

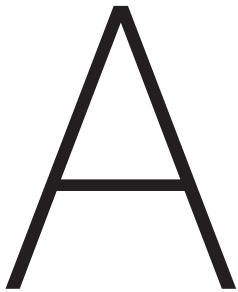
L'AUTEUR



LOÏC MANGIN
rédacteur en chef adjoint
à Pour la Science

LET IT BEE

**Entrer dans une ruche
bourdonnante de 17 mètres
de haut et plonger ainsi
dans la vie d'une colonie
de vraies abeilles :
une expérience étourdissante
à vivre à Kew Gardens,
près de Londres.**



u milieu du xx^e siècle, l'éthologue allemand Karl von Frisch a considérablement fait progresser les connaissances sur les abeilles. Par exemple, il perça à jour le langage de leur danse, découvrit les bases de leur sens de l'orientation, et élucida les modalités de leur odorat et de leur vue. Ces travaux lui valurent le prix Nobel de physiologie en 1973.

Que n'aurait-il pas donné pour pouvoir entrer dans une ruche et observer en temps réel ce qui s'y passe ? C'était difficile à son époque, mais ça l'est moins aujourd'hui grâce à l'œuvre de l'artiste britannique Wolfgang Buttress installée dans les jardins botaniques royaux de Kew, à Londres. *The Hive* n'est rien de moins qu'une ruche (*hive* en anglais) de 17 mètres de hauteur dans laquelle on peut déambuler.

Créée à l'origine pour le pavillon britannique de l'exposition universelle de Milan, en 2015, dont le thème était « Nourrir la planète, énergie pour la vie », l'installation a récemment rejoint la Grande-Bretagne. Ce ne fut pas une

mince affaire : il fallut quatre mois pour terminer ce puzzle géant de 170 000 morceaux d'aluminium et 1 000 ampoules à LED, pour un poids total de 44 tonnes. S'il est assez près, le spectateur distingue bien une structure en nid d'abeilles (des hexagones) qui monte doucement en spirale. Mais les points communs avec une vraie ruche vont bien plus loin que cette simple apparence.

SURVEILLEZ L'ESSAIM

Conscient des dangers que courent les abeilles (changement climatique, infections virales, usage abusif de pesticides...), l'artiste a voulu créer une œuvre propre à alerter le public sur ces menaces. Pour ce faire, il s'est entouré d'une équipe pluridisciplinaire et s'est notamment rapproché de Martin Bencsik, de l'université de Nottingham, en Grande-Bretagne. Celui-ci s'est particulièrement intéressé au comportement d'essaimage, c'est-à-dire quand une colonie décide de quitter une ruche pour aller s'établir ailleurs. Il a ainsi équipé des ruches avec des accéléromètres pour enregistrer l'activité de l'ensemble des insectes et y détecter les signes annonciateurs du départ.

Ce dispositif est la clé de voûte de *The Hive*. En effet, il équipe désormais une vraie ruche installée à Kew Gardens, dont il enregistre les sons et les vibrations créés par les bourdonnements d'environ 40 000 abeilles. Les signaux sont ensuite récupérés et traités par un logiciel qui

contrôle les lumières et les sons diffusés à l'intérieur de la sculpture.

Ainsi, le matin, quand l'activité dans la ruche est réduite, les ampoules clignotent lentement. En revanche, par un bel après-midi ensoleillé, l'installation est baignée de flashes rapides et intenses.

Quant aux sons entendus dans *The Hive*, ils sont constitués de ceux, très amplifiés, de la ruche auxquels s'ajoute un tapis sonore de violoncelles et de voix composé par Deirdre Bencsik, l'épouse de Martin, et chanté par Camille Buttress, la fille de l'artiste. D'autres musiciens (un percussionniste, un pianiste...) accompagnent ce trio abeilles, violoncelle et voix, tous étant désormais regroupés dans une formation nommée Be.

Plusieurs morceaux de musique ont été enregistrés (un album, *One*, est d'ailleurs disponible) et sont diffusés selon l'activité des abeilles de la ruche.

