

rue des étudiants
JE SUIS ÉTUDIANT, JE M'ABONNE



**21 GRANDS TITRES DE PRESSE
À PRIX UNIQUE ET IMBATTABLE!**

Jusqu'à
-77%
de remise

PRIX UNIQUE
39€
l'abonnement

PA15PLS

BULLETIN D'ABONNEMENT ÉTUDIANT

Je suis étudiant(e) Filière _____ Année d'étude _____

COCHEZ LE OU LES ABONNEMENTS QUE VOUS CHOISISSEZ (1 OU 2 OU 3)

- ☐ Alternatives Économiques | Mensuel | 11 numéros + L'économie en 30 questions
+ accès illimité à alternatives-economiques-education.fr
- ☐ Beaux Arts magazine | Mensuel | 15 numéros
- ☐ Capital/Management | Mensuels | 8 numéros de Capital et 8 numéros de Management
- ☐ Cercle Psy | Trimestriel | 8 numéros
- ☐ Courrier International | Hebdomadaire | 32 numéros
- ☐ Grande Galerie | Trimestriel | 8 numéros
- ☐ Harvard Business Review | Bimestriel | 3 numéros
- ☐ L'Eco | Hebdomadaire | 34 numéros
- ☐ L'Obs | Hebdomadaire | 26 numéros
- ☐ Le Monde Sélection hebdomadaire | Hebdomadaire | 39 numéros
- ☐ Le Monde diplomatique | Mensuel | 9 numéros
- ☐ Le 1 | Hebdomadaire | 39 numéros
- ☐ Les Inrockuptibles | Hebdomadaire | 26 numéros
- ☐ National Geographic | Mensuel | 12 numéros
- ☐ Philosophie magazine | Mensuel | 9 numéros
- ☐ Pour la Science | Mensuel | 10 numéros
- ☐ Sciences Humaines | Mensuel | 11 numéros
- ☐ Télérama | Hebdomadaire | 32 numéros
- ☐ Time | Hebdomadaire | 38 numéros
- ☐ Vocabulaire | Bimensuel | 21 numéros + 1 hors-série
- ☐ Anglais ☐ Allemand ☐ Espagnol (cochez l'édition choisie)

TOTAL DE MA COMMANDE (COCHEZ UN DE CES 3 CHOIX)

☐ 1 abonnement → 39 € ☐ 2 abonnements → 69 € ☐ 3 abonnements → 99 €

Nom _____

Prénom _____

Adresse (France métropolitaine seulement) _____

Code Postal [] [] [] [] Ville _____

E-mail _____

☐ J'accepte de recevoir des offres de Rue des Etudiants

☐ J'accepte de recevoir des offres des partenaires de Rue des Etudiants

Téléphone [] [] [] [] [] [] [] [] [] []

Je règle la somme de ☐ 39 € ☐ 69 € ☐ 99 € par :

☐ Chèque à l'ordre de Rue des Etudiants ☐ Carte bancaire

N° []

Date d'expiration [] [] [] []

Cryptogramme (Les 3 derniers chiffres au dos de votre carte.) [] [] []

Date et signature obligatoires :

Les informations susvisées que vous nous communiquez sont nécessaires au traitement de votre abonnement. Conformément à la Loi Informatique et Libertés du 6 janvier 1978 modifiée par la loi du 6 août 2004, vous disposez d'un droit d'accès et de rectification des données vous concernant en adressant un courrier à Rue des Etudiants. Ces données pourront être cédées à des organismes extérieurs, sauf opposition écrite de votre part à l'adresse susmentionnée.

Abonnez-vous encore plus vite sur **www.ruedesetudiants.com**

IDÉES DE PHYSIQUE

Comme un oiseau... sur un câble électrique

Toucher une ligne à haute tension est sans danger à condition d'être électriquement isolé et petit ou recouvert d'une couche conductrice.

Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK

Qui ne s'est pas demandé « Pourquoi ne s'électrocute-t-il pas ? » en voyant un oiseau perché sur un fil à haute tension ? Nous avons tendance à répondre que, puisque l'oiseau ne touche pas la terre, le circuit électrique n'est pas fermé et, partant, le courant ne passe pas dans son corps. Il faut cependant se méfier des évidences : cette réponse n'est valable que pour du courant électrique continu !

