

La diversité des éléments augmentant avec le nombre de fonctionnalités, le coût du recyclage devient vite trop élevé par rapport au bénéfice que l'on en retire.

En conséquence, bien que leur exportation soit proscrite par la Convention de Bâle sur les mouvements transfrontaliers des déchets dangereux (1994), de plus en plus de DEEE sont expédiés vers les pays d'Asie et d'Afrique. Là, dans des « filières informelles », des ouvriers les brûlent, les traitent

EXIGER DES APPAREILS solides, durables et recyclables.

à l'acide, etc. Mais ils ne récupèrent qu'une petite quantité de métaux, tout en polluant l'environnement et en s'exposant aux substances toxiques.

Simultanément, les ressources indispensables à la fabrication des produits de haute technologie, telles les terres rares, sont devenues un enjeu géopolitique planétaire, source de conflits. C'est le cas en République démocratique du Congo, avec l'exploitation du coltan, minerai dont on extrait le tantale, utilisé pour les téléphones portables.

On ne pourra résoudre ces problèmes qu'en recyclant plus efficacement et proprement les composants électroniques, et en concevant autrement les appareils. Il faut à la fois mieux organiser le recyclage et mieux réglementer pour inciter producteurs et consommateurs à favoriser les appareils peu polluants et recyclables.

Une première mesure, peu coûteuse et applicable partout, consisterait à démonter et réparer systématiquement les pièces constitutives des appareils, comme cela se fait déjà dans certains pays, tel le Pérou (87 pour cent des vieux ordinateurs importés y sont réparés). À l'autre bout de la chaîne, des usines dotées des dernières technologies récupéreraient les métaux et élimineraient les substances dangereuses des composants non réutilisés. Aujourd'hui, on sait, quand on s'en donne les moyens, recycler plus de 60 pour cent du poids des DEEE. Il serait possible, en consentant les investissements nécessaires, de généraliser cette performance et même de l'accroître. La révision en cours de la directive DEEE semble aller

globalement dans ce sens, l'objectif étant de collecter 70 à 85 pour cent des DEEE et d'en recycler 50 à 75 pour cent d'ici 2016.

Un deuxième type de solution consiste à augmenter la part des appareils « écoconçus ». En France, d'après la loi issue du *Grenelle de l'environnement*, l'écocontribution diminuera pour les appareils bien conçus et moins polluants, et augmentera pour les autres. Elle doublera ainsi (passant de un à deux centimes) pour un téléphone portable sans chargeur universel. Toutefois, la différence de prix final sera invisible, et cette mesure risque donc d'être inefficace. Il faudrait que l'étiquette mentionne l'effort consenti par le constructeur pour orienter le choix des consommateurs.

À l'échelle européenne, il existe bien une loi censée favoriser l'écoconception des produits électriques et électroniques : la directive Écoconception pour les produits consommateurs d'énergie (EuP, 2005). Mais ses exigences sont tellement limitées – une faible consommation énergétique, essentiellement – qu'elle incite peu à créer des produits durables.

Une solution plus directe dépend des consommateurs professionnels, tels les entreprises et les organismes publics. Chacun d'eux peut exiger de ses fournisseurs des produits « écolabellisés » (par exemple, par le label EPEAT, Outil d'évaluation environnementale des produits électroniques), solides, durables et recyclables, vendus avec des garanties pluriannuelles. L'achat serait plus coûteux, mais rentable à long terme.

Cette option ne serait guère souhaitée par les consommateurs de nouveautés technologiques à bas prix, à moins que les associations de consommateurs n'exercent une pression sur les fabricants en faveur de produits écoconçus, mais néanmoins accessibles. En revanche, nous pouvons tous, d'ores et déjà, éviter de renouveler trop souvent nos appareils *high tech* : n'est-ce pas la façon la plus simple de diminuer les déchets électroniques ? ■

Françoise BERTHOUD, ingénieure de recherche en informatique au CNRS, est responsable du groupe de travail Ecolnfo, à Grenoble.

