vecteur unitaire})$$

Or le produit scalaire est distributif donc

$$-\vec{u}_{ih} \cdot \vec{u}_{Nh} + \vec{u}_{rh} \cdot \vec{u}_{Nh} = k$$

En utilisant la relation $\vec{u}_{ih} \cdot \vec{u}_{Nh} = -\vec{u}_{rh} \cdot \vec{u}_{Nh}$, on en déduit que :

$$-\vec{u}_{ih} \cdot \vec{u}_{Nh} - \vec{u}_{ih} \cdot \vec{u}_{Nh} = k \Rightarrow k = -2(\vec{u}_{ih} \cdot \vec{u}_{Nh})$$

Or $-\vec{u}_{ih} + \vec{u}_{rh} = k \vec{u}_{Nh}$ on peut alors écrire

$$\vec{u}_{rh} = k \vec{u}_{Nh} + \vec{u}_{ih}$$

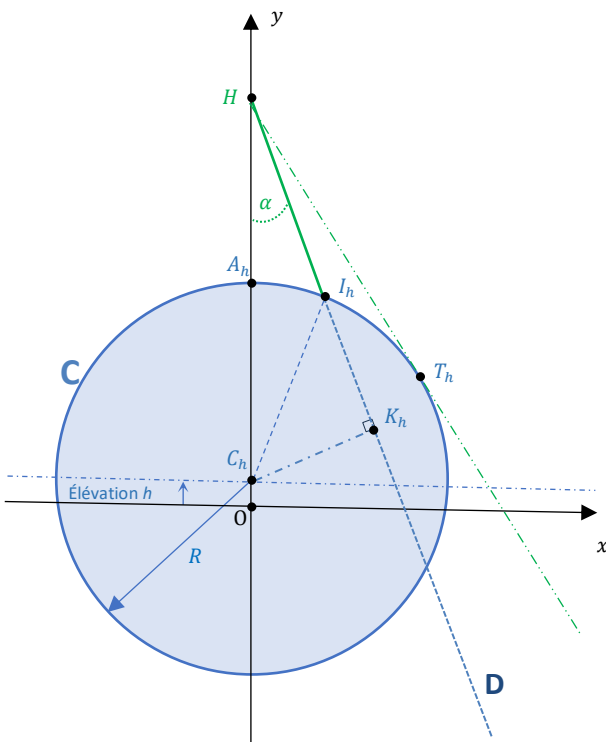
Finalement, le vecteur $\vec{u}_{rh}$ s'exprime comme suit :

$$\vec{u}_{rh} = -2(\vec{u}_{ih} \cdot \vec{u}_{Nh}) \vec{u}_{Nh} + \vec{u}_{ih}$$

À partir de cette expression, les coordonnées du vecteur réfléchi $\vec{u}_{rh}$, notées $(x_{u_{rh}}, y_{u_{rh}})$, peuvent être déterminées. Par ailleurs, l'angle de réflexion θ est calculé à l'aide de la relation suivante :

$$\tan(\theta) = \frac{y_{u_{rh}}}{x_{u_{rh}}}$$

Annexe C : Signification physique du motif M



Soient :

- K_h , le projeté orthogonal C_h de sur D .
- T_h , le point où un rayon passant par H est tangent au cercle C de centre C_h .
- A_h , le sommet du cercle de centre C_h .

En appliquant les relations trigonométriques, on obtient :

$$HK_h = (H - h) \cos \alpha \quad C_h K_h = (H - h) \sin \alpha$$

Dans le triangle $C_h I_h K_h$, le théorème de Pythagore donne :

$$(C_h I_h)^2 = (I_h K_h)^2 + (C_h K_h)^2$$

Ainsi

$$(I_h K_h)^2 = (C_h I_h)^2 - (C_h K_h)^2$$

Or

$C_h I_h = R$ car I_h est un élément du cercle C , de centre C_h , et

$$C_h K_h = (H - h) \sin \alpha$$

On en déduit :

$$(I_h K_h)^2 = R^2 - (H - h)^2 \sin^2 \alpha$$

Or notre motif M est

$$M = (H - h) \cos \alpha - \sqrt{R^2 - (H - h)^2 \sin^2 \alpha}$$

On y reconnaît :

$$M = HK_h - \sqrt{(I_h K_h)^2} = HK_h - I_h K_h = H I_h$$

Géométriquement, M correspond à la distance entre le point H et le point d'incidence I_h .

Enfin, on peut préciser que :

$$H A_h \leq H I_h \leq H T_h$$

Avec :

$$(H - h) - R \leq M \leq \sqrt{(H - h)^2 - R^2}$$

Annexe D : Code python pour visualiser la variation de $\tan(\theta)$ en fonction de h

Avant de vous présenter nos lignes de code en Python, nous souhaitons partager la fierté d'un projet né d'un immense travail collectif. Sa structure et ses choix résultent de nombreux essais, d'échanges enrichissants avec nos professeurs et d'anciens Olympiens. Leur expertise et leur regard critique ont été précieux pour affiner notre démarche autant que la bibliographie papier(16). Nous exprimons notre profonde gratitude envers tous ceux qui ont contribué à cette aventure, symbole d'entraide et de persévérance.

1. Lignes 1 à 4 : Présentation du travail.

Ce programme détermine et représente graphiquement la variation de $\tan(\theta)$ en fonction de h à partir d'une formule donnée. Il réalise également une régression linéaire sur les points valides, tout en affichant l'équation de la droite, le coefficient r , ainsi que l'erreur absolue relative moyenne pour analyser la qualité de l'ajustement.

2. Lignes 5 à 7 : Importation des outils nécessaires dans Thonny⁸

Les bibliothèques et modules requis sont intégrés dans l'environnement de développement.

3. Lignes 8 à 13 : Initialisation des variables.

Les valeurs des variables sont définies au début du programme pour simplifier sa structure. Ces paramètres peuvent être ajustés à chaque essai afin d'étudier leur influence. Voici les principales variables :

- **H** : Hauteur (en cm) où le faisceau laser coupe la verticale de la sphère réfléchissante.
- **R** : Rayon de la sphère (en cm).
- **h_{max}** : Hauteur maximale atteinte par la sphère. **alpha** : Angle du faisceau laser avec la verticale, exprimé en degrés pour plus de lisibilité. Il est immédiatement converti en radians (ligne 12) pour les calculs, car cette unité est requise pour les opérations trigonométriques.

4. Lignes 14 à 18 : Test sur la condition $H > R$

Si $H < R$: les valeurs prises par h sont calculées à la ligne 17, nous choisissons de découper l'intervalle en 50. Sinon le programme s'arrête (ligne 15).

5. Lignes 19 à 40 : Calcul des valeurs de tangente θ .

Le calcul de $\tan(\theta)$ repose sur la relation détaillée dans l'annexe B :

$$\tan \theta = \frac{-2 [M \sin^2 \alpha - (H - h) \cos \alpha + M \cos^2 \alpha] [(H - h) - M \cos \alpha] - R^2 \cos \alpha}{-2 [M \sin^2 \alpha - (H - h) \cos \alpha + M \cos^2 \alpha] [M \sin \alpha] + R^2 \sin \alpha}$$

- **Calcul du motif M** (lignes 22 à 29).

Le motif M est défini par l'expression : $M = (H - h) \cos \alpha - \sqrt{R^2 - (H - h)^2 \sin^2 \alpha}$ est positif (lignes 23 à 29) avant de poursuivre les calculs. Comme cette formule inclut une racine carrée, nous vérifions d'abord que le radicande ($R^2 - (H - h)^2 \sin^2 \alpha$).

- **Calcul du numérateur** (lignes 30 à 33).

Une fois M déterminé, nous calculons la partie supérieure de la fraction correspondant au numérateur.

- **Calcul du dénominateur** (lignes 34 à 37).

Ensuite, nous évaluons la partie inférieure de la fraction, soit le dénominateur.

- **Détermination de $\tan(\theta)$** (lignes 38 à 39).

Finalement, la valeur de $\tan(\theta)$ est obtenue en divisant le numérateur par le dénominateur.

6. Lignes 41 à 47 : Tri des valeurs de $\tan(\theta)$.

Toutes les valeurs calculées, y compris les **NaN** (Not a Number), sont stockées (ligne 42). Les **NaN**, qui représentent des valeurs indéfinies ou non représentables, peuvent provoquer des erreurs dans les traitements ultérieurs. Par conséquent, nous les filtrons pour ne conserver que les valeurs numériques valides (lignes 43 à 45). Une fois le tri effectué, nous comptons les points restants (lignes 46 et 47). La suite du programme n'est exécutée que si au moins deux points sont disponibles pour l'analyse.

