

**SUR LES HYPOTHÈSES RELATIVES A L'ÉTHÉR LUMINEUX.**

**Et sur une expérience qui paraît démontrer que le mouvement des corps change la vitesse avec laquelle la lumière se propage dans leur intérieur ;**

PAR M. H. FIZEAU.

Présenté à l'Académie des Sciences dans sa séance du 29 septembre 1851.

Plusieurs théories ont été proposées, pour rendre compte du phénomène de l'aberration de la lumière, dans le système des ondulations. Fresnel d'abord, et plus récemment MM. Doppler, Stokes, Challis et plusieurs autres, ont publié des travaux importants sur ce sujet ; mais il ne paraît pas qu'aucune des théories proposées ait reçu l'assentiment complet des physiciens. En l'absence de notions certaines sur les propriétés de l'éther lumineux et sur ses rapports avec la matière pondérable, il a fallu faire des hypothèses, et parmi celles qui ont été proposées, il en est de plus ou moins probables, mais aucune qui puisse être considérée comme démontrée.

Ces hypothèses peuvent se réduire à trois principales, et se rapportent à l'état dans lequel on doit considérer l'éther qui existe dans l'intérieur d'un corps transparent.

Ou l'éther est adhérent et comme fixé aux molécules du corps, et partage par conséquent les mouvements qui peuvent être imprimés à ce corps.

Ou bien l'éther est libre et indépendant, et n'est pas entraîné par le corps dans ses mouvements.

Ou enfin, par une troisième supposition qui participe de l'une et de l'autre, une portion seulement de l'éther serait

*Ann. de Chim. et de Phys.*, 3<sup>e</sup> série, t. LVII. (Décembre 1859.) 25

libre, l'autre portion serait fixée aux molécules du corps et partagerait seule ses mouvements.

Cette dernière hypothèse, que l'on doit à Fresnel, a été conçue dans le but de satisfaire à la fois au phénomène de l'aberration, et à une expérience célèbre de M. Arago, par laquelle il avait été démontré que le mouvement de la terre est sans influence sur la valeur de la réfraction que la lumière des étoiles subit dans un prisme. Ces deux phénomènes s'expliquaient ainsi avec une admirable précision; mais soit que la conception mécanique de Fresnel ait paru trop extraordinaire pour être admise sans des preuves plus directes, soit qu'il ait paru possible de satisfaire également aux phénomènes observés, par l'une des deux autres hypothèses, soit enfin, comme quelques physiciens l'ont pensé, que certaines conséquences de cette théorie aient paru contraires à l'expérience, il est certain que l'hypothèse de Fresnel n'est pas regardée aujourd'hui comme une vérité démontrée, et que les rapports de l'éther avec la matière pondérable sont encore considérés généralement comme incertains et très-obscur.

Les considérations suivantes m'ont conduit à tenter une expérience, dont le résultat me paraît devoir éclairer cette question.

On peut remarquer que dans les trois hypothèses que l'on vient de rapporter, si le corps est supposé en mouvement, la vitesse avec laquelle la lumière le traversera, pourra devenir différente de ce qu'elle serait dans l'état de repos, et pour chacune de ces hypothèses, l'influence du mouvement sur la vitesse de la lumière sera différente.

Ainsi, si l'on suppose que l'éther est entraîné avec le corps dans son mouvement, la vitesse de la lumière devra être augmentée de toute la vitesse du corps, le rayon étant supposé dirigé dans le sens du mouvement.

Si l'éther est supposé libre, la vitesse de la lumière ne sera nullement altérée.

Enfin si une partie seulement de l'éther est entraînée, la

vitesse de la lumière sera augmentée, mais d'une fraction seulement de la vitesse du corps et non pas de la totalité comme dans la première hypothèse. Cette conséquence n'est pas aussi évidente que les deux précédentes, mais Fresnel a fait voir qu'elle peut être appuyée sur des considérations mécaniques très-probables.

Ainsi, en supposant que l'on puisse constater exactement, quelle est la vitesse de la lumière dans un corps à l'état de repos, et lorsqu'il est en mouvement; on aura un résultat conforme à la première hypothèse, si la vitesse correspondante à l'état de repos, se trouve augmentée par l'effet du mouvement, de toute la vitesse du corps.

Si la vitesse est la même dans les deux cas, la seconde hypothèse sera satisfaite.

Si la vitesse correspondante à l'état de repos n'est augmentée que d'une fraction de la vitesse du corps, le résultat sera d'accord avec la troisième hypothèse.

