

THE BEDFORD LEVEL EXPERIMENT

EXPLICATIONS, HYPOTHÈSES, EXPERIENCES

Introduction

Ce dossier portera sur le « Bedford Level Experiment ».

Cette expérience réalisée par Samuel Birley Rowbotham, un astronome anglais, souhaitant démontrer que la terre est ronde, place une longue vue au bout du canal Bedford long et rectiligne de 9km et laisse filer droit un petit bateau équipé d'un drapeau. Selon ses calculs basés sur le rayon de la Terre, il détermine qu'à une distance précise, dû à la courbure de la Terre, le drapeau devrait disparaître de la lunette de sa longue vue. Hélas, il continuera à voir le bateau dans sa totalité tout le long du canal.

La question qui sera traitée dans ce dossier est la suivante :

Comment interpréter les résultats obtenus par M. Rowbotham à l'issue de cette expérience ?

Dans le cadre de notre démarche zététique, nous tenterons de comprendre, d'analyser et de vous expliquer cette infime partie de toutes les hypothèses soutenant l'idée de terre plate. Est-ce parce qu'on observe quelque chose qui prouve une théorie que cette théorie a été prouvée ?

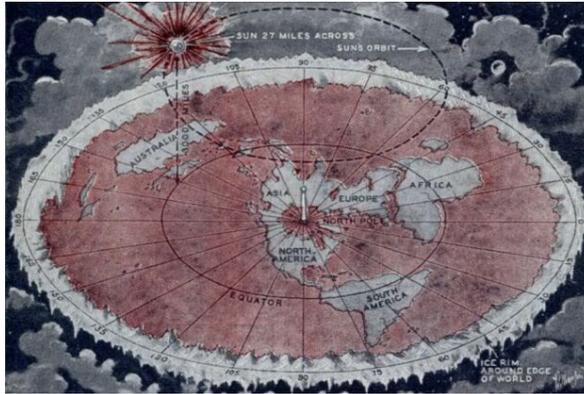
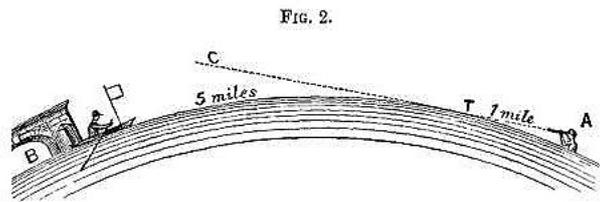
Tout ceci sera développé dans ce dossier, basé sur différents phénomènes autour de cette expérience.

Plan

Les hypothèses.....	3
Sources de cette partie.....	5
Tri des hypothèses.....	5
La Terre plate selon Rowbotham.....	5
La réfraction.....	6
La Terre concave.....	6
La Terre plate selon Anne Blount.....	6
Expérimentations.....	7
Réfraction.....	7
Bedford Level Experiment revisité : Laffrey Level Experiment.....	7
La température de réfraction.....	9
Conclusion.....	10
Approfondir.....	10

Les hypothèses¹

En 1838 Samuel Birley Rowbotham souhaite prouver que la terre est ronde en démontrant sa courbure. Il a alors calculé la distance suffisante pour qu'il puisse voir un objet en mouvement descendre le

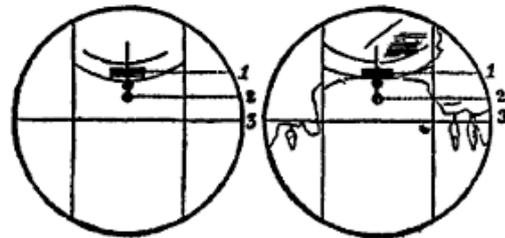


astronomy : *Earth not a Globe.*

Pendant, plusieurs années, les expériences de Rowbotham n'ont pas connu le succès espéré. Mais en 1870, un partisan de la terre plate John Hampden parie avec Alfred Russel Wallace que la Terre est plate. Wallace, de par sa formation d'arpenteur (professionnel des mesures sur un chantier) et de physicien, crée sa propre expérience en prenant en compte cette fois les effets de la réfraction atmosphérique. Hampden, refusant sa défaite, écrit une brochure déclarant que Wallace a triché, et ce, malgré qu'il ait été déclaré vainqueur par leur « arbitre », le rédacteur en chef du magazine *The Field*. Plus tard, Hampden fut emprisonné pour avoir menacé de tuer Wallace et pour diffamation. Enfin, Wallace fut critiqué par ses pairs pour avoir contredit des principes scientifiques les plus fondamentaux.

