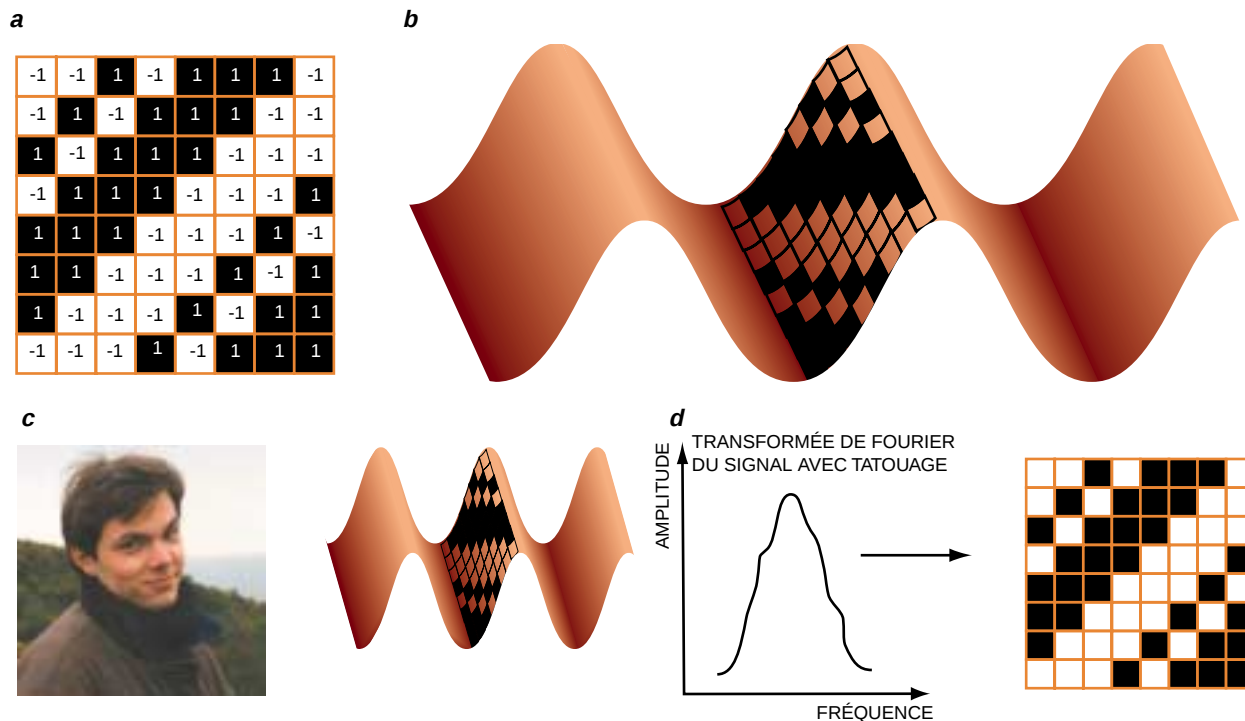


5. LE TATOUAGE PAR ÉTALEMENT DE SPECTRE



a) Le signal à cacher est une grille-image constituée de carrés de pixels "noirs" ou "blancs", dont l'ordre est celui d'une m-séquence. b) On superpose à cette image le tatouage placé sur un "tôle ondulée" de fréquence et de direction données par une clef secrète. c) Ce tatouage est surimposé à l'image : en fait les pixels "noirs" (resp. "blancs") correspondent à une augmentation (resp. diminution) de la luminance de l'image. Lors de cette étape, la grille est modifiée afin de préserver l'invisibilité du tatouage, surtout dans les parties homogènes de

l'image. d) Pour vérifier la présence du tatouage, on extrait de la transformée de Fourier de l'image tatouée le signal caché, localisé autour de la fréquence et de la direction données par la clef secrète. On prend la transformée de Fourier inverse et l'on réobtient la grille de départ, ou plutôt une version altérée de celle-ci. Malgré la modification des pixels de cette dernière, on peut estimer grâce à une mesure de corrélation, si elle a bien été obtenue à partir d'une M-séquence, et donc si l'image a bien été tatouée avec la clef en question.

en 1996 un algorithme de tatouage incrustant un filigrane robuste. Utilisant une modélisation du système de vision humaine, les chercheurs déterminent l'invisibilité du filigrane et analysent à l'aide de filtres perceptifs, à quels endroits le filigrane peut être plus important (en général dans les zones de fortes variations de luminance). On obtient ainsi un tatouage qui résiste très bien à la suppression de quelques lignes sur le bord de l'image, à la compression JPEG, à l'addition de bruit blanc, à l'application d'un filtre passe-bas, ainsi qu'à une impression/renumérisation par scanner. Mais les changements d'échelle, symétries, rotations, découpages peuvent toutefois détruire le tatouage.