Il est vrai que la lumière se propage avec une vitesse si grande, par rapport à celles que nous pouvons communiquer aux corps, que le changement de vitesse qui peut avoir lieu pour la lumière, est généralement trop faible pour être observable. Cependant il m'a paru possible, en réunissant les circonstances les plus favorables, de soumettre à une épreuve décisive deux milieux, l'air et l'eau, qui à cause de la mobilité de leurs parties, peuvent être facilement animés de grandes vitesses.

On doit à M. Arago une méthode d'observation, fondée sur les interférences, et qui est propre à mettre en évidence les plus petites variations dans les indices de réfraction des corps. MM. Arago et Fresnel ont montré la sensibilité extraordinaire de ce procédé, par plusieurs observations très-déliées, telles que celle de la différence de réfraction qui existe entre l'air sec et l'air humide.

Un mode d'observation fondé sur ce principe, m'a paru le seul qui permet de mettre en évidence les changements de

vitesse due au mouvement. Il consiste à produire des franges d'interférence avec deux rayons de lumière, après leur passage à travers deux tubes parallèles, dans lesquels de l'air ou de l'eau peut s'écouler avec une grande vitesse et dans des directions opposées. Le but spécial que je me proposais d'atteindre a nécessité plusieurs dispositions nouvelles que je vais indiquer.

Relativement à l'intensité de la lumière, on devait rencontrer des difficultés assez grandes. Les tubes, qui étaient en verre et d'un diamètre intérieur de  $5^{\text{mm}},3$ , devaient être parcourus par la lumière dans leur centre et non près des bords ; les deux fentes devaient donc être beaucoup plus éloignées qu'elles ne le sont d'ordinaire, et par suite l'intensité de la lumière eût été trop faible dans le point où les franges prennent naissance.

On a fait disparaître cet inconvénient en plaçant une lentille convergente derrière les deux fentes : on observait alors les franges au point de concours des deux rayons, où l'intensité de la lumière est très-considérable.

La longueur des tubes étant assez grande,  $1^{\text{m}},487$ , il était à craindre, que quelque différence de température ou de pression entre les deux tubes, donnât naissance à un déplacement considérable des franges, lequel aurait pu masquer complètement le déplacement dû au mouvement.

Cette difficulté a été évitée, en faisant revenir les deux rayons vers les tubes, au moyen d'une lunette portant un miroir à son foyer. De cette manière chaque rayon est obligé de traverser successivement les deux tubes, de sorte que les deux rayons ayant fait exactement le même trajet, mais en sens opposé, il en résulte que l'effet d'une différence de pression ou de température est nécessairement compensé. Je me suis assuré par plusieurs épreuves que la compensation est en effet complète, et quelque changement que l'on apporte à la densité ou à la température du milieu dans un seul des tubes, les franges conservent exactement

la même position. Dans cette disposition, les franges devaient être observées au point de départ même des rayons; la lumière solaire était admise latéralement et dirigée vers les tubes par une réflexion sur une glace transparente; après leur double trajet à travers les tubes, les rayons revenaient interférer un peu au delà de la glace qu'ils traversaient, et c'est là que l'on observait les franges, au moyen d'un oculaire portant des divisions.

Le double trajet des rayons, avait en outre l'avantage d'augmenter l'effet probable du mouvement; cet effet devait être ainsi le même que si les tubes avaient eu une longueur double.

Cette disposition permet aussi d'employer un moyen très-simple, pour rendre les franges plus larges qu'elles ne devaient l'être, avec la distance qui séparait les deux fentes (cette distance était de 9 millimètres). Ce moyen consiste à placer devant l'une des fentes une glace très-épaisse et inclinée de manière à faire paraître les deux fentes par l'effet de la réfraction, comme si elles étaient très-voisines l'une de l'autre; les franges sont alors aussi larges, que si les fentes étaient, en réalité, aussi rapprochées qu'elles le paraissent; et non-seulement l'intensité n'en est pas sensiblement diminuée, mais on peut même l'augmenter beaucoup en donnant plus de largeur à la source de lumière. En faisant varier l'inclinaison de la glace, on peut faire varier à volonté la largeur des franges, et leur donner ainsi la dimension la plus convenable, pour observer avec précision leur déplacement.

Je vais maintenant indiquer la disposition des tubes, et de l'appareil destiné à mettre l'eau en mouvement.