7. Lignes 48 à 57 : Calcul des paramètres de régression linéaires

La régression linéaire modélise la relation entre une variable y et une variable x avec une équation $y=ax+b$. Ses paramètres incluent la pente a , l'ordonnée à l'origine b , et le coefficient de corrélation r , qui mesure la force du lien. Elle sert à prédire des valeurs et analyser des relations. Si la liste précédente contient au moins 2 points^h (ligne 49), nous déterminons les paramètres de la régression (ligne 50) et calculons les points de la droite correspondante. Sinon, nous gérons les erreurs éventuelles (lignes 54 à 57).

8. Ligne 53 : Calcul de l'erreur absolue relative moyenne

L'erreur absolue relative moyenne (Mean Absolute Percentage Error ou MAPE) est une mesure statistique qui évalue la précision d'un modèle en comparant les valeurs prédites aux valeurs réelles. Elle se calcule selon la relation :

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \times 100$$

Où y_i est la valeur réelle (celle du calcul de $\tan(\theta)$), $\hat{y}_i$ la valeur prédite par la régression et n le nombre total de points.

Ce calcul est effectué à la ligne 53.

9. Lignes 58 à 65 : Tracé du graphique

Nous configurons une figure au format A4 (ligne 60). Les valeurs calculées à partir de la relation sont affichées sous forme de croix bleues (x) (ligne 62), tandis que la droite de régression est tracée en pointillés rouges (.....) uniquement dans la plage des valeurs valides de $\tan(\theta)$ (ligne 65), et non depuis l'origine, comme c'est parfois le cas dans Excel.

10. Lignes 66 à 78 : Légende des courbes.

Plusieurs aspects ont été pris en compte :

- Ajouter une légende pour les points calculés et la droite de régression (lignes 67 à 71).
- Intégrer automatiquement la valeur du paramètre étudié dans la légende (ligne 67).
- Associer chaque légende à la couleur correspondante de la courbe (lignes 72 à 78).
- Afficher correctement l'équation de la droite de régression, même en cas d'ordonnée à l'origine négative (ligne 69).
- Inclure l'équation de la droite et le coefficient de corrélation, r , (lignes 69 et 70).
- Indiquer la valeur de l'erreur absolue relative moyenne (ligne 71).

11. Lignes 79 à 87 : Personnalisation du graphique

Le titre du graphique est conçu pour regrouper automatiquement les valeurs de tous les paramètres. De plus, le graphique est configuré pour débiter systématiquement à $h=0$ cm.

⁸ Thonny est un environnement de développement Python gratuit, disponible en téléchargement sur le site officiel : <https://thonny.org/>

^h Deux points suffisent pour tracer une droite, mais ce n'est pas suffisant pour garantir la pertinence du modèle. En pratique, au moins 10 couples de points sont généralement recommandés pour obtenir une estimation fiable des paramètres (pente, ordonnée, coefficient de corrélation). Nous avons conservé ce cas juste pour avoir des points sur le graphique

Le programme présenté ici constitue une base pour explorer la relation entre les paramètres étudiés. Vous pouvez retrouver le code complet directement ci-dessous (pour un copier/coller) ou le télécharger via [ce lien](#).

```

1 # Ce programme calcule et trace la variation de tan(θ) en fonction de h,
2 # en utilisant une formule développée dans le cadre des Olympiades de Physique 2025 par le groupe de Boulogne-sur-Mer
3 # Il effectue également une régression linéaire sur les points valides.
4 # Il affiche également l'équation de la droite, le coefficient de corrélation, r, et l'erreur absolue relative moyenne pour évaluer la qualité de l'ajustement.
5 import numpy as np
6 import matplotlib.pyplot as plt
7 from scipy.stats import linregress
8 # Paramètres des données
9 H = 10.0 # cm
10 R = 5.0 # cm
11 h_max = 1.5 # cm
12 alpha_deg = 25.0 # Angle en degrés
13 alpha = np.radians(alpha_deg) # Conversion en radians de l'angle
14 if H <= R: # Vérification de la condition H > R
15     print("Le programme ne peut pas s'exécuter : la condition H > R n'est pas satisfaite.\nPhysiquement le laser ne peut être dans la sphère")
16 else:
17     valeurs_h = np.linspace(0, h_max, 51) # Domaine h = 0 à h_max
18
19     ## Fonction pour calculer tan(theta) en fonction de h, H, R et alpha
20     def tan_theta(h, H, R, alpha):
21
22         # Calcul du motif M
23         # Calcul du radicande de la racine dans le motif
24         radicande = R**2 - (H - h)**2 * np.sin(alpha)**2
25         radicande = np.where(radicande < 0, np.nan, radicande) # Gérer les valeurs non définies (radicande < 0)
26         # Calcul de la racine dans le motif
27         racine = np.sqrt(radicande)
28         # Calcul du motif M
29         M = (H - h) * np.cos(alpha) - racine
30         # Calcul du numérateur
31         numerateur = -2 * (
32             M * np.sin(alpha)**2 - (H - h) * np.cos(alpha) + M * np.cos(alpha)**2
33         ) * ((H - h) - M * np.cos(alpha)) - R**2 * np.cos(alpha)
34         # Calcul du dénominateur
35         denominateur = -2 * (
36             M * np.sin(alpha)**2 - (H - h) * np.cos(alpha) + M * np.cos(alpha)**2
37         ) * (M * np.sin(alpha)) + R**2 * np.sin(alpha)
38         # Division finale
39         return numerateur / denominateur
40
41     # Liste des valeurs calculées
42     valeurs_tan_theta = tan_theta(valeurs_h, H, R, alpha)
43     # Filtrer les valeurs valides
44     valeurs_h_valides = valeurs_h[~np.isnan(valeurs_tan_theta)]
45     valeurs_tan_theta_valides = valeurs_tan_theta[~np.isnan(valeurs_tan_theta)]
46     # Nombre de valeurs valides
47     n = len(valeurs_h_valides)
48     # Régression linéaire si possible sur les points existants
49     if n > 1:
50         pente, ordonnee_origine, coef_r, _, _ = linregress(valeurs_h_valides, valeurs_tan_theta_valides)
51         droite_de_regression = pente * valeurs_h_valides + ordonnee_origine
52         # calcul de l'erreur absolue relative moyenne
53         erreur_absolue_relative_moyenne = np.mean((np.abs((valeurs_tan_theta_valides - droite_de_regression) / valeurs_tan_theta_valides))) * 100
54     else:
55         pente, ordonnee_origine, coef_r, erreur_absolue_relative_moyenne = np.nan, np.nan, np.nan, np.nan
56         droite_de_regression = np.full_like(valeurs_h_valides, np.nan)
57
58     # Tracé du graphique
59     # Taille de la figure (environ A4)
60     plt.figure(figsize=(12, 8))
61     # Tracé des points de tan(θ)
62     points_calculés=plt.scatter(valeurs_h_valides, valeurs_tan_theta_valides, color="blue", marker="x")
63     # Tracé de la droite de régression
64     if n > 1:
65         trace_droite_de_regression,= plt.plot(valeurs_h_valides, droite_de_regression, linestyle=':', color="red")
66     # Légendes des courbes
67     legende_courbe = (f"Points calculés de tan(θ) pour α = {alpha_deg:.1f}°")
68     legende_regression = (f"Droite de régression linéaire\n"
69         f"tan(θ) = {pente:.4f}h {'+' if ordonnee_origine >= 0 else '-'} {abs(ordonnee_origine):.4f}\n"
70         f"r = {coef_r:.5f}\n"
71         f"Erreur absolue relative moyenne : {erreur_absolue_relative_moyenne:.2f} %")
72     # Création de la légende personnalisée (couleurs identiques aux courbes et centrées)
73     handles = [points_calculés, trace_droite_de_regression]
74     labels = [legende_courbe, legende_regression]
75     legend = plt.legend(handles, labels, loc='best', frameon=True, fontsize=12)
76     for text, color in zip(legend.get_texts(), ["blue", "red"]):
77         text.set_color(color) # Couleur associée à chaque tracé
78         text.set_horizontalalignment('center') # Centre le texte
79     # Personnalisation du graphique
80     plt.title(f"Variation de tan(θ) en fonction de h pour α = {alpha_deg:.1f}°\n(H = {H:.1f} cm, R = {R:.1f} cm et $h_m$ = {h_max:.1f} cm)", fontsize=16, color="b")
81     plt.xlabel(f" h (cm)", fontsize=14)
82     plt.ylabel(f"tan(θ)", fontsize=14)
83     # Fixer la limite de l'axe des abscisses pour commencer à h = 0 cm
84     plt.xlim(0, h_max)
85     plt.grid(True, linestyle='--', linewidth=1,alpha=0.9)
86     plt.tight_layout()
87     plt.show()

