

considéré comme un seul pixel et est maintenant séparable en deux (et même en quatre, ce qui sera utile pour d'autres procédés de chiffrement).

Les images $M_1, M_2, \dots, M_n$ sont constituées cette fois d'une grille aléatoire de demi-pixels : selon un tirage aléatoire aussi parfait que possible, chaque pixel de M_i est rempli par un demi-pixel droit noir ou un demi-pixel gauche noir, ou l'inverse.

L'image chiffrée C est elle aussi composée de demi-pixels. Le demi-pixel en position (x, y) de C sera identique à celui du masque M_i si le pixel de l'image secrète S en position (x, y) est blanc et sera le demi-pixel complémentaire de celui de M_i sinon. Comme précédemment, les images M_i ou l'image C sont d'un gris uniforme et aucune ne contient la moindre information sur S (voir l'encadré 3).

Lorsque l'on superposera C et M_i , là où il y a un pixel noir dans S , on aura un pixel noir, et là où il y a un pixel blanc, on aura un demi-pixel noir et un demi-pixel blanc (puisque ceux de C et de M_i auront été choisis identiques).

Cette fois, l'observation de la superposition opérée par l'œil redonne tous les pixels de S . La présence de demi-pixels là où il y avait des blancs a pour effet de changer le contraste (le blanc est devenu gris), mais aucune information n'est perdue dans l'image M_i OU C qui, cette fois, reconstitue parfaitement l'image secrète S , au contraste près (voir l'encadré 3).

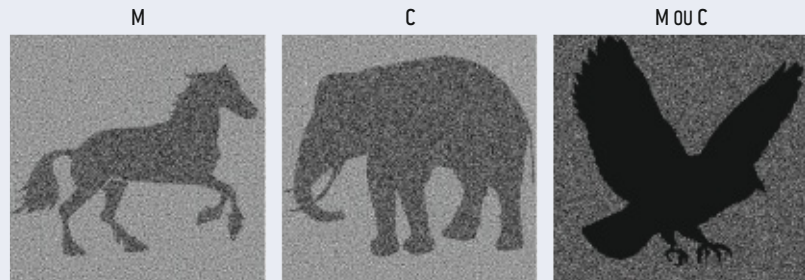
Perfectionnements... et une énigme

L'idée de découper un pixel en sous-pixels permet d'autres miracles, dont voici deux exemples.

Éclatement d'une image en m morceaux

Pour tous entiers positifs k et m donnés, on peut définir un système de construction de transparents tel que l'image secrète S donnera m images chiffrées $C_1, C_2, \dots, C_m$ différentes et telles que la connaissance de moins de k d'entre elles ne permet pas de connaître quoi que ce soit de l'image secrète S , alors que la

5. Masques imagés

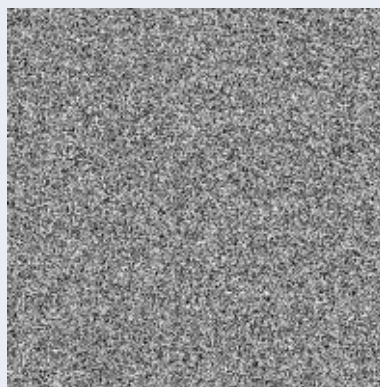


Les méthodes décrites dans les encadrés 1, 2, 3 et 4 risquent d'attirer les soupçons si vous les utilisez, car on se doutera que les images grises « d'allure aléatoire » portent une information cachée. C'est pourquoi un perfectionnement a été proposé : le masque M aussi bien que l'image chiffrée C ne sont plus gris, mais représentent des images ayant un intérêt en soi. La superposition des deux fait disparaître les deux images initiales et fait apparaître l'image secrète.

Nous n'indiquons pas le détail du procédé qu'un peu de réflexion vous fera imaginer.

On remarquera que dans les deux images M et C , le dessin est obtenu avec deux types de gris : un gris 50 % (moitié pixels blancs, moitié pixels noirs) et un gris 75 % (1/4 de pixels blancs, 3/4 de pixels noirs), alors que dans l'image reconstituée de S , il y a deux types de gris : un gris 75 % et un gris composé de 100 % de pixels noirs, qui permet de voir très clairement l'image secrète.

6. Énigme



Cette image contient un message caché (le prénom d'un mathématicien) par un procédé proche de ceux évoqués dans l'article. Le découvrir ne demande aucun programme particulier, juste un peu d'astuce. Comme pour les autres images de cet article, vous trouverez une version numérique de cette image en : <http://www2.lifl.fr/~delahaye/PLS416>.

La première personne à me communiquer la bonne réponse par courriel à l'adresse delahaye@lifl.fr gagnera un abonnement d'un an à *Pour la Science*.

connaissance de k images parmi $C_1, C_2, \dots, C_m$, quelles qu'elles soient, permet de reconstituer l'image S .

Autrement dit, une fois les informations de Séclatées en $C_1, C_2, \dots, C_m$ et distribuées à m personnes différentes, si k d'entre elles se mettent d'accord, elles peuvent retrouver S , mais si elles sont moins de k , elles n'en tireront strictement rien.

Une méthode d'éclatement d'une image secrète en trois transparents C_1, C_2, C_3 tels que deux parmi les trois transparents ne donnent absolument rien de S , mais telle que la superposition des trois redonne S est décrite dans l'encadré 4 et présentée avec un exemple.

