

N° 86

JUIN 1976

S. BOREL-MAISONNY

M. CASTELLENGO

ETUDE RADIOGRAPHIQUE
DES MOUVEMENTS ORO-PHARYNGÉS
PENDANT LA PAROLE ET LE JEU
INSTRUMENTAL



GAM

BULLETIN DU GROUPE d'ACOUSTIQUE MUSICALE
UNIVERSITÉ PARIS VI - TOUR 66 - 4 PLACE JUSSIEU PARIS 5°

UNIVERSITE PARIS 6 - TOUR 66 - 5° ETAGE
4, Place Jussieu
75230 - PARIS CEDEX 05

BULLETIN N° 86

THEME : Etude radiographique montrant le jeu des muscles et la formation de cavités bucco-pharyngées dans la voix et le jeu de quelques instruments de musique

REUNION DU 12 JUIN 1976 :

M. le Professeur R. SIESTRUNCK, pris par ses obligations professionnelles et M. le Professeur BERNARD n'ont pu être des nôtres.

Etaient présents : M. LEIPP, secrétaire général, Mlle CASTELLENGO secrétaire.

Puis, par ordre d'arrivée :

Mlle DINVILLE (Orthophoniste); M. GIROLAMI BOULIMIER (enseignant d'orthophonie); M. WIELGO (orthoph.); Mlle MAGNOL (Etudiante); M. SPRAUER; ZELLER A.M.; MORITZ (Orthophonistes); M. SPIRA (Logopédiste); Mme et M. CHOIR; GANILLE; PENTIER, VER-CUEIL de SEHELLES; MULTIGNER, Soeur FABIENNE; Mlle LAJUNIAS; Mme BERTRAND D.; LAUMOND; M. BERTHOLET; FERRAND; HADDAD; Mlle BOUE; A. LEYDIER; Mlle PETERIE; Mme NAVA (orthophoniste); M. BADREDOINE (phonéticien); M. ROUCHY (Orthophoniste); Mlle NOUFFLARD (flûtiste); M. GRIBENSKI (physiologiste); M. DELSOUX (flûtiste); Mme de REYNAL; M. VERKINDERE (orthophonistes); M. DORGEUILLE (Médecin); Mme GUERRIER (Professeur de clinique); TRAN QUANG HAI (Ethnomusicologue); Mme et M. LINE; THOUVENIN; DIEBOLD; BERNINGER; SERVAJEAN; TRIANTON; MARIN; COLOMBEL, (Orthophonistes); Mme TAMBA (linguiste); M. TAMBA (CNRS, compositeur); M. FAFART-CHANCRIN; M. HARDEL (Orthophoniste); M. BORREDON; Mlle PAOUNOFF (pédiatre); Mlle LEIPP (Orthophoniste); Mme et M. ALMERAS; BRUNET, DURAND, PRIE, GERBEUT (Orthophoniste); Mlle RIALLAND (Linguiste); M. NAYME (Etudiant); M. L.J. RONDELEUX et Mme F. RONDELEUX (artistes lyriques). M. VALLANCIEN (Prof. associé, Paris III); Mme NYEKI (Ethnomusicologue); Mlle LOFORGUE et Mlle FAURIN (étudiantes); Mme GACHES, BOUËDOUIN, BOREL-MAISONNY; MARTENOT (orthophonistes); Mme KADRI (médecin) .

PERIODIQUE : 6 numéros annuels

Imprimeur : Laboratoire de Mécanique Physique de l'Université de PARIS VI

Nom du Directeur : M. le Professeur SIESTRUNCK

N° d'inscription à la Commission Paritaire : N° 819 ADEF

Diffusion du bulletin du GAM : S'adresser à :

LE DROIT CHEMIN DE MUSIQUE

5, rue Fondary

75015 - PARIS - Tél. : 575-12-14

La 86ème réunion du GAM a été organisée conjointement avec l'ARPLDE (Association des Rééducateurs de la Parole et du Langage Oral et Ecrit). Elle avait pour objet essentiel la projection de documents audio-visuels : diapositives, films sonores, films magnétoscopiques relatifs à l'étude radiologique des mouvements bucco-pharyngés.

Les sujets abordés étaient :

- "L'insuffisance vélaire" - Conférence de Madame DUGRAND illustrée de nombreuses diapositives. On en trouvera un compte-rendu dans la revue Rééducation Orthophonique.
- "L'Oreille sérielle" - film 16mm couleur du Professeur GUERRIER montrant l'anatomie "dynamique" de l'oreille interne explorée par couches successives (technique de cryogénéisation).
- "Etude cinéradiographique du mouvement des cavités bucco-pharyngées pendant la parole et le jeu de certains instruments" - par Madame S. BOREL-MAISONNY et M. CASTELLENGO.
 - a) Film 16 mm réalisé par les Docteurs SAUVEGRAIN et LALLEMAN (Hôpital St Vincent de Paul), post-synchronisé, montrant :
 - * des exemples de parole en voix normale et en voix de fausset (TRAN VAN KHE), du chant Viet-Namien
 - * le jeu de la flûte traversière (G. NOUFFLARD)
 - * le jeu de la guimbarde (J. WRIGHT).

La technique cinématographique n'offre pas une très grande souplesse d'exploitation mais les premiers résultats obtenus en 1971 nous ont convaincu de réaliser une deuxième séance d'enregistrement mais en utilisant cette fois un magnétoscope. (1974)

- b) Film magnétoscopique réalisé par le Docteur BENNET (Centre Médico-chirurgical de La Porte de Choisy).
 - * séquence de chant diphonique (TRAN QUANG HAI)
 - * jeu de la guimbarde (TRAN QUANG HAI)
 - * jeu de la flûte à bec (Cl. LETTERON et M. CASTELLENGO)
 - * clarinette
 - * Parole : insuffisance vélaire simulée (Mme BOREL-MAISONNY)

La parfaite synchronisation du son et de l'image au magnétoscope, la possibilité d'arrêt sur image permettant de relever sur calque la position observée sur l'écran expliquent qu'il n'est rendu compte ici que du 2° document.

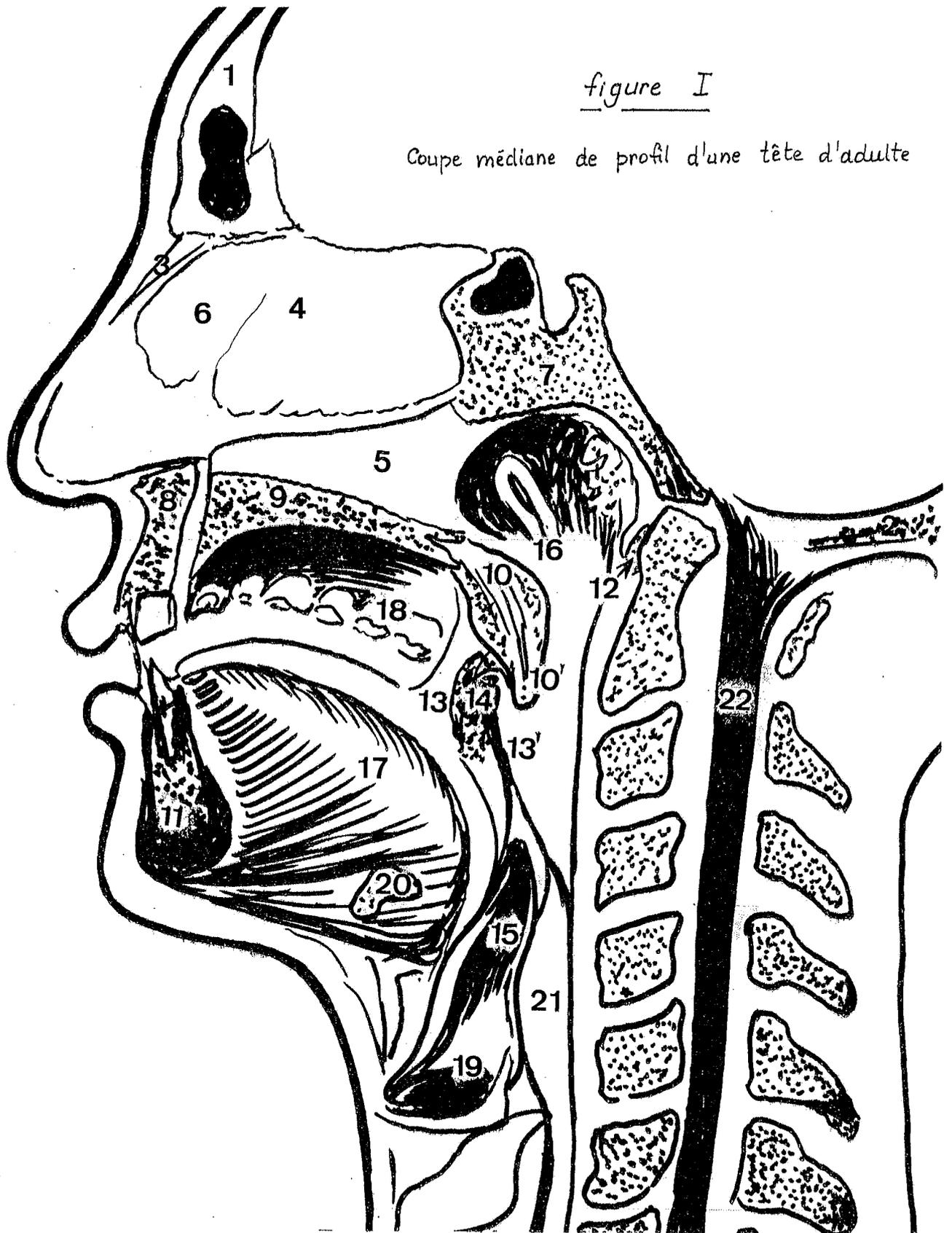


figure I

Coupe médiane de profil d'une tête d'adulte

1. Os frontal - 2. Os occipital - 3. Os propre du nez - 4. Lames perpendiculaires de l'ethmoïde
 5. Vomer - 6. Lames quadrangulaires - 7. Sphénoïde - 8. Maxillaire sup^e - 9. Voûte du palais : lames palatines
 10. Voile du palais avec luette (10') - 11. Maxillaire inf^e - 12. Arc ant^e de l'atlas - 13 et 13' : Piliers ant^e
 et post^e - 14. loge amygdalienne - 15. Epiglotte - 16. Entrée de la Trompe d'Eustache - 17. Langue
 18. Arcade dentaire - 19. Entrée de la glotte - 20. Os hyoïde - 21. Oesophage - 22. Canal médullaire.

ETUDE RADIOGRAPHIQUE DES MOUVEMENTS
ORO-PHARYNGES PENDANT LA PAROLE
ET LE JEU INSTRUMENTAL.

L'idée d'utiliser l'image radioscopique pour déceler les mouvements cachés à la vue remonte quasi à l'origine de la possibilité de voir en radioscopie et de fixer en radiographie les mouvements intra-buccaux à bouche fermée ou à peine ouverte qui sont ceux de la parole ou de la déglutition ou de la respiration; les images laryngées ont surtout été recherchées en phoniatry car l'étude des mouvements des cordes vocales en particulier, exige d'autres techniques (1).

Par ailleurs les possibilités d'enregistrement et d'analyse de la parole (oscillogrammes, sonagrammes, analyses de fréquence) apportaient un complément d'information surtout dans la mesure où les divers renseignements pouvaient être synchronisés ou du moins, comparés.

A des évidences et des certitudes s'ajoutaient souvent des questions et parfois même d'apparentes contradictions qu'il n'était pas possible de négliger.

La cinéradiographie en apportant les images des mouvements en cours d'exécution est d'un emploi délicat du fait de l'utilisation du rayon X et de la difficulté de synchronisation son, image : les premiers essais ne furent pas toujours heureux.

C'est pourquoi l'usage du magnétoscope en supprimant cette partie d'un travail long et minutieux a enlevé un obstacle. Néanmoins, il reste un inconvénient non négligeable : un arrêt sur l'image et même un simple ralenti coupe le son. Une question peut alors se poser : Les images seules vont-elles nous informer et, si oui, comment et sur quoi ?

L'instrument utilisé dans la parole, le chant, les jeux de bouche, la guimbarde, la flûte et la clarinette est d'abord et avant tout un ensemble organique toujours identique - grosso modo - : poumons, trachée, larynx, cavité pharyngo-oro-nasale, le tout actionné par une commande cérébrale.

I - ETUDE DE LA PAROLE DANS DES CONDITIONS DE CONTRAINTE SOIT ORGANIQUES
SOIT EXPERIMENTALES.

En présence d'un document audiovisuel de la parole très riche d'informations fournies par une technique nouvelle, la première réaction est l'émerveillement devant l'amplitude, la précision et la rapidité du mouvement.

Vue sur l'écran de brillance et reproduite intégralement quant au son et à l'image radiographiquée dans une évolution simultanée, la bande magnétoscopique a l'avantage de la netteté et de la présence sonore rigoureusement synchrones. Les informations ainsi fournies viennent expliciter et renforcer la compréhension de la structure de la parole dans son mécanisme et dans ses effets. De ces constatations multiples obtenues par différentes techniques - oscillographique, sonographiques, endoscopiques et autres

...../

(1) notamment la stroboscopie et, indirectement la glottographie. L'endoscopie directe qu'elle se fasse par voie orale ou par voie nasale comporte un choix de phonèmes qui limite l'investigation.

