

Sons rugueux, sons tendus

L'harmonie musicale a des bases physiologiques.

Le compositeur de musique, devant sa table de travail ou son ordinateur, dispose *a priori* d'une infinité de possibilités dans l'agencement des sons simultanés et successifs. S'il compose dans le cadre de la musique tonale occidentale, des usages guident son écriture : seuls les sons de la gamme chromatique sont utilisables, et leur assemblage respecte les lois regroupées sous le nom d'harmonie. Celles-ci ne sont pas que des conventions : certaines ont un fondement dans la physiologie de la perception auditive.

En musique tonale, la distinction des accords en deux groupes, consonants et dissonants, permet, en partie, d'organiser les moments de tension et de détente à l'intérieur d'une œuvre : une tension est créée par un accord disso-

nant, puis relâchée par un accord consonnant. La définition de la consonance est partiellement culturelle : son domaine a évolué au cours du temps et s'est agrandi. Toutefois, une règle simple a toujours été acceptée : deux notes dont le rapport des fréquences fondamentales fait intervenir des petits chiffres, tels les intervalles de quinte ($3/2$) ou de quarte ($4/3$), forment un accord plutôt consonnant, alors que deux notes dont le rapport des fréquences fait intervenir des nombres élevés, tels les intervalles de septième ($15/8$) ou de triton ($45/32$), sont plutôt dissonants.

La consonance n'est en fait pas seulement conventionnelle. Des enfants de sept mois distinguent en effet les intervalles sur la base de leur consonance plus que sur la proximité des notes qui les composent. Le même phénomène a été observé avec des oiseaux, que l'on peut difficilement soupçonner de connaître les conventions de l'harmonie tonale.

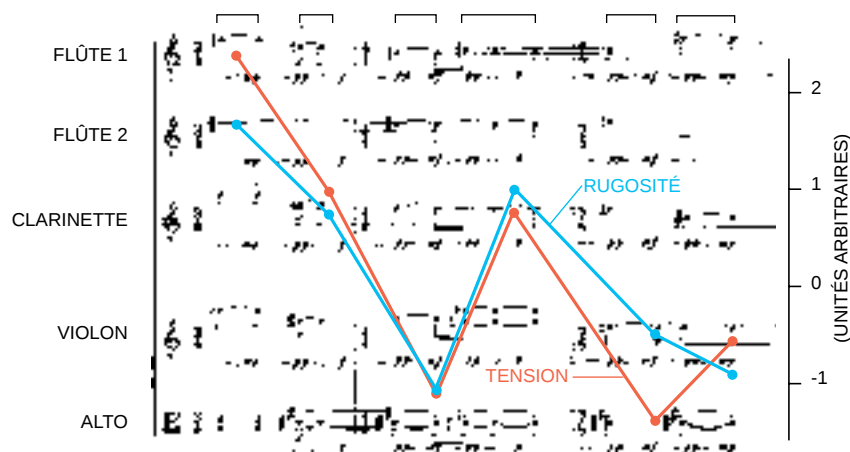
La théorie de la musique de von Helmholtz propose une explication physiologique de la consonance. Lorsqu'un haut-parleur émet simultanément deux sons parfaitement sinusoïdaux de fréquences proches, l'amplitude du son résultant est modulée en «battements», à une

fréquence égale à la différence entre les fréquences fondamentales. Lorsque les deux notes sont assez différentes, notre système auditif les sépare : nous entendons deux notes. Par contre, si les fréquences sont assez proches, nous percevons les battements. Helmholtz nomme «rugosité» cette perception de battements et l'associe à la dissonance : plus un son est rugueux, plus il serait dissonant. Les accords simples consonnants, joués par les instruments de l'orchestre classique, produisent effectivement une faible rugosité. L'harmonie n'est toutefois pas réduite à la physiologie de l'audition : elle laisse la place à la liberté et aux goûts des musiciens et des auditeurs.

