

BIBLIOGRAPHIE

R. Taillet, **Free falling inside flattened spheroids : gravity tunnels with no exit**, *Amer. J. of Physics*, vol. 86, pp. 924-933, 2018.

A. Koyré, **Chute des corps et mouvement de la Terre**, Vrin, 1973.

A. Armitage, **The deviation of falling bodies**, *Annals of Science*, vol. 5(4), pp. 342-351, 1947.

E. H. Hall, **Do falling bodies move south ?**, *Physical Review*, vol. 7, pp. 179-190, 1903.

totalement inexpliquée. Au passage, Gauss et Laplace montrèrent que le frottement de l'air a peu d'influence sur la déviation vers le sud.

Piqué par ces résultats, Benzenberg affina ses expériences en 1804 en utilisant pour la chute un puits de mine à Schlebusch (84 mètres, voir la figure page 76) et en améliorant le dispositif de lâcher des billes, pour limiter une éventuelle vitesse initiale latérale qui biaiserait les mesures. Cette fois, en sélectionnant parmi ses mesures celles qui lui semblaient avoir été prises dans les conditions les plus fiables, ses résultats ne montrèrent pas de déviation vers le sud.

Tout serait finalement assez simple si l'histoire s'arrêtait là. Mais non. Le chimiste allemand Ferdinand Reich, en 1831, et d'autres renouvelèrent l'expérience, avec des hauteurs de chute allant jusqu'à 400 mètres. Ils mirent clairement en évidence une déviation vers le sud incompatible avec les résultats de Gauss et Laplace. Le problème était assez étonnant pour que des explications non gravitationnelles soient avancées. Par exemple, dans les années 1840, le Danois Hans Christian Ørsted et le Britannique John Herschel proposèrent que dans les billes en métal utilisées, des courants induits dus à l'interaction avec le champ magnétique terrestre soient responsables de la déviation vers le sud.

L'EXPÉRIENCE DÉFINITIVE

Au début du xx^e siècle, Edwin Hall, évoqué dans l'introduction, celui-là même qui donna son nom à un effet de déviation des électrons dans un conducteur en présence d'un champ magnétique, se pencha à son tour sur cette question avec une approche expérimentale différente et que l'on pourrait qualifier de plus moderne. Plutôt que d'augmenter encore la hauteur de chute, il préféra se placer à une hauteur modeste (23 mètres, dans la tour du laboratoire de physique Jefferson, à l'université Harvard, aux États-Unis), mais dans des conditions qui lui permettaient de contrôler les incertitudes expérimentales (pas de courants d'air, pas de différence de température entre les parois intérieures de la tour, etc.). Il obtint ainsi la première mesure de la déviation vers l'est affectée d'incertitudes expérimentales inférieures à la valeur mesurée. Cette mesure était en accord avec la prédiction de la mécanique newtonienne, calculée par Gauss et Laplace. Les déviations vers le sud qu'il observa étaient dans la limite des erreurs expérimentales, c'est-à-dire compatibles avec une déviation nulle.

Satisfait de ces résultats, Hall s'avoua toutefois impuissant à expliquer l'ensemble des déviations vers le sud observées par ses prédécesseurs, ce qu'il considéra comme une véritable énigme. L'erreur était certainement expérimentale, mais, faute de pouvoir assister aux expériences, les historiens des sciences disposent de peu d'indices pour le confirmer.

Les résultats de Hall ont marqué la fin de l'approche expérimentale du problème de la déviation vers le sud, mais ils ont coïncidé avec le début d'un renouveau d'intérêt théorique, et ce pour plusieurs raisons.

