

Quand la lumière expose la réalité que nous ne voyons pas

Une réévaluation moderne des expériences de premier ordre :
Des observations de Bradley à la relativité d'Einstein,
un questionnement ancien refait surface.

Aimé Savouret

aimesavouret@protonmail.com

Langue originale : Français

Créé le 30 novembre 2025

Modifié le 12 mars 2026

Table des matières

1	Introduction	2
2	Contexte historique	3
2.1	De l'aberration de la lumière à l'idée d'un éther entraîné	3
2.2	Fizeau et la confirmation expérimentale	3
2.3	Lorentz et la fin de l'éther	5
2.4	Einstein et la révolution relativiste	5
2.5	L'effet Sagnac et la question du mouvement « rectiligne » à la surface de la Terre	6
3	Une expérience revisitée : la propagation lumineuse dans un milieu embarqué	7
3.1	Principe général	7
3.2	Objectif conceptuel	7
3.3	Étude dans le cadre pré-relativiste	7
4	Le rôle du référentiel de la source lumineuse	9
4.1	Une lumière indépendante de sa source... en théorie	9
4.2	Hypothèse exploratoire	9
5	Mise en œuvre expérimentale	10
6	Attentes expérimentales	11
7	Conclusion	12
8	Références	13

1 Introduction

Depuis plus de deux siècles, la manière dont la lumière traverse l'espace reste l'une des énigmes les plus profondes et controversées de la physique. De l'audace d'Arago aux révélations d'Einstein, en passant par les intuitions de Fresnel, les mesures de Fizeau et les équations de Lorentz, chaque pas a redéfini notre perception du réel.

La lumière, messagère insaisissable, a guidé la naissance de la relativité elle-même. Et pourtant... un parfum de paradoxe persiste. Entre théorie et intuition, quelque chose résiste. La lumière, dans son voyage à travers un milieu en mouvement, semble parfois défier ceux qui voudraient la réduire à de simples lois. L'expérience proposée ici s'inscrit dans la lignée des grandes expériences fondatrices.

Sommes-nous face à une illusion de perspective ou à une faille dans les fondations de notre réalité ?

2 Contexte historique

2.1 De l'aberration de la lumière à l'idée d'un éther entraîné

En 1728, James Bradley lève les yeux vers la voûte céleste, un télescope en main, déterminé à capturer le souffle secret de la Terre dans sa course autour du Soleil. Il scrute Gamma Draconis avec patience et rigueur, espérant surprendre le moindre frémissement dû à la parallaxe stellaire. Mais au lieu du décalage attendu, un phénomène étrange se révèle : l'étoile semble danser, décrivant un petit cercle parfait sur la toile du ciel, un mouvement subtil et régulier sur une année entière. Bradley mesure ce ballet céleste avec une précision étonnante : 20,5 secondes d'arc, minime mais suffisant pour dévoiler la vérité invisible, la lumière n'est pas figée, elle se laisse devancer par la course terrestre. Ainsi naît la découverte de l'aberration de la lumière, un effet du premier ordre en $\frac{v}{c}$, révélant, comme un souffle discret, le mouvement incessant de notre planète à travers l'espace.

En 1810, Dominique-François Arago se tourne aussi vers les étoiles, un prisme à la main, pour interroger un mystère fondamental : la lumière, cette messagère cosmique, se laisse-t-elle entraîner par la Terre dans sa course céleste ? Inspirée par l'aberration des étoiles révélée par Bradley, son expérience cherche à trancher une question abyssale : le mouvement de notre planète altère-t-il la direction des rayons lumineux à travers un prisme ?

Mais le ciel resta silencieux. Aucune déviation mesurable, aucun signe que la lumière obéit au mouvement terrestre. C'est là qu'émerge le paradoxe : comment la Terre pourrait-elle bouger, sans laisser la moindre empreinte sur la lumière qu'elle reçoit ?

Ce défi lancé aux théories du moment poussa Augustin Fresnel à imaginer, en 1818, une réponse audacieuse : l'éther, ce fluide hypothétique, ne serait entraîné qu'en partie, précisément selon le facteur $1 - \frac{1}{n^2}$, où n est l'indice du milieu.

Ainsi naquit l'idée troublante d'un univers où un mouvement peut rester invisible, un monde où la lumière semble indifférente au mouvement de la matière, comme si elle gardait pour elle le secret de son propre voyage.