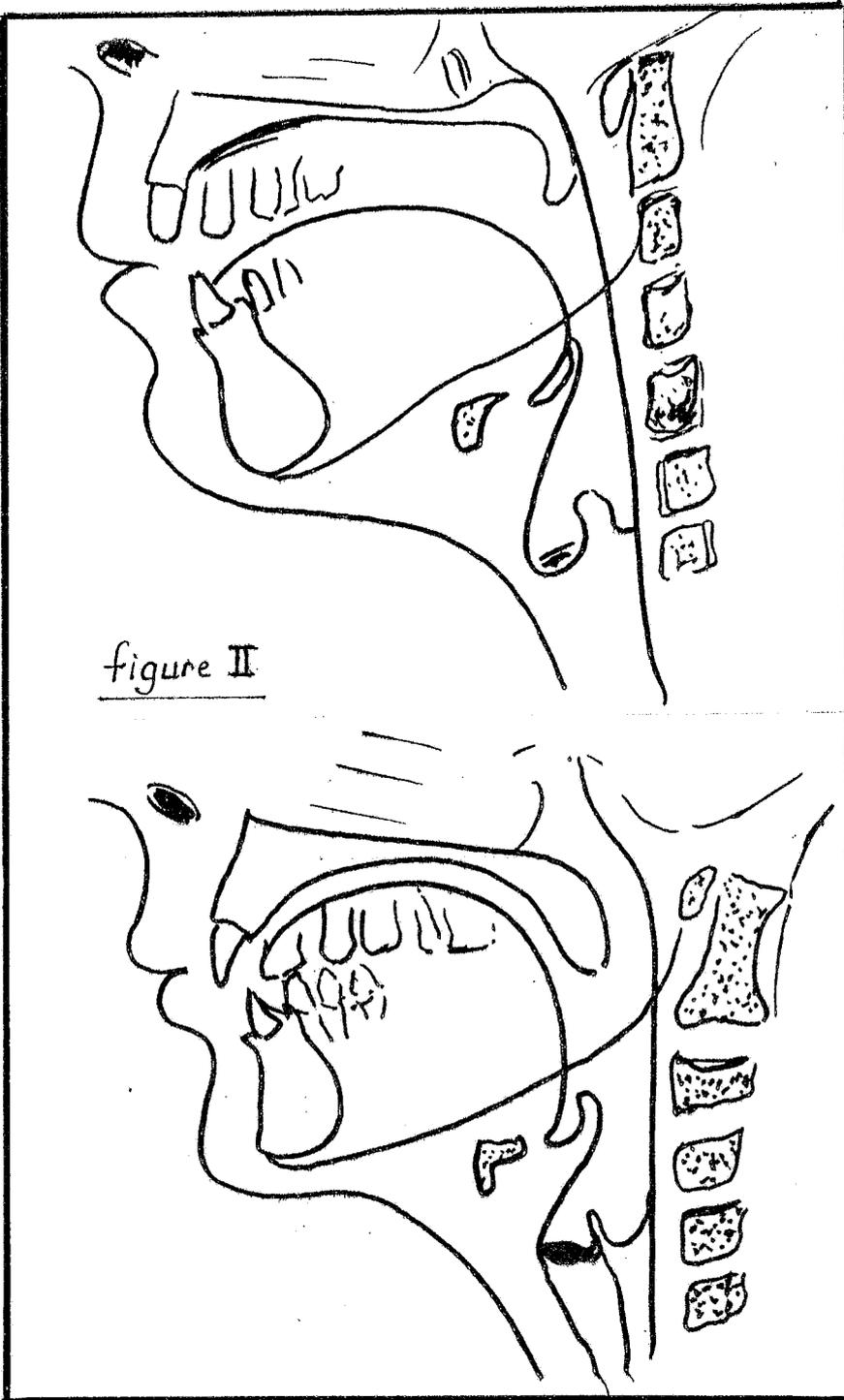


figure II

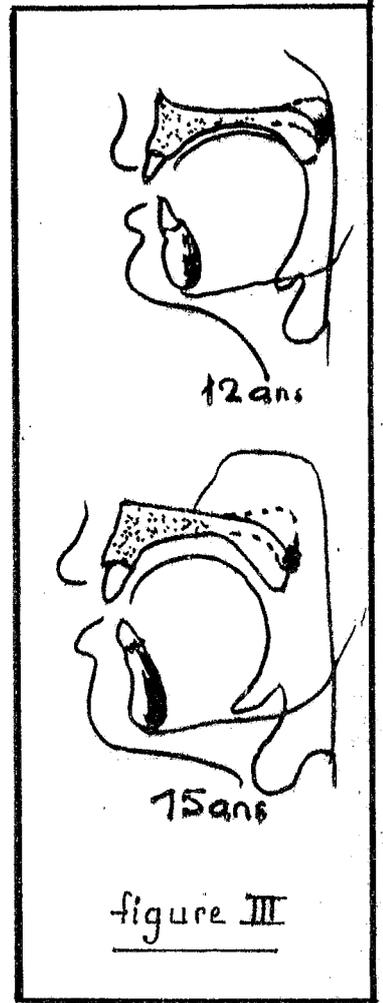


figure III

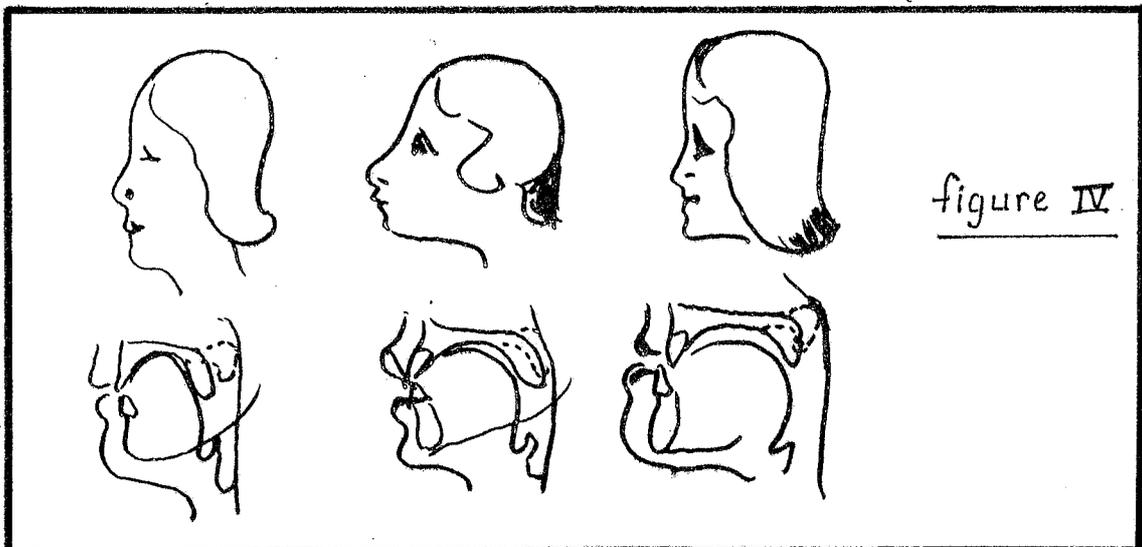


figure IV

procédés d'analyse - on peut dégager des lois et apercevoir également des discordances entre des faits physiques et la perception que nous en avons.

Les quelques indications fournies ci-après s'ouvrent sur des faits dont l'évidence se manifeste dans des conditions de fonctionnement tant normal que paradoxal.

Nous allons restreindre cette brève étude à celle des variables dans l'exécution de la parole en en comparant les conditions normales à des conditions de contrainte (malformation organique ou contrainte expérimentale).

1°) La parole dans l'insuffisance vélaire

Nous nous référons ici essentiellement au commentaire d'un film radiologique réalisé à Montpellier par Y. DUGRAND, Y. GUERRIER et S. LAMACHE sur l'incompétence velo-pharyngée.

Cette étude reposant sur l'examen de cas dont l'exposé, en l'absence du film, comporte de nombreux schémas d'interprétation nous nous proposons d'en extraire les aspects les plus représentatifs, la totalité du commentaire étant réservée à la revue " Rééducation Orthophonique " plus spécialement adaptée à la pathologie de la parole.

Nous nous reporterons à la figure qui est celle d'une coupe longitudinale de la tête d'un sujet normal (cf. figure I, pièce anatomique).

Des schémas de fonctionnement suivent :

- a) dans le cas d'un fonctionnement normal.
- b) dans celui d'une insuffisance vélaire typique.

Les insuffisances du fonctionnement vélaire sont déterminantes d'incapacités phonétiques graves. Pour les éviter il y a lieu de reconstituer chirurgicalement un voile pouvant fermer le pharynx et la parole est normale si cette condition est réalisée (fig. II). Si la restauration fonctionnelle n'est que partielle, la parole conserve quelques défauts : la nasalité du timbre des voyelles est alors constante.

Les défauts articulatoires sont susceptibles de correction, c'est l'objet de la rééducation orthophonique qui peut agir sur certains états de dysfonctionnement du voile, par des exercices qui trouvent leur place quand le sujet n'a pas découvert seul les mécanismes que lui permet la reconstitution fonctionnelle.

Des facteurs psychiques peuvent également, cela va de soi, jouer un rôle qui, pour être secondaire, n'en est pas moins déterminant. Il est à noter que la croissance peut créer des conditions nouvelles de fonctionnement, témoin le sujet (fig. III) dont la parole était parfaite à l'âge de 12 ans et du fait de la croissance du cavum, mauvaise à 13 ans. Inversement des végétations peuvent fondre et l'hyporhinolalie, disparaître. De telles incompétences ne se manifestent évidemment que dans les cas où l'occlusion vélaire est juste possible, un accroissement de difficultés mécaniques entraîne alors un dysfonctionnement.

2°) Anomalies de la structure interne et adaptation fonctionnelle

De même que l'apparence externe différencie les personnes, la structure interne est elle-même une " donnée anatomo-physiologique " d'où dépendent voix et parole, le rapport de grandeur des cavités est, à ce sujet, essentiel.

L'importance de la masse musculaire pharyngée, la souplesse de la muqueuse,

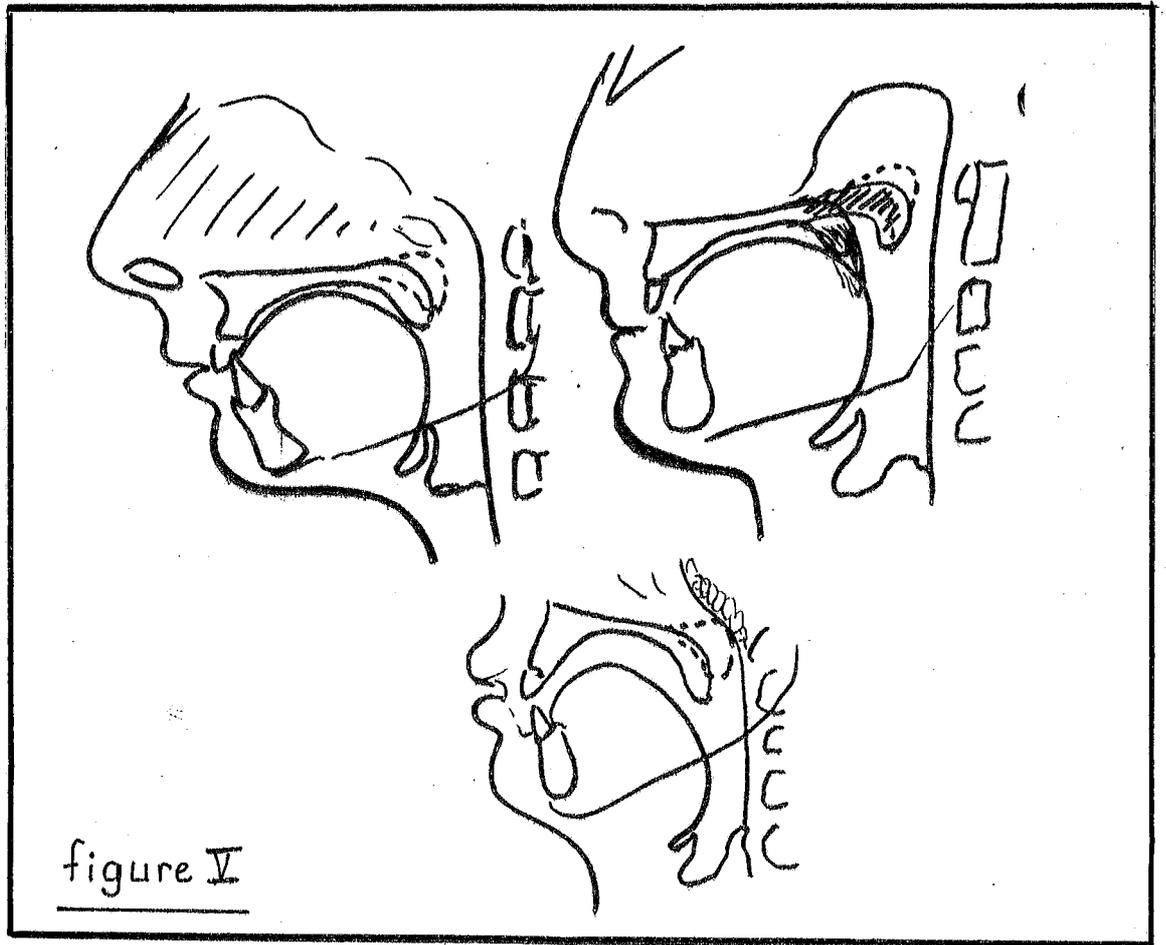
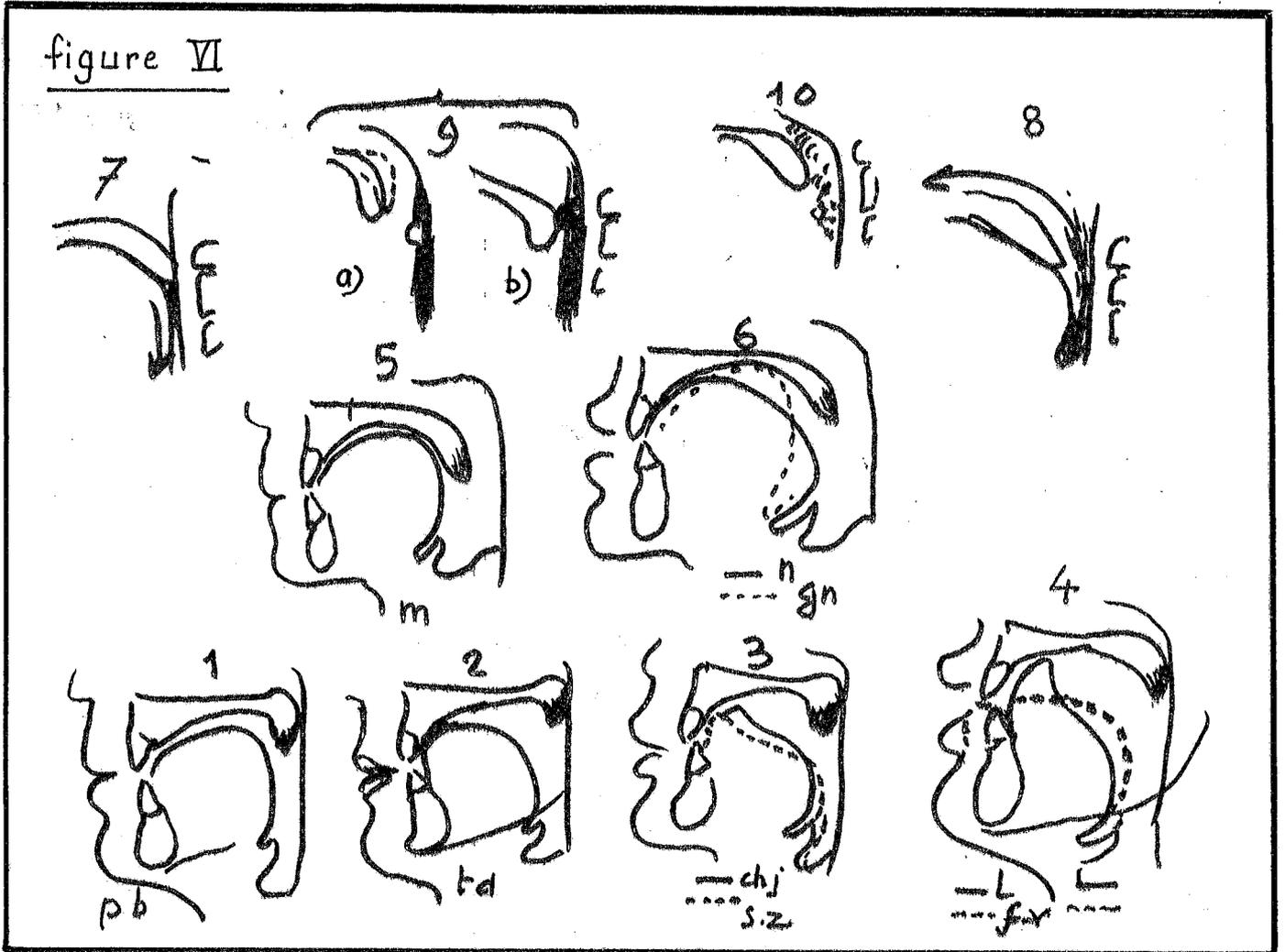


figure VI



L'agilité motrice de la langue et, cela va de soi, la précision des mécanismes laryngés, vont aussi jouer un rôle. L'éducation peut tirer parti de ces données, elle ne les crée pas. Nous allons présenter dans les figures ci-après des types de structures macroscopiques de sujets normaux quant à la parole, alors que leur aspect, tant externe qu'interne, n'était certainement pas conforme au canon de la perfection si tant est qu'il en existe un (fig. IV). Les sujets suivants surajoutent à une structure osseuse gravement anormale une insuffisance vélaire importante provoquant un nasonnement massif (fig. V). Ce sont là des " contraintes " physiques qui nous accompagnent dès la naissance. D'autres peuvent être acquises, résultant par exemple d'une atteinte virale ou de quelque agression organique qui change et altère les conditions antérieures et ne permettent plus à la parole d'être normale (paralysie encéphalitique, tumeur etc...). L'adaptation fonctionnelle au nouvel état est diminuée ou rendue impossible.

