

PLS

Existe-t-il une autre méthode pour mesurer la constante de Planck ?

R.D. : Une approche complémentaire consiste à relier le kilogramme à la constante de Planck en passant par la masse d'un atome de silicium. L'idée est d'utiliser une boule parfaitement sphérique de silicium sans aspérités et dont la structure cristalline doit être sans défauts ni impuretés. Connaissant le volume occupé par un atome dans le réseau cristallin et le volume de la sphère, on peut évaluer le nombre N d'atomes de silicium dans la sphère, qui est identique au rapport de la masse m de la sphère à la masse d'un seul atome de silicium. Il faut ensuite relier la masse d'un atome de silicium avec la constante de Planck. Ce lien ne dépend pas du Grand K et les physiciens l'ont mesuré (avec des techniques d'interférométrie atomique par exemple) avec une grande précision, meilleure que celle demandée pour la redéfinition du kilogramme.

PLS

Où en sommes-nous dans le processus de redéfinition du kilogramme ?

R.D. : Nous suivons une feuille de route avec un calendrier précis. Les laboratoires mesurent actuellement la constante de Planck. Certaines contraintes ont été fixées : trois expériences (balance du watt ou sphère de silicium) doivent avoir une incertitude inférieure à 50 pour 1 milliard, dont une avec une précision meilleure que 20 pour 1 milliard, ce qui est le cas pour la balance canadienne et pour la sphère de silicium. Ces résultats doivent être acceptés pour publication d'ici au 1^{er} juillet 2017. Si tout se passe bien, la Conférence générale des poids et mesures se réunira pour adopter une nouvelle définition du kilogramme à l'automne 2018.

PLS

Quel impact sur les laboratoires de métrologie cette redéfinition du kilogramme aura-t-elle ?

R.D. : Après la Conférence générale, il faudra mettre en place cette nouvelle défini-



LE GRAND K, cylindre en platine iridiée dont on voit ici un fac-similé protégé sous une triple cloche de verre, a été la référence internationale du kilogramme pendant près de 130 ans. La nouvelle définition du kilogramme, prévue pour 2018, s'appuiera sur une constante universelle, la constante de Planck, et non sur un étalon matériel.

tion dans les laboratoires, ce qui prendra plusieurs mois. Le BIPM jouera un rôle important de coordination à ce stade.

Les balances du watt ne seront pas utilisées au quotidien, au moins dans un premier temps. Elles sont trop complexes à faire fonctionner. Elles seront donc utilisées, à l'instar du Grand K, de temps en temps pour étalonner un prototype de référence. Ces étalons matériels sont pratiques et ont fait leurs preuves en usage quotidien.

Bien sûr, on peut aussi imaginer que le directeur d'un laboratoire de métrologie voudra utiliser sa balance du watt plus régulièrement pour faire des étalonnages. Le développement des balances du watt ne s'arrêtera donc pas avec la mesure de la constante de Planck. En outre, d'autres laboratoires voudront peut-être construire leur propre balance du watt. Ici encore, le BIPM continuera de jouer un rôle de coordination en s'assurant que ceux qui souhaitent étalonner le kilogramme puissent le faire avec une précision suffisante.

Finalement, cela va peu changer le quotidien des métrologues, mais ils travailleront à partir d'une définition plus fiable et pratique du kilogramme. Le seul

domaine qui pourrait connaître un changement est celui des électroniciens, qui utilisent des unités fondées sur une valeur conventionnelle de la constante de Planck. Lorsque la valeur de cette constante sera fixée une fois pour toutes, celles utilisées par les électroniciens seront modifiées, mais de façon infime. Et une fois la transition opérée, il n'y aura pas besoin d'y revenir.

PLS

Les étalons matériels resteront utiles. Qu'en est-il du Grand K ?

R.D. : Le Grand K ne va pas non plus disparaître avec la nouvelle définition du kilogramme. La Convention du mètre, signée en 1875 et toujours en vigueur, impose la conservation du prototype international au BIPM dans les conditions préconisées. De même, nous avons toujours la barre de platine qui définissait le mètre à l'époque.

En outre, le Grand K sera probablement confronté à une balance du watt pour enfin savoir si sa masse était stable ou si elle avait au contraire varié. ■

Propos recueillis par Sean Bailly

La saga du premier câble transatlantique

Ainissa Ramirez

Il y a 160 ans débutait une épopée qui n'avait rien à envier à celle du rail : la pose d'un câble télégraphique sous-marin reliant l'Amérique à l'Europe.