En réalité, tel un condensateur, l'oiseau se charge et se décharge périodiquement au rythme des oscillations du courant alternatif de la ligne. Comme nous le verrons, c'est grâce à sa petite taille que le courant qui traverse ses pattes ne constitue pas un danger. Et il

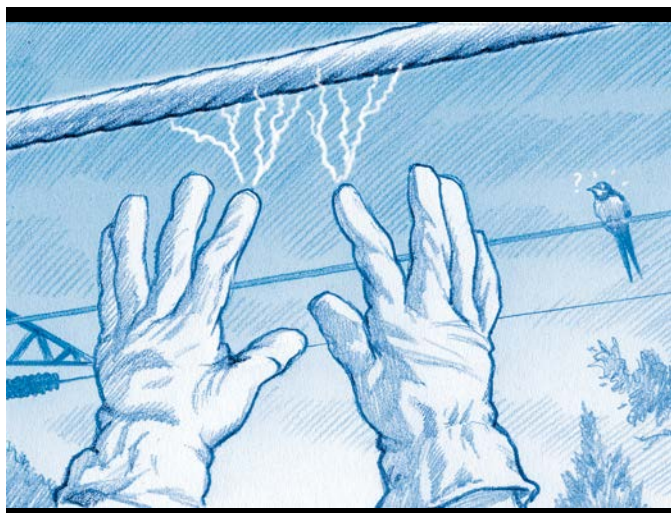
en est tout autrement pour les électriciens qui réparent les lignes à haute tension : il doivent non seulement être isolés, mais aussi se protéger de ces cycles charge-décharge au moyen d'une tenue conductrice.

Ne pas dépasser quelques milliampères

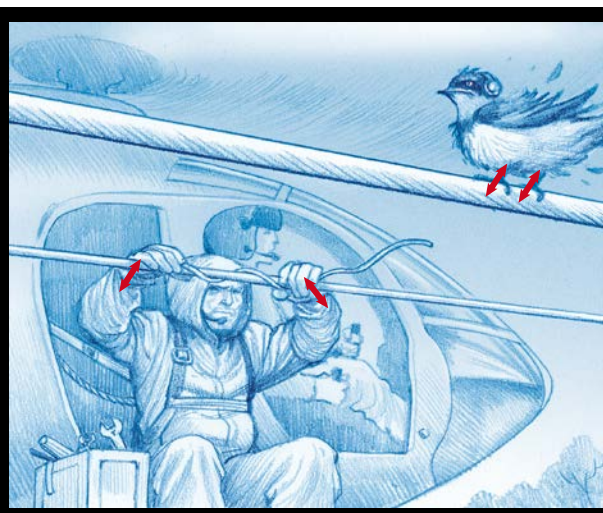
Pour commencer, quels sont les effets d'un courant électrique sur les organismes vivants ? De nombreux travaux, sur l'homme ou des animaux, fournissent des seuils approximatifs. Le plus petit courant perceptible provoque, en stimulant les cellules nerveuses, une légère sensation de picotement ; il est de

l'ordre de 1,1 milliampère chez l'homme et 0,7 milliampère chez la femme [valeur « efficace » d'un courant sinusoïdal de 60 hertz].

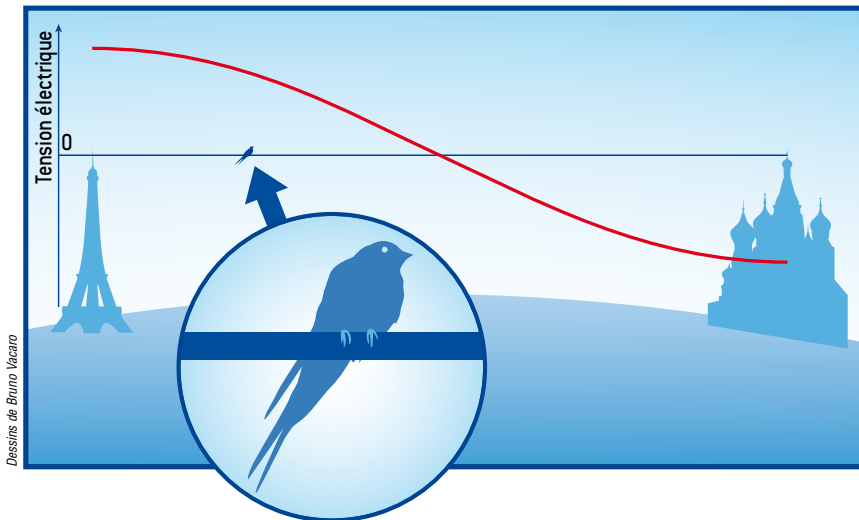
Au-delà d'une certaine intensité, le courant provoque des contractions musculaires spontanées. La valeur maximale pour laquelle une personne qui tient fermement un fil peut encore le relâcher, malgré les contractions de ses muscles, est une quinzaine de fois supérieure au seuil de picotement, soit 16 milliampères chez l'homme. Des courants plus importants provoquent des fibrillations ventriculaires, un arrêt cardiaque et sont fatals. Extrapoler ces valeurs aux oiseaux est téméraire, mais nous les prendrons tout de même comme repères.