<http://www.ecoinfo.cnrs.fr/>
<http://www.ban.org>
<http://ewasteguide.info/>



Institut de recherche pour le développement

Un éditeur pour le développement



Sociétés, environnements, santé
N. VERHAZANICH, M.-E. GILMAN, D. BURY
364 p. 36 €



La dengue
Pour les départements français d'Amérique
Dengue in French Polynesia, Guadeloupe and French Guiana
208 p. 15 €



L'énergie dans le développement de la Nouvelle-Calédonie
Y. LE BAH, E. FAUGÈRE, P. MENANTPAUL, B. MURTON, A. BLEDACKER, S. VEUJT
472 p. 15 €



Le Rift est-africain
B. HIRSCH, B. ROUSSEL
424 p. 45 €

En vente dans toutes les librairies et par correspondance :
IRD Diffusion
32, av. Varagnat - F93143 Bondy cedex
Tél : 01 48 02 56 49 Fax : 01 48 02 79 09
diffusion@ird.fr
www.ird.fr



Empreinte en spirale

VRAI OU FAUX

Les vrais jumeaux ont-ils les mêmes empreintes ?

Non. Car les empreintes digitales ne sont pas uniquement façonnées par les gènes : l'environnement in utero intervient aussi.

Clémence CARRON

En 1892, Francis Galton, cousin de Charles Darwin, calcula la probabilité que deux personnes aient les mêmes empreintes digitales. Elle est infinitésimale : une chance sur 64 milliards. Ces empreintes, nommées dermatoglyphes, sont utilisées à des fins d'identification depuis des millénaires. Dans les royaumes babyloniens comme en Chine antique, les empreintes digitales ou palmaires servaient de signature sur les documents officiels. On savait déjà que l'identité biométrique d'une personne réside dans ces dessins si particuliers. Mais les vrais jumeaux, qui ont le même patrimoine génétique, ont-ils les mêmes empreintes ?

L'agencement des empreintes digitales soulève un paradoxe : leur forme est spécifique d'un individu, mais elles se ressemblent beaucoup dans leurs structures. En effet, on définit trois motifs partagés par 95 pour cent de la population : la boucle (60 pour cent des cas), la spirale (30 pour cent des cas) et l'arche, plus rare (5 pour cent des cas). Les cinq pour cent restants appartiennent à une catégorie plus complexe d'agencements avec de multiples boucles.

Les dermatoglyphes se dessinent très tôt au cours du développement embryonnaire. L'extrémité des doigts s'individualise dès la septième semaine de gestation. Des « coussins » digitaux deviennent proéminents vers la 10^e semaine. C'est dans ces structures en forme de coussinet que s'établissent les sillons et les arêtes des empreintes digitales, entre la 10^e et la 16^e semaines. Ces sillons résultent d'une ondulation progressive de la lame basale de l'épiderme, la structure embryonnaire de soutien du futur épiderme. Les contraintes physiques engendrées dans

cette structure par les tissus qui se développent provoquent une réorganisation des couches cellulaires internes de l'épiderme en formation qui aboutissent à un plissement du tissu en surface. À 24 semaines, la géométrie des empreintes est fixée définitivement pour toute la vie de l'individu, et les seules déformations qui se produisent ensuite viennent de la croissance des doigts.

L'expression de gènes spécifiques guide la formation globale des structures digitales et la différenciation coordonnée des types cellulaires. Si les gènes sont les architectes des dermatoglyphes, alors les vrais jumeaux, dont le patrimoine génétique est identique, devraient avoir les mêmes empreintes...

Mais ce n'est pas le cas. Bien que la comparaison des empreintes de deux vrais jumeaux révèle une grande similarité, une analyse plus poussée montre des disparités.

Des pressions externes

En fait, le facteur déterminant le modelage des empreintes est l'environnement auquel est exposé le fœtus au cours du développement des doigts. Les forces de frottement des doigts en cours de formation sur divers éléments, tels le liquide amniotique et les structures utérines, modifient le développement des empreintes. Or ces contraintes externes sont différentes d'un fœtus à l'autre.

De même, la formation osseuse sous-jacente (la taille et la vitesse de croissance de l'os), le suçage du pouce *in utero* et les mouvements des mains modèlent l'épiderme. L'influence environnementale sur la formation des empreintes ne se limite pas à ce qui se produit dans la cavité utérine ; l'environnement extérieur joue un rôle majeur. On a

montré que, quand la mère subit un stress environnemental, la formation des dermatoglyphes peut être altérée, via une cascade de signaux reposant sur des réactions biochimiques transmises de la mère au fœtus et qui peuvent modifier l'expression des gènes.