THE "BEDFORD LEVEL" SURVEY.—SKETCHES BY THE TWO REFEREES.

Copied from the *Field* for March 26, 1870.



These two views, as seen by means of the *inverting* telescope, are exact representations of the sketches taken by Mr. Hampden's Referee, and attested by Dr. Coulcher as being correct in both cases: first, from Welney Bridge; and secondly, from the Old Bedford Bridge.



En 1901 Henry Yule Oldham met au point une autre façon de reproduire l'expérience de Wallace. Il place trois pôles alignés fixés à égale hauteur au-dessus du niveau de l'eau (toujours sur la rivière Old Bedford), et grâce à un Théodolite, il put déterminer que le pôle médian était 0.91m plus haut que les deux autres. Cette expérience prouvant que la terre est ronde fut par la suite enseignée pendant plusieurs années jusqu'à ce que des photos de la Terre prise de l'espace soient disponibles.

Théodolite : appareil de mesure d'angle qui permet de déterminer une direction

¹ Sources à l'issue de cette partie



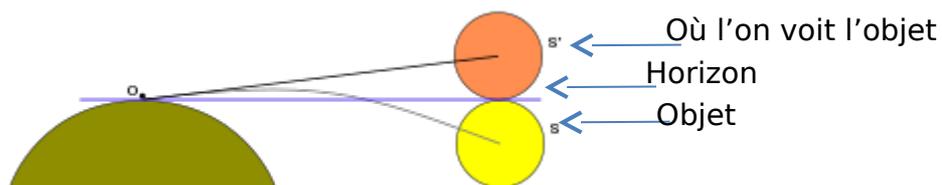
En 1896, Ulysses Grant Morrow mène une expérience similaire sur le canal de drainage Old Illinois. Il cherche à démontrer que la surface de la Terre est courbée. Comme Rowbotham, il découvre que son marqueur de cible, 46 cm au-dessus du niveau de l'eau et à 8km de distance, est clairement visible. Cependant, il conclut que la surface de la Terre n'est non pas plate, mais concave. Les résultats ont été rejetés par les critiques comme le résultat de la réfraction atmosphérique, car en effet, sa théorie dépasse encore celle de la terre plate : pour lui, nous vivons à l'intérieur de la Terre.

Mais la théorie de la terre ne fut pas abandonnée pour autant. En effet, en 1904, Lady Elizabeth Anne Blount, qui était convaincue par Rowbotham, aidée d'un photographe, accrocha un drap blanc juste à la surface de la rivière. Le photographe, situé à deux mètres au-dessus de l'eau, fut alors surpris de pouvoir voir le drap alors qu'il aurait dû disparaître. Lady Elizabeth Anne Blount publia les images pour avancer sa théorie. Elle sera par la suite une des fondatrices de la société zétélique universelle et influencera la création de la Flat Earth Society (cette société compte toujours aujourd'hui de nombreux adeptes à travers le monde).



Nous avons fait appel au professeur et chercheur de physique optique Cyril Bernerd. En tant qu'expert, il nous a présenté un phénomène qui expliquerait les résultats obtenus dans le Bedford level experiment par Samuel Rowbotham.

Le Bedford level experiment peut-être aujourd'hui expliqué par un phénomène optique, la réfraction atmosphérique. La réfraction atmosphérique est due à la variation de densité dans l'air ce qui engendre une trajectoire non rectiligne de la lumière lors de sa traversée de l'atmosphère. C'est un changement de l'indice de réfraction entre les deux milieux. Ici, ce phénomène est appelé réfraction terrestre (le même principe que les mirages). Ce changement d'indice dans l'air s'effectue dans certaines conditions, il peut arriver qu'avec une variation de température (chaud-froid ou froid-chaud), ou avec une certaine longueur d'onde (les lumières bleues et vertes, sont plus sujettes à ce phénomène contrairement au rouge). Dans ce cas, c'est le phénomène de réfraction qui est mis en jeu.