Nous rappelons fig. VI (n°1.2.3.4.5.6) les articulations correctes des consonnes.

- 1 p.b ; 2 t.d ; 3 s.z et ch.j ; 4 f.v et L ; 5 et 6 m.n.gn. exigeant l'écoulement d'air par la voie nasale.
- 7 : déglutition normale; le voile est passif.
- 8 : déglutition en cas d'insuffisance vélaire grave. Les aliments liquides refluent dans le nez.
- 9 : mouvements pharyngés formés spontanément pour diminuer la nasifluence à gauche les replis se manifestant dans la phonation sont inefficaces à droite : ils touchent le voile, mais la fermeture demeure inconstante.
- 10 : le voile de ce jeune sujet ferme sur des végétations. Quand elles disparaîtront, la phonation va s'altérer.

Dans la fig. VII on voit comment dans ce cas de retrognathie mandibulaire inférieure le sujet compense cette anomalie en avançant la mâchoire pour prononcer en bonne position S Z dt Ch J.

3°) Contraintes expérimentales

La variété des conditions que nous venons d'exposer est une donnée de faits peu ou non modifiables par définition et ne conduit qu'à des constatations et aux déductions logiques qui en découlent. Il peut néanmoins, et dans certaines limites, être réalisé des conditions expérimentales.

C'est ce que nous avons fait pour tenter une approche des facteurs déterminants du timbre des voyelles.

a) Voyelles Françaises : leur exécution motrice

Depuis nombre d'années je pensais qu'il y avait là un problème imparfaitement résolu.

Longtemps réduits à des conjectures où l'introspection motrice quant au rapport des mouvements intrabuccaux et des variations des sons vocaliques jouait nécessairement le premier rôle, on fit de grands progrès en acquérant des moyens d'investigation, la radiographie statique puis cinétique, l'endoscopie d'une part, les procédés d'enregistrement acoustique et de synthèse du son d'autre part, apportèrent beaucoup de lumière.

Il faut croire que ce n'était pas suffisant puisque toutes ces recherches " scientifiques " aboutissaient à des conclusions divergentes, voire opposées.

Une des affirmations découlant de certaines prises de position m'a semblé si hasardeuse que j'ai à mon tour cherché à voir ce qu'on pouvait en retenir, à savoir : les voyelles peuvent s'articuler n'importe comment. Or cette curieuse assertion a même servi de base à l'enseignement des orthophonistes.

Sur quoi repose-t-elle? Qu'est-ce qui peut le justifier? C'est ce que nous allons essayer de comprendre du moins pour les voyelles françaises.

Quelques remarques préliminaires s'imposent.

- La richesse vocalique de cette langue est considérable. Les gens qui ont " de l'oreille ", et il ne s'agit pas nécessairement des seuls phonéticiens, sentent fort bien ces variantes du même individu phonologique. Et si l'abbé ROUSSELOT dénombrait déjà 3 timbres dans a o œ e, ce n'était nullement le fait d'une finesse de discernement prodigieuse.

fée, fait, taie n'ont pas plus un e interchangeable que un bas, il va, une barde, n'ont pas la même coloration d'a. L'o de beau n'est pas tout à fait celui de côte et encore moins celui de cotte. De même soeur, ce, ceux n'ont pas un œ identique.

Beaucoup se récrieront que ces distinctions ne sont que byzantinisme pédant, je n'en crois rien. C'est à ces minimes différences vocaliques qu'autrefois dans nos campagnes les gens décelaient ceux d'un village voisin : celui-là n'est point des nôtres... et parfois il était d'un lieu éloigné seulement de quelques kilomètres. La langue pour beaucoup n'étant véhiculée que par transmission orale, c'est peut-être ce qui était cause d'une plus grande attention aux sons.

Ceci tend à se simplifier et tout ce qui n'est pas nécessaire aux distinctions de sens disparaît.

Néanmoins l'existence de sept voyelles orales ou, u, i, o, a, œ, e celles-ci ayant deux timbres très différenciés et de quatre voyelles nasales an, on, un, in, est liée aux nécessités de la sémantique et si en phonétique de synthèse on limite volontiers les timbres vocaliques à des voyelles de base, il faut reconnaître que c'est au dépens de l'intelligibilité.

- On sait, grâce à l'analyse spectrale, ce que signifie sur le plan acoustique l'ouverture d'une voyelle : le spectre s'enrichit de composantes surtout dans sa portion aiguë et on a l'impression auditive d'un son plus clair.

Quant à la nasalisation, elle est vraiment due à une communication entre la cavité nasale et la cavité buccale pendant une partie au moins de la voyelle et la dose de nasalité nécessaire pour que le son soit pleinement satisfaisant est inégale pour ces voyelles qu'on pourrait sur ce point classer dans l'ordre décroissant suivant ā ō œ ē.

- Dans la chaîne parlée, les déplacements continuels, rapides et précis de la langue, du voile, du larynx s'accomplissent dans une synergie de mouvements qui sont exécutés simultanément et, forcément, le temps d'établissement, la durée de la partie stable et la durée de la décomposition de l'attitude demandent un certain temps qu'il est possible de préciser. Cette mesure est aisément faite sur un oscillogramme car la durée des différents aspects de la courbe s'apprécie par comparaison avec le repère de temps.

Encore n'est-on pas toujours sûr de la correspondance de tel ou tel aspect avec les variations du timbre vocalique.

Cet inconvénient disparaît dans une tomoanalyse acoustique de la parole si on fait simultanément l'enregistrement sonore et la photographie du fragment d'oscillogramme inscrit dans " la porte ". L'idéal serait évidemment d'avoir dans le même temps l'image radiographique correspondante. Une pareille exploration simultanée comporterait, on le conçoit, des difficultés considérables.

Il est possible heureusement de penser à moindre frais. Nous avons essayé de procéder autrement avec les moyens dont nous avons pu disposer.

b) Méthode employée :

On connaît par nombre d'études antérieures les attitudes classiques de la langue et du voile du palais pendant l'émission des voyelles françaises. Les attitudes différentes prises pour des raisons pathologiques (insuffisance vélaire, division palatine, paralysies vélo lingo et parfois labio pharyngées) montrent que les deux facteurs essentiels d'une exécution motrice suffisante pour permettre l'identification des voyelles soit isolées, soit en syllabes, sont une certaine amplitude du mouvement et le temps d'exécution de ce mouvement.

Il y a une tolérance d'inexactitude, elle ne peut être dépassée sans une détérioration telle de l'objet sonore qu'il n'est plus reconnaissable.

Nous avons donc cherché à réaliser des positions inexactes et paradoxales en émettant les voyelles de telle sorte qu'on soit théoriquement gêné de diverses manières dans l'exécution des mouvements intra-buccaux et ceci afin de voir ce qui en résultait comme son. Et comme l'oreille peut être un témoin partiel et que la conscience du mouvement accompli risque d'être imprécise ou même fautive on a recouru pour contrôler l'un et l'autre à des clichés radiographiques pendant lesquels on a enregistré le son qui a été ensuite l'objet d'une analyse sonographique.

Un test de contrôle a été ensuite institué. Comme il n'a pas été possible de photographier le sujet pendant la radiographie il a dû recommencer à émettre les voyelles dans les mêmes attitudes qui avaient servi à l'exécution des clichés radiographiques. Les sons émis pendant chaque photo " externe " du sujet ont donné lieu à un enregistrement sonore et celui-ci a été analysé au sonographe.

Quelques documents sonores ont été également l'objet d'une évaluation acoustique à l'analyseur Pimonow. Les moyens instrumentaux dont nous disposions ne permettaient rien d'autre mais nous estimons que c'est suffisant pour tirer des conclusions.

Il va de soi que les deux " sujets " ayant servi à cette étude expérimentale présentaient des garanties de stabilité dans l'exécution du mouvement et s'étaient entraînés à la gymnastique spéciale à laquelle il a fallu recourir. Ces deux sujets sont moi-même et Françoise KADRI ma propre fille qui avait déjà pratiqué l'orthophonie et fait des études de phonétique avant celles de médecine.

c) Voyelles choisies :

Il n'a pas été possible d'examiner tous les timbres vocaliques du fait de l'exposition aux Rayons X qui eût été trop importante.

On a donc retenu les voyelles suivantes ou u i ; e oe o a pour ces quatre dernières on a cherché à prendre une attitude convenable à la voyelle

moyenne c'est-à-dire ni trop ouverte, ni trop fermée. o(beau), a(papa) oe(peu) e(thé); il n'y avait pas le même problème pour ou, u, i qui n'ont en fait qu'un timbre (cou, but, nid) et pour les nasales dont on n'a retenu que trois : an, on, in; cette dernière qui a un timbre intermédiaire entre un et in était seule réalisée couramment par l'un des sujets.

Comme il y avait à prendre une position normale et cinq positions anormales pour 7 + 3 voyelles cela constituait donc un minimum de 60 clichés dont plusieurs ont dû être refaits. On conçoit qu'il eût été difficile de dépasser cette dose et même il a été décidé de choisir deux locuteurs.

d) Positions choisies

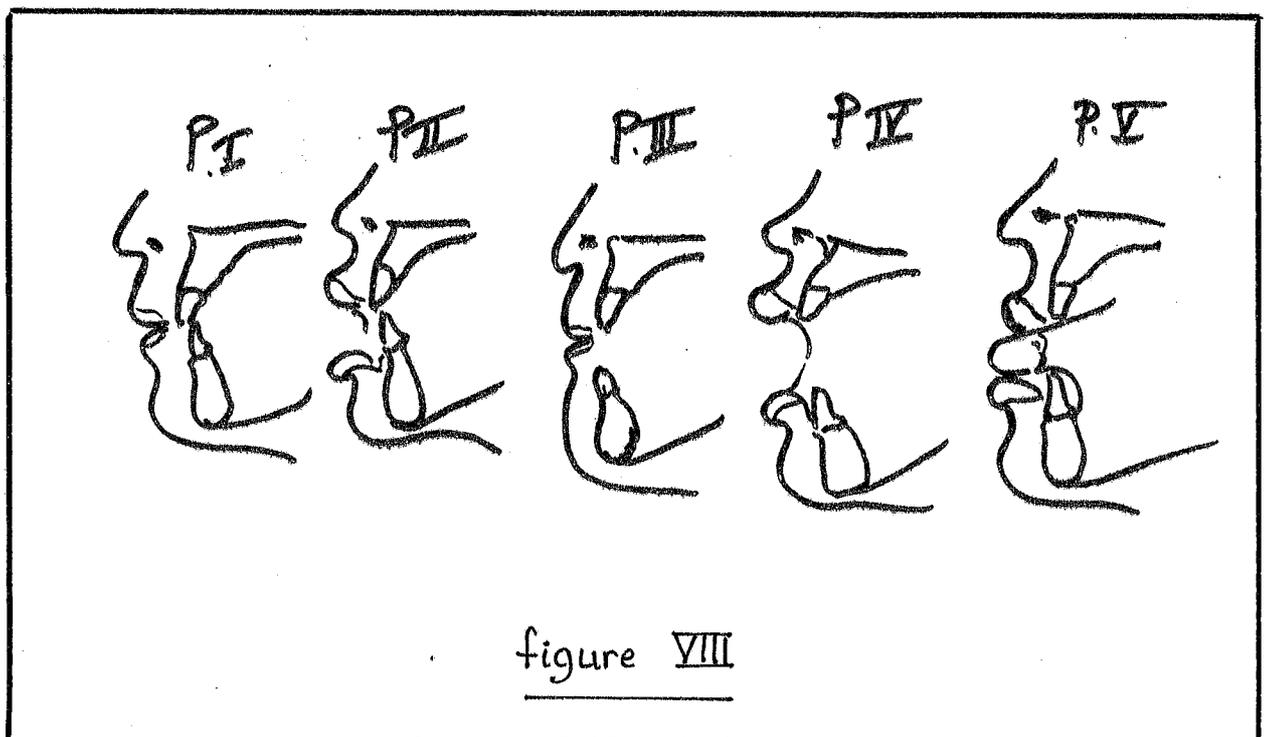
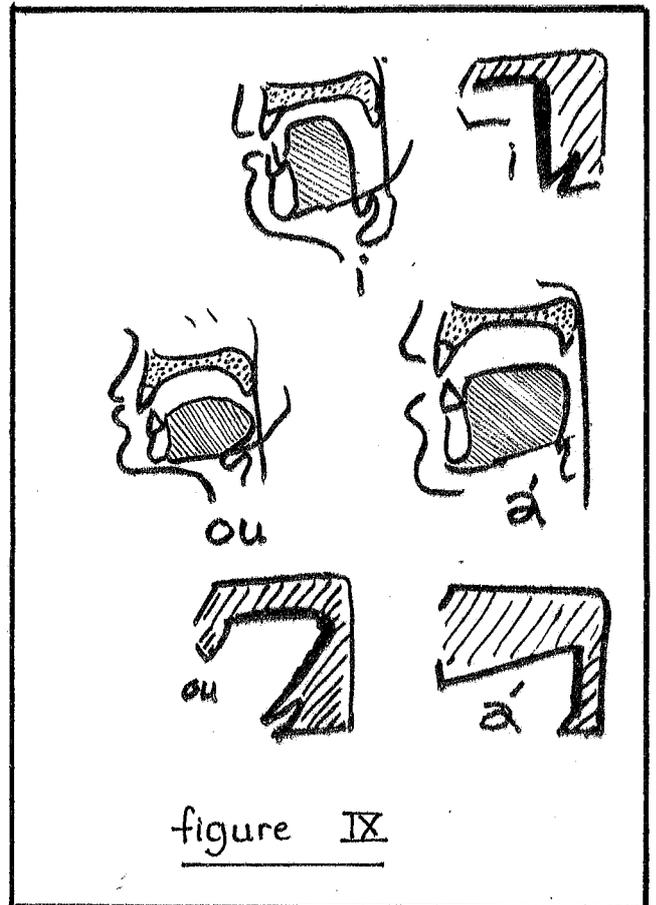
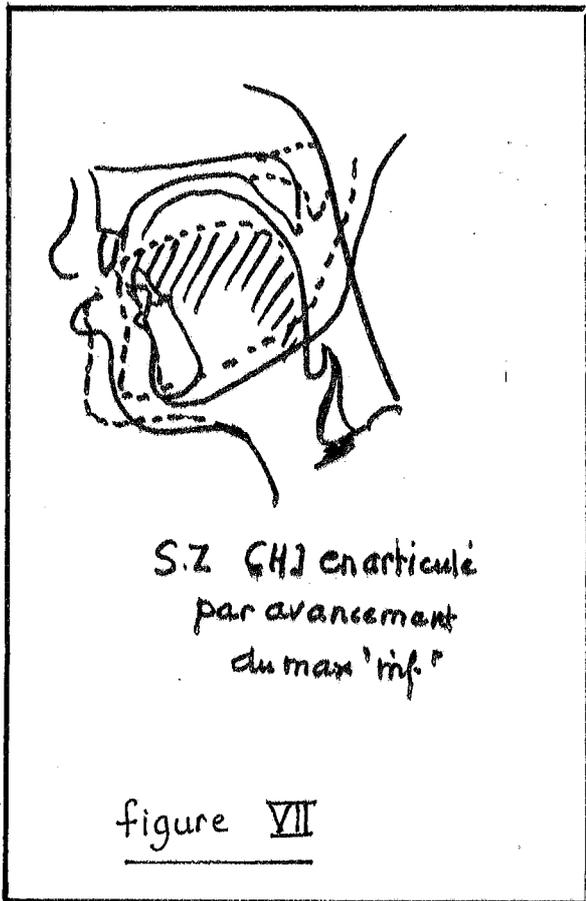
D'abord l'attitude que le locuteur a prise spontanément pour prononcer les voyelles dites isolément et sans application ni intention spéciale; nous l'appellerons Pn, c'est-à-dire position normale qui servira de référence.

