



En 2010, de graves inondations ont submergé la ville de Khairpur Nathan Shah, au Pakistan. Elles résulteraient d'un effet atmosphérique nommé « amplification quasi résonante » (AQR).

marqués que les crêtes et les creux s'éloignent de la trajectoire moyenne. Dans cette configuration où l'onde est stationnaire, le système de haute pression stagne. C'est ce qui a causé en juillet 2018 la canicule du sud-ouest des États-Unis et les inondations simultanées au nord-est du pays. Un autre exemple date de juillet 2010 en Asie: tandis qu'une crête se développait au-dessus de la Russie, engendrant records de chaleur, sécheresse et feux de forêt, plus en aval du S un creux se déployait au-dessus du Pakistan et a apporté des inondations historiques.

En temps normal, l'amplitude des ondes de Rossby est limitée par l'énergie qu'elles irradient lorsqu'elles s'étendent vers le nord et le sud, et à mesure de leur progression vers l'est. Cependant, l'atmosphère se comporte parfois comme un guide d'ondes. Imaginez une ligne d'axe est-ouest traversant le Canada en son centre et une autre parallèle qui passerait au sud des États-Unis. Une onde de Rossby sinueuse reste bloquée entre ces « murs » et perd peu d'énergie. Ce confinement verrouille le jet-stream et les puissants systèmes de haute et basse pression qui y sont liés.

Quand les ondes font du surplace, les boucles peuvent enfler. Ce phénomène, surtout estival, est une amplification quasi résonante (AQR). Il y a plusieurs années, Vladimir Petoukhov et ses collègues, à l'institut de Potsdam de recherche sur les effets du changement climatique, en Allemagne, ont montré que les conditions favorisant une AQR dépendaient de la forme du jet-stream. Or le réchauffement climatique aurait une influence sur la forme du jet-stream et donc sur l'AQR.

Pour comprendre pourquoi, il faut faire appel aux mêmes mathématiques développées au

début du xx^e siècle pour résoudre certains problèmes en mécanique quantique. L'idée qu'il existe un lien entre la météorologie et ce champ de recherche qui semble très éloigné m'est particulièrement séduisante, sachant que j'ai entamé ma carrière comme physicien théoricien.

Saisir en quoi les mathématiques d'une onde atmosphérique et d'un électron sont similaires éclaire pourquoi les sécheresses et les inondations s'aggravent. Imaginez un électron en physique classique et dressez des murs de très haute énergie autour de lui: vous l'aurez emprisonné à l'intérieur d'une boîte dont il ne pourra s'échapper. La particule sera condamnée à rebondir éternellement entre les parois.

BULLETIN MÉTÉO QUANTIQUE

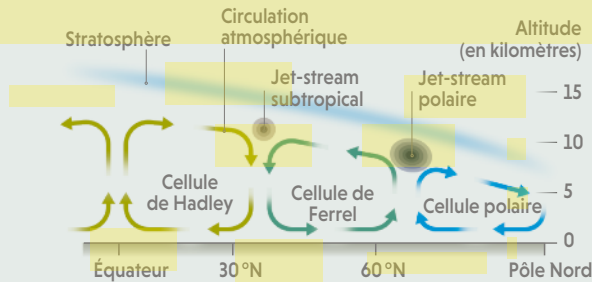
En mécanique quantique, les choses sont différentes. L'électron n'a pas de position bien définie: la probabilité de le trouver en un endroit donné est déterminée par l'équation de Schrödinger, une équation d'onde. Placé entre des murs de haute énergie, un électron a une probabilité de se trouver en chaque point de la boîte. Or cette probabilité est décrite par une courbe sinusoïdale, autrement dit par... un S couché.

Étonnamment, lorsque les murs de la boîte sont de hauteur (c'est-à-dire d'énergie) modeste, l'électron a une probabilité faible, mais non nulle, de traverser les parois. C'est l'« effet tunnel ». L'électron est ainsi majoritairement confiné à l'intérieur de la boîte, mais « fuite » un peu au niveau de chaque mur.