La réfraction atmosphérique (ou terrestre) est plus importante quand on se rapproche de l'horizon. Ainsi, pour modifier les effets de la réfraction, il aurait fallu que Rowbotham se positionne plus en hauteur. Même si cela ne semble pas logique de se

mettre en hauteur pour observer un phénomène qui se passe au niveau de l'horizon. Il existe des appareils qui sont fait pour compenser ce décalage.

Sources de cette partie

Rowbotham :

Illustration to Chapter 2, "Experiments", of *Earth not a globe* by [Samuel Birley Rowbotham](#), published by Shirley, Marshall and Co, London, in 1881, [oclc](#) 29711500.
Internet Sacred Text Archive

Hampden et Wallace :

"La Rotondité de la Terre". *Nature* 1 (23): 581. 7 avril 1870. Bibcode : 1870Natur ... 1..581. . doi : 10.1038 / 001581a0 .

Own work

"La Forme de la Terre: Un Choc d'Opinions" (PDF) . *The New York Times* . 10 août 1871 . Récupéré le 2 novembre 2007

The view through the level used by Alfred Russel Wallace in the Bedford Level experiment, a wager between him and John Hampden to demonstrate the curvature of the earth. This diagram was printed in *The Field*, a sports magazine and reproduced in Wallace's autobiography.
26 March 1870

Wallace, Alfred Russel (1908). [Ma vie](#) pp. 368-9.

Hampden, John (1870). [L'arche du canal de Bedford détectée et exposée](#)

Correspondant (8 mars 1875). "Assises de printemps". [Le Times](#) . Londres. p. 11. . Londres: A. Bull.

Ulysses Grant Morrowa :

<http://files.abovetopsecret.com/files/img/jo56b3b508.jpg>

Simanek, Donald E. (2003). "[Turning the Universe Inside-Out](#)". Lock Haven University of Pennsylvania. [Archived](#) from the original on 21 November 2007. Retrieved 2 November 2007.

[Teed, Cyrus](#); Morrow, Ulysses Grant (1905). *The Earth a Concave Sphere*. Estero, FL: Guiding Star. p. 160. [ISBN 0-87991-026-7](#).

Lady Elizabeth Anne Blount :

<http://www.earthnotaglobe.com/library/Earth%20-%20Monthly%20Magazine%2049-50.pdf>

English: *Picture of the Bedford Level taken attempting to prove the earth is flat. "Carried out in misty and very unsatisfactory weather on May 11th 1904 before Lady Blount and several scientific gentlemen".*
1904

Tri des hypothèses

La Terre plate selon Rowbotham

La taille d'un objet rétrécit quand celui-ci s'éloigne et s'agrandit quand celui-ci se rapproche, par effet de perspective. La taille de l'objet nous informe donc sur sa distance. Si l'objet est assez loin, il finit par disparaître sous la ligne d'horizon du fait de la courbure terrestre, où est trop loin pour permettre à nos yeux de l'apercevoir (il sort de notre champs visuel). D'après ces postulats, l'expérience de Samuel Birley Rowbotham aurait dû être concluante et on aurait dû voir disparaître le drapeau sous la ligne d'horizon.

Or, ce ne fut pas le cas. La perception des profondeurs est une capacité visuelle, c'est-à-dire cognitive. C'est notre cerveau qui donne une interprétation et une explication

à ce que nous voyons. C'est la différence entre le vrai et la vraisemblance, entre la réalité et notre perception de la réalité.

La perspective et la perception des profondeurs peuvent se jouer de nous, nous faisant parfois voir ce qui n'existe pas (les trompes l'œil en sont un parfait exemple). Ainsi, l'expérience de Rowbotham ne se basant que sur de l'observation, elle peut être faussée de cette manière.

