

De nombreux laboratoires construisent des générateurs thermophotovoltaïques expérimentaux. Avec un radiateur qui fonctionne jusqu'à 1500 °C, on vise une puissance de trois ou quatre watts par centimètre carré de photopile.

Comment améliorer le rendement de conversion des photopiles ? Avec des cellules à jonctions multiples, on devrait théoriquement atteindre des puissances de cinq à six watts par centimètre carré (à comparer avec les dix milliwatts par centimètre carré des panneaux solaires du commerce : l'énergie solaire est très diluée) ; en pratique, on a déjà obtenu plus de un watt par centimètre carré. Dans une cellule à jonctions multiples, on superpose des couches de semi-conducteurs différents, dont la largeur de bande interdite est de plus en plus petite à mesure que l'on pénètre dans le matériau : les photons de faible énergie traversent les premières couches, mais finissent par être absorbés par une couche de faible largeur de bande interdite, et le rayonnement

émis par les radiateurs à large spectre est ainsi mieux utilisé.

Le câblage des différentes cellules du générateur détermine les performances : le courant doit circuler dans les connexions avec le moins possible de pertes d'énergie. À terme, on espère fabriquer plusieurs cellules photovoltaïques sur une même plaque de semi-conducteur, par les techniques utilisées en micro-électronique. Les coûts baisseront quand les procédés de fabrication en grande série seront au point.

Des voiliers aux verriers

Un premier générateur thermophotovoltaïque sera bientôt commercialisé : la Société JX Crystal proposera, à l'intention des marins, un appareil cylindrique, de 14 centimètres de large sur 43 centimètres de haut, alimenté avec du propane et qui produit une puissance électrique de 30 watts. Cet appareil chauffe aussi la cabine du bateau si on le souhaite. Le radiateur, en aluminium de magnésium, a un spectre

d'émission relativement large, et les cellules thermophotovoltaïques, en antimonure de gallium, sont montées en série. Plus coûteux (20 000 francs) qu'un groupe électrogène au diesel, il sera plus silencieux et plus fiable (il ne contient pas de partie mobile). Une version moins résistante à la corrosion, donc moins coûteuse, pourrait intéresser les propriétaires de camping-cars ou de maisons isolées.

Une société qui dépend du ministère américain de la Défense a aussi mis au point un prototype fonctionnant au gaz : un radiateur à spectre étroit en fibres d'oxyde d'ytterbium émet à la longueur d'onde de 980 nanomètres, et le rayonnement est converti en électricité par des photopiles en silicium. Un filtre multicouche isolant récupère l'énergie inutilisée. Des modules délivrent une puissance comprise entre 150 et 300 watts, suffisante pour l'alimentation d'un système de télécommunications ou d'ordinateurs.

Quel sera le succès industriel des générateurs thermophotovoltaïques ?

L'effet photovoltaïque

L'effet thermophotovoltaïque utilise des matériaux semi-conducteurs qui produisent de l'électricité quand ils absorbent des photons. Dans un cristal semi-conducteur, l'énergie d'un électron ne peut prendre que les valeurs contenues dans des intervalles disjoints que l'on nomme bandes d'énergie. Parmi les bandes normalement occupées par des électrons, celle dont l'énergie est la plus grande, la bande de valence, est presque pleine d'électrons, qui participent à la cohésion du cristal : engagés dans des liaisons chimiques, ces électrons ne se déplacent que sur de courtes distances. La bande de valence est séparée de la bande d'énergie immédiatement supérieure, la bande de conduction, par une « bande interdite », inaccessible aux électrons. Lorsqu'un électron de la bande de valence reçoit une énergie au moins égale à la largeur de la bande interdite, il passe dans la bande de conduction et devient libre de se déplacer dans le cristal. Il laisse localement, derrière lui, une charge positive que l'on nomme trou et que l'on peut considérer comme une particule chargée positivement et capable de se déplacer dans le matériau.

Un cristal semi-conducteur parfait contiendrait autant d'électrons dans la bande de conduction que de trous dans la bande de valence. En pratique, on ajoute des impuretés pour modifier la proportion de trous et d'électrons dans le cristal. Quand le semi-conducteur possède davantage d'électrons

dans la bande de conduction que de trous dans la bande de valence, il est de type *n* (pour « négatif »). Dans le cas contraire, il est de type *p* (pour « positif »).

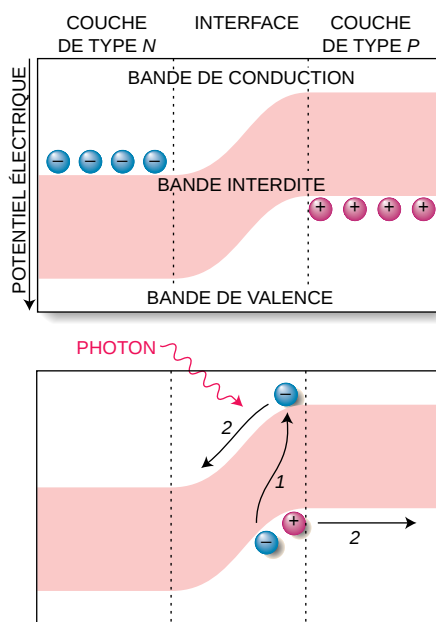
Quand on met en contact un semi-conducteur de type *n* avec

un semi-conducteur de type *p*, on forme une jonction *n-p*. Les charges électriques libres, dans les deux matériaux (électrons du côté *n* et trous du côté *p*), se dirigent vers la jonction, où elles se recombinaient en partie, laissant le cristal chargé électriquement de part et d'autre : ces charges créent une différence de potentiel à la jonction (voir la figure, en haut).

Quand un photon d'énergie égale ou supérieure à la largeur de la bande interdite est absorbé près de la jonction, il fait passer un électron de la bande de valence vers la bande de conduction et engendre aussi un trou dans la bande de valence (voir la figure, en bas, 1). Le champ électrique qui règne à la jonction entraîne le trou vers le semi-conducteur de type *p* et l'électron vers le semi-conducteur de type *n* : un courant électrique apparaît (2).

Les cellules thermophotovoltaïques ont une largeur de bande interdite bien différente de celle des photopiles solaires.

Tandis que la largeur de bande interdite des matériaux utilisés pour ces dernières est de 1 à 1,5 électronvolt, elle atteint 0,5 à 0,7 électronvolt pour les cellules thermophotovoltaïques, qui absorbent ainsi efficacement le rayonnement infrarouge.