```

Annexe E : Test de la limite de validité du modèle

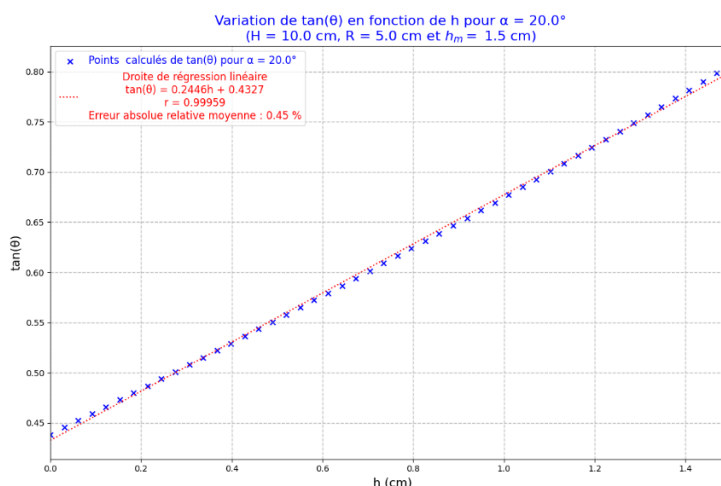
Introduction et validation du modèle

Après avoir démontré notre relation (Annexe A) et développé un programme Python pour sa mise en œuvre (Annexe D), plusieurs ajustements ont été nécessaires pour corriger des erreurs de syntaxe. Ces ajustements ont permis de valider l'exécution du programme grâce à un test fonctionnel.

Comparaison avec GeoGebra

Nous avons ensuite réalisé un premier test en comparant les résultats obtenus à ceux générés par la simulation GeoGebra, en utilisant les paramètres suivants :

- $R = 5 \text{ cm}$
- $H = 10 \text{ cm}$
- $\alpha = 20^\circ$
- $0 < h < 1.5$

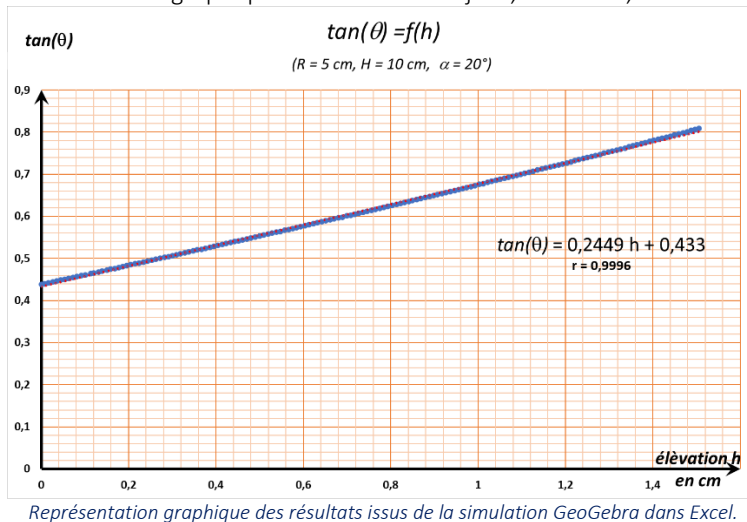


Cette comparaison a révélé des résultats particulièrement intéressants, analysés ci-dessous.

Observations et résultats initiaux

Deux observations s'imposent :

- L'équation obtenue est exactement la même que celle produite par GeoGebra, malgré des approches fondamentalement différentes. D'un côté, une simulation graphique basée sur des objets ; de l'autre, une solution purement analytique.



- Les résultats graphiques obtenus dans GeoGebra ont été exportés et analysés dans Excel pour vérifier leur cohérence.

Analyse des erreurs et précision

Certes, les puristes inflexibles souligneront que 0,2446 diffère de 0,2449, tout comme 0,433 de 0,4327 et 0,9996 de 0,99959. Ils ont raison : ces valeurs sont différentes. Plutôt que d'attribuer ces écarts à des problèmes d'arrondi, nous les considérons comme une conséquence possible du pas de calcul.

- Dans notre code Python, ce pas est constant à $1,50/50 = 0,0300 \text{ cm}$,
- Dans GeoGebra, il est variable, oscillant autour d'une moyenne de $0,0095 \text{ cm}$.

Nous ne poussons pas l'analyse au-delà de cette hypothèse, qui reste à confirmer. Ces résultats, bien qu'approximatifs, restent remarquablement cohérents dans le cadre des hypothèses étudiées.

Comportement de la fonction

La relation entre $\tan(\theta)$ et les paramètres du modèle s'exprime par l'équation suivante, obtenue à partir des hypothèses analytiques :

$$\tan \theta = \frac{-2 [M \sin^2 \alpha - (H - h) \cos \alpha + M \cos^2 \alpha] [(H - h) - M \cos \alpha] - R^2 \cos \alpha}{-2 [M \sin^2 \alpha - (H - h) \cos \alpha + M \cos^2 \alpha] [M \sin \alpha] + R^2 \sin \alpha}$$

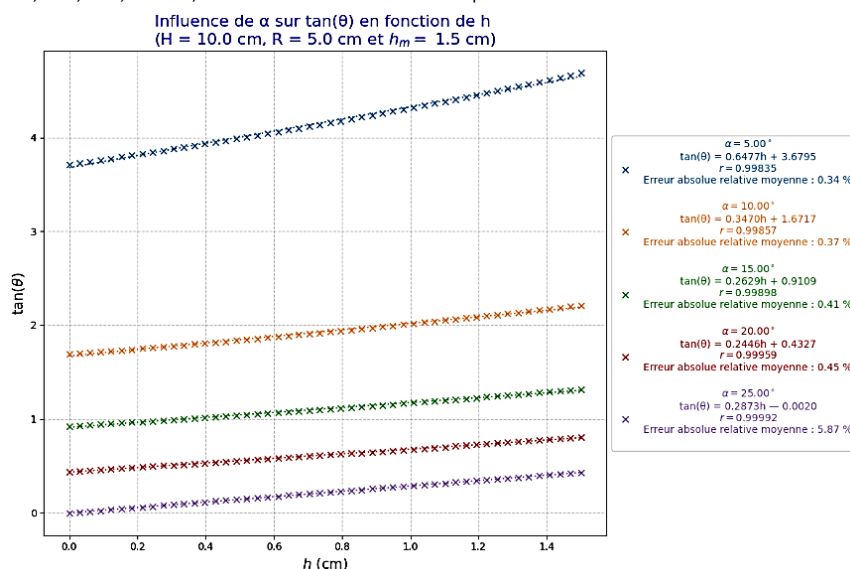
$$\text{Avec } M = (H - h) \cos \alpha - \sqrt{(R^2 - (H - h)^2 \sin^2 \alpha)}$$

Il est surprenant qu'une fonction composée d'expressions trigonométriques complexes produise une droite affine dans le domaine étudié. Le coefficient de corrélation est élevé, et l'erreur absolue relative moyenne reste faible, à seulement 0,45 %.

Notre modèle prédit une variation linéaire de $\tan(\theta)$ lors de la montée verticale de la sphère, du moins avec les paramètres initialement définis pour notre premier essai dans GeoGebra. Nous envisageons d'ajuster les paramètres pour étudier leur influence.

Influence de l'angle formé par le laser

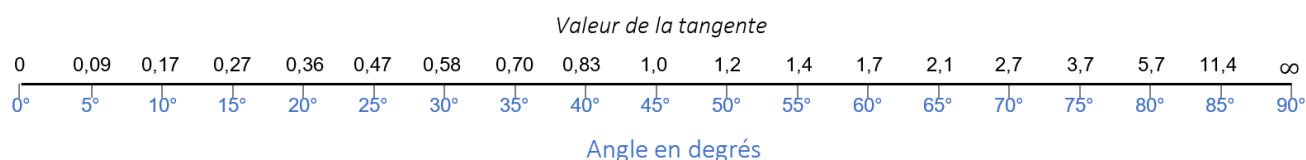
Les résultats obtenus pour plusieurs angles ont été représentés conjointement sur un graphique unique pour en comparer l'évolution. Les angles testés sont : 5°, 10°, 15°, 20°, et 30°, en conservant les autres paramètres constants..



