

PHILOSOPHIE ET MATHÉMATIQUES

LE CODE LINGUAL

par Boris RYBAK

séance du 27 janvier 1992

Séminaire de Philosophie et Mathématiques
Ecole Normale Supérieure
45, Rue d'ULM, 75 230 PARIS, Cédex

Pierre CARTIER, Maurice CAVEING, Maurice LOI, René THOM

Edité par l'IREM Paris-Nord

Université Paris XIII
Avenue J. B. Clément
93 430 VILLETANEUSE
☎ 49 40 36 40

N° 78

LE CODE LINGUAL

B. RYBAK*

Professeur émérite de Physiologie en Sorbonne

19, rue des Bernardins

75005 PARIS

Il y a cinq ans, je parlais ici même de l'ordre chaotique (1), concept énoncé en 1980 sur la base de l'aérodynamique des flux d'air phonatoires qui se présentent sous forme de turbulences - terme opératoire pour dire métaphoriquement chaos - de morphologie spécifique pour chaque son linguistique (ou phon); l'extension de ce concept que j'exprimais à cette époque concernait la topoélectronique (physique du solide sur solides à hautes déformations réversibles (2)) et les relations entre les nombres, formées en lois ou régularités constituant l'Arithmétique, au sein de l'espace numérique infini considéré comme gaz (=chaos) partout dense -, ce qui m'avait permis d'établir la relation $\pi/\sin 1$ qui donne la clé intrinsèque comme nouvelle constante universelle entre π arithmétique ($\pi_{ar} = 3,141592653\dots$) et π trigonométrique ($\pi_{tr} = 180$) (1) (3).

Mais, j'insiste sur le fait que cette mise en évidence première venait dans le cadre d'un réexamen des mécanismes de la phonation par des techniques métriques nouvelles. L'ensemble de ces techniques constitue ce que j'ai nommé la Phonique, qui se distingue de la Phonétique en ce sens que celle-ci, branche de la Grammaire, est une discipline descriptive macroscopique de la production de la parole, alors que la Phonique est la science physiologique, dans son aspect biophysique analysant la réalisation de la parole par des procédures, expérimentales corrélées à hautes définitions.

Fondamentalement, la Phonique est constituée de quatre techniques :

- 1 - la spirométrie des flux d'air phonatoires par un hygromètre original ayant un temps de réponse dans les millisecondes (technique VAP = "Ventilatory Analogic Phonetics" rappelant, par son sigle, l'utilisation comme paramètre d'une constante alvéolaire (A) qui est, précisément, $P_{A_{H_2O}}^{vap} = 47$ torr); cette vitesse de réponse permet par ce capteur proportionnel (opérant selon la loi de Dalton), par ailleurs linéaire, de fonctionner de façon simultanée avec un microphone, ce qui autorise une étude point par point des morphologies spécifiques aéro-acoustiques (2) (4).

* Conférence, Séminaire de Philosophie et de Mathématiques, ENS Ulm, Paris, 27 janvier 1992.

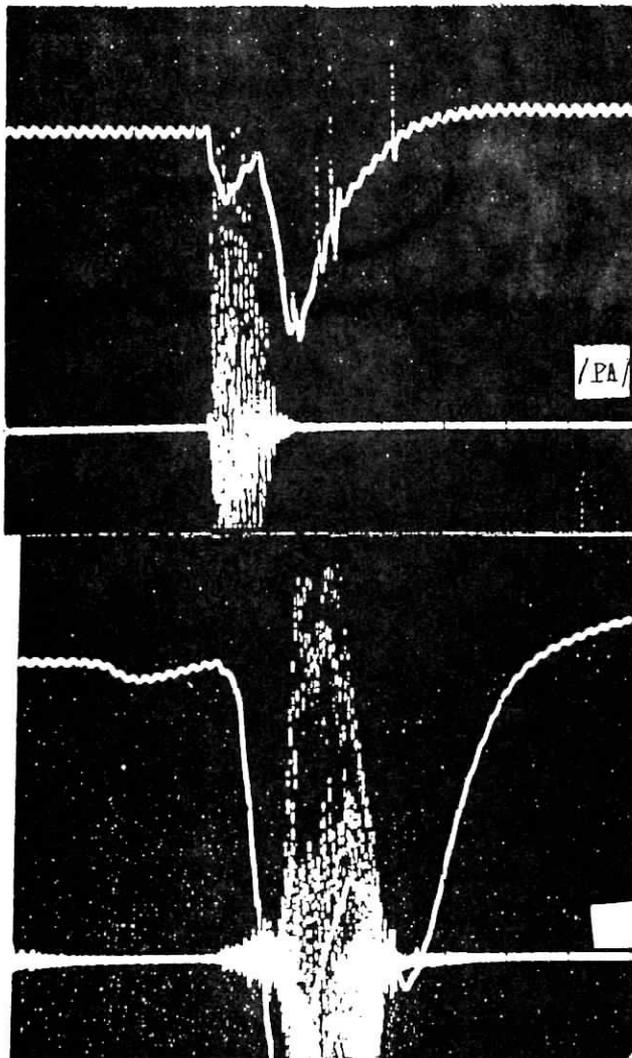
- 2 - la strioscopie interférentielle des flux d'air phonatoires externes qui présentent également des morphologies spécifiques pour chaque phon (5).
- 3 - la sonographie intrabuccale en cours de phonation, en plaçant le capteur en zone sous-maxillaire mylo-hyoïdienne; on capte ainsi des sections tomoscopiques de l'épaisseur de la langue où la partie dorsale de cet organe présente des homotopies transitoires formant canaux semi-ouverts de morphologie spécifique pour chaque phon (6) (10). Comme on peut le voir (Planche I) le capteur inverse à 180° l'image.
- 4 - la radiographie basse énergie (45kV, 1mA avec un filtre Al et un tube "Vidicon") permettant l'étude latérale et frontale de la zone pharyngo-laryngée, ce qui a mis en évidence les mouvements ascensionnels-descensionnels de la totalité de la glotte lorsqu'un haute-contre ténor, par exemple, passe en voix de fausset (les fréquences phoniques sont donc l'expression des fréquences in situ glottales - effet clarinette - et aussi des fréquences glottales translatives - effet trombone à coulisse) (7).