La physique à l'œuvre sur cet exemple à une dimension ressemble à ce qui se produit en trois dimensions dans le cas du guide d'ondes. On résout les équations décrivant ces objets >

LES CALAMITÉS MÉTÉOROLOGIQUES FIGÉES SUR PLACE

Le jet-stream pilote la météorologie de l'hémisphère Nord. Quand il ondule, il peut créer des zones de haute pression qui provoquent canicules et pluies torrentielles. Les fortes ondulations s'immobilisent parfois, ce qui prolonge les conditions difficiles pendant plusieurs jours, en particulier en été. Curieusement, la physique qui préside au phénomène est analogue à celle qui régit la matière à petite échelle, c'est-à-dire la mécanique quantique.



LE JET-STREAM S'ENROULE AUTOUR DE LA TERRE

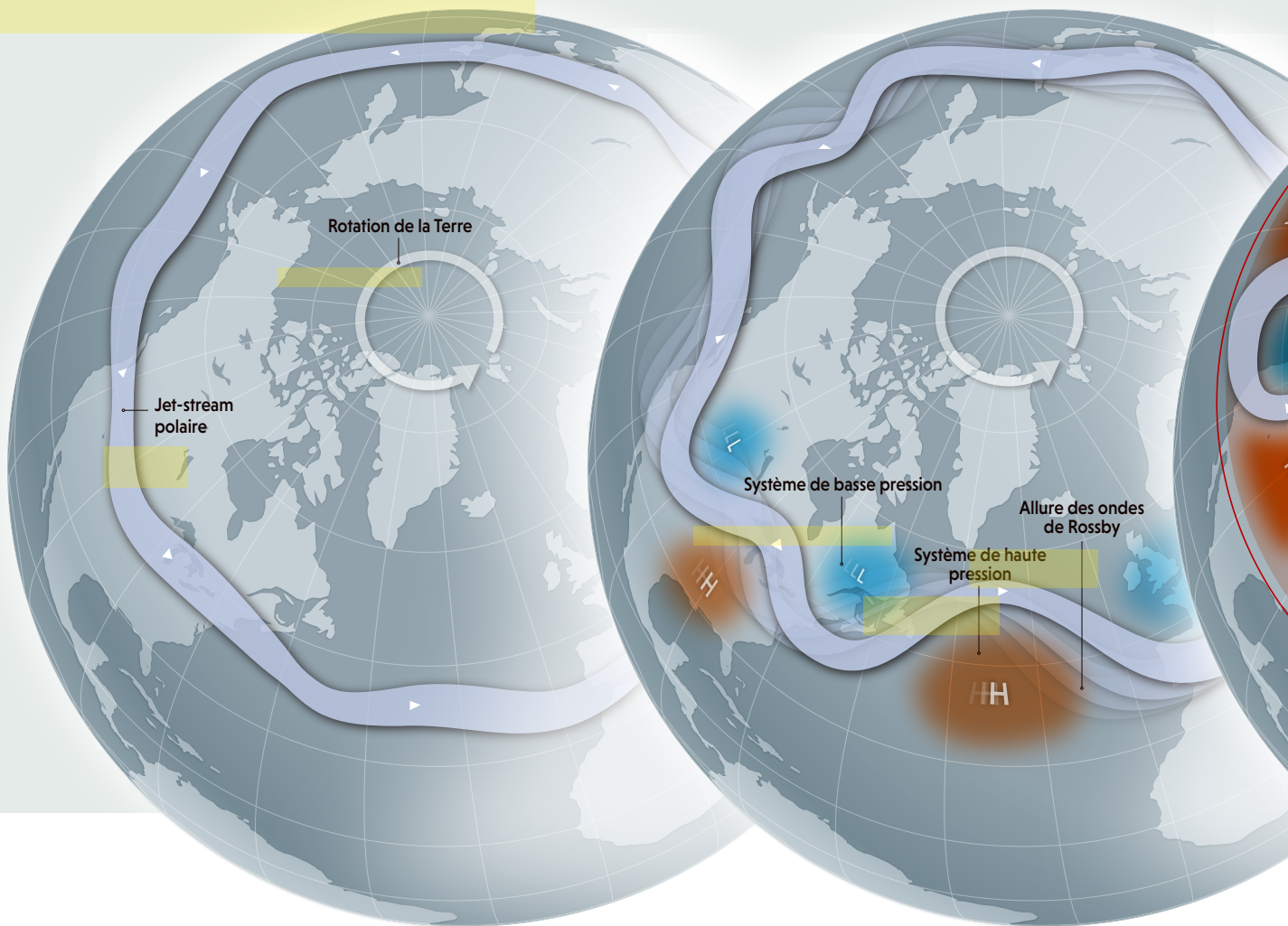
Les jet-streams soufflent entre 30° et 60° de latitude environ, aux frontières des cellules de circulation atmosphérique (voir ci-dessus). Le jet-stream polaire de l'hémisphère Nord va d'ouest en est autour du globe, parfois selon une trajectoire quasi rectiligne et d'autres fois en ondulant légèrement (ci-dessous). Les systèmes météorologiques tendent à suivre ce mouvement.