POUR INTERVENIR SUR UNE LIGNE À HAUTE TENSION sans risquer sa vie, l'électricien porte une combinaison conductrice. Quand ses mains s'approchent du câble, de petites décharges ou « aigrettes » se produisent à travers l'air ionisé entre le câble et le gant (à gauche). Lorsque le contact avec le câble est établi, les échanges de charges se pour-



suivent en raison de la nature alternative de la tension (à droite, flèches). La combinaison forme une cage de Faraday : les charges électriques se répartissent à sa surface, et aucun courant associé ne traverse le corps du réparateur. Un oiseau n'a pas besoin d'une telle protection : grâce à sa petite taille, les courants qui le parcourent sont de faible intensité.



Dessins de Bruno Vacaro

À TOUT INSTANT, le long d'une ligne de courant alternatif à 50 hertz, la tension varie selon une sinusoïde très étalée, dont la demi-longueur d'onde est d'environ 3 000 kilomètres (en rouge). En raison de cette variation spatiale, les deux pattes de l'oiseau ne sont pas tout à fait au même potentiel électrique. Un courant associé parcourt l'oiseau, mais son intensité est négligeable, la différence de potentiel étant très faible.

LES AUTEURS



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

Examinons les cas de l'oiseau perché sur le fil et de l'électricien réparateur. Ce dernier ne doit bien sûr pas être relié au sol : selon l'environnement et le type de tension, il accède à la ligne soit à l'aide d'une nacelle isolée, soit par hélicoptère. Mais contrairement à l'oiseau, tout son corps à l'exception du visage est recouvert d'une tenue conductrice, en général une combinaison tissée en fil d'argent et incluant gants et bottes. Pourquoi ?

Sur les lignes à très haute tension, on dépasse les 100 000 volts : en France, elles sont à 400 000 volts pour le transport et à 225 000 volts pour la répartition. Lorsqu'un oiseau entre au contact de la ligne, il se comporte comme un condensateur sur lequel on branche un générateur : il se charge électriquement. Il en est de même pour l'électricien réparateur.

Ainsi, lors du premier contact, l'oiseau, initialement neutre, va se charger. La situation est inverse à ce qui se passe lorsque, après avoir marché sur un tapis, nous nous sommes chargés d'électricité statique : quand nous touchons un objet métallique, nous ressentons une petite décharge qui picote, dû au transfert de charge assurant l'égalisation entre notre potentiel électrique et celui de l'objet. En pratique, ce qui compte, c'est le saut de potentiel qu'il faut réaliser, soit pour se charger, soit pour se décharger.

Dans les situations domestiques, notre potentiel peut atteindre quelques dizaines de kilovolts par temps sec. Cette valeur est du même ordre que celle des lignes à haute

tension. Mais pour réparer des lignes à très haute tension, on s'expose à une charge dix fois supérieure. Autrement dit, pour un humain, on quitte le domaine de la petite décharge pour une bonne secousse.

Qui plus est, comme le courant est alternatif, cette tension oscille 50 fois par seconde. Par conséquent, l'oiseau ou l'électricien vont se charger alternativement positivement et négativement. Quelles sont les charges et les intensités de courant mises en jeu ?