Ils pourraient d'abord occuper des niches, spécialisées mais lucratives. Ainsi, la récupération de la chaleur dissipée par de nombreux procédés industriels (fabrication du verre, de l'aluminium ou de l'acier) est un marché important. Dans l'industrie du verre, les deux tiers de l'énergie consommée sont aujourd'hui perdus en chaleur : pour l'ensemble des verriers, une puissance de un milliard de watts est ainsi gaspillée ! Les générateurs thermophotovoltaïques, en transformant cette chaleur en électricité, permettraient de substantielles économies. Dans le domaine des transports, on peut aussi imaginer que des véhicules électriques hybrides emportent, outre leur moteur à explosion, un convertisseur thermophotovoltaïque : un prototype a été présenté, avec un générateur de dix kilowatts.

Aujourd'hui, 100 à 250 millions de francs sont investis chaque année dans la mise au point de générateurs thermophotovoltaïques. Une étude de marché récente indique qu'ils rapporteraient trois milliards de francs en 2005, surtout grâce au remplacement des groupes électrogènes de moins de deux kilowatts utilisés par les militaires, et dans les camping-cars et les voiliers. D'autres utilisations apparaîtront sans doute ensuite, mais les évolutions sont imprévisibles : lorsqu'il fonda la Société IBM, Thomas Watson n'imaginait pas que l'informatique bouleverserait le monde.

Timothy COUTTS est chercheur au Laboratoire américain des énergies renouvelables. Mark FITZGERALD dirige la Société *Science Communications*.

Timothy COUTTS et John BENNER, *The First NREL Conference on Thermophotovoltaic Generation of Electricity*, in *AIP Conference Proceedings*, vol. 321, AIP Press, 1995.

The Second NREL Conference on Thermophotovoltaic Generation of Electricity, sous la direction de John Benner, Timothy Coutts et David Ginley, in *AIP Conference Proceedings*, vol. 358, AIP Press, 1996.

The Third NREL Conference on Thermophotovoltaic Generation of Electricity, sous la direction de Timothy Coutts, Carole Allman et John Benner, in *AIP Conference Proceedings*, vol. 401, AIP Press, 1997.

Les beautés du monde microbien

ESHEL BEN-JACOB • HERBERT LEVINE

Les motifs des colonies de bactéries ou d'amibes ressemblent à ceux du monde minéral.

Au cours des dernières décennies, les physiciens ont élucidé les mécanismes de formation de structures telles que les cristaux de givre ou les flammes de bougie. Le givre sur une vitre froide, par exemple, se forme par l'agrégation de molécules d'eau : elles se déplacent au hasard dans l'air d'une pièce chaude ou à la surface du verre et se fixent, au gré des rencontres, sur un cristal naissant. Les parties saillantes du cristal, plus accessibles, se développent plus que les autres, et l'orientation des molécules d'eau déjà cristallisées impose la disposition des nouvelles venues : le cristal adopte spontanément une structure ramifiée.

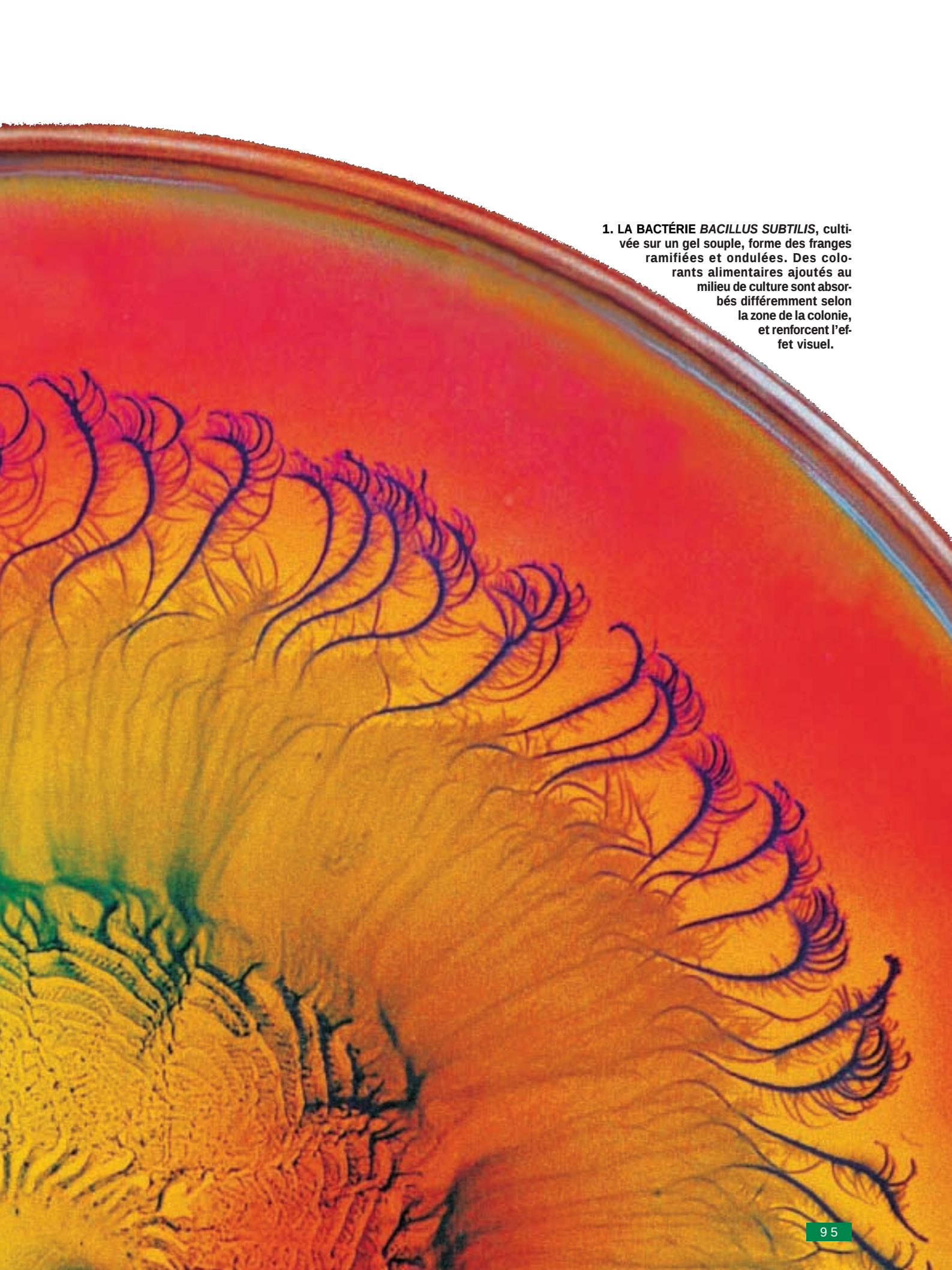
Les physiciens qui ont observé les colonies de micro-organismes ont été surpris de retrouver des motifs comparables à ceux du givre et d'autres structures formées par le jeu des seules forces physico-chimiques. Parfois, cependant, ces colonies ont des structures plus complexes que celles des cristaux, parce que les micro-organismes ont une propriété que les molécules n'ont pas : la vie. L'exploration des formes que prennent les colonies bactériennes révèle souvent des capacités d'adaptation étonnantes à des milieux hostiles.