Les deux tubes, juxtaposés, étaient fermés à chaque extrémité par une seule glace, fixée avec de la gomme laque, dans une position bien perpendiculaire à la direction commune. Près de chaque extrémité, un embranchement formant un coude arrondi, établissait une communication avec un tube plus large plongeant au fond d'un flacon; il y avait par cou-

séquent quatre flacons, en communication avec les quatre extrémités des deux tubes.

Un flacon étant supposé plein d'eau, un tuyau de communication permettait d'y introduire de l'air comprimé, emprunté à un réservoir muni d'une pompe à air. Sous l'influence de la pression, l'eau s'élevait dans le tube, le traversait dans toute sa longueur, et se rendait dans le flacon opposé. Ce dernier pouvait recevoir à son tour de l'air comprimé, et le liquide revenait alors dans le premier flacon en parcourant le tube en sens contraire. On obtenait ainsi un courant d'eau, dont la vitesse a dépassé 7 mètres par seconde. Le même courant avait lieu simultanément dans les deux tubes, mais en sens opposé pour chacun d'eux.

L'observateur avait sous la main deux robinets fixés au réservoir à air : si c'était l'un quelconque des deux qui était ouvert, le mouvement de l'eau s'établissait à la fois dans les deux tubes ; si c'était l'autre, le sens du mouvement était interverti.

Le réservoir dans lequel l'air était ordinairement comprimé à deux atmosphères, avait une capacité de 15 litres ; celle des flacons était d'environ 2 litres ; ils étaient divisés en volumes égaux, et la vitesse de l'eau était déduite de la durée d'écoulement de  $\frac{1}{2}$  litre et de la section des tubes.

La disposition, dont je viens d'essayer de donner une idée, n'a été employée que pour faire l'expérience avec l'eau en mouvement ; pour l'air elle conviendrait également avec quelques modifications ; mais l'expérience avait été faite antérieurement, pour l'air en mouvement, avec un autre appareil un peu différent, dont je parlerai plus loin ; et le résultat avait été tout à fait concluant.

J'avais constaté, que *le mouvement de l'air, ne produit aucun déplacement sensible dans les franges*. Je reviens plus loin sur ce résultat avec plus de détails.

Pour l'eau, il y a un déplacement évident.

*Les franges sont déplacées vers la droite, lorsque l'eau*

*est chassée, en avant de l'observateur dans le tube situé à sa droite, et vers l'observateur dans le tube situé à sa gauche.*

*Les franges sont déplacées vers la gauche, lorsque le sens du courant dans chaque tube, a lieu dans une direction opposée à celle qui vient d'être définie.*

Pendant que l'eau est en mouvement, les franges conservent une grande netteté, elles se meuvent parallèlement à elles-mêmes et sans le moindre trouble d'une quantité sensiblement proportionnelle à la vitesse de l'eau. Avec une vitesse de 2 mètres par seconde, le déplacement est déjà bien sensible, avec des vitesses de 4 à 7 mètres il est parfaitement mesurable.

Une frange occupant cinq divisions du micromètre, le déplacement a été trouvé dans une expérience, de 1,2 division vers la droite, et de 1,2 division vers la gauche, la vitesse de l'eau étant de 7<sup>m</sup>,059 par seconde.

La somme des deux déplacements est de 2,4 divisions, c'est-à-dire  $\frac{1}{2}$  frange sensiblement.

Je dois dire, pour prévenir une objection qui pourrait être faite, que le système des deux tubes et des flacons dans lesquels s'opérait le mouvement de l'eau, était tout à fait isolé des autres parties de l'appareil; cette précaution a été prise, afin d'éviter que la pression et le choc de l'eau, ne puissent donner lieu à quelque flexion accidentelle dans certaines parties de l'appareil, dont les mouvements auraient pu influencer sur la position des franges. Je me suis assuré, en outre, que des mouvements imprimés à dessein au système des deux tubes, étaient sans influence sur la position des franges.

Après avoir constaté l'existence du phénomène, j'ai cherché à en déterminer la valeur avec toute l'exactitude qu'il était possible d'obtenir.

Afin d'éviter une cause d'erreur qui me paraissait devoir exercer une influence sur les résultats, j'ai fait varier le

grossissement des franges, la vitesse de l'eau, et même la nature des divisions du micromètre, de manière à observer des déplacements différents et dont je ne pouvais pas présumer d'avance la valeur. En effet, dans la mesure de petites quantités où l'estime devait avoir une grande part, il y avait à redouter surtout l'influence de la préoccupation ; je pense que le résultat que j'ai obtenu, doit être tout à fait à l'abri de cette cause d'erreur.

