Zeitschrift: Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Herausgeber: Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Band: 42 (1906)
Heft: 155

Artikel: L'œuvre astronomique de Charles Dufour
Autor: Ansermet, E.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-267843

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

L'ŒUVRE ASTRONOMIQUE DE CHARLES DUFOUR

PAR

E. ANSERMET

ABRÉVIATIONS. — *Bulletin* de la Société vaudoise des sciences naturelles (Lausanne). — A. S. H. *Actes* de la Société helvétique des sciences naturelles. — A. G. *Archives* des sciences physiques et naturelles (Genève). — C. R. *Comptes Rendus* de l'Académie des sciences de Paris.

Résumer une série de mémoires qui sont déjà les résumés de longs travaux, — descriptions sobres d'expériences souvent renouvelées, discussions ou démonstrations concises d'hypothèses étudiées longuement — est chose délicate et pleine de périls auxquels l'auteur de ces lignes ne pouvait opposer qu'une science incertaine et sans expérience. Aussi ne s'illusionne-t-il point sur les lacunes et les défauts de son travail. Il s'est borné d'ailleurs à analyser, parmi les œuvres de Charles Dufour, celles-là seulement qui touchent à l'astronomie, laissant à d'autres le soin de faire connaître ses études de physique et de météorologie.

Aussi souvent que possible, il a introduit dans son résumé des citations littérales, où l'on appréciera une clarté et une rigueur de raisonnement toutes mathématiques, en même temps qu'un style correct sans sécheresse et expressif avec bonhomie. Mais il voudrait surtout que chez quelques lecteurs de cet aperçu naquît le désir de connaître dans le texte l'ensemble des œuvres de Charles Dufour. Elles ne sont point très volumineuses. Et il n'est peut-être pas chimérique d'espérer que telle de ces théories trop promptement oubliées attirera l'attention d'un de ces jeunes astronomes auxquels Charles Dufour faisait appel, et lui montrera sa voie.

I. Calcul et observations des éclipses de soleil.[1]

Le principe essentiel du premier travail de Charles Dufour ne saurait être indiqué plus exactement que par le résumé qu'il en fit pour l'Académie des sciences de Paris[2].

« Je considère, dit-il, un cylindre tangent à la lune, formé par les rayons de l'astre occulté. De cette manière, un lieu quelconque apercevra le phénomène d'occultation à l'instant où il pénétrera dans ce cylindre qu'on suppose prolongé derrière la lune. Or, ce cylindre d'ombre dont le diamètre est le diamètre de la lune, se meut avec cet astre. Je recherche maintenant par les formules de la géométrie analytique, l'instant où entre dans le cylindre mobile le lieu que l'on considère sur la surface du globe, en observant que ce lieu est aussi affecté d'un mouvement autour de l'axe de la terre. Il est clair que l'instant où le point sort du cylindre, correspondant à l'émersion, peut se calculer de la même manière. Cependant, pour simplifier les calculs, je fais subir quelques modifications à nos formules primitives, ce qui oblige alors à faire deux ou trois opérations successives pour avoir un haut degré d'exactitude, comme cela arrive dans la plupart des calculs astronomiques. Aussi dans la deuxième partie de mon mémoire, je recherche quelles sont les erreurs maxima qui peuvent être faites par la première opération, et je montre que dans tous les cas, elles sont peu considérables. »

*
* *

En observant, à Orbe, un peu avant le lever du soleil, les régions du ciel où cet astre allait paraître, Charles Du-

[1] Il est entendu que toutes les citations sans nom d'auteur sont tirées des mémoires de Ch. Dufour.

[2] *Nouvelle méthode pour calculer les éclipses de soleil et les occultations d'étoiles par la lune.* B. S. V. III, Lausanne, 1849. — C. R. XXXIII, 1851.

four fut frappé des phénomènes singuliers qui devenaient visibles à cet instant.

Le 3 mars 1851, en particulier, à 6 h. 50 du matin, les Alpes bernoises « présentaient un si beau profil » qu'il lui prit envie de les observer au télescope. « C'est alors qu'au lieu de voir, comme je m'y attendais, une image amplifiée des montagne, je distinguai très bien, à côté de la sommité derrière laquelle le soleil était caché, une image faible, mais pourtant bien apparente et bien distincte, des arêtes de cette même sommité.» [1] Il se passait là évidemment un phénomène de mirage, curieux cependant par ce fait que l'image, au lieu d'être symétrique à l'objet lui-même, était dans une position semblable. Le mirage était dû au fait que la température des couches d'air allait en augmentant, de celles placées dans l'ombre de la montagne jusqu'aux couches extérieures, éclairées et réchauffées par le soleil levant. Et comme la réflexion totale avait lieu, non pas sur un plan, mais sur une surface cylindrique tangente au contour de la montagne, séparant les régions déjà chaudes et éclairées des régions encore froides et obscures, l'image devait bien être « sensiblement parallèle à l'objet lui-même, située un peu en dehors, et semblablement placée. »

L'analogie était frappante entre le phénomène constaté à Orbe et certaines apparences curieuses que l'on peut observer dans les éclipses totales de soleil, comme les couronnes lumineuses qui entourent la lune. Faye, qui avait attribué ces apparences à des phénomènes de mirage, et qui était en discussion à ce sujet avec divers savants étrangers, vit dans l'observation de Ch. Dufour une éclatante confirmation de sa théorie. En effet, comme les montagnes derrière lesquelles se lève le soleil, la lune

[1] *Sur les principaux phénomènes optiques qui accompagnent le lever du soleil.* A. S. H. Sion 1852.

dans ses éclipses projette derrière elle un cône d'ombre ; et un mirage doit se produire ici, comme nous l'avons vu se produire là.

La remarque de Faye encouragea Ch. Dufour à observer le lever du soleil, « pour tâcher d'y constater les autres phénomènes qui accompagnent les éclipses totales ». Mais le temps brumeux, puis une longue période pendant laquelle le soleil se levait derrière la plaine, entravèrent ses recherches. Le 19 janvier 1852 cependant, il put, non seulement revoir avec la même netteté que la première fois le mirage direct, mais encore constater un nouveau phénomène, observable aussi dans les éclipses de soleil, quelques secondes avant la totalité et quelques secondes après. Il avait été étudié en particulier par Arago et ses amis, à Perpignan, le 8 juillet 1842.

« A l'instant où le premier rayon de soleil apparaissait, dit Charles Dufour, je vis distinctement cet astre scintiller comme une étoile de première grandeur, et immédiatement je vis sur le fond de ma chambre se mouvoir des espèces de vagues alternativement sombres et lumineuses. » Or, s'il est vrai, comme le croit Arago, que la scintillation est une conséquence nécessaire du mouvement de la lumière dans l'air quand le corps lumineux paraît sous un angle très petit, on comprend que les étoiles scintillent ; on comprend qu'une boule de clocher, par exemple, vue à une grande distance, scintille ; on comprend que le soleil, au moment où il va être éclipsé par la lune et pendant quelques secondes après son émersion, scintille — il se présente alors comme un croissant extrêmement délié ; — et l'on comprend, pour les mêmes raisons, que ce phénomène se soit manifesté à l'instant du lever du soleil.

D'une manière générale, maintenant, ne serait-il pas intéressant et éminemment utile de voir si le lever du soleil ne peut pas, dans certaines limites, produire les mêmes

apparences que les éclipses de soleil — que l'on observe si rarement ? [1]

Cette idée n'était pas absolument nouvelle. En 1715, MM. de l'Isle et Lahire avaient cherché à produire une éclipse artificielle, en interposant un corps opaque entre le soleil et eux. Mais on voit « la témérité qu'il y avait à assimiler un corps opaque situé dans l'air à deux ou trois mètres de distance, à la lune qui se meut dans le vide à une distance de 380,000 km. ». En choisissant pour corps opaque des montagnes souvent fort élevées et éloignées, dont le sommet se trouve par conséquent dans une atmosphère déjà raréfiée, on se rapproche davantage des circonstances naturelles.

Les observations des phénomènes indiqués, faites lors de l'éclipse du 28 juillet 1851, ont présenté entre elles des différences telles, qu'il semble bien qu'on doive les attribuer à des illusions d'optique. Or, « signaler une illusion d'optique aux personnes qui s'occupent de physique et d'astronomie, c'est leur rendre le même service que de signaler aux marins un écueil caché sous les eaux. » Et c'est pourquoi il était utile d'appeler sur ces faits l'attention des observateurs suisses, si admirablement placés pour voir ces phénomènes.

---

[1] Parmi ces apparences, que dernièrement encore, M. Bigourdan, de l'Institut, recommandait à l'attention des observateurs (*Les éclipses de soleil*, Paris, Gauthier-Villars, 1905), signalons les couleurs vives et parfois les irisations que prennent le ciel et les nuages au voisinage des deuxième et troisième contacts, les lueurs serpentantes ou instantanées, ou les points lumineux, remarqués par le chevalier de Louville (1715), Halley, Ulloa (1778), Valz (1842). Il serait intéressant, en particulier, de compléter l'étude de Ch. Dufour sur les « vagues » d'ombre et de lumière, vues par Arago à Perpignan, qui présentent parfois des colorations curieuses, et qui prennent la forme d'ovales irréguliers (Alger, 1900) ; M. F.-H Bigelow les étudie en détail dans *Eclipse meteorology and Allied Problems* (Washington, 1902). Il faudrait noter alors, dit M. Bigourdan, « avec la force et la direction du vent, la forme, les dimensions, la vitesse des bandes, et la direction de leur mouvement ».

II. Les images de réflexion à la surface du lac Léman.

On sait, depuis les substantiels travaux de Louis et Charles Dufour et plus tard de M. F.-A. Forel, quels abondants et intéressants phénomènes optiques le lac Léman permet d'étudier. Souvent les riverains vaudois croient pouvoir assurer que le lac est calme en Savoie tandis qu'il est agité chez eux, parce qu'ils voient les maisons de la rive opposée se réfléchir à la surface de l'eau. Charles Dufour put montrer que dans ce cas, comme dans beaucoup d'autres, les observateurs prennent pour une réflexion ce qui n'est qu'un phénomène de mirage[1]. D'une manière générale, « quand l'œil est peu élevé au-dessus de l'eau et que l'on regarde des objets éloignés qui sont aussi à une hauteur peu considérable », on peut être certain que l'image de ces objets provient d'un mirage et non d'une réflexion sur l'eau ; car la surface du lac forme un miroir convexe, et cette convexité est suffisante pour altérer jusqu'à la rendre méconnaissable l'image qui pourrait s'y former.

On peut se rendre compte de la déformation des images de réflexion par le calcul suivant :

Soit C le centre de la terre, B la position du point dont on veut rechercher l'image, A celle de l'œil, et S le point de la surface de l'eau où se fait la réflexion. Pour déterminer la position de l'image S, menons par ce point la tangente M N. On désignera par h la hauteur A O de l'œil au-dessus de la surface de l'eau ; par h' la hauteur B O', au-dessus du même niveau, de l'objet que l'on regarde ; par r le rayon terrestre CO ou CO' ; par $2\ d$ la

[1] Pour les divers travaux sur les *mirages du lac Léman*, publiés par Ch. Dufour, soit seul, soit avec la collaboration de son frère Louis Dufour, voir le B. S. V. 1854, 1855 et 1874.

distance M N — que l'on pourra mesurer pratiquement par la distance O O'. Si l'on désigne encore les quantités inconnues N O, M O' et S I (I est le point milieu de M N) respectivement par x, x' et z, on peut établir, entre ces inconnues et les quantités données plus haut, les trois équations suivantes :

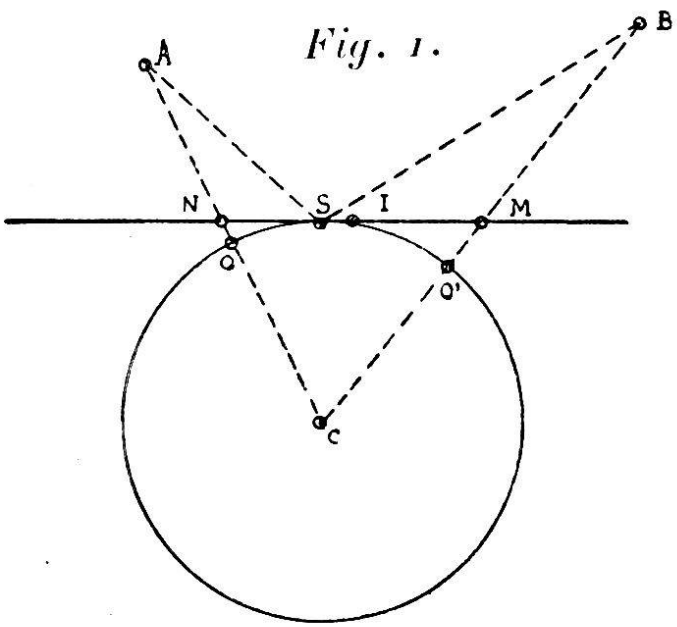

Fig. 1.

1) $(d - z)^2 = 2\,rx$

2) $(d + z)^2 = 2\,rx'$

3) $\dfrac{(d - z)}{(d + z)} = \dfrac{h - x}{h' - x'}$

Les deux premières sont fondées sur un simple théorème de géométrie élémentaire. L'équation 3), qui exprime la similitude des triangles A N S et B M S, se justifie par ce fait que les angles A S N et B S M sont égaux et qu'en pratique les côtés A N et B M se rapprochent beaucoup des perpendiculaires abaissées de A et de B sur M N.