En 1997, J. J. K. O'Ruanidh et T. Pun, de l'Université de Genève, ont proposé une technique combinant l'étalement de spectre avec des considérations d'invariance par rotations, changements d'échelle et translations. Leur tatouage résiste ainsi à ces manipulations, à la compression JPEG ainsi qu'à l'extraction d'une grosse portion de l'image. Citons

aussi d'autres familles d'algorithmes de tatouage qui reposent sur des schémas de compression utilisant diverses techniques comme la transformation par ondelettes ou les techniques fractales. Les filigranes ainsi produits n'offrent pas de résistance particulière, excepté face aux techniques de compressions sur lesquelles ils reposent.

On sait donc camoufler des filigranes invisibles et assez robustes dans les images fixes. Néanmoins de nombreux problèmes restent posés : des découpages en petits morceaux de l'image, l'ex-

traction d'un détail de l'image (qui peut donner lieu à un montage), la suppression de lignes ou de colonnes au «milieu» de l'image détruisent les filigranes actuels. Dans l'ensemble les résultats restent expérimentaux et l'on ne dispose pour l'instant que d'un embryon de formalisation théorique du tatouage : quelle quantité d'information peut-on réellement cacher dans une image, pour un algorithme de tatouage donné ? Comment atteindre cette limite ? Les tatoueurs cherchent maintenant à chausser les bottes de géant du mathématicien Shannon.

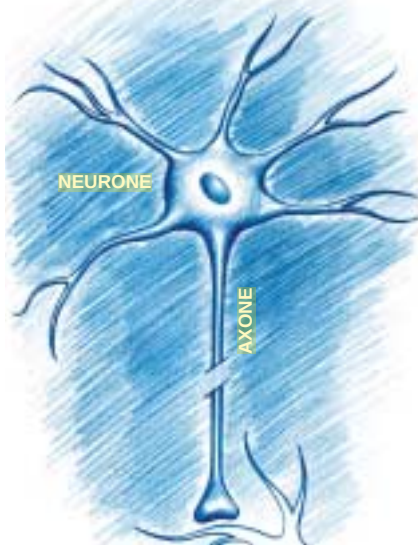
Caroline FONTAINE est maître de conférences à l'Université de Lille 1. Son site web est : <http://www.lifl.fr/~fontaine/>

<http://www.rocq.inria.fr/codes/Watermarking/> (en français : définitions et présentation du tatouage).

<http://www.ima.enst.fr/~maitre/enst-ens.html> (en français : liste de points sur le tatouage).

<http://www.cl.cam.ac.uk/~fapp2/steganography/> (en anglais : ce site, traitant de la stéganographie et du tatouage, est très complet).

Identification and Protection of Multimedia Information, in *Proceedings of the IEEE*, numéro spécial, vol. 87, n° 7, juillet 1999. (en langue anglaise : un bon bilan de la recherche actuelle sur le thème du tatouage : textes, images, son).



La propagation de l'influx nerveux

ROLAND LEHOUCQ

Les vertébrés ont surtout des fibres nerveuses couvertes de myéline où la propagation de l'influx nerveux est plus rapide que sans cette substance.

Souvent, on assimile le système nerveux à un vaste réseau de fils électriques qui permettrait aux signaux électriques de se propager entre le cerveau et les organes. La réalité est bien différente. Alors que l'électricité se propage dans un fil de cuivre à une vitesse proche de celle de la lumière (300 000 kilomètres par seconde), l'impulsion nerveuse est transportée par une fibre à une vitesse au plus égale à 100 mètres par seconde. Par ailleurs, la résistance au passage du courant électrique d'une fibre nerveuse est 100 millions de fois supérieure à celle d'un fil de cuivre, et elle est bien mal isolée de son environnement : la membrane qui la renferme est un million de fois plus perméable au courant électrique que la gaine d'un bon câble électrique.

Comment l'influx nerveux se propage-t-il alors que la fibre nerveuse est un si piètre conducteur électrique ?

