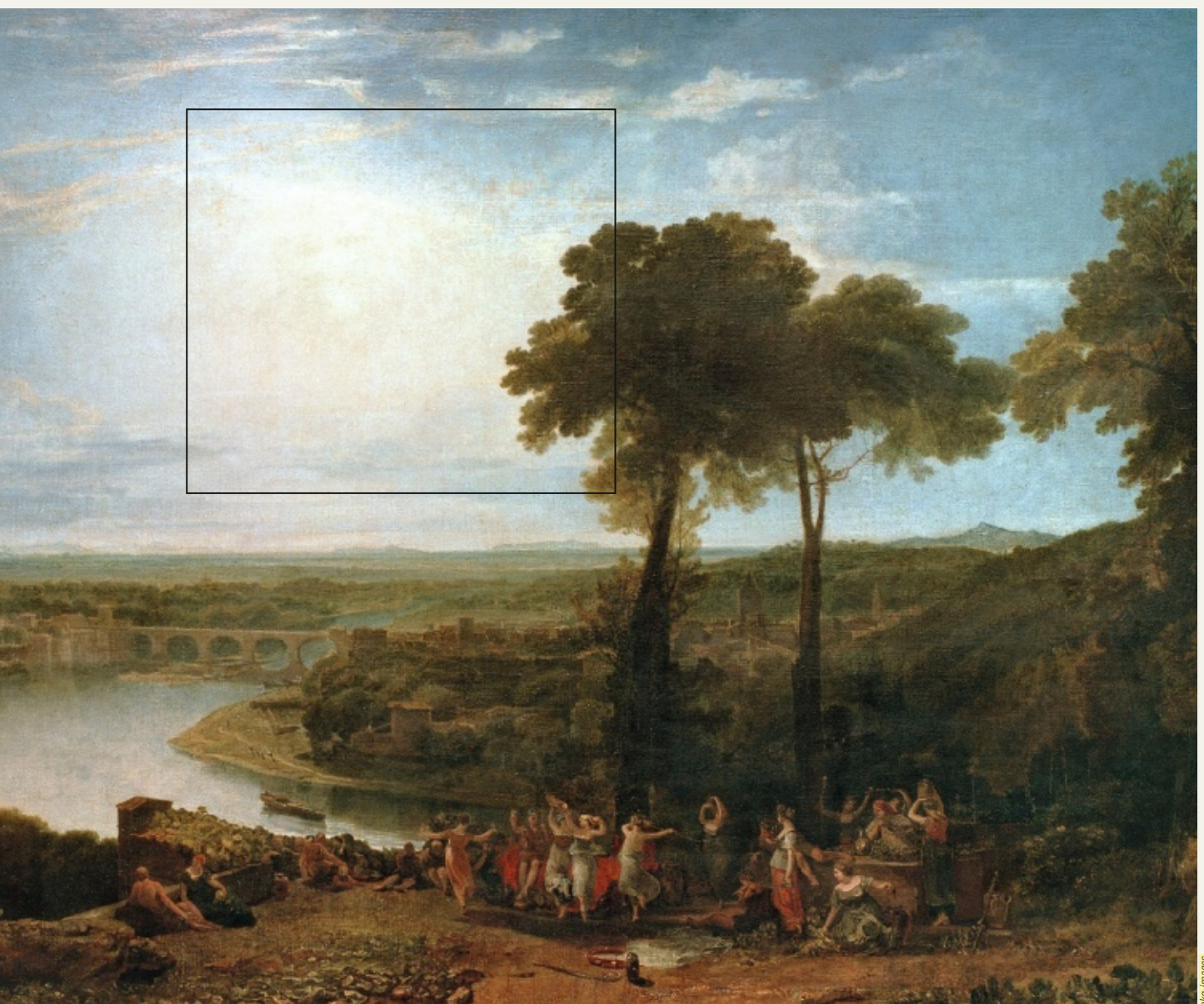
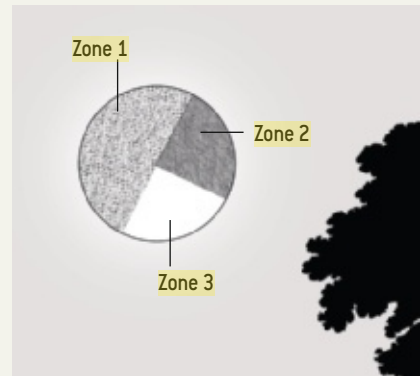