En remplaçant, dans cette équation 3), x et x' respectivement par $\dfrac{(d - z)^2}{2r}$ et $\dfrac{(d + z)^2}{2r}$, valeurs tirées des équations 1) et 2), on obtient une équation à une inconnue z, qui, simplifiée, devient :

$$z^3 - [r\,(h + h') + d^2]\,z + dr\,(h' - h) = o.$$

Supposons que l'on soit à Morges, l'œil à 20 mètres au-dessus du lac et que l'on regarde à la distance de 35 km. un clocher haut de 60 mètres, dont le sommet est à 100 m., la base à 40 m. au-dessus du lac ; le rayon terrestre étant compté à 6366 km. L'équation ci-dessus, résolue, après y avoir remplacé r, h, h', d, par les quantités

numériques correspondantes, donne pour le sommet du clocher, $z = 9010$ m. L'image de ce point se produit donc à 8490 m. de Morges. Un calcul semblable montre que l'image de la base du clocher se produit à 14 210,8 m. de Morges. L'image du clocher occupe donc sur le lac une longueur de 5720,8 m. c'est-à-dire un arc de 3′ 5″ ; et cette longueur elle-même ne paraîtrait à Morges que sous un angle de 1′ 43″ ; tandis que le clocher paraît sous un angle de 5′ 54″. Une telle réduction et un tel raccourcissement suffisent à rendre cette image méconnaissable.

Mais, à l'inverse des mirages, pour qu'une réflexion de cette sorte ait lieu, il faut que le lac soit parfaitement calme. Et Charles Dufour n'espérait pas voir se réaliser cette condition absolue, lorsque, le 2 avril 1873, M. F.-A. Forel eut le bonheur de lui faire constater le phénomène. De Morges on voyait à ce moment-là dans la direction de Villeneuve quelques voiles de bateau dont l'image déprimée était en tous points conforme à la théorie qui vient d'être exposée. Sur un bateau plus rapproché, on voyait marcher des hommes dont l'image dans l'eau était plus large que haute, « de manière qu'on aurait pu penser au premier abord que c'était-là l'image de chiens »[1]. Cette observation vint donc confirmer tout à fait le résultat des calculs de Charles Dufour qui ajoutait : « Même on peut dire que c'est là une nouvelle preuve de la rondeur de la Terre. »

---

[1] M. Forel rapporte qu'il observa depuis lors cette déformation de l'image de réflexion une trentaine de fois. « M. Raoul Pictet, dit-il, l'a reconnue d'après notre description. Enfin, M. A. Ricco, de Palerme, l'a découverte à nouveau en 1888, en étudiant l'image du soleil qui se couche à l'horizon dans la mer Méditerranée ; il a même pu prendre des photographies de ces images. » (*Le Léman*, t. II, *Optique*).

III. Les lueurs crépusculaires de 1883-1884.

« Les magnifiques lueurs crépusculaires qui ont signalé l'hiver 1883-1884 durèrent plus d'une année. On les a observées en Suisse pour la première fois le 26 novembre 1883 ; elles ont notablement diminué au commencement de décembre pour reprendre une splendeur exceptionnelle à la fin du même mois ; elles ont été remarquables pendant tout le mois de janvier, ont diminué pendant le mois de février sans toutefois disparaître entièrement ; et jusqu'à la fin de l'année 1884, lorsque le temps était favorable, le soir après le coucher du soleil ou le matin avant le lever de cet astre, on voyait le ciel illuminé comme par une aurore boréale. Et même, les plus belles aurores n'ont pas un éclat comparable à celui qu'avaient ces lueurs pendant les mois de décembre et de janvier [1]. » « Elles constituent un fait si remarquable et si nouveau dans l'histoire de la science qu'il valait la peine d'y prêter une grande attention, et d'en faire une description détaillée pour ceux qui viendront après nous et qui n'auront pu jouir de ce magnifique spectacle ».

Donc, Charles Dufour enregistra avec soin la marche du phénomène. Le 10 janvier 1884, par exemple, ses notes indiquent :

« Le matin, le rouge commence à paraître vers 6 heures, temps moyen de Morges ;

à 6 h. 30, il est dans toute sa splendeur ;
6 h. 45, il commence à diminuer ;
7 h. il y a une zone cramoisie très mince, au-dessus des montagnes où le soleil va paraître ;
7 h. 05, il y a une zone verte au-dessus des montagnes, le rouge est plus haut ;

[1] *Les lueurs crépusculaires de l'hiver 1883-1884.* A. G., février 1885.

7 h. 15, la zone près de l'horizon est d'un vert livide, le rouge est au-dessus ;
7 h. 20, il n'y a plus de rouge appréciable.
A 5 h. du soir, le ciel est jaune ;
5 h. 06, le rouge est très sensible ;
5 h. 15, les neiges des Alpes sont rougies par les lueurs crépusculaires ;
5 h. 50, les lueurs donnent encore de l'ombre ;
6 h. 15, les lueurs rouges ont disparu. »

Les jours suivants, les phénomènes furent analogues. Le 25 décembre 1883, le rouge du couchant était tel qu'à 5 heures le clocher de Morges semblait cramoisi : « il était plus rouge que pendant le violent incendie de l'Arsenal, du 2 mars 1871, alors que le feu était à 600 mètres du clocher ». Ce même jour, à 5 heures, Vénus, visible dans les régions embrasées du couchant, avait une teinte verte. Plusieurs fois, le croissant de la lune, paraissant parmi les lueurs, sembla vert foncé.

Admettant que ces lueurs étaient produites par l'éclairement direct et non par une série de réflexions — auquel cas le phénomène aurait présenté de plus grandes variations d'un jour à l'autre, et le rouge aurait été moins intense — Ch. Dufour chercha à déterminer à quelle hauteur se trouvaient les particules illuminées.

Il prit comme point de départ les observations faites à Morges dans la soirée du 10 janvier 1884. Dans le triangle sphérique céleste : zénith de Morges — soleil — pôle céleste, on connaissait la distance polaire du soleil, 111° 58′; la distance du pôle au zénith (complément de la latitude), 43° 31′ ; et l'angle au pôle, 91° 45′ — l'observation ayant lieu de 6 h. à 6 h. 11 après le passage du soleil au méridien. Le triangle ainsi déterminé permet de calculer la distance zénithale du soleil, 106° 54′ ; et l'angle au zénith, 164° 21′. Le soleil se trouvait donc, au moment où les lueurs disparurent à l'horizon de Morges, à 16° 54′ au-

dessous de l'horizon, et dans la direction indiquée, c'est-à-dire au zénith d'un point S situé par 21° 58′ de latitude australe et 87° 38′ de longitude ouest de Paris. De ce point les rayons produisant les dernières lueurs vues de Morges étaient tangents à la terre en un lieu facile à déterminer. En effet, dans le triangle sphérique terrestre : Morges — point S — pôle boréal, de mêmes éléments que le triangle de position, le soleil se couchait pour un point O situé sur l'arc de grand cercle S M, à 90° de S.

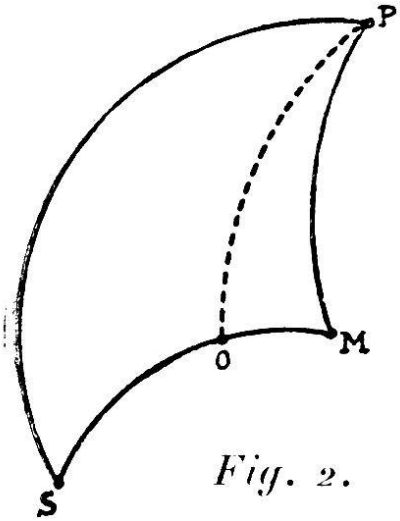

Fig. 2.

La résolution du triangle sphérique O M P montre que le point O se trouve à 40° 6′ 30″ de latitude nord, et à 17° 29′ de longitude à l'ouest de Morges. Les rayons solaires tangents en ce point allaient éclairer les derniers éléments visibles de Morges. Si le rayon de la terre est compté à 6366 km., on trouve une hauteur de 70 km. [1].

« Dans ces calculs, je n'ai pas tenu compte de la réfraction, qui n'aurait pas beaucoup modifié les chiffres ci-dessus ; mais je n'ai pas tenu compte non plus du fait que de tous côtés, notre horizon est borné par des montagnes qui s'élèvent à 2 ou 3°. Cette correction aurait agi en sens inverse de la précédente et l'aurait dépassée, de façon que la hauteur de 70 km. doit être considérée comme un minimum. Et cela d'autant plus que j'ai pris pour la fin du phénomène l'instant où la vive couleur rouge avait disparu ; mais peu après, en y faisant attention, on voyait encore quelques lueurs qui provenaient peut-être d'un éclairement par réflexion, ou peut-être aussi de ce que quelques éléments de la substance qui les produisaient étaient plus élevés que les autres. »

[1] Le professeur Helmholz, de Berlin, a trouvé un résultat approchant.

Les calculs faits sur les observations des jours voisins du 10 janvier donnèrent des résultats analogues : ainsi, le 18 décembre 1883, 73 km. Ayant observé, le 9 janvier 1884, l'heure à laquelle le rouge arrivait au zénith et la position du soleil à ce moment, appliquant le calcul à ces données un peu différentes, et tenant compte cette fois de la réfraction, dont l'effet n'était plus annulé, Dufour trouva pour la hauteur des lueurs 74 km. L'écart existant entre ces divers résultats ne présente rien d'extraordinaire pour un phénomène dont l'observation ne pouvait pas comporter une très grande précision.

« On peut donc admettre 70 km. à peu près comme la hauteur des magnifiques lueurs crépusculaires de décembre 1883 et janvier 1884. »

Depuis le mois de janvier, les lueurs diminuèrent d'éclat et de durée ; leur degré d'intensité variait d'un jour à l'autre. Le 25 septembre, Charles Dufour calcula qu'elles atteignaient une hauteur de 61 km. Elles avaient baissé de 10 km. environ en dix mois.

« Il peut paraître extraordinaire que les substances qui produisaient ces lueurs aient pu rester suspendues à une hauteur de 70 km. ; car, à cette altitude, et sans même tenir compte de l'abaissement de température qui aurait encore pour conséquence de diminuer le résultat, on trouvera que la pression de l'air doit être seulement de 0,12 mm. C'est bien peu pour tenir en suspension des matières quelconques ; cependant, ce n'est pas là une impossibilité absolue ; et, dans tous les cas, quelle que soit la cause qui a produit ces lueurs, d'après les calculs indiqués plus haut, elle a dû se manifester à une altitude de 70 km. au moins. »

Sur cette cause, Charles Dufour n'hésite pas. Il faut d'abord « éliminer toutes les explications, dit-il, qui attribuent à ce phénomène une origine astronomique, telle que le passage de la terre dans la queue d'une comète ; dans

ce cas tous les points du globe l'auraient observé le même jour,» tandis que certains pays l'ont observé déjà en septembre, d'autres en octobre, d'autres seulement en novembre.

Par contre, l'éruption du Krakatoa, arrivée dans le détroit de la Sonde le 27 août 1883, a parfaitement pu projeter dans les hautes régions de l'air des corpuscules que les vents ont dispersé ensuite sur le globe entier, et qui ont causé les remarquables lueurs observées les mois suivants. Avant cette éruption, d'ailleurs, il n'estn ulle part question du phénomène ; immédiatement après le 27 août, il apparaît, d'abord dans le voisinage de Java, ensuite dans les localités plus éloignées. L'analyse, faite dans quelques localités, des poussières tombées pendant l'hiver, montre qu'elles sont de même nature que les débris lancés par le volcan.

En 1831, après l'éruption de l'île Julia, on avait eu en Europe des brouillards, et aussi des lueurs analogues à celles de l'hiver 1883-84. En 1783, après les violentes éruptions de l'Islande et les tremblements de terre de Calabre, des brouillards secs avaient été observés, plus intenses que ceux de 1831, dont la présence fut constatée « de la Norvège jusqu'en Syrie, et de l'Angleterre jusqu'à l'Altaï, » et qui furent étudiés surtout par H.-B. de Saussure pendant un de ses voyages dans les Alpes. « Il est vrai, dit Charles Dufour, que nous avons eu en 1883-84 des lueurs et non des brouillards ; cette différence s'explique par la plus grande distance du point d'éruption et par la plus grande intensité de celle-ci : après une éruption volcanique, les débris les plus lourds tombent dans le voisinage, tandis que les parties les plus ténues sont emportées au loin. »

Les substances venues du Krakatoa ont dû suivre une route opposée à celle des vents alizés, c'est-à-dire ont dû passer par l'Océan Pacifique et par l'Amérique plutôt

que par l'Inde et l'Arabie qui seraient cependant le plus court chemin. « En effet, ces substances partaient des régions équatoriales, c'est-à-dire des contrées où la vitesse de rotation est la plus grande pour se rapprocher de celles où elle est plus faible ; par conséquent, elles devaient se propager plus vite du côté de l'Est. Et, réellement, nous voyons que les îles Sandwich ont eu ces lueurs au commencement de septembre. L'Amérique et l'Angleterre les ont eues aussi avant nous. »

Divers phénomènes optiques singuliers accusèrent, dans ce même hiver 1883-84, le trouble de l'atmosphère. Il était difficile de distinguer à l'œil nu les étoiles de cinquième et de sixième grandeur. La lumière zodiacale au printemps 1884 fut extraordinairement peu apparente. Une espèce d'auréole apparut autour du soleil, qui fut étudiée spécialement par A. Cornu et par M. F.-A. Forel. La planète Vénus qui, en mai et en juin de cette année-là, était à son maximum d'élongation, ne se voyait que mal et fort rarement en plein jour et à l'œil nu. Mais, les éclipses de lune surtout furent caractéristiques ; elles devaient attirer l'attention des observateurs.