2.2 Fizeau et la confirmation expérimentale

En 1851, Hippolyte Fizeau se lance dans une expérience audacieuse : mesurer la vitesse de la lumière non pas dans le vide, mais au cœur d'un fluide en mouvement. Dans un dispositif méticuleux, deux faisceaux lumineux s'élancent à travers de l'eau circulant en sens opposé, comme deux voyageurs suivant des courants contraires.

À la sortie, un résultat subtil se révèle : le décalage des franges d'interférence, fragile trace de leur voyage, témoigne d'une vérité profonde. Le fluide a influencé la lumière, mais seulement selon la fraction prédite par Fresnel.

Ce résultat, à la fois précis et troublant, confirmait une intuition née dans le silence des théories : la lumière n'est pas totalement insensible au mouvement du milieu qu'elle traverse, mais elle ne s'y laisse pas totalement soumettre non plus. Comme si elle conservait une part d'indépendance, un secret de sa propre nature.

Mais une question restait suspendue : qu'en est-il du mouvement absolu du système tout entier ? Si tout l'appareil se déplace à travers l'éther ou un quelconque référentiel privilégié, la lumière en garde-t-elle la trace ?

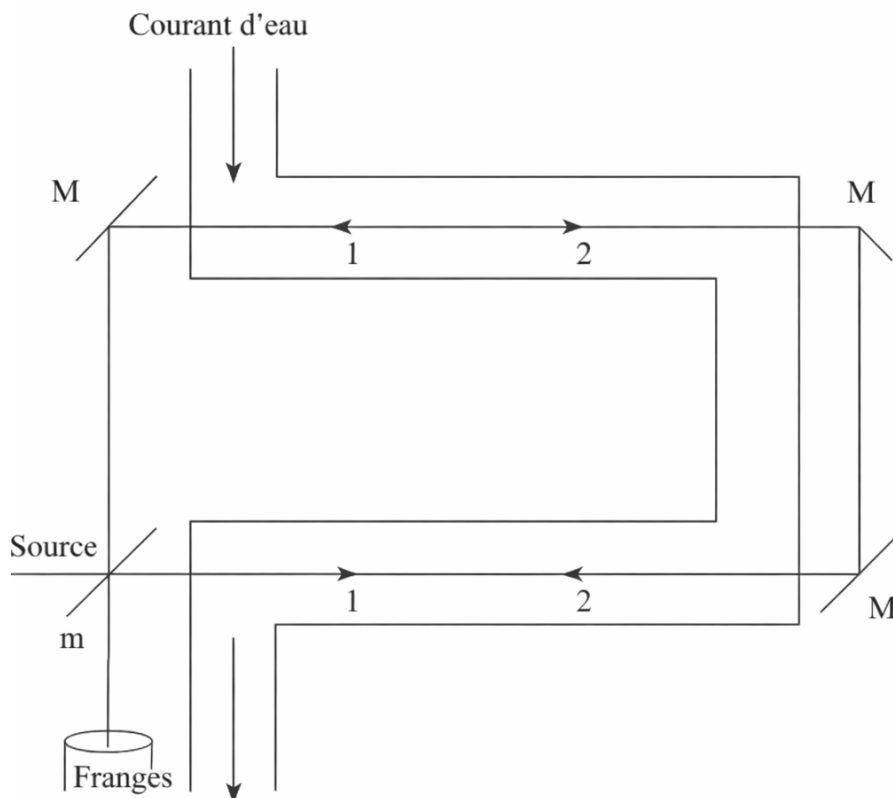


FIGURE 1 – Schéma de l'expérience de Fizeau ; m : miroir semi-transparent, M : miroir(s).

Dans l'expérience de Fizeau, tout repose sur la symétrie : deux faisceaux lumineux traversent de l'eau circulant en sens opposés. Mais cette ingénieuse disposition a un effet subtil : elle annule parfaitement toute influence d'un mouvement absolu du laboratoire. Ainsi, même si l'appareil dérivait à travers un référentiel invisible, aucune frange d'interférence ne viendrait en témoigner. Ce montage ne révèle que l'effet relatif du fluide sur la lumière, jamais la trace d'un mouvement absolu. Fizeau a capturé une vérité locale, mais l'ombre du mouvement global lui échappe encore.