Les observations ont été faites, le plus souvent avec la vitesse de  $7^m,059$  par seconde, un certain nombre avec la vitesse de  $5^m,515$ , quelques-unes avec la vitesse de  $3^m,7$ . Les valeurs observées ont été toutes ramenées à la vitesse maximum  $7^m,059$  et rapportées à la largeur d'une frange prise pour unité.

Valeurs du déplacement des franges pour une vitesse moyenne de l'eau égale à $7^m,059$ en une seconde.	Différences entre les valeurs observées et la valeur moyenne.
0,200	— 0,030
0,220	— 0,010
0,240	+ 0,010
0,167	— 0,063
0,171	— 0,059
0,225	— 0,005
0,247	+ 0,017
0,225	— 0,005
0,214	— 0,016
0,230	0,000
0,224	— 0,006
0,247	+ 0,017
0,224	— 0,006
0,307	+ 0,077
0,307	+ 0,077
0,256	+ 0,026
0,240	+ 0,010
0,240	+ 0,010
0,189	— 0,041
Somme... <u>4,373</u>	
Moyenne... 0,23016	

En doublant la valeur moyenne, on a 0,46, très-voisin de la moitié d'une frange, et qui représente la valeur du déplacement qui se produit, lorsqu'on vient à renverser le sens du courant dans les tubes.

On a joint aux valeurs données par l'observation, la différence entre ces valeurs et la valeur moyenne, afin de mettre en évidence les écarts de part et d'autre de la moyenne. On voit qu'ils représentent généralement une fraction insensible de la largeur d'une frange; l'écart le plus grand ne dépasse pas  $\frac{1}{13}$  de frange.

Une difficulté qu'il n'a pas été possible d'éviter, permet d'expliquer ces différences; le maximum de déplacement n'avait lieu que pendant un temps assez court, et par suite les observations devaient être faites rapidement. S'il eût été possible de maintenir le courant d'eau avec une vitesse constante pendant un temps plus long, les mesures auraient été plus précises, mais cela n'a pas paru possible sans apporter à l'appareil des changements considérables; et de tels changements auraient retardé l'achèvement de ce travail, jusqu'à une époque de l'année où les expériences qui exigent l'emploi de la lumière solaire deviennent presque inexécutables.

Je vais maintenant comparer la valeur trouvée pour le déplacement des franges, avec celle qui résulterait de chacune des hypothèses en question.

Et d'abord, il suffit que les franges soient déplacées d'une quantité quelconque, par le mouvement de l'eau, pour exclure la supposition de l'éther entièrement libre et indépendant du mouvement des corps.

Il faut maintenant calculer, quel devrait être le déplacement des franges, dans la supposition où l'éther serait uni aux molécules des corps, de manière à partager leurs mouvements.

$\nu$  étant la vitesse de la lumière dans le vide,

$\nu'$  la vitesse de la lumière dans l'eau, à l'état de repos,

$u$  la vitesse de l'eau supposée parallèle à la direction des rayons,

La vitesse de la lumière dans l'eau, lorsque ce liquide sera en mouvement, deviendra pour les deux rayons,

$$v' + u \quad \text{et} \quad v' - u,$$

le mouvement ayant lieu en sens opposé relativement à chacun des rayons.

Si l'on appelle  $\Delta$  la différence de marche cherchée,  $E$  la longueur de la colonne d'eau traversée par les rayons, on trouve par les principes démontrés dans la théorie des interférences,

$$\Delta = E \left( \frac{v}{v' - u} - \frac{v}{v' + u} \right),$$

ou bien,

$$\Delta = 2E \frac{u}{v} \left( \frac{v^2}{v'^2 - u^2} \right).$$

$u$  étant très-petit par rapport à  $v'$ ,  $\left( \frac{u}{v'} = \frac{1}{33\,000\,000} \right)$ , cette expression peut être réduite sans erreur sensible à la suivante :

$$2E \frac{u}{v} \frac{v^2}{v'^2}.$$

$m$  étant l'indice de réfraction de l'eau  $= \frac{v}{v'}$ , on a la formule approchée,

$$\Delta = 2E \frac{u}{v} m^2.$$

Chaque rayon traversant deux fois les tubes, la longueur traversée  $E$  est double de la longueur réelle des tubes. En appelant  $L$  cette quantité qui est égale à  $1^m,4875$ , la formule précédente devient

$$\Delta = 4L \frac{u}{v} m^2.$$

En effectuant le calcul numérique, on trouve

$$\Delta = 0^{\text{mm}},0002418.$$

Telle est la différence de marche, qui devrait exister entre les deux rayons, dans cette hypothèse.