*
* *

On sait que dans une éclipse de lune, totale ou partielle, la surface éclipsée ne disparaît pas entièrement. Elle est légèrement éclairée d'une teinte rouge sombre, due à la lumière du soleil réfractée par l'atmosphère, et qui pénètre dans le cône d'ombre. On cite quelques rares éclipses pendant lesquelles la lune a été complètement invisible, entr'autres celles de 1642, 1761 et 1816. En 1816, un an s'était écoulé depuis la terrible éruption du volcan de l'île Sumbava, près de Célèbes. « D'après le rapport d'un capitaine de vaisseau qui se trouvait à soixante milles du volcan, le premier jour l'obscurité était telle qu'à une heure de l'après-midi on ne pouvait voir ses doigts quand

on mettait la main devant les yeux. » Or, la lune disparut complètement pendant la totalité des deux éclipses observées en 1884. Durant la seconde, qui eut lieu le 4 octobre et fut visible en Europe [1], la lune « paraissait comme une pâle nébuleuse que l'on distinguait avec beaucoup de peine dans le firmament. » La première a été observée le 10 avril à Java. « La lune avait disparu à ce point que si pendant un instant on l'avait perdue de vue, rapporte un témoin, on avait grand'peine à la retrouver, » chose spécialement curieuse sous le ciel des tropiques.

On a attribué cette disparition complète de la lune dans certaines éclipses aux nuages existant dans notre atmosphère et interceptant les rayons du soleil. Mais, il aurait fallu admettre l'existence de nuages à peu près sur toute la circonférence du grand cercle qui sur la terre séparait l'hémisphère éclairé de l'hémisphère sombre. Ensuite, les nuages ne s'élèvent jamais très haut ; et au-dessus d'eux, il resterait une portion de l'atmosphère suffisante pour envoyer sur la lune une lumière appréciable. » Ne faudrait-il pas plutôt attribuer ce phénomène à l'opacité de l'atmosphère ensuite d'éruptions volcaniques ? Les calculs résumés plus haut ont montré que les débris lancés par l'éruption du Krakatoa existaient encore à une hauteur de soixante-dix kilomètres. Les rayons solaires réfractés au-dessus de cette hauteur n'arrivent plus qu'en quantité minime sur notre satellite.

D'autre part, il peut bien sembler étrange que la quantité de fumée lancée par le Krakatoa et répandue sur tout

[1] Lors de cette éclipse, les astronomes observèrent spécialement les occultations d'étoiles, afin de déterminer exactement le diamètre apparent de la lune. Quelques-uns cependant confirmèrent les observations de Ch. Dufour, et en particulier de MM. Stephan et Borrély, de l'observatoire de Marseille, dont le rapport dit : « ... A peine le premier contact avait-il eu lieu que la portion éclipsée du disque devenait invisible, même dans le télescope ; ... la teinte rouge si fréquemment signalée à l'occasion des éclipses antérieures, a fait presque complètement défaut... » (C. R. XCIX.)

le globe ait été suffisante pour altérer la transparence de l'air. Mais « avec le charbon, il suffit d'une couche excessivement faible pour produire une opacité appréciable. » En étudiant l'opacité produite par de légères couches de noir de fumée disposées sur des plaques de verre, MM. Ch. Dufour et H. Brunner ont montré, par exemple, qu'un verre recouvert d'une épaisseur de charbon de $0,^{mm}00049$ ne permettait plus de distinguer les objets terrestres, mais permettait d'observer sans fatigue le disque du soleil. Avec une plaque portant une épaisseur de charbon de $^1/_{692}$ ^{mm}, par un ciel parfaitement clair, à trois heures de l'après-midi, au mois de mai, ils ne purent apercevoir la moindre trace du disque solaire. D'ailleurs, pour reconnaître à quel point la fumée de charbon peut troubler la transparence de l'air, il suffit de comparer l'étendue du nuage de fumée sortant d'un bateau à vapeur, et qui atténue souvent à un haut degré les rayons solaires, avec la quantité de houille brûlée sous les chaudières du bateau. On verrait que l'épaisseur de la pellicule formée en mettant cette fumée entre deux plaques de verre, n'est pas de $^1/_{1200}$ de mm. « Il n'y aurait donc rien d'étonnant à ce que la fumée du Krakatoa — réduite à une pellicule d'une épaisseur qu'on a évaluée à $0,01$ ^{mm} — eût produit des phénomènes visibles. » Et il semble bien, somme toute, que les disparitions du disque lunaire au moment de ses éclipses totales étaient causées, non pas par des nuages, comme on l'avait cru jusqu'alors, mais par des troubles de l'atmosphère analogues à celui qu'a produit l'éruption du Krakatoa en 1883.

*
* *

Dans les éclipses de lune qui suivirent celles de 1884, l'atmosphère ayant repris sa transparence, Charles Dufour put remarquer, comme il fallait s'y attendre, que le disque lunaire tout entier demeurait visible. Ce phénomène

fut apparent pendant l'éclipse totale du 28 janvier 1888 [1].

Pendant l'éclipse partielle du 3 août 1887, on pouvait « reconnaître la partie éclipsée et l'arc qui la terminait, malgré la lueur que donnait la partie non éclipsée,... non-seulement au moment de la plus grande phase, mais sensiblement avant ou après [2]. »

IV. Observation d'une éclipse de lune.
(3 juillet 1898)

Pendant l'éclipse totale du 3 juillet 1898 [3], le disque lunaire fut de nouveau parfaitement visible sur toute son étendue au moment de la plus grande phase. « Mais, en examinant avec soin ce disque lunaire, j'ai vu une autre chose à laquelle je ne m'attendait pas, » dit Charles Dufour, — et ici nous ne pouvons que citer presque textuellement cette partie de son mémoire :

« Vers le moment de la plus grande phase, et surtout à 9 h. 30, heure de Greenwich, je voyais dans la partie éclipsée, mais au-dessous du centre, une espèce d'assombrissement, ou si l'on veut, une espèce de tache, un peu mobile, parfaitement distincte des taches de la lune. A 9 h. 20, elle avait bien dépassé le centre du côté du sud ; à 9 h. 30, elle avait atteint son maximum, et touchait presque l'arc qui séparait la partie sombre de la partie éclairée. A 9 h. 35, cette tache avait diminué, elle était remontée presque au centre de la lune. A 9 h. 45, elle était très peu sensible. A 9 h. 50, on n'en voyait presque plus rien, seulement quelques légers restes dans la partie septentrionale et occidentale de la lune.

---

[1] *Sur les éclipses de lune du 3 août 1887 et du 28 janvier 1888.* Revue d'astronomie, Paris, 1888.

[2] *Observations faites pendant l'éclipse de lune du 3 août 1887.* B. S. V. XXIV, 1889.

[3] *Phénomènes intéressants constatés pendant l'éclipse de lune du 3 juillet 1898.* A. G., 1898.

» Cette tache n'a jamais paru entièrement noire ; c'était seulement une diminution de la faible lumière qui émanait encore de la partie éclipsée de notre satellite.

» Y aurait-il trop de témérité à l'attribuer à l'ombre de quelques grandes montagnes de la terre, entr'autres des Andes du Chili, surtout de la partie voisine du 40e de latitude sud ? »

Pendant l'éclipse du 3 juillet 1898, en effet, c'était précisément cette partie méridionale du globe terrestre qui s'interposait entre la lune et le soleil ; et le grand cercle qui séparait sur la terre à 9 h. 30, temps moyen, l'hémisphère éclairé de l'hémisphère sombre, suivait les Andes sur une assez grande étendue. De plus, les Andes, dans ces contrées, atteignent souvent une altitude de 6000 m. L'effet de la température, dans ces régions qui étaient alors au cœur de l'hiver, devait diminuer encore la pression atmosphérique. Il est facile de voir, dès lors, que « la couche d'air qui était au-dessus de ces sommets n'était pas la moitié de celle qui exerce sa pression au niveau de la mer. Par conséquent, la lumière qui est réfractée devait être bien affaiblie ; et il n'y a rien d'extraordinaire à ce que cet affaiblissement ait pu être constaté le 3 juillet, comme il résulte de l'observation.

» Si le 3 juillet 1898, à 9 h. 30 du soir, temps moyen de Greenwich, il y avait eu des habitants dans l'hémisphère austral de la lune, ils auraient vu dans le ciel un grand cercle noir de 2° de diamètre. C'était la terre éclipsant le soleil. Et autour de ce cercle une couronne lumineuse large de 1′ à peu près, c'est-à-dire seulement la $^1/_{120}$ partie du disque sombre. Cette couronne aurait paru beaucoup plus brillante dans sa partie intérieure que dans sa partie extérieure. Elle aurait été formée par l'atmosphère de la terre qui réfractait sur la lune une partie de la lumière du soleil.

» Cette couronne lumineuse n'aurait pas paru également

brillante dans toute l'étendue de sa circonférence. Elle l'aurait été beaucoup plus dans sa partie méridionale que dans sa partie septentrionale, parce que le soleil n'aurait pas eu son centre derrière le centre de la terre, il aurait été placé au contraire d'une manière très excentrique ; tout près d'être visible du côté sud, tandis que du côté nord il aurait été très éloigné du bord du disque noir. C'est donc du côté sud que la couronne aurait été la plus fortement éclairée.

» Mais sur cette bande, et précisément dans les régions où elle aurait été la plus brillante, on aurait vu dans les régions inférieures une espèce de *scie* qui n'aurait été autre chose que le puissant relief des Andes. Si le soleil était un point lumineux, comme une étoile, ou comme le foyer d'une lentille convexe, la forme des Andes elle-même se serait parfaitement dessinée sur la lune. Mais avec un luminaire tel que le soleil, il ne pouvait y avoir rien de pareil, seulement un peu moins de lumière sur la lune.

« A 9 h. 50, l'habitant de la lune aurait cessé de voir les *dents de scie* formées par les Andes. Celles-ci, entraînées par la rotation de la terre, n'auraient plus été visibles. La couronne lumineuse aurait reparu dans toute sa largeur. La partie intérieure, la plus brillante, aurait rendu sa lumière ; et elle aurait été terminée par un arc parfaitement régulier : ce serait la partie de l'Océan pacifique sur laquelle aurait passé alors le grand cercle terrestre qui séparait l'hémisphère sombre de l'hémisphère éclairé.»

*
* *

A la suite de son étude sur l'éclipse de lune du 3 juillet 1898, on demanda à Ch. Dufour si un pareil phénomène se renouvellerait souvent et quelles conditions devait présenter une éclipse pour qu'on puisse voir sur la lune l'ombre des montagnes de la terre.

Il faudrait que la montagne portant son ombre suivît sur une grande partie de son étendue le grand cercle qui sépare sur la terre l'hémisphère éclairé de l'hémisphère sombre. Or, les montagnes considérées en étendue, comme l'Himalaya (longueur de 20°), les Alpes scandinaves (11° à 12°), le Caucase (9°), ne paraîtraient à l'habitant de la lune que comme une petite tache dans l'atmosphère éclairée de la terre. Les Andes seules, qui forment sur la terre un arc de 126°, pourraient suivre cette couronne lumineuse sur une distance assez considérable pour paraître comme un arc dentelé.

Il est possible, en effet, de « tracer un grand cercle qui renferme la plus grande partie des Andes de l'Amérique du nord, du soixantième degré de latitude jusque dans le voisinage de Mexico ; on trouve que ce grand cercle a son pôle par 23° de latitude australe et 180° de longitude ouest de Greenwich. De même, il est possible de tracer un autre grand cercle qui comprenne la plus grande partie des Andes de l'Amérique du sud, du 15e au 60e degré de atitude australe. Ce grand cercle aurait son pôle par 11° de latitude nord, et 152° à l'ouest de Greenwich. »

Donc, « pour qu'une éclipse de lune présente les circonstances les plus favorables pour que l'on puisse distinguer sur notre satellite, l'ombre des Andes de l'Amérique du sud, il faudrait que cette éclipse eût lieu à 9 h. ½ du soir, temps moyen de Greenwich, et quand le soleil a 10° ou 11° de déclinaison boréale, ce qui arrive vers le 19 août et le 25 avril. Au contraire, pour voir l'ombre des Andes de l'Amérique du nord, il faudrait que l'éclipse eût lieu vers le solstice d'hiver et à minuit, temps moyen de Greenwich. »

De plus, pour que cette ombre soit sensible, il faut encore que le soleil soit placé derrière la terre excentriquement, de façon qu'une partie de l'atmosphère soit plus éclairée que le reste, et que les montagnes se projettent précisément sur cette partie brillante.

V. Une cause de l'accélération séculaire de la lune.

Vers 1860 revint à l'ordre du jour la question de l'accélération de la lune. Un désaccord existait entre le calcul et l'observation. La théorie de Laplace, complétée par Adams et Delaunay, avait montré que la diminution séculaire de l'excentricité de l'orbite terrestre doit produire dans la longitude de la lune un terme évalué à $6'' t^2$ (t exprimé en siècles).

