

Athena

Le mag' **scientifique**

305

Novembre
2014

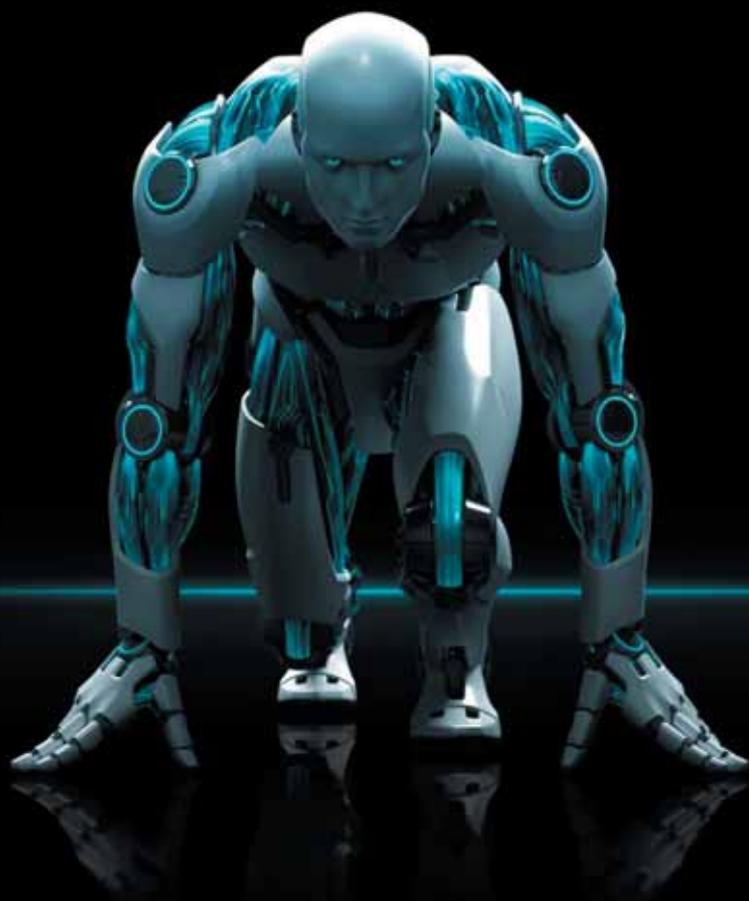
www.athena.wallonie.be · Mensuel ne paraissant pas en juillet et août · Bureau de dépôt Charleroi X · N° d'agrément: P002218

Technologie

Dessine-moi **un humain**

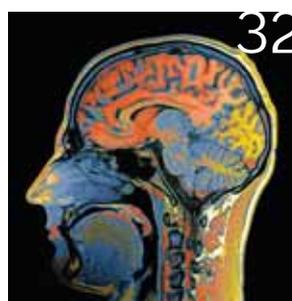
Psychologie

Qui a peur **du vendredi 13 ?**



Sommaire

- 4 **Actualités**
Le monde de la recherche, des nouvelles technologies et des entreprises à la loupe
- 10 **Focus**
sur Quality Partner
- 12 **Technologie**
Dessine-moi un humain
- 16 **L'ADN de ...**
Fanny CHAUSSON · 1^e Assistante caméra
- 18 **Dossier**
Science & société: Le temps des migrations environnementales
- 23 **Barje**
On est tous Barje, même Athena !
- 24 **Psychologie**
Qui a peur du vendredi 13 ?
- 28 **Internet**
Sécurité sur le net, comment faire ses achats en ligne ? (3^e partie)
- 32 **Série**
Du miroir laryngien à la vidéocapsule: le diagnostic médical
- 36 **Chimie**
Découvrez ce que les molécules racontent
- 38 **Biologie**
Plongez au cœur des cellules et de la vie
- 42 **Physique**
Tout est relatif mais tout s'explique !
- 44 **Astronomie**
Petite balade tête dans les étoiles
- 46 **Espace**
Pour savoir tout ce qui passe en l'air et sur Terre !
- 50 **Agenda**
À voir, à tester, à cliquer, à lire...



Éditeur responsable
Michel CHARLIER,
Inspecteur général
Ligne directe: 081 33 45 01
michel.charlier@spw.wallonie.be

Rédactrice en chef
Géraldine TRAN
Ligne directe: 081 33 44 76
geraldine.tran@spw.wallonie.be

Graphiste
Nathalie BODART
Ligne directe: 081 33 44 91
nathalie.bodart@spw.wallonie.be

Impression
Imprimerie Bietlot
Rue du Rond-Point, 185 à 6060 Gilly

ISSN 0772 - 4683

Collaborateurs
José Bontemps, Jean-Michel Debry,
Christiane De Craecker-Dussart,
Paul Devuyt, Henri Dupuis,
Thibault Grandjean,
Julie Fiard, Philippe Lambert,
Yaël Nazé, Théo Pirard,
Jean-Claude Quintart, Jacqueline Remits

Dessinateurs
Olivier Saive, SKAD, Vince

Relecture
Élise Muñoz-Torres
Ludivine Verduyck

Application mobile
PAF !