Ensuite 5 positions. Le sujet s'étant efforcé de ne pas bouger, de garder la position pendant la succession des voyelles dites dans l'ordre suivant : ou, o, a, oe, é, i, u.

Ces positions sont plus ou moins inconfortables et parfois tout à fait paradoxales; néanmoins comme le prouvent à la fois l'enregistrement sonore et le sonagramme, elles conservent des caractères suffisants d'intelligibilité puisqu'elles demeurent identifiables pour un auditeur quelconque. Il sera donc intéressant de voir par quels procédés de compensation le locuteur guidé par l'oreille arrive à garder le timbre malgré la contrainte qu'il s'impose quant au mouvement.

Voici donc ces positions telles qu'elles ont été exécutées par le sujet, ce dont témoigne le cliché radiographique et dont le schéma de la fig. VIII rend compte.

- PI - Dents serrées, lèvres rapprochées ne laissant entre elles qu'un intervalle horizontal étroit et resserré latéralement; la langue est libre de ses mouvements dans la cavité pharyngo-buccale, mais l'orifice de cette cavité étant fortement diminué, l'émission de certaines voyelles va se trouver un peu gênée, ce sera le cas notamment pour a, è, oe, mais ces deux dernières ne figurent pas dans notre liste pour les raisons sus-dites.
- PII - Dans cette position les mâchoires sont écartées et les lèvres ouvertes au maximum. Il va donc en résulter une gêne, et cette fois-ci considérable pour l'émission des voyelles é, i et surtout de oe, u, ou, du fait de leur labialisation habituelle. Il s'ensuivra donc un effort important des muscles de la langue et du pharynx pour essayer, malgré la contrainte, de garder à toutes ces voyelles un timbre aussi proche que possible du son caractéristique. Le résultat dont témoignent et l'enregistrement sonore et les sonagrammes, montre que grâce aux mouvements de compensation, l'intelligibilité est conservée.
- PIII - Celle-ci est inconfortable au maximum car l'écartement des mâchoires contrarie l'attitude usuelle pour les voyelles du type i, é, u en obligeant la langue à une attitude acrobatique et l'extrême rétrécissement de l'orifice labial va donner à toutes les voyelles et notamment à celles qui se font avec un grand écartement labial une sorte d'étouffement sonore. Néanmoins les timbres vocaliques restent parfaitement discernables; il est intéressant de constater par quels moyens s'obtiennent ces résultats.
- PIV - Les mâchoires sont écartées et les lèvres s'ouvrent au maximum. Cette po-



sition est évidemment inconfortable pour toutes les voyelles habituellement articulées arcades dentaires rapprochées et orifice labial à peine ouvert : oe, é, i et u, ou qui s'accompagnent en plus d'un rapprochement des commissures. La contrainte imposée oblige à un jeu de compensations musculaires pour réussir à garder ces voyelles identifiables.

PV - Cette position inesthétique est en fait moins gênante que les positions III et IV sauf pour o et surtout pour ou qui exigent un gros effort musculaire pour demeurer intelligibles.

Quant aux voyelles nasales dont le timbre exact exige déjà toute une coordination complexe de mouvements, elles vont également connaître du fait des contraintes imposées des difficultés de réalisation mais la plus troublée sera la voyelle on dans les positions IV et V où le timbre est rarement intelligible et dans les positions I, II et IV qui lui sont particulièrement néfastes; la voyelle œ devient une nasale indiscernable de un même chez les personnes qui les prononcent habituellement de façon bien différenciée. En revanche, an est intelligible dans tous les cas.

e) Limitations de l'étude :

De toute cette étude expérimentale nous ne représentons ici que les attitudes radiologiques pour a, ou, i, choisies parce qu'elles sont très différenciées : a est celle qui s'exécute en plaçant l'arrière de la langue très proche de la paroi postérieure du pharynx; ou exige une grande cavité postérieure immédiatement sus-laryngée et une zone de rétrécissement au-dessus, ce qui détermine un équilibre des deux cavités, la postérieure et l'antérieure dont l'orifice est diminué par la labialisation et par un rapprochement des arcades dentaires.

Quant au timbre de l'i, il exige la formation d'une grande cavité pharyngée et d'une très petite cavité antérieure. Entre les deux subsiste un couloir étroit formé par le rapprochement de la voûte palatine et de la portion médiane de la langue (fig. IX).

Parmi les positions paradoxales nous avons choisi celles qu'indiquent les positions schématiques comme étant les plus gênantes et de ce fait les plus capables de provoquer des attitudes de compensation, à savoir la position III et la position V décrites plus haut. Une photographie, on nous pardonnera de n'en pas reproduire, servait à montrer que le sujet d'expérience en respectait les conditions pendant la durée de la prise radiographique. Des enregistrements sonores pris pendant la radiographie montrent dans quelle mesure le respect de la contrainte créait des modifications sonores ou n'en créait aucune du moins quant à la structure sonore assurant le timbre de la voyelle. C'est donc l'association de la radiographie, de la prise de vue et surtout de l'enregistrement sonore analysé au sonagraphe qui assure la fiabilité de la méthode et les modifications d'attitude représentent donc ce qui était nécessaire et suffisant pour assurer l'exactitude du timbre vocalique étudié.

f) Compensations créées par la contrainte :

La comparaison globale montre (fig. X) d'emblée les différences imposées par l'attitude contraignante. Pour que se produise le son vocalique que nous identifions comme le phonème ou, il faut que s'équilibrent les résonances des deux cavités postérieure et antérieure et que l'orifice de sortie du son soit réduit. En obligeant les mâchoires à s'écarter on détermine les mouvements de compensation suivants : 1) réduction de l'orifice de sortie, 2) élévation de la langue dans sa partie moyenne, la tension musculaire exigée est visible sur le cliché radiographique, 3) la cavité postérieure accroît son volume pour compenser l'augmentation de volume de capa-

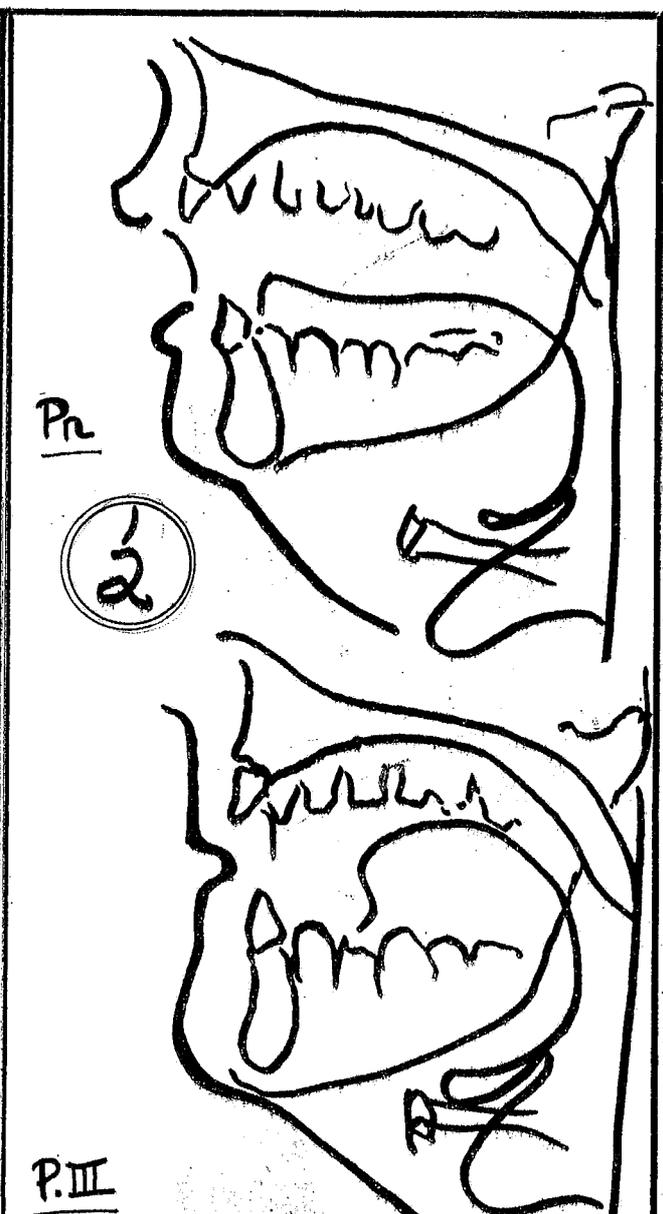
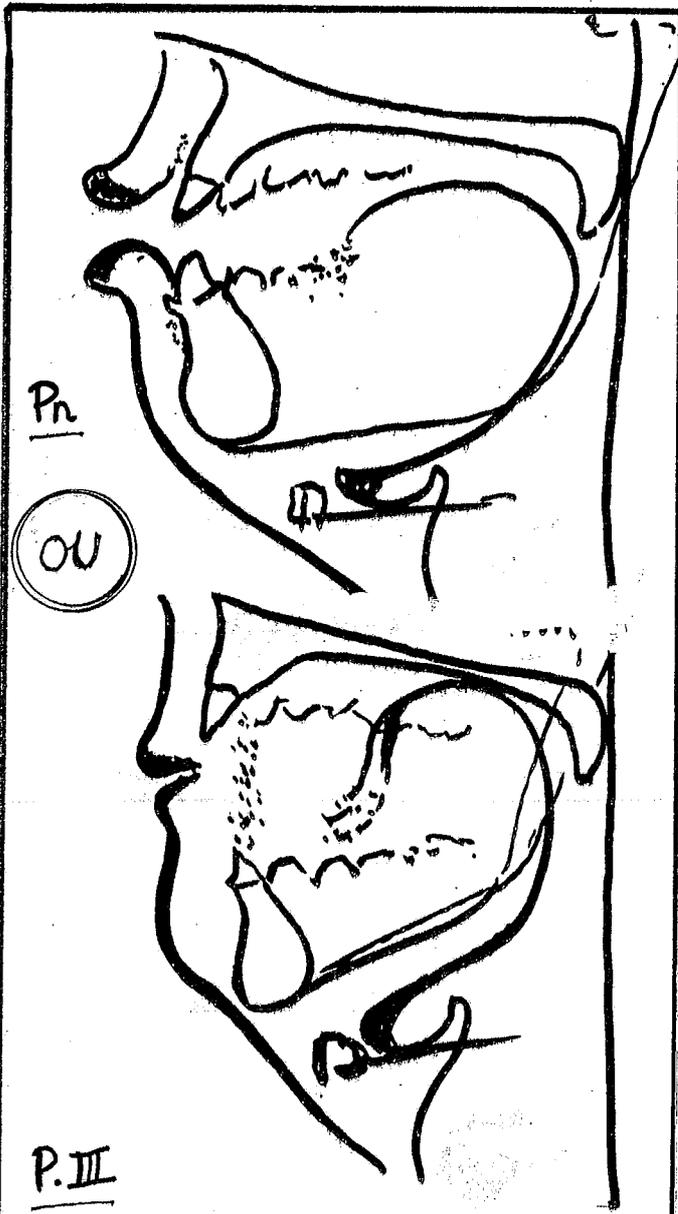
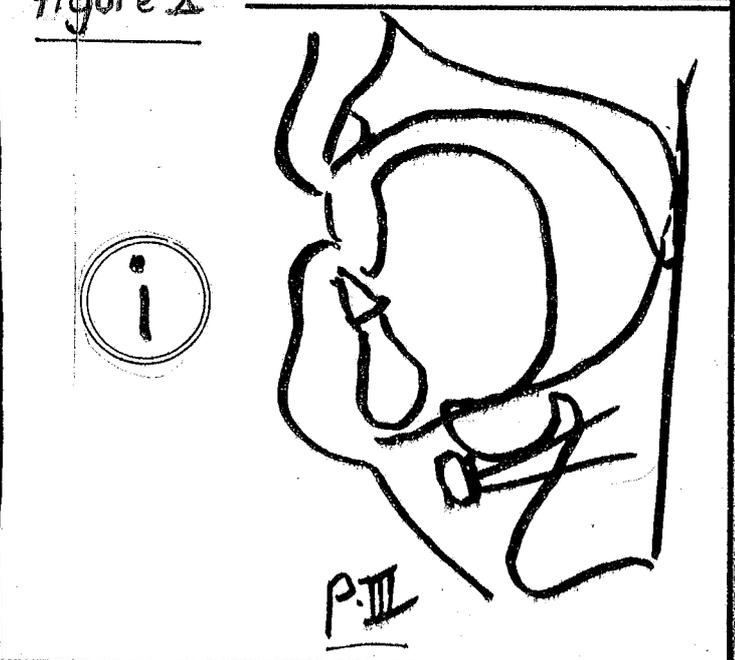
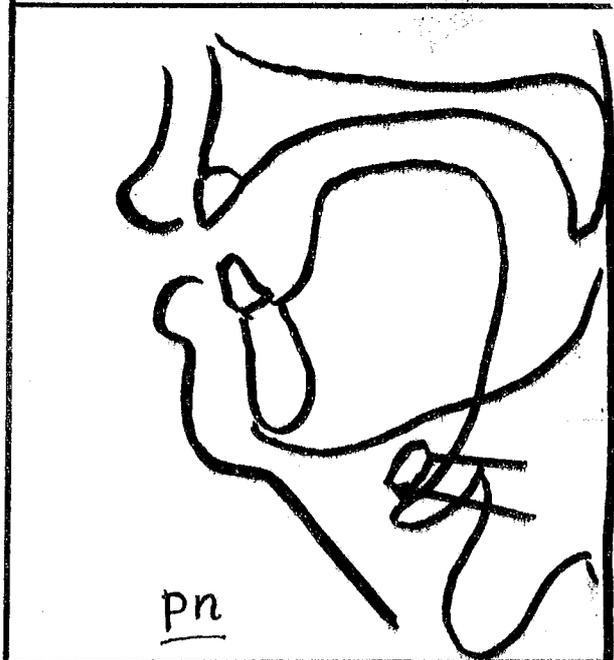


figure X



i

ité de la cavité antérieure.