Afin de les déterminer, simplifions la géométrie en considérant que les organismes sont... sphériques ! La capacité électrique d'une sphère isolée dans l'espace est égale au produit de son rayon, de la permittivité électrique du vide et d'un facteur géométrique 4π . Il s'ensuit que la capacité d'une sphère de un mètre de diamètre est de l'ordre de un vingtième de nanofarad (5×10^{-11} farad). La charge étant égale au produit de la capacité par la tension, on en déduit qu'un homme en contact avec une ligne à 400 000 volts recevrait une charge d'environ 25 microcoulombs, tandis que l'oiseau, dix fois plus petit, recevrait une charge de 2,5 microcoulombs. C'est cette charge qui est à l'origine de la petite étincelle lors du premier contact avec la ligne.

Taille plus petite, courants plus faibles

La tension ayant une fréquence de 50 hertz, la charge passe 50 fois par seconde d'une valeur positive à une valeur négative. L'amplitude de sa variation est donc de 60 microcoulombs pour l'électricien, et cette variation a lieu, dans un sens et dans l'autre, 100 fois par seconde. Le courant correspondant est donc de l'ordre de 5 milliampères.

Pour l'oiseau, ce courant est inférieur au milliampère, ce qui est sans doute négligeable et à peine ressenti. Pour l'électricien, en revanche, une intensité de 5 milliampères est dangereuse. C'est pourquoi il porte une combinaison conductrice faisant office de cage de Faraday : les charges se répartissent sur cette surface conductrice, sans pénétrer dans le corps.

Cette combinaison protège aussi les électriciens de l'« effet Corona ». Les très



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

hautes tensions sont en effet à l'origine d'une ionisation partielle de l'air et de courants électriques supplémentaires au voisinage de la ligne – que nous entendons sous forme de grésillements. Cet effet peut provoquer de petites aigrettes comme dans les feux de Saint-Elme, notamment quand l'électricien approche sa main gantée de la ligne (voir la figure page 89). Sa combinaison évite qu'il reçoive ces courants d'une autre nature.

Pour un oiseau, qui n'a pas de combinaison protectrice, un autre effet pourrait intervenir. Dans les lignes de transmission en courant alternatif, la tension le long de la ligne dessine à chaque instant une courbe sinusoïdale (voir la figure page ci-contre). Par conséquent, les deux pieds du volatile ne sont pas au même potentiel. Cette différence, qui crée un courant à travers le corps de l'animal, est-elle dangereuse ?

Lors d'un orage, si l'on se trouve debout près d'un arbre touché par la foudre, la différence de potentiel entre les deux pieds (liée à la circulation des courants dans le sol) peut dépasser le kilovolt, d'où un fort risque d'électrocution pour les humains et surtout pour les quadrupèdes comme les vaches, dont les pieds sont plus écartés.

Sur une ligne à haute tension, heureusement, la fréquence de la tension alternative est basse, d'où une longueur d'onde gigantesque : près de 6 000 kilomètres. En ordre de grandeur, la différence de potentiel entre les deux pattes de l'oiseau est égale à la tension du courant multipliée par le rapport distance entre pattes/longueur d'onde. Pour une ligne à 400 000 volts, on trouve alors une minuscule différence de potentiel, de quelques millivolts au plus. Pas de quoi griller le volatile ! ■

■ BIBLIOGRAPHIE

J. A. Redinz, **Birds on power lines**, *American Journal of Physics*, vol. 82, pp. 691-694, 2014.

G. Stix, **Working hot : life at 765 kV**, *IEEE Spectrum*, vol. 25(9), pp. 54-56, 1988.



Neurodiététique Connaître son cerveau pour mieux manger

Pourquoi faut-il connaître son cerveau pour mieux manger ? D'abord pour le nourrir convenablement. Ensuite pour éventuellement perdre quelques kilos : suivre un régime est inéluctablement voué à l'échec si on n'a pas compris le fonctionnement de ses neurones. Enfin pour apprécier, à sa juste valeur, le plaisir de manger.

96 pages - 7,50€

Disponible en kiosque
et sur www.cerveauetpsycho.fr

QUESTION AUX EXPERTS

Qu'arriverait-il sans combinaison dans l'espace ?

Rien d'agréable, mais nous n'explorions pas ni ne gèlerions en quelques secondes !