Toute reproduction totale ou partielle nécessite l'autorisation préalable de l'éditeur responsable.



Scannez le QR Code ci-contre grâce à une application de lecture QR Code et vous accéderez directement à l'Appstore ou à Google Play pour télécharger l'application tablette d'Athena.



La limite quantique des télécommunications

Des chercheurs de l'ULB, notamment, sont parvenus à résoudre un problème de physique vieux d'un demi-siècle: établir la formule de la capacité maximale d'un canal de télécommunications optiques. Leurs résultats ont été publiés dans Nature Photonics (1)

Texte: Henri DUPUIS • dupuis.h@belgacom.net
Photos: ULB (p.43)

«**L**a question de savoir quel est le débit maximum possible dans un canal de communication est un problème vieux comme le monde», s'enthousiasme le professeur Nicolas Cerf (Centre for Quantum Information and Communication, École polytechnique de Bruxelles, ULB). Vieille question en effet, mais il faut tout de même attendre l'après-guerre pour qu'une réponse y soit apportée. Ingénieur américain, chercheur aux laboratoires de la compagnie Bell Telephone, Claude Shannon est le premier à avoir démontré qu'il est possible de transmettre de l'information dans un canal

quel qu'il soit - même un canal dans lequel il y a du bruit - et de la transmettre sans aucune erreur grâce à ce qu'on appelle des codes correcteurs d'erreurs. Il a aussi démontré qu'un canal de communication standard (le canal gaussien pour les spécialistes) a un taux maximum théorique de transmission qu'on appelle sa capacité. D'où sa formule mathématique, établie en 1948, toujours très utilisée aujourd'hui: $C = W \log_2(1+S/N)$ où W est la largeur de bande du canal et S/N le rapport de la puissance du signal sur la puissance du bruit. Une capacité qui s'exprime en bits/sec.

«Cette formule, explique Nicolas Cerf, permet par exemple d'estimer dans quelle mesure un code correcteur d'erreurs est performant en le comparant à la limite ultime donnée par la formule de Shannon».

Une utilisation bien pratique car ce type de codes est utilisé partout là où il y a du «bruit», par exemple sur les CD et les DVD où ils neutralisent les poussières et les griffes, mais aussi dans les téléphones portables où ils permettent de compenser les signaux parasites. Ces codes sont encore indispensables dans le secteur spatial: comme la puissance embarquée d'un satellite est faible (elle provient de quelques panneaux photovoltaïques), il faut en effet utiliser des codes correcteurs d'erreurs très puissants pour compenser l'atténuation gigantesque du signal due à la distance !

FIBRES OPTIQUES

La formule de Shannon n'est cependant valable que dans le cadre de la physique classique. Elle s'applique aux communications électriques ou électromagnétiques telles, notamment, des ondes

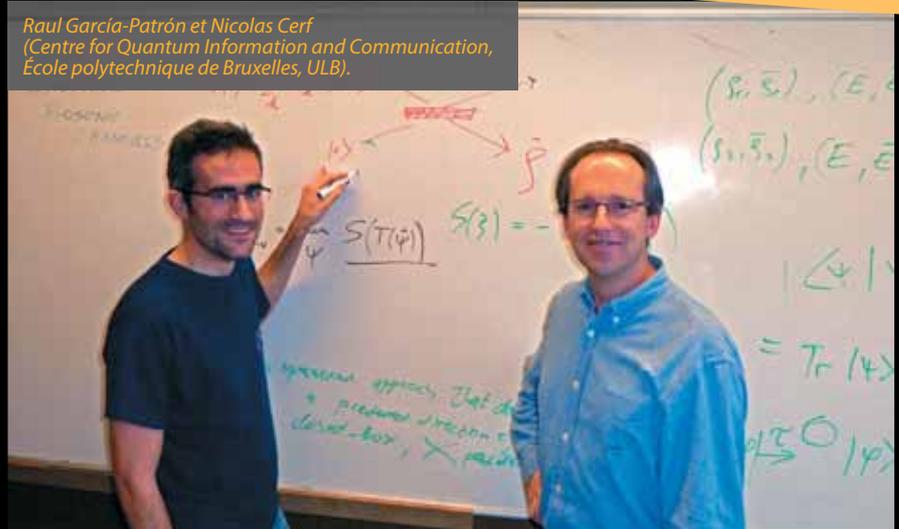
Couverture de la publication de Bell Telephone dans laquelle Shannon exposa pour la première fois sa théorie mathématique de la communication (1948).