En somme, pour ce qui est des morphologies spécifiques engagées dans la production de la parole lingualisée, le microphone donne les oscillogrammes classiques en fréquence-amplitude qui constituent "le signal" traité de routine en télécommunication. Les technologies nouvelles que j'ai mises au point apportent donc deux "signaux" qui n'étaient pas connus jusqu'alors et qui présentent des morphologies spécifiques de tout autre type, soit : un "signal" ventilatoire d'élocution (saisi ici par VAP et par strioscopie interférentielle) et un "signal" de torsions dorso-linguales. Jusqu'à ces travaux, la parole-résultat n'était traitée par voie physico-mathématique qu'à partir de l'oscillogramme acoustique. La Physiologie s'est ainsi bien trouvée associée, comme Physiologie causale, dans sa définition de science des mécanismes des fonctions vivantes, par la mise en évidence des contributions morphodynamiques ventilatoires précises dans la production de la parole-résultat. Je me trouvais en présence toutefois d'un ensemble de données biophysiques dont je ne connaissais pas les corrélations, lesquelles devaient exister pourtant puisqu'une telle coïncidence de spécificité morphologique devait être non des hasards, mais des convergences.

Il faut noter en premier lieu que tous les phons ne sont pas lingualisés et qu'il y a des effets modificateurs intra-syllabiques (les voyelles modifient d'évidence le consonantique auquel elles sont associées intrinsèquement mais aussi dans un système phrastique par les liaisons, ce que font aussi les consonnes par rapport aux voyelles); de plus, l'aéro-acoustique, telle qu'elle est saisie par le système VAP-microphone, révèle les configurations fines corrélatives entre air et phon. Ainsi, la figure 1 montre la simultanéité de l'événement ventilatoire et acoustique pour le prononcé de la plosive /PA/ (lecture, comme toujours dans ce texte, de gauche à droite et en "AC"), alors que la figure 2 indique pour le prononcé de la fricative /FA/ une plus grande complexité, soit : il existe un flux d'air pré-phonique, mais associé à des trémulations de faible amplitude acoustique, suivi d'un phénomène simultané

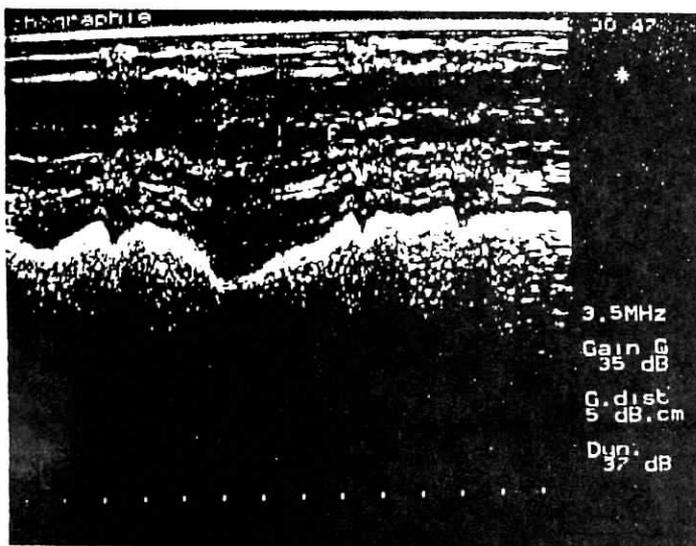
acoustico-ventilatoire, l'événement se terminant par un processus post-phonique (donc aphone) correspondant à une fuite d'air terminale à l'air strictement phonatoire. Ainsi, dans les tracés constitués de suites de phons, il faut tenir compte des élisions dans l'établissement simultané des correspondances entre les morphologies spécifiques observées. De plus, dans les configurations aériennes recueillies en VAP, il faut considérer que, à la suite des événements linguaux, il y a éventuellement des événements dentaux et labiaux, ce qui peut donner lieu à des jets d'air additifs s'ils sont sonorisés, au niveau du par le microphone. Enfin, il convient de noter que la vitesse du son, dans des conditions thermiques et de tension de vapeur d'eau variables, est, dans les différentes parties de l'appareil phonatoire, grossièrement de l'ordre de 330m/s, alors que la vitesse des flux d'air exhalés au cours d'une phonation est très variable d'un phon à un autre et, selon les modalités paramétriques, de l'ordre moyen de quelque(s) dizaine(s) de centimètres/seconde en anémométrie évolutive des turbulences externes.