D'autre part, la discussion des éclipses chronologiques avait amené à conclure que le coefficient de l'accélération est de 12″. Il resterait donc à expliquer une différence de 6″.

On savait par les travaux de Kant, Mayer, Delaunay, etc., que l'action des marées doit ajouter quelque chose à la valeur trouvée par le calcul. Mais, en outre, il n'est nullement certain que dans tous les temps l'attraction de la terre sur la lune soit demeurée la même. Charles Dufour[1] formula l'hypothèse que cette accélération pouvait être produite par la chute des météores cosmiques; ces météores, en augmentant la masse de la terre, augmentent sa force attractive et accélèrent la marche de son satellite.

En 1886, il revient sur cette question[2]. Ce qu'on avait appris dans l'intervalle tendait à justifier son hypothèse. La théorie de Schiaparelli était généralement admise, qui attribuait les étoiles filantes à des débris de comètes qui pénètrent dans notre atmosphère et s'y enflamment. Mais alors, on avait voulu apprécier leur nombre et le poids de la matière qui constituait chacune d'elles, de ma-

---

[1] *Sur l'accélération séculaire des mouvements de la lune.* S. V. IX, 1866. — C. R., 1866.

[2] *Sur l'accélération de la marche de la lune.* A. G., 1886.

nière à savoir de combien la masse de la terre s'augmentait ainsi annuellement.

Ces chiffres sont basés sur des données fort hypothétiques. Beaucoup d'aérolithes échappent à nos recherches. M. Yung a trouvé sur la neige, à plusieurs reprises, des débris dont l'origine cosmique ne peut guère être contestée. Il faut considérer, de plus, non seulement la matière tombée à la surface de la terre ferme, mais encore celle qui est tombée dans les eaux et celle qui reste suspendue dans l'atmosphère.

On peut bien compter toutes les étoiles filantes qu'on voit, mais il en est certainement beaucoup qu'on ne voit pas. Le P. Secchi a indiqué que dans les nuits ordinaires, les étoiles filantes demeurent très éloignées de la surface de la terre. Et lors de la magnifique pluie d'étoiles filantes du 27 novembre 1872, Ch. Dufour avait constaté qu'elles disparaissaient toutes à une hauteur supérieure à celle de la cime du Mont-Blanc[1].

En supposant que la matière apportée à la terre par les aérolithes et les étoiles filantes ait la densité moyenne du globe (5,5), on peut se rendre compte de l'augmentation que devrait éprouver en un siècle le rayon de la terre pour que, pendant ce temps, le moyen mouvement de la lune soit accru de 1″.

« Une révolution de la lune dure 27 jours 7 h. 43 m. 11,5 s., ce qui fait 27,32166 jours. En un siècle, il y a donc $\frac{36524}{27,32166}$ révolutions, ce qui fait un nombre de secondes marqué par $\frac{36524 \times 360 \times 3600}{27,32166}$. Or, la vitesse de la lune

[1] Ch. Dufour a donné à la Société vaudoise des sciences naturelles des *Instructions pour l'observation des bolides* (B. S. V. VII, 1861), qu'il serait utile de suivre si l'on voulait réduire des observations faites en des lieux différents, et calculer la route suivie par ces météores.

Voir aussi les C. R. LXXVII, 1873.

est proportionnelle à la racine carrée de la masse; pour une augmentation de 1″, il faudrait une augmentation de masse double de ce rapport, c'est-à-dire $\frac{1}{3465000000}$. Pour que le volume de la terre augmentât d'autant, il faudrait que son rayon augmentât du $^1/_3$ de ce rapport ou de $\frac{1}{10395 \times 10^6}$, ce qui fait à peu près 0,6 mm. Donc, si en un siècle les aérolithes et les étoiles filantes augmentent de 0,6 mm. le rayon de la terre, la lune parcoura 1″ de plus que dans le siècle précédent. Et si la substance qui tombe avait une densité plus forte, par exemple celle du fer, il suffirait d'une quantité encore plus faible. »

Dans sa *Mécanique céleste*[1], Tisserand cite et discute l'hypothèse de Ch. Dufour. Il montre que, les observations conduisant à fixer à 100 tonnes environ par jour la pluie de poussières cosmiques, l'augmentation du rayon terrestre n'atteindrait qu'une faible fraction de la quantité requise.

Il n'en reste pas moins qu'il faut reconnaître dans le lest de la terre et de son satellite par les météores cosmiques l'une des causes de l'accélération séculaire de la lune[2].

---

[1] T. II, p. 542.

G.-H. Darwin a montré qu'en faisant sur la théorie des marées des hypothèses fort plausibles, et tenant compte à la fois de l'attraction de la lune sur les marées et de la réaction de ces dernières, on obtenait le complément cherché, d'environ 6″ t^2, dans l'accélération de la lune. Mais Tisserand a fait remarquer (C. R. 16 nov. 1891) que les calculs que l'on peut faire sur l'ensemble des marées sont forcément très vagues, car on n'a pas assez de données sur les marées dans les océans et notamment dans les mers du sud ; en raison de la variété que présente le phénomène d'un lieu à l'autre, il doit y avoir des compensations. D'autre part, les éclipses de lune rapportées dans l'*Almageste* et les éclipses de soleil observées par les Arabes ont donné à M. Newcomb une accélération de 8″ seulement. On arriverait donc à penser, « que l'augmentation de la durée du jour produite par le phénomène des marées est presque du même ordre que la diminution qui résulte de la contraction de la terre produite par son refroidissement séculaire, et que grâce à une compensation entre les deux effets, la durée du jour sidéral pourrait rester, à peu près, invariable. »

VI. Détermination de la distance de quelques étoiles.

Charles Dufour a publié plusieurs travaux sur « les conséquences qui résultent pour la succession des ondes, du déplacement d'un corps sonore ou d'un corps lumineux. »

« On sait que la différence qu'il y a entre un son grave et un son aigu provient de ce que, pour ce dernier, les vibrations qui arrivent à l'oreille pendant l'unité de temps sont plus nombreuses. Ainsi, depuis 1859, en France, le *la* est la note qui correspond à 870 vibrations par seconde, par conséquent l'*ut* correspond à 522 vibrations, le *fa* à 696, etc. Supposons, par exemple, un corps sonore éloigné de 1000 m., et parcourant en se rapprochant 100 m. par seconde. Si pendant sa course le corps donne uniformément la note *fa*, les sons qu'il aura émis à l'instant du départ arriveront seulement 3 secondes plus tard à l'oreille de l'observateur ; tandis qu'il n'y aura aucun retard pour la perception de ceux qui seront émis au moment de l'arrivée. Donc, l'observateur aura perçu en 7 secondes les ondes émises pendant 10 secondes ; c'est dire que son oreille, au lieu de recevoir 696 vibrations par seconde, en recevra 994 et appréciera par conséquent le son à peu près *si dièze*[1]. »

D'une manière générale, si un corps se rapproche de l'observateur en produisant constamment le même son musical, l'observateur aura l'impression d'une note plus aiguë ; si le corps s'éloigne, il aura au contraire l'impression d'une note plus basse.

En étudiant ainsi dans leur rapport la vitesse d'un mobile et la vitesse du son, tant pour l'intérêt propre du

[1] *Mémoire sur une nouvelle méthode pour déterminer la distance de quelques étoiles*, B. S. V., vol. X, 1868.

phénomène que pour pousser jusqu'en ses dernières conséquences en acoustique un principe qu'il était plus difficile de vérifier en optique, Ch. Dufour obtint des résultats qui sont développés dans une étude détaillée[1]. Il y fait cette remarque, entre autres, que lorsqu'on est atteint par une balle lancée à une vitesse supérieure à celle du son, on est frappé avant d'entendre le coup. Dans toute cette étude, il suppose au mobile une vitesse uniforme et un mouvement rectiligne. Considérant alors la route B C suivie par un mobile, et supposant un observateur en dehors de cette route, en O, il se propose de déterminer par le calcul les phénomènes qui doivent se manifester à l'observateur O.

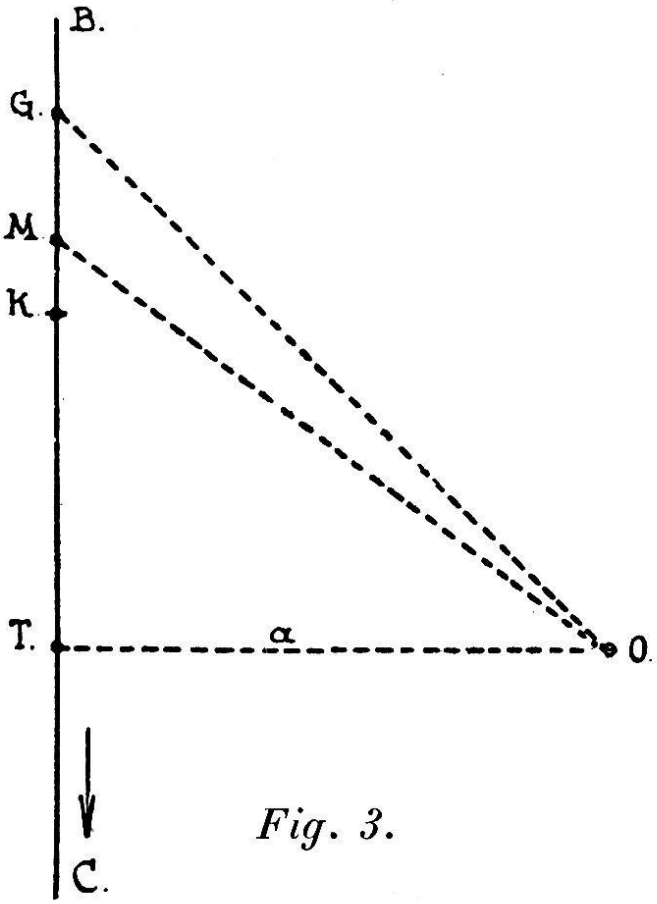

Fig. 3.

D'abord, si le temps mis par le mobile pour parcourir le segment G M, situé à une certaine distance de O, reste inférieur à la différence des temps nécessaires au son pour parcourir les distances G O et M O, *le son émis au point G arrive à l'observateur O après le son émis au point M.* Il en sera ainsi pour tous les points situés avant une certaine position du mobile, K. C'est en ce point K que le mobile se fera donc entendre pour la première fois. Si l'on admet que la distance O T = 50 m., que le mobile ait une vitesse de 500

[1] A. G., 15 sept. 1890.

mètres par seconde et le son une vitesse de 333 $^1/_3$, m. on trouve que K est à 44,726 m. de T, c'est-à-dire de la plus grande proximité de l'observateur. Les sons émis par le mobile avant qu'il ait atteint la position K n'arriveront à l'observateur que plus tard. Quant au son émis en K, il est facile de voir qu'il arrivera à l'observateur à un moment où le mobile aura déjà dépassé le point T. Dans notre exemple, il en sera éloigné de 55,274 m. « Or, une vitesse de 500 m. est à peu près ce que l'on obtient avec les armes actuelles. Donc, quand un homme entend le sifflement d'une balle, il ne court plus aucun danger, la balle a déjà passé dans son voisinage et s'éloigne rapidement. »

Si l'on considère maintenant les conséquences de ce phénomène pour la hauteur du son, l'impression reçue par O des premiers sons entendus, c'est-à-dire des sons émis à environ 40 m. de T, doit paraître 3,8 gammes plus élevée que la note produite par le mobile.

Si celui-ci donne d'une manière continue le *la*, l'observateur entendra donc à peu près le *sol bémol* de la quatrième gamme au-dessus. « Cela se rapproche du son extrêmement aigu que produisent les ailes de certains insectes. » Mais cette acuité diminue rapidement. Lorsque le corps sonore est à 30 m. de T, on trouve que la note émise arrive à l'oreille comme un *la dièze* de la deuxième gamme au-dessus de la note naturelle. Lorsqu'il est à 10 m. de T, on entend à peu près un *ré dièze*. En T, l'oreille entend le *la*. Dès lors, le corps s'éloigne ; les ondes arrivent à l'oreille pendant un temps plus long que celui pendant lequel elles ont été émises ; la note baisse. On entend, à mesure que le corps a parcouru des distances successives de 10 mètres, les notes *fa bémol*, *ré bémol*, *si*, *la dièze*, *la bémol*, etc. Si l'on suppose le même corps à l'infini, l'oreille entend la note *fa* de la gamme inférieure. « C'est le son asymptotique vers lequel, en s'abaissant graduellement, tendra l'effet d'un corps sonore qui

s'éloignerait dans les conditions que nous avons supposées plus haut. » On verrait encore, en continuant cette étude, qu'en même temps que les sons émis en quelque point de la ligne K C, l'observateur entend les sons émis par le corps avant d'arriver en K. Une oreille exercée saisirait certainement les deux notes. Le calcul montre que, par exemple, l'oreille entend le corps sonore, à la fois dans la direction B, à une distance de 206 m. 15, avec la note *si* de la gamme supérieure, et dans la direction C, à une distance de 56 m., avec la note *do*.

Il est clair maintenant que l'on peut étudier le rapport existant entre la vitesse d'un corps lumineux et la vitesse de la lumière, comme on a étudié le rapport existant entre la vitesse du corps sonore et la vitesse du son [1].