Nous observons systématiquement un comportement affine, accompagné de corrélations très élevées. À 25°, la corrélation est optimale, mais l'erreur absolue relative moyenne est dix fois plus élevée que pour les autres cas. Cela s'explique par la sensibilité de ce critère statistique aux faibles valeurs proches de zéro, où une petite erreur absolue se traduit par un pourcentage d'erreur proportionnellement important. Ces résultats confirment que la relation est suffisamment précise pour une utilisation fiable.

Choix de l'angle initial et implications pratiques

L'ordonnée à l'origine correspond à la valeur de $\tan(\theta)$ lorsque la sphère est dans sa position initiale ($h=0$ cm). N'étant pas familiers avec les valeurs des tangentes, nous avons créé ce visuel pour mieux établir la correspondance :

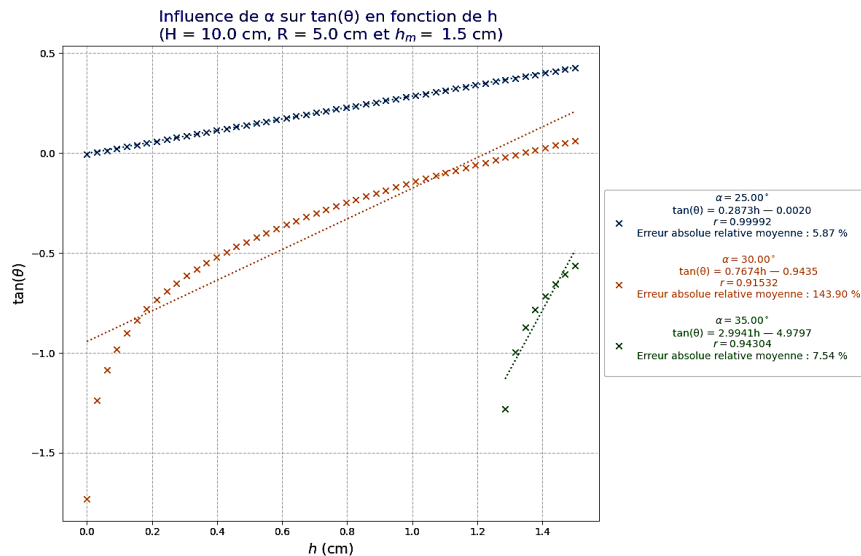


Valeurs des tangentes pour des angles compris entre 0° et 90°, représentées sur une échelle linéaire.

Ainsi :

- Un angle initial de 5°, génère une équation avec une ordonnée à l'origine de +3,6795. Selon le schéma ci-dessus, la réflexion en position basse produit un angle de sortie d'environ 75° par rapport à l'horizontale, projetant le spot sur le plafond.
- À 10° (avec une ordonnée à l'origine de +1,6717 et un angle de sortie d'environ 65°) le spot reste proche du plafond. Pour des angles supérieurs, il devient visible sur l'écran.

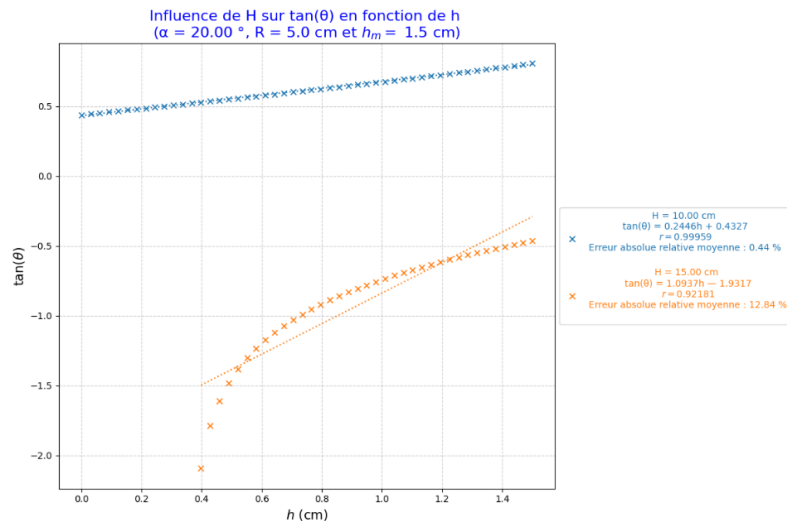
Pour affiner cette analyse, nous avons successivement testé les valeurs angulaires de 25°, 30°, 35°, 40° et 45°.



- **Pour 25°** : Les résultats obtenus sont identiques à ceux observés précédemment, confirmant la stabilité de la corrélation.
- **Pour 30°** : La corrélation reste bonne, avec de nombreux points alignés à partir de $h = 0,60$ cm. Toutefois, l'erreur absolue relative moyenne est significativement élevée, ce qui peut s'expliquer par une sensibilité accrue aux petites variations dans cette configuration.
- **Pour 35°** : Seule une portion de la courbe est visible, car le rayon, en début de parcours, passe à côté de la sphère, limitant ainsi les données exploitables.
- **Pour 40° et 45°** : Aucun point n'est représenté, rendant impossible le calcul de la corrélation. Cette absence de données est probablement due à un positionnement initial du rayon ne permettant pas d'interagir avec la sphère.

Influence de la hauteur H

En faisant varier la hauteur à 5, 10, 15, 20 et 25 cm, tout en maintenant les autres paramètres à leurs valeurs d'origine, on obtient des résultats similaires.

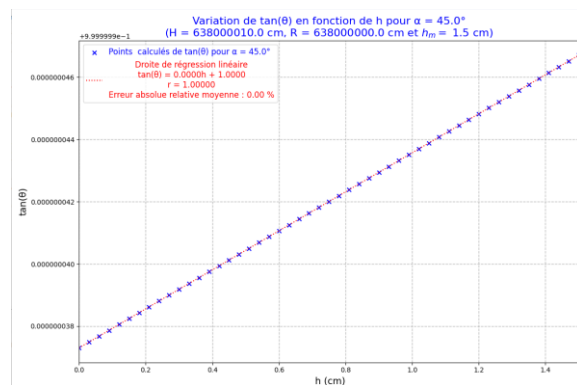


- **Pour 5 cm** : Le laser atteint le sommet de la sphère, rendant toute ascension supplémentaire physiquement impossible.
- **Pour 10 cm** : Les résultats obtenus confirment les excellentes observations précédentes.
- **Pour 15 cm** : Initialement, le rayon ne touche pas la sphère, et aucune réflexion n'a lieu. La réflexion commence seulement lorsque la sphère s'élève de 0,40 cm. Entre 0,40 cm et 0,80 cm le rayon est presque tangent à la sphère, entraînant des résultats peu précis. Au-delà, la linéarité habituelle avec la variation de h est retrouvée.
- **Pour 20 et 25 cm** : Aucun point n'est calculé, car le rayon reste en dehors de la sphère sur toute la hauteur.

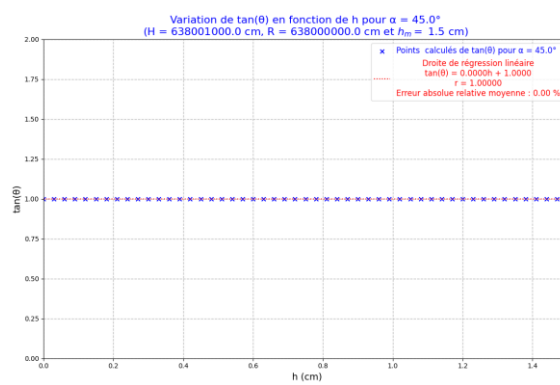
Influence du rayon R

Nous avons procédé de la même manière afin d'étudier l'influence du rayon R . La conclusion est cohérente avec les deux tests précédents : augmenter R revient à diminuer H , ou à modifier la zone où le rayon atteint la sphère. Si la sphère est trop petite, le rayon passe alors à côté.