Presque vingt ans plus tard, l'expérience de Hoek vient prolonger cette quête, en reprenant l'idée sous une nouvelle forme. Cette fois-ci :

- Un cylindre de verre immobile guide deux faisceaux lumineux en sens opposés.
- Le dispositif est mis lentement en rotation, comme pour le soumettre à l'œil de l'éther.
- Hoek cherche à voir si l'orientation ou le mouvement apparent de l'ensemble modifient le trajet de la lumière.

Mais là encore, silence. Aucun décalage d'interférences, aucune asymétrie entre les faisceaux. L'expérience reste parfaitement sourde à tout mouvement absolu. En réalité, les deux faisceaux parcourant des chemins opposés se compensent mutuellement, annulant toute trace d'un déplacement global du dispositif. Dans le montage de Hoek, un déplacement uniforme annule automatiquement tous les termes proportionnels à v/c , de sorte que les effets observables n'apparaissent qu'au second ordre. C'est exactement le phénomène que l'on retrouve dans la quasi-totalité des expériences classiques, de Michelson–Morley, en passant par Hammar, jusqu'aux expériences modernes.

Chez Fizeau comme chez Hoek, un constat se dessine clairement : ces expériences ne

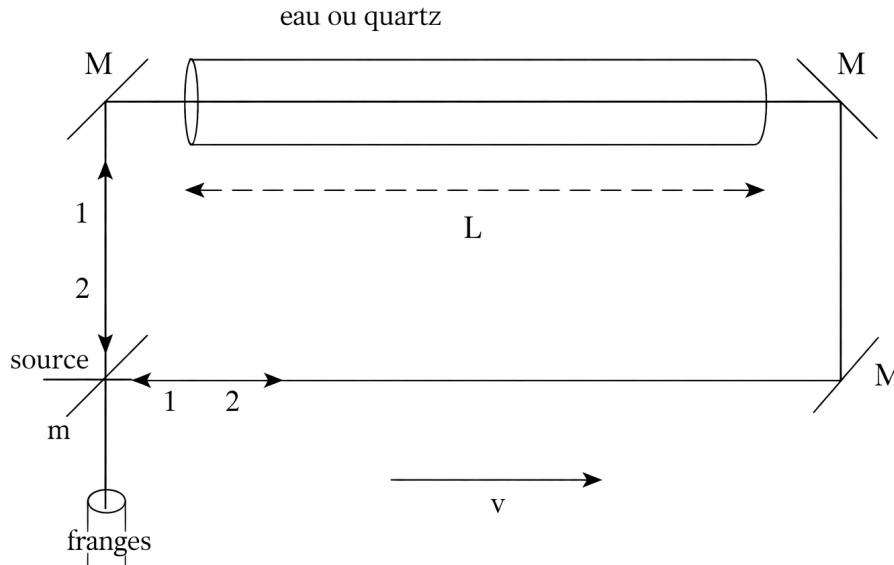


FIGURE 2 – Schéma de l'expérience de Hoek.

révèlent que des vitesses relatives, jamais une vitesse absolue du système. Ce n'est pas une limitation de la réalité elle-même, mais le résultat d'un choix expérimental : les montages sont conçus pour que tout effet lié à un mouvement absolu s'annule avant même de pouvoir être détecté. Les documents de référence 1 et 2 en fournissent la démonstration. Ainsi, le résultat demeure identique, quel que soit le point de vue de l'observateur.

2.3 Lorentz et la fin de l'éther

À la fin du XIX^e siècle, Lorentz chercha à concilier les résultats de Fizeau et de Michelson avec une théorie électromagnétique cohérente. Son modèle introduisait la contraction des longueurs et un temps local, permettant d'expliquer la nullité du résultat de Michelson–Morley tout en préservant un éther immobile.

2.4 Einstein et la révolution relativiste

Imagine un instant que vous soyez au début du XX^e siècle. Tout le monde parle d'éther, ce mystérieux « fluide » censé remplir l'univers et servir de support à la lumière. Puis, en 1905, un jeune inconnu nommé Einstein arrive et bouleverse le jeu. D'un revers de main, il élimine l'éther et pose deux axiomes qui semblent presque hérétiques :

1. Toutes les lois de la physique sont identiques dans les référentiels en mouvement rectiligne uniforme.
2. La vitesse de la lumière dans le vide est la même pour tous les observateurs, quelle que soit leur vitesse relative.