Après le P. Sestini, et en se servant comme lui du principe Doppler-Fizeau, le P. Secchi avait cherché à déterminer la vitesse absolue des étoiles. Mais il s'aperçut bien vite que s'il est vrai qu'un luminaire se rapprochant ou s'éloignant d'un observateur doit lui paraître plus vio-

---

[1] C'est le résultat de cette étude que l'on désigne généralement sous le nom de *principe Doppler-Fizeau*. Le principe de Doppler (1842) *constate* la variation apparente de la période d'une source vibratoire en mouvement. Le principe de Fizeau (1848) *mesure* la variation de période d'une source *lumineuse* par la variation de réfrangibilité des ondes qu'elle émet. Dès lors, le mouvement d'une source lumineuse qui se traduisait, d'après Doppler, par les variations de sa couleur, se traduit aussi, d'après Fizeau, par le déplacement des raies de son spectre; la longueur d'onde apparente λ' étant liée à la longueur d'onde réelle par la formule :

$$' = \lambda \left(1 \pm \frac{v}{V}\right).$$

où V est la vitesse de la lumière, et v, la composante de la vitesse relative du corps en mouvement, le long du rayon qui va de l'observateur à ce corps — composante qui, pour les étoiles, porte le nom de *vitesse radiale*. En comparant le spectre d'une étoile à celui d'une source terrestre convenable, on chercha à mesurer le déplacement des raies de l'un par rapport aux raies de même origine de l'autre, ce qui eût permis de calculer $\frac{\lambda'}{\lambda}$ et par suite de résoudre l'égalité ci-dessus par rapport à v. La vitesse radiale de l'étoile une fois connue, il devait être facile de calculer sa vitesse absolue.

let ou plus rouge, il est plus aisé de constater ce mouvement par un déplacement des raies du spectre. Tandis qu'il fallait supposer au luminaire, pour que la différence de couleur devînt appréciable, une vitesse comparable à celle de la lumière, c'est-à-dire une vitesse prodigieuse, il lui suffisait, d'après les observations du P. Secchi, pour que l'on puisse constater un déplacement des raies de son spectre, d'une vitesse de 304 km.[1] Ce chiffre, comparé à la vitesse de certains corps célestes ne présente plus rien de prodigieux, et l'on pouvait espérer déterminer la vitesse absolue de quelques astres.

« Or, supposons une étoile double dont le satellite tourne dans un plan passant par la terre. Si, au moyen du principe Doppler-Fizeau, on parvient à déterminer la vitesse du satellite dans son orbite; on pourra, d'après la durée de la révolution, en conclure la longueur de l'orbite, puis son rayon, puis sa distance à notre soleil. Désignons par a le nombre de kilomètres que le satellite parcourt par seconde, par b la durée de sa révolution, exprimée en secondes, par m l'angle sous lequel on voit la distance du satellite à l'étoile principale, par d la distance en kilomètres de ce système à notre soleil. En faisant abstraction pour le moment de l'excentricité de l'orbite du satellite, la longueur de cette orbite sera exprimée par ab, son rayon sera $\frac{ab}{2\pi}$, et l'on aura :

$$d = \frac{ab}{2\pi \,.\, tg\, m}.$$

[1] Une telle vitesse — dix fois celle de la terre sur son orbite, — provoque un déplacement des raies du spectre égal à la largeur de la double raie D. Le P. Secchi ne pouvait guère en apprécier de plus petites avec ses instruments. Et après avoir essayé d'évaluer le déplacement des raies caractéristiques des spectres d'une foule d'étoiles du Grand-Chien, du Lion, du Petit-Chien, d'Orion, etc., il ne pouvait arriver qu'à cette seule conclusion, qu'aucune n'avait un mouvement cinq ou six fois plus rapide que celui de la terre dans son orbite (C. R. 2 mars 1868.)

» Mais, si l'on ne constate aucune différence dans les raies du spectre, suivant que le satellite s'approche ou s'éloigne de nous, on pourra en conclure que sa vitesse est inférieure à celle qui amènerait ce changement dans le spectre ; et que la distance du système lui-même est inférieure à celle qui amènerait ce déplacement des raies. Par conséquent, si l'on constate une différence, on en peut conclure la distance de l'étoile. Si l'on n'en constate point on peut en conclure une distance en-deçà de laquelle l'étoile se trouve certainement [1]. »

Un des premiers résultats de l'application du principe des vitesses radiales fut le calcul du déplacement des raies des étoiles Algol et Mizar de la Grande-Ourse [2]. Connaissant la vitesse de translation de Mizar (160 km.) et la durée de sa translation (104 jours), on peut calculer la circonférence parcourue, 1500 millions de km., et la distance de l'étoile à son satellite, 240 millions de km.[3]. Malheureusement, un de ces astres est obscur, de façon que leur distance apparente n'est pas connue. Toutefois, il est possible que d'une manière ou d'une autre cette

[1] A. G., 1890.

[2] Les progrès merveilleux accomplis en ces dernières années par l'analyse spectrale, et en particulier par la spectroscopie stellaire, ont facilité du même coup l'application du principe Doppler-Fizeau. Le changement périodique de signe, et la variation continue des vitesses radiales de certaines étoiles ont permis de leur attribuer un mouvement orbital, dont la période a pu être déterminée avec précision. Et l'on peut dire aujourd'hui que l'analyse spectrale fait connaître « non-seulement la lumière spéciale et l'atmosphère de certaines étoiles, mais encore le nombre, la période et la quantité de mouvement relative des astres secondaires qui gravitent autour d'elles. » Mais, en même temps que l'observation du déplacement des raies devenait toujours plus précise, on s'aperçut que des causes étrangères au mouvement de l'étoile, telles qu'une variation de pression dans les masses gazeuses, des perturbations magnétiques ou thermométriques, etc. pouvaient produire ce phénomène. Et tout l'effort des expérimentateurs tend maintenant à discerner par l'examen de *spectres témoins*, par exemple (Deslandres), ce qui, dans le déplacement des raies, est dû uniquement au mouvement de l'étoile.

[3] *Revue mensuelle d'astronomie*. Paris, 1890.

difficulté soit levée. Alors, il sera possible de calculer la distance de ce système binaire à notre soleil.

La méthode des parallaxes indiquant une distance au-delà de laquelle l'étoile se trouve certainement il était « intéressant d'arriver, par des considérations d'un autre ordre, à déterminer une distance au-delà de laquelle elle ne se trouve certainement pas [1]. »

VII. Photométrie du soleil et de quelques étoiles.

Excellent observateur, Charles Dufour avait constaté que les observations photométriques manquaient généralement de précision. « Toutes les méthodes, disait-il, donnent des résultats plus ou moins approximatifs, surtout quand les luminaires que l'on considère sont d'un éclat très inégal ou d'une couleur différente. On le voit bien quand on compare les chiffres donnés dans les différents ouvrages d'astronomie pour la lumière relative des étoiles. »

Il s'appliqua donc à évaluer la lumière du soleil et celle des étoiles[2]. « Ici, toute comparaison directe est impossible. Il faut prendre des intermédiaires. Voici ceux que j'ai trouvé les plus avantageux :

la pleine lune ;

un bec de gaz, tel que ceux qu'on allume sur les quais de Morges ;

les étoiles, spécialement celles de première grandeur. »

On avait attribué à la lumière du soleil une intensité 300 000, puis 500 000, puis 800 000 fois plus grande que celle de la lune. L'expérience suivante l'engagea à admettre le premier de ces nombres :

« Quand j'habitais Orbe, j'utilisais souvent un microscope solaire, qui me donnait des images très claires et très

[1] C. R. juin 1868.

[2] *Comparaison entre la lumière du soleil et celle de quelques étoiles.* A. G., 1899.

visibles sur une des parois de ma chambre. Un soir, j'eus l'idée de le faire marcher avec la lune, alors dans son plein. Sur la paroi habituelle, toute image était alors invisible. Et c'est seulement quand l'écran fut à peu près 500 fois plus rapproché, que je pus obtenir une image, en apparence aussi claire que celle que le soleil me donnait sur la paroi que j'utilisais pendant le jour. Je fais toutes mes réserves sur la quantité de lumière qui a pu être retenue par les verres du microscope ; et pour la difficulté de reconnaître l'égalité d'éclairement de deux images que l'on ne voit pas en même temps. Mais en somme, j'ai pu juger par cette expérience que le chiffre de 300 000 fois n'était pas si mauvais. »

La comparaison de la lumière de la pleine lune avec celle d'un bec de gaz était plus facile parce qu'on pouvait assez bien se rapprocher ou s'éloigner du bec « jusqu'à ce que l'ombre produite par celui-ci et l'ombre produite par la Lune fussent de même intensité ». En considérant les chiffres obtenus quand la lune était à la plus grande hauteur au-dessus de l'horizon, et qu'elle paraissait donner le maximum d'éclat, Ch. Dufour a trouvé que sa lumière était la même que celle d'un bec de gaz dont on était éloigné de 6 mètres.

Pour comparer ensuite la lumière du bec de gaz avec celle d'une étoile de première grandeur, il observa, du bateau à vapeur arrivant à Morges pendant la nuit en suivant la côte suisse, le moment où les becs de gaz présentaient le même éclat que telle ou telle étoile. En tenant compte des erreurs d'observation, des variations de transparence de l'air, des différences de hauteur au-dessus de l'horizon, ces déterminations répétées lui fournirent des résultats assez concordants. « Quand l'étoile Arcturus était à 15 ou 20° au-dessus de l'horizon, je pouvais compter, dit-il, qu'en moyenne il fallait être à 2000 mètres d'un des becs de gaz qui brûlaient sur le quai de Morges pour que

son éclat fût pareil à celui de l'étoile. C'est dire qu'il fallait être à une distance 333 $^1/_3$ fois plus grande que celle qui donnait pour le bec de gaz un éclat égal à celui de la pleine lune. Donc, la lumière de l'étoile était $(333\ ^1/_3)^2$ ou 110 000 fois plus faible que celle de la lune. Donc, le rapport de sa lumière à celle du soleil serait exprimée par $110\,000 \times 300\,000 = 33\,000 \times 10^6$. Ainsi, la lumière d'Arcturus serait 33 milliards de fois plus faible que celle du soleil. »

Suivant une appréciation de Herschel, le diamètre apparent d'Arcturus serait de $^1/_{100}''$, c'est-à-dire 192,000 fois moindre que celui du soleil ; si à surface égale les éclats sont les mêmes, l'éclat d'Arcturus devrait être 36 864 millions de fois plus faible. Ce chiffre, comme on le voit, ne s'écarte pas trop de celui indiqué plus haut.

En répétant ses expériences pour d'autres étoiles, Charles Dufour trouva :

pour Antarès, une lumière 132 milliards de fois et pour Altaïr 48 milliards de fois plus faible que celle du soleil ;

pour Véga, une lumière sensiblement pareille à celle d'Arcturus ;

pour une étoile de deuxième grandeur, une lumière 120 milliards de fois plus faible que celle du soleil.

« Pour que la comparaison de la lumière d'une étoile avec celle d'un bec de gaz puisse se faire dans de bonnes conditions, il importe que ces luminaires soient à peu près dans la même direction. C'est pourquoi, à l'époque où je faisais ces observations, je n'ai pas pu comparer la lumière des becs de gaz de Morges avec celle d'autres étoiles, entre autres avec celle de Sirius. Il serait intéressant, par exemple, de comparer avec une lumière permanente, telle qu'un bec de gaz, celle de la même étoile à différentes hauteurs au-dessus de l'horizon. On verrait ainsi à quel degré la lumière des étoiles est affaiblie par l'interposition d'une plus épaisse couche d'air, et peut-être aussi

cette influence sur le changement de couleur des étoiles. Je sais, par expérience, qu'en faisant ainsi un grand nombre d'observations, on arrive à des résultats satisfaisants et souvent précieux pour la science. »

VIII. La scintillation des étoiles.

Nous arrivons enfin à ce travail sur la scintillation des étoiles, qui serait le centre de l'œuvre de Ch. Dufour s'il ne s'était étendu sur quarante années de son activité scientifique. Son but premier était de rechercher si la scintillation des étoiles avait quelque corrélation avec les phénomènes météorologiques. Mais la question se trouva beaucoup plus difficile et plus compliquée qu'il ne supposait au début. Et sur ses observations, commencées en 1853, il écrivit toute une série de mémoires, publiés dans divers recueils. Il réunit, résuma et compléta les résultats auxquels il était arrivé dans un rapport final rédigé pour le *Recueil inaugural de l'Université de Lausanne* (1892).

*
* *

Au moment où Ch. Dufour commença ses observations, la notice d'Arago sur la « scintillation des étoiles », dans l'*Annuaire* du Bureau des Longitudes de 1852, constituait le seul travail relativement complet sur ce phénomène. Non que les astronomes eussent jusque-là négligé son étude. Mais la façon dont ils en parlent montre combien peu ils sont fixés sur ce qu'ils entendent par « scintillation » et combien leurs observations sont insuffisantes et incomplètes. Et n'est-ce pas à ce fait qu'il faut attribuer les divergences relevées entre les conclusions de savants distingués ?

Il est certain que les corps lumineux susceptibles de scintiller sont seulement ceux que l'on voit sous un angle très petit. C'est ainsi que l'on observe la scintillation du

soleil au second et au troisième contact d'une éclipse, au moment de son lever et de son coucher [1]. C'est ainsi encore que l'on voit scintiller dans le lointain, une boule de clocher éclairée par le soleil, car l'image brillante n'occupe qu'une partie fort restreinte de la boule, de façon à ne paraître que comme un point brillant, comparable à une étoile.

