**Zeitschrift:** Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles
**Herausgeber:** Société Vaudoise des Sciences Naturelles
**Band:** 31 (1895)
**Heft:** 118

**Artikel:** Sur l'opacité du charbon
**Autor:** Dufour, C.
**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-264368

**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:** 16.07.2025

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

# SUR L'OPACITÉ DU CHARBON

par **Ch. DUFOUR**, professeur à Morges.

---

On n'a pas perdu le souvenir des magnifiques lueurs crépusculaires qui ont embelli l'hiver de 1883-1884. Au premier abord on les a attribuées à des aurores boréales, mais on n'a pas tardé à reconnaître que ce phénomène en différait entièrement et qu'il fallait en chercher l'explication ailleurs.

Alors, on pensa qu'il pouvait être une conséquence de la violente éruption du Krakatoa, dans le détroit de la Sonde, qui avait commencé au mois de mai 1883, était devenue de plus en plus forte pendant les mois de juin, de juillet, et une partie du mois d'août, et qui s'était terminée le 26 août, par cette terrible explosion qui dura plusieurs heures et qui est certainement une des plus fortes que l'on ait jamais observées.

La plus grande partie de l'île de Krakatoa s'enfonça dans la mer et de nouvelles îles surgirent dans le détroit. Ce cataclysme produisit une vague énorme, qui détruisit les villes situées dans le voisinage sur les côtes de Java et de Sumatra, et se propagea à travers tous les océans; elle fut constatée dans le canal de la Manche, aux Antilles, au cap Horn, etc.

C'est peu après ce grand événement que l'on vit, d'abord dans le voisinage de Java, ensuite en Amérique et plus tard en Europe, ces superbes lueurs que l'on admirait le soir et le matin.

Quand on eut reconnu qu'elles n'étaient pas produites par les aurores boréales, on chercha à les expliquer d'une autre manière.

Plusieurs personnes prétendirent qu'elles étaient causées par le passage de la terre dans la queue d'une comète. Mais alors le globe entier y aurait été plongé en quelques minutes, ainsi que cela arriva lors des pluies d'étoiles filantes observées précédemment; tandis qu'il s'écoula plusieurs semaines depuis le moment où on les vit dans le voisinage des îles de la Sonde jusqu'à leur apparition en Europe. En Suisse, elles apparurent pour la première fois le 26 novembre, mais en Angleterre on les avait déjà admirées plusieurs jours auparavant.

Quelques personnes ont essayé de déterminer la hauteur de ces lueurs; je ne sais pas quel moyen elles ont employé. Je l'ai calculée aussi par un procédé que j'ai exposé dans les Archives des Sciences naturelles de Genève, numéro du 15 février 1885, et qui consiste à utiliser le moment où ces lueurs devenaient invisibles à l'Ouest. J'ai trouvé 70 kilomètres, et j'ai eu le plaisir de voir que ce résultat se rapprochait beaucoup de celui auquel était arrivé Helmholtz, qui avait trouvé 65 kilomètres, quelques observateurs étaient arrivés à des chiffres qui se rapprochaient de ceux-là, tandis que d'autres trouvaient des résultats sensiblement différents.

Au commencement de décembre 1883, la lune paraissait avoir une couleur verdâtre, couleur que, du reste, on avait déjà remarquée à Batavia au mois de septembre.

Ces lueurs furent splendides pendant le mois de décembre 1883 et janvier 1884; elles diminuèrent sensiblement en février; mais en septembre 1884 elles étaient encore visibles; et en employant le même procédé de calcul, je trouvai que les substances qui les formaient étaient encore à une hauteur de 61 kilomètres.

Si ce brillant phénomène attira plus spécialement l'attention du public, il ne fut cependant pas le seul qu'il y ait eu à signaler pendant la fin de l'année 1883 et pendant l'année 1884. D'abord, on remarquait autour du soleil un cercle appelé cercle de Bishop, qui était plus visible sur les montagnes que dans la plaine. Ensuite l'atmosphère avait perdu une partie de sa transparence. Pendant plus d'une année, il était difficile, même aux personnes douées d'une très bonne vue, de distinguer les étoiles de 6e grandeur. Et jamais la lumière zodiacale ne m'a paru aussi faible qu'au printemps de 1884.