Mardi 4 août 1857. La flotte du télégraphe, constituée de huit navires – quatre américains et quatre anglais – quitte le port de Queenstown, près de Cork en Irlande, en direction de Valentia, une petite île au large de la côte ouest irlandaise. Deux des bateaux, le USS *Niagara*, de la New York Navy Yard, et le HMS *Agamemnon*, de la Royal Navy britannique, ont une cargaison un peu particulière. Chacun porte la moitié d'un câble télégraphique destiné à relier l'île et Terre-Neuve, au Canada, à travers l'océan Atlantique. Mis au point dans les années 1830, le télégraphe électrique a fait ses preuves sur de longues distances terrestres, et un câble télégraphique sous-marin a déjà été installé, en 1851, entre Douvres et Calais. Toutefois, l'ambition est ici d'un tout autre ordre : la longueur totale du câble est d'environ 4 000 kilomètres.

L'expédition commence le 7 août. Les deux navires font tous deux route vers l'ouest. Le *Niagara* dépose peu à peu son câble sur le fond marin. À la fin de la pose, il est prévu de connecter le câble à celui du second navire, qui prendra le relais. Tout va bien jusqu'au soir du 10 août, où se produit un accident sur la machine de pose du câble. Celui-ci se bloque et, sous l'effet de la tension, due notamment à une forte houle, casse brutalement. Plus de 500 kilomètres de câble sont perdus.

La pose complète d'un câble transatlantique n'a eu lieu qu'un an plus tard, durant l'été 1858. Ce fut le premier pas d'une technologie qui a non seulement révolutionné les

L'ESSENTIEL

■ En 1854, Cyrus West Field, un riche industriel américain, se prit de passion pour une idée : installer le télégraphe entre l'Irlande et Terre-Neuve.

■ Une première expédition échoua en 1857. Mais un an plus tard, avec une troisième tentative, un câble long d'environ 4 000 kilomètres relia enfin les deux côtés de l'Atlantique.

■ La victoire fut courte : il ne fonctionna que pendant quatre semaines. Une liaison télégraphique durable ne fut établie qu'en 1866.



communications, mais aussi influencé les affaires, la politique et même le langage.

Tout a commencé par une rencontre, un soir d'hiver 1854. Cyrus West Field est un homme passionné qui ne sait entrer dans une pièce que brusquement, alors qu'il mène une vie plutôt oisive. Âgé de 34 ans, il a déjà fait fortune dans l'industrie du papier et, sans projet pour l'avenir, se retrouve précocement à la retraite. Il sait ce que travailler dur signifie : huitième enfant d'un pasteur, il a quitté en 1835, à 16 ans, son foyer de Stockbridge, dans le Massachusetts, pour s'installer à New York avec pour seuls bagages 25 dollars et la bénédiction de son père. Il a commencé comme magasinier, tenant le compte de

ses moindres dépenses. Cette discipline lui a permis de progresser avec régularité vers la réussite. Il a aussi connu la solitude : régulièrement, il a envoyé des lettres chez lui, implorant une réponse. Autant de traits qui ont pu le rendre réceptif à cette fameuse rencontre de janvier 1854.

Les malheurs de Gisborne

Un visiteur inconnu se présente à l'hôtel particulier de Field, dans le quartier de Gramercy Park. Son frère, Matthew Field, a invité un dénommé Frederick Gisborne, un homme qui a joué de malchance. Gisborne est un ingénieur britannique qui vit à Terre-Neuve. Fasciné par le télégraphe,

il rêve d'installer un réseau de fils sur l'île et de la relier au continent, jusqu'à New York. Située à l'extrême est de l'Amérique du Nord, Terre-Neuve n'est qu'à 3200 kilomètres de l'Europe. Un navire européen qui traverse l'Atlantique pour apporter des nouvelles en Amérique gagnerait un jour s'il lui suffisait de les livrer sur l'île.

L'idée est bonne, mais Gisborne a sous-estimé les difficultés. Terre-Neuve est une contrée sauvage et hostile. La simple inspection de 600 kilomètres a demandé plusieurs mois à l'ingénieur, et a révélé qu'il était quasi impossible d'y installer des fils télégraphiques. Ses commanditaires se sont retirés, le laissant dans l'incapacité de payer ses dettes. Gisborne a ainsi tout perdu et

LE 23 JUILLET 1865, pour la quatrième fois, une expédition partit de la petite île de Valentia, en Irlande, en direction de l'Amérique, avec pour mission de dérouler tout du long un câble télégraphique. Un énorme paquebot, le *Great Eastern*, transportait le câble, entouré d'une escorte de navires qui paraissaient minuscules à ses côtés.



Illustration de Robert Dudley dans W. H. Russell, *The Atlantic Telegraph*, 1865 © Bill Burns, www.atlantic-cable.com.

a été mis en prison. Mais à sa libération, il s'est rendu à New York pour y trouver de nouveaux bailleurs de fonds. C'est une rencontre fortuite avec Matthew Field qui l'a alors mené à Cyrus.