À la fin des années 1980, Mitsugu Matsushita et ses collègues de l'Université Chou, à Tokyo, ont montré que les bactéries *Bacillus subtilis* forment des colonies ramifiées quand le gel

Suite page 101

Eshel Ben-Jacob



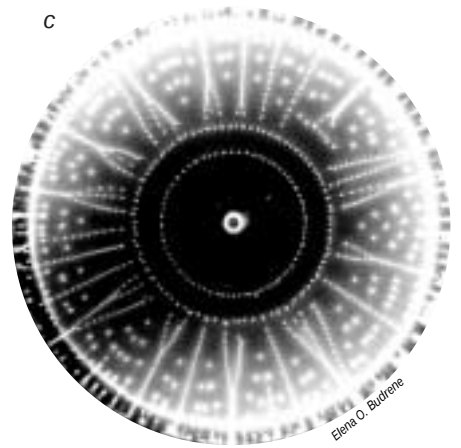
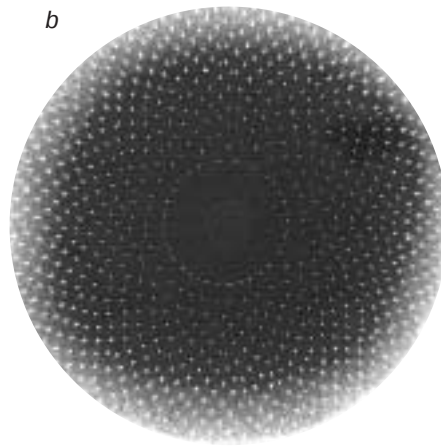
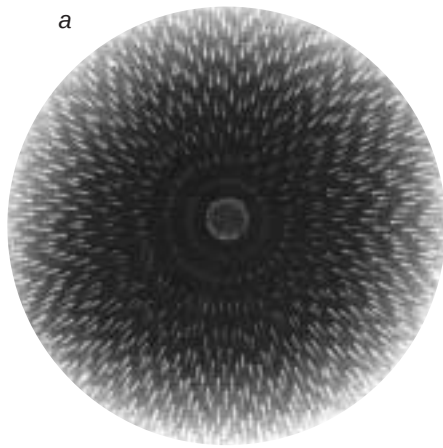
A petri dish containing a bacterial culture of Bacillus subtilis on a soft agar medium. The colonies are visible as dark, wavy, and branched lines against a background of color gradient from red to yellow. The dish is shown from a top-down perspective, with the curved edge visible at the top.

1. LA BACTÉRIE *BACILLUS SUBTILIS*, cultivée sur un gel souple, forme des franges ramifiées et ondulées. Des colorants alimentaires ajoutés au milieu de culture sont absorbés différemment selon la zone de la colonie, et renforcent l'effet visuel.

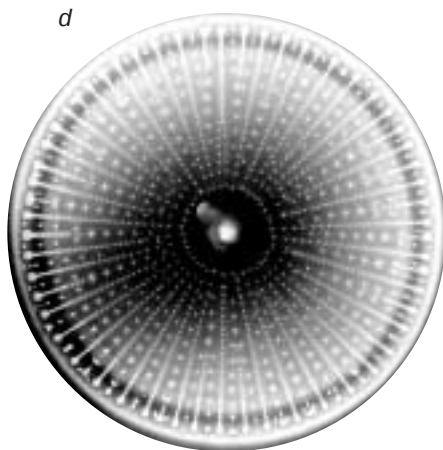


2. UNE SOUCHE DE *BACILLUS SUBTILIS* a été cultivée sur un milieu à deux densités. Sur un gel dur, la colonie est ramifiée (*en bas*) ; sur le milieu souple, un motif plus fin, plus frisé, plus enchevêtré apparaît (*en haut*). Cette structure se forme parce que les bactéries s'allongent et se déplacent rapidement, en tournant vers la droite (sans doute parce que les flagelles qui propulsent chaque

bactérie sont asymétriques). Dans un gel extrêmement dur, *Bacillus subtilis* s'aggrave et forme des petits disques compacts, qui se déplacent en tournant sur eux-mêmes. L'effet est comparable à celui d'une scie circulaire. Grâce à la coopération de ses membres, la colonie se déplace, trouve de la nourriture et se développe (*encart*). La « scie » est le disque noir au bout de chaque branche.