On ne dispose d'aucun témoignage d'une communication directe entre Herschel et Turner, mais on sait que le peintre connaissait plusieurs scientifiques, notamment le paléontologue Richard Owen, la mathématicienne Mary Somerville et le chimiste Humphry Davy. Même si on en ignore le truchement, on ne peut douter que Turner ait eu vent des travaux de Herschel.

Une amitié solide liait également le peintre avec le physicien Michael Faraday. Les deux hommes ont souvent discuté – et testé – les

qualités des pigments et leur dégradation dans le contexte pollué du Londres des XVIII^e et XIX^e siècles. Ils appréciaient aussi les couchers de soleil. Le physicien regrettait le peu d'intérêt des peintres en général pour l'étude de la lumière, mais Turner, le « peintre de la lumière », n'était sans doute pas concerné par cette critique. ■

Turner and the Elements, pp. 52-64, Bucerius Kunst Forum, 2012.
La conférence d'Herschel du 16 avril 1801 en intégralité : <http://tinyurl.com/d9verck>



IDÉES DE PHYSIQUE

Pourquoi le ciel n'est pas bleu

Même par temps dégagé et en l'absence de poussières, le ciel n'est pas d'un bleu uniforme. En cause : l'épaisseur d'atmosphère traversée par les rayons du Soleil.

Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK

De quelle couleur est le ciel quand l'air est pur et sans nuages ? « Bleu », répond-on sans hésiter. Pourtant, cette couleur n'est jamais uniforme et présente de nombreuses nuances. À des bleus plus ou moins sombres – et même du bleu pâle vers l'horizon – durant la journée, succèdent des teintes orange, rose, rouge ou pourpre en début de soirée et au crépuscule.

Un unique mécanisme est à l'origine de ces colorations : la diffusion de la lumière du Soleil par les molécules de l'atmosphère. Comme nous allons le voir, les diverses nuances colorées s'expliquent par la variation, avec la position du Soleil ou la direction du regard, de l'épaisseur d'air traversée par les rayons solaires.

De jour, le ciel n'est pas sombre. Pourquoi ? Parce que chacune des molécules de l'atmosphère (diazote, dioxygène, etc.), éclairées

par le Soleil, renvoie dans toutes les directions une petite quantité de la lumière incidente : c'est la diffusion Rayleigh.

Ce phénomène porte le nom du physicien anglais qui montra en 1871 que l'intensité diffusée pour une lumière monochromatique est inversement proportionnelle à la puissance quatrième de sa longueur d'onde. Il s'ensuit que pour des intensités incidentes égales, une même molécule renvoie 4,3 fois plus le bleu (longueur d'onde vers les 450 nanomètres) que le rouge (vers 650 nanomètres).

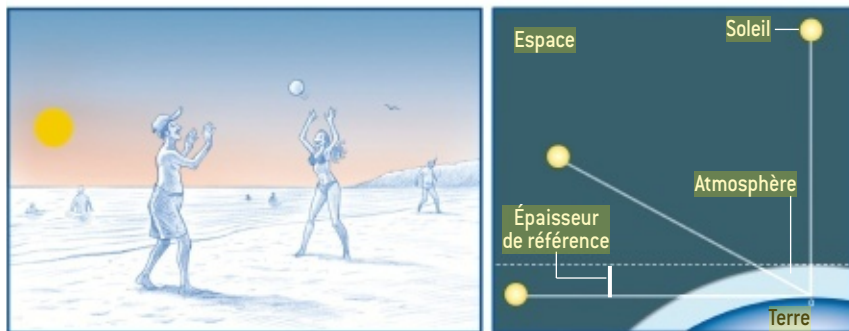
Pourquoi le ciel est bleu... ou presque

Ainsi, éclairée par de la lumière blanche, où toutes les longueurs d'onde sont présentes avec des intensités à peu près égales, comme l'est la lumière du Soleil,

une molécule diffuse plus de bleu que de rouge. C'est pour cette raison qu'un ciel pur nous apparaît bleu : lorsqu'on fixe une direction donnée dans le ciel (distincte de celle du Soleil !), l'œil capte la lumière diffusée selon cette direction par l'atmosphère et qui contient bien plus de bleu que de rouge.