La réfraction

Les phénomènes de réfraction de la lumière quand celle-ci franchit différente couche atmosphérique peuvent expliquer que l'on voit encore le drapeau du bateau dans le Bedford Level Experiment. C'est une hypothèse qui ne remet en question aucune avancée scientifique et qui ne « coûte » donc rien. Toutefois, rien ne prouve que c'est cette hypothèse qui explique que le drapeau du bateau n'ait pas disparu.

La Terre concave

La théorie de Ulysses Grant Morrowa selon laquelle la Terre est concave expliquerait que malgré le calcul de M. Rowbotham dans son expérience, le bateau est encore apparent après la distance prédite.

Cependant le rasoir d'Occam est un outil zététique qui permet de trier des informations. Son principe est simple : il dit que si un phénomène s'explique autrement que par des faits surnaturels, alors il n'y a pas de raison de croire que sont ces faits qui expliquent le phénomène en question.

« Avant de faire intervenir une nouvelle entité (surnaturelle), vérifions si le phénomène ne s'explique pas autrement, sans cette entité. »

Si nous appliquons la logique du rasoir d'Occam, Grant Morrowa affirme que le phénomène est dû à la concavité de la Terre sans plus de preuve que cela et sans chercher une autre explication scientifique.

Or, il existe un phénomène scientifique, la réfraction, qui permet d'expliquer que son marqueur cible soit encore visible après la distance à laquelle il devrait avoir disparu si la Terre était ronde. Le marqueur de taille peut donc se voir à 8km de distance même si la terre est ronde. De plus, admettre que la terre est concave, c'est remettre en cause la gravité, c'est remettre en cause tout ce qui a été découvert sur l'espace et le positionnement des planètes, etc. On a donc plus tendance à croire que c'est la réfraction qui permet de voir le marqueur cible plutôt que la concavité de la Terre.

La Terre plate selon Anne Blount

Lady Elizabeth Anne Blount réalise en 1904 la même expérience que Rowbotham avec un draps blanc et arrive au même résultat. Comme Rowbotham elle en conclue que la terre est plate et ne cherche pas d'autres explications. Cependant nous pouvons utiliser les mêmes arguments pour cette conclusion que pour celle de Grant Morrowa qui prétend que la terre est concave. Il est coûteux de dire que la terre est plate. Il faut retrouver une explication aux cycles jours-nuits, à la force qui nous maintient au sol. Si la terre est un disque plat, qu'y a t-il en dessous ? Comment tient-t-elle ? Ce sont des années de recherche scientifique à remettre en question.

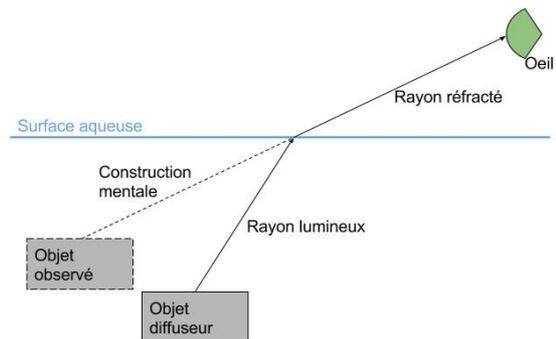
Nous avons donc trois hypothèses. Deux d'entre elles, celle de la terre plate et celle de la terre concave, ne peuvent être acceptées si l'on accepte pas de revoir énormément de lois physiques et nos connaissances sur l'espace. De plus, selon « L'onus probandi », la charge de la preuve incombe à celui qui prétend. Et Lady Elizabeth anne Blount et Ulysses Grant Morrowa ne nous apportent aucune preuve sur leurs arguments. En effet, le fait que le drapeau du bateau soit toujours visible ne suffit pas à affirmer que la terre est

plate ou concave. De plus, la troisième hypothèse justifie plus simplement l'expérience échouée de Rowbotham. Même si nous n'en avons aucune de preuve, il est plus probable que ça soit la réfraction qui permette de voir le drapeau au bout des 8km.

