LE COURRIER DU CNRS

DOSSIERS SCIENTIFIQUES

SCIENCES COGNITIVES

Études théoriques et recherches expérimentales joignent leurs efforts pour comprendre le fonctionnement du cerveau et de l'esprit et concevoir des moyens artificiels pour amplifier les pouvoirs de l'intelligence.

N°79 - 50F - OCTOBRE 1992

CNRS CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

MODÈLES MORPHODYNAMIQUES DE CATÉGORISATION PHONÉTIQUE

Pour comprendre les rapports entre le signal acoustique, physique, et le code phonologique, symbolique, il faut disposer de modèles morphodynamiques des niveaux cognitifs intermédiaires.

MORPHODYNAMIC MODELS OF PHONETIC CATEGORIZATION - In order to mathematically understand categorization phenomena in phonetics, it is first necessary to understand how continuous variations of articulatory parameters and acoustic cues can produce qualitative discontinuities at perceptual level. Morphodynamic models of bifurcations can be used for this purpose.

Jean Petitot

L'un des problèmes les plus délicats des sciences cognitives actuelles est de passer du signal au code, c'est-à-dire d'articuler les algorithmes d'analyse sensorielle des signaux physiques, qui sont de bas niveau, avec les représentations symboliques effectuant les traitements de haut niveau de l'information. C'est, entre autres, le cas pour la compréhension des processus de traitement phonétique.

Comme dans de nombreux autres domaines cognitifs, il faut en particulier arriver à concilier deux types différents de conception du traitement de l'information : les conceptions ascendantes (*bottom-up*, du périphérique vers le central) et les conceptions descendantes (*top-down*, du central vers le périphérique).

Il semble difficile d'articuler ces deux conceptions si l'on ne dispose pas de niveaux intermédiaires de nature morphologique entre les transductions et les niveaux de traitement symboliques. D'où l'intérêt des modèles morphodynamiques, autrement dit des modèles dynamiques de structuration morphologique.

Formants, fonction de transfert et catégorisations

En ce qui concerne les modèles de production de la parole, on connaît assez bien, des travaux de G. Fant jusqu'à ceux de S. Maeda et R. Carré, la façon (non triviale) dont les paramètres articulatoires contrôlent la structure formantielle du spectre continu qui module le spectre harmonique produit par les cordes vocales. Les formants – qui sont les bandes de fréquence résonantes où s'accumule l'énergie – sont en effet dérivables des pôles de la fonction de transfert H(s) du tractus vocal ($s = \sigma + i\omega$ est une fréquence complexe, $\omega / 2\pi$ étant une fréquence et σ un facteur d'amortissement). Mais les coefficients C de H(s) dépendent de façon analytique non triviale des paramètres articulatoires W.

Comme l'a montré K. Stevens, le phénomène phonétique fondamental de catégorisation – qui fait passer de flux physiques continus à des unités symboliques discrètes – se fonde sur cette base physique. Il procède du fait que le contrôle articulatoire des spectres est non linéaire et qu'il existe des domaines où de petites variations du contrôle produisent de fortes variations des propriétés spectrales.

D'où l'idée que la catégorisation de l'espace des paramètres articulatoires W est l'analogue d'un diagramme de phases K – ce que l'on appelle en théorie des singularités une stratification – et que les phénomènes dits de perception catégorielle (qui attestent la réalité psychologique des processus de catégorisation) reposent sur des phénomènes critiques de type transitions de phases. La stratification K de W est un système de frontières, de seuils, de discontinuités qualitatives, qui partitionne W en domaines dont les régions centrales sont identifiables à des prototypes phonémiques. Cette idée conduit à utiliser, comme modèles mathématiques privilégiés pour les processus de catégorisation, des modèles morphodynamiques de bifurcation de formants sous l'action de paramètres de contrôle.

En fait, pour que cette idée soit valide, il faut qu'il existe une transformation auditive qui fasse passer du quantitatif au qualitatif, c'est-à-dire qui permette de transformer les phénomènes de non linéarité en de véritables phénomènes critiques, par exemple en transformant l'écart quantitatif "deux formants suffisamment proches" / "deux formants suffisamment séparés" en l'opposition qualitative "un formant" / "deux formants". Les expériences sur les "centres de gravité" formantiels ont montré que tel est bien le cas (cf. les travaux du groupe de Chistovich à Léningrad ainsi que ceux de l'ICP de Grenoble). Selon les résultats expérimentaux de J.-L. Schwartz et de ses collègues, il existe, entre la représentation auditive sensorielle de bas niveau (le signal) et les représentations phonétiques cognitives de haut niveau régissant les processus d'interprétation, de reconnaissance, d'inférence et de décision (le code), une représentation morphologique intermédiaire résultant d'un mécanisme d'intégration large bande (ILB) (convolution de la représentation auditive par un filtre gaussien).

Si l'on modélise alors les processus phonétiques de traitement de l'information issue de ce mécanisme ILB par des systèmes dynamiques implémentés dans des réseaux de neurones, les percepts phonétiques deviennent modélisés par des attracteurs de ces dynamiques, attracteurs contrôlés par les spectres continus. Les bifurcations des formants de ces derniers pilotent alors des bifurcations de ces attracteurs, ce qui permet d'expliquer les processus perceptifs de catégorisation.

Le problème inverse

Un tel schéma d'explication est valable pour les sons vocaliques stationnaires. Dans le cas d'un flux phonétique réel, de nombreux autres problèmes doivent être résolus. Citons en deux pour conclure.

1) La corrélation "dynamique articulatoire – flux acoustique – chaîne phonétique" est très difficile à analyser.

2) Le problème inverse de celui du contrôle articulatoire des spectres acoustiques n'est pas un problème bien posé. En effet, le contrôle articulatoire est exprimé par une application $\pi : W \to C$. Mais comme en général dim W > dim C, les fibres $\pi^{-1}(c)$ de cette application (images inverses des éléments c de C) sont de dimension ≥ 1. Il existe donc une infinité continue de valeurs des paramètres W donnant la même valeur des paramètres C. Pour résoudre le problème inverse, il faut donc introduire des contraintes supplémentaires a priori. Celles-ci sont difficiles à définir.

Jean Petitot, directeur d'études à l'Ecole des hautes études en sciences sociales, Centre de recherche en épistémologie appliquée (URA 1259 CNRS), Ecole polytechnique, 1, rue Descartes, 75005 Paris.