Gisborne, un barbu costaud aux mains rugueuses, s'assied en face d'un Field grand et mince, à l'air fragile. Intrigué, mais pas convaincu, Field écoute la proposition de Gisborne : gagner un jour sur l'arrivée d'un message. Après avoir examiné un globe terrestre dans sa bibliothèque, Field s'aperçoit que la longueur nécessaire pour connecter Terre-Neuve au continent américain est proche de la distance entre l'île et l'Europe. Il lui apparaît alors beaucoup plus intéressant de gagner la totalité du temps de transmission des messages d'un bout à l'autre de l'océan, plutôt qu'un seul jour.

On consulte les experts

L'idée d'envoyer des messages en Europe à la vitesse de la lumière déclenche l'intérêt de Field, mais avant d'aller plus loin, il lui faut des réponses. Il veut savoir si un câble immergé peut résister longtemps et interroge la Marine en ce sens. Sa lettre parvient au lieutenant Matthew Fontaine Maury, qui a procédé à des sondages des fonds marins de l'Atlantique et sera plus tard connu comme le père de l'océanographie américaine.

Or, quelques années plus tôt, Maury, au fil de ses recherches sur les courants et les vents marins, était arrivé à la conclusion qu'il existait un plateau peu profond entre Terre-Neuve et l'Irlande. Et en 1853, des sondages le long du trajet l'avaient conforté dans cette idée (celle-ci se révéla fautive quelques années plus tard : les sondages, trop écartés, ne rendaient pas compte d'accidents de terrain intermédiaires).

Maury, enthousiaste, nomme plateau télégraphique ce fond marin et plaide en faveur du projet. D'autant qu'il a prélevé des échantillons du plancher océanique : des coquillages, des diatomées, des échantillons de vie sous-marine, et pas un grain de sable, ce qui suggère que l'eau est calme et que le fond n'est pas soumis à des courants ou des turbulences à cet endroit.

Une autre difficulté est l'eau elle-même. Un câble électrique doit être isolé de l'eau de mer, conductrice. Une solution est fournie par une gomme, la gutta-percha, issue du latex d'une plante de Malaisie. La gutta-percha est plastique par nature. Elle se déforme

■ L'AUTEURE



Ainissa RAMIREZ, docteure en science des matériaux, a été maître de conférences à l'université Yale avant de se consacrer à la vulgarisation scientifique.

Article publié avec l'aimable autorisation de la revue *American Scientist*.

facilement dans l'eau chaude et, une fois refroidie, redevient ferme, mais flexible. Des physiciens tels que Michael Faraday, James Clerk Maxwell et William Thomson (qui sera connu plus tard sous le nom de Lord Kelvin) affirment que son pouvoir isolant est supérieur à celui du caoutchouc, lequel est par ailleurs difficile à utiliser et se dégrade facilement. Le câble doit comporter un noyau de sept fils de cuivre enrobés de gutta-percha et protégés d'une gaine extérieure de fils d'acier et de chanvre.

Field a aussi besoin de savoir si des signaux électriques peuvent se propager sur de longues distances. Il contacte Samuel Morse, l'inventeur éponyme du code binaire à base de points et de traits. Morse a connecté le premier câble télégraphique entre Baltimore et Washington et y a transmis le premier message, plein d'appréhension : « Quelle œuvre Dieu a faite ! » Field l'ignore, mais Morse a déjà expérimenté des câbles immergés, qui ont fonctionné. Il a même prédit en 1843 qu'« on établirait sans aucun doute une liaison télégraphique transatlantique de type électromagnétique ». Muni d'informations aussi rassurantes, Field se met à imaginer un réseau de fils de cuivre traversant l'Atlantique.

