

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.
Kapitel: VIII: La scintillation des étoiles
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-267843>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 18.01.2025

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

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 lettres¹ au sujet de la scintillation ;

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

Quételet approuva sa méthode¹ 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 $\frac{1}{80}$ 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^o 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 ^o , |
| » Véga | 72 ^o , |
| » l'Aigle | 38 ^o , |
| » le Cygne | 53 ^o , |
| » Arcturus | 44 ^o . |

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 paraît 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 $\frac{1}{2}$ heures sidérales, celui de Procyon vers 1 heure, celui de Sirius vers 1 $\frac{1}{2}$ heure, le coucher d'Altaïr vers 2 heures, et celui de Véga vers 4 $\frac{1}{2}$ 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 fonction 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 déchainait 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 XIX^{me} 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 transparence¹. 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. Forrel, que les glaciers et les neiges éternelles dessèchent

¹ Voir page 20.

l'air comme pourrait le faire un lac d'acide sulfurique¹.

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'influence 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. Wild¹ 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 Indien¹. 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.