D'une part, la définition de la déviation vers le sud est assez subtile. Lorsqu'un corps chute et atteint le fond du puits, à partir de quel point de référence doit-on mesurer une déviation ? Expérimentalement, ce point peut être matérialisé par un fil à plomb sans mouvement, une masselotte accrochée au bout d'un fil attaché au point de lâcher. Or, dans la Terre en rotation, le fil à plomb, s'il est assez long et si le fil est de masse négligeable, n'indique pas la direction de la pesanteur au point d'attache, mais celle au niveau de la masselotte (pire, il n'est pas rectiligne si la masse du fil est prise en compte, car il est soumis à la force centrifuge et à une force de gravitation qui évoluent tout le long du fil). Une évaluation correcte de la déviation vers le sud doit en tenir compte. Ce n'est qu'en 1911 que le mathématicien américain William Roever souligna clairement cette subtilité.

D'autre part, la valeur de la déviation vers le sud est sensible à la façon dont le champ de pesanteur évolue au cours de la chute, en intensité et en direction, c'est-à-dire qu'elle est sensible à la forme de la Terre (son léger aplatissement aux pôles, par exemple) et à la façon dont sa masse volumique augmente avec la profondeur, paramètres qui relèvent des géosciences.

Enfin, si l'on s'intéresse aux situations proches de la réalité expérimentale, le problème fait apparaître deux paramètres que l'on peut considérer comme petits : la vitesse de rotation de la Terre est faible devant le temps qu'il faudrait au projectile pour la traverser de part en part et, dans les expériences réelles, les hauteurs de chute sont faibles devant le rayon de la Terre. Dans cette situation, les physiciens sont tentés de simplifier les équations pour en trouver des solutions approchées. Mais la procédure est assez délicate et les physiciens ont parfois été en désaccord sur la façon de le faire (techniquement, sur la façon de calculer un développement limité à deux paramètres).

Ces subtilités font du problème de la chute libre une question sur laquelle des physiciens reviennent régulièrement, pour en proposer des variantes, des solutions plus complètes, avec des hypothèses plus réalistes sur la forme ou la composition de la Terre, ou simplement pour aborder ce vénérable problème sous un angle nouveau (voir l'encadré page ci-contre). Ils le font généralement en marge de leur activité de recherche quotidienne, pour satisfaire un aspect de leur métier que l'on met trop rarement en avant : le plaisir d'explorer les lois de la physique, celui-là même qui transparait dans les propos de Hall cités au début de cet article. ■

R

ENDEZ-VOUS

P.80 Logique & calcul
 P.86 Art & science
 P.88 Idées de physique
 P.92 Chroniques de l'évolution
 P.96 Science & gastronomie
 P.98 À picorer

L'OFFUSCATION OU L'ART DE BROUILLER L'ÉCOUTE

Puisque les espions ou les marchands veulent en savoir trop sur vous, donnez-leur satisfaction en les laissant s'emparer d'informations nombreuses... et fausses!

L'AUTEUR



JEAN-PAUL DELAHAYE
 professeur émérite
 à l'université de Lille
 et chercheur au
 laboratoire Cristal
 (Centre de recherche
 en informatique, signal
 et automatique de Lille)

Agacé par une publicité que je vois pour la énième fois sur le site d'actualités que je consulte, je clique dessus, je pousse dans un coin de mon écran d'ordinateur la fenêtre qui s'ouvre (de façon à cacher son contenu à mon regard), puis, quelques secondes plus tard, je ferme cette fenêtre dont je n'ai rien vu. Mon but est de fausser les informations que les systèmes qui me surveillent auront de moi, et de faire payer pour ce clic l'entreprise qui m'importune avec ses publicités (plus on clique sur une publicité en ligne, plus cela coûte à celui qui la propose). Ce que je viens de faire est de l'« offuscation ».

Cette stratégie de gestion et de production de l'information vise à obscurcir le sens qui peut être tiré d'une action ou d'un message, dans le but de troubler ceux qui en prennent connaissance et de les empêcher de tirer un profit de ce qu'ils croient apprendre.