À la conquête de l'Atlantique

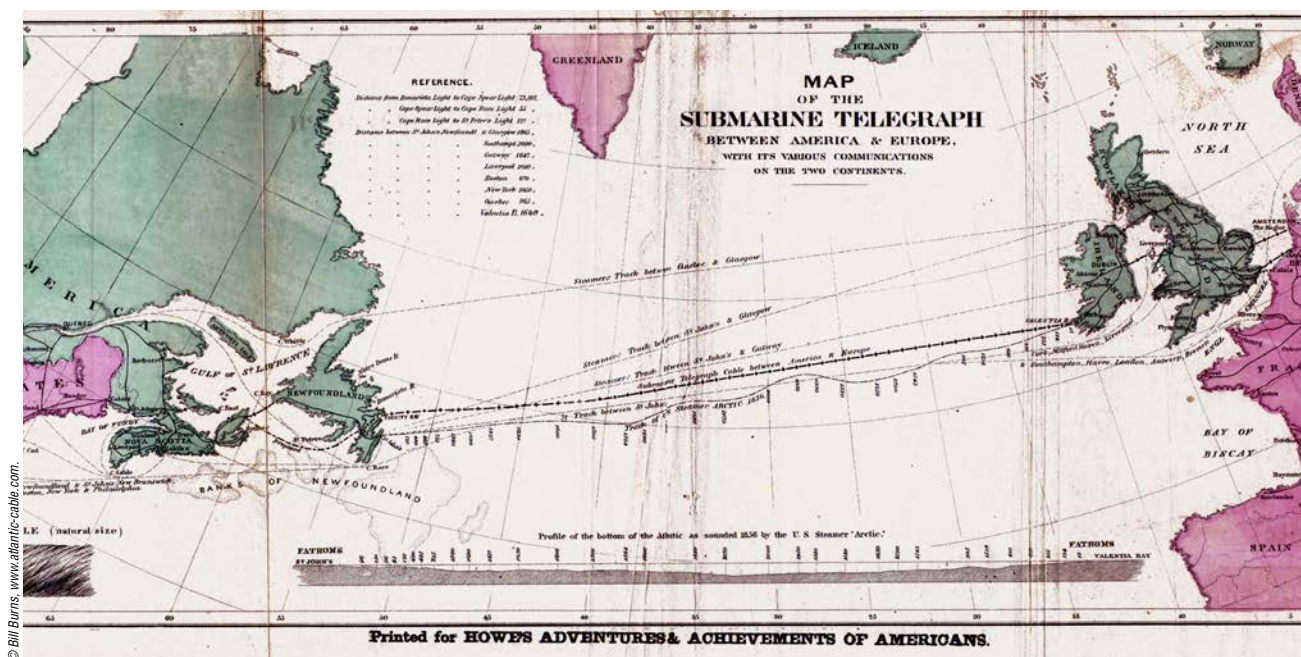
Deux tâches l'attendent : relier Terre-Neuve, puis connecter l'autre rive de l'Atlantique. Aucune n'est aisée, et c'est bien du sens des affaires de Field et de sa perspicacité que le projet a besoin. Gisborne, bien qu'à l'origine de l'idée, ne joue plus qu'un rôle mineur en tant qu'ingénieur avant de retourner au Canada poursuivre sa carrière dans la télégraphie. Il est vrai que Terre-Neuve, avec son terrain hostile, sa mer déchaînée et ses icebergs menaçants, est de nature à en décourager plus d'un. Field et ses ouvriers tiennent bon. Et après des mois de lutte pour installer des fils de cuivre dans cette contrée sauvage, Field s'attaque enfin à la partie la plus difficile du projet : poser un câble à travers l'Atlantique.

La première tentative, en août 1857, est un échec. La deuxième, en 1858, bénéficie de progrès, dont une amélioration du système de pose qui s'était bloqué lors du premier essai. Cette fois, les bateaux se rendent au milieu de l'Atlantique, raccordent leurs câbles et partent en pose, chacun vers une côte. Les deux équipages restent en contact



© Bill Burns, www.atlantic-cable.com

SANS LA TÉNACITÉ et le sens des affaires de Cyrus West Field (1819-1892), le câble transatlantique n'aurait probablement pas été posé si vite après la guerre de Sécession.



permanent par le câble. Pour le vérifier en continu, William Thomson, conseiller scientifique du projet, a conçu un dispositif : un galvanomètre miroir capable de détecter le faible signal électrique transmis le long du câble. Cet appareil est constitué d'une bobine de fil en cuivre avec, en son centre, un miroir rond suspendu à une fibre de soie et couplé à de petits aimants. Lorsqu'un courant traverse la bobine, les aimants – et donc le miroir – pivotent légèrement. En éclairant le miroir et en récoltant l'image du faisceau lumineux sur un écran, on amplifie ainsi suffisamment le signal pour détecter les points et traits transmis.

Après une terrible tempête, les bateaux jointent leurs câbles et se mettent en route. Mais au kilomètre 130, le signal disparaît ; les bateaux reviennent l'un vers l'autre et reconnectent les câbles, avant de reprendre la route. Les câbles se déroulent régulièrement jusqu'au kilomètre 320, où le signal s'évanouit pour ne jamais revenir.

Après ce deuxième échec, les deux bateaux font route vers l'Angleterre. On est à la mi-juillet. Déçu, mais pas découragé, Field estime que l'été lui laisse encore assez de temps pour une autre tentative si les préparatifs sont rapides. Très vite, une troisième tentative a lieu, fin juillet 1858. Les deux navires se replacent au milieu de l'Atlantique et recommencent à poser leurs câbles, chacun dans sa direction.

