

Horloge équatoriale

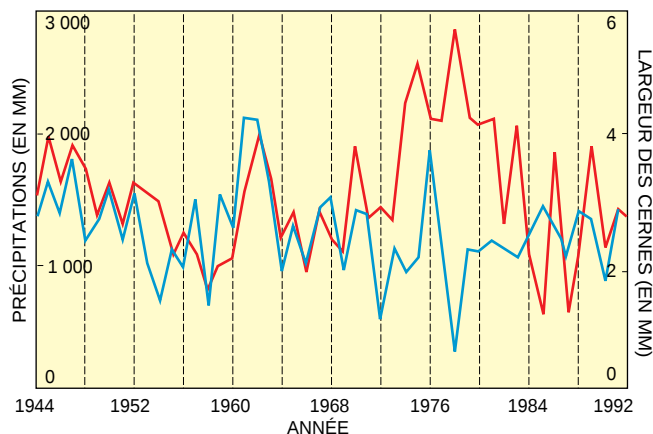
On étalonne l'âge d'un arbre d'Afrique équatoriale grâce aux précipitations.

Comment sait-on que la forêt avance ou recule ? En datant les arbres : une lisière constituée d'arbres jeunes marque une avancée de la frontière.

Dans les pays tempérés, l'alternance des saisons assure une croissance périodique des cernes des arbres : chaque printemps, après une phase de vie ralentie, un nouveau cerne se constitue. En identifiant et en dénombrant les cernes, on détermine l'âge de l'arbre. Dans les pays tropicaux, l'uniformité des saisons atténue la belle alternance des phases d'activité et de repos végétatif des arbres. Il en résulte des irrégularités de croissance des cernes, une datation plus délicate, et une impossibilité temporaire d'examiner les mouvements de la forêt. Pour progresser dans l'analyse, Christelle Belingard et ses collègues de l'Université de Marseille et de l'ORSTOM ont étudié l'okoumé, un arbre d'Afrique équatoriale. En comparant les données pluviométriques locales à la largeur des cernes, les chercheurs savent dater chaque cerne et examiner les évolutions de la frontière entre la forêt et la savane.

Ces chercheurs ont étudié quatre okoumés provenant de la lisière d'une forêt du Congo. La présence, dans la région, d'une saison sèche, fraîche et nuageuse de quatre à cinq mois permettait d'espérer une périodicité de la croissance des arbres. D'après les observations anatomiques, un cerne annuel d'okoumé se décompose en quatre parties. Un anneau clair ; un anneau sombre aux limites peu marquées, correspondant à la saison sèche principale (de juin à septembre) ; un second anneau clair plus fin que le premier ; une ligne sombre aux limites marquées correspondant à la courte saison sèche du début de l'année (décembre et janvier) et qui est la frontière du cerne annuel.

Les tranches d'arbres sont observées à la loupe binoculaire. Le décompte des cernes annuels s'est révélé difficile : comme les bords de l'anneau sombre sont souvent bien marqués, on peut confondre ce dernier avec la ligne sombre qui délimite le cerne annuel.



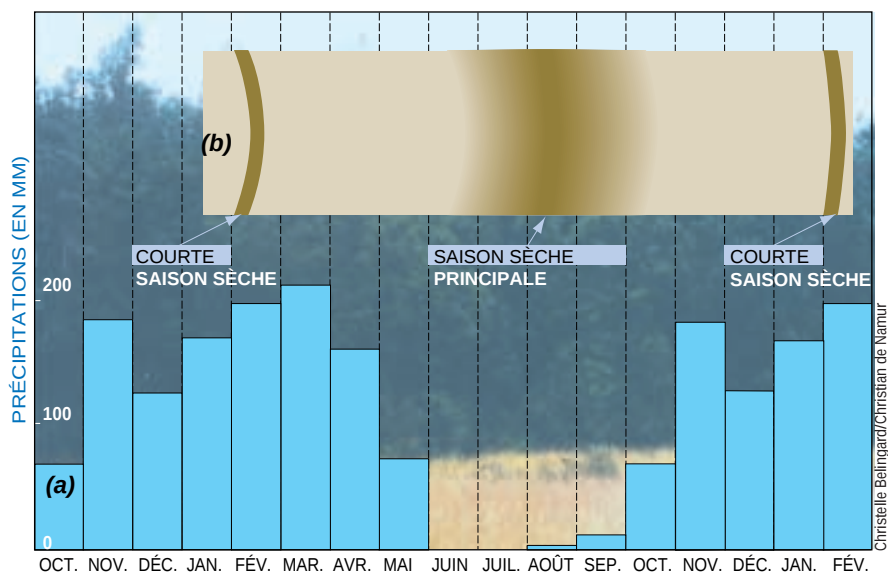
La largeur des cernes d'un okoumé (en rouge) est déterminée par la valeur des précipitations (en bleu) mesurées entre octobre et septembre de l'année attribuée à la formation de chaque cerne.