Une définition plus précise pourrait être : « L'offuscation est la création délibérée d'informations surabondantes, ambiguës, désordonnées ou fallacieuses en les mélangeant aux données véridiques afin de rendre plus difficiles leur collecte, leur analyse et leur utilisation. » Autrement dit, tout ce qui brouille, obscurcit, assombrit, opacifie, masque, noie, fausse, gêne, rend illisibles des données est de l'offuscation. Un récent livre lui est consacré, traduit en français (voir la bibliographie). On y découvre les multiples formes, anciennes ou contemporaines, de cette technique de protection contre les regards indiscrets.

Depuis qu'on sait qu'internet est le terrain de chasse rêvé des collecteurs de « big data » et que des dossiers volumineux sont constitués sur chacun de nous pour mieux nous cibler, nous ressentons le besoin de nous protéger de ces intrusions dans nos vies. L'idée de cliquer sur les publicités gênantes est à l'origine du logiciel AdNauseam (<https://adnauseam.io>) qui, sans que vous ayez à vous en préoccuper, clique lui-même sur toutes les publicités des pages que vous consultez et empêche ainsi la constitution de profils pertinents à votre sujet. Le logiciel TrackMeNot (<http://trackmenot.io>) produit des effets de brouillage du même type.

D'autres méthodes plus radicales existent. Les VPN (*virtual private networks*, réseaux virtuels privés) permettent de créer des liens directs entre des ordinateurs distants, qui isolent leurs échanges du reste du trafic. La connexion au réseau TOR est un autre moyen qui, entre autres choses, rend anonyme une session de navigation web.

UNE PRATIQUE VIEILLE COMME LE MONDE... VIVANT

Le problème n'est en fait pas nouveau. Dans leur lutte pour la survie, les organismes vivants ont depuis longtemps mis en œuvre des méthodes d'offuscation. Un exemple spectaculaire et esthétique est celui des ocelles de papillons, ces motifs ronds imitant des yeux qui font fuir les prédateurs lorsque l'insecte déploie brusquement ses ailes. Les ocelles du paon-du-jour évoquent ainsi assez bien le regard d'un mammifère. De nombreux poissons, tels que le >



Jean-Paul Delahaye a notamment publié : **Les mathématiciens se plient au jeu**, une sélection de ses chroniques parues dans *Pour la Science* (Belin, 2017).

CAMOUFLAGES D'ART

1 Diverses formes d'art jouent avec le brouillage de l'information visuelle. Les trompe-l'œil et certaines formes de peinture corporelle, ou *body-painting*, créent ainsi des illusions et des effets amusants ou décoratifs, comme dans la photographie ci-dessous. L'artiste japonaise Hikaru Cho (www.hikarucho.com) est mondialement connue pour ses maquillages déconcertants, faisant par exemple apparaître la tête reliée au corps par un ressort. L'Américaine Carolyn Roper (www.instagram.com/bodypaintgirl) réussit à cacher des personnages entiers là où on s'y attend le moins, par exemple devant un étalage de fruits et légumes. L'Américaine Bev Doolittle (www.bevdoolittle.net), elle, utilise l'idée du camouflage pour peindre des paysages habités par des êtres presque invisibles.



> chétodon de Bennett, arborent aussi des ocelles.

Une autre méthode d'offuscation dans le monde vivant est le camouflage, qui perturbe la perception du prédateur éventuel ou la proie approchée en imitant le terrain sur lequel l'animal se déplace. L'imitation n'est pas nécessairement très précise, l'essentiel étant de perturber la perception de l'ennemi. On suppose ainsi que les motifs variés des pelages des félins aident à rendre plus discrète leur approche, que les taches qui ornent la robe des girafes aident à masquer leur présence dans une brousse ou une savane, etc.