Pour a les modifications sont moindres du fait de la forme même de la cavité antérieure que l'écartement des mâchoires ne contrarie pas; en revanche pour arriver à reproduire le son d'un a postérieur, il faut équilibrer le rapport des deux cavités en agrandissant la cavité postérieure et labialiser fortement ce qui provoque d'ailleurs un certain assourdissement de ce phonème, sans que l'intelligibilité en soit changée.

Quant à l'i, on pouvait s'attendre à ce que l'attitude extrêmement contraignante de la position III surtout, du fait de l'écartement des maxillaires, oblige à des compensations importantes, notamment quant à l'importance de la cavité postérieure équilibrant l'antérieure dont le volume augmente et d'autre part le couloir entre les deux cavités devient plus étroit car la langue s'élève par un effort presque acrobatique exigeant une tension musculaire considérable visible sur la radio.

Quant à la position V (langue tirée), bien que l'attitude en soit malaisée pour des voyelles telles que ou, u qui nécessitent une grande cavité pharyngée et surtout une élévation très importante de la partie médiane de la langue, elle demande peu d'effort pour l'a (à et a) de même que pour les voyelles è, o, oe, voyelles ouvertes. Nous ne donnons pas non plus ici les modifications d'attitudes pour les voyelles nasales exigées par la contrainte imposée, le locuteur n'étant pas le même (refus du radiologue d'imposer une absorption trop grande de Rayons X par le même sujet).

g) Examen particulier du mécanisme d'une voyelle nasale

Le sonagramme correspondait à la tenue d'une voyelle nasale prononcée de façon tendue et uniforme pendant toute sa durée.

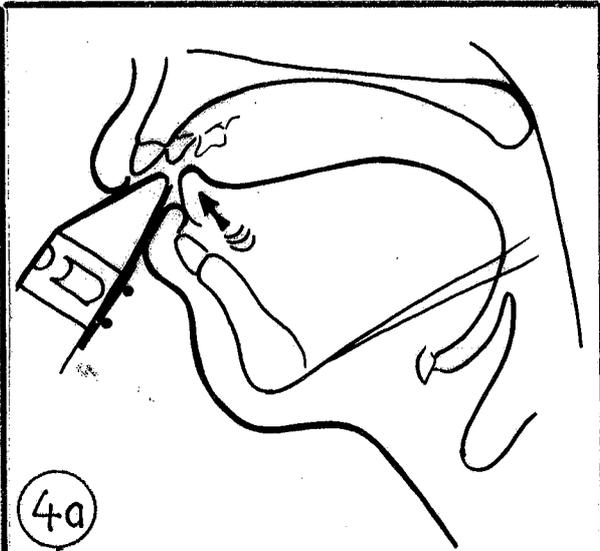
Dans le discours il ne saurait en être de même et les mouvements vélares qui sont d'une extrême rapidité (ordre du 1/100 ou 1/200 de seconde) se trouvent mêlés dans des ensembles n'ayant que très peu de nasalité. Sauf m n gn, toutes les consonnes exigeant le relèvement du voile, trois voyelles oronasales s'accrochent mal d'une séparation totale nez bouche; on peut dire que la plupart des phrases françaises pourraient facilement être prononcées sans communication cavité nasale-cavité buccale. Le sujet paraît seulement être enrhumé.

On a donc choisi pour la vraisemblance une phrase maintes fois enregistrée, à cause de sa richesse en nasales (fig.5b)

n o n m a m a n n'est pas bien grande

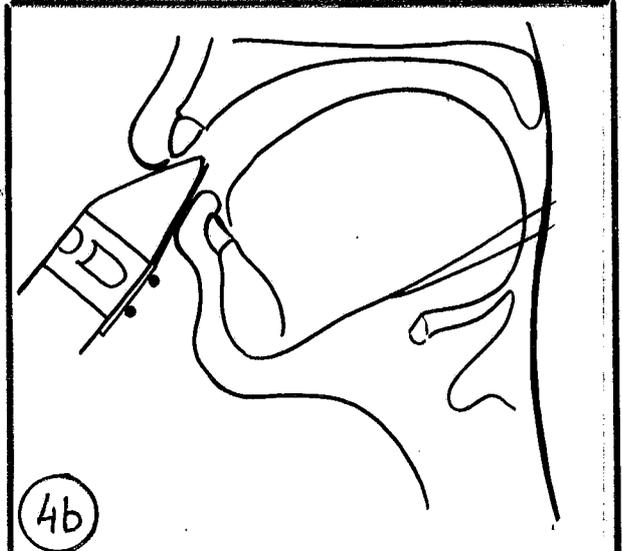
Nous constatons une légère tonalité nasale à laquelle on pouvait s'attendre dans l'ensemble maman [mamã] et en revanche une oralisation au début de la voyelle an (ã) de grande. Ce phénomène perceptible visuellement (sonagramme, oscillogramme) devient évident auditivement en tomoanalyse où au cours de la progression dans l'ensemble gran, on entend nettement a pendant trois présentations avant de reconnaître la voyelle an. Le phénomène qui dure trois centièmes de seconde par rapport à la totalité de la voyelle n'est évidemment pas décelable à l'oreille. Néanmoins ces transitions physiologiques donnent à la parole réelle un naturel que les phrases synthétiques n'atteignent guère.

4 CLARINETTE



4a

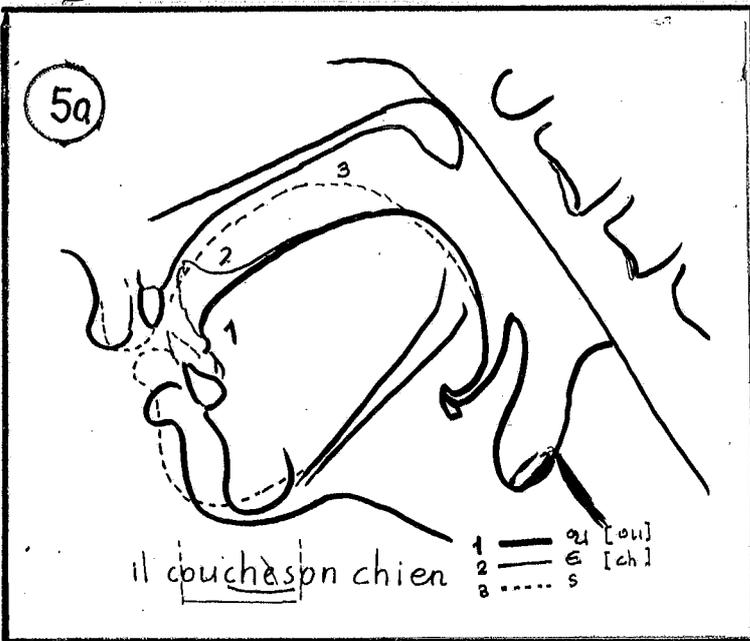
Attaque "TE"



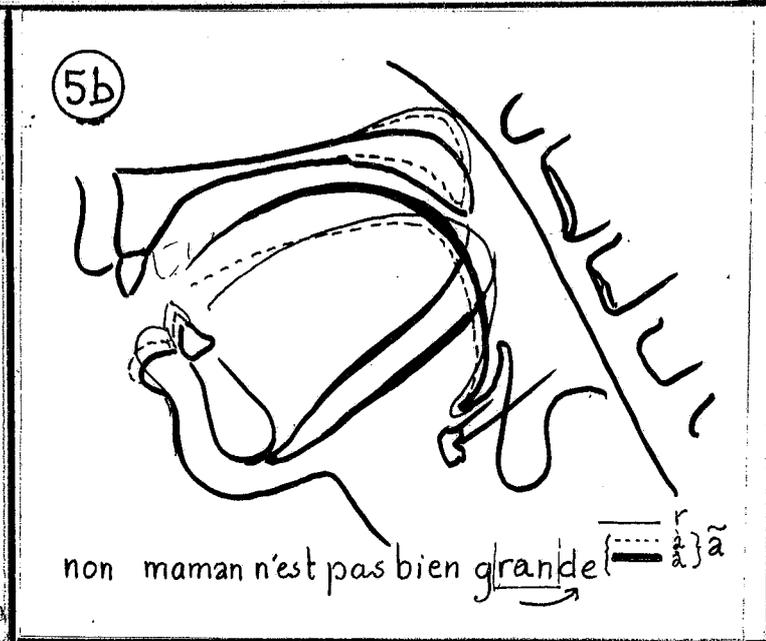
4b

SON TRÈS AIGU

5 VOIX PARLÉE



5a



5b



IL COU-CHE S-ON CH-I-EN

100 ms



N.ON M.A.M-AN N'EST PAS BIEN GRANDE

100ms

4°) Conclusions particulières découlant de l'étude des voyelles en position paradoxale

En résumé, il est faux de prétendre qu'on peut articuler, dans n'importe quelle attitude linguale, les voyelles françaises. Elles ont un timbre précis du fait de leur valeur sémantique. La tolérance de liberté du mouvement n'est qu'apparente et n'intéresse que les mouvements accessoires. Ce qui est déterminant du timbre est l'attitude linguale créant la cavité postérieure immédiatement sus-laryngée, cela entraîne synergiquement un certain degré d'ouverture du canal antéro-médian. Si le sujet est soumis à des positions inconfortables contrariant ce qui est déterminant du timbre, guidé par l'oreille, il compense l'inexactitude du mouvement par un réglage évidemment intuitif de l'orifice d'écoulement.

COROLLAIRE : L'articulation des phonèmes, même vocaliques, obéit à des contraintes motrices précises, il faut en tenir compte dans la rééducation, en cas de surdité, en particulier, l'enseignant doit chercher à faire réaliser ces attitudes au plus près, l'exactitude vocalique étant l'un des plus importants facteurs de l'intelligibilité.

Cette étude éclaire les phénomènes de compensation où du fait d'une structure interne anormale le sujet modifie intuitivement ses mécanismes articulatoires en se guidant à l'oreille.

Relation entre les mouvements observés en attitude de chant ou d'exécution instrumentale et les performances expérimentales des études vocaliques .

La comparaison de ces performances peut paraître abusive puisqu'il s'agit de réalisations totalement différentes. Cependant des analogies frappent au premier abord :

- 1 - Il s'agit dans tous les cas de réalisations qui, du fait d'un apprentissage ou d'un effort volontaire, cherchent à utiliser au maximum des moyens dont les mouvements internes ne sont révélés que par l'examen radiologique. Le sujet s'étant, en toute circonstance, guidé par l'oreille, n'aurait pu décrire les mouvements qu'il accomplissait et dont il ne connaissait partiellement l'existence que par des sensations vibratoires et kinesthésiques.
- 2 - Il s'agit de réalisations exceptionnelles, voire acrobatiques.
- 3 - Ces performances mettent en évidence des conditions liées à la structure même des personnages, surtout chez l'instrumentiste VietNamien .

La loi d'adaptation à des conditions morphologiques est mise en évidence de façon spectaculaire. Encore faut-il que ces conditions morphologiques favorables existent. Un larynx bas situé dans un pharynx spacieux favorise l'étonnante amplitude des mouvements dont l'exercice et l'habileté du sujet ont permis ces réalisations exceptionnelles.

La seconde loi mise en évidence concerne donc les limites imposées par les conditions anatomophysiologiques. Il y a une limite de tolérance à l'altération des sons vocaliques et les limites acrobatiques sont apportées à des exécutions motrices spectaculaires par la conformation même du sujet.

Extérieurement comme intérieurement le sujet dépend de sa structure. Les qualités psychologiques et mentales elles mêmes sont essentiellement fonction de la personnalité.

LEGENDES DES FIGURES I à IX et PLANCHE " A "

- Fig. I - Pièce anatomique, coupe médiane de profil d'une tête d'adulte.
- Fig. II - Figures relevées sur xéroradiographies de profil. En haut, le sujet prononce le P de PA; la langue est déjà dans la position de l'a et les lèvres commencent à s'entr'ouvrir; le voile du palais d'appuie vigoureusement à la paroi postérieure du pharynx séparant ainsi le cavum de l'oropharynx. En bas, le sujet est dans la position de repos il sait qu'il va parler, l'attitude montre qu'il s'y prépare.
- Fig. III - Le même sujet à 12 ans puis à 15 ans. Le voile du palais opéré fermait, séparant les cavités nasale et oropharyngée; la phonation était normale. La croissance rapide et excessive du pharynx, le voile restant pratiquement de même longueur a empêché cette séparation ce qui a entraîné du nasonnement et une altération de la parole.
- Fig. IV - La conformation tant interne qu'externe de la forme générale de la tête est un facteur de structuration individuelle qui détermine les particularités de la personne et de sa voix. A chaque petit personnage correspond un aspect intérieur des cavités.
- Fig. V - Souvent, à une structure externe anormale les sujets ajoutent une insuffisance vélaire. C'est le cas des deux personnages en haut de cette figure; la disproportion considérable de la cavité nasale et de la cavité buccale cause un énorme nasonnement à ces sujets dont le voile ne ferme pas. Le sujet situé plus bas présente un plafond de cavum bas et des végétations assurant une fermeture temporaire.
- Fig. VI - Elle contient, numérotées de 1 à 10 et de bas en haut des attitudes linguo-vélaires pendant l'articulation normale des consonnes
 (1) PB (2) TD (3) CH S (4) L, F, V.
 (5) le voile reste baissé ou peu relevé: l'air peut s'écouler par le nez. Le sujet prononce le phonème M.
 (6) le voile reste également abaissé pour N et Gn.
 (7) déglutition normale; le voile est passif mais est appliqué par la langue contre la paroi postérieure du pharynx et le bol alimentaire est poussé vers le bas.
 (8) l'insuffisance de longueur du voile est cause que, au cours de la déglutition les aliments liquides ou semi-liquides refluent parfois dans le nez et s'écoulent par voie narinale.
 (9) cavum bas ou replis pharyngés pendant la phonation entraînent une possibilité de contact de la partie supérieure du voile et de la paroi pharyngée (b). La parole peut en être presque normalisée.
 (10) Les replis se présentent de façon intermittente en face du voile en élévation et parfois ne servent à rien dans la phonation.
- Fig. VII - Le sujet a un articulé dentaire vicieux; il est habituellement en suroccclusion. Mais, guidé par l'oreille et instinctivement, il avance la mâchoire inférieure pendant la prononciation des consonnes S Z T D notamment et pendant l'émission des voyelles E I U OU ce qui en "éclaircit" le timbre et en rend le son correct.

- Fig. VIII - Ces petits personnages représentent les attitudes artificielles de contrainte pour les positions paradoxales gardées pendant la radiographie. Pour Pn, position normale, se reporter à la figure II et à la figure VI.
- PI - dents serrées, lèvres presque fermées.
- PII - dents serrées, lèvres écartées.
- PIII - mâchoires écartées, lèvres rapprochées, orbiculaire arrondi; position inconfortable Pi.
- PIV - mâchoires et lèvres écartées.
- PV - interposition de la langue entre les incisives supérieures et les incisives inférieures.