Roland LEHOUCQ



Dans le film *Outland* (1981), des ouvriers explosent après avoir ouvert leur scaphandre dans l'espace. Dans *Mission to Mars* (1999), un astronaute relève sa visière et gèle en quelques dizaines de secondes. Nombre d'autres œuvres illustrent ce que nous savons tous : l'espace est un milieu plutôt hostile.

De fait, le sort de l'insouciant promeneur spatial qui sortirait en tenue d'été ne serait pas très enviable. L'absence d'air est le premier problème pour un humain subitement exposé au vide. En effet, le cerveau se retrouve vite à court d'oxygène, qui s'échappe du sang en raison de la faible pression ambiante. Cela entraîne une perte de conscience en une quinzaine de secondes et, peu après, la mort.

Par ailleurs, la pression régnant à l'intérieur du corps, égale à celle de l'atmosphère avant la sortie dans le vide spatial, devient très supérieure à celle du milieu extérieur, quasi nulle. D'où l'idée que le naturaliste de l'espace exploserait aussitôt.

En réalité, les tissus, notamment la peau, sont assez résistants pour s'accommoder d'une telle surpression. Le corps n'explose donc pas, mais il gonfle bel et bien. C'est ce qu'a constaté le pilote américain Joe Kittinger, qui a atteint l'altitude record de 30 480 mètres lors d'un vol en ballon en 1960. Durant l'ascension, le gant droit de sa combinaison s'est percé. Sa main a doublé de volume, en raison de la faible pression externe. Elle est revenue à la normale quelques heures après l'atterrissage.

À l'intérieur du corps, c'est une autre histoire. Les vaisseaux sanguins les plus fins peuvent éclater. La dilatation de l'air interne met certains organes à rude épreuve : elle endommage gravement les alvéoles pulmonaires (de petits « sacs » où se déroulent les échanges gazeux avec le sang) et menace les tympans. Le diaphragme risque d'être poussé vers le haut par l'expansion des gaz piégés dans l'estomac. Une carie ou un plombage mal réalisés peuvent aussi contenir de petites poches d'air, dont la dilatation causerait de vives douleurs, voire l'éclatement de la dent.

Liquides en ébullition

Outre la dilatation de ses gaz, l'ébullition de ses liquides menace le spationaute déshabillé. La température d'ébullition dépend en effet de la pression. Au sommet du mont Blanc, où la pression est deux fois moindre qu'au niveau de la mer, l'eau bout à seulement 85 °C. Placé dans le vide, un liquide bout quelle que soit sa température. C'est ce qu'illustre la mésaventure vécue en 1965 par le porteur d'une combinaison pressurisée, testée dans une chambre à vide du centre spatial Johnson de la Nasa, au Texas. La combinaison s'est accidentellement percée et son porteur a perdu conscience en 14 secondes. Une fois la pression de la chambre revenue à la normale, il a fini par retrouver ses esprits sans dommage. Au débriefing, il a rapporté que son dernier souvenir conscient était l'ébullition de sa salive !

Heureusement, le cas du sang est différent : pompé par le cœur, il est toujours en surpression par rapport à l'extérieur. Tant que le cœur bat, le précieux liquide n'entre pas en ébullition à l'intérieur du corps humain.

À l'inverse, l'intrépide aventurier qui bondirait du vaisseau spatial sans combinaison se transformerait-il instantanément en Mr Freeze ? Exposé au vide, il perdrait de l'énergie sous forme de rayonnement infrarouge. Il éprouverait une sensation de froid, amplifiée par l'évaporation de la sueur à la surface de sa peau : le changement d'état de l'eau consomme de l'énergie, au détriment du corps. L'infortuné finirait par geler, mais certainement pas en moins d'une minute comme dans *Mission to Mars* ! Dans un air hivernal glacé, où le vent et l'humidité renforcent les pertes thermiques, la congélation d'un corps humain prend des heures. Dans le vide, où seul le rayonnement agit, il faut encore plus longtemps.

Si les humains meurent vite dans l'espace, d'autres animaux sont capables d'y survivre. Ainsi, des tardigrades, de minuscules animaux proches des arthropodes, sont rentrés sains et saufs après une exposition prolongée au vide orbital. On comprend encore mal leur résistance et nous avons beaucoup à en apprendre sur l'adaptation au vide. Peut-être seront-ils, avant les humains, les premiers voyageurs interstellaires ? ■

Roland LEHOUCQ est astrophysicien au CEA, à Saclay.