À la fin du premier jour, le signal disparaît mystérieusement, puis revient, comme par miracle. D'autres problèmes surgissent.

LE CÂBLE TRANSATLANTIQUE DE 1858 fut le premier posé en intégralité entre Terre-Neuve et l'Irlande. Sur cette carte, son tracé *(la ligne parsemée de croix)* est ici accompagné de sondages effectués en 1856 le long du parcours *(voir la ligne pointillée inférieure et sa projection en dessous)*.

L'influence magnétique de la gaine d'acier entourant le câble perturbe les boussoles, ce qui fait dévier le *Niagara* de sa route. Il en résulte un gaspillage de sa précieuse cargaison, qui menace de ne plus être disponible en quantité suffisante. Par chance, un petit navire accompagne le *Niagara* et peut lui montrer le chemin. Le *Niagara* arrive à Terre-Neuve avec un câble en état de fonctionnement. De même, dans l'autre direction, l'*Agamemnon* surmonte ses difficultés et atteint bientôt les côtes de l'Irlande avec un câble également en état de marche.

149 mots en dix heures

Le 16 août 1858, Field envoie le premier message officiel par câble transatlantique : «Gloire à Dieu au plus haut des cieux; paix et bienveillance envers les hommes sur Terre.» En fait, avec tous les essais effectués, il s'agit du 129^e message, transmis le septième jour de l'opération. Pour commémorer l'événement, la reine Victoria envoie au président américain James Buchanan un message de félicitations de 98 mots, auquel celui-ci répond par une longue missive de 149 mots. La transmission du premier prend seize heures, celle du second dix heures.

Les techniciens du télégraphe remarquent toutefois que quand un trait

arrive, il est immédiatement suivi d'un point, ce qui rend le message difficile à décoder. De plus, les signaux électriques subissent un retard de transmission qui les transforme en impulsions plus faibles et plus longues, et les techniciens perdent un temps fou à confirmer et répéter les messages. Edward Wildman Whitehouse, un chirurgien qui se passionne pour le télégraphe et a déjà travaillé sur la transmission de signaux sur de longues distances, est le conseiller scientifique principal, ce qui n'arrange pas les choses. Arrogant et têtu, il se querelle avec Thomson sur la façon de résoudre ce problème de transmission.

Thomson savait que la transmission sous-marine de signaux serait délicate, à cause d'une loi qu'il a mise en évidence en 1854: le retard de transmission d'un message est proportionnel à la capacité et à la résistance du câble, elles-mêmes proportionnelles à la longueur du câble. Thomson suggère de raccourcir les signaux (l'avenir prouvera qu'il a raison). Whitehouse, lui, pense qu'il faut amplifier le signal en augmentant la tension. Sa solution se révèle désastreuse. Lorsqu'il l'essaie, il brûle le câble, qui ne fonctionnera plus.

Quatre cents messages ont circulé au cours des quatre semaines de vie de la liaison. Brusquement privé d'un mode de

■ BIBLIOGRAPHIE

G. Cookson, *The Cable*, 2^e éd., Tempus Publishing, 2006.

D. Tarrant, *Atlantic Sentinel*, Flanker Press, 1999.

E. Wünschendorff, *Traité de télégraphie sous-marine*, Librairie polytechnique, Baudry et C^{ie}, 1888.

A. Clarke, *Voice Across the Sea*, HarperCollins, 1975.

B. Dibner, *The Atlantic Cable*, Burndy Library, 1959.

communication qu'il avait si ardemment souhaité, le public s'insurge contre Field. Les gens se sentent trompés et pensent que cette liaison transatlantique était une imposture. Field est proche de la faillite et n'obtient plus aucun soutien. Mais l'attention se détourne du télégraphe. La guerre de Sécession a éclaté, et les Américains ont d'autres soucis que le câble.

Pendant la guerre, Field s'active pour préparer et financer un autre câble. Il est récompensé de ses nouveaux efforts. Depuis sa dernière tentative, un navire géant capable de transporter la totalité du câble a été construit : le *Great Eastern*. L'ingénieur Isambard Brunel a conçu le *Great Eastern* pour assurer la continuité territoriale du Commonwealth en reliant l'Angleterre, l'Australie et les Indes sans escale de ravi-

découvrir la portion défectueuse. On finit par trouver de petites aiguilles de fil d'acier qui se sont détachées de l'armature métallique du câble et ont pénétré en son cœur. Quatre jours plus tard, nouveaux ennuis. Même cause. Field pense à du sabotage et se tient en éveil, mais plus aucun indice de malveillance ne se manifeste.