En musique non tonale, les notions de tension et de consonance ne sont pas définies. En revanche, la rugosité reste identifiable. Nous avons demandé à une quarantaine d'auditeurs aux connaissances musicales variées de noter la tension musicale et la rugosité pour une séquence de huit accords extraite de la pièce contemporaine *Streamlines* de Joshua Fineberg. Pour l'écriture de cette pièce, le compositeur a substitué aux règles de l'harmonie la notion de timbre : les accords joués ne sont pas imaginés en fonction des notes qui les composent, mais pour l'impression sonore globale qu'ils produisent. Les accords ont été enregistrés par un orchestre de chambre avec une même durée et une même intensité, et homogénéisés en studio.

Un consensus s'est dégagé sur des échelles de tension et de rugosité perçues. Ces deux échelles sont en outre fortement corrélées. Ainsi, les auditeurs ont intuitivement perçu des mouvements de tension et de détente, dont la cause semble être la rugosité. La modélisation informatique de cette dernière, grâce à notre connaissance du système auditif, serait donc un outil précieux pour les compositeurs désireux d'explorer de façon rationnelle une «harmonie» non conventionnelle.

Daniel PRESSNITZER, IRCAM



Pour ces accords composés sans référence à l'harmonie tonale, la tension créée par la musique est fortement corrélée à la rugosité du son, selon le jugement des auditeurs.

Vecteurs de gènes

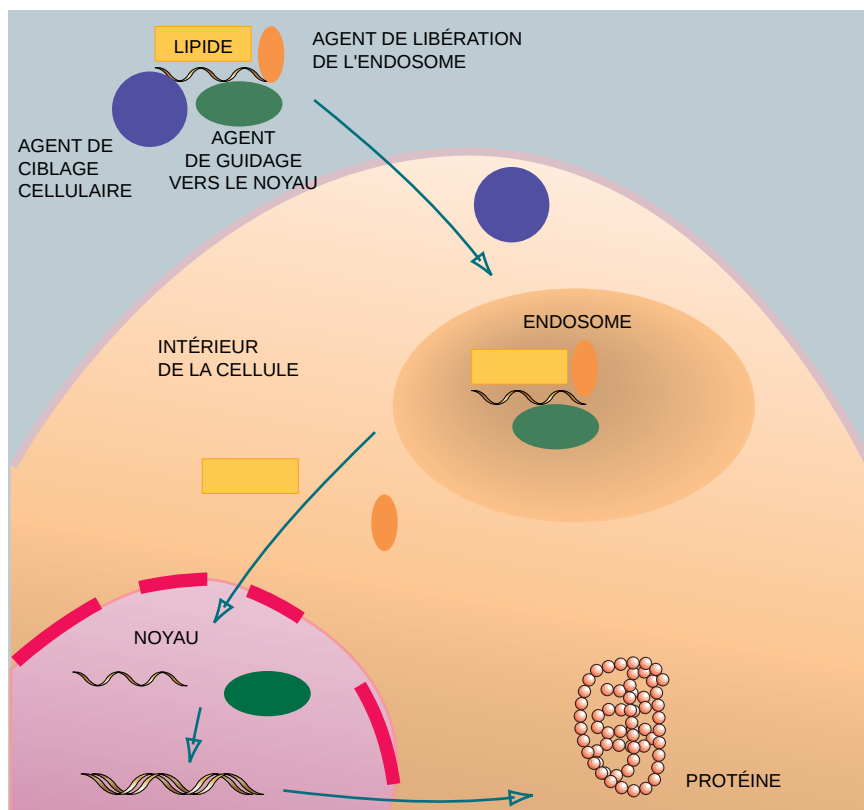
Des lipides pour transférer des gènes dans les cellules de mammifères.

Un gène est déficient dans les cellules d'un organisme, et c'est la maladie. L'administration d'un médicament est la méthode la plus expéditive pour pallier alors les carences de l'organisme. C'est ainsi que l'on traite aujourd'hui le diabète par administration d'insuline. Toutefois, afin de traiter le mal à la

racine, de nombreux laboratoires tentent d'insérer le gène déficient jusque dans le noyau de cellules, à l'aide de virus : ces derniers disposent de molécules qui leur permettent de s'introduire dans les cellules, dont ils utilisent la machinerie biosynthétique pour faire fabriquer leur propres molécules de protéines. On insère dans ces virus le gène désiré et l'on élimine les gènes dangereux : ces virus modifiés communiquent alors les gènes thérapeutiques en infectant les cellules. Toutefois les virus provoquent des réactions immunitaires et restent parfois toxiques ; en outre, les virus recombinants sont difficiles à produire.