« Pour une personne regardant le ciel à l'œil nu, dit Arago, la scintillation consiste en des changements d'éclat des étoiles très souvent renouvelés. Ces changements sont ordinairement, sont presque toujours accompagnés de variations de couleurs et de quelques effets secondaires, conséquences immédiates de toute augmentation ou diminution d'intensité, tels que des altérations considérables dans le diamètre apparent des astres, ou dans les longueurs des rayons divergents qui paraissent s'élever de leurs centres suivant diverses directions.

« Cette description est bonne, dit Charles Dufour, sauf en ce qui concerne les changements de couleurs ». Or, Arago insiste sur cette face du phénomène : « Les changements instantanés de couleurs devant jouer un rôle décisif pour faire apprécier les explications diverses qu'on a données de ce phénomène, il devient curieux de rechercher si l'observation de ces changements est nouvelle, ou si elle n'avait pas échappé aux astronomes anciens ». Et il constate que les Arabes appelaient Sirius *Bara Kesch*, c'est-à-dire l'étoile aux mille couleurs. Galilée signale les teintes particulières de Mars et de Jupiter qu'affecte dans ses scintillations l'étoile nouvelle de 1604. Kepler, Hooke, Michell, Melville, Förster, etc., font aussi allusion à des couleurs variables d'une même étoile.

« Ces variations ne sont sensibles que pour les plus belles étoiles lorsqu'elles sont voisines de l'horizon ».

[1] Voir page 8.

Elles sont appréciables sur Sirius, mais elles ne le sont guère sur les petites étoiles et les étoiles voisines du zénith ; du moins pour les observateurs suisses. Il peut en être autrement dans des conditions météorologiques différentes. Toutefois, « un effet de ces changements de couleurs qu'il importe de signaler est celui qui se produit quand on regarde avec une lunette une étoile scintillante, et que l'on fait vibrer le tube de l'instrument, par exemple en le frappant avec les doigts. Alors on aperçoit dans la lunette des rubans de feu, analogues à ceux que l'on voit quand on fait tourner rapidement un morceau de bois dont l'extrémité est embrasée. Si l'étoile que l'on regarde est une étoile blanche, ces rubans paraissent avoir toutes les couleurs de l'arc en ciel ; c'est entre autres ce qui arrive avec Sirius qui, de toutes les étoiles, est celle dont les rubans sont les plus beaux. Si l'on regarde une étoile rouge, telle qu'Aldébaran, Antarès ou α d'Orion, on voit bien des rubans qui présentent différentes couleurs, mais parmi elles, le rouge est prédominant. »

Cette expérience fut faite d'abord en 1813, par Nicholson, à l'aide d'une lunette achromatique de Ramsden. Un des collaborateurs d'Arago a trouvé qu'en la modifiant légèrement, elle permet de discerner des rubans de couleurs jusque sur les étoiles de sixième grandeur. Le phénomène n'est plus sensible sur celles de septième grandeur. Il ne l'est pas non plus avec les planètes.

« La scintillation des planètes, rapporte Arago, consiste en des changements d'intensité et non de couleurs. » Mais ici encore, nouvelles contradictions. Tycho et Képler disent que Mars scintille faiblement. Scheiner dit que Mars scintille avec beaucoup de force, surtout dans le voisinage de l'apogée. Jacques Cassini dit que Mars ne scintille pas du tout.

En réalité, tous ces observateurs ont raison, répond Charles Dufour, qui appuyait son affirmation sur qua-

rante années d'observations, faites tant à la montagne qu'à la plaine, dans toutes les conditions météorologiques, et à toutes les altitudes, du bord de la mer jusqu'aux régions des neiges éternelles. Tantôt Mars ne scintille pas du tout, tantôt faiblement, tantôt assez fort. Abstraction faite des circonstances météorologiques, ce qui joue ici un grand rôle c'est la grandeur apparente de la planète. C'est quand Mars nous apparaît la plus petite, c'est-à-dire à son apogée, qu'elle doit scintiller le plus fortement. La distance à la terre de Vénus et de Mercure étant, comme celle de Mars, très variable, leur diamètre apparent et par suite leur scintillation sera aussi très variable. Le diamètre apparent de Jupiter n'étant jamais si petit que celui de Mercure ou de Mars, la scintillation de Jupiter — et il en est de même de celle de Saturne — sera beaucoup plus rare. « Je n'ai vu scintiller Jupiter et Saturne, dit Ch. Dufour, que dans les nuits où la scintillation était très forte, et où les planètes étaient voisines de l'horizon. »

*
* *

Tandis qu'Arago, perfectionnant la lunette de Nicholson et inventant divers modèles de *scintillomètres*, préconisait pour l'observation de la scintillation l'emploi des instruments, Ch. Dufour fit toutes ses observations à l'œil nu, s'appuyant ainsi sur l'exemple d'Argelander dans ses beaux travaux sur β de la Lyre. Il apprécie la scintillation « au moyen d'un chiffre, comme on le fait pour plusieurs phénomènes ; en désignant par 0 une scintillation nulle et par 10 une scintillation maximale, « comme il arrive quelquefois quand l'étoile est voisine de l'horizon, qu'elle paraît sautiller, changer de couleur et parfois même disparaître. »

*
* *

Pour étudier l'influence de la hauteur des étoiles sur leur scintillation, Ch. Dufour commença par calculer, pour

les étoiles de première grandeur et pour quelques-unes de deuxième grandeur, un tableau indiquant quelle est leur hauteur au-dessus de l'horizon de Morges de demi-heure en demi-heure sidérale. Pour chaque étoile, il put tracer ainsi une courbe, en portant comme abscisse l'heure sidérale, comme ordonnée la hauteur de l'étoile à l'instant considéré. Ces courbes permettent de se rendre compte d'un coup d'œil de la hauteur relative de ces astres, et de voir le moment où deux d'entre eux se trouvent à la même hauteur, ce qui autorise des comparaisons intéressantes.

Il choisit ensuite pour une étoile donnée tous les jours marqués par une scintillation normale, quand il n'y avait eu ni les jours précédents, ni les jours suivants, aucune perturbation atmosphérique considérable.

« Je trouvai, pour la Chèvre, cinquante jours que je pouvais considérer comme types, et qui me semblaient des jours de scintillation moyenne. Je rejetai toutes les observations faites quand les étoiles étaient voisines des nuages, parce que j'avais remarqué qu'en pareil cas, la scintillation était toujours considérablement augmentée. Je rejetai de même celles qui avaient été faites le soir au crépuscule ou le matin à l'aurore, parce qu'alors encore, la scintillation est plus forte que quand il fait complètement nuit. Il me resta donc pendant ces cinquante jours, 330 observations de la Chèvre, observations que je pouvais considérer comme ayant été faites dans de très bonnes conditions. Je réunis celles qui avaient été prises à la même hauteur, puis je cherchai la moyenne. Bien qu'il fût évident que la scintillation allait en diminuant à mesure qu'on se rapprochait du zénith, il n'en était pas moins vrai que d'un degré à l'autre il y avait parfois des anomalies assez marquées. Je ne pouvais guère attendre mieux dans des recherches de ce genre qui, par leur nature même, ne sont pas d'une précision absolue. Je réunis alors les chiffres de 5 en 5°, en prenant les scintillations

constatées à 43, 44, 45, 46 et 47° pour la scintillation à 45°, celles constatées à 48, 49, 50, 51, 52° pour la scintillation à 50°, et ainsi de suite. Cette fois, la série ne présentait plus d'irrégularité sensible, ce qui devint évident par la construction de la courbe.»

Ayant achevé pour Véga un travail analogue à celui fait pour la Chèvre, Ch. Dufour constata entre la scintillation de ces deux étoiles une différence assez considérable, subsistant partout, sauf près du zénith, avec une remarquable régularité. La scintillation de Véga était la plus forte. Cette différence pouvait provenir, pensait-il, de ce que la Chèvre, ayant un diamètre apparent plus considérable, se rapproche des planètes, qui scintillent beaucoup moins que les étoiles fixes.

Consulté, Argelander, qui avait beaucoup observé et apprécié à l'œil nu la lumière des étoiles, ne put qu'approuver en tous points les procédés d'observation et les remarques de Charles Dufour à ce sujet. Mais, tout en convenant qu'une différence dans les diamètres apparents pouvait produire l'état constaté entre les scintillations des deux étoiles, il pensa qu'il pouvait provenir aussi de la différence de couleur qu'il y avait entre la Chèvre et Véga. On sait en effet que Véga est une étoile blanche, tandis que la Chèvre a une teinte jaunâtre.

La courbe de scintillation, une fois établie pour les étoiles de première grandeur, permit en effet d'énoncer cette première loi :

Les étoiles rouges scintillent moins que les étoiles blanches.

En quittant Bonn, dont Argelander dirigeait l'observatoire, Ch. Dufour s'était rendu auprès de Quételet, directeur de l'observatoire de Bruxelles, avec lequel il avait échangé quelques lettres[1] au sujet de la scintillation;

[1] *Bulletin Acad. royale de Belgique*, XXIII, n° 4.

Quételet approuva sa méthode [1] et l'engagea à poursuivre l'étude du phénomène, non seulement au point de vue météorologique, mais pour trouver le rapport qu'il y a entre l'intensité de la scintillation et l'épaisseur de la couche d'air traversée par le rayon lumineux.

Il détermina alors la courbe représentant la relation entre la distance zénithale des étoiles et la moyenne de leur scintillation, et chercha s'il y avait peut-être quelque autre courbe pareille à celle-ci. Après quelques essais, il trouva que « l'on obtiendrait une courbe qui s'approchait beaucoup de celle de la scintillation, si l'on prenait pour abscisses les distances zénithales, et pour ordonnées le produit (R) de la réfraction astronomique pour la hauteur de l'étoile considérée, par l'épaisseur de la couche d'air traversée par le rayon lumineux ».

« L'écart que présente les deux courbes est certainement peu de chose dans une recherche de ce genre. La plus grande divergence a lieu pour les faibles hauteurs au-dessus de l'horizon ; mais pour ces points aussi, les observations sont peu sûres, les étoiles ont perdu leur éclat ; celles de première grandeur brillent seulement comme celles de deuxième ou de troisième ; par conséquent, leur scintillation semble moins vive ; car, si dans les mêmes circonstances atmosphériques on observe la scintillation de deux étoiles de grandeur différente, généralement la plus brillante paraîtra aussi avoir la plus forte scintillation ».

On s'écarte donc peu de la vérité en admettant cette deuxième loi :

Sauf près de l'horizon, la scintillation est proportionnelle au produit de l'épaisseur de la couche d'air que traverse le rayon lumineux, par la réfraction astronomique à la hauteur que l'on considère.

---

[1] Ajoutons que Ch. Dufour eut plus tard la satisfaction de voir son mode d'observation et ses calculs approuvés également par le P. Secchi.

Pour calculer l'épaisseur de la couche d'air traversée par le rayon lumineux, Ch. Dufour avait compté la hauteur de l'atmosphère égale au $^1/_{80}$ du rayon terrestre. Si l'on admet une hauteur plus considérable, les résultats obtenus ne doivent subir qu'une modification inappréciable, attendu que la couche d'air qui existe au-dessus des 80 km. doit être à une pression si faible et constituer une si insignifiante fraction de la couche totale, qu'elle ne peut avoir une grande influence sur la marche de la lumière.

Il va sans dire que les deux courbes comparées n'étaient pas absolument identiques, mais que pour une même abscisse, l'ordonnée de la courbe de scintillation était proportionnelle à celle de l'autre courbe. Appelons x le coefficient de proportionnalité, c'est-à-dire le nombre par lequel il faut multiplier les ordonnées de la courbe de scintillation pour trouver les produits R correspondants ; sachant qu'à la distance zénithale de 40° par exemple, le produit R est 6,36 et la *moyenne* de scintillation des étoiles 1,12, on a :

$$6{,}36 - 1{,}12\,x = 0.$$

En établissant une équation analogue pour toutes les hauteurs, jusqu'à 70° de distance zénithale, Dufour obtint un grand nombre d'équations de condition, qui, traitées par la méthode des moindres carrés donnèrent

$$x = 5{,}433.$$

Répétant le même calcul, non plus pour la moyenne des étoiles, mais pour la courbe des scintillations de chaque étoile, il trouva que les différentes valeurs du coefficient de proportionnalité était

pour	Procyon : $x =$	4,814,
»	Véga	4,92,
»	la Chèvre	5,392,
»	Aldébaran	5,461,
»	Arcturus	6,73.

Or, on peut dire que x est le nombre par lequel il faut diviser, à chaque hauteur, le produit R, pour trouver l'intensité de la scintillation correspondante de l'étoile donnée; ce qui revient à dire que cette scintillation $= \frac{R}{x}$. A une même hauteur, c'est-à-dire pour le même produit R, les intensités des scintillations des différentes étoiles sont donc inversement proportionnelles à x. Dès lors, sachant que pour la moyenne des étoiles, $x = 5{,}433$, si l'on désigne par 100 l'intensité de la scintillation moyenne des étoiles, celle de Procyon sera

$$\frac{100 \times 5{,}433}{4{,}814} = 113.$$

En faisant un calcul analogue pour les autres étoiles, on trouve que les intensités relatives des scintillations peuvent être appréciées par les chiffres suivants:

Véga	110
La Chèvre	101
Aldébaran	99
Arcturus	81
α d'Orion	90 (approximativement).