En fin de compte, lorsque le public se retrouve au cœur de *The Hive*, il est immergé dans une immense ruche bourdonnante d'une activité rendue palpable et sensible par les lumières et les sons. L'installation est une sorte d'écho amplifié de la vie d'une ruche.

L'histoire ne dit pas comment réagira l'installation quand les abeilles hébergées à ses côtés décideront d'essaimer et de quitter les lieux. *The Hive* s'éteindra-t-elle alors en devenant silencieuse ? ■

The Hive at Kew Gardens:

<http://bit.ly/PLS-ZeHive>

Le site de Wolfgang Buttress:

<http://www.wolfgangbuttress.com/>

M. Bencsik et al., Computers and

Electronics in Agriculture,

vol. 76, pp. 44-50, 2011.



Retrouvez la rubrique
Art & science sur
www.pourlascience.fr

LES AUTEURS



JEAN-MICHEL COURTY
professeur de physique
à l'université
Pierre-et-Marie-Curie,
à Paris



ÉDOUARD KIERLIK
également professeur
de physique à l'université
Pierre-et-Marie-Curie

DÉCOLLAGES À CHAUD

En modifiant les conditions requises pour le décollage d'un avion, des températures inhabituellement élevées perturbent le fonctionnement de certains aéroports. Or avec le réchauffement climatique, ces situations risquent de devenir plus fréquentes.

En juin 2017, American Airlines a annulé 40 vols intérieurs au départ de Phoenix, dans l'Arizona. La presse a invoqué une température trop élevée, de l'air moins dense, une portance des ailes réduite avec pour conséquence une distance de décollage qui dépasse la longueur de la piste.

Vraiment ? Cette explication a suscité notre incrédulité et celle de plusieurs collègues. Pour en avoir le cœur net, nous avons creusé la question avec nos outils de physiciens. Nos évaluations ne rendent pas totalement compte des valeurs choisies par les constructeurs d'avions pour la sécurité des vols, mais elles confirment les explications données. Et les effets du réchauffement climatique ne s'arrêteront pas là : il faudra aussi s'attendre à des fluctuations plus fréquentes des temps de vol, dues à un jet-stream perturbé.

ATTEINDRE LA VITESSE REQUISE POUR LE DÉCOLLAGE

Suivons un avion au décollage. Une fois les freins relâchés, l'avion roule sur la piste en accélérant. L'écoulement de l'air autour des ailes et de la carlingue engendre alors une force aérodynamique proportionnelle à la masse volumique de l'air ambiant et au carré de la vitesse de l'avion par rapport à cet air, donc une

force de plus en plus intense. La composante horizontale de cette force, la traînée, s'oppose à la vitesse, tandis que la composante verticale, la portance, compense progressivement le poids.

Lorsque la vitesse est suffisante, le pilote actionne les ailerons des ailes pour incliner l'avion. Puis l'avion accélère encore jusqu'à atteindre la vitesse à laquelle la portance compense le poids, ce qui lui permet de décoller. En pratique, la vitesse de décollage est supérieure à la vitesse minimale permettant à l'avion de voler, marge de sécurité obtenue en mobilisant les volets des ailes, situés sur le bord de fuite de l'air.

Peut-on toujours atteindre la vitesse seuil sur une piste donnée ? Pour des raisons de sécurité, on impose une longueur de piste supérieure à 1,15 fois la distance nécessaire pour que l'avion s'élève à 10 mètres du sol. Or les données des constructeurs indiquent qu'il faut une piste de 2500 mètres de long à un moyen-courrier tel que le Boeing 737-800 pour décoller à pleine charge (79 tonnes, dont 37,5 tonnes de carburant et de fret, soit environ 180 passagers) au niveau de la mer et à température standard (15 °C). La vitesse atteinte est alors typiquement de l'ordre de 250 kilomètres par heure.