Toutefois, on ne voit pas un bleu uniforme sur tout le ciel. La principale raison est que l'épaisseur d'atmosphère traversée par la lumière solaire dépend de la direction observée. Lorsque nous fixons le zénith, cette épaisseur est minimale, de l'ordre de dix kilomètres. Si nous nous trouvons à la montagne ou à bord d'un avion, l'épaisseur est réduite d'une valeur égale à notre altitude. Par conséquent, le nombre de molécules d'air susceptibles de diffuser la lumière du Soleil vers notre œil diminue en proportion : l'intensité de la lumière diffusée baisse et le ciel devient plus sombre – jusqu'à devenir noir lorsque nous quittons l'atmosphère, comme l'est le ciel vu à partir de la Lune.

Revenons sur Terre et abaissons notre regard vers l'horizon : l'épaisseur d'atmosphère traversée par notre ligne de visée se met à croître (voir la figure 1). Pour un angle de 30 degrés au-dessus de l'horizon, l'épaisseur traversée est double de celle au zénith, que nous prenons comme référence. Par conséquent, l'intensité de la lumière diffusée double. Si la Terre était plate, en s'approchant de l'horizon, cette épaisseur traversée tendrait vers l'infini ; mais comme notre globe est sphérique, elle demeure finie. Elle atteint 38 épaisseurs atmosphériques à l'horizon.



1. AU COUCHER DE SOLEIL, les rayons de notre astre traversent une plus grande épaisseur d'atmosphère que lorsque le Soleil est au zénith. Quand le Soleil est au niveau de l'horizon, l'épaisseur traversée est près de 40 fois celle traversée au zénith (le schéma n'est pas à l'échelle). Plus l'épaisseur d'air traversée est grande, plus la lumière incidente est diffusée. Comme les molécules de l'air diffusent davantage le bleu que le rouge, la lumière incidente dans la direction de l'horizon perd ses composantes bleues : elle apparaît donc orange.

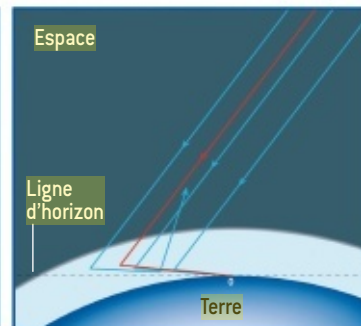
La conséquence sur l'intensité lumineuse est immédiate : plus notre regard s'éloigne du zénith, plus le ciel est lumineux, puisque davantage de molécules diffusent la lumière. Mais ce n'est pas tout : on peut aussi constater que le ciel blanchit (voir la figure 2). Pour en comprendre la raison, remarquons d'abord qu'à cause de la diffusion Rayleigh, l'intensité d'un rayon lumineux diminue à mesure qu'il se propage dans l'atmosphère, jusqu'à s'éteindre presque complètement. Comparons à présent ce qu'il advient à un rayon de lumière bleue et à un rayon de lumière rouge.

Pour de la lumière bleue, il ne reste plus que cinq pour cent de l'intensité initiale après la traversée d'environ dix épaisseurs atmosphériques. Cela signifie que si nous regardons dans une direction pour laquelle l'épaisseur traversée est supérieure (entre 0 et 5 degrés au-dessus de l'horizon), nous ne verrons pas la lumière bleue diffusée par les molécules distantes de plus de dix épaisseurs atmosphériques de nous. Il s'ensuit que l'intensité diffusée dans le bleu cesse de croître lorsqu'on abaisse le regard, et sature avant d'atteindre l'horizon.