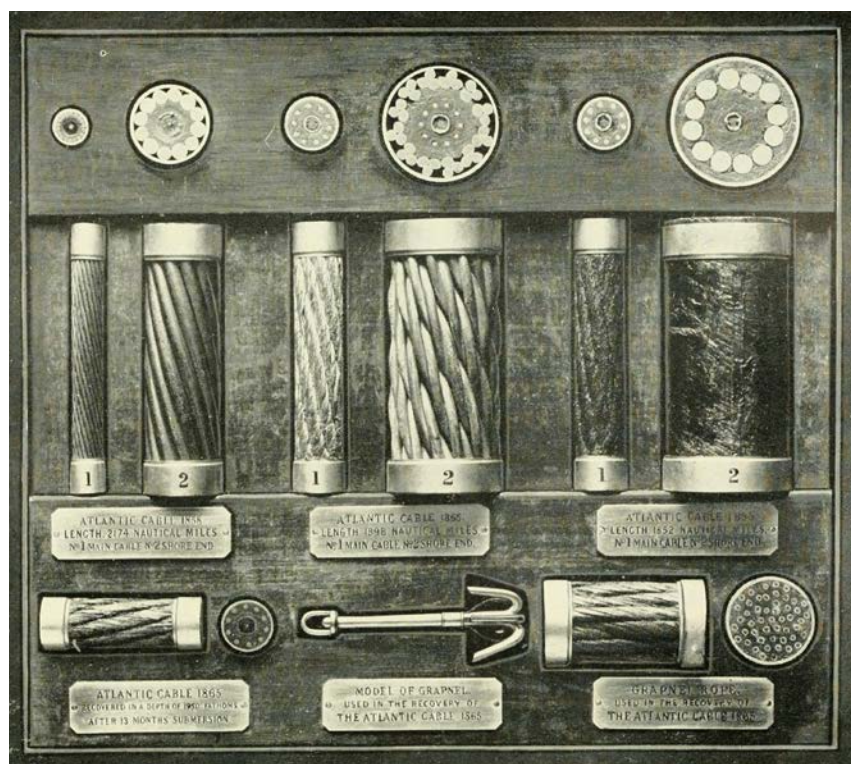
Les trois jours suivants, des centaines de kilomètres de câble sont posés sans problème jusqu'au kilomètre 1800, où se produit une rupture due à une portion de câble défectueuse. Le capitaine du navire essaie de retrouver l'extrémité du câble avec une corde et un grappin, en se servant de la tension de la corde pour « sentir » le câble au fond de l'océan. Après quatre tentatives de plusieurs jours chacune, le *Great Eastern* est contraint de s'arrêter. Les réserves, la nourriture et le moral à bord ont atteint un niveau dangereusement bas. On laisse une bouée pour marquer la position de l'extrémité du câble.

Le succès, enfin !

Le câble destiné à la cinquième tentative est vite fabriqué et un nouveau système de dragage du câble est installé. Le navire appareille le vendredi 13 juillet 1866, sans que personne ne prête attention au présage lié à une telle date. Quasiment sans difficulté, le *Great Eastern* atteint Terre-Neuve et y mouille dans le port le plus profond capable de l'accueillir, un petit village de pêcheurs de 400 habitants nommé Heart's Content. On tire le câble à terre pour le contrôler : tout va bien. Les réjouissances commencent, mais Field est préoccupé. Il veut récupérer le câble perdu lors de l'essai précédent.

En trois jours, le *Great Eastern* est de retour sur le lieu de la rupture. Après trente essais pour le repêcher, on récupère le câble et on le connecte à un autre. Le *Great Eastern* revient avec un deuxième câble opérationnel. Field a enfin réussi. Neuf ans après la première tentative, il a solidement relié les deux rives de l'Atlantique.

Comme tout innovateur, Field n' imagine pas l'impact qu'aura sa réalisation, mais il espère qu'elle servira à empêcher l'incompréhension entre nations et à « désamorcer tous les préjugés. » De fait, un message transatlantique aurait sûrement changé la donne dans certaines situations. Prenons par exemple la guerre de 1812. La France, l'Angleterre et les États-Unis se



CETTE BOÎTE D'ÉCHANTILLONS montre les différentes configurations de fils et d'enrobages utilisées dans les premiers câbles transatlantiques.

taillement. Mais ce bateau s'est heurté à la dureté des temps et a été mis aux enchères pour une fraction de son coût. Field pense que le *Great Eastern* peut réduire le risque d'échec ; il en fait donc le nouveau moyen d'acheminement du câble de cuivre.