Nous avons eu l'idée de tester un rayon gigantesque, tel que celui de la Terre ($R_T = 6380\text{ km}$), une valeur couramment utilisée dans nos exercices de physique. Après avoir converti ce rayon en centimètres, nous l'avons utilisé pour effectuer un test avec une hauteur H positionnant le laser à 10 cm du sol. Pour ce test, nous avons choisi un angle de 45°



En échelle libre pour Python



En échelle imposée entre 0 et 2

Lorsqu'on laisse l'échelle en mode automatique, Python applique une rigueur extrême : l'angle varie encore, bien que ce soit à la 8^{ème} décimale. En imposant une échelle fixe, il n'affiche plus de variation et, même pour une altitude de 10 m, il calcule une tangente égale à 1, correspondant à un angle de 45°. On obtient l'angle complémentaire à celui formé par le laser avec la verticale.

Validation du modèle

Il convient désormais de vérifier que le rayon atteint effectivement la sphère dans toutes ces configurations. Nous avons choisi de définir l'angle α comme une fraction de l'angle apparent du rayon, tel qu'il est observé depuis le point H.

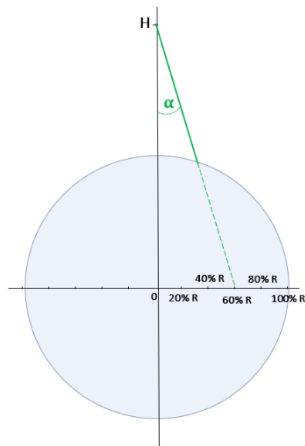


Illustration de notre nouvelle valeur de l'angle α

Dans l'exemple ci-contre, l'angle α est défini par :

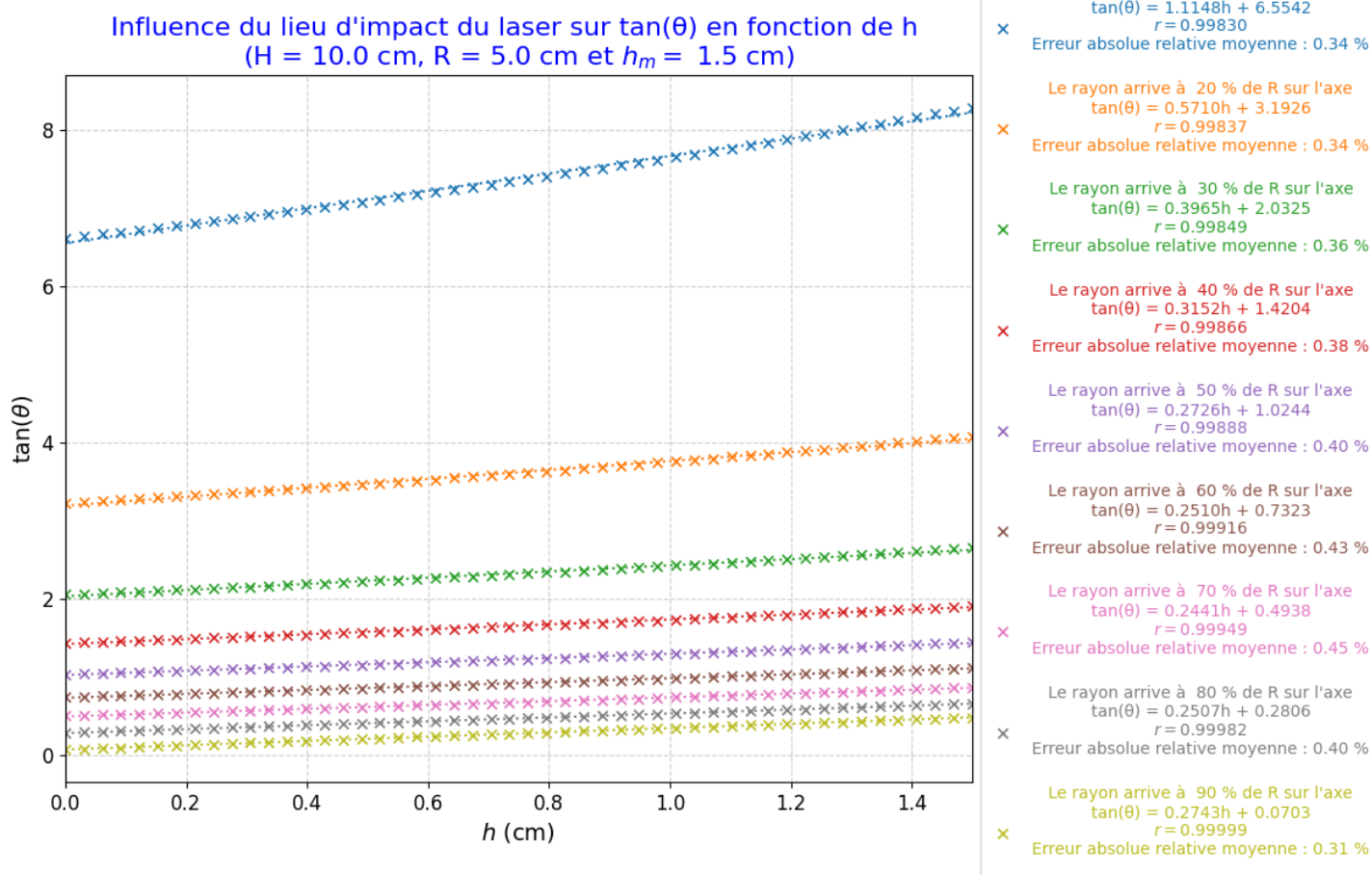
$$\tan(\alpha) = \frac{0,60 R}{H}$$

Cela correspond, de manière simplifiée, à dire que le rayon atteint 60 % de R. Avec cette définition, les angles sont automatiquement exprimés en radians, et nous limitons volontairement le pourcentage à une plage comprise entre 0 % et 100 %.

À 0%, le rayon revient sur lui-même.

À 100%, le rayon n'est pas tangent en raison de la courbure de la sphère et de son arrivée selon l'hypoténuse.

Voici le résultat obtenu :



Quelle que soit la valeur de l'angle initial, tant que le rayon atteint la sphère en position basse ($h = 0$ cm), la corrélation est excellente et l'erreur absolue relative moyenne est très faible, voire négligeable. Le choix de l'angle initial sera guidé par des considérations pratiques : assurer la visibilité du spot sur l'écran et permettre son suivi lorsque la sphère se déplace.

En résumé, les résultats obtenus valident la robustesse du modèle dans les conditions étudiées. Les variations de l'angle initial influencent le comportement global, mais les corrélations restent excellentes lorsque le rayon atteint la sphère.

Annexe F :Quelques rappels

Lors du concours interacadémique d'Hazebrouck, notre rapporteur nous a invités à redéfinir et à préciser certains termes relatifs aux ondes et aux vibrations, dans le but d'en garantir une compréhension claire et rigoureuse. Ces termes sont directement issus de notre bibliographie(2,9–11).

Une vibration

Une vibration est une oscillation autour d'une position d'équilibre, caractérisée par un mouvement périodique ou quasi-périodique. Elle est généralement un phénomène local, bien qu'elle puisse se propager dans certaines conditions.

Une vibration peut être décrite par une équation dépendant du temps :

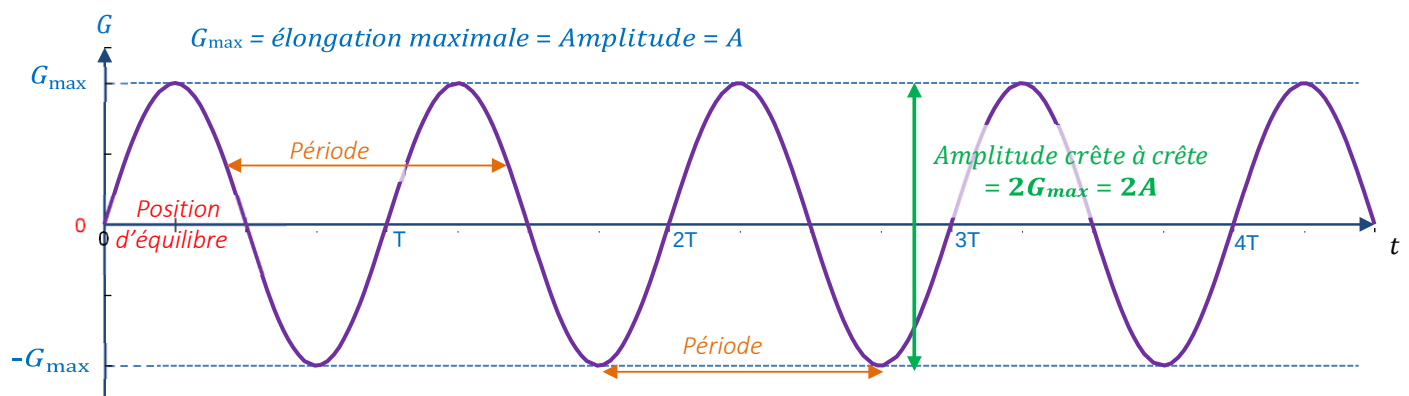
$$G(t) = G_{\max} \cos(\omega t + \varphi)$$

où $G(t)$ est une grandeur périodique qui varie avec le temps, comme :

- une hauteur (h),
- une altitude (z),
- une pression (P),
- une tension électrique (u)....
-

Voici les différents paramètres de cette expression :

- $G(t)$: la valeur instantanée de la grandeur à un moment donné t ,
- $G_{\max}$: l'amplitude maximale atteinte par la grandeur,
- ω : la pulsation, exprimée en radians par seconde (rad.s^{-1}), définie par la relation $\omega = 2\pi f$, où f est la fréquence en hertz (Hz),
- φ : le déphasage initial, c'est-à-dire la valeur de la phase à l'instant $t = 0$ s.