CERNES ET PLUVIOMÉTRIE

L'épaisseur de chaque cerne est reportée sur une courbe, en fonction de l'année attribuée à la formation du cerne. La comparaison des courbes montre que le synchronisme est mauvais : on ne peut faire coïncider, d'un arbre à l'autre, l'année de formation des cernes. En revanche, lorsque l'on compare la courbe de la largeur des cernes du plus vieil arbre à la courbe des précipitations annuelles enregistrées à la station météorologique de Pointe Noire (située à une centaine de kilomètres de la forêt), une concordance apparaît. La pluviométrie est un bon moyen de dater les cernes, donc les arbres.

Pour préciser quelle période de l'année favorise la variation de la largeur des cernes, on divise la séquence des précipitations en plusieurs périodes qui correspondent aux saisons et on compare la pluviométrie de ces périodes avec la largeur des cernes. La somme des précipitations comprises entre le mois d'octobre et le mois de septembre de l'année de formation du cerne donne la meilleure concordance. La quantité de pluie est ainsi le facteur qui limite la croissance radiale de l'okoumé : la dendrochronologie est applicable à l'okoumé dans les conditions climatiques locales, après comparaison avec des données pluviométriques.

Grâce à cette étude, les chercheurs ont daté des okoumés situés en bordure de la frontière avec la savane. On remarque d'abord que l'âge des arbres augmente à mesure que l'on s'éloigne de la lisière, ce qui est interprété comme une avancée de la forêt sur la savane. L'âge de l'okoumé le plus vieux, situé à 75 mètres à l'intérieur de la forêt, est de 69 ans. Dans cette région, on estime donc la vitesse d'avancée de la forêt à une centaine de mètres par siècle. □



L'alternance de saisons sèches et de saisons des pluies, visible sur l'histogramme des précipitations (en bleu (a)), est responsable de la formation de cernes dans un tronc d'okoumé (b).

La musique pour les paroles

L'intonation de la parole aide les bébés à apprendre leur langue maternelle.

Comment apprenons-nous à parler ? Comment les bébés isolent-ils des mots enchaînés dans des phrases ? L'intonation de la parole est un élément clé : elle découpe les phrases en groupes de quelques mots. Dès les premiers jours de notre vie, nous percevons les différences d'intonation qui marquent ce découpage : nous pouvons alors commencer à apprendre les mots et la structure de notre langue maternelle.

Comment apprenons-nous un mot ? Avant que nous découvriions son sens en confrontant les diverses situations dans lesquelles nous l'entendons, nous devons le distinguer des autres mots des phrases. Cette distinction n'est pas aisée : les mots parlés ne sont pas tous séparés par des silences, comme les mots écrits le sont par des espaces blancs.

Selon certains psycho-linguistes, lorsque nous entendons une phrase, au lieu de la découper en mots, puis d'identifier les mots et de retrouver leur sens, nous essayons plutôt, à chaque

instant, d'identifier tous les mots qui pourraient se trouver dans cette phrase. Par exemple, en entendant « chat grincheux », nous envisageons, un court instant, la possibilité que nous ayons entendu le mot « chagrin ». Nous ne décidons des mots que nous avons réellement entendus qu'après l'audition de la syllabe « cheux », dont nous savons qu'elle ne constitue pas un mot en français, alors que « chat » et « grincheux » existent tous les deux.

Ce modèle n'est pas universellement accepté. En outre, les bébés, qui ne connaissent pas encore les mots de leur langue, ne peuvent faire la même analyse. En revanche, ils perçoivent un premier niveau de découpage de la phrase, fondé sur l'intonation de la parole. Lorsque nous prononçons une phrase, nous regroupons les mots en petites unités d'intonation, qui possèdent chacune un contour mélodique (habituellement montant-descendant), avec un petit ralentissement du tempo sur la fin. Chaque unité contient un ou

deux mots dits « de contenu » (les noms, les verbes et les adjectifs) et plusieurs mots ou éléments grammaticaux (articles ou auxiliaires).