Les phasmes sont des insectes maîtres absolus du camouflage. Il y a les phasmes-bâtons qui ressemblent à des branches, les phasmes-feuilles, les phasmes-ronces, les phasmes-écorces dont les noms indiquent l'objectif de leur mimétisme. Un autre exemple magnifique d'offuscation est celui de certaines araignées, comme *Cyclosa mulmeinensis*, qui parsèment les toiles qu'elles tissent de cadavres desséchés de proies auxquelles elles donnent l'aspect de leur propre corps, ce qui trompe les prédateurs.

L'OFFUSCATION, BIEN CONNUE DES MILITAIRES

Le camouflage est aussi une pratique bien connue des militaires, et chaque armée cherche à l'améliorer. Les tenues léopard se confondent avec le paysage et rendent les soldats difficiles

à repérer. On fabrique en bois, en carton ou en caoutchouc de faux matériels – chars, canons, avions, bateaux, etc. – que l'on place sur le terrain pour faire croire à l'ennemi que l'on dispose d'armes nombreuses. En vue du débarquement de Normandie, en 1944, les armées alliées conçurent l'opération Fortitude dont l'objectif était de masquer la réalité de leurs forces, le lieu envisagé du débarquement et la localisation des troupes une fois le débarquement enclenché. De faux chars gonflables et de faux bateaux pour leurrer les forces allemandes furent notamment utilisés.

Les trompe-l'œil sont aussi de l'offuscation. Sur le mur de l'Atlantique, les Allemands dessinèrent de fausses fenêtres et toitures aux blockhaus afin de donner l'image de maisons d'habitation.

Avec les avions et bateaux furtifs, on cherche à diminuer le plus possible l'information produite et à faire croire qu'un espace ou une mer est vide, alors que s'y déplacent les chasseurs prêts à l'attaque, des bombardiers en mission ou des navires espions en observation. Depuis l'invention des radars, pendant la Seconde Guerre mondiale, et de divers autres systèmes électroniques, la conception de ces engins furtifs est devenue très délicate. Aujourd'hui, les techniques de furtivité visent à rendre les avions, navires ou armes diverses aussi peu détectables que possible en réduisant leurs signatures. Il faut éviter d'être vu (discrétion visuelle), éviter d'être entendu (discrétion

2

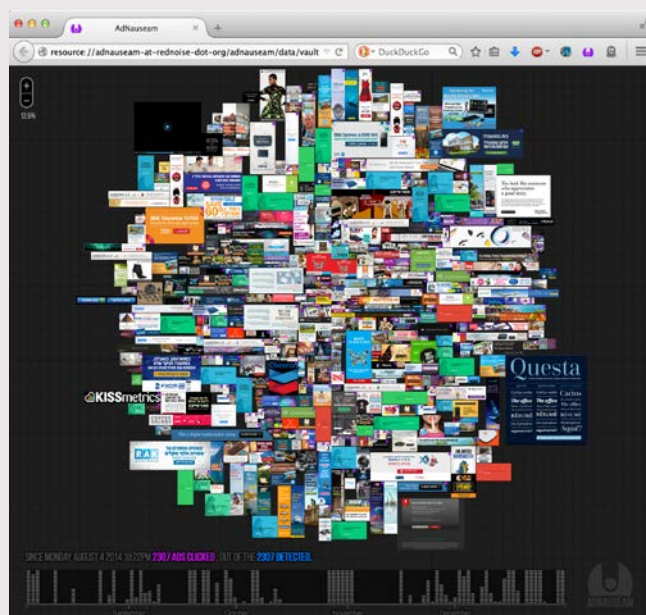
FURTIVITÉ SUR INTERNET

Lorsque nous surfons sur internet, nous sommes espionnés. Des informations sur les pages que nous consultons sont enregistrées et utilisées pour ajuster les publicités qui apparaîtront sur les futures pages consultées. Pour gêner cet espionnage, le logiciel AdNauseum (voir <https://adnauseam.io>) s'occupe tout seul de cliquer systématiquement sur toutes les publicités qui apparaissent sur les pages consultées. Cela a bien sûr pour effet de donner une image inexacte de nos goûts et pôles d'intérêt. Comme pour le javanais, il s'agit d'offuscation par ajout d'informations erronées aux informations vraies impossibles à cacher.