On sait que, en général, la lune ne disparaît pas entièrement pendant ses éclipses totales; elle conserve une lumière d'un rouge sombre qui permet de la distinguer dans le firmament. Cette lumière est causée par l'atmosphère de la terre qui réfracte sur la lune quelques rayons du soleil, ce qui permet de la voir parmi les étoiles. Cependant il arrive quelquefois, mais très rarement, que la lune disparaît pendant ses éclipses totales; on attribuait ce fait aux nuages de la terre qui interceptaient les rayons du soleil. Je n'ai jamais considéré cette explication comme bonne, car il aurait fallu que ces nuages existassent sur presque toute la circonférence du grand cercle où, en ce moment, les rayons du soleil étaient tangents au globe terrestre. Ensuite, les

nuages ne vont pas très haut, et au-dessus des nuages il doit y avoir une couche d'air assez épaisse pour produire une réfraction appréciable des rayons du soleil.

Mais, chose extraordinaire, cette disparition si rare de la lune s'est produite deux fois pendant l'année 1884, c'est-à-dire pendant les deux seules éclipses totales de cette année-là. La première, le 10 avril, a été observée dans l'île de Java; là par un ciel parfaitement serein, il était souvent impossible de voir la lune; d'autres fois on parvenait à distinguer quelque chose. Dans tous les cas, il y avait une grande différence avec les éclipses ordinaires. La seconde a été observée le 4 octobre en Europe; ici on pouvait en général distinguer la lune; mais au lieu de lui voir la teinte rouge ordinaire qu'elle a pendant ses éclipses totales, elle paraissait d'un vert grisâtre très faible; de façon que l'on ne savait trop quelle était cette tache, d'un aspect si étrange, que l'on voyait dans le ciel; cette teinte verte rappelait celle que l'on avait remarquée sur la lune au mois de décembre précédent.

Il est probable que ces disparitions de la lune sont dues au trouble qu'il y avait dans l'atmosphère depuis l'automne de 1883, et qui existait jusque dans les hautes régions de l'air.

Il est probable aussi que les disparitions analogues de la lune, observées dans les éclipses totales antérieures, avaient la même cause.

Alors, après que l'on eut reconnu que les lueurs crépusculaires ne pouvaient être attribuées ni à des aurores boréales, ni au passage de la terre dans la queue d'une comète, on pensa qu'elles pouvaient provenir des substances lancées dans l'air par le Krakatoa, substances qui s'étaient répandues dans toute l'atmosphère et avaient ainsi produit tous les phénomènes extraordinaires de l'année 1884.

J'ai dit que ces lueurs avaient été observées en Amérique et en Angleterre avant qu'elles l'aient été en Suisse. Il est probable, en effet, que ce trouble de l'atmosphère nous est arrivé de l'île de Java, non par l'Inde et l'Arabie, qui seraient cependant le plus court chemin, mais par l'Océan Pacifique et l'Amérique. Et cela pour une cause analogue à celle qui produit les vents alisés. Supposons des débris lancés à une grande hauteur dans les régions équatoriales, et animés de la vitesse de rotation de la terre dans ces régions. S'ils sont entraînés vers les pôles, ils ont une vitesse de l'Ouest à l'Est supérieure à celle des parallè-

les sur lesquels ils passent. Dans ces conditions ils s'avancent vers l'Est. De cette manière, des débris partis de l'île de Java arriveront en Europe après avoir passé sur les îles Sandwich, l'Amérique et l'Atlantique.

Quand on eut émis cette idée que les lueurs crépusculaires étaient produites par des débris lancés par le Krakatoa, on fit à cette hypothèse l'objection suivante : En évaluant au plus haut chiffre possible le volume des substances que ce volcan peut avoir lancées dans l'air, et en les supposant répandues sur tout le globe, on arrive à une couche tellement mince qu'il est impossible de lui attribuer les lueurs crépusculaires et les autres phénomènes optiques qui les ont accompagnées.