MATI ET MA-TI

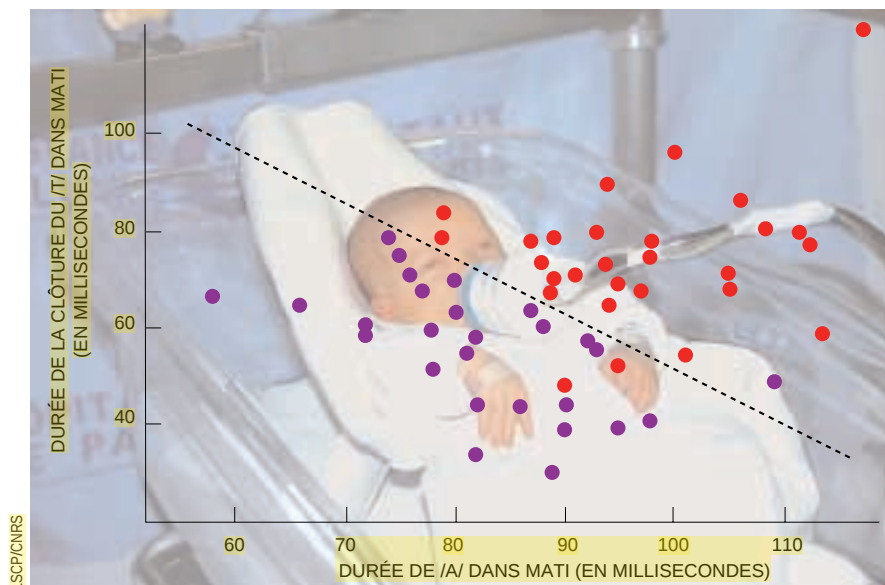
Nous avons fabriqué des « mots » bisyllabiques de deux catégories, tous homonymes à « mati » : dans une catégorie, ils chevauchent deux unités d'intonation, tel « mati » extrait de « panorama typique » ; dans l'autre, ils sont au milieu d'une unité d'intonation, tel « mati » extrait de « mathématicien ». Nous avons fait entendre ces « mati » à des nouveau-nés dont nous suivions l'intérêt par la méthode de succion non nutritive : un bébé entend un stimulus pour chaque succion qu'il fait sur une tétine reliée à un capteur de pression ; lorsque le bébé est lassé d'entendre toujours la même chose, l'intensité de la succion diminue. Les bébés auxquels on fait alors entendre des « mati » de l'autre catégorie recommencent à téter plus que ceux d'un groupe témoin auxquels on fait entendre toujours le même type de stimulus. Nous avons observé le même résultat en espagnol. Malgré l'homonymie, les bébés perçoivent la différence d'intonation.

Les unités d'intonation renseignent aussi sur la syntaxe de la langue, et même sur sa structure abstraite. La manière dont nous regroupons les mots en unités d'intonation, lorsque nous parlons, dépend en effet de la structure syntaxique des phrases : la limite entre deux unités d'intonation correspond toujours à une frontière entre deux constituants syntaxiques (par exemple, entre le sujet et le groupe verbal).

Les langues du monde constituent deux grandes familles : récursives à droite lorsque l'on ajoute des éléments à la fin des phrases (c'est-à-dire du côté droit, quand on écrit : « l'homme qui a vu le chien qui poursuivait le chat qui chassait l'oiseau »), et récursives à gauche dans le cas contraire (par exemple, le turc ou le japonais). La récursivité, présente à tous les niveaux de structure, est indispensable à toute analyse syntaxique. Elle se reflète dans l'intonation : à l'intérieur des unités d'intonation, le mot le plus accentué est à droite pour les langues récursives à droite, à gauche pour les langues récursives à gauche. La perception, par les bébés, des unités d'intonation ne peut donc que leur faciliter l'apprentissage des subtilités du langage.

Anne CHRISTOPHE

Lab. de sciences cognitives et psycholinguistique, CNRS-EHESS, Paris



La durée du /a/ et la durée de clôture du /t/ permettent de distinguer, parmi des mots bisyllabiques homonymes à « mati », ceux qui proviennent d'un seul mot (en violet), tel mathématicien et ceux qui proviennent de la jonction de deux mots (en rouge), tel panorama typique. Les nouveau-nés perçoivent cette différence d'intonation, qui facilite la compréhension du langage (ils le manifestent par l'intermédiaire d'une sucette à capteur de pression).

La mémoire des glaces du Groenland

CLAUDE BOUTRON

Les neiges et glaces du Groenland révèlent l'histoire de la pollution atmosphérique par les métaux lourds, de l'Antiquité à nos jours.

