

une pente constante, par un gain supplémentaire de 0,25 seconde. D'où l'intérêt d'avoir un équipage puissant et coordonné !

Quant aux frottements, il y a d'abord celui de la glace sur les patins. Aujourd'hui, le règlement impose un même acier pour tous les concurrents. Le choix du profil des patins, en fonction de la piste et de la glace, est la seule marge de manœuvre. Il y a ensuite les forces de frottements aérodynamiques, c'est-à-dire la traînée. Dans ces régimes d'écoulement d'air, elle croît comme le carré de la vitesse et fait intervenir le maître-couple (l'aire de la section présentée par le bob et son équipage à l'écoulement) et un coefficient d'aérodynamisme. Or en dehors du pilote, les coéquipiers sont tête baissée dans le bob : on s'attend donc à très peu de différence dans ces quantités en fonction du gabarit de l'équipage.

Si la traînée est à peu près la même, la décélération associée est, elle, inversement proportionnelle à la masse. Plus l'équipage est lourd, moins elle sera élevée et meilleur sera le temps de parcours. C'est pourquoi, depuis 1952, la masse totale du bobsleigh et de son équipage est limitée selon les catégories. Ainsi, à Altenberg, le record est de 54,64 secondes pour le bob masculin à deux, limité à 390 kilogrammes, tandis qu'il est de 56,79 secondes pour le bob féminin à deux, limité à 340 kilogrammes.

En pratique, on s'appuie sur des mesures expérimentales pour évaluer ces forces de frottement et tenter d'améliorer les performances du bobsleigh. Typiquement, les décélérations de glissement sont inférieures à 0,005 g et les décélérations aérodynamiques sont de 0,03 g à plus de 30 m/s, sachant que l'accélération moyenne le long de la piste d'Altenberg est d'environ 0,086 g. L'optimisation aérodynamique est donc essentielle pour améliorer les performances.

Cependant, la vitesse n'est pas tout. S'il sait jouer avec le faible frottement sur la glace, le pilote a un rôle crucial, tant pour éviter l'accident que pour améliorer le temps. Les pistes de bobsleigh comportent de nombreux virages qui s'enchaînent. Avec des vitesses de 30 m/s et des rayons de courbure aussi petits que 20 mètres, on a des accélérations latérales de l'ordre de

4,5 g. Le frottement latéral d'un patin sur la glace ne peut exercer de force suffisante pour les compenser. Aussi la piste est-elle en forme de tube dans les virages, afin que le bob puisse s'incliner en remontant la paroi, de façon que la somme de son poids et de la force centrifuge soit perpendiculaire à la piste (et compensée par la réaction de la piste sur le mobile).

Un pilotage de précision

Pour une accélération de 4,5 g, il faut que le bob s'incline de 77 degrés par rapport à l'horizontale afin qu'il y ait compensation des forces latérales. Le pilote doit ainsi s'assurer que la hauteur du bob dans le virage, et donc son inclinaison, est celle qui permet d'éviter tout dérapage. S'il ne maîtrise pas cette montée, l'engin peut dépasser cette ligne d'équilibre, monter trop haut là où le poids l'emporte, au pire se renverser ou au mieux redescendre ensuite sous la ligne pour être repoussé par la force centrifuge, etc. Ces oscillations ne lui font pas seulement perdre un temps précieux. Elles se révèlent catastrophiques lorsqu'il retrouve une portion droite : le bob risque de cogner sur le bord de la piste, s'y frotter et perdre de la vitesse.

Le pilote doit s'assurer que la hauteur du bobsleigh dans le virage permet d'éviter tout dérapage

Notons que suivre la ligne d'équilibre des forces n'a pas que des avantages : cette ligne oblige à remonter en altitude, donc à perdre de la vitesse, et elle augmente par ailleurs la distance parcourue par rapport à une trajectoire plus basse. C'est pourquoi certains pilotes audacieux tentent de mordre la glace en prenant le virage plus serré : ils ralentissent plus, mais parcourent une distance plus courte dans la courbe. Des effets certes infimes, mais parfois décisifs : à Sotchi, après quatre manches, seuls 9 centièmes de seconde séparaient le premier du second.

LES AUTEURS



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

BIBLIOGRAPHIE

L. Poirier, *Ice friction in the sport of bobsleigh*, thèse de doctorat, université de Calgary, 2011 (<http://bit.ly/1mgmP1F>).

O. Lewis, *Aerodynamic analysis of a 2-man bobsleigh*, mémoire de Master de science, université technologique de Delft, 2006 (<http://bit.ly/1SaYhng>).



Retrouvez la rubrique Idées de physique sur www.pourlascience.fr

QUESTION AUX EXPERTS

Les variations de l'activité du Soleil influent-elles sur le climat ?

Oui, mais ces variations sont trop faibles pour expliquer le réchauffement actuel.