UN GUIDE D'ONDES DANS LE CIEL

Le guide d'ondes atmosphérique qui piège les ondes de Rossby est mathématiquement similaire à un guide d'ondes qui emprisonnerait un électron. En physique classique, un électron placé à l'intérieur d'une boîte aux murs hauts (représentant des barrières énergétiques élevées) se comporte comme une particule et rebondit d'une paroi à l'autre (A). Mais en physique quantique, un électron se comporte comme une onde piégée dans un guide d'ondes ; il a alors une probabilité non nulle de se trouver à l'extérieur de la boîte (B). Toutefois, plus les murs sont hauts, moins il y a de chance que cet effet tunnel se produise. Le phénomène est similaire à celui où les ondes de Rossby, associées à un jet-stream très sinueux, restent piégées dans un guide d'ondes atmosphérique, ce qui inflige aux continents chaleur ou pluies persistantes.

LES CENTRES DE PRESSION ENFLENT

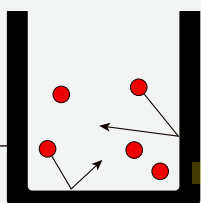
En été, des ondulations prononcées du jet-stream créent des systèmes de basse pression (L pour low) qui apportent de l'air froid et humide, et des systèmes de haute pression (H pour high) amenant de l'air chaud et sec. Il arrive que le jet-stream suive un motif ondulant qui se répète (ci-dessous) et épouse la forme des ondes de Rossby créées dans l'atmosphère par la rotation de la Terre. Le motif et les conditions météorologiques associées progressent d'ouest en est.



A Physique classique

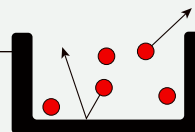
Les murs hauts représentent des barrières d'énergie.

Les électrons sont piégés dans la boîte.



Murs de plus basse énergie

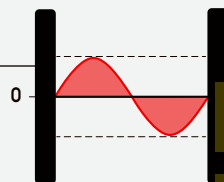
Les électrons peuvent s'échapper grâce à leur énergie propre.



B Physique quantique

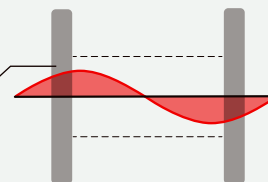
Les murs de haute énergie agissent comme un puissant guide d'ondes.

Les électrons sont des ondes qui ont une faible chance de traverser les murs.



Les murs de faible énergie agissent comme un guide d'ondes ténu.

Les électrons ont une probabilité notable de se trouver à l'extérieur de la boîte.



RÉSONANCE ORAGEUSE

Des ondes de Rossby de grande amplitude, et les sinuosités du jet-stream qui les suivent, peuvent rester bloquées et former une onde stationnaire. Il arrive en outre que l'atmosphère joue le rôle de guide d'ondes (lignes rouges), ce qui produit un effet de résonance et d'amplification sur le jet-stream. Ses ondulations s'accroissent à la fois en direction du nord et du sud. Les systèmes météorologiques s'intensifient et demeurent bloqués des jours entiers. La situation survient en été plutôt qu'en hiver.

UN MAUVAIS JOUR

En 2018, un jet-stream résonant s'est retrouvé bloqué entre la fin du mois de juillet et le début d'août. Il a déclenché ou amplifié des conditions météorologiques extrêmes autour de la planète. À partir du 22 juillet, canicules et sécheresses ont touché plusieurs régions et ont attisé des feux de forêt, tandis que d'autres territoires subissaient de graves inondations.