La quatrième tentative a lieu en 1865. Le *Great Eastern* embarque la totalité du câble et part de Valentia, en Irlande, pour Terre-Neuve. Mais au kilomètre 120, les ennuis commencent. Le signal faiblit et il faut relever le câble. L'énorme bateau met près de deux jours à revenir en arrière et à

sont combattus en 1814 lors de la bataille de la Nouvelle-Orléans, qui fut un carnage. L'Amérique triompha, sous la conduite du général Andrew Jackson, qui s'empresse de se porter candidat à la présidence. Or un traité de paix avait été conclu avant le début de la bataille, mais la nouvelle arriva trop tard d'Europe. Le câble aurait sauvé des vies, et les billets de vingt dollars auraient peut-être affiché un autre portrait.

En tout cas, le câble de cuivre illustre comment la technologie fait évoluer la vie des gens. Avant le câble, Heart's Content, à Terre-Neuve, était un petit hameau de pêcheurs. Le câble installé, une nouvelle classe sociale aisée, composée des employés de la station télégraphique, a envahi le village; elle y a importé de coûteux aménagements et en a chassé les habitants, ce qui a créé des conflits. Remplacez «station télégraphique» par «sociétés de l'Internet» et «Heart's Content» par «baie de San Francisco»: la similitude avec des mutations actuelles est frappante.

Field espérait que le câble améliorerait la communication, développerait les affaires et éviterait les conflits. Les

historiens assurent qu'en plus de tout cela, le câble a contracté le temps et l'espace, libéré l'information des contraintes géographiques, stimulé la mondialisation, favorisé l'essor du journalisme et renforcé l'impérialisme. Mais son rôle ne s'arrête pas là. Le câble et le télégraphe ont amené de surprenantes modifications, en particulier dans le langage. En 1866, envoyer un message de dix mots coûtait environ 100 dollars, soit environ 1 300 dollars actuels. Ce coût a forcé la presse à rédiger les nouvelles dans un style concis et neutre. Ernest Hemingway attribuait son style, épuré et incisif, au fait que, durant sa jeunesse, en 1917, il avait travaillé dans une rédaction.

Le câble télégraphique a amorcé une évolution du langage qui se poursuit encore avec la contrainte des 140 caractères des messages sur Twitter, les émoticônes et le foisonnement d'abréviations qui accompagnent le développement des réseaux sociaux. Quelle sera la prochaine étape? On l'ignore. Mais une chose est sûre: l'humanité crée la technologie qui, à son tour, recrée l'humanité. ■

■ SUR LE WEB

Le site de l'Association des amis des câbles sous-marins rassemble de nombreux documents historiques sur l'histoire des câbles sous-marins : www.cablesm.fr/
Il s'agit d'une des 49 associations de la fédération culturelle de la Poste et de France Telecom (fnarh.com), dont le prochain colloque aura lieu du 17 au 19 mai 2017 à Métabief, dans le Haut-Doubs.

Une mine d'informations (en anglais) sur l'histoire du câble transatlantique : <http://atlantic-cable.com>



LES {Partagez les savoirs} RENDEZ-VOUS DU MUSÉUM

Entrée gratuite

Au Jardin des Plantes

Détails sur mnhn.fr, rubrique : "les rendez-vous du Muséum"

POUR LA SCIENCE

UNE EXPO, DES DÉBATS

Lundi 6 mars – 18h :
Ours : leur conservation en questions
Avec O. Guder, administrateur de l'association Féru, animateur région Île-de-France, P. Haffner, chef du pôle espèces, SPN, MNHN, M. Jung, présidente de l'association Animals Asia, R. Marion, photographe naturaliste.

CYCLE DE CONFÉRENCES

Quand tourisme responsable rime avec biodiversité
Lundi 13 mars – 18h : Le Conservatoire du littoral : plus de 40 ans d'actions au service des territoires
Avec O. Gauthier, directrice du Conservatoire du littoral et des rivages lacustres.
Lundi 20 mars – 18h : Les parcs nationaux de France : entre préservation du patrimoine et accueil du public
Avec G. Landrieu, adjoint au directeur de Parcs nationaux de France et L. Chabanis, chargée de mission "Tourisme et accès à la nature" à Parcs nationaux de France.
Lundi 27 mars – 18h : La Baie de Somme - Grand Site de France : la Nature en Capital !
Avec S. Desanlis, directeur de l'Environnement du Syndicat Mixte Baie de Somme - Grand Littoral Picard.

TABLE-RONDE

Soirée Prédateurs
Samedi 25 mars – 17h :
Ours, lynx, loup..., quelle cohabitation possible avec l'homme ?
Suivie de visites guidées thématiques.
Avec P. Haffner, D. Jullien-Laferrère, Y. Le Maho, P. Paillet, M. Patou-Mathis, G. Véron

FILM

Cycle Pousse-Pousse
Dimanche 26 mars – 16h : L'enfant qui voulait être un ours (78', dès 5 ans)
Par J. Astrup, France/Danemark, 2002.