Le fait capital de la phonation est lingual et, en conséquence, vont jouer de façon princeps les endomorphismes cinétiques de cet organe dans le procès langagier; or, celui-ci dépend du codage par potentiels d'action nerveux issu des zones cérébrales couplées de Wernicke et de Broca selon une vitesse d'élocution qui permet de prononcer dix phons par seconde, l'énonciation phonique impliquant de surcroît une stricte corrélation syntacto-lexicale qui s'effectue remarquablement en simultanéité conforme dans le domaine des millisecondes (c'est de cela qu'il faut pouvoir rendre compte; l'idéation du moteur informationnel - MIL (8) - est un début qui autorise la représentation ensembliste cinétique de cette construction énonciative). Au plan de la Biophysique de la réalisation de la parole, il faut considérer l'appareil phonatoire comme constitué de différenciations anatomiques rigides (palais dur, dents, maxillaire inférieur...) qui relèvent donc de la Géométrie et de différenciations anatomiques molles à homotopies corrélées (glotte - si importante -, voile du palais, langue, lèvres...) qui relèvent donc de la Topologie. A propos de la langue, la Phonétique ne considère que les macro-mouvements de positionnement intrabuccal. Or, la multiplicité des langues, dialectes, idiomes, patois, idiolectes..., laisse entendre que les procédures de spéciation acoustique, dans la phonologie tant ethno-culturelle qu'individuelle lors de prononcés différents, doivent dépendre de phénomènes plus fins. Le problème m'a paru notamment relever alors de l'imagerie quantitative telle qu'on peut la réaliser par échographie ultrasonore. Dès décembre 1980, en collaboration avec le Docteur Luftala, dans le Service de Cardiologie du Docteur Degeorges à Cochin, nous avons obtenu des résultats avec un "Multiscan" fonctionnant en mode "TM" (chronologique) à 3MHz (9). La figure 3 montre un type de résultats qui, à l'époque, m'étaient d'interprétation difficile (notamment les trois zones foncées dans les prononcés successifs de /PA/ , /TA/ et /KA/ se présentent avec des oscillations de morphologies peu significatives; autrement dit, la définition était insuffisante). J'ai alors recherché un appareil permettant une vidéo-échographie simultanée et une résolution plus nette et, ce, en mode "direct" (instantané). La planche I donne les résultats obtenus avec l'écho-analyseur "51B,



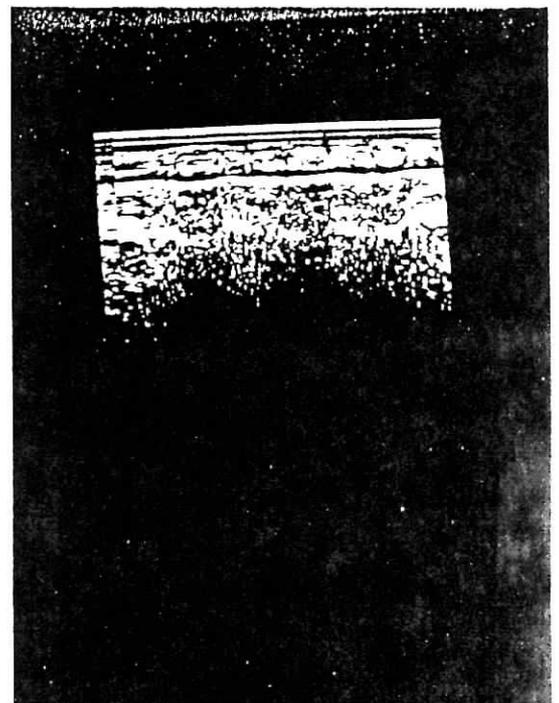
En haut: Figure 1, en bas
Figure 2; tracé supérieur:
air/VAI (50mv/div.), tracé
inférieur: microphone juste
VAI (0.0mV/div.); balayage:
100ns/div.

Fig. 3



/0.4 /2.4 /0.4 /0.4

Figure 4



↓ PA TA ↓ KA

Mark 100, ATL" à 3MHz pour différents prononcés élémentaires (10); le résultat fondamental est la mise en évidence de torsions linguales spécifiques pour chaque prononcé. A partir de ces résultats, j'ai pu revenir alors sur le mode "TM" en utilisant, en collaboration avec mon collègue B. Richard, son échographe travaillant à 3,5MHz. La figure 4 montre à titre indicatif l'allure des morphologies spécifiques de la langue au cours du prononcé successif en scansion de /PA/ /RI/ et de /PA/ /PA/. Ces résultats encourageants, qui s'ajoutaient à des impressions de corrélation aéro-acoustique vagues mais récurrentes au cours d'études exploratoires à l'oscilloscope, m'ont amené alors à examiner systématiquement ce qu'il en était de cette relation aéro-acoustique en mettant en oeuvre des oscilloscopes de précision ("Tektronix", "Gould", "Schlumberger"). On constate déjà (figure 5) que, dans des prononcés successifs phonologiquement distincts de /PA/ /PA/, existe une correspondance point par point entre les accidents formant les morphologies du tracé VAP (en haut) et les accidents formant les morphologies du tracé oscillo-acoustique simultané (1). Mais, et c'est où il y a dès lors un plus, la figure 6 montre que, par-delà ces correspondances ponctuelles flux d'air-fréquence acoustique, il se manifeste une induction de la morphologie globale du tracé ventilatoire sur l'enveloppe de l'oscillogramme microphonique (phon/E/). La figure 7 met en évidence que, dans la suite d'un prononcé continu de/LA CHASSE/ /LA PÊCHE/, les torsions canalaires transitoires de la partie dorsale de la langue - torsions qui peuvent être remarquablement pointues, du fait de l'innervation de cette zone linguale - forment des voies par lesquelles en transitant depuis les poumons, l'air se moule, emportant ainsi l'information morphologique (air codé) engendrée en zone dorso-linguale (tracé inférieur); le tracé intermédiaire situe les événements acoustiques correspondants. La figure 8 grossit les tracés de l'air codé et de l'oscillogramme acoustique correspondant au prononcé /BONJOUR MONSIEUR/. On constate que les accidents morphologiques de l'air codé engendrent la morphologie d'enveloppe en fréquence-amplitude de l'oscillogramme acoustique associé correspondant donc à la parole résultante. La figure 9 montre cette relation remarquable à plus fort grossissement pour le prononcé de /PRENDRE/ (l'oscillogramme a été coupé par section médiane pour permettre le cadrage sur l'oscilloscope) (10).

