



la dérive des continents, ce qui explique qu'on les rencontre partout. Les abeilles à dard, dont *Apis mellifera*, se sont différenciées il y a seulement 20 millions d'années, probablement en Asie, puis ont gagné l'Europe, en passant par l'Afrique, il y a 4 millions d'années.

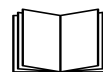
Comment s'y prend Hugo Boistelle pour confectionner ses abeilles en papier? À partir de feuilles à dessin noires, il dessine puis découpe une silhouette, une sorte de patron en deux dimensions de l'insecte. La troisième naîtra de pliages successifs. Les abeilles sont représentées à l'échelle 2: la *Nomada flava* fait ici près de 1,5 centimètre de longueur. Les effets de texture, de

gaufrage sont rendus par diverses techniques, de l'application d'un ongle à la pression d'un coquillage. À la fin, toutes les coupes franches de la silhouette initiale ont disparu. La touche finale consiste à coller les ailes, réalisées avec du papier-calque légèrement coloré en sépia. L'insecte est prêt à rejoindre, épinglé, sa boîte d'entomologiste qui sera exposée au public.

«Je souhaite que l'exposition apporte à ce dernier un regard nouveau sur cet insecte emblématique à travers les dernières découvertes scientifiques sur son génie», déclare Éric Tournier. Ses nombreux voyages en terres de traditions apicoles (avec les nomades d'Éthiopie, les

Pygmées de la République du Congo...) et les ravages constatés en certaines régions par des pratiques agricoles intensives l'ont convaincu d'une chose: «Il vaut mieux travailler avec la nature que contre». Surtout quand notre survie en dépend... ■

«Abeilles, une histoire naturelle»,
au Muséum d'histoire naturelle du Havre,
jusqu'au 10 novembre 2019.
<http://www.museum-lehavre.fr>



L'auteur a publié:
**Pollock, Turner, Van Gogh,
Vermeer et la science...**
(Belin, 2018)

LES AUTEURS



JEAN-MICHEL COURTY et ÉDOUARD KIERLIK
professeurs de physique à Sorbonne Université, à Paris

VERS L'HORIZON, ET AU-DELÀ!

L'horizon géométrique n'est pas une fatalité : grâce à la réfraction atmosphérique, les rayons lumineux se courbent et permettent de voir plus loin.

Tout a commencé par une question apparemment élémentaire nous arrivant par courriel : « Comment se fait-il que la surface des océans est courbe alors que celle des lacs est plate ? Ne devrait-elle pas aussi être courbée ? » La réponse nous semblait évidente et nous avons donc répondu en substance : « Les lacs ont la même courbure que les océans, celle de la Terre. Mais comme ils sont bien moins étendus que les océans, leur courbure est difficile à percevoir. »

C'était sans compter sur la réponse très argumentée, relatant des observations précises, des mesures et des calculs numériques, qui nous est revenue quelques heures plus tard.

Notre interlocuteur avait observé, posté sur la rive du lac du Bourget avec un zoom placé à 0,51 mètre de hauteur, un muret d'un port de plaisance situé à l'autre bout du lac, à 16,7 kilomètres de distance. Ce muret était haut de 1,6 mètre.

Or les calculs montraient que, compte tenu de la courbure terrestre, il n'aurait dû voir que des structures dont la hauteur dépasse 15 mètres. Notre correspondant en déduisait que le lac était plat. Manifestement, il avait vu quelque chose qu'il n'aurait pas dû voir : il avait vu au-delà de l'horizon !

JUSQU'OU PEUT PORTER NOTRE REGARD ?