Ce nombre se rapporte en réalité au vide, pour être rapporté à l'air il devrait être divisé par l'indice de réfraction de ce milieu ; mais cet indice a une valeur si faible, que l'on peut, pour simplifier, négliger la transformation sans commettre une erreur d'une unité sur le dernier chiffre.

En divisant cette quantité par la longueur d'une ondulation, on aura la valeur du déplacement des franges, en fonction de la largeur d'une frange. En effet, pour une différence de marche de 1, 2, 3,  $m$  ondulations, le système des franges est déplacé de 1, 2, 3,  $m$  franges.

Pour la raie E, la longueur d'ondulation  $\lambda = 0,000526$ , ce sont les rayons qui paraissent conserver la plus grande intensité, lorsque la lumière traverse une épaisseur d'eau un peu considérable.

On trouve enfin pour le déplacement des franges,

$$\frac{\Delta}{\lambda} = 0,4597.$$

Si donc, conformément à l'hypothèse en question, l'éther était mis en mouvement avec une vitesse égale à celle de l'eau, on aurait dû dans l'expérience précédente observer un déplacement de 0,46 franges.

Or la moyenne des observations a seulement donné 0,23 et en examinant les valeurs particulières les plus élevées au-dessus de la moyenne, on voit qu'aucune d'entre elles n'approche du nombre 0,46. Je dois même ajouter que ce nombre devrait être encore plus fort par l'effet d'une petite erreur dans l'évaluation de la vitesse de l'eau, erreur dont le sens est connu, comme on le verra plus loin, mais qu'il n'a pas été possible de corriger d'une manière exacte.

Il est évident que cette hypothèse est en désaccord avec l'expérience.

On va voir au contraire que la troisième hypothèse, celle qui est due à Fresnel, conduit à une valeur du déplacement, bien peu différente du résultat de l'observation.

On sait que le phénomène ordinaire de la réfraction, est dû à ce que la lumière se propage avec moins de vitesse dans l'intérieur des corps que dans le vide. Fresnel admet que le changement de vitesse a lieu, parce que l'éther possède une densité plus grande dans l'intérieur des corps que dans le vide. Or pour deux milieux, dont l'élasticité est la même et qui ne diffèrent que par leurs densités, les carrés des vitesses de propagation sont en raison inverse des densités; on aura donc,

$$\frac{D'}{D} = \frac{v^2}{v'^2}.$$

D et D' étant les densités de l'éther, dans le vide et dans le corps, v et v' les vitesses de propagation correspondantes; par conséquent,

$$D' = D \frac{v^2}{v'^2} \quad \text{et} \quad D' - D = D \frac{v^2 - v'^2}{v'^2}.$$

Cette dernière expression donne l'excès de densité de l'éther intérieur.

Si le corps est mis en mouvement, on admet qu'une partie seulement de l'éther intérieur est entraînée, et que cette partie est celle qui constitue l'excès de sa densité sur l'éther environnant, la densité de cette partie mobile est donc D' - D. L'autre partie, qui reste immobile pendant le mouvement, a une densité égale à D.

Quelle doit être maintenant la vitesse de propagation des ondes dans un milieu ainsi constitué d'une partie en mouvement et d'une partie immobile, en supposant, pour plus de simplicité, que le corps se meuve dans le sens de la propagation des ondes?

Fresnel considère la vitesse que prend alors le centre de

gravité du système, comme s'ajoutant à la vitesse de propagation des ondes.

$u$  étant la vitesse du corps,  $u \left( \frac{D' - D}{D'} \right)$  sera la vitesse du centre de gravité du système, et, d'après ce qui précède, cette expression sera égale à

$$u \left( \frac{v^2 - v'^2}{v^2} \right).$$

Telle est la quantité dont la vitesse de propagation des ondes devra être augmentée.

Ainsi la vitesse de propagation étant  $v'$  dans l'état de repos, on aura pour le mouvement

$$v' \pm u \left( \frac{v^2 - v'^2}{v^2} \right).$$

Je vais maintenant calculer au moyen de cette expression, le déplacement des franges qui devait s'observer, dans l'expérience en question.