- L'élongation désigne l'écart entre la position instantanée, représentée ici par $G(t)$, et la position d'équilibre. Elle peut être positive ou négative.
- L'amplitude est la valeur maximale de l'élongation mesurée à partir de la position d'équilibre. $A = |\max(G(t))|$
- Amplitude crête-à-crête A_{pp} (pour "Peak-to-Peak Amplitude") correspond à la différence entre la valeur maximale et la valeur minimale de l'élongation.

$$A_{pp} = G_{\max} - G_{\min} = 2A$$

Elle donne une mesure complète de l'oscillation totale.

Une onde

Une onde est la propagation d'une perturbation dans un milieu (onde mécanique) ou dans l'espace (onde électromagnétique), transportant de l'énergie sans déplacement de matière de manière permanente. C'est un phénomène spatial : la perturbation se propage dans un milieu ou dans l'espace, affectant plusieurs points au fil du temps.

Pour une onde périodique sinusoïdale, on peut la décrire avec l'équation :

$$G(x, t) = G_{\max} \cos(kx - \omega t + \varphi)$$

Parmi les paramètres caractérisant une onde sinusoïdale, on trouve :

- k le nombre d'onde qui est caractéristique de la propagation spatiale d'une onde. Il est défini par la relation : $k = \frac{2\pi}{\lambda}$.
- λ représente la longueur d'onde, exprimée en mètres (m). Elle correspond à la distance parcourue par une perturbation au cours d'une période T . Cette grandeur est liée à la célérité de l'onde v par la relation : $\lambda = v T$

Annexe G : Les Olympiades vues par Inès.

Participer aux Olympiades de Physique, c'est une aventure que je vis pour la deuxième fois cette année, et à chaque fois, je ressens une immense fierté en repensant à tout ce que nous avons accompli. La première fois, avec notre projet *"Le turbulent et Zadig"*, j'ai découvert que la science pouvait être bien plus passionnante que je ne l'imaginais. Voir une idée se transformer en un projet concret et le présenter devant un public, c'était déjà une belle réussite. Cette année, avec *"Branly : des ondes au brouillard"*, j'ai pu aller encore plus loin et j'ai la volonté de faire mieux que l'année précédente. J'ai adoré voir des notions théoriques, parfois compliquées en classe, prendre tout leur sens à travers des expériences réelles. Et surtout, savoir que tout cela, nous l'avons construit ensemble, est assez gratifiant.

Ces Olympiades m'ont permis d'apprendre beaucoup. J'ai exploré toutes les ressources du lycée : les laboratoires, le matériel, et surtout l'accompagnement de nos professeurs, toujours disponibles pour nous guider et dévoués sans qui tout cela ne serait possible. Participer à toutes les actions scientifiques du lycée a nourri ma curiosité et m'a donné envie d'aller au-delà du programme classique. De plus, nous avons eu la chance d'échanger avec des chercheurs, que ce soit en personne, par mail ou en visioconférence. Leur passion, leur patience et leurs conseils m'ont vraiment impressionnée. C'est incroyable de voir des experts prendre le temps de nous aider, de nous transmettre leur savoir et de reconnaître notre travail. C'est une vraie fierté.

Mais les Olympiades, ce n'est que de la physique mais avant tout une aventure humaine. Travailler en équipe sur un projet aussi ambitieux, c'est une vraie expérience. Il faut savoir écouter les autres, échanger des idées, et parfois gérer des moments de stress. Je me souviens des heures avant les grandes présentations, quand la pression montait. Mais on s'est toujours soutenus. Ces moments de solidarité m'ont appris l'importance de la coopération et du partage. Défendre *"Le turbulent et Zadig"* en anglais au concours C.Génial était un gros défi, mais aussi une énorme victoire personnelle. Contribuer à un tel projet, donner tout ce que j'avais et voir notre équipe réussir, c'est une expérience qui restera gravée à jamais.

Cette aventure a renforcé mon envie de poursuivre des études scientifiques, et c'est pourquoi je me projette en médecine, même si l'idée d'intégrer une classe préparatoire reste présente en arrière-plan. Les Olympiades m'ont donné un avant-goût de ce que pourrait être une carrière dans la recherche, avec des travaux qui ressemblent aux TIPE des prépas. Mon grand-père était Normalien et ma maman a suivi ses pas en chimie, je suis immergée dans cet univers depuis l'enfance. Participer à ce concours a été une opportunité précieuse pour moi, particulièrement en tant que fille, de m'affirmer dans un domaine encore souvent perçu comme exigeant et sélectif. Cela m'a permis de franchir une étape et de découvrir cet univers reconnu. Me dépasser, relever des défis et m'investir dans des projets concrets m'ont révélé à quel point j'aime explorer et apprendre. Les Olympiades ont été une véritable école de confiance en moi : elles m'ont prouvé que je pouvais surmonter des épreuves exigeantes, et elles m'ont donné la certitude que je suis prête à relever de nouveaux défis encore plus ambitieux.

Pour moi, les Olympiades de Physique sont bien plus qu'un concours. C'est une expérience qui m'a appris à croire en moi, à gérer le stress, à être beaucoup plus à l'aise à l'oral, à travailler en équipe et à partager ce que je sais avec les autres. J'en ressors plus confiante, plus motivée, et surtout fière de ce que j'ai accompli pour mon équipe et pour mon lycée. Si vous avez l'occasion d'y participer, foncez ! Vous vivrez une aventure unique, à 100 km/h, remplie de défis, de découvertes, d'un partage infini et surtout de moments de grande satisfaction.



Inès LISSARRE

17 ans,

Terminale générale promotion « Lydéric BOCQUET »

Mathématiques, Physique-chimie

Mathématiques expertes

Section européenne

Annexe H : Les Olympiades vues par Jeanne

Pour la seconde fois je participe aux Olympiades de Physique France, et franchement, c'est toujours une nouvelle aventure. En classe de première, nous avons travaillé sur « *Le turbulent et Zadig* », un projet qui nous a emmenés jusqu'à la finale nationale de C. Génial. Rien que ça, c'était énorme ! En terminale, nous travaillons sur « *Branly : des ondes au brouillard* », et ça m'a vraiment fait redécouvrir à quel point j'aime la physique. Ce n'est pas juste des formules ou des théories compliquées : c'est une façon de comprendre le monde, de créer, d'explorer. Entre construire des maquettes, réfléchir en équipe, et tester des idées, j'ai complètement changé ma vision de cette matière. Chaque étape, que ce soit la conception du projet ou les échanges avec le public, a été l'occasion d'apprendre plein de choses et de vivre des moments justes incroyables.

Les Olympiades ce sont avant tout des équipes. Travailler avec mon groupe m'a appris tellement de choses. Nous avons dû trouver des solutions ensemble, gérer nos désaccords, et même parfois rassurer ceux qui stagnaient un peu. Et puis, il y a eu des fous rires, des heures où on réfléchissait à s'en casser la tête, et ces petites victoires qui nous motivaient à fond. Nos professeurs ont aussi été au top. Toujours là pour nous, ils ont vraiment rendu cette expérience encore plus spéciale. C'était intéressant de les voir en dehors du cadre scolaire, juste passionnés par ce qu'on faisait. Et puis, bricoler, coder, construire des maquettes... ça m'a montré que la physique, ce n'est pas juste théorique, c'est souvent du concret. J'ai compris qu'il faut de la rigueur, de la persévérance, et un peu d'imagination. Ce sont des qualités que je garderai, c'est sûr.