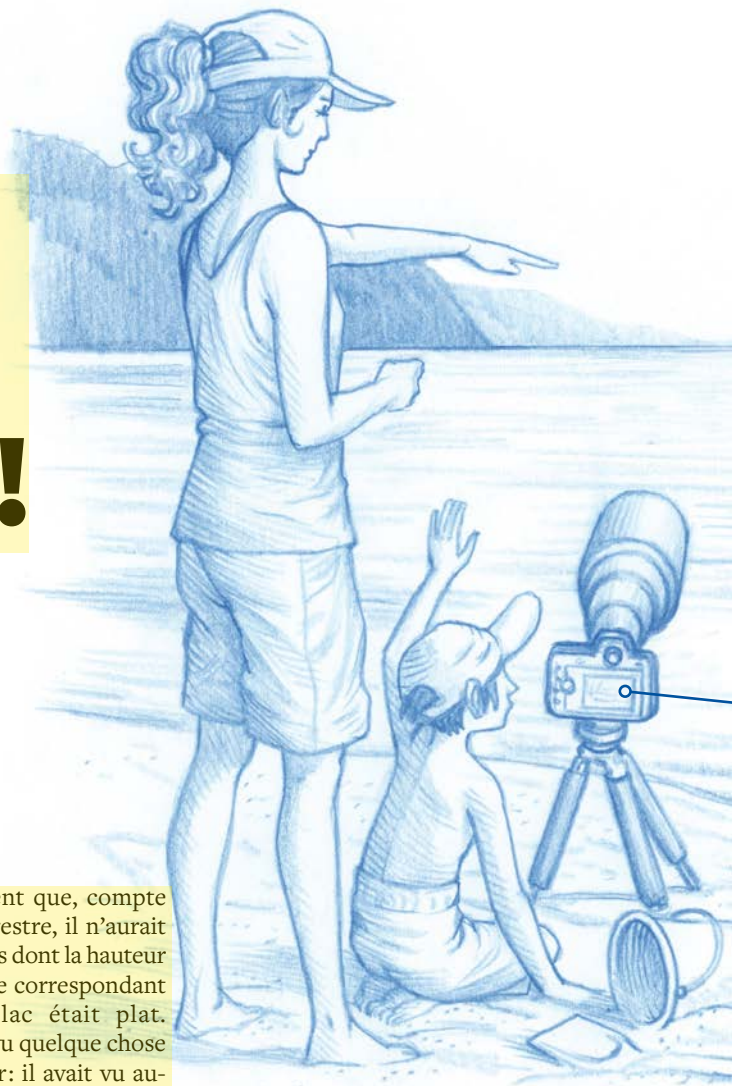
Comment l'expliquer ? Évaluons tout d'abord la distance de l'horizon pour un observateur situé à une certaine hauteur h au-dessus de la surface de la Terre. Pour ce faire, on applique le théorème de Pythagore au triangle rectangle dont les sommets sont le centre de la Terre (C), la position de l'observateur (O) et le point de l'horizon (H) qu'il peut apercevoir (voir l'encadré page ci-contre, schéma du bas).

Résultat : la distance de l'horizon, OH, est à peu près égale à la racine carrée du double du produit de la hauteur d'observation par le rayon de la Terre, soit

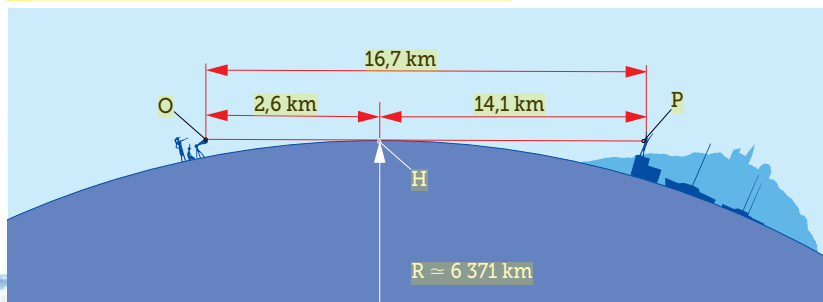
$3,6\sqrt{h}$ kilomètres, la hauteur h étant exprimée en mètres.