Thierry DUDOK DE WIT



Le Soleil est le principal moteur de notre climat : s'il s'éteignait brusquement, la température sur Terre s'effondrerait et la vie disparaîtrait presque totalement en quelques semaines. Les fluctuations de ce moteur expliqueraient-elles le réchauffement climatique constaté depuis les années 1950 ?

Pour le déterminer, on mesure l'activité solaire et les différents paramètres atmosphériques grâce à des instruments installés au sol ou sur des satellites, mais aussi grâce à des indices indirects. Ainsi, les variations de l'activité solaire modulent la production (globalement faible) d'éléments radioactifs dans l'atmosphère. Ces éléments se retrouvent piégés dans le bois ou les glaces polaires, ce qui permet de reconstituer le passé solaire sur plus de 11 000 ans. Depuis quelques décennies, on utilise aussi des modèles numériques pour mieux comprendre la physique à l'œuvre.

Autrefois considéré comme un modèle de constance, le Soleil s'est révélé un peu plus variable qu'on ne le pensait. La puissance du rayonnement reçue par la Terre varie selon des cycles de 11 ans, mais seulement de 0,1 %. Entre le milieu du XVIII^e siècle et le début du XXI^e, une augmentation de l'activité solaire moyenne s'est superposée à ces cycles. Cependant, son amplitude n'est aussi que de l'ordre de 0,1 %. Trop peu pour changer le climat ?

Pas si vite : ne s'intéresser qu'à cette valeur, ce serait comme décrire la richesse d'un pays par son seul PIB. En effet, l'influence du Soleil sur le climat ne dépend pas uniquement

de la quantité d'énergie reçue, mais aussi de multiples autres paramètres.

Parmi eux, le type de fréquences composant le rayonnement solaire. Si la lumière visible et infrarouge, qui représente plus de 92 % de la puissance émise, varie peu, la composante ultraviolette est plus versatile. Or son influence est amplifiée par divers phénomènes, telle son absorption par la haute atmosphère, qui se réchauffe. *In fine*, cela modifie la circulation des masses d'air puis le climat, mais l'effet est surtout local. La température globale ne varie que faiblement.

On a aussi soupçonné une influence du vent solaire, un flux de protons et d'électrons émis en permanence par notre étoile, car les variations de ce flux perturbent l'atmosphère *via* de nombreux mécanismes. Mais là encore, cet effet est trop faible pour expliquer le réchauffement.

La fausse piste du rayonnement cosmique

Enfin, le champ magnétique du Soleil dévie une partie du rayonnement cosmique (un flux de particules chargées issues des confins de l'Univers), modulant ainsi son intensité sur la Terre. Ce phénomène a été très médiatisé, notamment parce que les climatosceptiques l'ont invoqué pour expliquer le réchauffement. Ils s'appuient sur un mécanisme proposé en 1997 par les physiciens danois Henrik Svensmark et Eigil Friis-Christensen : l'interaction du rayonnement cosmique et de

l'atmosphère produirait à basse altitude des ions favorisant la condensation de gouttelettes d'eau et amorçant la création de nuages. L'activité du Soleil ayant légèrement augmenté lors des dernières décennies, il dévierait une plus grande partie du rayonnement cosmique, ce qui réduirait la couverture nuageuse et favoriserait le réchauffement.

Pour tester cette hypothèse, le Cern a récemment monté l'expérience *Cloud*, qui vise à étudier en laboratoire l'impact du rayonnement cosmique sur la condensation. Les analyses ont confirmé cet impact, mais montré qu'il joue peu sur le climat. Bien trop peu pour expliquer le réchauffement actuel. En outre, l'activité solaire diminue depuis 2009, tandis que le réchauffement, lui, se poursuit.

Les interactions du Soleil et du climat sont, ainsi, extrêmement complexes. Si la haute atmosphère terrestre réagit fortement à l'activité solaire, les plus basses couches (qui sont au cœur de la question du réchauffement climatique) y sont nettement moins sensibles. Selon le dernier rapport du Giec, la part du Soleil dans le réchauffement observé depuis les années 1950 n'est que d'environ 3 %. Ni les modèles ni les observations ne lui attribuent un impact climatique majeur : celui des gaz à effet de serre reste, et de loin, la cause première du réchauffement actuel. ■

Thierry DUDOK DE WIT est professeur à l'université d'Orléans, où il est chercheur au Laboratoire de physique et chimie de l'environnement et de l'espace.

SCIENCE & GASTRONOMIE

Mettez un électrofileur dans votre cuisine

En cuisine, la technique de l'électrofilage permettrait par exemple de confectionner des viandes artificielles.

Hervé THIS

Malgré quelques avancées, le monde culinaire reste techniquement très en retard par rapport à d'autres secteurs d'activité : la « cuisine moléculaire » se résume encore, souvent, à des siphons ou des pompes pour faire des mousses, des thermocirculateurs pour cuire à des températures fixes, des évaporateurs rotatifs pour produire des fractions odorantes, de la cryo-concentration pour produire des fonds.