Expérimentations

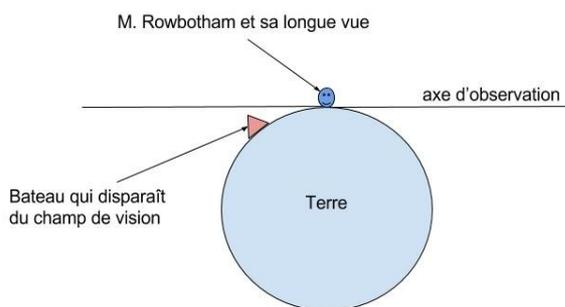
Réfraction

L'expérience permettant d'observer la réfraction est très simple. Il suffit de plonger son doigt dans un verre d'eau pour voir son doigt déformé. Les rayons lumineux diffusés par le doigt, sont réfractés en sortant de l'eau c'est-à-dire en changeant de milieu. Ainsi, on croit voir l'objet à un endroit où il n'est pas.



Bedford Level Experiment revisité : Laffrey Level Experiment

Présentation



L'idée de base de notre expérience est simple : recréer le Bedford Level Experiment avec les moyens du bord. M. Rowbotham en Angleterre plaçait une longue vue au bout du canal sur Terre, de manière à observer les rayons lumineux arrivant parallèlement à la Terre (si celle-ci est plate) ou tangentiellement à sa courbure (si elle est courbée). Ainsi, si courbure il y a, l'objet observé, en s'éloignant, sort du champ de

vision par le bas.

M. Rowbotham, voulant prouver que la Terre est ronde, s'attend à voir son petit bateau équipé d'un drapeau rouge disparaître entièrement selon ses calculs. Et pourtant, il continue à voir son bateau dans sa totalité sur tout le long du canal (long de 9km). Il en conclut que la Terre est plate.

Nous décidons donc de produire une expérience similaire, à l'aide non pas d'une longue vue mais d'un laser puissant, non pas canal Bedford mais du grand lac de Laffrey, et non pas d'un bateau à observer mais d'un écran pour le laser.

Calculs ante-expérience

Le laser doit être placé de manière à diffuser parfaitement parallèlement à la Terre si elle est plate et, le cas échéant, tangentiellement. L'écran, placé de l'autre côté du lac, à 2.5km, permettra de mesurer à quelle hauteur se trouve dorénavant le faisceau et en déduire la différence de hauteur d . Pour cela, il faut mesurer la hauteur de diffusion par rapport au lac h_{laser} , et la soustraire à la hauteur d'arrivée du faisceau sur l'écran $h_{écran}$. Nous postulons ici que l'eau du lac (étant donné sa taille relativement petite) épouse parfaitement la forme de la Terre en se répartissant (comme tout liquide), et nous n'avons ainsi pas de différence d'altitude à la surface de l'eau du lac des deux côtés du lac. On a :

$$|h_{laser} - h_{écran}| = d$$

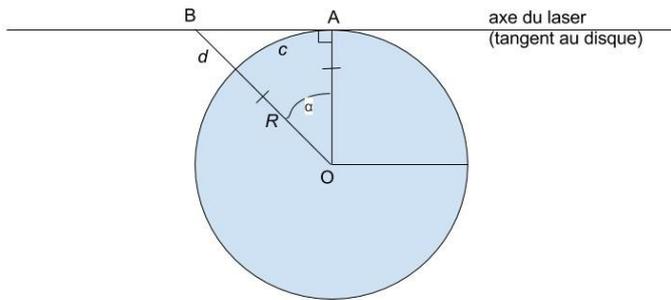
Dans des conditions parfaites (en précision également), on devrait avoir $d=0$ si la Terre est plate et $d \neq 0$ si elle ne l'est pas.

Pour les calculs qui suivront, on se placera dans le cas où la Terre est ronde.

Nous avons voulu calculer quelle serait la valeur de d en prenant pour rayon terrestre la valeur $R=6371\text{ km}$ proposé comme moyenne sur Wikipedia notamment.¹

On ne s'intéresse ici qu'au plan passant par la droite du laser et le centre de la Terre. On peut ainsi assimiler la Terre à un disque de rayon R . Ainsi, la longueur d'un arc c capté par un angle α en radians est donné par la relation $c=\alpha R \Leftrightarrow \alpha=\frac{c}{R}$.