En employant les mêmes notations que précédemment, la vitesse de propagation dans l'eau en mouvement étant, pour chacun des deux rayons qui doivent interférer, l'une des valeurs exprimées par la formule précédente, la différence de marche sera

$$\Delta = E \left[ \frac{v}{v' - u \left( \frac{v^2 - v'^2}{v^2} \right)} - \frac{v}{v' + u \left( \frac{v^2 - v'^2}{v^2} \right)} \right];$$

en effectuant les calculs et faisant quelques transformations, on trouve

$$\Delta = 2 E \frac{u}{v} \left[ \frac{v^2 - v'^2}{v'^2 - u^2 \left( \frac{v^2 - v'^2}{v^2} \right)^2} \right].$$

Cette expression peut être simplifiée en considérant que  $u$  est très-petit par rapport à  $v'$ ,  $\left( \frac{u}{v'} = \frac{1}{33\,000\,000} \right)$ , et que le

coefficient de  $u^2$  reste toujours plus petit que l'unité, ce qui permet de négliger sans erreur sensible le terme en  $u^3$ ;  $m$  étant l'indice de réfraction,  $E$  égal à deux fois la longueur  $L$  des tubes, on a enfin la formule approchée

$$\Delta = 4L \frac{u}{v} (m^2 - 1),$$

ou, en effectuant le calcul numérique, on trouve

$$\Delta = 0^{\text{mm}}, 000 106 34.$$

C'est la différence de marche, que le mouvement de l'eau établit entre les deux rayons qui doivent interférer. En divisant par la longueur d'une ondulation  $\lambda$ , on a le déplacement des franges

$$\frac{\Delta}{\lambda} = 0, 2022 ;$$

l'observation a donné 0, 23.

Ces deux valeurs sont presque identiques, et de plus je vais faire voir, que la différence entre l'observation et le calcul, s'explique avec une grande probabilité par une erreur dans l'évaluation de la vitesse de l'eau, erreur dont il est facile d'assigner le sens, et dont l'analogie permet seulement de soupçonner la valeur, qui doit être assez faible.

On a calculé en effet la vitesse de l'eau dans chaque tube, en divisant par la section du tube le volume de l'eau écoulee en une seconde. On a de cette manière la vitesse moyenne de l'eau, celle qui existerait en effet, si le mouvement des filets liquides était aussi rapide dans toute la largeur du tube, au centre ou près des bords. Le raisonnement montre qu'il n'en saurait être ainsi, et que la résistance éprouvée par le liquide le long des parois, agissant d'une manière plus immédiate sur les couches voisines, tend à diminuer leur vitesse relativement à celle des couches de plus en plus rapprochées du centre. Il suit de là, que la vitesse est en réalité différente pour les filets liquides inégalement éloignés des parois, et

qu'elle est plus grande au centre que près des bords. C'est une valeur intermédiaire entre ces vitesses différentes, que l'on obtient par le calcul, mais vers le centre la vitesse doit être en réalité plus grande que la vitesse moyenne, et plus faible qu'elle vers les bords.

Or les fentes, placées devant chaque tube pour admettre les rayons qui doivent interférer, étaient situées au milieu de l'extrémité circulaire des tubes, de sorte que les rayons traversaient les zones centrales, celles pour lesquelles la vitesse de l'eau devait surpasser la vitesse moyenne (chaque fente avait la forme d'un rectangle de 3 millimètres sur 1<sup>mm</sup>, 5 et sa surface était  $\frac{1}{5}$  de la section du tube).

La loi que suivent ces variations de vitesse n'a pas été déterminée pour le mouvement de l'eau dans les tuyaux, de sorte qu'il n'a pas été possible d'introduire la correction nécessaire. Cependant l'analogie indique que l'erreur qui en peut résulter ne doit pas être considérable. En effet cette loi a été déterminée pour l'écoulement de l'eau dans les canaux ouverts; dans ce cas la même cause produit un effet semblable, et l'on observe au milieu du canal près de la surface de l'eau une vitesse plus grande que la vitesse moyenne. On a trouvé, pour des valeurs de cette dernière comprises entre 1 mètre et 5 mètres en une seconde, que la vitesse maximum s'obtient en multipliant la vitesse moyenne par un certain coefficient qui varie de 1,23 à 1,11, l'analogie permet de supposer que la correction à introduire serait de cet ordre de grandeur.

Or en multipliant  $u$  par 1,1, 1,15 et par 1,2 et calculant le déplacement des franges correspondant, on trouve, au lieu de 0,20, les valeurs 0,22, 0,23 et 0,24; on voit que la correction tend, selon toutes les probabilités, à rapprocher encore le résultat calculé du résultat observé. Il est donc présumable, que la faible différence qui existe entre les deux valeurs, dépend d'une petite erreur sur la vitesse réelle de

l'eau, erreur que l'on ne peut pas corriger d'une manière satisfaisante, faute de données suffisamment précises.