L'autre voie, que nous testons, est celle des vecteurs non viraux, ou «inertes». On cherche des assemblages de molécules qui compactent l'ADN, masquent ses charges électriques négatives (qui bloquent la traversée de la membrane cellulaire, elle-même chargée négativement) et conduisent l'ADN introduit jusque dans le noyau.

À la fin des années 1980, plusieurs équipes américaines et européennes ont montré que des lipides chargés positivement facilitaient le transfert d'ADN à l'intérieur de cellules cultivées. L'utilisation des nouveaux vecteurs est facile : les



Un vecteur inerte composé de quatre molécules liées à l'ADN permet l'introduction de ce dernier dans le noyau de cellules et la synthèse de protéines codées par l'ADN introduit.

molécules d'ADN, mélangées à des molécules de lipides qui sont positivement chargées, forment spontanément des agrégats, sans doute en raison de l'attraction entre les lipides et les groupes phosphate de l'ADN, chargés négativement. Pour favoriser l'interaction de ces agrégats avec les membranes cellulaires, chargées négativement, on utilise un excès de lipides afin que les complexes lipides-ADN présentent un excès de charges positives.

Nous avons préparé un lipide à base de cholestérol comme partie hydrophobe, parce qu'il s'intègre bien dans les membranes cellulaires, dont il est d'ailleurs un des constituants. Nous l'avons chargé électriquement en lui greffant un groupe guanidinium, car cet acide faible conserve son atome d'hydrogène, et donc sa charge électrique, dans des milieux d'acidité variée : les capacités transfectantes du cholestérol lié au groupe guanidinium devaient ainsi être peu sensibles aux variations d'acidité dans les divers compartiments cellulaires traversés. Le groupe guanidinium se lie aux groupes phosphate de l'ADN.

Le lipide ainsi préparé et nommé BGTC peut être utilisé soit directement en solution micellaire dans l'eau (les micelles sont des agrégats sphériques que forment spontanément les molécules de lipides), soit sous la forme de liposomes avec une amine nommée DOPE, par

établissement de doubles couches qui se referment en sphères creuses.

Ces systèmes chimiques inertes ont efficacement transporté le gène de l'enzyme luciférase (qui permet une détection ultérieure des cellules «transfectées») dans une grande variété de cellules de mammifères, telles les cellules PC12, connues pour être difficiles à «transfecter» par les techniques classiques. L'équipe de l'unité INSERM U458 (Hôpital Robert Debré) a testé nos systèmes sur des cellules épithéliales primaires des voies respiratoires *in vitro* et *in vivo* : des liposomes BGTC-DOPE ont transféré un gène marqueur dans des cultures primaires de cellules respiratoires humaines et dans l'épithélium respiratoire de souris vivantes ; deux jours après l'administration des liposomes par instillation intratrachéale, des cellules possédant le gène marqueur ont été détectées dans l'épithélium de surface et dans les glandes sous-muqueuses de l'épithélium trachéal. La vectorisation pourra être améliorée, car les complexes lipides-ADN introduits dans les cellules se retrouvent dans des organites nommés endosomes, puis dans les lysosomes, qu'ils doivent quitter sous peine d'être dégradés par les enzymes des cellules. À un certain stade, l'ADN doit aussi se débarrasser des lipides pour accéder au noyau.

Jean-Pierre VIGNERON
Laboratoire de chimie des interactions
moléculaires, Collège de France

Les feuilles de coca

Les Boliviens qui mâchent des feuilles de coca sont plus résistants.