Malheureusement, cela ne résout pas tous les problèmes créés par les technologies modernes. Nos téléphones portables, par exemple, suivent nos déplacements et rendent possibles l'enregistrement de chacun de nos trajets et de chacune des actions que nous faisons en les utilisant.

Le « Règlement général sur la protection des données » (RGPD) de l'Union européenne est le texte de référence en matière de protection des données à caractère personnel. Il renforce et unifie la protection des données pour les individus en Europe, mais, même appliqué, ce règlement ne nous protège pas entièrement des collecteurs de données massives. Ceux-ci nous forcent bien souvent à donner notre accord pour les laisser aspirer nos données, ou trouvent de nouveaux moyens pour poursuivre la violation devenue systématique de notre intimité.

Le roman *Les Furtifs* d'Alain Damasio (La Volte, 2019) imagine le monde en 2040, quand tout sera devenu encore pire et que des individus décidés et rebelles tenteront d'échapper à cet espionnage permanent de tous.



Un graphique affiché par le logiciel AdNauseum, donnant des statistiques sur les sites publicitaires qu'il a détectés et gérés, sur une période donnée.

acoustique), éviter d'être repéré par les radars (discrétion radar), éviter d'engendrer trop de chaleur (discrétion thermique), éviter d'être identifié par les télémètres (discrétion laser), et éviter d'être repéré en émettant soi-même des ondes radar!

Pour obtenir cette furtivité, on joue à la fois sur les formes géométriques, sur les matériaux, sur les trajets empruntés, par exemple en favorisant le vol à très basse altitude. On utilise aussi des leurres, du brouillage ou, mieux, de la manipulation électronique des ondes en renvoyant au radar ennemi un signal de même fréquence que celui qu'il émet. On étudie aussi des techniques pour entourer les avions d'un champ de plasma qui absorbe les ondes radar.

Dans les conflits modernes, induire en erreur l'ennemi par la désinformation prend des formes cruelles dont la loyauté est parfois discutée. Pendant la guerre d'Algérie, la Bleuite fut une opération d'infiltration et d'intoxication à grande échelle, montée par les services secrets français du SDECE (Service de documentation extérieur et de contre-espionnage). Elle resta longtemps méconnue du public, malgré ses effets dévastateurs. Les agents français dressaient des listes de prétendus collaborateurs algériens de l'armée française et les faisaient parvenir aux chefs de l'Armée de libération nationale algérienne. Ces fausses informations ont provoqué de terribles purges internes qui ont fait des centaines de morts parmi les cadres combattants algériens.

FAUSSES LANGUES

Un bel exemple, lui aussi ancien, d'offuscation est celui des fausses langues telles que le verlan, le javanais ou le louchébem, des argots plus ou moins codifiés issus du français. Tout le monde connaît le verlan dont le principe consiste à changer l'ordre des syllabes ou des lettres d'un mot pour le rendre incompréhensible. La transformation est parfois assez compliquée. Exemples de mots en verlan: la reum, une meuf, un keum, la teuf, un rebeu, la zicmu, une caillera, pécho, vénère, reuf, reup, laisse béton (pour la traduction et d'autres exemples, voir www.francaisavec pierre.com/le-verlan/).

Le javanais procède d'une déformation des mots plus mécanique, où l'offuscation consiste à ajouter des lettres selon les règles suivantes (voir [https://fr.wikipedia.org/wiki/Javanais_\(argot\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Javanais_(argot))):

- Ajouter *av* après chaque consonne (sauf si elle est finale) ou groupe de consonnes tel que *ch*, *cl*, *ph*, *tr*, etc. (train → travain, bon → bavon, champion → chavampavion, bonjour → bavonjavour). Ne pas ajouter *av* dans le cas du *e* muet (tarte → tavarte).