Ainsi, le déplacement des franges par l'effet du mouvement de l'eau, et la quantité dont elles se déplacent, s'expliquent d'une manière satisfaisante au moyen de la théorie proposée par Fresnel.

J'ai dit précédemment que lorsque les rayons traversent l'air au lieu de traverser l'eau, on n'observe aucun déplacement des franges par l'effet du mouvement de l'air. Ce fait a été constaté au moyen d'un appareil dont je vais dire quelques mots.

Un soufflet, chargé de poids et mû par un levier, chassait l'air avec force à travers deux tubes en cuivre fermés par des glaces à leurs extrémités; le mouvement de l'air avait lieu en sens contraire pour chacun d'eux. Ces tubes avaient une longueur effective de 1<sup>m</sup>,495 et un diamètre de 1 centimètre; la pression, sous laquelle l'écoulement avait lieu, était mesurée par un manomètre placé à l'entrée des tubes; elle pouvait s'élever à 3 centimètres de mercure.

La vitesse de l'air était déduite de la pression et des dimensions des tubes d'après les lois connues de l'écoulement des gaz. La valeur trouvée était contrôlée au moyen de la capacité connue du soufflet, et de la rapidité des mouvements qu'il fallait lui imprimer, pour produire à l'entrée des tubes une pression sensiblement constante. On parvenait à obtenir facilement une vitesse de l'air de 25 mètres par seconde, et exceptionnellement des vitesses plus considérables, mais dont la valeur est restée incertaine.

Or dans aucune expérience on n'a pu apercevoir de déplacement sensible des franges, elles occupent toujours la même position, soit que l'air reste immobile dans les tubes, soit qu'il se meuve avec une vitesse de 25 mètres par seconde et plus encore.

Lorsque cette expérience a été faite, je n'avais pas encore pensé à la possibilité d'employer la lunette réfléchissante,

au moyen de laquelle il a été permis de doubler la valeur des déplacements, en compensant d'une manière complète les effets dus à des différences accidentelles de température ou de pression dans les deux tubes. Mais j'employais un moyen sûr de distinguer les effets dus au mouvement, des effets accidentels qui pouvaient se produire.

Ce moyen consistait à faire deux observations successives en faisant marcher dans l'appareil les rayons suivant des directions opposées. Pour cela, on plaçait la source de lumière dans le point où la frange centrale venait se former précédemment, et les nouvelles franges allaient se former au point même où la source de lumière était auparavant.

Le sens du mouvement de l'air dans les tubes restant le même dans les deux cas, il est facile de voir que les effets accidentels devaient donner lieu à un déplacement du côté du même tube dans l'une et dans l'autre observation, tandis que le déplacement dû au mouvement devait avoir lieu, d'abord du côté d'un des tubes, ensuite du côté du tube opposé. De cette manière un déplacement dû au mouvement aurait été reconnu avec certitude, quand même il aurait été accompagné d'un déplacement accidentel, dû notamment à quelque défaut de symétrie dans les diamètres ou les orifices des tubes, d'où serait résulté, une résistance inégale au passage du gaz et par suite une différence de densité.

Mais on était parvenu à donner à l'appareil une symétrie telle, qu'il n'y avait pas de différence de densité sensible dans les deux tubes pendant l'écoulement de l'air. Ainsi la double observation n'était pas absolument nécessaire. Elle a cependant été faite pour plus de sûreté, et dans la crainte que le déplacement cherché ne se trouvât compensé accidentellement par une petite différence de densité qui l'eût masqué en totalité.

Malgré ces précautions, on a constamment trouvé qu'il n'y avait aucun déplacement des franges par l'effet du mouvement de l'air.

J'estime que si un déplacement égal à  $\frac{1}{10}$  de frange s'était produit par l'effet du mouvement de l'air, on aurait dû l'apercevoir.

Voici maintenant les calculs relatifs à cette expérience :

Dans l'hypothèse où l'éther serait entraîné en totalité par l'air en mouvement, on a

$$\Delta = 2L \frac{u}{v} m^2 = 0^{\text{mm}},0002413,$$

$m^2$  étant 1,000567 à la température de 10 degrés.

L'expérience étant faite dans l'air, le maximum d'éclairement a lieu par les rayons jaunes, et c'est ce maximum qui détermine la largeur des franges ; il convient donc de prendre pour  $\lambda$  la valeur correspondante à la raie D. On a ainsi

$$\frac{\Delta}{\lambda} = 0,4103.$$

Or un déplacement semblable, lequel pouvait être doublé en renversant le sens du courant, n'aurait certainement pas pu échapper à l'observation.