radio ou des impulsions électriques dans des fils, mais elle ignore complètement les porteurs microscopiques de l'information (par exemple, les électrons individuels qui forment le courant électrique). Or, depuis l'invention du laser et des fibres optiques, nous communiquons de plus en plus souvent via des impulsions lumineuses: tout le squelette d'Internet repose aujourd'hui sur des communications par fibres. «*La question de la capacité de transmission serait donc aussi posée naturellement pour les communications optiques, rappelle Raul García-Patrón, co-auteur de l'article et lui aussi chercheur au Centre for Quantum Information and Communication de l'ULB. On a vite compris que puisqu'il s'agit de lumière, laquelle est constituée de photons, la limite du taux de transmission serait dictée en définitive par la physique quantique.*» Un des tous premiers articles sur cette question est publié par James Gordon en 1962, mais les recherches sur la capacité des canaux bosoniques gaussiens ont pris de l'ampleur surtout dans les années 1990, quand les sciences de l'information quantique se sont développées. Le terme «bosonique» se réfère simplement au fait que les porteurs individuels d'information sont ici des bosons, en l'occurrence des photons (ce qui veut dire que la formule établie par les chercheurs de l'ULB est valable pour tous les bosons même si nous n'utilisons pas les gluons ou le Z^0 pour communiquer !). Quant au qualificatif «gaussien», déjà employé dans le cadre de la formule de Shannon, il rappelle que la résultante de tous les bruits pouvant affecter un canal tend vers une courbe de Gauss.

Pour tenter de résoudre le problème, les physiciens sont partis de la théorie classique en imaginant une fibre idéale, dans laquelle aucun bruit ne perturbe le signal. Résultat ? Selon la formule de Shannon, la capacité d'un tel canal serait infinie même si la source est de puissance finie. Un résultat sans doute correct du point de vue mathématique, mais impossible du point de vue physique... Il y a donc bien «quelque chose», un bruit non classique, qui interdit d'avoir cette capacité infinie. Le «coupable» a été assez vite cerné: il s'agit du «bruit de grenaille» dû aux grains de lumière, les photons.

Dans le monde à notre échelle, celui de la physique classique, il n'a aucune influence: si on produit un faisceau lumineux avec une lampe de poche, le

Raul García-Patrón et Nicolas Cerf
(Centre for Quantum Information and Communication,
École polytechnique de Bruxelles, ULB).



nombre de photons émis par seconde est tellement faramineux (environ 10^{20}) qu'il est tout à fait superflu de prendre chaque photon en compte individuellement ! C'est *a fortiori* aussi la raison pour laquelle on peut aisément négliger l'aspect corpusculaire des impulsions électriques ou des ondes radio, ce qui justifie le succès de la formule de Shannon. Mais fondamentalement, le caractère corpusculaire de la lumière prend son importance lorsque chaque impulsion lumineuse est extrêmement courte et de très faible intensité. On observe alors ce bruit, intrinsèquement quantique et responsable d'une limitation ultime de la capacité.