Le secret insoupçonnable

La méthode produit deux images, chacune d'apparence innocente U et V (par exemple un cheval et un éléphant). Cependant, la superposition de U et de V fait disparaître ce qu'il y avait sur U et V et fait apparaître une troisième image, celle secrète qu'on avait cachée (voir l'encadré 5).

Pour terminer, nous vous invitons à consulter l'encadré 6 ci-contre, qui propose une petite énigme cryptographique. ■

ART & SCIENCE

Le cheval impossible

Dans un portrait équestre de Marie-Antoinette, le cheval de la reine est dans une posture invraisemblable qui ne correspond pas à la réalité. En outre, certains traits anatomiques ont été délibérément exagérés.

Loïc MANGIN

Des peintures rupestres de la grotte de Lascaux jusqu'à de nombreux tableaux de Vasily Kandinsky, le cheval est un sujet de prédilection pour les peintres. Ainsi, même en se restreignant à la période dite classique, de la fin du XVI^e au début du XIX^e siècle, le nombre de portraits équestres est saisissant. Citons-en quelques-uns parmi les plus célèbres : *Saint Georges terrassant le dragon* (Raphaël, 1504) ; le *Portrait équestre du Comte-Duc d'Olivares* (Diego Velasquez, 1634) ; *Bonaparte franchissant le Grand-Saint-Bernard* (Jacques-Louis David, 1800) ; *Officier de chasseurs à cheval de la garde impériale chargeant* (Théodore Géricault, 1812)...

Sur la plupart de ces tableaux, et c'est particulièrement vrai de ceux peints aux XVII^e et XVIII^e siècles, toutes les représentations des chevaux sont fausses ! Pour l'expliquer, intéressons-nous au *Portrait équestre de la reine Marie-Antoinette*, peint par Louis-Auguste Brun en 1783 et conservé au château de Versailles (voir page ci-contre). Dans *Beautés intérieures*, publié à l'occasion de l'exposition *Beauté animale*, au Grand Palais, à Paris, l'œuvre est présentée par Christophe Degueurce, professeur d'anatomie à l'École vétérinaire d'Alfort.

La monture de la reine est montrée dans une sorte de cabré, où les membres sont symétriquement disposés, les deux postérieurs au sol et les deux antérieurs dans les airs. Le cheval s'élance au galop. Or cette allure est en réalité complètement asymétrique. À la fin du XIX^e siècle, les premières

photographies et expérimentations cinématographiques, notamment celles de Eadweard Muybridge (1830-1904), ont décrypté les enchaînements, trop rapides pour notre rétine, du galop. Il se décompose de la façon suivante : pose au sol d'un postérieur ; pose de l'autre postérieur et de l'antérieur diagonalement opposé ; pose de l'autre antérieur ; phase de suspension où aucun membre ne touche le sol. Dans cette dernière étape, les quatre membres sont rassemblés sous le corps et non pas en

Les oreilles des chevaux étaient taillées de façon à augmenter le côté racé de l'animal.

extension, une posture erronée que l'on retrouve dans certains tableaux, tel le *Derby de 1821*, à *Epsom*, de Géricault, où les chevaux volent « ventre à terre. »

La position du cheval de Marie-Antoinette, cabré avec projection en avant des membres antérieurs, est typique des tableaux des XVII^e et XVIII^e siècles. L'autre attitude souvent représentée est un trot très relevé, où les membres montent plus haut que naturellement.

Une autre transgression du peintre à la réalité concerne la conformation et les proportions du cheval : la tête et en particulier les oreilles sont très petites, les sabots sont un peu trop volumineux, l'œil est dilaté et,

enfin, les muscles sont particulièrement développés et saillants. Ces éléments sont un choix délibéré de l'artiste qui « transforme » l'animal pour souligner les caractères de beauté en vigueur à l'époque. Le cheval représenté est une construction, l'abstraction d'un idéal.

Aux XVII^e et XVIII^e siècles, les chevaux sont organisés selon une hiérarchie sociale. L'aristocratie plébiscite des animaux importés d'Afrique du Nord ou de Turquie, tel le cheval barbe, ainsi que ceux d'Espagne, notamment le genêt, à petite tête, aux muscles saillants et au crin long et ondulé. C'est le type du cheval de Marie-Antoinette.

Les petites oreilles étaient signe de qualité, et celles des chevaux issus des campagnes françaises (Limousin, Normandie...) étaient souvent taillées afin de conférer aux animaux un air plus vif. Peintres et sculpteurs accentuaient cette petitesse et, pour la même raison – donner du caractère à la représentation –, soulignaient les veines autour du nez, de l'œil et au niveau de l'éperon.

Dernière observation étonnante, Marie-Antoinette, en costume de chasse, est figurée dans une attitude résolument moderne. Sur le cheval harnaché aux couleurs des gardes-nobles hongrois à la cour d'Autriche (son pays d'origine), elle ne monte pas en amazone, mais à la façon d'un homme.

Ch. Degueurce et H. Delalex, *Beautés intérieures. L'animal à corps ouvert*, RMN, 2012. Exposition *Beauté animale*, aux Galeries nationales du Grand Palais, du 21 mars au 16 juillet 2012.