Voici maintenant le résultat du calcul, dans l'hypothèse de Fresnel :

$$\Delta = 2L \frac{u}{v} (m^2 - 1) = 0,0000001367,$$

$$\frac{\Delta}{\lambda} = 0,0002325.$$

Or un déplacement égal à  $\frac{1}{10000}$  parties de la largeur d'une frange est nul pour l'observation, il aurait pu être 100 fois plus grand sans être encore observable. Ainsi la théorie de Fresnel, permet d'expliquer l'immobilité apparente des franges dans l'expérience faite avec l'air en mouvement ; le déplacement des franges ne serait pas nul en réalité, mais tellement faible, qu'il ne saurait être aperçu.

C'est après avoir constaté ce fait négatif, et en cherchant

à l'expliquer dans les diverses hypothèses relatives à l'éther; de manière à satisfaire en même temps au phénomène de l'aberration et à l'expérience de M. Arago, qu'il m'a paru nécessaire d'admettre avec Fresnel que le mouvement des corps donne lieu à un changement dans la vitesse de la lumière, mais que ce changement de vitesse est plus ou moins grand pour les différents milieux suivant l'énergie avec laquelle ces milieux réfractent la lumière, en sorte qu'il est considérable dans les corps très-réfringents et très-faible dans ceux qui réfractent peu, comme l'air.

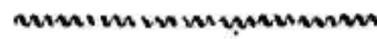
Il résultait de là que si les franges n'étaient pas déplacées lorsque la lumière traversait l'air en mouvement, on devait au contraire avoir un déplacement sensible en faisant l'expérience avec l'eau, dont l'indice de réfraction est beaucoup plus considérable que celui de l'air.

Une expérience due à M. Babinet, et mentionnée dans le tome IX des *Comptes rendus* de l'Académie, paraissait en contradiction avec l'hypothèse d'un changement de la vitesse conforme à la loi de Fresnel. Mais en considérant les circonstances de cette expérience, j'ai remarqué l'existence d'une cause de compensation qui devait rendre insensible l'effet dû au mouvement. Cette cause réside dans la réflexion que la lumière subissait dans cette expérience. En effet, on peut démontrer que lorsque deux rayons ont entre eux une certaine différence de marche, cette différence est altérée par l'effet de la réflexion sur un miroir en mouvement. Or en calculant séparément les deux effets dans l'expérience de M. Babinet, on trouve qu'ils ont des valeurs sensiblement égales et de signes contraires.

Cette explication rendait encore plus probable l'hypothèse du changement de vitesse, et une expérience faite dans l'eau en mouvement m'a paru tout à fait propre à décider la question avec certitude.

Le succès de cette expérience me semble devoir entraîner l'adoption de l'hypothèse de Fresnel, ou du moins de la loi

qu'il a trouvée, pour exprimer le changement de la vitesse de la lumière par l'effet du mouvement des corps ; car bien que, cette loi se trouvant véritable, cela soit une preuve très-forte en faveur de l'hypothèse dont elle n'est qu'une conséquence, peut-être la conception de Fresnel paraîtra si extraordinaire et sous quelques rapports si difficile à admettre, que l'on exigera d'autres preuves encore et un examen approfondi de la part des géomètres, avant de l'adopter comme l'expression de la réalité des choses.



### ÉTUDE SUR LA COMPOSITION DE QUELQUES ESSENCES ;

PAR M. A. LALLEMAND.



Il y a déjà quelques années, M. Biot a bien voulu me confier l'examen de deux produits végétaux, dont l'un, l'huile du *Dryabalanops camphora*, avait été recueilli par le docteur hollandais Junghun dans un voyage au nord-ouest de l'île de Sumatra ; l'autre, déjà connu sous le nom d'huile de camphre, est extrait du *Laurus camphora*, qui fournit en même temps le camphre du Japon. Les résultats auxquels je suis arrivé diffèrent de ceux qui sont consignés depuis longtemps dans les ouvrages de chimie, ce qui rend très-probable la supposition que le produit analysé par M. Pelouze sous le nom d'essence de Bornéo ne provenait pas du *Dryabalanops camphora*, et avait sans doute une autre origine.

Le camphrier de Sumatra, que les indigènes appellent *capura*, et auquel les botanistes ont donné le nom de *Dryabalanops camphora*, est un végétal de la famille des Diptérocarpées, voisine des Guttifères. C'est le plus grand arbre de l'archipel Malaisien. Sa hauteur atteint