Le code lingual est la procédure linguo-aéro-acoustique qui indique comment l'oscillogramme acoustique de la parole est engendré, via les morphologies sub-macroscopiques linguales pour former le tracé oscillo-acoustique bien connu en télécommunications et dans les industries des enregistrements sonores.

En somme, il y a maintenant plusieurs "signaux" dans la causalité de la captation et de la production de la parole, les phénomènes neuro-aéro-linguaux représentant les vecteurs principaux de la chaîne de réalisation de la parole.

Comment cet air codé moule en quelque sorte l'oscillogramme acoustique correspondant ? C'est en agissant selon les gradients de pression au niveau de la zone sensible du microphone que celui-ci, capteur de pression, se manifeste par l'oscillogramme acoustique.

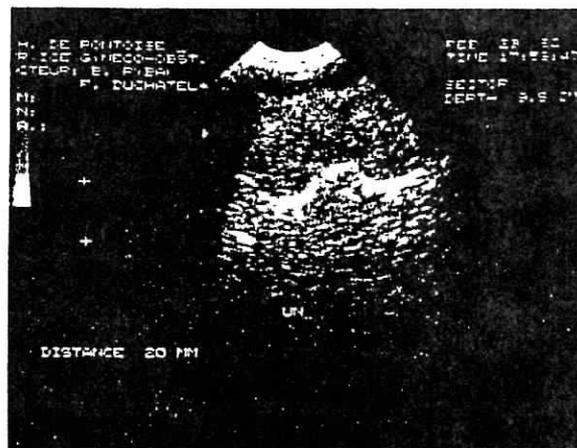
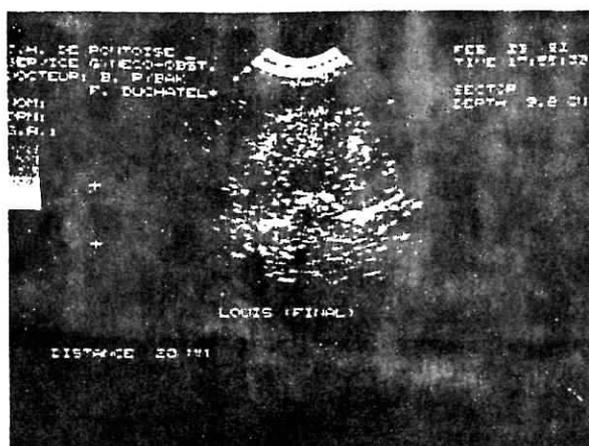
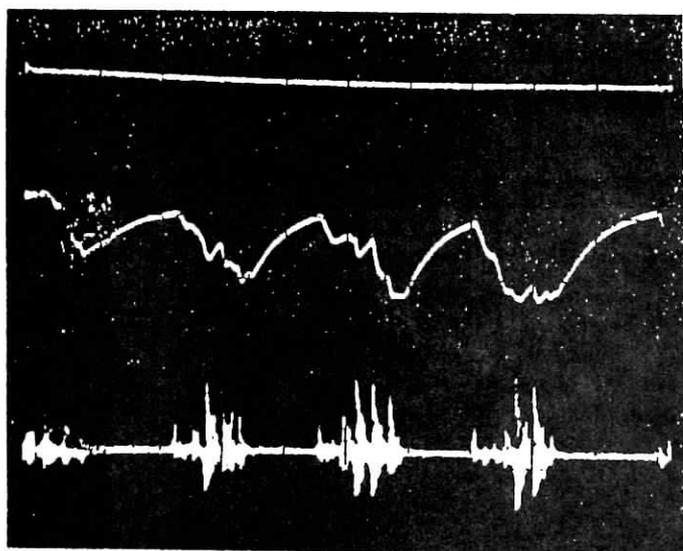


PLANCHE I



.../PA/PA/PA/PA)...

Figure 1 : nez/VAP (sup.),
10mV/div., bouche/VAP (mô)
2mV/div., microphone (inf)
1mV/div. (500ms/div.)