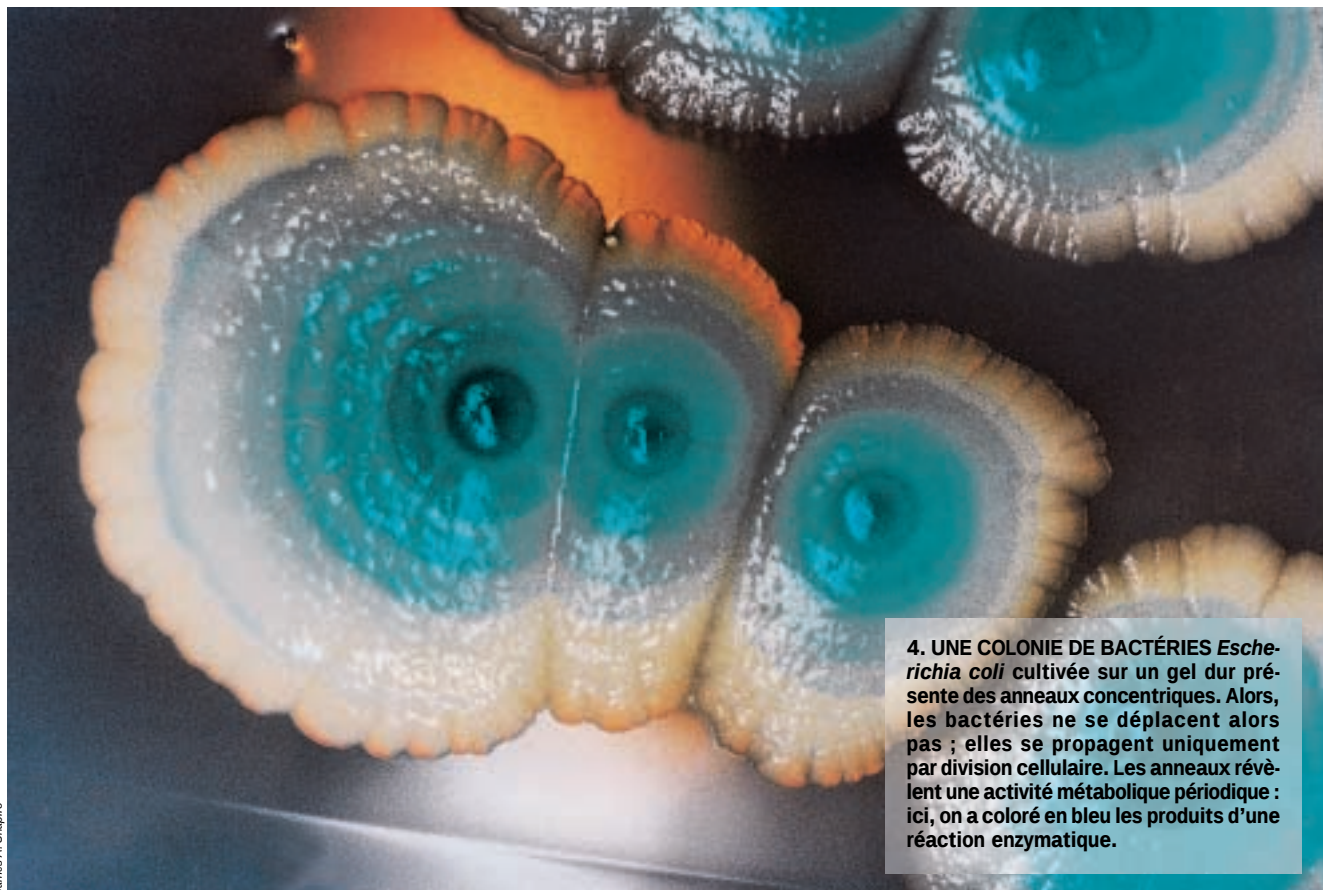
Elena O. Budrene



3. EN PRÉSENCE de substances nutritives ou d'agents de stress, les bactéries *Escherichia coli* (a, b) ou *Salmonella typhimurium* (c, d) sécrètent des substances chimiques attractives et s'organisent. Les colonies forment des réseaux réguliers de disques ou de raies. On retrouve ces motifs quand on reproduit par ordinateur le déplacement des bactéries (à droite) : les bactéries virtuelles se déplacent vers les zones riches en signaux chimiques.



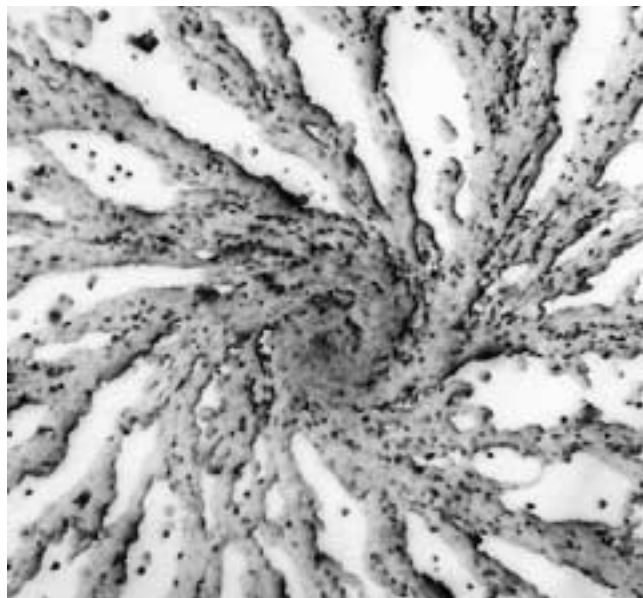
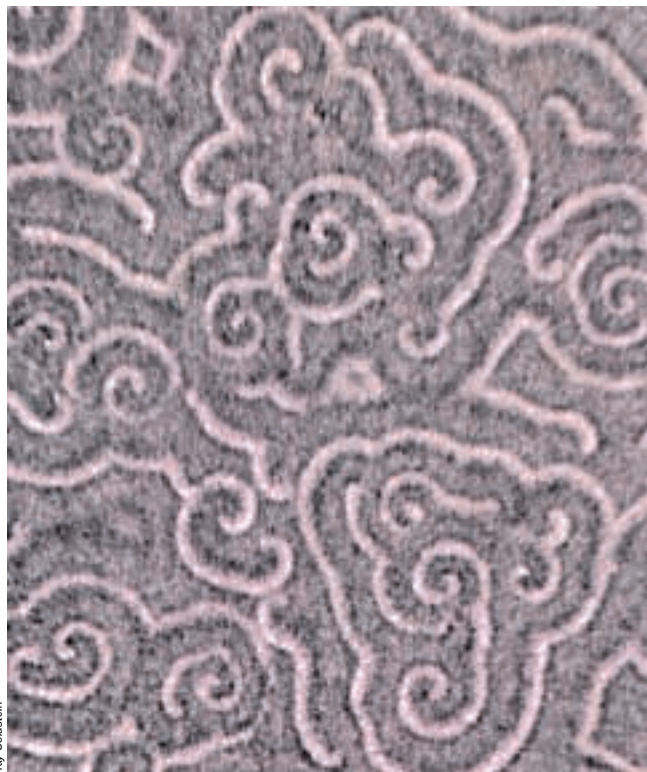
Eshel Ben-Jacob



4. UNE COLONIE DE BACTÉRIES *Escherichia coli* cultivée sur un gel dur présente des anneaux concentriques. Alors, les bactéries ne se déplacent alors pas ; elles se propagent uniquement par division cellulaire. Les anneaux révèlent une activité métabolique périodique : ici, on a coloré en bleu les produits d'une réaction enzymatique.

James A. Shapiro





Cornelis J. Weijer

6. LES CELLULES «AFFAMÉES» de *Dictyostelium discoideum* forment des motifs étoilés qui émettent finalement des spores. Les amibes sécrètent tout d'abord des signaux chimiques (AMPC) qui s'organisent en vagues spiralées. Les cellules sont repoussées, elles se déforment et perdent leurs pseudopodes (équivalant à des pieds). Les vagues de substances chimiques sont observées au microscope en champ sombre.

d'agar-agar (extrait des algues) sur lequel on les cultive contient peu de substances nutritives. Elles se développent selon les mêmes principes que le givre. Une bactérie immobilisée par un gel trop dur ne reçoit que les éléments nutritifs qui diffusent dans le gel. Seules les bactéries en bordure de colonie captent alors les substances nutritives, doublent de volume, puis se divisent : l'extrémité de la colonie se ramifie. Sur un gel plus souple, les bactéries se déplacent, elles se dirigent vers les régions plus riches en nourriture, c'est-à-dire vers l'extérieur de la colonie. Dans ce cas aussi, des branches se forment, mais la croissance est bien plus rapide.

L'un de nous (E. Ben-Jacob) a étudié les influences du milieu sur la morphologie des colonies de bactéries (voir la figure 2). Cultivée sur un milieu souple, une colonie adopte spontanément un motif frisé, ondulé et à croissance rapide. Les bactéries

sont alors individuellement plus longues et plus mobiles, mais le mécanisme de la transition entre les colonies ramifiées et les colonies ondulées reste un mystère.