Les rencontres que j'ai faites grâce aux Olympiades, elles aussi, resteront gravées. À Paris, pendant l'exposition publique, j'ai expliqué notre projet à des visiteurs, dont un groupe d'Écossais. Sur le moment, j'étais stressée parce que je n'avais rien préparé, mais finalement, c'était génial ! Nous nous sommes compris ! C'est là que j'ai réalisé à quel point j'aimais partager ce qu'on avait fait. Et puis, discuter avec des chercheurs, des ingénieurs, ou les élèves d'autres lycées, c'était super inspirant. Grâce à ces échanges, je me sens encore plus sûre de vouloir devenir ingénieure. En plus, participer aux Olympiades m'a ouvert des portes : des stages, des échanges avec des chercheurs par mail ou en visio... C'est comme si ça m'avait donné un avant-goût du monde scientifique. J'ai même pu faire une immersion dans une prépa PCSI, où j'ai découvert des projets comme les TIPE qui ressemblent beaucoup aux Olympiades, le thème de cette année est « *Transition, transformation, conversion* » celui de l'an prochain serait « *Cycle et boucle* », nos projets pourraient entrer dans ces cadres. Franchement, tout ça m'a vraiment aidé à me projeter dans l'avenir.

Porter le maillot des Olympiades et représenter mon lycée reste une immense source de fierté. Chaque étape, chaque moment partagé avec mon équipe et nos professeurs, a été une réussite personnelle et collective. Ces Olympiades m'ont appris à persévérer, à donner le meilleur de moi-même, et à croire en mes capacités. Aujourd'hui, je réalise combien cette aventure m'a transformée et combien elle m'a apporté. Je souhaite à chaque lycéen d'y participer.



Jeanne DELEPOUVE
17 ans,
Terminale générale promotion « Lydéric BOCQUET »
Mathématiques, Physique-chimie
Mathématiques expertes
Section européenne
Section sportive

Annexe I : Les Olympiades vues par Juliette

Cette année, pour ma seconde participation aux Olympiades de Physique France, j'ai vécu une aventure inoubliable et riche en émotions. Dès les premières étapes, j'ai réalisé que ce concours allait bien au-delà de ce que je pouvais imaginer. Ce n'était pas seulement un projet à mener à bien, mais une véritable immersion dans l'univers des sciences. Chaque étape — du choix du sujet jusqu'à la présentation finale — a été comme une exploration, un chemin rempli de découvertes, de surprises et de défis stimulants. Les Olympiades m'ont appris à développer ma curiosité, à chercher des réponses au-delà des évidences, et surtout à repousser mes limites, que ce soit sur le plan intellectuel ou personnel.

Avec mon équipe, nous avons travaillé sur le projet « Le turbulent et Zadig », qui s'est révélé être une aventure scientifique et humaine incroyable. Ce sujet nous a permis de plonger dans des questions complexes et de chercher des solutions innovantes. J'ai découvert que la physique, que je voyais auparavant comme théorique et parfois difficile à aborder, pouvait devenir un terrain de jeu intellectuel passionnant. Chaque question que nous nous posions ouvrait de nouvelles perspectives et chaque réponse trouvée était une petite victoire qui nous rapprochait de notre objectif. Ce projet m'a permis de voir les sciences sous un jour totalement nouveau, non seulement comme une matière à apprendre, mais comme une porte ouverte sur des possibilités infinies d'innovation et de création.

Ce qui a rendu cette expérience encore plus spéciale, c'est le travail d'équipe. Dès le début, nous avons dû apprendre à combiner nos idées, à partager nos compétences et à surmonter ensemble les défis. Ce n'était pas toujours facile, car nous avons tous des façons différentes de réfléchir et de travailler. Mais cette diversité a été notre plus grande force. Nous avons appris à écouter, à nous compléter et à construire quelque chose d'unique ensemble. Les moments de doute, les nuits à réfléchir à des solutions, mais aussi les éclats de rire et les petites victoires partagées resteront gravés dans ma mémoire. C'est grâce à cette collaboration que j'ai compris à quel point travailler en équipe peut être enrichissant et stimulant.

Et puis, il y a eu ce moment unique et symbolique : porter le maillot des Olympiades. Enfiler ce maillot, tout comme celui que je porte fièrement sur le terrain de basket, a été une source de joie et de fierté immense. C'était comme un aboutissement, un symbole de tout le travail accompli et de tout ce que nous avons réussi à représenter ensemble. Représenter mon lycée à un niveau national était un honneur incroyable. J'avais l'impression de défendre ses couleurs, son esprit et tout ce qu'il m'a apporté. Lors des présentations devant le jury, je ressentais un mélange d'adrénaline, de trac, mais aussi une immense fierté. Chaque mot prononcé, chaque explication donnée était le fruit de mois de travail et de passion. Cette expérience m'a appris à croire en moi, à oser m'exprimer et à affronter des situations que je trouvais intimidantes.

Aujourd'hui, je ressens une profonde gratitude envers les Olympiades pour tout ce qu'elles m'ont apporté. Cette aventure a marqué un tournant dans ma vie, car elle m'a permis de mieux comprendre qui je suis et ce que je veux accomplir. J'ai non seulement découvert la richesse et la beauté des sciences, mais aussi les capacités que j'avais en moi pour relever des défis. Grâce à cette expérience, je me sens prête à affronter de nouveaux projets avec enthousiasme et confiance. Si vous êtes lycéen, n'hésitez pas une seconde : les Olympiades sont une opportunité unique à vivre pleinement !



Juliette VAAST

17 ans,

Terminale générale promotion « Lydéric BOCQUET »

Mathématiques, Physique-chimie

Mathématiques expertes

Section européenne

Annexe J : Les Olympiades vues par Lilou

Participer aux Olympiades de Physique pour la deuxième fois a été une expérience très enrichissante. L'année dernière, avec *"Le turbulent de Zadig"*, j'avais découvert le plaisir de transformer une simple idée en un projet avec mon groupe. Cette année, avec *"Branly : des ondes au brouillard"*, c'était encore mieux. Non seulement j'ai retrouvé cette stimulation, mais j'ai aussi ressenti une immense fierté de représenter mon lycée au niveau national. C'est un moment fort pour moi : je suis sur la photo officielle de l'événement, au centre, avec le maillot des Olympiades. Ce maillot, c'est bien plus qu'un vêtement, c'est le symbole de notre travail, de notre solidarité et de tout ce qu'on a construit ensemble.

Les Olympiades m'ont surtout permis de voir les sciences autrement. Ici, ce n'est pas juste apprendre des cours, c'est expérimenter, chercher des solutions à des problèmes parfois très compliqués et très concrets, et toujours essayer d'aller plus loin. Ce que j'ai aimé, c'est que ça pousse à réfléchir différemment, à sortir des cadres habituels. Tout ce que j'ai appris pendant ces projets ne servira pas qu'en physique-chimie : cela m'aidera aussi pour mes études futures en commerce et marketing. Par exemple, devoir présenter notre travail devant un jury m'a appris à structurer mes idées, à parler avec plus d'assurance et à convaincre. Ce sont des techniques que je vais garder et réutiliser toute ma vie.

Mais ce que je retiens le plus, ce sont les moments avec mon équipe. Passer des heures ensemble à résoudre des problèmes, à débattre sur des idées, ou juste à rire autour d'un goûter improvisé, crée des souvenirs incroyables. On a vraiment tissé des liens forts. Et notre professeur a été génial : il a su nous guider tout en nous laissant beaucoup d'autonomie, ce qui nous a permis d'apprendre par nous-mêmes et de grandir. En plus, grâce aux Olympiades, j'ai eu l'occasion de rencontrer des professionnels, d'échanger avec eux et de découvrir plein de choses sur leurs parcours. Même si je ne ferai pas carrière en physique, tout ce que j'ai appris sur l'engagement, le travail en équipe et la créativité me servira toujours.

Je n'oublierai jamais cette expérience. Travailler avec mon équipe, représenter mon lycée et relever ensemble des défis parfois impressionnants m'ont rendue plus forte et plus sûre de moi. J'ai appris que persévérer et avoir confiance en soi, est la clé pour avancer, peu importe les projets. Cette aventure restera un souvenir précieux et une source d'inspiration pour longtemps.