Cela signifie que la lumière n'a plus besoin d'un support pour se propager, elle n'a pas besoin de « pousser » sur un éther pour avancer. Et mieux : elle se moque totalement de la vitesse de la source. Une lampe en mouvement ou immobile, peu importe : la lumière part toujours à c , la vitesse limite de l'univers.

Dans ce cadre, l'expérience de Fizeau, où l'on observe un décalage des franges d'interférence lorsque la lumière traverse un liquide en mouvement, s'intègre naturellement à

la relativité. Ce décalage, loin d'être une anomalie, devient la conséquence directe de la composition relativiste des vitesses, qui émerge tout droit des transformations de Lorentz.

Mieux encore, ce résultat ne dépend pas du référentiel choisi : dans tout référentiel galiléen, le décalage observé s'explique, soit par la traînée partielle de la lumière dans le liquide (vue du laboratoire), soit par des variations de temps de parcours liées au mouvement du montage (vue du référentiel du fluide). C'est précisément ce que garantit la relativité restreinte par sa construction : les lois de la physique, y compris celles de l'optique, conservent leur forme dans tous les référentiels inertiels.

2.5 L'effet Sagnac et la question du mouvement « rectiligne » à la surface de la Terre

L'effet Sagnac est généralement présenté comme la manifestation de la sensibilité d'un système interférométrique à une rotation. Il s'agit d'un effet de premier ordre, au même titre que celui mis en évidence par Fizeau. Dans un gyrolaser, deux faisceaux lumineux parcourent une même boucle fermée en sens opposé ; en présence d'un mouvement angulaire, la différence de temps de trajet entre les deux ondes génère un déphasage mesurable. Ce principe, d'une grande robustesse, constitue aujourd'hui le cœur des gyromètres modernes utilisés en navigation.

Cependant, il est essentiel de rappeler qu'à la surface de la Terre, ou n'importe où dans l'univers, le mouvement strictement rectiligne n'existe pas. Un point fixé au sol décrit en permanence une trajectoire courbe résultant de la rotation terrestre, des mouvements inertiels, et, plus généralement, de l'ensemble des forces extérieures (gravitation, accélérations du véhicule, contraintes mécaniques...). Autrement dit, tout mobile évoluant sur Terre, ou ailleurs, se trouve déjà dans un référentiel qui n'est ni inertiel, ni parfaitement rectiligne.

À partir de cette observation, on peut légitimement s'interroger : si l'effet Sagnac détecte des différences de temps de trajet liées à des mouvements angulaires, pourquoi un montage adapté ne pourrait-il pas révéler également une signature de la trajectoire associée à la vitesse linéaire d'un véhicule ? Le montage présenté dans la suite s'appuie précisément sur cette hypothèse.

Même en l'absence de rotation volontaire du dispositif, les déviations permanentes imposées par le référentiel terrestre, rotation globale, forces inertielles, courbure inévitable des trajectoires pourraient induire un déphasage mesurable. À l'image du gyrolaser qui est sensible aux mouvements angulaires, il devient alors concevable d'extraire, dans certaines conditions, une information sur la vitesse absolue, ou du moins sur la trajectoire réelle du système dans son environnement terrestre ou orbital.

Si cette possibilité se confirmait expérimentalement, elle ouvrirait la voie à une extension inédite de l'effet Sagnac, capable de sonder des mouvements jusqu'ici considérés hors de son domaine de sensibilité, une perspective fascinante qui poserait inévitablement des questions délicates d'interprétation relativiste.

3 Une expérience revisitée : la propagation lumineuse dans un milieu embarqué

3.1 Principe général

L'expérience consiste à comparer le temps de parcours de deux faisceaux lumineux :
 — L'un traversant un milieu réfringent (un barreau rempli d'eau, $L = 1$ m, $n \approx 1.5$),
 — L'autre suit un trajet de référence dans l'air, un milieu très peu réfringent.

Les miroirs permettent d'introduire un retard afin d'égaliser les temps de parcours des deux faisceaux lorsque le montage est au repos, de manière à maintenir la différence de chemin optique à l'intérieur de la longueur de cohérence du laser.