On néglige l'altitude (1km) et la hauteur du laser par rapport au lac (en cm), valeurs epsilonesques en comparaison avec le rayon terrestre R .



AO est un rayon du disque de centre O

$$AO=R$$

$$c=2.5\text{ km}$$

En s'intéressant au triangle BAO rectangle en A, on peut établir la relation :

$$\cos\alpha=\frac{AO}{BO}$$

$$\text{Soit } \cos\alpha=\frac{R}{d+R} \Leftrightarrow d+R=\frac{R}{\cos\alpha} \Leftrightarrow d=\frac{R}{\cos\alpha}-R$$

$$\text{Or } \alpha=\frac{c}{R} \quad \text{donc} \quad d=\frac{R}{\cos\frac{c}{R}}-R$$

$$\text{On a } c=2.5\text{ km} \quad \text{et} \quad R=6371\text{ km}$$

$$\text{Donc } d=\frac{6371\text{ km}}{\cos\left(\frac{2.5\text{ km}}{6371\text{ km}}\right)}-6371\text{ km}=5.1 \times 10^{-4}\text{ km}=51\text{ cm}$$

Si la Terre est aussi courbée qu'on le dit, on devrait mesurer l'arrivée du faisceau 51cm plus bas que la hauteur de diffusion.

Pratique

Nous avons créés deux équipes pour réaliser l'expérience : une de chaque côté du lac. La première équipe disposait d'un laser puissant et d'un pied équipé d'un niveau à bulle centré (on postule ici que la technologie des niveaux à bulle fonctionne correctement). Elle possédait également un mètre pour mesurer la hauteur du laser par rapport au lac.

Joachim
concentré sur le
niveau à bulle.

Crédit
photos : Jules



Le laser est posé sur le trépied.
Entouré en vert, le niveau à bulle trop éclairé par le flash.

¹ Guam.discover-theworld.com

Le laser pointant la seconde équipe sur l'autre plage.



La seconde équipe, de l'autre côté du lac, était en possession d'un grand carton pour faire office d'écran, de feutres, et d'un mètre.



Rien qu'en observant ces photos, on peut voir que la méthode permettant de diffuser le rayon laser disposait d'une précision quasi nulle. Ainsi, un simple souffle pouvait nous permettre d'obtenir une Terre 2 fois trop courbée, ou 10 fois trop courbée, ou même concave. L'expérience ne fut donc pas concluante : on observe 1m d'écart entre la hauteur du rayon

Tanguy et Anaëlle réfléchissant à leur manière de procéder. Crédit photo : Morjane Sabri

diffusé et sa captation sur l'écran. Pour les raisons énoncées, ci-dessus ce résultat n'est pas exploitable.

De plus, même avec de la précision, ce n'aurait été qu'une réécriture de l'expérience de M. Rowbotham, et n'aurait pas permis de démontrer quoi que ce soit en terme de réfraction atmosphérique. C'est pourquoi nous avons décidé d'imaginer une troisième expérience.

La température de réfraction

Présentation

Nous allons ici proposer un procédé expérimentale qui visera à montrer un aspect de la réfraction atmosphérique. En effet, on nous propose deux éléments qui permettent de l'observer : la température et la pression atmosphérique.

L'idée est simple : on prend un grand et long récipient transparent à fond plat, rempli d'une hauteur de 20cm. On vise avec un laser la surface de l'eau de sorte à former un angle de 45° ($\frac{\pi}{4}rd$) à tour de rôle dans de l'eau très froide (sortant du frigo à $4-5^\circ C$) et de l'eau très chaude (bouillante à $100^\circ C$). On place une feuille de papier millimétrée sous le récipient. On suit la ligne où arrive le rayon et on note pour chaque température où est arrivé le rayon. Si la température influe sur l'angle de réfraction, on notera une différence.