Si certaines bactéries s'adaptent ainsi à leur environnement, d'autres le modifient par les actions individuelles qui déterminent le comportement collectif. Par exemple, les colonies de bactéries *Escherichia coli* parviennent à s'agréger parce qu'elles émettent des molécules qui servent de signaux chimiques. En cas de stress, les colonies de bactéries ne survivent que par les mutants mieux adaptés.

Les amibes ont des comportements collectifs encore plus remarquables. Ces organismes unicellulaires sont plus évolués et plus résistants que les bactéries. Ils ont un noyau et des structures intracellulaires spécifiques qui leur permettent de réagir au stress par des mécanismes sociaux.

Dictyostelium discoideum est l'amibe favorite des biologistes qui étudient les regroupements cellulaires et la formation d'organismes pluricellulaires. Après environ quatre heures sans nourriture, elle sécrète une molécule qui sert de signal : l'AMPC (l'adénosine monophosphate cyclique). Lorsqu'une amibe détecte la présence de cette molécule par ses récepteurs spécifiques, elle en sécrète

à son tour une quantité supérieure. L'information, amplifiée au fur et à mesure, se propage rapidement : des vagues spiralées d'AMPC envahissent le milieu de culture. En réaction, les amibes se déplacent vers le centre de la spirale la plus proche, rencontrent d'autres cellules et forment un motif étoilé (voir la figure 6). Avec David Kessler, de l'Université Bar-Ilan, en Israël, l'un de nous (H. Levine) a montré que ces motifs sont indépendants de la nature biologique des amibes ; elles ne sont que le résultat de lois physiques. Finalement, les amibes se regroupent en masses qui émettent des spores ; ceux-ci resteront dormants tant que le milieu sera hostile.

Les biologistes utilisent aujourd'hui des techniques biochimiques et génétiques pour comprendre l'influence de signaux extérieurs sur le déplacement des cellules. L'élucidation des lois microscopiques du comportement collectif des micro-organismes est un travail redoutable, mais l'étrangeté des motifs microbiens stimulera les chercheurs encore longtemps.

Eshel BEN-JACOB est professeur à l'Université de Tel-Aviv. Herbert LEVINE est professeur de physique à l'Université de San Diego.

Un	so	li	taire	en	plein	dé	sert
En	plein	so	leil	s'en	tend	par	ler
Tan	dis	qu'	il	na	vigue	plein	sud
Plein	de	mots	sort	tent	de	sa	tête
Il	fait	le	plein	de	sou	ve	nirs
Ra	vi	vés	par	son	coeur	si	plein
Comme	un	tir	en	plein	dans	le	mille
Le	temps	plein	qu'il	vé	cut	le	perce

Écritures sous contraintes

JEAN-PAUL DELAHAYE

La combinatoire, l'arithmétique et l'algèbre rencontrent la langue française.

Un bon article mathématique est bien écrit : l'objectif recherché est clairement annoncé et placé dans le contexte des travaux déjà publiés qui sont brièvement rappelés ; les énoncés sont formulés avec précision et concision ; les démonstrations sont agencées minutieusement pour qu'on y perçoive instantanément les points délicats et les idées nouvelles ; les perspectives à venir sont évoquées pour conclure. Un bon mathématicien a du style, ses théorèmes sont élégants et ce qu'il dévoile du monde abstrait est joliment décrit. Les informaticiens aussi sont des écrivains : un programme ne peut être bon que s'il est parfaitement écrit et aucune méthodologie de programmation, comme le monde industriel en recherche depuis trente ans, ne dispense du talent littéraire nécessaire en informatique.

Un autre lien entre littérature et mathématiques inverse le précédent : au lieu de demander au mathématicien d'être écrivain, il suggère à l'écrivain d'utiliser les mathématiques pour les cacher dans ses textes et en nourrir son art. En imposant une architecture, combinatoire, arithmétique, algébrique, logique ou même géométrique, l'écrivain enrichit ses textes et y insère une part de la beauté des structures mathématiques. La contrainte peut rester cachée et habiter le texte à l'insu du lecteur, lui procurant une impression étrange qui n'est dévoilée que lorsque le secret est identifié. La contrainte peut être manifeste et alors son irruption dans la conscience du lecteur lui fait ressentir avec force que le sens se construit sur un support où le jeu ouvre des possibilités illimitées à l'auteur et procure des plaisirs subtils au lecteur.

L'exercice n'est pas nouveau. L'alexandrin, avec sa contrainte métrique de 12 pieds, et plus généralement le poème rimé, sont des exemples de contraintes formelles si anciennes qu'on ne réalise pas que les carcans arithmétiques qu'ils imposent sont arbitraires et susceptibles de variations nombreuses.

1. PLAINTÉ D'UNE FEMME DÉCUE

L'hommage de leurs vers qu'à
l'envi les poètes
À la femme déçue offrent toujours
ardent
Flatte certes le but, mais n'apaise la
quête :
L'attente a des plaisirs qu'on ne fait
qu'un moment.

Aussi, jouet des vents qui l'hiver me
rudoient,
Sur des talus où vont se fanant mes
appas,
En un dense réduit où je n'ai point
de joie,
Veux-je conter ce don que Thyrsis
bafoua.

Las ! le pâle Thyrsis avait la mine
austère :
Le sentant sur le banc près d'elle un
peu tarder
L'amante bien des fois lui fit en vain
la guerre
Ferme et froid cependant jamais il
ne doutait.

Pour voir se dénouer ce vœu, que
de tendresse !
Que, docile à sa voix et promise à
son lit,
J'eusse aimé dans ses bras
m'adonner à l'ivresse !
Mais le vin que j'offrais jamais ne le
conquit.

Ses doigts pouvaient jouer aux fous
entre mes tresses,
Du vent hardi parfois copiant les
effets :
Il fallait à mon but, d'autres riens,
des caresses
Moins lourdes dont mon goût se fût
mieux satisfait....

Depuis 1960, le mouvement littéraire l'OULIPO (Ouvroir de littérature potentielle) s'est donné pour objet l'invention, l'étude et la pratique des jeux mathématiques avec le langage. Si la systématisation de l'OULIPO est nouvelle, on trouve des traces de cette activité loin en arrière dans le temps : de nombreux auteurs ont pratiqué ces exercices, et les grands rhétoriciens du Moyen Âge y étaient passés maîtres.

ANTISTROPHES...

Tout le monde connaît la contrepèterie, où quelques permutations de syllabes ou de lettres dans une phrase anodine en font apparaître une autre qu'il aurait été malséant d'écrire ou de prononcer. Même si l'on peut trouver des exemples de contrepèteries dans certains textes latins, il semble qu'elles sont fortuites, et l'on doit attribuer l'invention de cet art à Rabelais (il appelait cela des antistrophes). Dans son œuvre, on trouvera par exemple : «Goûtez-moi cette farce», «Cette femme est une lieuse de chardons». On peut se demander si le poète plus récent qui aimait le «son du cor au fond des bois» ne nous a pas adressé un clin d'œil.