Si la piste est plus courte, la seule possibilité est d'alléger l'avion : avec une piste de 2133 mètres, ce même Boeing ne

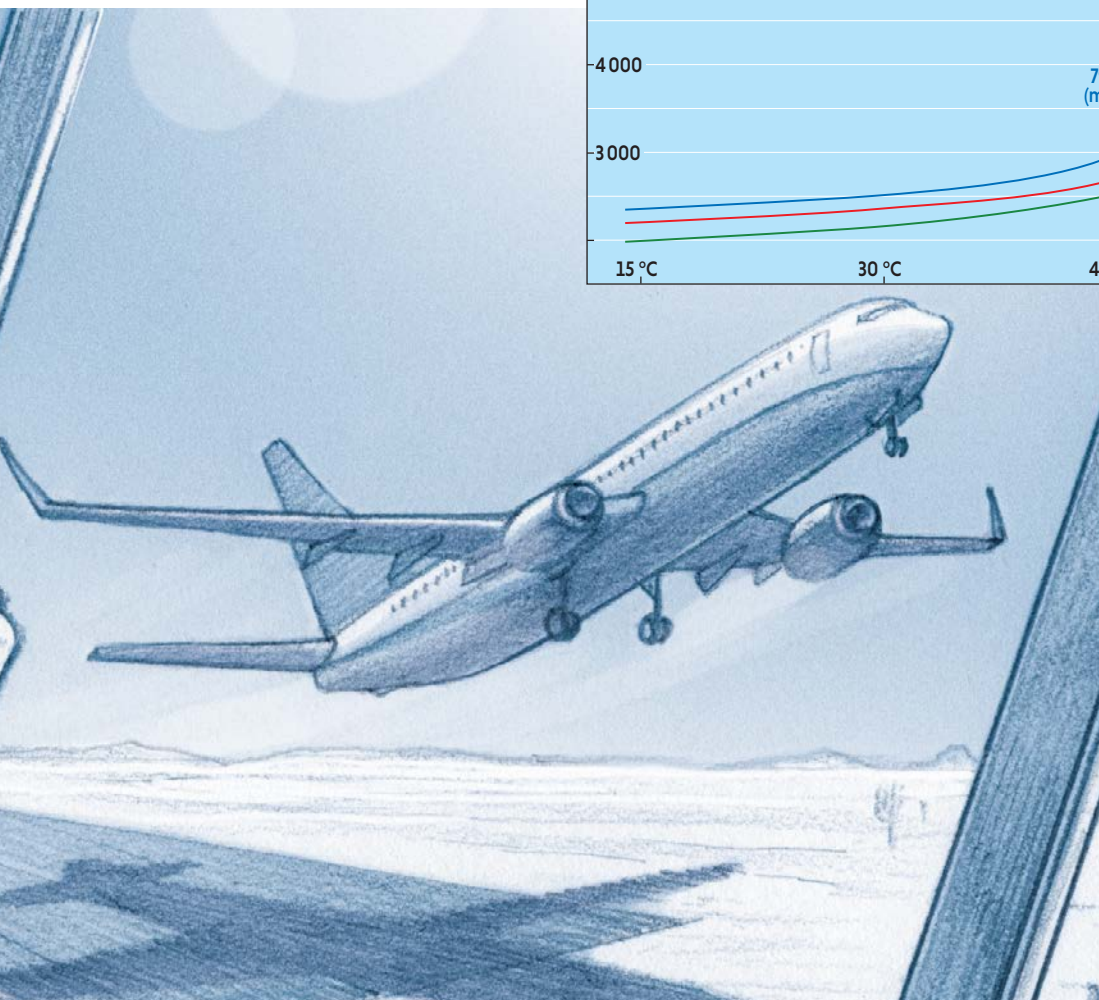
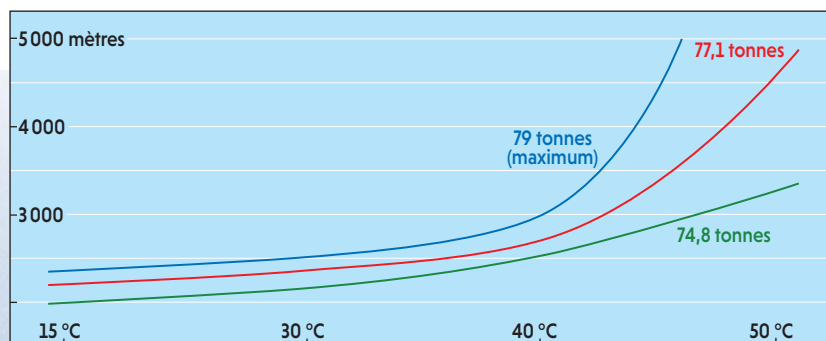