En effet, en supposant que toute la partie disparue du Krakatoa mesurât 20 kilomètres cubes, ce qui paraît exagéré, et en supposant que toute cette substance ait été réduite en poudre et lancée dans l'air, on trouve que ces 20 kilomètres cubes répandus sur tout le globe formeraient une couche épaisse de $^1/_{25}$ de millimètre, et il semblait impossible qu'une couche aussi mince pût troubler à ce point la transparence de l'air.

En est-on bien sûr ?

Plusieurs fois j'ai été étonné de voir à quel point les rayons du soleil étaient affaiblis quand ils avaient traversé la fumée d'un bateau à vapeur, fumée qui cependant représente une couche assez mince de matière solide ; mais je n'avais pas attaché grande importance à cette observation, et je n'en avais fait le sujet d'aucun calcul. Je l'ai reprise après l'éruption du Krakatoa. Les 5 et 6 février 1885, par des temps très calmes, je suis allé observer l'étendue du banc de fumée qui s'échappait de deux bateaux à vapeur du lac Léman, le *Dauphin* et le *Simplon*.

J'ai trouvé que, de temps en temps, on jetait sous les chaudières au plus 50 kilogrammes de houille ; une partie de cette houille s'en allait en fumée, ce qui formait des nuages dont la surface était au moins de 3000 mètres carrés. Je n'avais alors aucune idée du rapport qu'il y a entre la quantité de houille qui est brûlée et celle qui se perd en fumée. Dès lors, on m'a assuré que parfois la fumée représente seulement le 1 ou le 2 $^0/_0$ de la quantité jetée dans le feu ; et que, dans tous les cas, elle ne dépasse pas le 5 $^0/_0$. Comptons le 5 $^0/_0$ et bornons-nous à un nuage de fumée de 3000 mètres carrés, bien que souvent, dès lors, j'aie constaté l'existence de nuages beaucoup plus étendus.

En comptant 1 pour la densité du charbon, on trouve que le nuage de fumée qu'il a formé représente une plaque qui aurait environ $^1/_{1200}$ de millimètre d'épaisseur. Voilà donc l'épaisseur d'une couche de charbon suffisante pour arrêter, d'une manière très appréciable, les rayons du soleil, et pour troubler la transparence de l'atmosphère.

On sait que si l'on veut observer une éclipse de soleil, il est bon de protéger l'œil par un verre enfumé, que l'on prépare en passant un instant une plaque de verre sur la flamme d'une lampe. J'ai eu l'idée de déterminer l'épaisseur de la couche de charbon ainsi déposée; et, pour cela, j'ai prié mon collègue, M. Brunner, professeur de chimie à l'Université de Lausanne, de bien vouloir me prêter le concours de son expérience et de son habileté de praticien. M. Brunner a accepté, et a mis la plus grande obligeance à faciliter mes recherches en préparant lui-même, avec beaucoup de soins, les plaques en verre et en les pesant très exactement. On les passait ensuite sur un bec de gaz, puis on les repesait de nouveau pour apprécier le poids de la couche de charbon déposée. M. Brunner avait pris des plaques de verre longues de 10,7 centimètres et larges de 6,7 centimètres; leur surface était donc de 71,69 centimètres carrés, et leur poids variait de 26 à 29 grammes.

Le 13 décembre 1894, ces plaques furent enfumées, aussi uniformément que possible, en les agitant, un instant, sur un bec de gaz.

La plaque n° 1 fut enfumée légèrement, de façon qu'elle parût très faiblement opaque; la quantité de charbon qui y fut déposée pesait 0,3 de milligramme.

La plaque n° 2 le fut davantage, son opacité était un peu plus prononcée; la couche de charbon pesait 0,5 millig.

La plaque n° 3 fut enfumée plus fortement; à travers cette plaque on distinguait encore fort bien les objets terrestres, mais ce n'aurait pas été suffisant pour observer le soleil; le charbon pesait 1 millig.