Le chef-d'œuvre du genre a paru il y a quelques années dans *Le canard enchaîné* (qui, chaque semaine, propose quelques créations nouvelles dans *L'album de la comtesse*, écrit par le scientifique maître du genre, Joël Martin, le titre de la rubrique étant lui-même une contrepèterie bien cachée). Le chef-d'œuvre anonyme dont nous donnons un extrait ci-contre est cité dans le merveilleux livre de Claude Gagnière *Pour tout l'or des mots* (Collection Bouquins, Robert Laffont, Paris, 1996, page 26). À la contrainte déjà difficile d'inclure une contrepèterie dans chaque ligne, notre expert a ajouté celle de l'alexandrin, contrainte accompagnée, bien sûr, de celle des rimes. On remarquera la cohérence du thème du récit apparent et celle, non moins étonnante, du récit caché.

LIPOGRAMMES

Un autre jeu formel avec les lettres d'un texte est le lipogramme, où l'on s'interdit... d'en utiliser une. Il est facile bien sûr de faire un lipogramme en s'interdisant la dernière lettre de l'alphabet (ce

paragraphe en est un!). En revanche, le lipogramme en e est exercice de virtuose.

L'exploit le plus fantastique est celui de Georges Perec qui, dans son roman *La disparition* (Éditions Denoël, 1969), raconte l'histoire de la disparition d'un rond pas tout à fait clos finissant par un

trait horizontal». L'éditeur, dont le nom comporte un e, l'auteur lui-même, dont les nom et prénom en contiennent quatre, ne souhaitaient cependant pas rester anonymes, malgré la noblesse de l'enjeu. Aussi utilisèrent-ils un subterfuge : dans les premières et les dernières pages

2. IDENTIFIEZ LES CONTRAINTES CACHÉES DE CES TEXTES

1. Lettre d'Alfred de Musset à George Sand

*Quand je mets à vos pieds un éternel hommage
Voulez-vous qu'un instant je change de visage?
Vous avez capturé les sentiments d'un cœur
Que pour vous adorer forma le Créateur.
Je vous chéris, amour, et ma plume en délire
Couche sur le papier ce que je n'ose dire.
Avec soin, de mes vers lisez les premiers mots
Vous saurez quel remède apporter à mes maux*

Réponse :

*Cette insigne faveur que votre cœur réclame
Nuit à ma renommée et répugne à mon âme.*

2. D'un auteur inconnu

*Quand Adam fut créé, tout seul il s'ennuya
Dans de vagues pensées trop souvent absorbé.
Il suppliait son Dieu de les faire cesser.
Dieu crut à ses désirs devoir enfin céder,
L'homme en fut pour sa côte... Ève alors fut créée.
Elle était séduisante et belle au premier chef.
Depuis la Création, la race a peu changé,
Et de plaire et séduire, elle s'est fait la tache
À force de l'aimer, le monde s'arrondit,
L'amour, ce doux plaisir, cette douce magie,
Ne donnait que bonheur et jamais de tracas.
La femme était constante et le mari fidèle
Que faire ? Ils étaient seuls... il faut bien que l'on s'aime
Pas de rivaux d'amour, pas d'ennuis, pas de haine.
Oh ! c'était le beau temps des plaisirs du repos.
Tandis que, de nos jours, on voit l'homme occupé
Courbant sous le destin, par le besoin vaincu.
Et pour qui le travail, devenu nécessaire,
S'assied à son chevet, le poursuivant sans cesse.
Eh bien soit ! travaillons... et vive la gaieté !
Que jamais le chagrin ne nous trouve abattu.
J'ai vu soixante hivers, je pense avoir trouvé
Des amis que je tiens en réserve au beau fixe.
Croyez à ce bonheur : comme moi, croyez-y,
Et qu'un Dieu protecteur nous soutienne et nous aide.*

3. Travaux de l'OULIPO

*La divinité s'amuse de la timide habitude de rêver une
petite minute, de-ci, de-là, sur une lame marine. L'alizé te
ramènera du pâle horizon à la sévérité de ce rivage
coloré : salut, ami revenu.*

4. De Davis Massot

A Noël elle te traqua la carte telle Léona

5. De George Perec

*La belle absente
Inquiet, aujourd'hui, ton pur visage flambe.
Je plonge vers toi qui déchiffre l'ombre et
La lampe jusqu'à l'obscur frange de l'hiver :
Quêtes du plomb fragile où j'avance, masque
Nu, hagard, buvant ta soif jusqu'à accomplir
L'image qui s'efface, alphabet déjà évanoui.
L'étrave de ton regard est champ bref que je
Dois espérer, la flèche magique, verbe jeté
Plain-chant qu'amour flambant grava jadis.*

6. De Louise de Vilmorin

*Abbaye, abbaye !
J'ai assez cédé, aimé et obéi
Et double vécu et rêvé et fui.
Ogive et émaux et miel et mer
Abbaye, Abbaye !
Hélène aime et fit grec et la chair et l'été !*

7. De Noël Arnaud

*Elle ici
Clé Celée
Cil lié
Le ciel Clic*

8. De Paul Braffort

*La lave est jetée là, sur lui, à côté, là ; la côte a lui sur la
jetée Est : lave-là !*

Solutions :
1. Lisez les premiers mots des vers.
2. La dernière syllabe de chaque vers égraine l'alphabet
A, B, C, D ... Z (soit le W)
3. Alternance de voyelles et de consonnes
4. Palindrome
5. En mettant à part les cinq lettres les moins utilisées
dans la langue française (K W X Y Z) on découvre que
toutes les lettres sauf le "c" sont utilisées dans la
première ligne, que toutes sauf le "a" sont utilisées dans
la seconde, etc. le tout composant le prénom Catherine.
6. Tout le texte peut se lire en prononçant des lettres :
A.B.I.A.B.I.G.A.C.C.D.M.E.O.B.I.E.W.Q.R.E.V.F.U.I.
O.J.V.M.O.M.I.L.M.R.A.B.I.A.B.I.L.N.M.A.F.Y.L.H.R.
L.E.T
7. Seules les quatre lettres E L I C sont utilisées.
8. Il s'agit d'un palindrome de mots.

du roman, les passages imprimés en encre rouge utilisent librement la lettre e.

Plus récemment, l'exercice a été pratiqué par Pascal Kaeser dans son livre *À l'assaut du Snark. Jeux d'écriture* (Diderot, collection "La règle et le compas", Paris, 1998) où il donne la traduction en français et sans e du célèbre texte de Lewis Carroll *La chasse au snark*, dont nous citons le début :

À l'assaut du Snark

Introduction à la traduction qui suit.