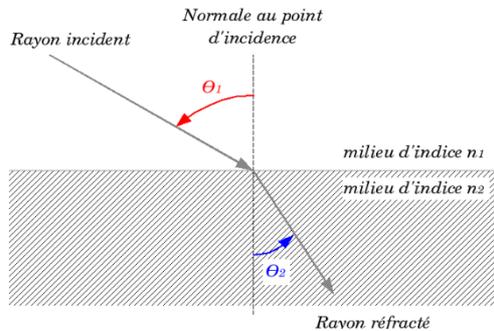
Calculs

On note les indices de réfraction donnés sur Wikipedia¹ :

On s'intéresse évidemment au domaine du visible donc aux longueurs d'ondes avoisinant 589,0nm. On note donc $n_0=1,33432$ et $n_{100}=1,31861$. On note également l'indice de réfraction dans l'atmosphère terrestre et à 20°C $n_1=1,000272$.

Indices de réfraction de l'eau pour trois longueurs d'onde^{n 10}, selon plusieurs températures¹⁵.

Température (°C)	Longueur d'onde		
	226,5 nm	589,0 nm	1 013,98 nm
0	1,39450	1,33432	1,32612
20	1,39336	1,33298	1,32524
50	1,38854	1,32937	1,32145
100	1,37547	1,31861	1,31114



On rappelle la loi de Snell-Descartes :

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

$$\text{Ainsi } n_1 \sin \frac{\pi}{4} = n_0 \sin \theta_0 \Rightarrow \frac{1,000272}{1,33432} \frac{\sqrt{2}}{2} = \sin \theta_0$$

$$\Rightarrow \theta_0 = 0,558697 \text{ rd}$$

Et de la même manière : $\theta_{100} = 0,566163 \text{ rd}$

Par trigonométrie, la hauteur en eau étant de 200 mm, on trouve le décalage d en mm entre les deux points d'arrivés des rayons réfractés sur le papier millimétré à 0°C et 100°C de la façon suivante :

$$d = |200 \tan \theta_0 - 200 \tan \theta_{100}|$$

$$d \approx 2 \text{ mm}$$

Conclusion

Les résultats de l'expérience de Rowbotham ont été interprétés à la hâte, sans essayer d'y voir une autre explication. Pourtant, Rowbotham, au départ persuadé que la Terre est ronde, est resté bon scientifique en acceptant de changer d'avis au vu de ses résultats. Bien-sûr, la réfraction expliquait mieux ses résultats qu'il ne l'a fait, mais il a travaillé en scientifique, et l'histoire de la science a une fois de plus contredit une conclusion précédente, conclusion qu'il était tout de même importante de formuler : car on ne décide pas le bon fonctionnement d'une expérience sur le fait qu'elle produit ce que l'on souhaitait.

Approfondir

Nous conseillons à ceux qui voudraient approfondir le sujet de lire le livre écrit par Rowbotham (ce que nous n'avons pas eu le temps de faire) afin de prendre totalement connaissance de sa façon de penser. En effet, nous avons étudiés les hypothèses suite à l'expérience de Rowbotham concernant son résultat (le drapeau est encore apparent), mais nous ne nous sommes pas attardés sur les réactions de l'auteur suite à sa surprise.

De plus, le Laffrey level experiment aurait mérité une stratégie de diffusion plus précise que celle que nous avons.

Pour finir, l'expérience sur la quantité de réfraction en fonction de la température est efficace et plutôt simple à réaliser, à partir du moment où l'on possède le récipient et

1 (en) Marvin J. Weber et al. (préf. Marvin J. Weber), Handbook of Optical Materials, CRC Press, 24 septembre 2002, 536 p.

le laser adapté (ce qui n'était pas notre cas, notre laser était trop puissant et aurait été éblouissant à cette échelle, et encore une fois peu précis).

Réalisé par :

Anaëlle Archinard, L1 Chimie - Biochimie

Tanguy Flatry, L1 Sciences de la Vie

Joachim Laurent, L1 Arts du Spectacle

Margaux Lavenant, L1 Sciences de la Vie

Morjane Sabri, L1 Sciences Humaines Appliquées

Avec les aimables interventions de :

Cyril Bernerd, professeur et chercheur en physique

Jules Bouleau (assistance dans une expérience)

Note ?

$\frac{15}{20}$