CONJECTURE

ENFIN PROUVÉE

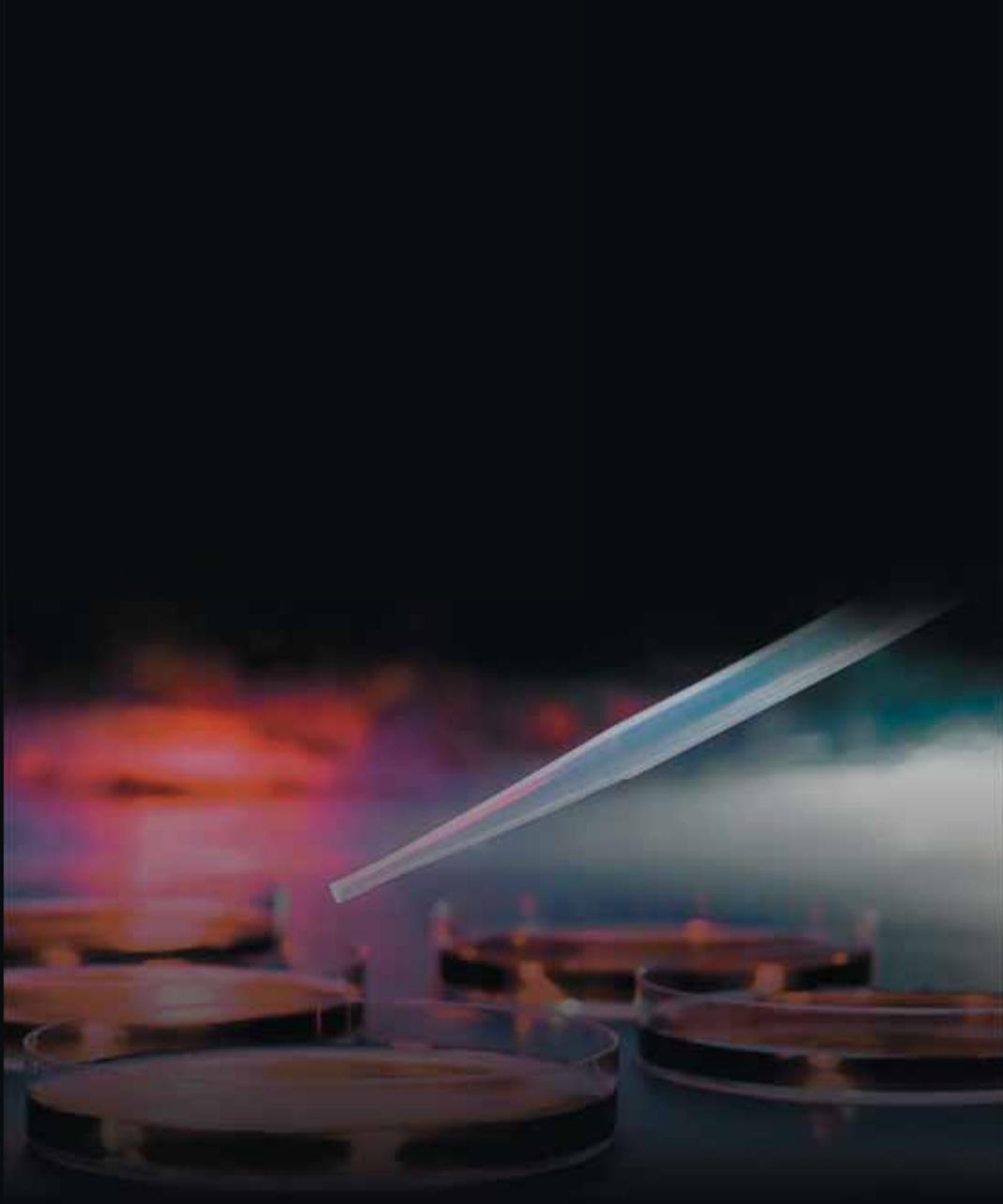
Au début des années 2000, le problème mathématique était donc bien posé. «*Alexander Holevo, précise Nicolas Cerf, un chercheur russe co-auteur de notre article, a alors développé des outils mathématiques adéquats et publié un article qui résolvait en partie la question. En partie seulement car sa démonstration reposait sur une conjecture mathématique non résolue ! Bien des physiciens, y compris nous-mêmes ici à l'ULB, ont alors essayé de résoudre cette conjecture.*» Où était le problème ? En physique classique, il avait été possible de se limiter à un cadre entièrement gaussien: les signaux à l'entrée sont gaussiens, le bruit aussi et le signal de sortie l'est donc également. Dans le cadre quantique, on a donc supposé qu'on pouvait agir également de la sorte, mais sans en avoir la preuve. Dire «calculer la capacité» est facile mais en pratique, cela

revient à considérer tous les systèmes d'encodage-décodage imaginables, ce qui est beaucoup trop vaste.

Pendant longtemps, les chercheurs n'ont pas eu d'arguments permettant de se limiter à des encodages et décodages gaussiens, même si cela avait été conjecturé. Cela a pu finalement être démontré par nos chercheurs en ramenant le problème à son niveau le plus fondamental: quel est l'état quantique qu'on doit injecter dans un canal pour avoir l'entropie - le désordre - minimale à sa sortie ? Les chercheurs ont démontré qu'il s'agissait d'un état cohérent, l'état du vide quantique. Or le vide est un état gaussien. Tout devient donc gaussien comme dans la théorie de Shannon. «*C'est assez intuitif comme solution, explique Raul García-Patrón, puisque cela revient à dire que le mieux à faire pour réduire le bruit à la sortie de la fibre optique, c'est ne rien envoyer !*» Encore fallait-il le démontrer !

Une belle réussite théorique qui ne restera sans doute pas sans retombées pratiques. La cryptographie quantique nécessite en effet d'avoir un canal quantique pour assurer l'inviolabilité de messages cryptés. Analyser ces canaux et déterminer leur capacité est donc un outil de base pour faire de la cryptographie, ce dont les expérimentateurs devraient s'emparer. ■

- (1) V. Giovannetti, R. García-Patrón, N. J. Cerf, A. S. Holevo. Ultimate classical communication rates of quantum optical channels. *Nature Photonics* 8, 796 (2014). DOI: 10.1038/nphoton.2014.216



Visitez nos sites :

<http://athena.wallonie.be>
<http://recherche-technologie.wallonie.be>
<http://difst.wallonie.be>

Rejoignez-nous sur :

 [Facebook.com/magazine.athena](https://www.facebook.com/magazine.athena)