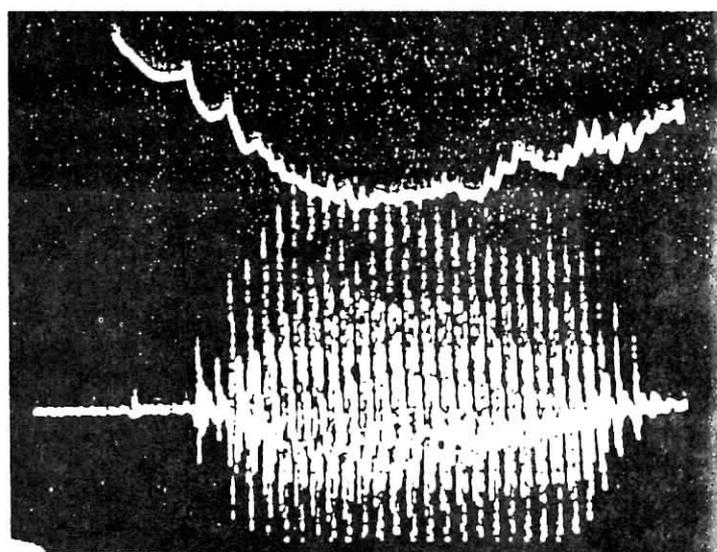
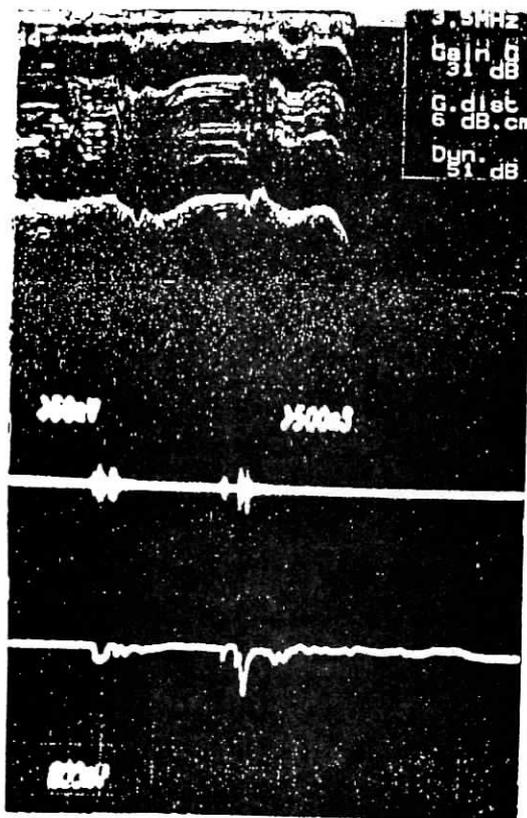


Figure 2 : VAI : 0mV/div.,
microphone : 5mV/div. (500ms/
div.)



Rykk

Echo

Micro

VAP

Figure 7

Le code lingual

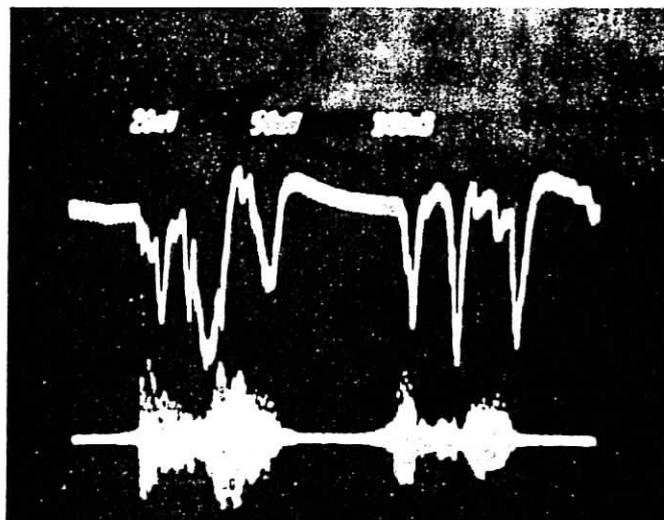


Fig. 8 prononciation de /Bonjour Monsieur/

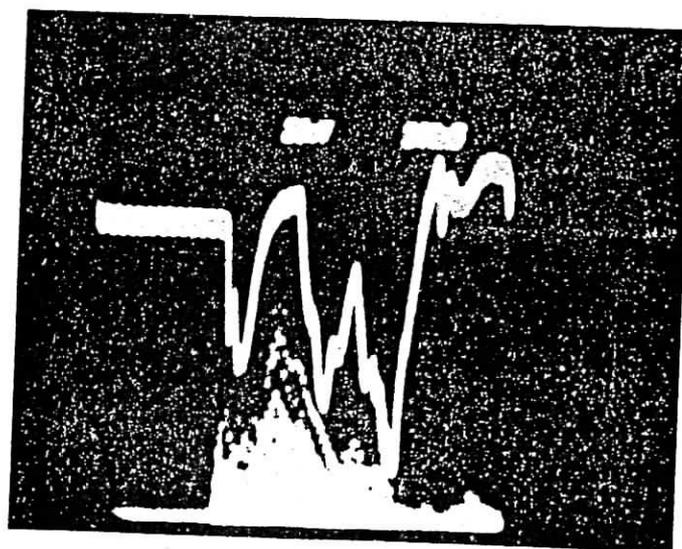


Figure 9

Soit donc l'impédance acoustique Z =pression (ou force F) vibromotrice $/V$ à considérer, et non en écoulement laminaire mais en écoulement turbulent où la vitesse vibratoire V apparaît selon $F=kV^2$. Précisons alors cette correspondance baro-électro-magnétique, en procédant à l'analyse par numérisation de l'oscillogramme microphonique. La figure 10 a été obtenue au cours d'une démonstration publique en Finlande (Tampere) en juillet 1989 avec un "Gould 1604" pour trois prononcés : /PA/ , /FA/ , /SA/ , ce, en enregistrement simultané VAP (bouche et nez)-microphone (l'enregistrement du flux nasal est intéressant à bien des égards et, ici, il permet d'évaluer des interférences ventilatoires aphones entre les cavités nasales et orales). On peut lire, indiquées avec précision, les correspondances entre l'air codé et l'oscillogramme acoustique qu'il engendre. La figure 11 établit la relation fine avec un oscilloscope "ENERTEC 5027 Schlumberger", du tracé de l'air codé et du tracé de l'oscillogramme correspondant pour le prononcé de /POPULAIRE/.