PLANCHE " A "

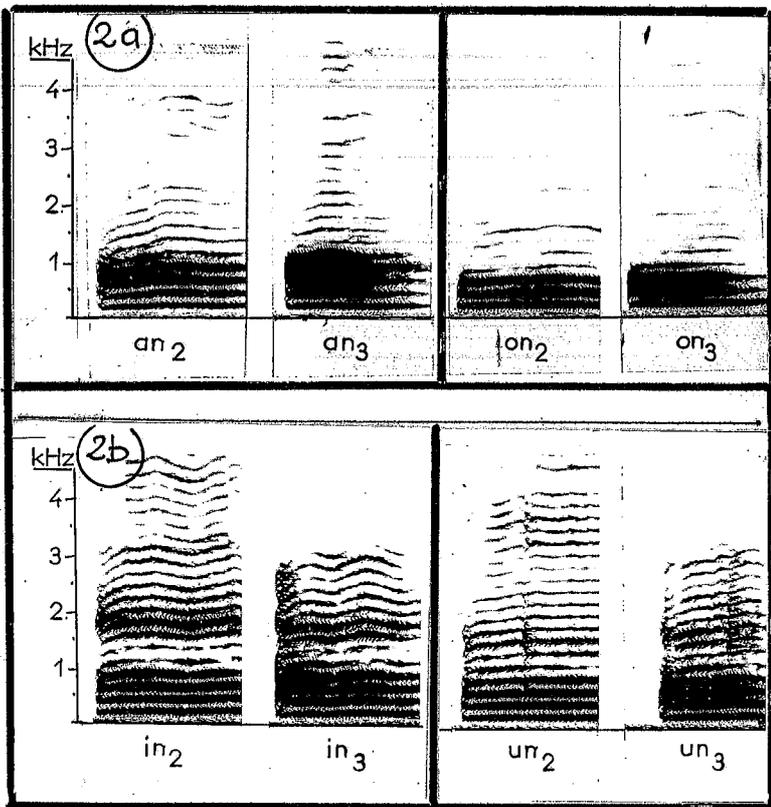
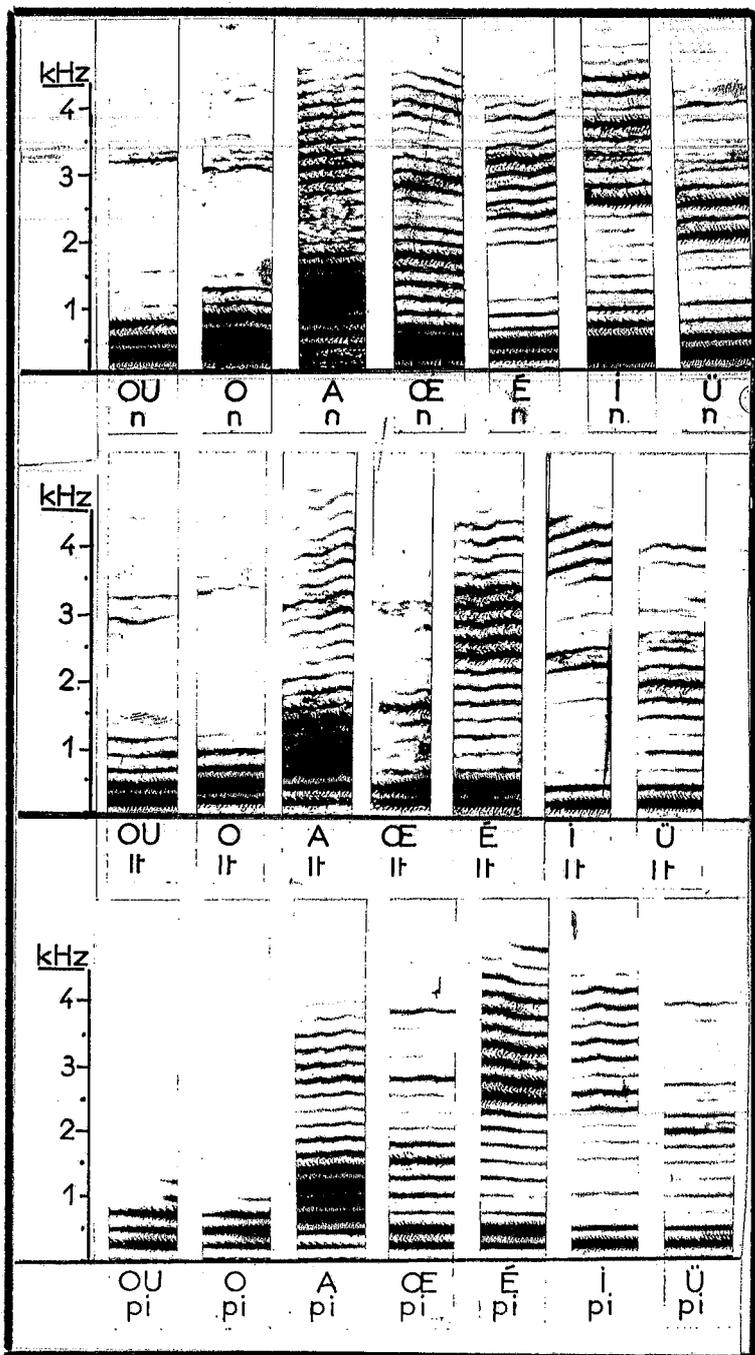
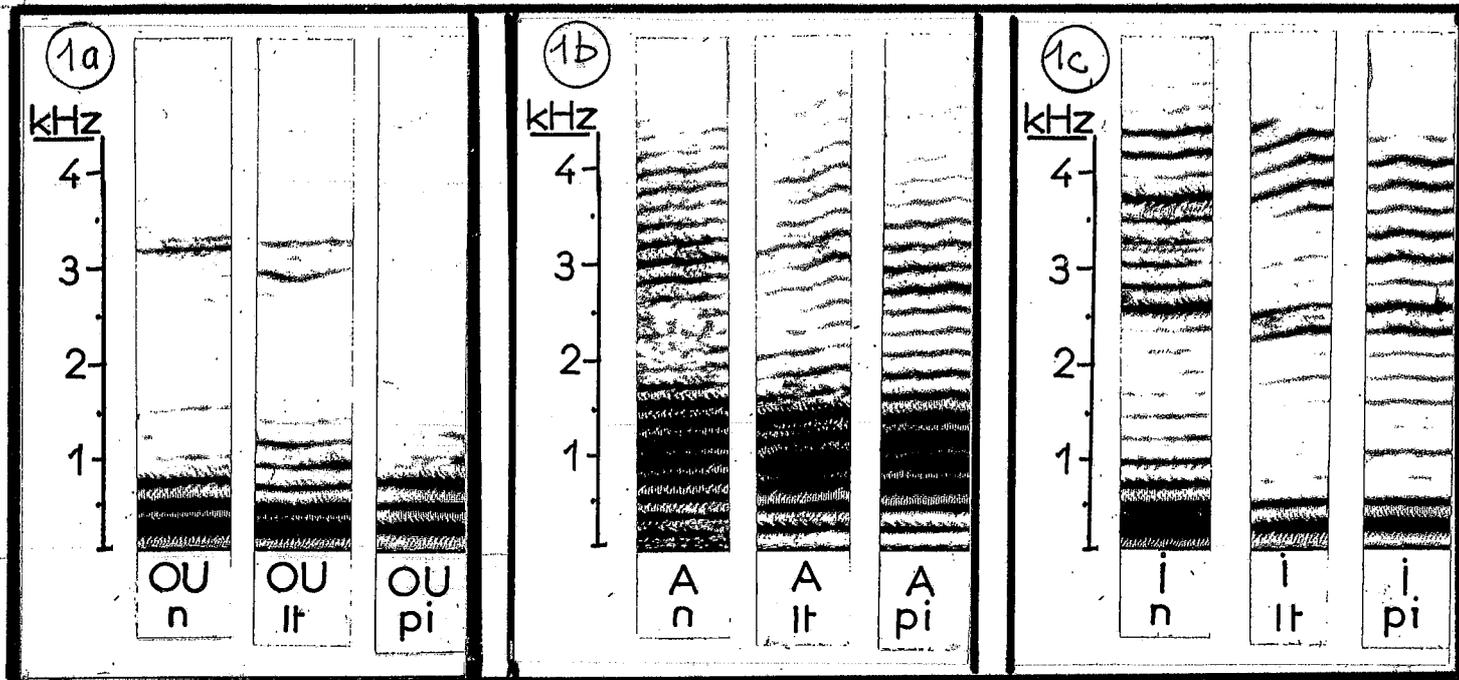
Fig. 1a, 1b et 1c - En haut, voyelles OU, A, I comparées dans les trois positions : normale, langué tirée (PV) et position inconfortable (P III). On voit que chaque fois l'aspect caractéristique du timbre de la voyelle est parfaitement conservé, la fermeture partielle de l'orifice entraînant simplement un " étouffement " du timbre.

Fig. 2a et 2b - Le tableau des voyelles nasales comparées deux à deux montre que les phonèmes sont caractérisés par une sorte de condensation du spectre dans le grave. On voit en outre que chez le sujet d'expérience en tout cas, les timbres IN et UN (\tilde{e} et \tilde{o}) sont nettement différenciés. La position III pour chaque nasale entraîne un étouffement du son.

Fig. 3 - Le grand tableau vertical représente les voyelles OU, O, A, OE; É, I, U de haut en bas en position normale puis en position V, langué tirée, enfin en position inconfortable (P III de la fig. VIII). L'interposition linguale n'entraîne que d'infimes modifications du timbre pour les voyelles OU, O, A, É, mais gêne considérablement l'émission claire de OE, I, U en entraînant l'élévation de la langue. Quant à la position III (dite inconfortable), grâce à des attitudes linguales quasi acrobatiques elle permet quand même l'émission correcte du timbre des voyelles mais il résulte de cette contrainte un certain tassement du spectre, le son manque d'éclat.

Fig. IX - Elle représente les attitudes caractéristiques des 3 voyelles principales : I, demande une très grande cavité postérieure et une diminution de l'orifice de sortie. OU, exige comme I un avancement très important de la portion linguale immédiatement sus-laryngée, mais un recul de la langue au dessus de cette cavité contribue à l'isoler partiellement de la cavité antérieure. L'A, postérieur exige un recul très important de la langue déterminant ainsi une très petite cavité postérieure qui communique largement avec la cavité antérieure grande ouverte.

Fig. X - Elle représente les voyelles A, OU, I dans la position la plus contraignante (P III) qui a pour conséquence une exagération des conditions déterminantes du timbre.



ABRÉVIATIONS :

n : normal.

lt : langue tirée

pi : position inconfortable

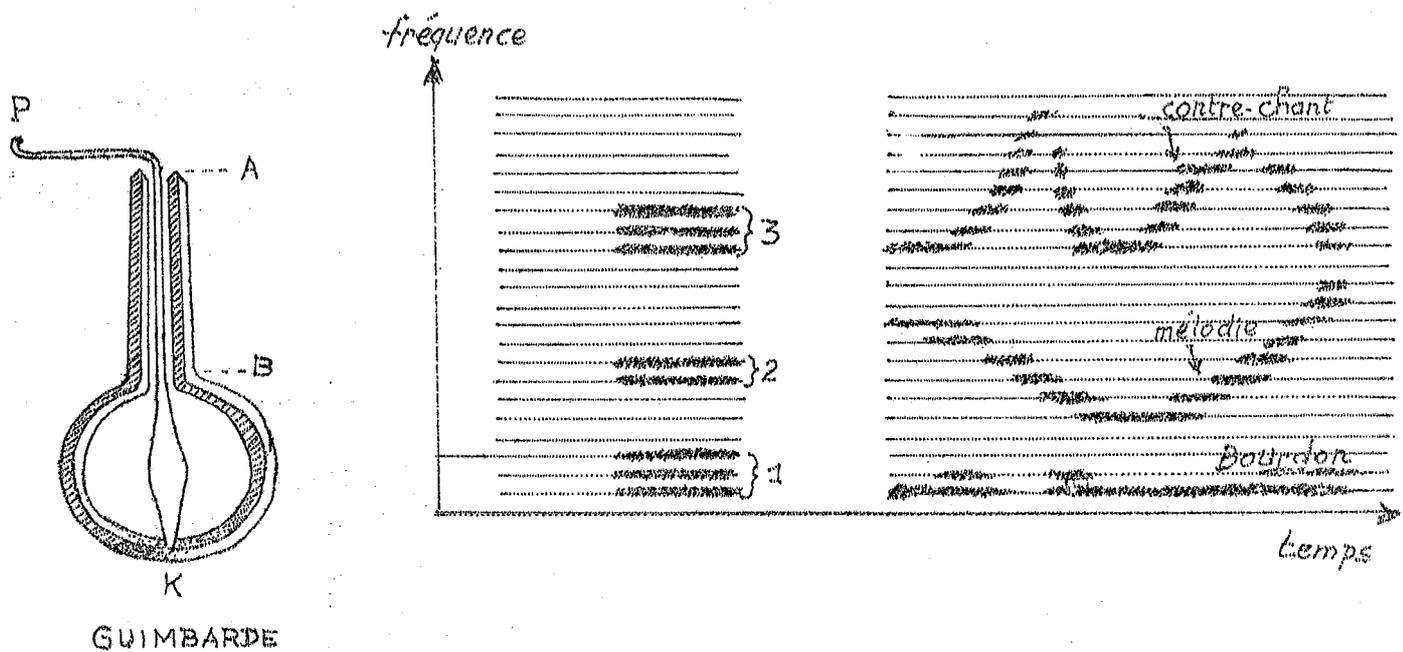
← fig 3

II - ETUDE DU JEU DE QUELQUES INSTRUMENTS DE MUSIQUE.OBSERVATIONS TIREES DE L'EXAMEN COMPARE DES IMAGES CINERADIOGRAPHIQUES
ET DES ANALYSES SONAGRAPHIQUES.LA GUIMBARDE - Planche 2

Le fonctionnement acoustique de cet instrument et son utilisation musicale ont été décrits dans le bulletin GAM N° 25. Rappelons en brièvement l'essentiel.

L'instrument est composé d'un cadre rigide métallique de forme variable et d'une lame d'acier sertie sur le cadre à l'une de ses extrémités (K). L'autre extrémité, libre, est coudée à angle droit (P). Dans la portion AB du cadre où les 2 branches rapprochées sont parallèles, la lame est ajustée de façon à laisser de part et d'autre des bords du cadre la fente la plus étroite possible, toute en oscillant librement sans toucher le cadre.

Lorsqu'on pince la lame d'une guimbarde on entend un son faible qui s'amortit très vite. Une analyse de ce son amplifié montre généralement un grand nombre de composantes quasi-harmoniques.