Enfin, la plaque n° 4 fut encore plus fortement enfumée; en regardant au travers, on ne pouvait plus distinguer les objets terrestres, mais on voyait très bien le disque du soleil sans aucune fatigue pour l'œil. Un verre opaque comme celui-là serait excellent pour observer les éclipses de soleil; la couche de charbon pesait 4,9 millig.

En admettant, avec quelques ouvrages allemands, 1,4 pour la densité de ce charbon, on trouve que l'épaisseur du charbon déposé sur :

| | | | | MM. |
|---|---|---|---|---|
| la plaque | N° | 1 | de | 0,00003 |
| » | » | 2 | » | 0,00005 |
| » | » | 3 | » | 0,00010 |
| » | » | 4 | » | 0,00049 |

Ou sur :

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| la plaque | N° | 1 | $^1/_{33333}$ | de | millimètre |
| » | » | 2 | $^1/_{20000}$ | » | » |
| » | » | 3 | $^1/_{10000}$ | » | » |
| » | » | 4 | $^1/_{2040}$ | » | » |

Le 30 mai 1895, nous avons repris les expériences précédentes pour rechercher l'épaisseur de charbon qu'il fallait pour arrêter absolument les rayons du soleil. Nous avons pris une plaque de verre n° 5, analogue aux précédentes, et nous l'avons recouverte d'une couche de noir de fumée du poids de 0,0145 grammes ou de 14 $^1/_2$ milligrammes.

Avec cette plaque, ainsi enfumée, le 30 mai 1895, à 3 h. après midi, par un ciel parfaitement clair, nous n'avons pas pu apercevoir la moindre trace du disque du soleil. Une pareille quantité de charbon correspondait à une épaisseur de 0,001445 ou à $^1/_{692}$ de millimètres. S'il y avait dans l'air une couche de charbon de cette épaisseur, nous serions dans l'obscurité absolue.

On pourrait craindre que cette épaisseur soit trop forte, et l'on pourrait supposer que, si l'on avait mis une couche de charbon un peu plus faible, les rayons du soleil auraient également été éteints. Mais il n'en est pas ainsi, car un instant auparavant M. Brunner avait essayé la plaque de verre, il avait pu distinguer avec peine le disque du soleil, il ajouta une très légère couche de charbon et alors le soleil était complètement invisible. Donc $^1/_{692}$ de millimètre est bien la quantité de noir de fumée nécessaire pour éteindre complètement les rayons du soleil.

Pour ces recherches, j'ai été heureux d'obtenir le concours d'un professeur aussi habile et aussi exercé que M. Brunner, d'abord pour manier les excellentes balances du laboratoire de chimie de l'Université de Lausanne, ensuite pour prendre certaines précautions auxquelles j'avoue que je n'aurais pas pensé,

croyant que l'erreur qui pouvait en résulter était une quantité négligeable.

En effet, pour des mesures aussi délicates, on ne saurait prendre trop de précautions. Quelquefois, on regrette de ne pas avoir tenu compte de telle ou telle cause perturbatrice qui, en définitive, peut fausser le résultat; jamais on ne regrette d'y avoir eu égard lors même qu'à la fin son effet est négligeable.

Ainsi, il pourrait paraître ridicule de tenir compte de la diminution du poids de la plaque de verre par le poids de l'air déplacé; cependant, à la température de 0° et avec la pression à Lausanne, le 30 mai, ce poids était de 0,01278 gr. Pour une élévation de température de 1°, ce poids diminuait de 0,00004677 grammes, ou en milligrammes de 0,04677. Si entre les deux pesées la température du laboratoire avait varié de 2° ou d'une quantité plus forte, il aurait fallu en tenir compte, l'erreur qui en serait résultée aurait été de l'ordre de grandeur que nous ne pouvions pas négliger; il en aurait été de même si, entre deux pesées, la pression barométrique avait varié de 5 ou 6$^{mm}$.

On voit donc que l'interposition d'une plaque de charbon de $^1/_{692}$ de millimètre est suffisante pour nous plonger dans une obscurité absolue.