On voit bien ici que les trois étoiles rouges Aldébaran, Arcturus et α d'Orion ont une scintillation plus faible que les étoiles blanches Procyon, Véga et même que l'étoile jaunâtre la Chèvre.

C'est ainsi que l'on peut énoncer cette troisième loi :

« *Outre le fait de la différence des couleurs, il paraît y avoir encore entre la scintillation des diverses étoiles des différences essentielles qui proviennent peut-être des étoiles elles-mêmes.* »

*
* *

Pour bien étudier à quel point la scintillation est modifiée par l'action de l'atmosphère, Ch. Dufour l'observa

avec soin au cours de diverses excursions dans les Alpes. Des observations qu'il fit pendant une nuit passée au Faulhorn (2685 m.), à la Furka (2436 m.), et ici et là, à des hauteurs moins considérables; et surtout de celles qu'il fit pendant un séjour au Grand Saint-Bernard (2468 m.), il résulte que la scintillation est incontestablement plus faible sur les montagnes que dans la plaine.

M. Piazzi-Smith, directeur de l'observatoire d'Edimbourg, eut l'occasion de faire la même remarque, durant une expédition scientifique au Pic de Ténériffe. M. Flammarion, dans son *Astronomie populaire*, dit aussi: « Pendant les nuits que j'ai eu le plaisir de passer en ballon, j'ai été surpris du calme et de la majestueuse tranquillité des flambeaux célestes, qui semblaient correspondre au silence et à la profonde solitude dont j'étais environné. »

Si l'on consulte les travaux de H. de Saussure, on trouve: « Au col du Géant, on vit toujours une scintillation très forte dans les étoiles voisines de l'horizon, la Chèvre, par exemple. Le 2 juillet, à minuit, la Lyre, le Cygne, l'Aigle et leurs égales en hauteur n'en avait absolument aucune. Au contraire, le 5, je voyais beaucoup de scintillation à Arcturus, assez à l'Aigle et un peu au Cygne. La Lyre seule en était exempte. »

Ayant établi, en consultant les notes originales du grand naturaliste, que l'observation de faible scintillation était du 12 juillet et non du 2, ainsi qu'une faute d'impression le fait dire au texte cité, et que l'observation du 5 juillet fut faite à 5 heures du soir, Charles Dufour peut calculer à 1° près quelle devait être au col du Géant la hauteur des étoiles observées. Le 5 juillet à 10 heures du soir, ces hauteurs étaient

pour la	Chèvre	2°,
»	Véga	72°,
»	l'Aigle	38°,
»	le Cygne	53°,
»	Arcturus	44°.

Le 12 juillet à minuit :

pour	la Chèvre	5°,
»	Véga	77°,
»	l'Aigle	51°,
»	le Cygne	78°.

« En considérant les étoiles telles que de Saussure les voyait au col du Géant les 5 et 12 juillet 1788, avec les hauteurs rétablies ci-dessus, je trouve dans mes notes nombre d'observations où les étoiles avaient sensiblement la même hauteur que celles observées par de Saussure le 12 juillet et, à Morges, elles scintillaient assez fortement. Cela ne paraîtra peut-être pas assez concluant, puisque de Saussure dit lui-même que ce jour-là, au col du Géant, la scintillation était faible ». Mais prenons Véga, qui le 5 juillet, jour où la scintillation était *forte*, en était *exempte*. « Je trouve dans mes notes nombre d'observations faites à Morges sur la même étoile, à une hauteur de 72°, où elle avait une scintillation très sensible. Et même souvent, à Morges, j'ai trouvé une scintillation assez forte sur Véga quand elle avait une hauteur supérieure à 72°. De l'ensemble de ces observations, on peut conclure, me semble-t-il, que *la scintillation est plus faible sur la montagne que dans la plaine* ».

*
* *

On peut expliquer la forte scintillation de la Chèvre remarquée par de Saussure au col du Géant par le fait que l'étoile se trouvant alors à une hauteur de 2 à 5° au-dessus de l'horizon, sa lumière devait traverser une épaisse couche d'air avant d'arriver à l'œil de l'observateur.

Or, il est possible d'observer d'une cime élevée des étoiles dont la distance zénithale excède 90°. Leur lumière traverse alors une couche d'air d'une très grande épaisseur, et il serait intéressant de noter quel aspect elles pré-

sentent au point de vue de leur scintillation, de leur éclat et de leur couleur. « Il n'est pas à ma connaissance que des observations de ce genre aient été faites, dit Ch. Dufour dans une petite digression. Comme je ne me préoccupais pas alors de cette question, je n'y ai pas pris garde, dans la nuit du 21 au 22 juillet 1869, que j'ai passée à la cime du Faulhorn, afin d'y observer la scintillation. Du reste, à cette saison, en fait d'étoiles de première grandeur, je n'aurais pu observer que le coucher de l'étoile rougeâtre Arcturus et le lever de l'étoile rouge Aldébaran, et encore cela dans les premières heures de l'aurore. Or, pour cette étude, il vaudrait mieux des étoiles blanches. »

« En se bornant aux observations que l'on pourrait faire dans la bonne saison, puisqu'en hiver on ne va guère séjourner dans les régions élevées ; on aurait pour nos latitudes, le lever de Rigel, vers 23 ½ heures sidérales, celui de Procyon vers 1 heure, celui de Sirius vers 1 ½ heure, le coucher d'Altaïr vers 2 heures, et celui de Véga vers 4 ½ heures. Ces observations pourraient se faire dans les montagnes, pendant les mois d'août, de septembre et même d'octobre.

« Il serait intéressant d'observer pendant ces deux derniers mois, entre 10 heures du soir et 3 heures du matin, à l'heure la plus propice suivant la saison. On verrait alors apparaître successivement les étoiles brillantes qui donnent tant d'éclat à nos belles soirées d'hiver. On les observerait d'abord quand elles sont à plus de 90° de distance zénithale et que leur lumière traverse des couches d'air d'une épaisseur considérable. Peu après, cette épaisseur aurait fortement diminué. Alors, pour apprécier la quantité de lumière absorbée par l'atmosphère, et sur quelle couleur surtout se porte cette absorption, il serait intéressant de comparer ces étoiles au moment de leur première apparition avec les étoiles déjà plus élevées, et de les

comparer de nouveau, quand, une fois dégagées de l'épaisse couche d'air à travers laquelle on les a d'abord vues, elles nous enverraient une lumière qui traverserait une couche d'air plus mince que dans la plaine.

« A présent que l'on construit des refuges et même des observatoires près des plus hautes cimes, je recommande cette étude aux jeunes gens qui ont de bons yeux, et qui peuvent faire cette recherche avec succès. »

*
* *

Et maintenant, y a-t-il quelque relation entre la scintillation et le temps qu'il fait ou qu'il fera ?

« Au début, dit Ch. Dufour, je croyais la question beaucoup plus facile ; je supposais que les deux phénomènes étaient intimement liés et que malgré le peu de résultats indiqués par les astronomes et les physiciens qui jusqu'alors s'étaient occupés de la scintillation, il suffirait de deux ou trois années d'observations faites dans toutes les saisons et dans toutes les conditions météorologiques pour trouver la loi qui les liait.

« Je me trompais ; je ne tardai point à reconnaître que cette loi était fort compliquée, et que si la scintillation était une fonction du changement qui se fait dans notre atmosphère, cette fontion n'était pas facile à reconnaître, et qu'il y a peut-être d'autres facteurs qui viennent compliquer les résultats. Je dirai même que jusqu'à présent, il y a une seule conclusion météorologique que je peux déduire de mes nombreuses observations.

« Cette conclusion est celle-ci : *Une faible scintillation annonce, en général, l'approche du mauvais temps.*

« Cette prévision ne se réalise pas toujours, comme il arrive du reste pour la plupart des prévisions météorologiques, à commencer par celles que l'on tire de la marche du baromètre. Mais les cas dans lesquels elle se réalise sont assez nombreux pour que l'on puisse tirer de là une

grande probabilité. Une scintillation très forte est quelquefois aussi le précurseur de troubles atmosphériques. En somme, c'est une bonne scintillation moyenne qui donne les probabilités de beau temps. »

Si l'on consulte, dans le travail d'Arago, les opinions des divers astronomes qui ont traité ce sujet, on voit qu'elles sont généralement opposées à celle de Ch. Dufour. Mais dans ce cas encore, elles restent peu documentées et parfois contradictoires. Humboldt assure que « dans les contrées tropicales, la saison des pluies est annoncée plusieurs jours à l'avance par la scintillation des étoiles élevées » ; ailleurs il dit: « Au commencement d'avril, sur les bords de l'Orénoque, par une atmosphère très humide, aucune scintillation ne se fait remarquer dans les étoiles, pas même à 4 ou 5° de hauteur. »

Un seul jour de faible scintillation est cité dans les observations de H.-B. de Saussure. Mais il est caractéristique. C'est ce 12 juillet 1788, indiqué plus haut. Le lendemain, dit Saussure, le temps fut presque calme. « Oui, au col du Géant, s'écrie Ch. Dufour, mais ailleurs ! Allez consulter sur ce sujet les personnes qui habitent en France, spécialement sur une zone qui partant des Pyrénées occidentales, passe par la Rochelle, Blois, Paris, et quitte la France près de Lille pour pénétrer dans les Pays-Bas ; ils vous répondront qu'ils ont entendu dire à leurs pères que ce jour-là, toute cette vaste étendue de pays fut parcourue par un orage épouvantable, et ravagée par la plus forte grêle que les annales de la météorologie aient jamais enregistrée.[1] »

[1] Une autre observation de Saussure, faite le 12 juillet, a son importance : c'est l'agitation anormale des boussoles, qu'il remarqua de 3 1/2 heures après-midi à 11 heures du soir. « Il est probable, dit Charles Dufour, que de Saussure est mort sans jamais avoir pensé qu'il pouvait y avoir quelque corrélation entre l'agitation de ses boussoles au col du Géant, et l'orage qui le lendemain se déchaînait sur la France. » (C. R. Paris, 1870).

Le livre de notes de Ch. Dufour indique d'abondantes observations de faible scintillation suivie, le lendemain, de baisse du baromètre, d'orage, de gros vent ou de pluie, tantôt à Morges, tantôt dans d'autres contrées. Les plus caractéristiques sont celles des 17 et 19 février 1879, qui furent suivies, le 20, d'un orage d'une violence extraordinaire, le plus fort qui ait été ressenti en Suisse au XIXme siècle.

En admettant cette loi : « Une faible scintillation révèle un état de l'atmosphère qui présage une prochaine perturbation météorologique », Ch. Dufour se trouvait être en désaccord avec plusieurs observateurs, entre autres avec son ami Montigny, de Bruxelles, qui avait commencé quelques années après lui des recherches sur le même phénomène.

Mais les circonstances qui avaient entouré leurs travaux étaient bien différentes :

Montigny observait dans le voisinage de l'océan, près d'une grande ville où il y avait beaucoup de fumée, et dans un pays de grande industrie. Or, on sait à quel point la fumée se dilue dans l'atmosphère et en modifie la transparence[1]. De plus, Montigny observait avec un scintillomètre intercalé dans une lunette de 77 mm. d'ouverture. Et il avait remarqué que ses observations étaient différentes suivant la grandeur du diamètre de la lunette.

Est-il étonnant, après cela, de trouver de plus grandes différences encore quand on passe de la lunette de 77 mm. qu'il employait en général, à cette autre qu'on nomme l'œil humain ? De plus, Ch. Dufour observait généralement en Suisse, où les conditions hygrométriques des hautes régions de l'atmosphère ne sont sans doute pas les mêmes qu'en Belgique. Il a montré, en effet, avec M. Forel, que les glaciers et les neiges éternelles dessèchent

[1] Voir page 20.

l'air comme pourrait le faire un lac d'acide sulfurique[1].

Montigny a bien trouvé avec son instrument la confirmation des trois lois que Ch. Dufour avait établies dans les premières années de ses recherches. « Mais, quand il s'agit de la pluie et des modifications que la présence de la vapeur d'eau apporte à la marche de la lumière, en est-il de même ? »

Les circonstances n'ont permis qu'un nombre restreint de comparaisons entre les scintillations observées simultanément à Bruxelles et à Morges. Mais les cas où cette comparaison a pu se faire suffisent à montrer que ce phénomène n'est pas identique dans les deux localités — du moins tel qu'il était apprécié par Montigny et Dufour — et qu'il ne correspondait pas non plus aux mêmes phénomènes météorologiques.

Quelle influence peuvent avoir eue sur leurs résultats les conditions différentes dans lesquelles ils étaient placés ? « Je ne le sais pas, répond Ch. Dufour. Mais cela prouve que la question n'est pas définitivement liquidée pour tous les climats et pour tous les pays.