La pollution de l'atmosphère par les métaux lourds est une menace. À forte dose, certains d'entre eux sont toxiques. Ainsi les personnes qui ont absorbé une grande quantité de plomb souffrent de saturnisme, maladie qui se manifeste par de terribles douleurs abdominales, des diarrhées et des vomissements, une anémie et une atteinte du système nerveux... Les personnes excessivement exposées au mercure souffrent également d'atteintes du système nerveux. À doses inférieures, l'exposition prolongée pendant des siècles pourrait conduire à des altérations du cerveau humain et modifier l'évolution de notre espèce.

Cette dernière est pourtant responsable de cette pollution, car c'est principalement elle qui rejette les métaux dans l'atmosphère : à la fin des années 1960, les rejets de plomb étaient supérieurs à 400 000 tonnes par an, soit près de 50 fois les émissions naturelles (volcaniques notamment). Depuis quand cette pollution existe-t-elle ? Date-t-elle de la Révolution industrielle ?

Les neiges et glaces qui s'accumulent année après année dans les régions polaires sont d'extraordinaires archives de l'évolution passée de l'atmosphère : les isotopes de l'hydrogène et de l'oxygène, par exemple, livrent l'histoire du climat du passé ; les composés du soufre et de l'azote, ainsi que le dioxyde de carbone et le méthane des bulles d'air piégées dans les glaces ajoutent à la connaissance de notre atmosphère.

Année après année, les glaces et neiges des régions polaires ont également conservé la mémoire du plomb, du cuivre ou d'autres métaux qui étaient

présents dans l'atmosphère ancienne. L'analyse des concentrations en ces métaux, dans les glaces polaires, permet donc de reconstituer l'évolution des pollutions du passé. Elle a montré que la pollution par les métaux existait déjà il y a plusieurs milliers d'années, lors de l'apogée de l'Empire romain, sur tout l'hémisphère Nord.

De nouvelles carottes

Les couches de neige et de glace déposées au fil du temps dans les régions centrales du Groenland racontent l'histoire, tant ancienne que récente, de la pollution atmosphérique : les métaux que les rejets naturels ou anthropiques introduisent dans l'atmosphère sous la forme de fines particules sont transportés par les masses d'air jusque dans les régions polaires, où elles se retrouvent incluses dans les neiges et dans les glaces.

Une partie de ces particules se dépose sur les calottes polaires : certaines servent de germes de condensation dans les nuages, d'autres sont incorporées dans les flocons de neige au cours de leur descente vers le sol, et d'autres encore retombent par simple sédimentation. Ces particules prises dans les neiges et glaces polaires s'enfoncent lentement, à mesure que de nouvelles couches de neige se déposent. L'épaisseur des couches annuelles de neige est variable ; au centre du Groenland, elle est de l'ordre de 40 centimètres près de la surface.

Disposant d'échantillons de ces neiges et de ces glaces, peut-on en tirer l'histoire de la pollution en métaux

lourds ? Il y a près de 25 ans, Clair Patterson et ses collègues de l'Institut de technologie de Californie ont obtenu les premiers résultats sur l'évolution des concentrations en plomb dans les neiges et dans les glaces du Groenland. Pourtant, c'est seulement depuis 1989 que ces archives ont été exploitées méthodiquement. Les campagnes européennes de carottage EUROCORE et GRIP (l'acronyme de *Greenland Ice Core Project*, soit « Programme de carottage glaciaire au Groenland ») ont livré plusieurs carottes prélevées au site nommé Summit. Ce site, qui se trouve au centre du Groenland, par 72°34' Nord et 37°37' Ouest, est à une altitude de 3 238 mètres, soit environ à 3 000 mètres au-dessus du socle rocheux.

Nous avons étudié deux carottes d'une dizaine de centimètres de diamètre : la première avait été prélevée dans les 70 mètres supérieurs, tandis que la seconde était prise sur toute l'épaisseur de la calotte, de la surface jusqu'au socle rocheux, à 3 028 mètres de profondeur. La première couvre les deux derniers siècles, du début de la Révolution industrielle jusqu'à nos jours ; la seconde couvre plus de 150 000 ans, notamment les périodes de la Grèce et de la Rome antiques et du Moyen Âge.

L'eau la plus pure de la planète

L'analyse des métaux dans de telles carottes se situe aux limites actuelles de la chimie analytique de pointe. Les glaces polaires constituent en effet l'eau la plus pure de la planète : les métaux lourds n'y sont présents qu'en concen-