Le 5 avril 1815, le volcan de l'île de Sumbava, près des Célèbes, fit une violente éruption en jetant beaucoup de fumée, de cendres et de laves. Sur un navire qui en était distant de 60 milles, l'obscurité fut telle que, dans l'après-midi, il était impossible de voir la main quand on la plaçait devant les yeux.

Le capitaine du navire en conclut qu'il devait y avoir dans l'air une quantité énorme de cendres et de fumée; il était possible en effet qu'il y en eût beaucoup; mais pour produire cette obscurité, il aurait suffi de l'interposition d'une quantité de matière capable d'arrêter la lumière comme le ferait une lame de charbon épaisse de $^1/_{692}$ de millimètre.

Pour recouvrir le globe entier d'une couche de charbon de pareille épaisseur, ce qui produirait partout les ténèbres les plus profondes, il suffirait de réduire en fumée un prisme de charbon qui aurait pour base un carré de un kilomètre de côté et une hauteur de 737 mètres. Ce ne serait pas même les $^3/_4$ d'un kilomètre cube.

Et pour avoir dans l'atmosphère un trouble pareil à celui de notre plaque n° 1, qui présentait une opacité appréciable, il suf-

fisait d'un prisme pareil au précédent, mais qui aurait seulement 15 m. de hauteur.

Dans le journal *Ciel et Terre*, qui paraît à Bruxelles, année 1892, page 292, il y a un article intitulé l'*Atmosphère de Manchester;* il y est dit, entre autres, que, dans le voisinage de la ville, on a trouvé 2 tonnes de poussière noire sur 2,5 kilomètres carrés; en adoptant 1,4 pour la densité de cette poussière noire, qui était probablement du noir de fumée, on aurait une épaisseur de $^1/_{1750}$ de millimètre.

Et quant à l'atmosphère de Manchester, il est dit dans cet article :

« En supposant que la quantité de lumière émise en une heure » soit représentée par 20 à Grindelwald (Suisse), la quantité » moyenne émise pendant une période de plusieurs jours n'était » que de 1,2 à une distance de 2 kilomètres de la cité de Man- » chester et 0,8 dans la cité même. »

Il est très regrettable que le journal ne dise pas quel moyen photométrique a été employé, afin qu'on puisse le discuter et au besoin le vérifier; mais il semble néanmoins résulter de cette indication que la quantité de lumière répandue à Manchester est beaucoup plus faible que celle de Grindelwald, ce qui n'est pas étonnant, si l'on songe qu'une épaisseur de fumée de $^1/_{20000}$ ou de $^1/_{10000}$ de millimètre, comme il y en avait sur nos plaques n$^{os}$ 2 et 3 est suffisante pour diminuer la lumière du jour d'une quantité notable, mais que nous n'avons pas pu mesurer.

Il suffirait, en effet, de 10 mètres cubes de fumée pour recouvrir d'une couche de 0,0001 de millimètre d'épaisseur une surface de 100 kilomètres carrés, ce qui correspondrait non seulement à la ville de Manchester, mais à une partie notable de sa banlieue; et en admettant que dans la combustion de la houille le 2 $^0/_0$ s'échappe en fumée, il suffirait de brûler 500 m$^3$ de houille pour obtenir 10 m$^3$ de fumée. En considérant non seulement les fumées des machines et des usines, mais les feux de toutes les maisons particulières, il est évident que l'on arrive pour une ville telle que Manchester à un chiffre bien plus considérable; ce qui, du moins quand l'air est calme, explique bien suffisamment la diminution de la lumière.

En considérant ainsi la faible épaisseur du charbon qu'il faut pour cela, on s'explique aussi ces journées sombres que l'on a souvent à Londres avec le brouillard, et que l'on n'a pas dans d'autres villes de l'Angleterre, où la consommation du charbon

est moins considérable; et qui même est beaucoup plus faible dans les quartiers de Londres où la population est plus clairsemée, et où par conséquent il y a une moins grande production de fumée.