« Après les observations que j'ai faites, je suis convaincu qu'il y a une relation entre les phénomènes météorologiques et l'intensité de la scintillation. Les marins qui feront cette étude pendant leur heure de quart pourront voir sur la mer, dans une atmosphère non troublée par les poussières, et dans les différents climats, si les choses se passent comme Montigny les a trouvées en Belgique, ou comme je les ai trouvées en Suisse. »

*
* *

A lire le travail d'Arago sur la scintillation, on s'aperçoit que la plupart de ceux qui ont étudié ce phénomène, peu ou prou, ont voulu en donner l'explication. Beau-

[1] *Recherches sur la condensation de la vapeur aqueuse de l'air et sur l'évaporation.* B. S. V. X, 1871.

coup sont à rejeter d'emblée. « Parmi elles, toutes celles qui voient dans la scintillation une conséquence de la lumière des étoiles et de la fatigue qu'elle produit sur notre œil. » Sans doute, on s'expliquerait ainsi la faible scintillation des planètes et la forte scintillation des étoiles. Sirius brille souvent plus que Mars, et toujours plus que Saturne, bien que son diamètre apparent soit infiniment plus petit, et d'une manière générale, il est incontestable que l'éclat des étoiles est en effet supérieur à celui des planètes. Mais, si la fatigue que l'on éprouve par l'éclat des étoiles était la cause de leur scintillation, celle-ci serait plus forte au zénith qu'à l'horizon et plus forte à la montagne qu'à la plaine ; or, nous savons qu'il n'en est pas ainsi.

« Il est certain, d'après cela, qu'il faut rejeter toutes les explications qui attribuent la scintillation à un phénomène qui se passe dans notre œil. Et dès qu'elle est plus forte à l'horizon qu'au zénith, et plus faible à la montagne qu'à la plaine, elle doit se produire dans la couche d'air qui traverse la lumière des étoiles pour arriver à notre œil. »

Arago voit dans la scintillation une conséquence du principe des interférences. « Cette explication est ingénieuse, et rend assez bien compte de la plupart des apparences », dit Ch. Dufour, qui y avait trouvé d'abord l'explication de sa première loi. En effet, l'onde rouge étant la plus grande onde, aurait besoin pour interférer de perturbations plus considérables. Montigny appliquait aussi le principe d'Arago à cette loi, mais d'une autre manière. A égale distance de l'observateur, l'écartement total des faisceaux colorés émanés d'une étoile blanche et dispersés par l'atmosphère est bien plus grand, disait-il, que si l'étoile était rouge ou qu'ils fussent composés d'une plus grande quantité de rayons rouges. Toutes choses égales d'ailleurs, par suite de cette différence, les rayons originaires de l'étoile blanche étant les plus étalés par dis-

persion, ils seront plus exposés à subir des interruptions fréquentes par le passage des ondes aériennes ». Pour trancher la question, il aurait fallu pouvoir observer des étoiles violettes, qui, d'après la première explication, devraient scintiller plus que les étoiles blanches, d'après la seconde devraient scintiller comme les étoiles rouges, c'est-à-dire faiblement. Malheureusement, il n'y a pas d'étoiles violettes de première grandeur, et le résultat n'aurait pu être assez certain avec une étoile de grandeur inférieure.

D'ailleurs, Ch. Dufour fit bientôt une objection essentielle à la théorie d'Arago. « Si les interférences étaient bien la cause de la scintillation, il semble que celle-ci devrait toujours être considérable, car les perturbations atmosphériques dont il parle doivent toujours exister et la scintillation ne devrait jamais être faible et surtout jamais nulle, ce qui n'est certainement pas le cas. Par conséquent, la théorie d'Arago a le défaut d'expliquer *trop bien* le phénomène. C'est assurément un beau défaut, mais enfin, c'est un défaut. Et dès que des objections d'un autre ordre viennent se joindre à celle-là, je comprends que cette théorie puisse être attaquée. »

La manière de voir de Ch. Dufour se rapprochait dès lors de celle de M. Respighi, qui combattit aussi la théorie d'Arago, mais avec des raisons tirées de l'étude spectroscopique des étoiles scintillantes, et qui voit dans la scintillation une conséquence des réfractions anormales qui se produisent dans l'atmosphère. Seulement, Respighi s'occupe du phénomène tel qu'on l'observe à l'aide d'une lunette. Dufour, au contraire, l'étudie tel qu'il apparaît à l'œil humain.

Soit une étoile blanche; ses rayons se décomposent en pénétrant dans l'atmosphère, et l'œil O reçoit les rayons de couleurs différentes, qui ont parcouru des trajectoires convergentes en O. Tous ces rayons, en se réunissant, forment à nouveau de la lumière blanche.

« Mais si, par suite d'une modification quelconque dans les couches d'air, quelques-uns de ces rayons viennent à être déviés ou que d'autres rayons, qui allaient ailleurs, soient aussi dirigés au point O, l'étoile paraîtra plus brillante ou moins brillante, et les couleurs pourront se produire. On comprend très bien alors, que la scintillation soit plus forte à l'horizon qu'au zénith, puisque, d'abord la couche d'air traversée est plus considérable, ensuite parce que les rayons pénètrent dans les couches d'air d'inégale densité, dans une direction qui s'écarte plus de la normale. Mais si les rayons, au lieu de partir d'un point comme une étoile, partaient d'un luminaire qui a une surface apparente plus considérable, comme une planète ; alors le faisceau aura une plus grande étendue, quelques rayons lumineux de plus ou de moins ne produiront pas d'effet appréciable, et l'astre ne paraîtra pas scintiller ».

Quelle que soit l'explication admise pour la scintillation, il reste à rechercher comment il se fait que généralement une scintillation faible précède l'arrivée du mauvais temps.

Si, avant la pluie, la vue des objets éloignés est gênée parfois par des réfractions anormales — conséquence de l'inégale densité des couches d'air — il n'en est plus de même après la pluie. Souvent même, immédiatement avant la pluie, la transparence de l'air est très grande. Et l'on sait que le dicton : *Nous aurons bientôt la pluie parce que les montagnes paraissent plus près*, se vérifie dans la majorité des cas. On l'explique en disant que souvent l'air est transporté en avant avec plus de vitesse que la pluie, et que par conséquent, avant que l'eau tombe, nous sommes entourés d'un air dans lequel il a plu.

« Or, il arrive fréquemment que le vent du sud-ouest qui nous amène le mauvais temps souffle dans les hautes régions de l'air deux ou trois jours avant de se faire sentir dans la plaine. A Morges, nous sommes bien placés pour l'ob-

server. En effet, du côté du sud, à une distance de 80 km., et à travers l'échancrure de la vallée de la Dranse, nous voyons très bien, non seulement la cime du Mont-Blanc, mais tous les contreforts qui l'entourent. Or, par un ciel parfaitement serein et un temps très calme dans le bassin du lac, nous voyons souvent sur la cime du Mont-Blanc, la neige enlevée par le vent du S.-W. et emportée du côté du col du Géant. Le lendemain pareille chose arrive pour des cimes moins élevées ; puis le surlendemain, le mauvais temps nous arrive, le vent du S.-W. souffle dans les régions inférieures, soulève de grosses vagues sur le lac, et la pluie tombe.

« Si l'on fait l'ascension d'une de ces montagnes élevées de 2000 à 3000 mètres, on y trouve parfois un vent violent du S.-W., tandis qu'il n'y a pas la plus petite ride à la surface du lac; mais le lendemain ou le surlendemain, le vent y souffle aussi et la pluie tombe en abondance.

« Eh ! bien, n'est-il pas possible que deux ou trois jours avant l'arrivée du mauvais temps, les régions supérieures de l'atmosphère soient déjà sous l'inflence du cyclone qui s'approche de l'ouest, et que dans les régions inférieures, on s'en aperçoive seulement par des phénomènes optiques ; or, comme les seuls objets que l'on peut y voir sont les étoiles, cette absence de réfractions anormales se manifesterait par une scintillation plus faible. »

La preuve que la scintillation est plus forte quand elle traverse un air plus sec, résulte des observations de Kaemtz, vérifiées par Charles Dufour. Elle est plus forte lorsque les étoiles sont voisines des nuages. Or, d'après les expériences de M. de Gasparin, la radiation des rayons solaires, qui est plus forte quand l'air est plus sec, est plus forte aussi dans le voisinage des nuages : il faut en conclure que le nuage attire à lui l'humidité et que les couches d'air qui l'avoisinent sont plus sèches. Si

étrange que cela puisse paraître, le fait n'en a pas moins été constaté il y a un certain nombre d'années, où un brouillard intense couvrait la plaine vaudoise pendant que le psychomètre de Sainte-Croix annonçait une sécheresse considérable.

De plus, y aurait-il peut-être quelque enseignement à tirer au sujet de la scintillation des conclusions de H. Wild[1] sur la transparence de l'air sec et de l'air humide :

1. La poussière, suspendue dans l'air, diminue sa transparence à un très haut degré.

2. De l'air à peu près débarrassé de poussières exerce une action absorbante plus grande sur la lumière quand il est saturé de vapeur d'eau que lorsqu'il est sec.

Montigny ne doutait pas que le pouvoir absorbant de l'air pour la lumière n'intervînt dans la scintillation. « La lumière, disait-il, est un agent physique excessivement sensible aux changements qui affectent les milieux qu'elle traverse ; aussi je ne doute aucunement que l'examen détaillé des rayons émanant des étoiles scintillantes lors de leur passage à travers l'atmosphère ne soit capable de nous révéler la cause des changements qui y surviennent. »

« Je ne ferai qu'une modification à l'idée de Montigny, conclut Ch. Dufour, c'est à la fin. Je dirai plutôt : ne soit capable de nous révéler *la nature* des changements qui y surviennent. Quant à la cause, il arrivera peut-être encore ici ce qui arrive pour les cyclones et les tornados. On constate le fait ; mais quant à la cause, les idées les plus différentes sont présentées et défendues. »

*
* *

Le mémoire sur la scintillation qui vient d'être résumé fut envoyé à plusieurs ministres de la marine. La plupart répondirent qu'ils le communiqueraient à leurs officiers avec l'invitation d'observer ce phénomène sur mer. Sur la

[1] A. G. 1869.

demande du ministre français, Dufour rédigea même des instructions pratiques qui furent insérées dans les *Annales hydrographiques* (1894, p. 19 et suivantes.) Et bientôt, il reçut les observations recueillies à bord de la *Durance*, de décembre 1894 à septembre 1895, pendant que ce navire faisait plusieurs traversées dans l'océan Pacifique et l'océan Indien [1]. Elles avaient été inscrites dans le journal du bord par les officiers, sur l'ordre du capitaine Philibert, toutes les deux heures, de sept heures du soir à cinq heures du matin. La scintillation avait été appréciée par un chiffre, d'après le mode adopté par Ch. Dufour, et en regard de la moyenne des chiffres inscrits pour chaque nuit, on avait indiqué le temps météorologique du lendemain, ainsi que la direction de la brise et sa force.

Il résulte de ces observations, — « on peut les donner comme modèle des observations à faire sur mer, » — que « même dans les parages où le beau temps règne presque toujours, les temps couverts et pluvieux sont probables avec une scintillation très faible ou faible la veille. »

Et Charles Dufour put relever dans la note du capitaine Philibert ce deuxième point important, que les officiers de la *Durance* étaient arrivés facilement à observer à l'œil nu, comme il l'avait fait à Morges, — ce que quelques personnes considéraient comme très difficile. Il eut donc la satisfaction de constater vers la fin de sa vie — je n'ai pas dit vers le déclin, car il ne déclina jamais — ce premier résultat, qui est une première confirmation d'une étude à laquelle il avait consacré de nombreuses années, beaucoup de travail, et une grande partie de son activité scientifique.

E. Ansermet,
licencié ès sciences.

[1] *Annales hydrographiques*, 1895. — B. S. V., décembre 1895.

Mieux que des éloges, l'œuvre astronomique dont on vient de lire une substantielle analyse témoigne de la science et de la conscience de son auteur. Il est bon de le répéter : à côté de ses devoirs professionnels, qui eussent amplement suffi à absorber un homme ordinaire, Charles Dufour travailla tant et si bien que le nombre de ses notes et mémoires, communiqués à diverses sociétés savantes, finit par atteindre le nombre de ses années. En présence de son œuvre, on s'étonne quand on met en regard l'importance des résultats et la petitesse des moyens matériels dont pouvait disposer — on l'a dit — « cet astronome sans observatoire, ce physicien sans laboratoire. » Et cette comparaison suggestive grandit singulièrement ses mérites.

Tous les élèves de Charles Dufour ont gardé de son enseignement le meilleur souvenir. Clair et facile, son cours universitaire ignorait la banalité. Rien n'est plus objectif qu'un fait ou une loi scientifique ; et pourtant, ce maître excellent savait imprimer à ses exposés un cachet tout personnel. — Sa bienveillance, sa rondeur d'allures, son entrain, son optimisme inébranlable, contribuaient déjà au succès de ses leçons. Dans sa longue carrière, aussi bien que les astres il avait observé les hommes et les choses ; et, habile à saisir et à rendre les aspects pittoresques, il contait avec prédilection mainte anecdote savoureuse sur les savants qu'il avait fréquentés : Arago, Le Verrier, le père Secchi, Argelander, Quételet, les Struve ;... j'en passe, et des meilleurs. — Par des comparaisons d'une ingénieuse simplicité, il gravait dans les esprits l'image exactement réduite du système solaire, des distances de la Terre aux plus proches étoiles, des mouvements propres des astres, etc. — Enfin, il avait le droit de parler sur de nombreux sujets avec l'originalité et l'autorité réservées à ceux qui ont su dévoiler quelques-uns des secrets de la grande Nature.

... Voilà trois ans déjà que, par l'obscur chemin où va toute la Terre, le maître vénérable s'en est allé. Mais à la science ses travaux demeurent, et à ceux qui l'ont connu et aimé restera jusqu'à la fin son exemple : exemple lumineux d'une belle et noble vie.

L. M.