La propagation de l'influx nerveux le long d'une fibre nerveuse, ou axone, est entièrement déterminée par sa structure. Les axones les plus simples sont formés d'un liquide, l'axoplasme, entouré d'une membrane cylindrique épaisse d'environ sept nanomètres et constituée d'une double couche de lipides (voir la figure 1). L'axoplasme et le liquide cellulaire qui baigne l'axone contiennent un grand nombre d'espèces chimiques chargées, notamment des ions chlorure (Cl^-), calcium (Ca^{2+}) et sodium (Na^+).

D'une part, ces charges ont des si-
g n e s



Figure 1

différents et, d'autre part, leur concentration de chaque côté de la membrane diffère, de sorte que lorsqu'on mesure la différence de potentiel entre l'axoplasme et le liquide extérieur, on trouve une valeur comprise entre -40 et -100 millivolts, selon les espèces animales. La membrane est donc soumise à un champ électrique intense d'environ 10^7 volts par mètre (le quotient de la différence de potentiel et de l'épaisseur de la membrane).

Le signe de la différence de potentiel entre les deux côtés de la membrane traduit le fait qu'il y a un excès de charges négatives sur la paroi interne de la membrane. Comment en estimer la densité ? En assimilant une tranche de membrane à un condensateur : chaque côté de la membrane représente une plaque du condensateur et la membrane figure l'isolant entre les plaques.

Cependant, l'isolant du «condensateur membranaire» n'est pas parfait. Tout se passe comme si une résistance, montée en parallèle du condensateur, le vidait en une milliseconde environ. Autrement dit, si l'on assimile la mem-

brane à un condensateur chargé, la différence de potentiel ne resterait pas constante : des charges doivent se déplacer pour conserver la différence de potentiel mesurée au repos.

Par ailleurs, l'axoplasme est lui aussi conducteur électrique, mais un mauvais conducteur. Au-delà d'une longueur d'environ un millimètre, la résistance mem-

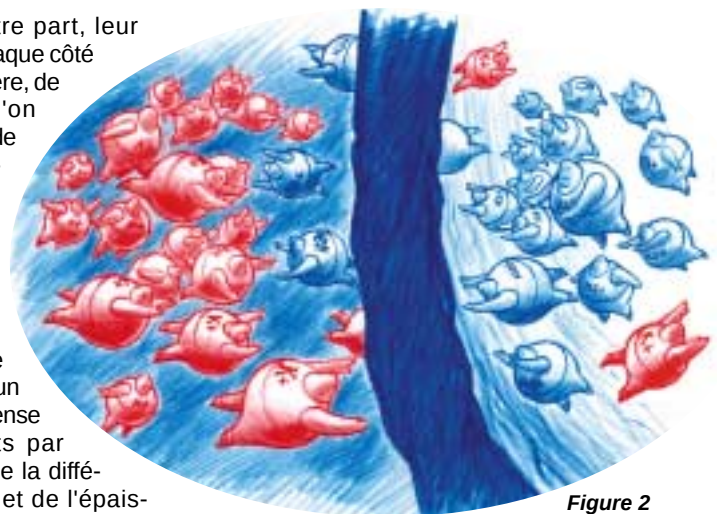


Figure 2

branaire perpendiculaire à la fibre est inférieure à la résistance de l'axoplasme : le courant s'écoule donc plus facilement dans la membrane et l'axoplasme se vide de son courant (la résistance membranaire le long de la fibre est très élevée, de sorte que le courant ne peut se propager le long de la membrane). Ainsi, il est impossible de transmettre un signal électrique par simple conduction dans l'axoplasme sur des distances supérieures à un millimètre. Là encore, c'est le transfert de charge au travers de la membrane qui va venir au secours de la piètre conduction de l'axoplasme.

TRANSFERT SALUTAIRE

Les fluides baignant la membrane transportent des ions. Dans une fibre au repos, les différences de concentration en ions sont très importantes entre l'extérieur et l'intérieur : dans l'axoplasme, les ions sodium Na^+ et chlorure Cl^- sont déficitaires, alors que les ions potassium K^+ sont en surnombre. Ces différences engendrent un flux ionique à travers la membrane, qui tendra à équilibrer les concentrations. Le flux d'ions est donc dirigé vers l'extérieur pour K^+ et vers l'intérieur pour Na^+ et Cl^- .