Lilou LACROIX

17 ans,

Terminale générale promotion « Lydéric BOCQUET »

Mathématiques, Physique-chimie

Section européenne

Annexe K : Les Olympiades vues par Louise

Cela fait maintenant deux ans que j'ai la chance de participer aux Olympiades de Physique. Lors de notre première participation, avec « Le turbulent et Zadig », j'ai pu découvrir concrètement le monde des olympiades et ressentir un mélange d'émotions, allant de l'appréhension à l'excitation ; à la fin de la 31^{ème} édition des Olympiades, je n'attendais qu'une chose : recommencer l'année suivante. Alors, sans aucune hésitation, nous nous sommes relancés dans l'aventure cette année avec « Branly : des ondes au brouillard ». Lors de cette édition, même si je savais déjà à quoi m'attendre, toutes les émotions que j'ai ressenties étaient encore plus fortes. En effet, le stress et l'adrénaline avant de commencer la présentation du projet étaient plus intenses que lors de notre première participation, de même en ce qui concerne la joie ressentie lors de l'annonce des résultats de la finale académique.

Grâce à ces deux participations, j'ai pu découvrir ce qu'étaient les sciences en dehors de la salle de classe. J'ai ressenti un vrai plaisir à expérimenter par moi-même : réfléchir aux expériences à réaliser pour répondre à notre problématique, les tester, les améliorer, modifier certains paramètres, analyser les résultats, apprendre des échecs, se réjouir de réussites... Ce concours m'a appris que la physique, ce n'est pas juste des formules à appliquer mais des projets concrets où il faut être curieux, persévérant et inventif. Et grâce aux Olympiades, j'ai découvert un peu plus ce que je veux pour mon futur : avant, je voulais être orthophoniste mais maintenant je me projette dans une prépa scientifique, peut-être en PCSI. Ça a vraiment changé ma façon de voir les choses, et l'immersion que j'ai faite dans une grande prépa régionale m'a donné un bon aperçu de ce qui m'attend. Les Olympiades, c'est un peu comme un entraînement pour les projets qu'on fera en prépa, et ça me motive encore plus à m'y engager.

De plus les Olympiades m'ont permis de grandir et de prendre confiance en moi, de voir que j'étais capable de faire des choses par moi-même. J'ai dû prendre sur moi pour dépasser ma timidité : moi qui avais toujours peur de parler devant un public, j'ai été obligée de sortir de ma zone de confort, notamment pendant les portes ouvertes du lycée. Ce n'était pas facile au début, mais avec l'entraînement, j'ai commencé à y prendre du plaisir. C'était super enrichissant de pouvoir expliquer nos projets à des élèves, des parents, des chercheurs ou même des enfants curieux.

Enfin, pour moi les Olympiades, c'est avant tout une incroyable aventure humaine. Tout d'abord, nous formons une équipe soudée par les fous-rires, les prises de tête lorsque nous n'étions pas d'accord, les heures passées à réfléchir ensemble sur un même sujet : en laissant de la place à la persévérance, et à l'instinct, et en travaillant en équipe, nous sommes arrivés à des conclusions et nous avons pu trouver des réponses à nos interrogations. De plus la bienveillance de nos professeurs, et tout particulièrement de celui de physique, m'a beaucoup touchée : ils étaient toujours là pour nous, même hors des cours, pour nous soutenir et nous encourager. Enfin, nous avons eu la chance de collaborer avec des chercheurs, comme M. FORT, qui nous ont guidés avec beaucoup de patience et de simplicité. Ces échanges m'ont montré que la science, ce n'est pas juste un domaine rigide, mais un univers de découvertes, d'innovations et d'échanges humains. C'était super motivant de voir à quel point ils prenaient le temps de nous écouter et de nous aider.

Plus qu'un projet scolaire, les Olympiades resteront un vrai souvenir marquant de mes années de lycée.



Louise THOREZ

17 ans,

Terminale générale promotion « Lydéric BOCQUET »

Mathématiques, Physique-chimie

Mathématiques expertes

Section européenne

Annexe L : Les Olympiades vues par Tom

Cela fait maintenant deux ans que je participe aux Olympiades de Physique, et cette expérience a marqué un tournant décisif dans ma scolarité.

Je suis venu au lycée Branly précisément pour participer à ces Olympiades et pour découvrir l'option Sciences de Laboratoire et les ateliers de chimie le mercredi après-midi, car j'avais entendu parler de la richesse des projets scientifiques proposés et de l'encadrement passionné des enseignants. Dès ma première participation, j'ai compris qu'il ne s'agissait pas d'un concours ordinaire. C'est bien plus que cela : une plongée dans l'univers fascinant de la science, où l'on ne se contente pas d'appliquer des formules apprises en cours. On explore des pistes inattendues, celle qu'on a choisi d'explorer, on questionne des principes établis, et surtout, on s'ouvre à de nouvelles manières de penser. Par exemple, cette année nous avons utilisé des notions simples comme la première loi de Descartes. Pourtant, en l'appliquant à une boule de sapin de Noël, cette notion a pris une dimension tout autre, presque déconcertante. C'est cette capacité à transcender les notions abstraites et à leur donner une signification concrète qui rend les Olympiades si captivantes. J'y ai trouvé une manière totalement différente d'approcher la physique, bien au-delà des limites du programme scolaire.

Le travail en équipe est un autre aspect qui me tient particulièrement à cœur. Nous formons des groupes variés, où chaque membre apporte son savoir-faire personnel, sa vision et sa créativité, ce qui donne lieu à des échanges incroyablement enrichissants. Ces moments de collaboration sont bien plus qu'un simple partage de tâches : ce sont des discussions passionnées, des remises en question constructives et des éclats de joie quand une idée fonctionne enfin. Ces instants de coopération m'ont appris à écouter les autres, à défendre mes idées avec clarté et à construire collectivement des solutions innovantes. Travailler en équipe mixte, c'est apprendre à valoriser la diversité des approches et des talents. Défendre notre projet devant un jury d'experts, ou même lors du concours C.Génial, où nous l'avons présenté en anglais, a été une expérience à la fois intimidante et exaltante. Ces présentations m'ont permis de développer des compétences essentielles : la prise de parole en public, l'art de convaincre et l'aisance à captiver un auditoire. Étant initialement un élève très timide avec très peu de confiance en soi, les Olympiades m'ont donné goût aux prises de parole devant un jury et en classe. Ces compétences, je sais qu'elles me serviront bien au-delà du lycée.

Les Olympiades, c'est aussi un plaisir intellectuel rare, difficile à décrire. Contrairement aux exercices scolaires, souvent cadrés, les problématiques que l'on aborde ici sont ouvertes, exigeantes, et parfois déroutantes. Il n'est pas rare que nous passions des heures à écrire des équations sur le grand tableau de la classe, à débattre, à tester des hypothèses et à chercher des solutions ensemble. Ces moments, bien que intenses, sont d'une richesse inégalable : ils nous poussent à repousser nos limites intellectuelles, à nous tourner vers ceux qui pourraient nous aider, à faire preuve de créativité et à affiner notre rigueur scientifique. Ces défis, qui rappellent les travaux d'initiative personnelle encadrée (TIPE) en classe préparatoire, m'ont donné un avant-goût de ce que pourrait être une carrière dans la recherche scientifique. Moi qui envisageais initialement d'enseigner la physique, je me vois désormais dans la peau d'un chercheur, prêt à explorer des questions encore sans réponse. Hé oui, nous avons aussi découvert que personne ne sait tout et qu'il y a une multitude de sujets qui ne sont pas encore explorés ! Cette transformation de mes ambitions est, sans aucun doute, l'un des impacts les plus marquants de ces Olympiades sur mon parcours.

Si je devais donner un conseil aux nouveaux arrivants, ce serait celui-ci : lancez-vous dans les Olympiades, sans hésiter. C'est une expérience unique qui dépasse de loin ce que l'on attend d'un concours scolaire, tout le monde est écouté et conseillé par le jury. Vous y découvrirez des gens passionnés, des idées nouvelles et, peut-être, une meilleure version de vous-même. Rencontrer des chercheurs, échanger avec des ingénieurs, et même expliquer nos projets à des enfants lors d'expositions publiques ont été des moments qui m'ont profondément marqué. Ces échanges m'ont montré que la science n'est pas qu'une discipline cloisonnée : c'est une aventure humaine, intellectuelle et collaborative. Les Olympiades m'ont appris que la science, loin d'être figée dans des théorèmes et des équations, est un voyage, une quête qui invite à l'exploration et à l'émerveillement. Et cette aventure, elle est à portée de main !



Tom PAUCHET
17 ans,

Terminale générale promotion « Lydéric BOCQUET »
Mathématiques, Physique-chimie
Mathématiques expertes
Section européenne