Par exemple, plusieurs études suggèrent que des stress chimiques (l'exposition à des agents toxiques, l'alcool), biologiques (des infections virales ou bactériennes) ou physiologiques (l'hypertension, le manque d'oxygène), mais aussi psychologiques, augmentent l'altération des dessins digitaux (interruption des crêtes, arête dédoublée).

À ce titre, les empreintes digitales peuvent être considérées comme des marques indélébiles de ce qui s'est produit au cours du développement entre la 10^e et la 24^e semaines de gestation. Cette période intéresse les spécialistes du développement cérébral, car c'est à ce moment-là que migrent les neurones qui vont former le cortex cérébral. Or, dans certaines pathologies psychiatriques telle la schizophrénie, des études ont montré qu'il existe un lien entre les anomalies des empreintes et une susceptibilité accrue vis-à-vis de la maladie. Pour de vrais jumeaux, on a montré que l'un des deux souffrant de schizophrénie présentait des empreintes digitales anormales alors que son jumeau, non malade, avait des empreintes normales. Les dermatoglyphes serviraient d'indicateurs sur l'exposition éventuelle du fœtus à un environnement délétère.



Empreinte en boucle

Clémence CARRON est maître de conférences à l'Université Pierre et Marie Curie à Paris. Elle effectue ses recherches dans le Laboratoire de biologie du développement (CNRS UMR 7622).



Pour réagir aux articles : courrier@pouirlascience.fr
ou directement sur les pages correspondantes du site www.pouirlascience.fr

✓ ROULETTE QUANTIQUE

Dans la méthode pour devenir riche exposée dans l'article *Suicide et immortalité quantiques* (*Pour la Science* n°395, septembre 2010, <http://bit.ly/pls395-immortalite>), pourquoi ne laisser en vie que le gagnant et tuer les 19 autres participants ? Si le dispositif ne les tue pas, pour chacun, il y a un des mondes où il gagne 20 fois la mise et, dans les 19 autres, il perd. N'est-ce pas préférable à gagner dans un monde, et être mort dans les 19 autres ?

Francis Jamet

→ RÉPONSE DE JEAN-PAUL DELAHAYE

Si vous n'avez pas conscience de mourir et ne souffrez pas dans les mondes où vous mourrez, l'effet pour vous de la roulette avec les 19 amis

est un gain certain, sans le moindre inconvénient, ce qui est bien sûr préférable au risque à 95 pour cent de perdre l'argent engagé. La difficulté, énorme, est d'être sûr que la théorie d'Everett est juste ! Par ailleurs, ce type de protocole pose des questions éthiques (votre question l'illustre).

✓ FRACTALES INUTILEMENT COMPLEXES

La voie choisie pour généraliser les ensembles de Julia et de Mandelbrot à trois dimensions dans l'article *Du relief pour les fractales* (*Pour la Science* n° 395, septembre 2010, <http://bit.ly/pls395-fractales>) me laisse perplexe. Julia, bien avant l'informatique, s'était intéressé à une classe de transformations qui se prêtaient bien au calcul. Mandelbrot étudia par le calcul numérique ces mêmes classes, mais cette

restriction n'était plus utile. En considérant des transformations plus générales, on peut passer sans difficulté à trois dimensions. S'est-on compliqué la tâche ?

Alfred Meyer

→ RÉPONSE DE JEAN-PAUL DELAHAYE

Comme il n'y a pas d'aussi « bonne structure » pour $\mathbb{R}^3$ qu'il y en a pour $\mathbb{R}^2$ (muni d'une structure de corps, avec une « multiplication » des points), on ne savait pas adapter directement les idées de la dimension 2 à la dimension 3. Il a donc fallu faire des essais, et c'est un peu par chance qu'on a trouvé une fonction qui produit une complexité fractale intéressante. Il n'était pas évident *a priori* que l'absence de structure de corps sur $\mathbb{R}^3$ puisse être surmontée ; cela a pu être fait, c'est la nouveauté de ces fractales 3D.

RESTEZ CONNECTÉ !

Restez en contact avec l'actualité scientifique :
Retrouvez *Pour la Science* partout sur le web.

- Rejoignez-nous sur Facebook
<http://bit.ly/pls-facebook>
- Suivez-nous sur Twitter
<http://twitter.com/PourlaScience>
- Abonnez-vous à nos flux RSS
<http://bit.ly/pls-rss>
- Recevez nos lettres d'information
<http://bit.ly/pls-newsletters>
- Visitez notre site Internet
<http://www.pouirlascience.fr>