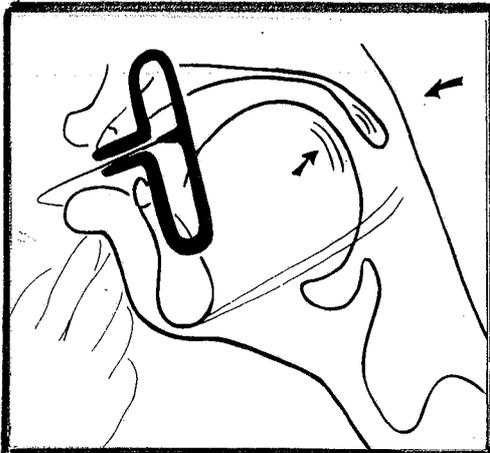
Plaçons la partie AB contre les dents entr'ouvertes et pinçons à nouveau la languette : certaines composantes correspondant à des résonances propres aux différentes cavités de l'appareil phonatoire sont renforcées (formants).

(*) La guimbarde sert donc d'excitateur, de générateur de son de hauteur fondamentale fixe, et l'instrument proprement dit est l'appareil phonatoire dont le musicien "joue" en accordant les cavités, en les couplant de façon complexe pour produire plusieurs voix simultanées.

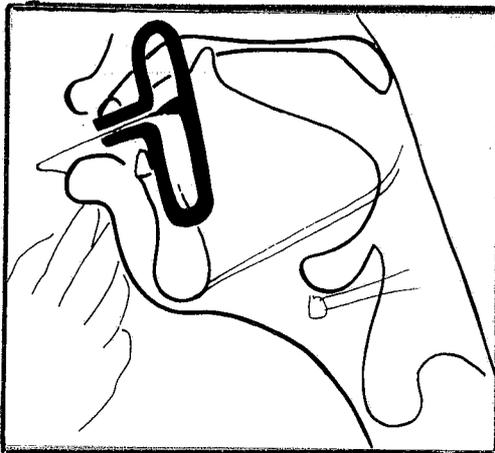
...../

(*) C'est ainsi que l'on peut parler avec une guimbarde, celle-ci remplaçant les cordes vocales, en produisant les mouvements de la parole "à la muette".

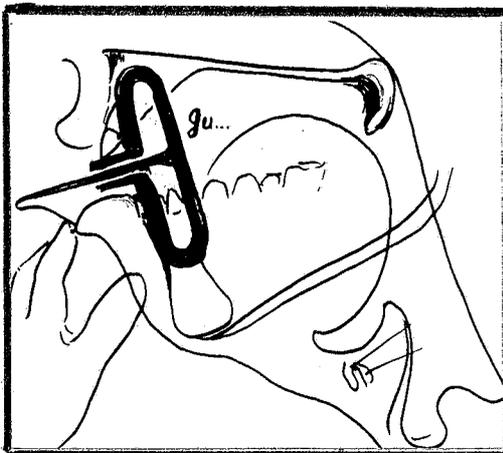
② GUIMBARDE



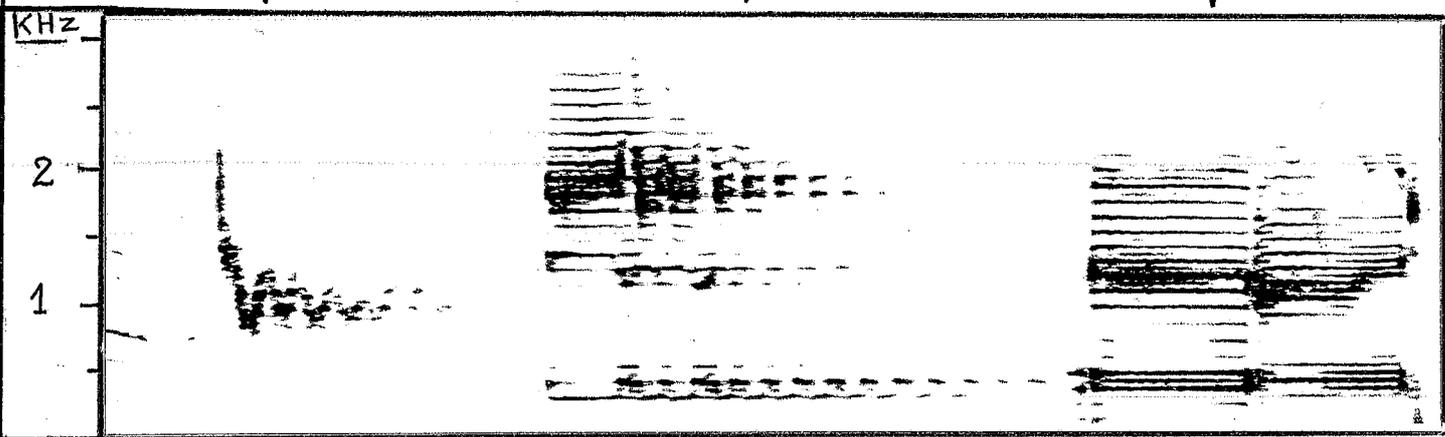
2a
↓



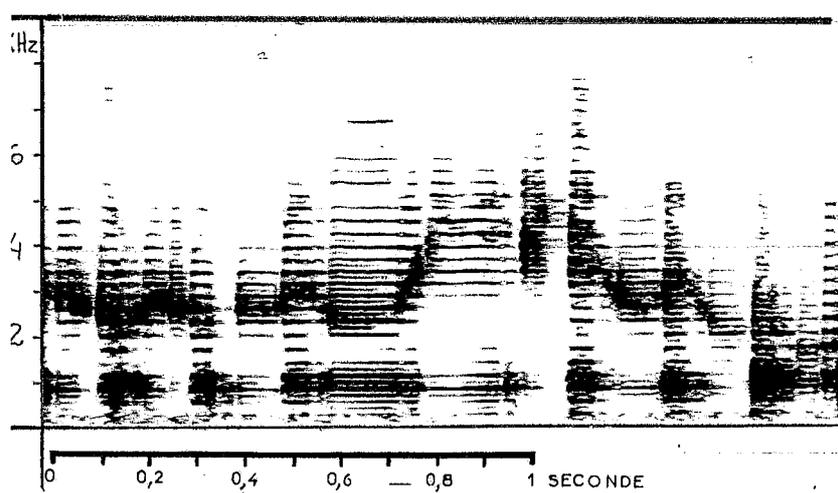
2b
↓



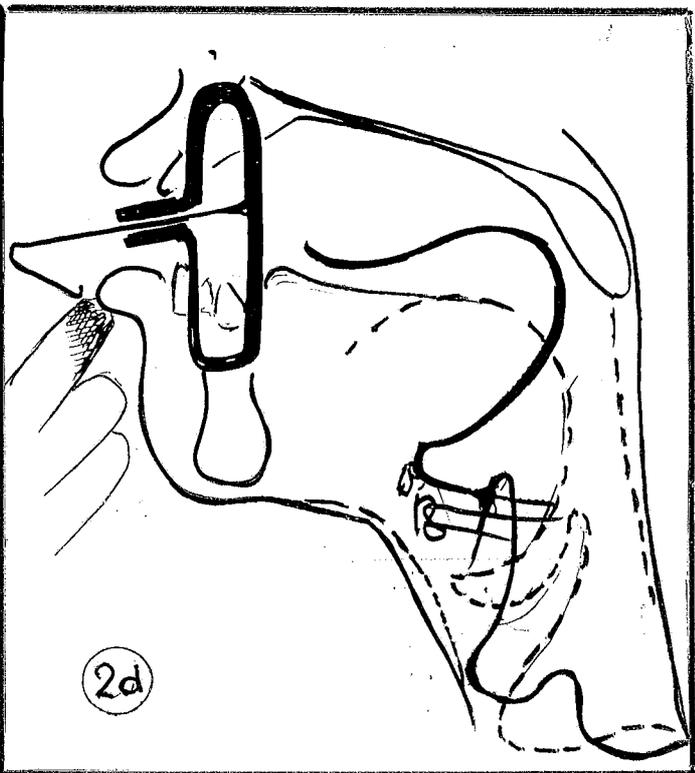
2c
↓



GUIMBARDE : Sonagramme du son correspondant aux trois positions cinéradiographiques représentées ci-dessus.



Sonagramme de jeu de guimbarde



②d

- 1 — Mouvement de la pointe
- 2 - - - Le pharynx se contracte
- 3 — Détente progressive et augmentation du volume de la cavité pharyngée

Si l'accord des cavités est très " pointu ", très sélectif, on pourra entendre une mélodie de hauteur bien définie (généralement le formant 2) accompagnée d'un bourdon, son grave fixe de la lame renforcé par le formant 1.

Si les résonateurs sont plus amortis, les formants visibles sur le sonagramme sont plus larges, et l'on entend plutôt une musique de timbre. Dans tous les cas le rythme est donné par la combinaison du pincement de la languette, arrêt du son et percussion, et du souffle inspiratoire ou expiratoire lequel modifie la hauteur du son de la languette et le timbre (du fait des modifications des cavités pendant les mouvements d'inspiration et d'expiration).

Du " jeu " de la guimbarde rien n'est visible de l'extérieur, hormis le pincement de la languette... On comprend l'intérêt de la cinéradiographie pour une meilleure compréhension des phénomènes. Malheureusement nous ne pouvons montrer ici que quelques états stables alors que seul le mouvement permet de se rendre compte des mécanismes mis en jeu.

Figure 2 nous montrons vis à vis 3 attitudes et les sonagrammes des sons correspondants.

- 2a - attitude préliminaire au jeu : voile du palais abaissé, langue en boule. Le dos de la langue et le voile du palais tremblent simultanément, produisant une variation périodique de la fréquence du seul formant visible sur le sonagramme.
- 2b - Début de jeu. Le voile du palais obture la cavité nasale, la pointe de la langue touche l'avant du palais dur, laissant vers l'avant une petite cavité. On voit nettement sur le sonagramme 3 formants dont le plus aigu, vers 2000 Hz est le plus intense.
- 2c - Jeu courant : voile du palais relevé, langue en boule. Le sonagramme montre les 2 formants principaux : le premier fixe (vers 500 Hz) le deuxième variable autour de 1000 Hz, responsable de la mélodie perçue.

La figure 2d représente, en superposition, trois attitudes caractéristiques relevées en cours de jeu. Il faut dire que le musicien ici examiné, TRAN QUANG HAI possède une agilité et une souplesse peu ordinaires dans le " maniement " de ses organes phonatoires.

Le sonagramme en vis à vis montre la complexité évolutive du jeu de guimbarde, timbre et rythme.

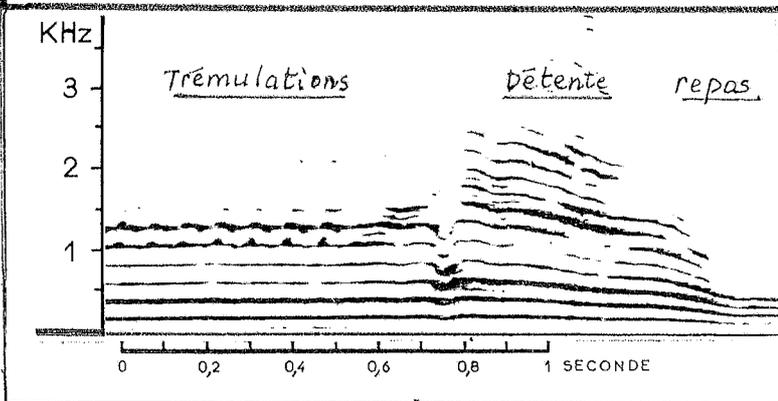
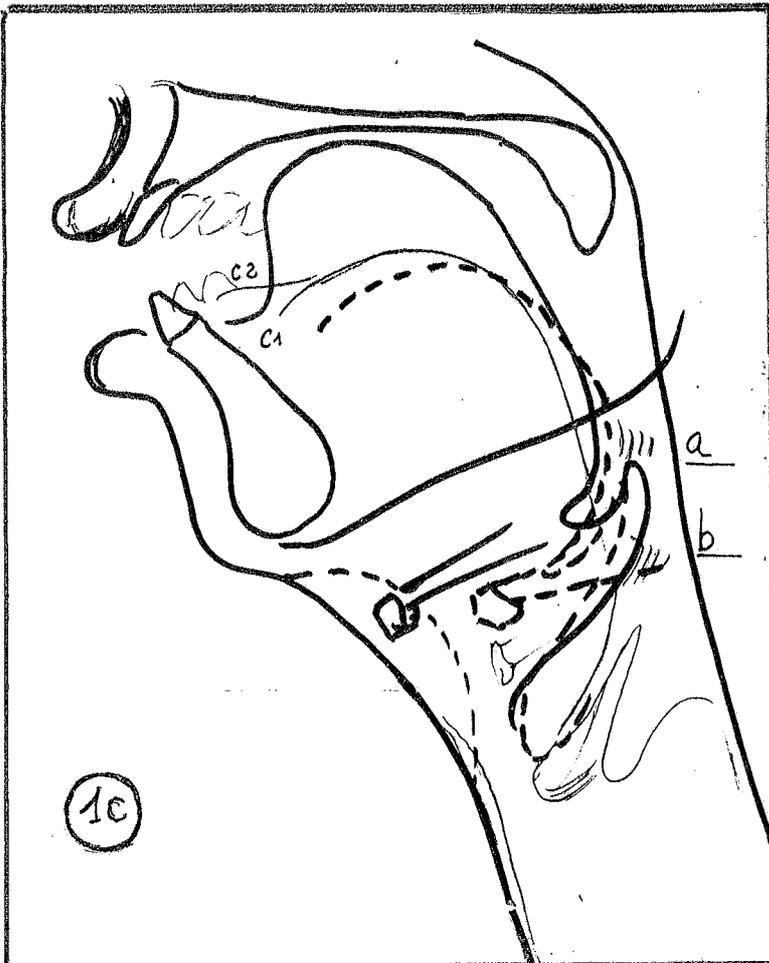
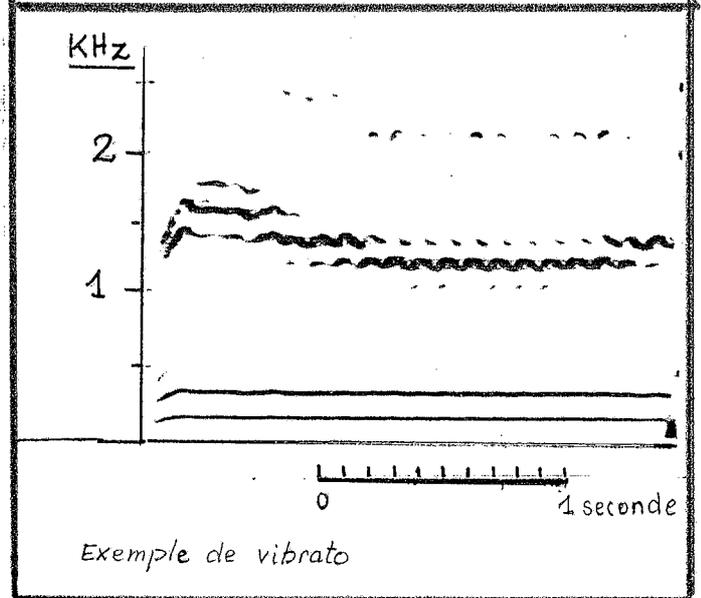
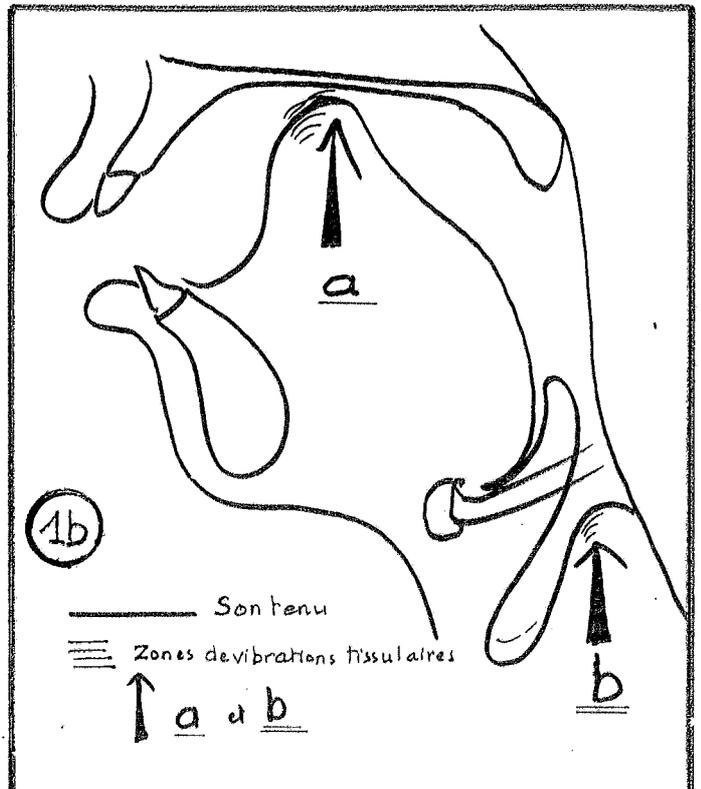
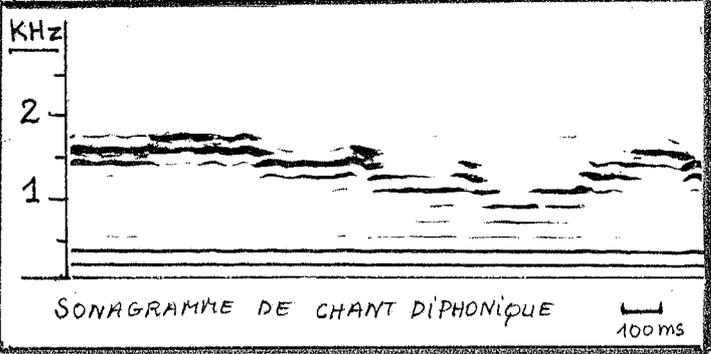
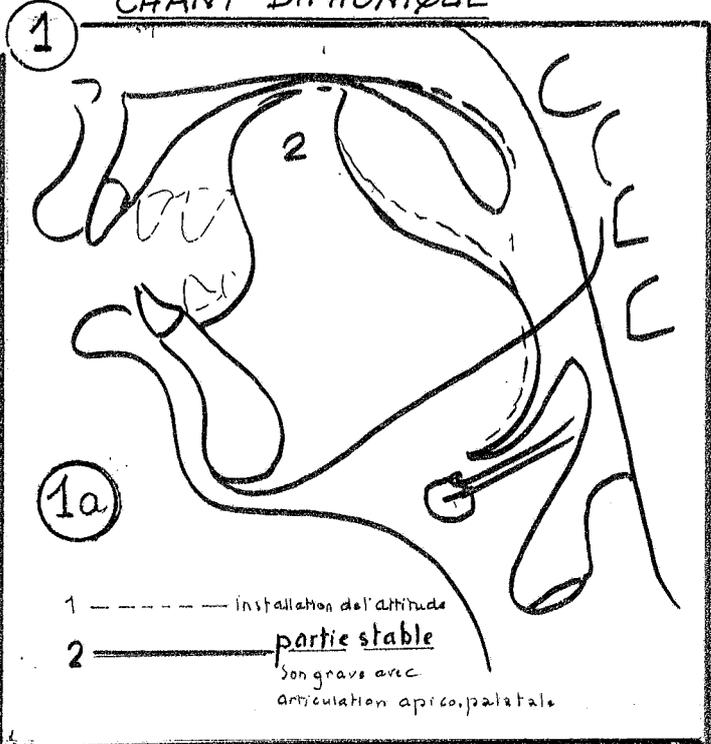
o
o o