s'envolera ainsi qu'avec 75 tonnes. Quel pourrait alors être le problème avec l'aéroport de Phoenix et sa piste de 3500 mètres ?

La pression atmosphérique à Phoenix, ville située à 340 mètres d'altitude, est égale à 96 % de la pression régnant au niveau de la mer dans les conditions standard. En outre, un pic de température à 40 °C correspond à 8 % d'augmentation de la température (exprimée en kelvins) par rapport à ces mêmes conditions. L'air se comportant comme un gaz parfait, sa masse volumique est proportionnelle à la pression

LONGUEUR DE PISTE ET TEMPÉRATURE

Plus l'air est chaud, moins il est dense. Une température plus élevée diminue donc la force de portance s'exerçant sur l'avion (à vitesse égale). Pour décoller, l'avion a alors besoin d'une vitesse supérieure, atteinte au bout d'une accélération sur une piste plus longue. Le graphique ci-dessous, fondé sur les données du constructeur, indique comment la longueur de piste nécessaire à un Boeing 737-800 augmente avec la température de l'air au niveau du sol, et cela pour trois valeurs différentes de la masse au décollage de l'avion.



et inversement proportionnelle à la température exprimée en kelvins. Ainsi, lors d'un pic de chaleur à Phoenix, la masse volumique de l'air, et donc la portance, sont réduites de près de 12 %. Pour décoller, il faut donc une vitesse plus importante de 6 % et, partant, une piste plus longue de 12 %, en supposant que l'accélération de l'appareil reste la même.

DES PISTES À ALLONGER ?

Pour une distance initiale de décollage de 2500 mètres, cela correspond à un allongement de 300 mètres, ce qui est

loin d'être négligeable. L'explication donnée dans les médias est donc tout à fait plausible. Si, en plus, on prend en compte la réduction de la poussée des moteurs due à l'augmentation de température et les questions de sécurité, les données du constructeur Boeing annoncent une distance nécessaire de 3500 mètres !

Heureusement, la plupart des avions sont désormais équipés de *winglets* (ailettes verticales) aux extrémités des ailes, qui diminuent la traînée de quelques pour cent. L'avion peut donc, pour une même poussée des réacteurs, accélérer

davantage et ainsi atteindre la vitesse seuil au bout d'une distance plus courte. C'est pourquoi les 737-800 peuvent décoller de Phoenix jusqu'à 52 °C ; ils n'ont donc pas trop souffert de la vague de chaleur de juin, contrairement aux avions un peu plus petits et moins performants.

Cette vague de chaleur sur Phoenix peut être prise comme un événement >



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

> exceptionnel, mais elle sonne comme un avertissement. Les modèles des climatologues prédisent qu'avec le réchauffement global en cours, ces épisodes caniculaires se multiplieront sur toute la planète. Une équipe de l'université Columbia a donc entrepris d'étudier l'impact du réchauffement climatique sur le trafic aérien. Si certains aéroports ou appareils s'en sortent bien (Charles-de-Gaulle, à Paris, JFK, à New-York, les A320 et A380...), certains binômes seront fragilisés.

UN RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE PERTURBANT POUR LE TRAFIC AÉRIEN

Ainsi, vers 2050, à l'aéroport La Guardia, à New York, où la piste ne fait que 2 100 mètres, un avion 737-800 devra subir 40 jours par an des allègements d'au minimum 2,7 tonnes de sa masse à pleine charge pour décoller aux heures les plus chaudes de la journée. Sachant que sur cet appareil, 100 kilogrammes d'allègement s'obtiennent en enlevant 83 kilogrammes de charge utile et 17 kilogrammes de carburant, il faudra embarquer au minimum 22 passagers en moins ! La gestion du trafic aérien n'en sera pas facilitée...