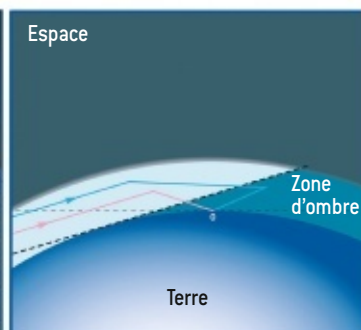
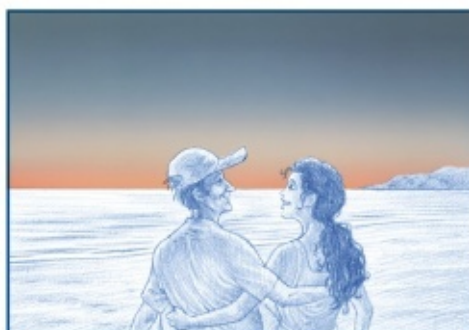
En revanche, pour la lumière rouge, l'épaisseur d'extinction est 4,3 fois supérieure et demeure plus grande que l'épaisseur maximale d'atmosphère : la lumière diffusée dans le rouge ne sature donc pas. Par conséquent, l'horizon envoie autant de lumière bleue que de lumière rouge (cette dernière étant diffusée quatre fois moins que le bleu par chaque molécule, mais par quatre fois plus de molécules) et donc nous retrouvons de la lumière blanche. Ainsi, à mesure que notre regard s'éloigne du zénith, le bleu intense pâlit, jusqu'à devenir presque blanc à l'horizon.

Des coloris au coucher et au crépuscule

Quand le Soleil se couche, de nouvelles couleurs apparaissent. D'une part, la couleur de notre astre change : il devient rouge profond. En effet, puisque la lumière solaire incidente traverse à l'horizon près de 40 épaisseurs atmosphériques, toutes ses composantes autres que les rouges et les



2. EN PLEINE JOURNÉE, le ciel est bien bleu, mais tire vers le blanc juste au-dessus de l'horizon. Ce phénomène est dû au fait que les composantes bleues et rouges de la lumière (blanche) du Soleil qui parviennent à l'observateur depuis l'horizon s'équilibrent à peu près. Le bleu est environ quatre fois plus diffusé que le rouge par chaque molécule de l'air. Il s'ensuit que les rayons bleus devant traverser plus d'une dizaine d'épaisseurs atmosphériques pour atteindre l'observateur (tel le rayon bleu le plus à gauche dans le schéma) sont très atténués, ce qui n'est pas le cas des rayons rouges. Mais ces derniers sont moins diffusés, d'où la compensation.



3. AU CRÉPUSCULE, quand le Soleil est sous l'horizon, la lumière solaire rasante est diffusée par l'atmosphère. Le ciel garde donc une certaine luminosité, même dans la partie de l'atmosphère qui se trouve dans l'ombre. La lumière en provenance de l'horizon est rougeâtre, car l'épaisseur atmosphérique traversée est très grande. En direction du zénith, le ciel est bleu sombre.

orangés ont diffusé. D'autre part, on remarque que même si le Soleil est passé sous l'horizon, le ciel reste lumineux, parce que la lumière solaire rasante est diffusée par l'atmosphère, que notre regard embrasse (voir la figure 3). On peut constater qu'au crépuscule, la lumière solaire forme une bande jaunâtre qui embrasse l'horizon de part et d'autre de l'endroit où le Soleil se couche, bande dont la luminosité diminue horizontalement à mesure que l'on s'écarte de l'endroit du coucher.

À quoi est due cette arche crépusculaire ? La lumière qui atteint l'atmosphère au-dessus de nous rougit et s'éteint au fur et à mesure que le Soleil s'abaisse vers l'horizon. Il en est de même de la lumière diffusée de l'horizon vers nous, mais, puisque les composantes de petites longueurs d'onde

LES AUTEURS



Jean-Michel COURTUY et Édouard KIERLIK sont professeurs de physique à l'Université Pierre et Marie Curie, à Paris. Leur blog : <http://blog.idphys.fr>



Retrouvez les articles de J.-M. Courty et E. Kierlik sur www.pourlascience.fr