- Ajouter *av* aux mots monosyllabes (*a* → *ava*, *en* → *aven*, *un* → *avun*, etc.) et aux mots commençant par une voyelle

(abricot → avabracicavot, allumettes → avallavumavettes, immeuble → avimmaveuble).

- Considérer le *y* comme une consonne s'il est suivi d'une voyelle (moyen → mavoyaven).

Le louchébem, qui fut utilisé par les bouchers, se définit en une seule phrase: substituer *l* à la consonne initiale de la première syllabe du mot ou, si le mot commence par un *l* ou une voyelle, de la syllabe suivante et rétablir, en fin de mot, la consonne initiale avec un suffixe libre. On a ainsi: bonjour → lonjourbem, boucher → louchébem, client → lienclès, lame → lalamen, café → laféquès, combien → lombienquès, comprendre → lomprenquès, en douce → en loucedé.

Le jeu des contrepèteries est aussi une forme d'offuscation pratiquée pour échanger des messages à caractère grivois. Comme pour le verlan, on permute des syllabes ou des lettres, mais cette fois le jeu s'applique non plus à des mots isolés mais à des phrases, ce qui rend parfois très délicat le déchiffrement. Voici quelques exemples: des boules antimites; cet ordi me remplit de joie; l'hirondelle ne craint pas la traque; attention aux coups de feu; les soupers russes manquent de pain; quand les athées se battent, les abbés se taisent (voir <https://lapoulequimue.fr> pour les solutions).

Parmi les méthodes d'offuscation utilisées par les malfrats, les militaires, les espions ou les écrivains, mentionnons encore le simple changement d'identité, les déguisements, la radio que l'on fait hurler pendant que l'on parle, et l'anagramme ou l'acrostiche qui permettent de signer discrètement un texte comme l'ont fait Boris Vian avec *Bison Ravi* et François Villon avec ce poème:

Vous portâtes, digne Vierge, princesse,

Iésus régnant qui n'a ni fin ni cesse.

Le Tout-Puissant, prenant notre faiblesse,

Laissa les cieux et nous vint secourir,

Offrit à mort sa très chère jeunesse;

Notre Seigneur tel est, tel le confesse:

En cette foi je veux vivre et mourir.

AVEC L'INFORMATIQUE, L'OFFUSCATION RENOUVELÉE

Avec l'informatique, de nouvelles formes d'offuscation sont apparues, et elles y jouent des rôles parfois centraux. J'ai déjà mentionné les méthodes consistant à brouiller les pistes pour fausser les données récoltées par ceux qui nous espionnent en cliquant sur des liens qui ne nous intéressent pas, ou en utilisant des techniques de camouflage réseau.

Je ne détaillerai pas la pratique massive des *infox* (*fake news*) dans les réseaux sociaux modernes qui ne sont que de la diffusion d'informations fausses. En revanche, je mentionnerai deux types d'offuscations nouvelles liées aux technologies de l'information: l'offuscation de programmes informatiques et de circuits >

OFFUSCATION OU OBFUSCATION

« Offuscation » est un mot dérivé du latin *offuscare*, qui signifie « obscurcir ». Il était notamment utilisé en astronomie (par exemple : « offuscation du soleil par les nuages »). En anglais, le terme est *obfuscation*, et cette orthographe avec un *b* est parfois utilisée en français. Le problème de la bonne orthographe a donné lieu à un âpre débat sur [wikipedia](https://fr.wikipedia.org/wiki/Discussion:Offuscation) (voir <https://fr.wikipedia.org/wiki/Discussion:Offuscation>) qui a finalement adopté, comme on le fait ici, les deux *f*. Le terme « brouillage » est parfois recommandé, mais nous lui préférons « offuscation », simple à prononcer et présent dans les dictionnaires de langue française.