Auditorium de la Grande Galerie de l'Évolution - 36 rue Geoffroy St-Hilaire, Paris 5^e

LOGIQUE & CALCUL

Le vivant, plus fort que l'électronique

Des systèmes biologiques sont capables d'enregistrer de l'information et de la manipuler, comme le font les ordinateurs. Fondées sur ce constat, de nouvelles technologies informatiques pourraient concurrencer celles d'aujourd'hui.

Jean-Paul DELAHAYE

L'ADN est comme un programme d'ordinateur, mais bien plus avancé que n'importe quel logiciel jamais créé.

Bill Gates

L'idée réductionniste que tout n'est que du calcul dans l'Univers procède de l'idée (passée de mode) que l'Univers n'est qu'une grande horloge. On aurait seulement changé le modèle de référence, qui, de mécanique, serait devenue informatique.

En passant d'un objet matériel et rigide, l'horloge, à un objet idéal plus abstrait et polyvalent, l'ordinateur, nous avons trouvé un moyen de nous représenter le monde d'une manière plus générale et efficace. La métaphore informatique de l'Univers n'est peut-être pas la dernière, mais l'ordinateur est incontestablement bien plus commode que l'horloge pour modéliser la variété et la complexité des objets et des situations du monde. De plus, s'appuyer sur les ordinateurs pour penser l'Univers, c'est considérer que les concepts physiques classiques doivent être complétés : à côté du temps, de la longueur et de la masse, il faut, pour comprendre ce qui se passe, utiliser les concepts d'information et de calcul.

Or on trouve dans les mécanismes biologiques des composants qui, bien utilisés, réalisent des calculs à la demande quand on a maîtrisé leur programmation. L'idée que la biologie, aussi éloignée qu'elle paraisse de l'informatique, est aussi une science du

calcul et de l'information devient année après année plus concrète.

La coopération entre informatique et biologie se développe selon deux axes complémentaires. D'une part, en s'inspirant du monde biologique, on a conçu de nouvelles façons de programmer nos ordinateurs. Avec ces méthodes informatiques inattendues, on résout parfois mieux qu'auparavant des problèmes d'ingénierie.

Imiter le vivant et le faire calculer

Ainsi, les techniques de réseaux de neurones artificiels ont été mises en œuvre pour faire gagner au jeu de go, contre un champion humain, un système informatique (voir Yoshua Bengio, « La révolution de l'apprentissage profond », *Pour la Science* n° 465, juillet 2016).

Il y a aussi les algorithmes génétiques, où l'on mime des mécanismes évolutifs qui sélectionnent des objets informatiques, les systèmes immunitaires artificiels, où l'on copie les principes adaptatifs de l'immunité des vertébrés, les systèmes d'intelligence distribuée, où l'on s'inspire des insectes sociaux qui, collectivement, réalisent d'étonnantes constructions telles que ruches ou termitières, les méthodes de calcul par les membranes, où l'on copie les échanges cellulaires pour imaginer des systèmes algorithmiques nouveaux.

L'autre axe pour relier biologie et informatique, qui sera le sujet de la suite de

l'article, consiste à identifier et à développer des méthodes autorisant une programmation du vivant et l'exploitation de ses capacités à mémoriser de l'information, cela en utilisant uniquement les molécules et les structures biologiques (sans électronique). Deux domaines aujourd'hui ont réussi cet exploit : le calcul et le stockage d'informations fondés sur l'ADN (*DNA computing* et *DNA data storage*) et le calcul avec des cellules (*Synthetic biological circuit* et *Bacterial computing*).

L'informaticien américain Leonard Adleman est bien connu pour sa découverte, avec Adi Shamir et Ronald Rivest, de l'algorithme de chiffrement asymétrique RSA : c'est lui le « A ». Il a été inspiré par la machine de Turing, un mécanisme de calcul imaginé en 1936 dont la mémoire est constituée par un ruban potentiellement infini qu'un automate parcourt, lit et sur lequel il écrit. Or l'ADN polymérase est une molécule qui s'accroche à un brin d'ADN, puis se déplace dessus en « lisant » chaque base rencontrée et en « écrivant » son complément, ce qui fabrique un nouveau brin d'ADN. Leonard Adleman y reconnut un mécanisme proche de celui des machines de Turing, qui peuvent calculer toute fonction mathématique calculable par algorithme. L'analogie l'incita à utiliser des brins d'ADN et les mécanismes moléculaires qui les manipulent pour calculer.

Leonard Adleman comprit cela au cours d'une « nuit de Pascal ». Il raconte : « Je me dressais soudain et fis remarquer à mon