Qu'advient-il durant le vol si la hausse des températures modifie aussi la masse volumique de l'air en altitude ? Pour le coup, pas grand-chose. En vol de croisière, à vitesse constante, la portance compense le poids et la poussée des moteurs la traînée. Comme le rapport portance/traînée est presque une constante, il en est de même du rapport poids/poussée. L'énergie consommée pendant le vol (produit de la poussée par la distance parcourue) sera donc la même quelle que soit l'altitude choisie. Tout au plus l'avion devra-t-il augmenter sa vitesse de croisière pour compenser une diminution de la masse volumique : les moteurs devront fournir plus de puissance, mais le temps de parcours en sera réduit d'autant.

Plus inquiétantes sont les modifications prévues des jet-streams (ou courants-jets), couloirs venteux permanents qui règnent entre 8 000 et 12 000 mètres d'altitude, là où justement volent les avions de ligne. Ces « rivières » d'air, deux dans chaque hémisphère, sinueuses et changeantes, circulent d'ouest en est à une vitesse moyenne d'environ 21 mètres par seconde.

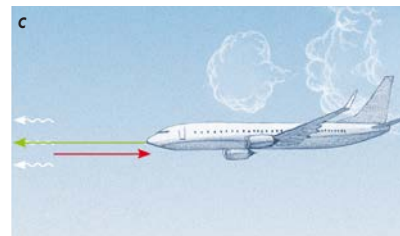
Face au vent, la vitesse de croisière de l'avion sera inférieure, car les forces aérodynamiques dépendent du vent relatif : la

VENT DE FACE OU VENT ARRIÈRE

En vol de croisière, le poids de l'avion est compensé par la portance aérodynamique, et la poussée fournie par les moteurs est compensée par la traînée aérodynamique (a). Comme la portance dépend de la vitesse de l'avion par rapport à l'air ambiant, la vitesse de l'air relativement à l'avion (flèche rouge) doit être la même, qu'il y ait ou non du vent et quelle que soit la vitesse de ce dernier.

Par conséquent, en présence d'un vent de face de vitesse v , l'avion doit réduire sa vitesse par rapport au sol d'une valeur v (b), tandis qu'il doit l'augmenter de v en cas de vent arrière (c). Ainsi, contrairement à ce qu'on pourrait penser, le retard pris par un avion qui vole face au vent n'est pas dû à la résistance plus forte rencontrée par l'appareil, mais à la nécessité de ralentir pour garder une portance égale au poids.

-  Vitesse du vent par rapport à l'avion
-  Vitesse de l'avion par rapport au sol
-  Vitesse du vent par rapport au sol



condition de sustentation (portance égale au poids) sera donc atteinte à des vitesses plus basses, et le temps de vol sera rallongé. Avec un vent arrière, c'est le contraire (voir la figure ci-dessus).

Les passagers des vols transatlantiques le savent bien : entre New York-JFK et Londres-Heathrow (5 540 kilomètres), le temps de vol à 900 kilomètres par heure serait de 6 heures et 9 minutes s'il n'y avait pas de jet-stream. En raison du jet-stream et en optimisant la trajectoire de l'avion, on gagne ou perd environ une demi-heure sur ce trajet.

Or les modèles climatiques prévoient une augmentation de la vitesse moyenne du jet-stream, typiquement de l'ordre de 3 mètres par seconde, ainsi qu'une plus grande variabilité. Si l'impact moyen sera modeste (gain de 4 minutes de New York à Londres, perte de 5 minutes et 20 secondes dans l'autre sens), les probabilités de vol exceptionnellement courts (moins de 5 heures et 20 minutes) ou longs (plus de 7 heures) vont doubler, avec des perturbations associées du trafic aérien. Les voyageurs du XXI^e siècle ne sont donc pas au bout de leurs peines, entre retards et annulations. Et c'est sans compter avec l'accroissement prévu des turbulences aériennes ! ■

BIBLIOGRAPHIE

E. D. Coffel et al.,
The impacts of rising temperatures on aircraft takeoff performance,
Climatic Change, pp. 1-8,
juillet 2017 (doi 10.1007/s10584-017-2018-9).