En termes de théorie des processus, la propagation des événements depuis le codage mécanique lingual s'effectue donc selon une suite d'automorphismes dont les aspects, en termes d'instrumentation, sont enregistrés par des capteurs différents de principe et de construction, de sorte qu'à partir de la captation des canaux de spécifications morphologiques dorso-linguaux par un capteur d'imagerie anatomique, l'information en homéomorphies ad hoc est saisie par un capteur ventilatoire et, enfin, l'impact de cet air codé sur la partie sensible du microphone en détermine les éléments d'extensivité (fréquence) et d'intensivité (amplitude) pour modeler l'enveloppe de l'oscillogramme, le microphone agissant comme capteur de pression.

En somme, il existe pour tous les Etres vivants un code génétique - combinatoire biochimique binaire purines-pyrimidines - et le code lingual - qui, seul, appartient à l'Homme dans sa fonction phonatoire - résulte, lui, d'une combinatoire biophysique d'endomorphismes n-aires aéro-linguaux. Ce qui est remarquable, c'est que cette information aérodynamique va se maintenir lors de sa dissipation externe sous forme d'une turbogénèse aérienne d'enveloppe spécifique pour chaque son linguistique.

Précisément, cette organisation d'enveloppe fait que l'ordre chaotique est constitutif de turbulences qui prennent, en bordure donc, une configuration distincte en chaque verbalisation. Cependant, ces turbulences dynamiques sont formées de vorticités. Par tomoscopie laser, j'ai pu en démontrer l'existence.

L'expérimentation a été conduite à l'ONERA (Châtillon) en collaboration avec Monsieur Michel Philbert et avec l'assistance de Messieurs Jean Lefèvre et Ajmal Kahn Mohamed.

Le dispositif d'éclairage par plan de lumière est un laser continu mono-raie à argon ionisé travaillant dans le vert à 514,5nm ("Spectra-Physics", de puissance maximale 1,4W); nous l'avons utilisé avec un faisceau de largeur de l'ordre de millimètre et à des

Figure 10

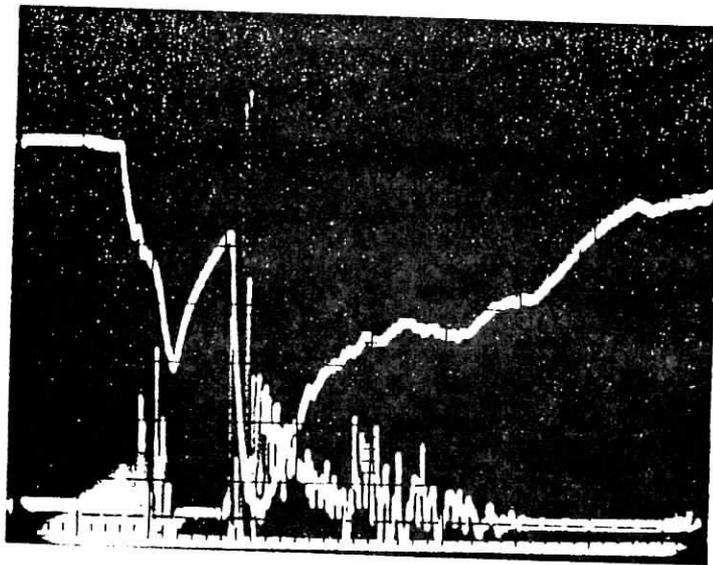
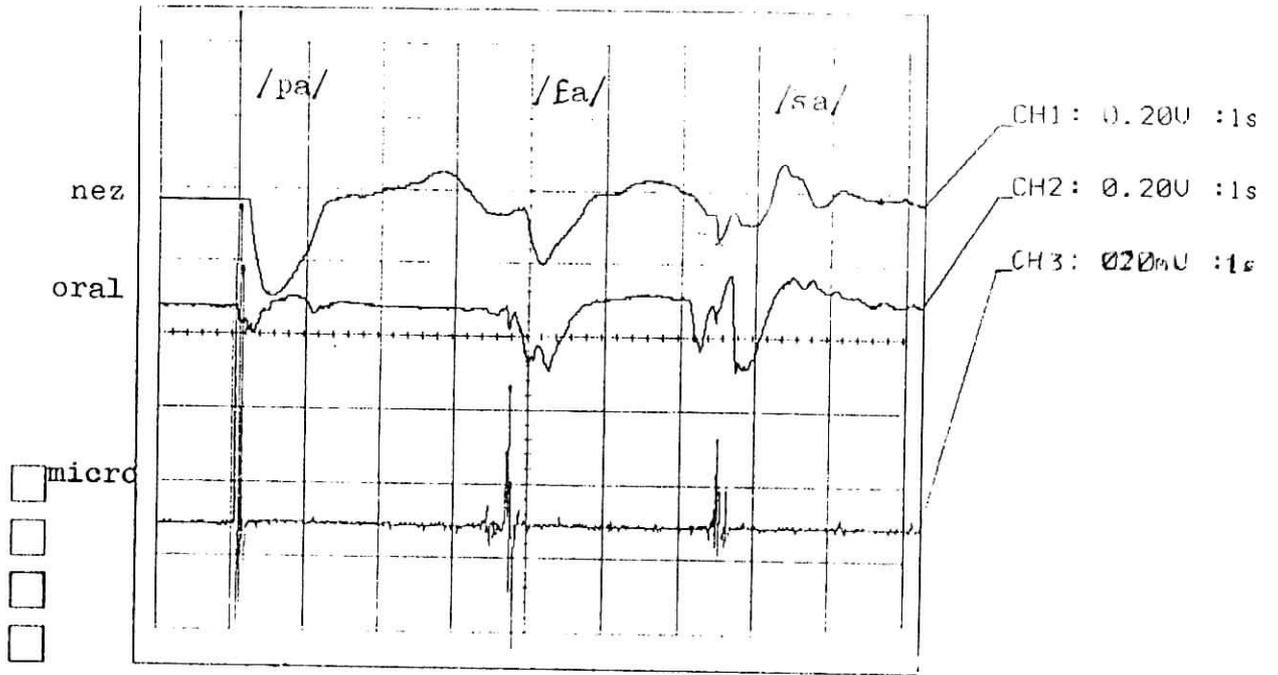


Figure 11 (100ms/div.)