Pourtant, que de possibilités inexploitées, pour peu que l'on aille regarder dans d'autres secteurs techniques !

L'industrie alimentaire, par exemple, a emprunté la cuisson-extrusion à l'industrie des polymères : en faisant passer de la « pâte » (un mélange aqueux de deux polymères du glucose, l'amylose, linéaire, et l'amylopectine, ramifié) dans des systèmes à vis d'Archimède dont le pas se resserre avant l'ouverture finale, on obtient un chauffage et une brusque détente de la pâte, ce qui produit les biscuits d'apéritif dont les rayons des supermarchés sont remplis. Ces appareils de cuisson-extrusion pourraient être miniaturisés et, pourtant, nos cuisines en sont encore dépourvues.

Un autre système qui trouverait sa place est l'électrofilage, qui permet de faire des structures variées, souvent filamenteuses. Son principe est fondé sur la modification de la surface d'un liquide dans un ajutage (bec de métal qu'on adapte à un tuyau, destiné à déterminer le volume et la forme du jet de liquide qui s'en échappe), quand on applique une différence de potentiel entre l'ajutage et une contre-électrode placée en vis-à-vis :

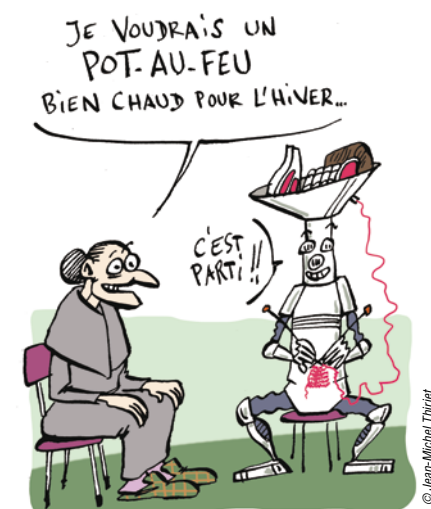
en 1964, le physicien britannique Geoffrey Taylor a calculé que la surface du liquide prend une forme de cône et, si l'on augmente la différence de potentiel, un jet très fin est produit. Les instabilités dynamiques du liquide déforment ce jet en spirale.

Cette technique diffère peu de l'électronebulisation, où les forces électriques dispersent des gouttelettes d'un liquide. La différence tient dans l'intensité de ces forces et dans les forces de cohésion des liquides que l'on traite, lesquelles dépendent notamment de leur concentration en polymères dissous. Quand la concentration est élevée, une nano- ou microfibre se forme. En revanche, pour de faibles concentrations, des microparticules liquides sont dispersées, emportant des polymères en solution.

L'électrofilage permet d'obtenir des formes variées : fils, rubans, fibres ramifiées... Selon les conditions, le diamètre varie entre 5 nanomètres et 10 micromètres (à titre indicatif, les fibres musculaires de la viande ont des diamètres compris entre 10 et 100 micromètres).

En pratique, ce n'est pas difficile : il faut des différences de potentiel de l'ordre de 10 000 volts, bien plus que la tension du secteur, mais bien moins que les différences de potentiel qui, quand il fait sec en hiver, créent des décharges électriques dans nos cheveux ou dans notre pull-over.

Le débit ? Pour des fibres sans défaut, il doit être proportionnel au cube de la différence de potentiel appliquée, mais on pourra penser à un ordre de grandeur de 10 microlitres par minute. Le liquide ? Classiquement, l'électrofilage est



utilisé pour des polymères de synthèse, mais des solutions de polysaccharides (pensons à l'amidon) ont été filées sans difficulté. Pour les protéines, l'électrofilage a semblé difficile, sauf pour la zéine en solution dans l'éthanol et pour la gélatine dans l'eau chaude ; mais Anneke Martin et ses collègues de la TNO (Organisation néerlandaise pour les applications des sciences) ont montré en 2014 que ces deux protéines peuvent en transporter d'autres, telle l'ovalbumine.

Évidemment, à raison d'un débit d'environ 1 gramme de fibre par heure, on est loin de nourrir l'humanité, mais ne pourrions-nous pas construire un système comportant de nombreuses seringues en parallèle, toutes actionnées par un seul grand piston, avec une source simple de tension électrique ? Le montage complet tiendrait sur une table et, en s'y prenant convenablement, on obtiendrait aussi bien des fibres pleines que des fibres creuses (à remplir avec un liquide goûteux), et l'on pourrait même tisser ces fibres. Gourmands, imaginez-vous cette sensation inédite d'un aliment tissé ? ■



Hervé THIS, physico-chimiste, est directeur du Centre international de gastronomie moléculaire AgroParisTech-Inra et directeur scientifique de la fondation Science & culture alimentaire (Académie des sciences).



Retrouvez la rubrique
Science & gastronomie sur
www.pourlascience.fr