Pour $h=0,51$ mètre, on obtient 2,6 kilomètres, une distance bien plus courte que celle de l'extrémité du lac, mais qui ne concerne que la visibilité au niveau de sa surface. Un objet d'une certaine hauteur peut en effet être vu par un observateur au-delà de son horizon à condition que leurs horizons respectifs (de l'observateur et de l'objet) se recouvrent sur la ligne de visée et, à la limite, coïncident (voir l'encadré page ci-contre, en haut).

Est-ce le cas du muret du port mentionné dans le courriel ? Pour être visible par l'objectif à 16,7 kilomètres, la distance entre le muret et son horizon doit



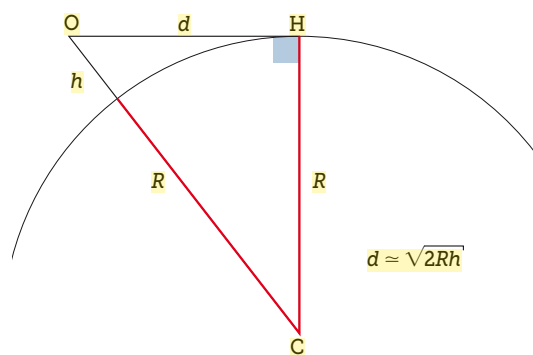
HORIZON GÉOMÉTRIQUE



Pour un observateur (O) situé à une altitude h , le point de l'horizon (H) se trouve à une distance d à peu près égale (si h est petit) à la racine carrée de $2Rh$, où R désigne le rayon de la Terre (voir le schéma ci-dessous). L'observateur peut apercevoir un point P situé au-delà de cette distance si ce point P est à une hauteur suffisante. Dans ce cas, la ligne droite reliant l'observateur O au point P passe par l'horizon commun H, comme illustré ci-dessus. Mais ce cas de figure géométrique ne correspond pas à la situation relatée dans l'article : le muret aperçu était près de dix fois trop bas par rapport à la hauteur requise (15 mètres) compte tenu de la distance OP, qui était de 16,7 kilomètres.



Dans l'image prise par l'appareil photo, apparaît un muret *a priori* trop bas pour être vu de cette distance, compte tenu de la courbure de la Terre.



atteindre $16,7 - 2,6 = 14,1$ kilomètres, ce qui exigerait de lui une hauteur de 15 mètres, bien plus élevée que sa valeur réelle, autour de 1,6 mètre.

Comment notre interlocuteur a-t-il pu voir le muret? En fait, cet effet d'observation au-delà de l'horizon était déjà connu et décrit au début du XIX^e siècle, mais il concernait des distances bien plus grandes. Le baron Franz von Zach, astronome en séjour à Marseille en 1808, ayant entendu la rumeur qu'il était possible de voir le Canigou, un sommet des Pyrénées, depuis la basilique Notre-Dame-de-la-Garde, en fit lui-même l'observation lors d'un coucher de soleil. Pourtant, avec un sommet à 2785 mètres d'altitude et un

parvis à 164 mètres, la distance qui les sépare aurait dû être inférieure à 234 kilomètres pour que cela soit possible... alors qu'elle dépasse 260 kilomètres.

Et pour reprendre un exemple plus commun, combien de touristes s'étonnent de distinguer la Corse depuis la Côte d'Azur, même à basse altitude? Depuis Menton, jusqu'à 50 mètres au-dessus du niveau de la mer, on ne devrait pourtant rien voir.

LE RENFORT DE LA RÉFRACTION ATMOSPHÉRIQUE

Ce que notre interlocuteur avait observé n'est rien d'autre que la manifestation d'un mirage dont l'origine est la

réfraction atmosphérique. À cause des variations de pression et de température, la densité de l'air dépend de l'altitude. Il en est donc de même de l'indice de réfraction de la lumière et de la vitesse de propagation de cette dernière, qui lui est inversement proportionnelle. Par conséquent, dans l'atmosphère, la lumière ne se propage pas en ligne droite comme dans un milieu homogène.

Les auteurs ont récemment publié : **En avant la physique!**, une sélection de leurs chroniques (Belin, 2017).