Les autorités politiques boliviennes sont confrontées à un dilemme : pour lutter contre les trafiquants de cocaïne, doit-on interdire toute culture de coca, même celle qui est destinée à la consommation traditionnelle ? Trente pour cent des Boliviens mâchent des feuilles de coca, leur attribuant des vertus thérapeutiques. Les autorités, qui veulent lutter contre les narcotrafiquants sans léser les consommateurs traditionnels, ont voulu savoir s'il s'agit d'une simple habitude culturelle ou si mâcher des feuilles de coca a des conséquences physiologiques réelles. Michel Sauvain et ses collègues de l'ORSTOM et du CNRS, en collaboration avec des biologistes de l'Ins-

titut bolivien de biologie d'altitude (Université de La Paz), ont montré qu'une consommation chronique de feuilles de coca augmente l'endurance.

La Bolivie est divisée en trois zones : une zone réservée à la production de feuilles destinées à la consommation traditionnelle, une zone de production «excédentaire» où la culture, illégale, est commercialisée par les trafiquants et le reste du territoire bolivien où la culture est interdite.

D'après les restes de feuilles de coca que l'on a retrouvés dans les tombes de la côte du Pacifique, il y a plus de 4 000 ans que les habitants de la cordillère des Andes consomment de la coca. Quand les mines d'étain, puis d'argent des hauts plateaux boliviens, situées à plus de 4 000 mètres d'altitude, étaient encore exploitées, les conditions de travail des mineurs étaient particulièrement éprouvantes. Ils consommaient des quantités notables de feuilles de coca, assurant que cela augmentait leur capacité de travail. Aujourd'hui, les Boliviens continuent à en consommer

avant les travaux pénibles, les travaux des champs ou dans les mines, par exemple, ou dans les grandes occasions de la vie sociale. La consommation commence vers 25 ans, souvent à l'occasion du mariage. Ce sont surtout les hommes qui en consomment.

Pour distinguer les effets psychotropes de la coca des effets physiologiques, M. Sauvain et ses collègues ont mesuré divers paramètres physiologiques chez des mâcheurs traditionnels de feuilles de coca, et les ont comparés à ceux des non-mâcheurs vivant dans les mêmes conditions. Ils ont étudié une soixantaine de Boliviens des hauts plateaux, une trentaine de consommateurs réguliers de feuilles et autant de non-consommateurs. Les feuilles de coca mâchées libèrent des alcaloïdes, dont le principal, la cocaïne, est un anesthésiant (lorsque l'on mâche ces feuilles, la bouche, anesthésiée, est insensibilisée). Aussi, la consommation de feuilles de coca soulage-t-elle notamment les maux d'estomac. Les alcaloïdes passent dans le sang, absorbés en par-

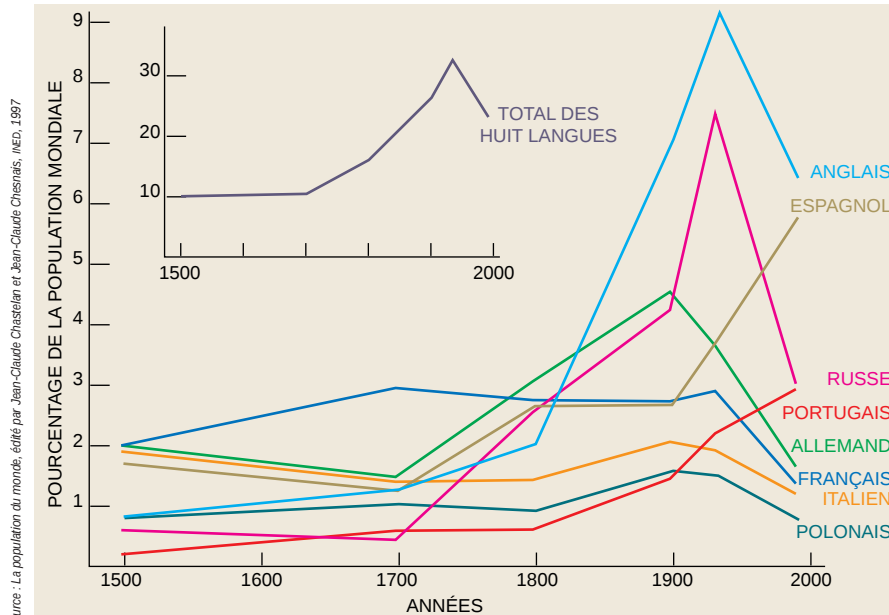
Les langues européennes dans le monde

La moitié des douze langues les plus parlées dans le monde sont d'origine européenne. Sauf pour l'espagnol et le portugais, leur part est toutefois en déclin, tempéré par un usage comme secondes langues de communication.