Louis Carroll, qui naquit Charly Dogson, fut un as du pari fou, du discours tordu, du calcul savant. Il fut aussi un pion à Oxford, mais passons! Son plus important travail fut la composition d'Alicia au pays du Lapin blanc, roman qui nous a tous ravis, du marmot sans raison au barbon qui faiblit. Aurait-il souri s'il avait pu voir son Snark traduit dans français dont on a banni l'attribut occupant un rang cinq sur vingt-six dans l'abc? Souhaitons qu'un mandat aussi affolant lui aurait plu...

PANGRAMME, ACROSTICHE ET INSCRIPTION

Le pangramme est l'inverse du jeu de l'évitement d'une lettre : la règle impose d'utiliser toutes les lettres de l'alphabet dans un texte aussi court que possible. C'est un art tout aussi délicat, qui a d'autres fins que l'amusement, puisque l'on utilise les pangrammes pour tester les polices de caractères d'imprimerie ou pour créer des exercices de dactylographie. Le plus connu est :

Portez ce vieux whisky au juge blond qui fume

L'intérêt du whisky se comprend aisément. On le retrouve dans :

Peux-tu m'envoyer du whisky que j'ai bu chez le forgeron?

Toujours jouant avec les lettres, l'acrostiche (la première lettre de chaque mot ou de chaque vers d'un poème en

donne une clef) lui aussi est un jeu ancien que François Villon (1431-1463) utilisa pour signer plusieurs ballades (on ne distinguait par les lettres *i* et *j* à cette époque) :
Vous portâtes, digne Vierge, Princesse,
Jésus 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 claire jeunesse
Notre Seigneur, tel est, tel le confesse :
En cette foi, je veux vivre et mourir.

L'acrostiche peut-il être involontaire? À vous d'en juger en considérant ces vers tirés de l'acte IV d'*Horace* de Corneille :
S'attacher au combat contre un autre soi-même
Attaquer un parti qui prend pour défenseur
Le frère d'une femme et l'amant d'une sœur
Et, rompant tous ces nœuds, s'armer pour la patrie
Contre un sang qu'on voudrait racheter de sa vie
Une telle vertu n'appartenait qu'à nous ;
L'éclat de son grand nom lui fait peu de jaloux...

L'inscription dans une phrase d'un nombre (le plus souvent une date) est une façon d'y cacher une information ou de lier la phrase à un événement. Voyons un exemple de cette imbrication arithmétique (provenant du livre de Claude Gagnière déjà cité).

En 1675, Alphonse de Vignoles, au moment même où il tentait de mettre le feu à une abbaye objet de sa colère, mourut écrasé par son cheval. Son épitaphe **FALLAX EQVVS AD SALVTEM** (C'est à un cheval perfide que je dois mon salut) est un chronogramme. On ne retient que les lettres utilisées dans l'écriture des chiffres romains, LLXXVVDLVM, on les replace en ordre MDLLXXVVV, ce qui fait 1675 (rappelons que le M vaut mille, le D cinq cents, le L cinquante, le X dix, le V cinq et le I un).

AIDE-MÉMOIRE

Cela nous conduit directement aux contraintes formelles ayant pour fonction un codage mnémotechnique. Tout le monde connaît le fameux :

Que (3) j' (1) aime (4) à (1) faire (5) apprendre (9) un (2) nombre (6) utile (5) aux (3) sages (5)..., où le nombre de lettres de chaque mot code les décimales du nombre π .

On sait moins que ce jeu a été pratiqué dans presque toutes les langues. Antreas Hatzipolakis s'est amusé à collectionner plusieurs dizaines de ces poèmes mnémotechniques qu'il a réunis dans un recueil, intitulé *Pipphilology*, que vous pourrez consulter à l'adresse internet : <http://www.unipissing.ca/topology/z/a/a/a/26.html>

Le nombre $e = 2,71828...$ a aussi ses adeptes qui, en anglais, ont créé : *To express e remember to memorize a sentence to simplify this*, qui n'est peut-être que la traduction du peu connu texte français : *Tu aideras à rappeler ta quantité à beaucoup de docteurs amis*.

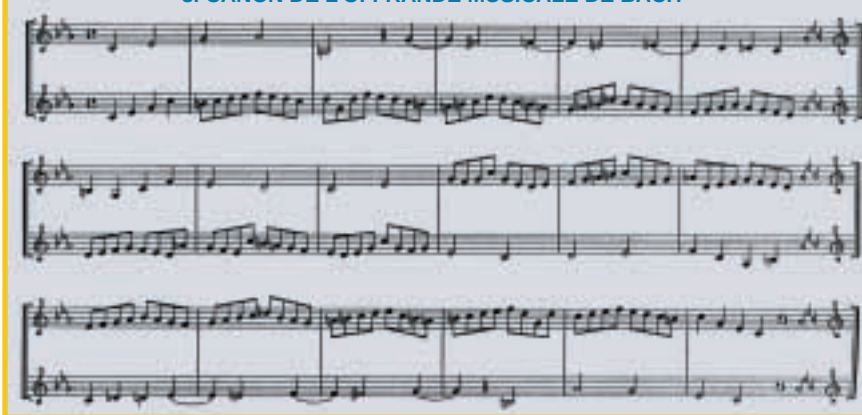
Parmi une multitude d'autres phrases utilisées par les écoliers pour retenir les règles de grammaire («mais où est donc Ornicar?») ou autres, voici la phrase «Monsieur, vous tirez mal - je suis un novice pitoyable» dont l'initiale de chaque mot donne dans l'ordre des planètes : Mercure, Vénus, Terre, Mars, Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune, Pluton.

LES PALINDROMES

Le jeu mathématique devient plus ardu avec le palindrome : une phrase ou un mot invariant par inversion de l'ordre des lettres. Le français comporte bien quelques mots palindromes : ressasser, essayasse, radar, snobons, retâter, kayak, rotor, erre, sanas, sèves, sexes, selles, gag, non, tôt, solos, tâtât, sèmes, rotavator et quelques autres, mais aucun n'égale celui de vingt lettres que les Finlandais ont la chance de posséder : *siappuakiviikauppa*, qui veut dire marchand de savon. Il existe aussi des mots *Janus* qui ont deux significations, à l'en-droit et à l'envers, comme Léon et Noël.

Le palindrome peut être musical et Joseph Haydn composa une symphonie (n° 47) intitulée *Le Palindrome* dont le nom est justifié par le troisième mouvement dont les dix dernières mesures s'obtiennent en inversant les dix premières. Le canon Cancrizans de L'offrande musicale de Jean-Sébastien Bach est une forme de palindrome musical : la seconde voix est identique à la première lue à l'envers.