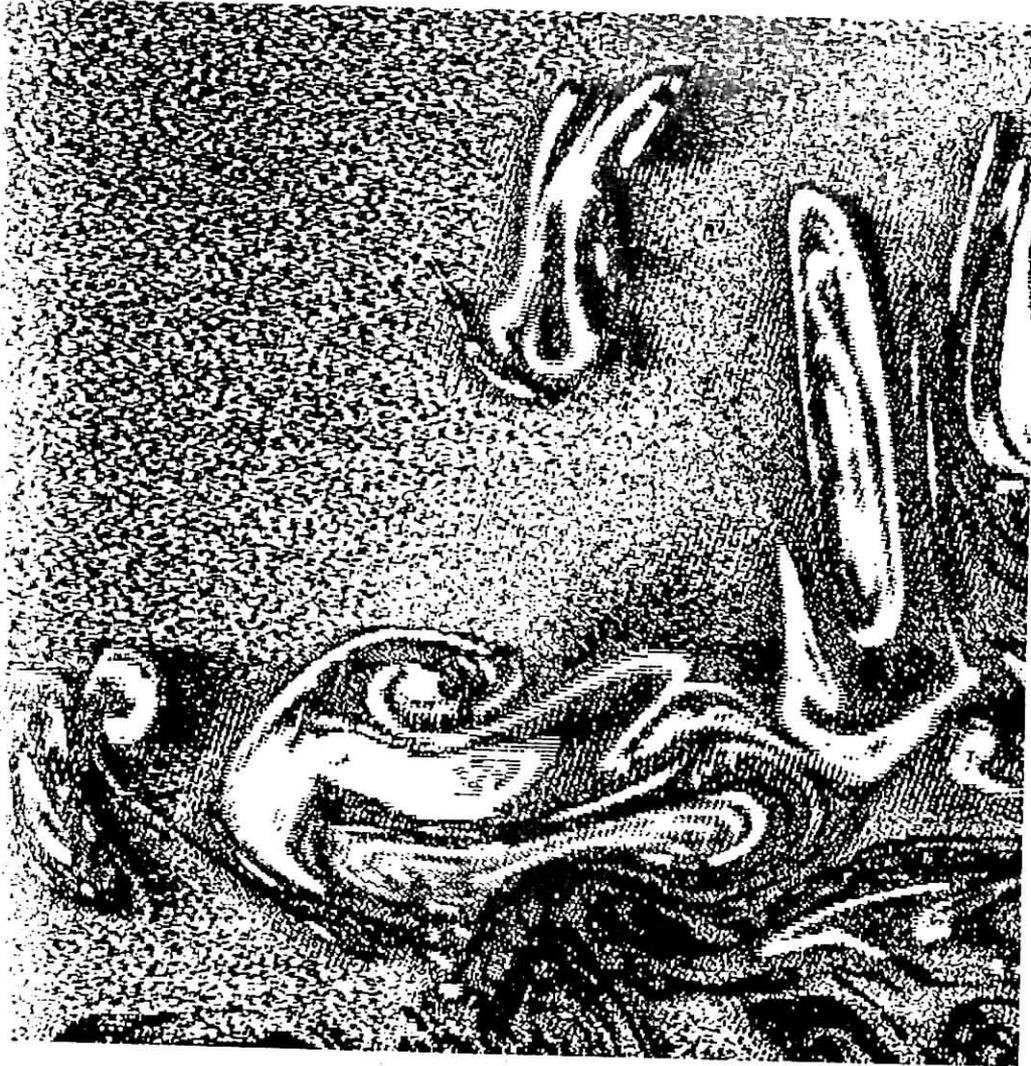
puissances allant de 0,2 à 0,6W. Les prises de vue ont été obtenues à l'aide d'un "Camescope vidéo 8 Sony TR55".

Pour la visualisation des écoulements aérodynamiques phonatoires, j'ai procédé à l'ensemencement avec de la fumée de texture plus ou moins fine provenant d'un cigare ou d'une cigarette, chaque prononcé se faisant à partir d'une charge intrabuccale de fumée.

Comme l'indique la figure 12 lors de la saisie du prononcé de /KA/, la découpe laser fait voir des structures hautement organisées que sont les vortex constitutifs de l'état turbulent. Ainsi, dans cette figure, la structure centrale en haut représente une coupe longitudinale d'un vortex, alors qu'immédiatement à sa droite se trouve une coupe transversale d'un puits de vorticités; les structures de la moitié inférieure de la figure montrent d'autres sections trans-vorticales et des segments de volutes et torsades. (traitement numérisé "Imaging Technology" USA; logiciel "Visilog" de chez Noesis, Canada; imprimante Hewlett-Packard "Painjet").