Jusqu'au XVIII^e siècle, la langue maternelle de dix pour cent de la population mondiale figurait parmi huit langues européennes (anglais, espagnol, russe, portugais, allemand, français, italien et polonais). La part mondiale de ces langues

a augmenté progressivement grâce à l'augmentation de la population de leurs pays d'origine et à leurs expansions coloniales. Entre 1700 et 1935, le nombre de leurs locuteurs a été multiplié par dix : en 1935, un habitant de la planète sur trois parlait l'une de ces huit langues. L'anglais, le russe, l'espagnol et le portugais ont le plus progressé. Aujourd'hui, le recul démographique en Europe et en Amérique du Nord s'accompagne du recul de ces langues (dont le nombre absolu de locuteurs continue toutefois de croître).

Sur les 3 000 langues parlées dans le monde, douze seulement suffisent pour communiquer avec la moitié des hommes. Elles se répartissent en quatre groupes de tailles décroissantes. Le chinois (mandarin) vient largement en tête, avec 800 millions de locuteurs. Il est suivi de l'anglais, de l'hindi-ourdou et de l'espagnol, avec 300 à 350 millions de locuteurs chacun, puis du bengali, du russe, du portugais, de l'arabe et du japonais, avec 125 à 170 millions de locuteurs. Un dernier groupe de langues, comptant 50 à 90 millions d'individus chacune, est formé de l'allemand, du français, de l'italien, de l'ukrainien et de l'indonésien-malais. La prise en compte de l'usage comme seconde langue de communication modifie légèrement ce classement : le français passe ainsi de 75 à 135 millions de locuteurs, et l'indonésien-malais de 50 à 190 millions.



La pratique des huit principales langues européennes a augmenté jusqu'à la moitié du xx^e siècle, avant de chuter. Seuls l'espagnol et le portugais continuent de progresser.

RAPHO-M. BERTHETTI



Marchande de feuilles de coca sur un marché de Bolivie.

tie par les gencives et en partie par le tube digestif. La concentration en cocaïne est très inférieure à la concentration obtenue par inhalation ou par injection.

Une faible concentration chronique de cocaïne dans le sang a-t-elle des conséquences physiologiques ? Des études menées il y a une trentaine d'années semblaient montrer que la feuille de coca était un agent coupe-faim. La nouvelle étude a montré qu'il n'en est rien : les personnes étudiées, qu'elles mâchent ou non des feuilles de coca, ont des tailles et des poids comparables. Aucune n'est dénutrie.

Les personnes qui participaient à l'étude devaient pédaler sur une bicyclette de laboratoire. Les consommateurs de coca mâchaient des feuilles environ une heure avant le début de l'expérience, pour que l'effet soit maximal. Les biologistes ont mesuré la consommation d'oxygène, le rythme cardiaque, la concentration en oxygène dissous dans le sang, la concentration en adrénaline et en noradrénaline, en glucose, en insuline, en glucagon (qui dégrade l'insuline) et en acides gras libres

produits pendant l'effort. La consommation d'oxygène était enregistrée soit pendant l'effort maximal (on demande au participant de pédaler aussi vite qu'il le peut), soit pendant un effort prolongé, moins intense, pour évaluer l'endurance du sujet.

Chez les consommateurs réguliers de feuilles de coca, la consommation d'oxygène est plus faible (elle augmente surtout moins vite) durant un effort prolongé que chez les non-consommateurs. Par ailleurs, les dosages du glucose ont montré que son métabolisme est optimisé : sa concentration dans le sang est constante, tandis qu'elle varie chez les non-consommateurs (elle baisse après les repas).