P. D. Williams,
Transatlantic flight times and climate change,
Environmental Research Letters, vol. 11,
article 024008, 2016.

737 : Airplane characteristics for airport planning, document Boeing, 2013
(www.boeing.com/assets/pdf/commercial/airports/acaps/737.pdf).

ABONNEZ-VOUS À **POUR LA SCIENCE** EN TOUTE LIBERTÉ

NOUVELLE
FORMULE



FORMULE
PASSION
-28%



FORMULE
DÉCOUVERTE
-25%

FORMULE
INTÉGRALE
-42%



8,20€*



6,50€*



4,90€*

BULLETIN D'ABONNEMENT

À renvoyer accompagné de votre règlement à : Pour la Science - Service abonnements - 19 rue de l'Industrie - BP 90 053 - 67 402 Illkirch cedex

☐ OUI, JE M'ABONNE À **POUR LA SCIENCE** EN PRÉLÈVEMENT AUTOMATIQUE, JE CHOISIS MA FORMULE ET JE COMPLÈTE L'AUTORISATION DE PRÉLÈVEMENT CI-DESSOUS.

☐ FORMULE **INTÉGRALE**
12 n° de Pour la Science + 4 Hors-Séries
+ Accès illimité aux archives en ligne depuis 1996

8,20€
Par mois
-42%
IPV8E20

☐ FORMULE **PASSION**
12 n° de Pour la Science
+ 4 Hors-Séries

6,50€
Par mois
-28%
PPV6E50

☐ FORMULE **DÉCOUVERTE**
12 n° de Pour la Science

4,90€
Par mois
-25%
DPV4E90

MES COORDONNÉES

Nom : _____
Prénom : _____
Adresse : _____

Code postal _____

Ville : _____

Tél. Pour le suivi client (facultatif) : _____

E-mail obligatoire : _____ @ _____

J'accepte de recevoir les informations de Pour la Science ☐ OUI ☐ NON
et de ses partenaires ☐ OUI ☐ NON

MANDAT DE PRÉLÈVEMENT SEPA

PAS480P

En signant ce mandat SEPA, j'autorise Pour la Science à transmettre des instructions à ma banque pour le prélèvement de mon abonnement dès réception de mon bulletin. Je bénéficie d'un droit de rétractation dans la limite de 8 semaines suivant le premier prélèvement. Plus d'informations auprès de mon établissement bancaire.

TYPE DE PAIEMENT : PAIEMENT RÉCURRENT

Titulaire du compte

Nom : _____

Adresse : _____

Code postal _____ Ville : _____

Désignation du compte à débiter

BIC (Identification internationale de la banque) _____

IBAN _____

(Numéro d'identification international du compte bancaire)

Établissement teneur du compte

Nom : _____

Adresse : _____

Code postal _____ Ville : _____

Date et signature

Organisme Créancier : Pour la Science
170 bis, bd. du Montparnasse - 75014 Paris
N° ICS FR92ZZZ426900
N° de référence unique de mandat (RUM)

Merci de joindre impérativement un RIB

Partie réservée au service abonnement. Ne rien inscrire

* Par mois et par rapport au prix de vente en kiosque, l'accès numérique aux archives. Délai de livraison : dans le mois suivant l'enregistrement de votre règlement. Offre réservée aux nouveaux abonnés, valable jusqu'au 31/12/2017 en France métropolitaine. Pour un abonnement à l'étranger, merci de consulter notre site www.pourlascience.fr. Conformément à la loi "Informatique et libertés" du 6 janvier 1978, vous disposez d'un droit d'accès et de rectification aux données vous concernant en adressant un courrier à Pour la Science. Votre abonnement en prélèvement est reconduit automatiquement et peut être interrompu par simple lettre. Photos non contractuelles.