Ainsi, le codage lingual maîtrise un désordre formant un ordre chaotique pour produire un ordre supérieur, celui du Verbe. Cela fait ressortir plusieurs points : d'abord que la notion de désordre est une question d'échelle. Il faut noter déjà qu'un flux d'air ventilatoire témoin, aphone, présente des turbulences qui renferment des vorticités, c'est-à-dire que si, dans chaque morphologie globale, ils présentent un chaos quelconque - l'expiration ventilatoire non phonatoire pouvant se produire selon des voies fort multiples -, constitutivement la vorticité y existe; ce qui distingue un flux d'air phonatoire d'un flux ventilatoire, c'est qu'il est organisé comme morphologie d'enveloppe pour chaque phon et c'est là l'aspect immédiatement apparent de l'ordre chaotique, lequel doit donc s'exprimer en morphologie interne par une organisation des vortex qui, pour le cas parfait, doit être strictement déterministe... Ce sont là des travaux à venir. Pour l'instant, ce que je mets en évidence, c'est la double organisation - d'enveloppe ou extérieure et de vorticité ou intérieure -, l'ensemble constituant la description actuelle la plus explicite d'un ordre chaotique. La notion de désordre apparent - et en conséquence d'échelle d'ordres - doit d'ailleurs être comprise non comme une simple variance dans les propriétés d'un continuum homogène de morphologies faisant ordres; en effet, ce que montrent mes travaux, c'est que la notion d'ordre, comme celle de désordre, relève d'une première représentation approchée de loin qui, macroscopiquement donc, donne l'idée d'ordre (ou de désordre), mais de près - en pénétrant de façon de plus en plus microscopique dans la structure considérée -, on s'aperçoit que pour un désordre (a fortiori pour un ordre), de nouvelles structures organisées formant ordre existent (les vortex dans le cas qui nous occupe); or, en poussant plus avant l'analyse, on aboutirait à la structure même des atomes qui font ordre, associé à un nuage d'électrons... C'est là comme une suite d'ordres et de désordres, laquelle certifie la nécessité de toujours considérer le ratio ordre/désordre, qui représente une densité relative de l'un et de l'autre. Pour en rester au factuel du problème que je traite, il y a donc, en allant du macroscopique (global) au sub-macroscopique (régional), rencontre d'organisations

Figure 12



descriptibles faites d'observations distinctes. Le point sur lequel je voudrais insister, c'est que, comme la figure 12 nous le montre, les zones de déroulement qui forment un vortex sont constituées d'écoulements laminaires en spiralisations hélicoïdales. Donc, c'est bien cela : dans une turbulence phonatoire externe, il y a une organisation globale due à la topo-géométrie instantanée des différenciations anatomiques constituant l'appareil phonatoire et, en pénétrant dans cet ordre chaotique global, on trouve des ordres chaotiques régionaux, les vortex, qui représentent l'aspect hétérogène de cette échelle non seulement dimensionnelle mais morphologique des ordres. Dès lors, qu'est-ce qui fait chaos ? C'est la multiplicité des orientations azimuthales de chaque structure vorticale. Il est possible d'ailleurs que, dans le futur, on puisse démontrer que, selon l'espace des conditions initiales et selon une ergodicité contrôlée dans les paramètres d'évolution de ces turbulences externes, on puisse démontrer donc que, ce que j'appelle aujourd'hui des désorientations axiales des vortex, représente en fait des manifestations moins stochastiques, donc plus déterministes. On aboutit ainsi à un autre aspect de ce que j'ai nommé l'ordre propre de l'entropie (11) (12).

Le code lingual se présente avec une complexité qui, dans son analyse, est celle de la propagation instationnaire de phénomènes aéro-dynamiques et acoustiques, la parole-résultat représentant l'expression d'une suite aéro-acoustique ordonnée.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) Rybak (B.) L'ordre chaotique, séminaire Ecole Normale Supérieure Ulm (27 avril 1987), in : a) ITBM (1989) 10, n°5, 587-94; b) IREM fasc.64 (1990).
- (2) Rybak (B.) Mécano-électronique ventilatoire et topoélectronique, L'onde électrique (1977) 57, n°6-7, 455-456.
- (3) Rybak (B.) La relation $\frac{v}{\sin 1}$, R.B.M., Paris (1988) 10, n°6, 293.
- (4) Rybak (B.) Analogie ventilatory phonetic, in : Adv. Technobiol., B. Rybak Ed., NATO-ASI Series, n°31, 281-286 (1979), Sijthoff & Noordhoff publ., Hollande
- (5) Rybak (B.) Turbulences phonatoires externes, C.R.Acad.Sc. (1980) 291, 533-535; film de même titre réalisé avec la collaboration de l'ONERA, 1980 (16 mm en couleurs, 35mn.) n°991.
- (6) Rybak (B.) et Duchâtel (F.) Résultats préliminaires d'échotomographie phonatoire, C.R.Acad.Sc. (1982) 294, 855-857 (la Planche I en est extraite).
- (7) Rybak (B.) Menaldi-Jackson (C.) et Bensimon (J.L.) Mouvements phoniques du larynx, 55ème réunion Association des Physiologistes, Bordeaux II (6-8 juillet 1987). Abst.
- (8) Rybak (B.) Principes de Linguistique systémique, in : Vergleichende Grammatik, vol.II., J.Zemb Ed., Duden, Mannheim (1983), 631-700.
- (9) Rybak (B.) Mesures biophysiques : Génie Biologique et Médical, Conf.Palais Découverte (9 avril 1983), R.B.M., vol.5, n°3, 157-165.
- (10) Rybak (B.) Le code lingual; Nouvel Art du Français, Paris (1990), n°3, 7.
- (11) Rybak (B.) Principes propédeutiques pour les sciences des langages, Bull. de Psychol. (1982), XXXV, n°355, 481-492.
- (12) Rybak (B.) Physique et Biologie, Collo. Fondation Louis de Broglie sur la pensée physique contemporaine, Peyresq, 1980, in : La Pensée physique contemporaine, Ed. A.Frenel (1982), 287-320.