En raison de l'usage traditionnel des feuilles de coca, l'Organisation des Nations unies autorisait une culture légale de feuilles de coca jusqu'à ces dernières années. L'étude de l'ORSTOM et de l'Université de La Paz a montré que cette consommation améliore l'endurance. L'avenir de la culture de la feuille de coca pour un usage traditionnel dans les pays andins dépendra en partie de ces nouvelles données.

Chant meurtrier

Une pie-grièche attire ses proies en imitant leur chant.

Les marins antiques, séduits par le chant magique des sirènes, dirigeaient leur navire vers leur île ; ils n'apercevaient que trop tard les récifs sur lesquels ils s'échouaient, et périssaient noyés. De la même façon, plusieurs petits passereaux, attirés par le chant de la pie-grièche grise, qui imite les leurs, y laissent la vie.

La pie-grièche grise (*Lanius excubitor*) est un oiseau carnivore, au bec crochu comme celui d'un rapace. En hiver, une part importante de son alimentation est constituée de passereaux plus petits : bruants, chardonnerets, tarins, rosélins ou étourneaux. À cette période de l'an-

née, le chant de la pie-grièche est varié et mimétique : mâle et femelle, qui chantent tous les deux, imitent des portions de chant, des cris d'alarme et de demande alimentaire de leurs proies.

Eric Atkinson, de l'Université de l'Idaho, a diffusé ces imitations en milieu naturel à l'aide d'un haut-parleur, ainsi que le chant d'un merle, et un bruit « blanc » (analogue au bruit de fond du haut-parleur). Il a ainsi vérifié que seuls les cris de la pie attirent les petits passereaux. Ces derniers s'approchent plus vite et plus près du haut-parleur, et en plus grand nombre, que lorsque les autres sons sont émis. Cette tromperie de la pie-grièche augmente ses chances de capture : plusieurs attaques réussies ont été observées après des imitations.

Catherine PERRIN



Ph. Prigent/Jacana

Défense du territoire

Nous défendons notre espace, même sur les parkings.

L'automobile intéresse les anthropologues : elle révèle la vraie nature de l'homme. Un individu bien élevé placé au volant d'une automobile se transforme en défenseur acharné de son territoire. D'Artagnan provoquait en duel en souffletant ses adversaires. Aujourd'hui, il suffit de se rabattre devant une autre voiture sur l'autoroute pour défier et offenser un congénère automobiliste. Même à l'arrêt sur un parking de supermarché, haut lieu d'interactions sociales en cette fin de xx^e siècle, nous exprimons des instincts territoriaux, quand bien même l'espace que nous occupons n'a guère de valeur.

Selon Barry Ruback, de l'Université de Pennsylvanie, une place de parking est un territoire du troisième type : nous ne le pos-



sédons que temporairement, le temps de réaliser une activité prédatrice, après laquelle son occupation est inutile. Les territoires du premier type sont les lieux essentiels à notre vie, tels notre logement ou notre bureau. Les territoires du second type sont ceux que nous occupons régulièrement, telle une table d'habitué au restaurant : quand nous y sommes, personne ne vient nous la disputer.

À quelle vitesse le détenteur d'une place de parking abandonne-t-il son droit temporaire de propriété après qu'il a fait

ses achats ? La défense de ce territoire est contre-productive : le prédateur n'a, en principe, rien de plus pressé que d'abandonner le lieu de sa chasse et de rapporter ses proies chez lui. Pourtant, alors que nous mettons 32 secondes en moyenne pour quitter une place, nous ajoutons sept secondes lorsqu'un autre véhicule attend pour s'y installer.

Une partie de cette majoration proviendrait de l'anxiété, qui diminue, nous le savons, les performances dans des tâches où nous devons insérer des objets dans des espaces étroits ou les enlever. Toutefois, une réaction de défense intervient aussi. Elle est clairement révélée par une autre mesure : nous occupons la place douze secondes de plus lorsque le conducteur qui attend de nous remplacer actionne son avertisseur sonore. Toute tentative d'empiètement sur notre liberté provoque une réaction négative.

La civilisation ne supprime pas nos réactions primitives : elle les transforme. Alors, tournons sept fois la main autour de l'avertisseur pendant 12 secondes avant de klaxonner.