Les deux faisceaux sont ensuite recombinaés pour produire des franges d'interférence.

Tout le montage, source laser, milieu réfringent, détecteur, et miroirs, est embarqué à bord d'un véhicule se déplaçant à une vitesse v jusqu'à 130 km/h.

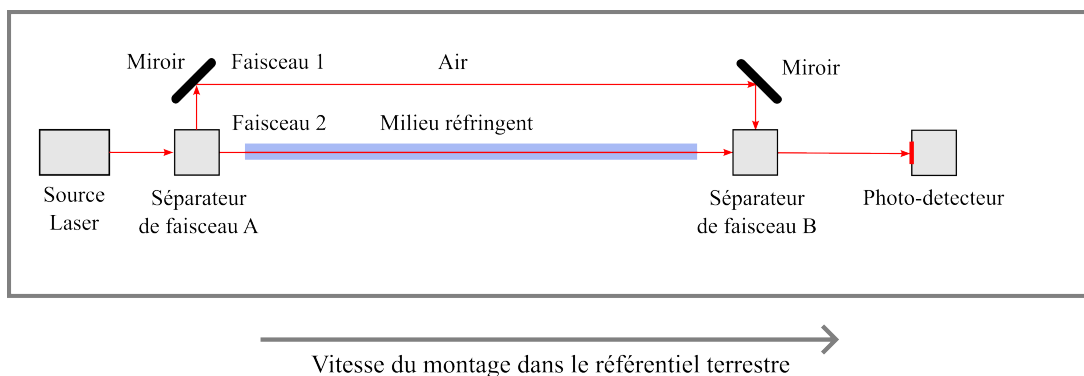


FIGURE 3 – Schéma illustrant l'expérience d'interférométrie proposée.

3.2 Objectif conceptuel

Dans le cadre relativiste strict, le mouvement global ne devrait produire aucun décalage : un système optique en translation uniforme doit se comporter comme s'il était au repos.

Cependant, dans un contexte pré-relativiste, la lumière traversant le milieu réfringent interagit avec un milieu matériel dont les électrons, polarisables, se déplacent avec le véhicule. Qu'il s'agisse d'un entraînement partiel de l'éther ou d'une interaction électromagnétique entre la lumière et le milieu en mouvement, un décalage pourrait apparaître en fonction de la vitesse du véhicule qui embarque le montage.

3.3 Étude dans le cadre pré-relativiste

En nous appuyant sur la figure 1, nous allons révéler comment la vitesse du montage influe sur le décalage des franges.

La vitesse de propagation de la lumière dans le milieu est donnée par la formule de Fresnel :

$$c_{\text{milieu}} = \frac{c}{n} - v \left(1 - \frac{1}{n^2} \right) \quad (1)$$

La vitesse de propagation de la lumière dans l'air, dont l'indice de réfraction est très proche de 1, est :

$$c_{\text{air}} = c \quad (2)$$

Désignons par t_1 le temps de parcours du faisceau 1 et par t_2 le temps de parcours du faisceau 2.

Le faisceau 1 traversant le milieu subit alors un retard temporel par rapport au faisceau de référence, donné par :

$$\Delta t = t_1 - t_2 \quad (3)$$

Grâce à la compensation des temps de parcours, l'expression peut être réduite à :

$$\Delta t = \frac{L}{\frac{c}{n} - v \left(1 - \frac{1}{n^2}\right)} - \frac{L}{c} \quad (4)$$

$$\Delta t = \frac{L \cdot n^2 \cdot c - L \cdot n \cdot c - L \cdot v \cdot (n^2 - 1)}{n \cdot c^2 + v \cdot c \cdot (n^2 - 1)} \quad (5)$$

$$\Delta t = \frac{L \cdot c \cdot (n^2 - n) - L \cdot v \cdot (n^2 - 1)}{n \cdot c^2 + v \cdot c \cdot (n^2 - 1)} \quad (6)$$

En supposant que $v \ll c$, cela entraîne un retard de temps de parcours donné par :

$$\Delta t = \frac{L \cdot c \cdot (n^2 - n)}{n \cdot c^2} - \frac{L \cdot v \cdot (n^2 - 1)}{n \cdot c^2} \quad (7)$$

$$\Delta t = \frac{L \cdot (n - 1)}{c} - \frac{L \cdot v \cdot (n^2 - 1)}{n \cdot c^2} \quad (8)$$

Le terme $\frac{L(n-1)}{c}$ représente le retard statique introduit par la propagation du faisceau dans le milieu.