En 1783 et en 1831, on a eu sur toute l'Europe et sur les mers voisines des brouillards secs d'une nature particulière, que l'on a d'abord attribués au passage de la terre dans la queue d'une comète; mais on renonça à cette explication, quand on apprit que ces brouillards n'existaient pas sur tout le globe. On pensa alors qu'ils avaient été produits par la fumée des volcans qui avaient fait de violentes éruptions.

Pour plusieurs personnes cette explication parut inadmissible, car il semblait difficile que la fumée des volcans ait été suffisante pour troubler la transparence de l'atmosphère sur une étendue qui, en 1783 du moins, fut appréciée à la douzième partie de la surface de la terre.

Cette objection perd sa valeur quand on considère à quel point cette transparence est troublée par de très petites quantités de substances opaques répandues dans l'atmosphère.

Le 14 juillet 1863, le ciel prit à Morges un aspect étrange; j'en ai fait la description dans le 8e volume du *Bulletin* de la Société vaudoise des sciences naturelles, page 213; mais comme il est peu de personnes qui ont actuellement ce volume sous la main, il n'est peut-être pas inutile d'extraire de cette communication les lignes suivantes :

« Le 14 juillet 1863, le ciel, un peu vaporeux le matin, l'est devenu de plus en plus pendant la journée. Dans l'après-midi, il faisait ce qu'on appelle un temps lourd; néanmoins, à Morges, le baromètre est demeuré à peu près à 4 millimètres au-dessus de sa hauteur moyenne; mais le soleil devenait de moins en moins brillant; à 6 h. 20 du soir, cet astre, encore à 13 degrés au-dessus de l'horizon, pouvait être contemplé à l'œil nu; il paraissait d'un rouge vif entouré d'un mince cercle lumineux.

» En ce moment, de Morges, on distinguait à peine les montagnes de la Savoie, éloignées seulement de 15 à 20 kilomètres, et tous les objets plus éloignés étaient cachés par cette espèce de brouillard. A 6 h. 30, le soleil ne projetait presque aucune ombre; à 7 h. 15, il n'en projetait plus du tout. Alors son globe lumineux, à une hauteur de 4 $^1/_2$ degrés, paraissait d'un rouge de sang, on pouvait le fixer sans aucune fatigue; plusieurs personnes ont cru que c'était la lune, ne songeant pas que ce phé-

nomène se passait à l'Ouest, c'est-à-dire dans des régions du ciel où la pleine lune ne se trouve jamais le soir.

» Et peu après, quand le soleil disparut derrière les cimes du Jura, il ne paraissait plus que comme un disque dont l'éclat était tellement affaibli qu'il se distinguait à peine, par un faible rouge foncé, des régions voisines du firmament. Le soir, à 9 h. 30 min., on pouvait distinguer les étoiles seulement dans le voisinage du zénith, on apercevait encore Wega, à une hauteur de 71 $^1/_2$°, et Areturus, à 46°; mais on ne voyait ni Jupiter, à une hauteur de 17°, ni Vénus, à 4°.

» Dès lors, ce singulier phénomène a été visible encore pendant plusieurs jours. Le soleil paraissait sans éclat le matin et le soir, cependant à un moins haut degré que le 14 juillet. Ainsi, cette espèce de fumée dans l'atmosphère diminua peu à peu, et dans les premiers jours d'août elle était devenue presque insensible.

» Les voyageurs qui se trouvaient le 14 juillet sur le Righi virent l'éclat du soleil diminuer graduellement. Cet astre n'apparaissait plus dans le ciel que comme une tache rouge d'une teinte très faible. Puis il disparut, comme s'il s'était couché dans l'air. »

Plus tard, on a appris que ce brouillard avait été observé sur une grande partie de l'Europe, et qu'il avait été précédé de fortes éruptions volcaniques et aussi de la combustion de grandes quantités de tourbe en Allemagne. C'était évidemment un phénomène analogue à celui de 1783, mais d'une étendue plus restreinte, et une nouvelle preuve du haut degré auquel la fumée peut se diluer et altérer encore la transparence de l'atmosphère.