Oscillations du Pacifique

Les mécanismes du phénomène El Niño.

Voulez-vous jouer en bourse sur les valeurs des denrées alimentaires ? Alors scrutez les rapports des météorologues qui analysent les courants dans le Pacifique. Dans cette partie du monde, le phénomène nommé El Niño perturbe le climat mondial jusqu'au cœur de l'Afrique : on vient de démontrer que les récoltes de maïs au Zimbabwe sont réduites après les épisodes El Niño les plus marqués.

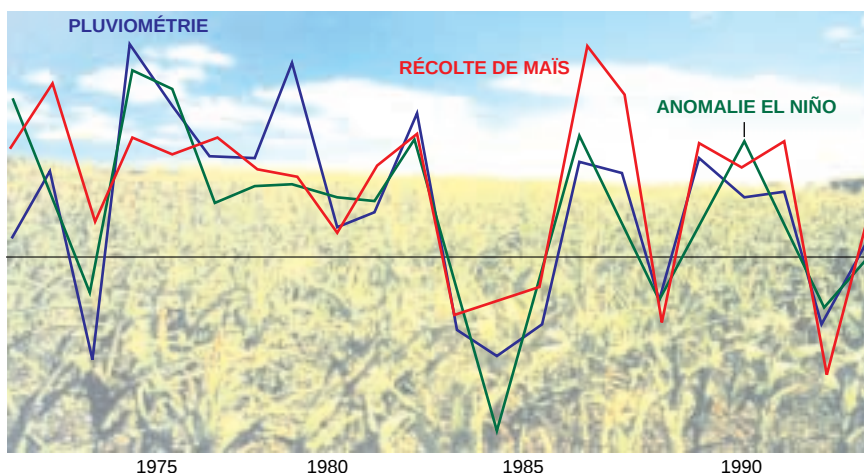
Tous les trois à quatre ans, des pluies diluviennes s'abattent sur les côtes habituellement désertiques du Pérou et de l'Équateur ; les glaciers andins fondent, l'Afrique du Sud et l'Australie souffrent de sécheresse, les tempêtes font rage sur la côte Ouest des États-Unis, de la Polynésie... Comment se déclenchent ces anomalies climatiques récurrentes ? Le mécanisme responsable du phénomène semble être une instabilité des échanges entre l'atmosphère et l'océan, dans le Pacifique central.

On comprenait mal les causes de l'alternance entre des phases de réchauffement, les «épisodes El Niño», et des phases de refroidissement, nommés «épi-

sodes La Niña». On savait que les variations thermiques s'accompagnent d'une oscillation des pressions atmosphériques, entre la Polynésie française et le Nord de l'Australie, ce qui modifie le régime des vents et des courants, le long de l'équateur, mais pourquoi l'immense masse d'eaux chaudes (à une température supérieure à $28,5^{\circ}\text{C}$) qui occupe l'Ouest du Pacifique équatorial se déplaçait-elle ?

À partir d'observations du satellite franco-américain *Topex Poseidon* et de mesures atmosphériques et océanographiques effectuées par quelque 70 mouillages répartis dans le Pacifique, Joël Picaut, Yves du Penhoat, Thierry Del-

croix et François Masia, de l'ORSTOM, ont montré que les épisodes El Niño ont lieu quand le bord Ouest du réservoir d'eau chaude se déplace vers l'Est, à la faveur d'un accroissement des vents d'Ouest, dans le Pacifique Ouest, et de l'affaiblissement des alizés dans le Pacifique central. Les phénomènes s'amplifient mutuellement : l'affaiblissement des alizés résulte lui-même du déplacement du réservoir d'eau chaude, parce qu'ainsi la zone principale de convection se décale dans l'atmosphère (l'air chaud monte par convection au-dessus des eaux chaudes), ce qui amplifie les anomalies de vent et les anomalies de courant.



L'intensité du phénomène El Niño (par rapport à la moyenne, en vert) perturbe les précipitations au Zimbabwe (en bleu) ainsi que la production du maïs (en rouge).