En intégrant cette contribution dans la compensation du temps de parcours, il ne reste plus que la correction linéaire en v associée au mouvement du montage (si $v \ll c$), ce qui conduit finalement à un retard temporel par rapport au faisceau de référence :

$$\Delta t = -\frac{L}{c^2} \cdot \left(n - \frac{1}{n}\right) \cdot v \quad (9)$$

Le décalage de frange est donné par la relation :

$$\Delta N = \frac{|\Delta t|}{\lambda} \cdot c \quad (10)$$

On obtient ainsi finalement :

$$\Delta N = \frac{L}{\lambda} \cdot \frac{v}{c} \cdot \left(n - \frac{1}{n}\right) \quad (11)$$

4 Le rôle du référentiel de la source lumineuse

4.1 Une lumière indépendante de sa source... en théorie

Einstein affirme que la vitesse de la lumière est indépendante du mouvement de la source. Mais cette indépendance ne concerne que la vitesse de propagation dans le vide, non la fréquence ni la phase.

Dans un milieu réfringent, la fréquence émise par une source en mouvement reste celle définie dans son propre référentiel, mais la phase reçue dans un autre référentiel dépend de la transformation temporelle entre les deux.

Une onde, qu'elle soit mécanique (comme le son) ou électromagnétique (comme la lumière), transporte dans l'espace une signature propre, définie au moment de son émission :

- Sa fréquence et sa phase sont déterminées par les caractéristiques de la source.
- Cette signature est absolue dans le sens où elle ne change pas au cours de la propagation.

Cependant, lorsqu'un récepteur mesure cette onde, ce qu'il perçoit dépend de son propre référentiel, c'est-à-dire de sa vitesse relative par rapport à la source. Le milieu de propagation n'est qu'un intermédiaire dont la relativité fait abstraction.

4.2 Hypothèse exploratoire

Imaginons deux situations :

1. Source au repos, milieu en mouvement à la vitesse v . Cela constitue l'expérience classique de Fizeau.
2. Source embarquée avec le milieu dans un mouvement à la vitesse v .

Le résultat de l'expérience dépend-il du mouvement de la source par rapport au milieu ?

Mais que produit une source en mouvement à la vitesse v ? Toujours dans le contexte pré-relativiste, le montage d'interférence reçoit un faisceau dont la longueur d'onde est modifiée par l'effet Doppler « classique » :

$$\lambda_{\text{montage}} = \lambda_{\text{source}} \cdot \left(1 + \frac{v}{c}\right) \quad (12)$$

- Si la source s'approche : $v < 0 \Rightarrow \lambda_{\text{montage}} < \lambda_{\text{source}}$ (décalage vers le bleu).
- Si la source s'éloigne : $v > 0 \Rightarrow \lambda_{\text{montage}} > \lambda_{\text{source}}$ (décalage vers le rouge).

En supposant que $v \ll c$, cela entraîne un décalage de frange donné par :

$$\Delta N_{\text{doppler}} = \frac{\text{OPD}}{\lambda_{\text{source}}} - \frac{\text{OPD}}{\lambda_{\text{montage}}} = \frac{\text{OPD}}{\lambda_{\text{source}}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{v}{c}} \approx \frac{\text{OPD}}{\lambda_{\text{source}}} \cdot \frac{v}{c} \quad (13)$$

Où OPD est la différence de parcours optique entre les deux bras de l'interféromètre, plus cette différence est grande, plus le déplacement d'une source par rapport au milieu peut induire un décalage de franges via l'effet Doppler. D'où l'importance de compenser correctement le retard de parcours afin de minimiser toute contribution liée à cet effet.

5 Mise en œuvre expérimentale

L'expérience envisagée consiste à étudier la configuration où la source est embarquée : tout le montage (source, milieu, détecteur) se déplace ensemble.

La source laser utilisée est un laser He-Ne stabilisé, tandis que les franges d'interférence sont détectées au moyen d'un photodétecteur haute sensibilité associé à un analyseur de phase numérique. Cet ensemble permet de mesurer des décalages de l'ordre de 0,01 frange, mettant en évidence des variations très subtiles sans pour autant constituer un défi technologique dans le domaine de la métrologie optique.