3. CANON DE L'OFFRANDE MUSICALE DE BACH



Le canon Cancrizans de Jean-Sébastien Bach. L'utilisation de contraintes combinatoires est commune en musique. Jean-Sébastien Bach s'y est souvent adonné. Ici la seconde voix du canon est exactement identique à la première, mais jouée de droite à gauche.

Nul n'égale l'exploit de Georges Perec (membre de l'OULIPO), qui réussit à écrire un palindrome de 5 000 mots dont voici le début... et la fin.

Trace l'inégal palindrome. Neige. Bagatelle, dira Hercule. Le brut repentir, cet écrit né Perec. L'arc lu pèse trop, lis à vice versa. Perte. Cerise d'une vérité banale, le Malstrom, Alep, mort édulcoré, crêpe, porté de ce désir brisé d'un iota (...) À toi, nu désir brisé, décédé, trope percé, roc lu. Détrompe-la. Morts : l'Âme, l'Élan abêti, revenu. Désire ce trépas rêvé : ci va ! S'il porte, sépulcral, ce repentir, cet écrit ne perturbe le lucre : Haridelle, ta gabegie ne mord ni la plage ni l'écart.

On doit pouvoir écrire des programmes informatiques qui soient des palindromes (et qui fassent quelque chose d'intéressant). Je n'en ai jamais rencontré : un lecteur saura-t-il en produire un ?

PERMUTATIONS ET ANAGRAMME

La permutation des lettres d'un mot ou d'un nom ou d'une phrase peut en donner d'autres, c'est ce qu'on appelle les anagrammes. Tout le monde connaît celui de Salvador Dali : *Avida Dollars*. Vincent Auriol, qui fut le premier président de la IV^e République, possédait un nom qui permettait de nombreux anagrammes et qui tous avaient l'injuste objet de le tourner en dérision : *Voilà un crétin ; Ô inculte ravin ; Il court en vain ; Un certain viol*.

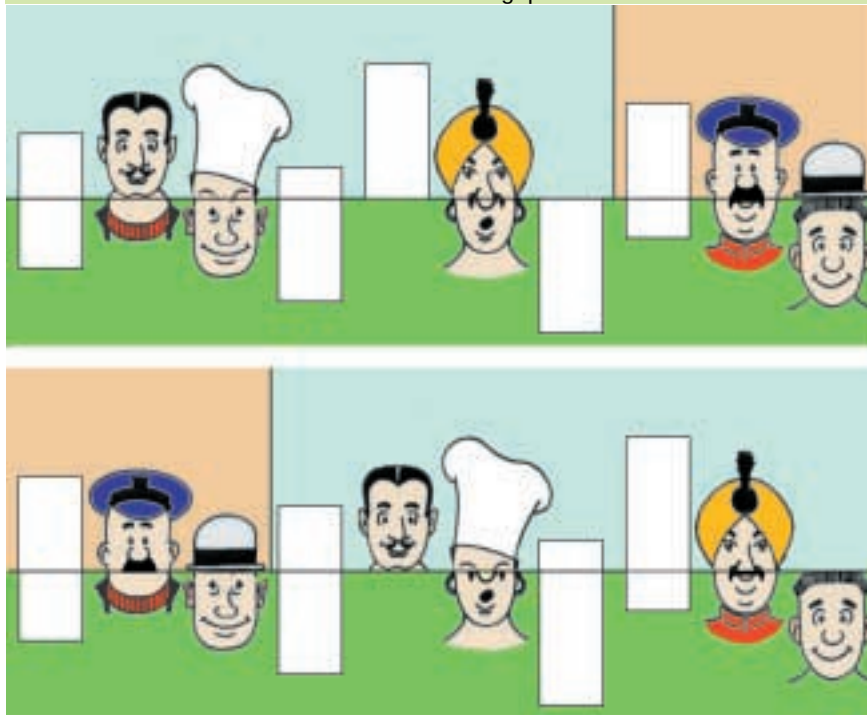
Un poème entier dont chaque vers est l'anagramme du titre *Rose au cœur violet* fut composé par Nora Mitrani et Hans Bellmer. Voici les premiers vers :

*Se vouer à toi, ô cruel
À toi, couleuvre rose
Ô vouloir être cause !
Couvre-toi, la rue ose
Ouvre-toi, ô la sucrée !
Va ou surréel côtoie
Ô l'oiseau crève-tour
Vil os écœura route
Cœur violé osa tuer ...*

MULTIPLICATION MAGIQUE

Combiner des textes pour en obtenir de nouveaux sans trop se fatiguer est tentant. Jean Meschinot (1415-1491) a publié une «Litanie de la Vierge» composée de huit décasyllabes formés d'hémistiches syntaxiquement indépendants. En permutant des hémistiches de même longueur tout en respectant le système des rimes *a b a b b c b c*, qui fonctionne aussi pour les rimes intérieures, on obtient des litanies distinctes. Jacques Roubaud, en 1973, en a dénombré 36 864.

4. L'interversion magique



La princesse Aztèque

Tandis qu'en frissonnant elle	égrenait des vers
L' Aztèque imperturbable à la touque imprécise	
Serrait sa souveraine une blonde	aux yeux verts
D'un lien	libidineux que la froidure attise
Dans l'Ouest enfoui dit-elle à son amant	pervers,
C'est là que l'art	jaillit, que l'Inca prosaïse,
Et que la pyramide abolit l'univers !	
Nul n'entend le muet qui	tout doucement s'enlise..
Comme l'infatigable apion	déblatérât
Jeune	ami présomptueux plus fou qu'il ne paraît,
N'offre pas de pactole à ton gardien	farouche
Si le verbe	à la fois oppresseur et charmant
D'un tel triomphateur ne trouble le diamant	
Même Xipe Totec	fuit et détruit sa souche
Tandis qu'en frissonnant elle	déblatérât
L' ami présomptueux plus fou qu'il ne paraît,	
Serrait sa souveraine une blonde	farouche
D'un lien	à la fois oppresseur et charmant
Dans l'Ouest enfoui dit-elle à son amant	
C'est là que l'art	fuit et détruit sa souche.
Et que la pyramide abolit l'univers	
Nul n'entend le muet qui	égrenait des vers
Comme l'infatigable apion	Aztèque imperturbable à la touque imprécise
Jeune	aux yeux verts
N'offre pas de pactole à ton gardien	libidineux que la froidure attise
Si le verbe	pervers,
D'un tel triomphateur ne trouble le diamant !	jaillit, que l'Inca prosaïse,
Même Xipe Totec	tout doucement s'enlise...

L'alexandrin disparu. En 1896, Sam Loyd inventa un paradoxe géométrique présenté sous la forme d'un puzzle où l'on intervertit deux cartes : les cinq personnages du premier arrangement en donnent six. Claude Berge, sur le même principe, proposa la transformation d'un sonnet classique de 14 alexandrins en une ode de 15 alexandrins.