L'ensemble des détails, allant de la conception du montage aux premiers résultats, fera l'objet d'un document séparé.

6 Attentes expérimentales

En rappelant la formule de Fresnel (linéarisée pour $v \ll c$) on prévoit un décalage de franges ΔN proportionnel à la vitesse v du milieu selon :

$$\Delta N = \frac{L}{\lambda} \cdot \frac{v}{c} \cdot \left(n - \frac{1}{n} \right) \quad (14)$$

Où :

- L : La longueur parcourue dans le milieu
- n : Son indice de réfraction
- λ : La longueur d'onde dans le vide
- v : La vitesse du montage dans le référentiel terrestre
- c : La célérité de la lumière

Pour des paramètres réalistes :

$$L = 1 \text{ m} \quad (\text{Longueur acceptable pour embarquer le montage}) \quad (15)$$

$$n = 1.33 \quad (\text{Eau}) \quad (16)$$

$$\lambda = 632.8 \text{ nm} \quad (\text{Laser Néon-Hélium}) \quad (17)$$

$$v = 36 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \quad (\text{Vitesse maximale du véhicule}) \quad (18)$$

On obtient :

$$\Delta N = 0.11 \quad (19)$$

Il s'agit d'une prédiction mesurable, mais sa mise en évidence exige un interféromètre très stable, capable de conserver sa cohérence malgré les déplacements du montage et les vibrations mécaniques inhérentes à un véhicule en mouvement. En pratique, cela implique que le système optique résiste aux variations d'orientation, aux microdéformations de la structure et aux perturbations environnementales, sans quoi le signal recherché serait noyé dans le bruit induit par ces contraintes dynamiques.

7 Conclusion

L'enjeu de cette expérience dépasse largement le cadre de l'optique : il touche au statut même du référentiel de la source lumineuse. La lumière est-elle totalement indépendante du mouvement de son émetteur, ou conserve-t-elle une trace de son origine inertielle ?

La plupart des expériences classiques qui ont vérifié la relativité, de Michelson-Morley à leurs successeurs modernes, sont presque exclusivement des tests du second ordre : elles recherchent des effets proportionnels au carré de la vitesse relative entre la source, le milieu et le détecteur, ce qui élimine expérimentalement toute contribution du premier ordre. Autrement dit, elles ne sont pas conçues pour détecter des effets linéaires proportionnels à la vitesse, comme ceux qui peuvent apparaître dans la propagation de la lumière dans un milieu matériel en mouvement, via le couplage lumière-matière comme l'a illustré Fizeau avec l'entraînement de Fresnel.

L'expérience embarquée que je propose se situe précisément dans ce registre : elle cherche à détecter un effet du premier ordre, proportionnel à la vitesse du véhicule, et donc directement sensible au mouvement de la source dans son milieu. Si la lumière émise dans un milieu matériel se comporte différemment selon que la source est au repos ou en translation, cela suggérerait que la propagation dans les milieux réels conserve une forme de relativité limitée, dépendant du couplage entre lumière et matière. Une telle observation n'infirmerait pas nécessairement la relativité restreinte, mais indiquerait qu'elle ne décrit pas entièrement les interactions optiques dans les milieux réfringents, où vitesses de phase et de groupe sont finement sensibles au mouvement de la matière.

Si la mesure révèle un décalage de franges dépendant de la vitesse du véhicule, même lorsque tout le montage est embarqué, cela signifierait que la lumière dans un milieu n'est pas seulement définie par le mouvement relatif entre le milieu et le détecteur, mais aussi par le statut inertiel de sa source. Et même si l'expérience ne montre aucun effet, elle demeure hautement informative, car elle explore un domaine rarement testé expérimentalement : les effets du premier ordre, jusque-là écartés par les protocoles classiques.

Deux siècles après Arago, cette expérience pourrait donc raviver le débat sur le rôle du référentiel de la source lumineuse, et rappeler que la lumière n'a pas fini de nous surprendre.

8 Références

1. Hoek experiment by Doug Marett (2010) :
https://www.conspiracyoflight.com/Hoek/Hoek_Experiment.html
2. Hoek experiment by Emil Falkner (22/01/2021) :
https://www.gsjournal.net/h/papers_download.php?id=1903