CHANT DIPHONIQUE - Planche 1

Diverses techniques de chant ont pour but de permettre l'émission d'un son donnant la sensation d'un accord musical : l'auditeur perçoit plusieurs hauteurs distinctes (cf. Bulletin GAM N° 58). Dans l'exemple que nous avons étudié l'effet acoustique est très voisin de celui de la guimbarde, à cela près que le spectre harmonique est fourni par les cordes vocales au lieu de la lame vibrante de l'instrument. Emettant un son de hauteur donnée, le chanteur accorde sa cavité buccale de façon à sélectionner le plus étroitement possible un harmonique. L'attitude est couramment celle de la figure 1a (partie stable). En choisissant convenablement la hauteur du son fondamental (assez aiguë ici) il pourra utiliser au mieux les harmoniques 5 à 12 qui donnent une échelle musicale intéressante.

L'observation des images cinéradiographiques nous a appris que l'attitude de la langue est d'une grande précision et que les mouvements liés aux dessins mélodiques (modifications des résonances) sont à peine perceptibles.

CHANT DIPHONIQUE



1 — Mouvement articuloire
 2 — Son comportant un vibrato ; trémulations en a et b
 3 — Son d'extinction extrêm't grave, avant l'attitude de repos.
 Remarquer la double attitude de la pointe de la langue c¹ et c²

Figure 1b - Sur une attitude caractéristique le chanteur produit un vibrato intense (voir sonagramme sous la radio) en faisant vibrer la pointe de la langue.

Figure 1c - On y voit, superposés, les profils correspondant aux trois états du sonagramme correspondant, situé à droite du schéma :

- 1) mouvement articulaire pendant le chant.
- 2) son (non diphonique) très fortement vibré : a et b indiquent les parties qui contribuent au vibrato.
- 3) Détente de tout l'appareil phonatoire précédant le repos final; la hauteur de la voix baisse rapidement d'une octave environ.

o
o o

LA FLUTE A BEC - Planche 3

Le jeu de cet instrument demande une très grande maîtrise du souffle et de l'articulation de la langue, car c'est principalement et essentiellement par ces deux moyens que le musicien peut agir sur le son et en modifier les qualités.

Les figures 3a et 3b montrent la position de la langue se préparant à produire 3 articulations de base désignées par Te, De et Te Ke.

Les sonagrammes complétés par une courbe d'intensité à la partie supérieure permettent d'apprécier la durée des silences dus aux articulations. Elle décroît de T à K, et avec elle la sensation d'intensité.

A la vision du film on est frappé par la rapidité, l'agilité et la précision des mouvements coordonnés de la langue, du voile du palais et du larynx. On note également d'importantes modifications de la forme du conduit "supralaryngé" mais sans corrélation apparente avec des changements dans le timbre du son. Il semble que le réglage de la pression en soit seul responsable. (fig. 3d).

La figure 3c montre le lieu de plus intense vibration visible pendant la production d'un son avec vibrato.

o
o o

LA CLARINETTE - Planche 4

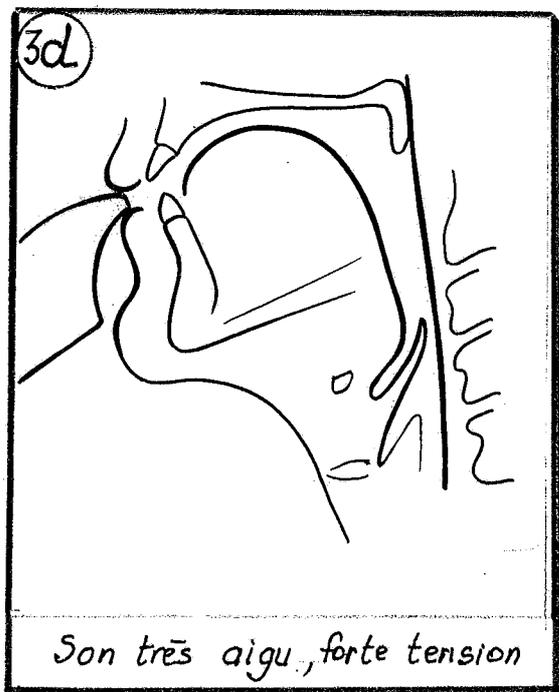
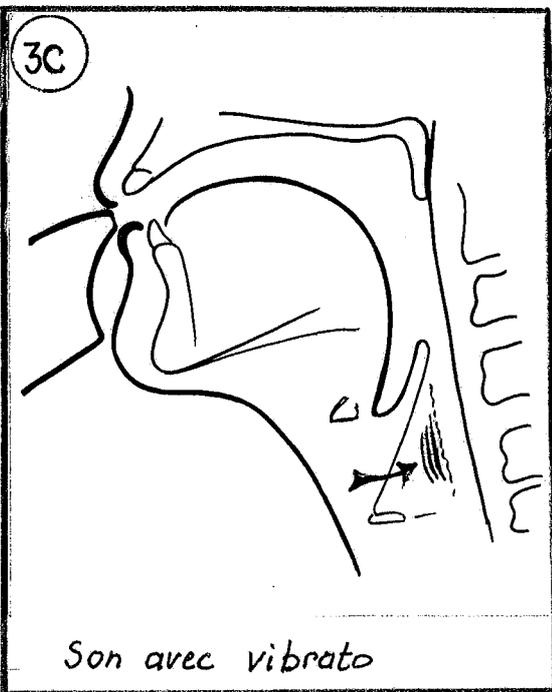
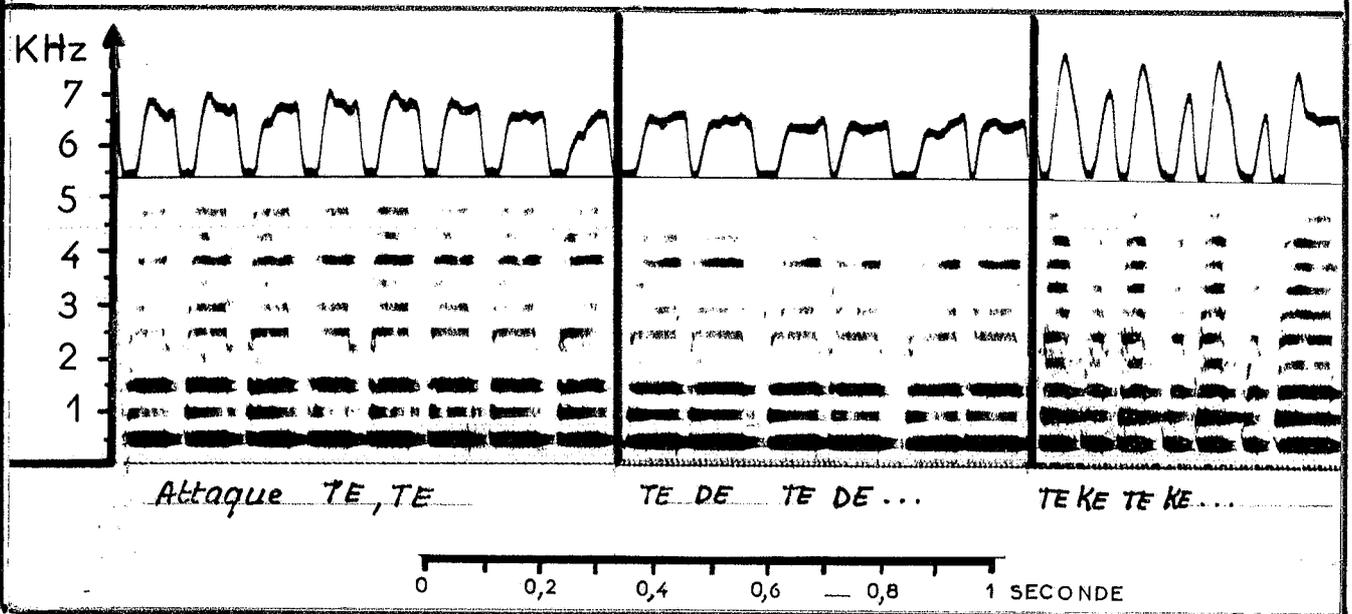
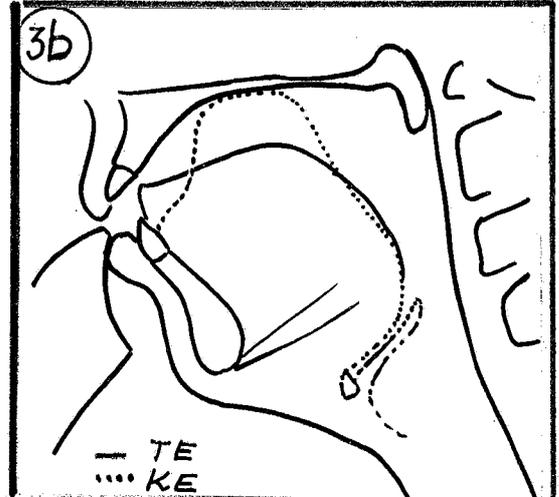
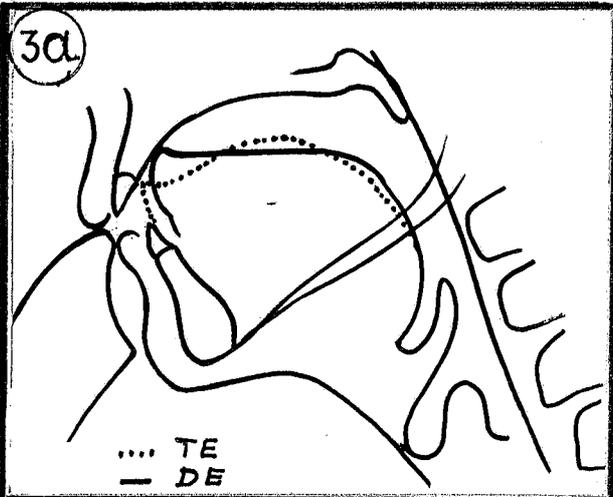
Les deux figures sont extraites d'une courte séquence. On y voit :

- la position du bec par rapport aux lèvres et aux dents.
- l'attitude de la langue au moment de l'attaque Te.
- la diminution de section du conduit pharyngo buccal pendant l'émission d'un son très aigu.

Nous espérons reprendre l'étude cinéradiologique du jeu de la clarinette, en particulier pour ce qui concerne le couplage entre l'appareil buccal et le bec de l'instrument.

o
o o

3 FLÛTE A BEC



CONCLUSION :

L'image cinéradiographique est un puissant moyen d'investigation, précieux pour l'étude des chanteurs et du jeu de certains instruments. Une séquence même très courte (pour des raisons physiologiques évidentes) apporte un grand nombre de renseignements mais que l'on ne découvre que très progressivement, au cours de nombreuses projections (sonores et visuelles) du document. L'image est complexe, difficile à déchiffrer pour des non-spécialistes; les points importants lèvres, langue, voile du palais, larynx sont nombreux et ne peuvent être observés simultanément; les grands mouvements attirent l'oeil mais ne sont pas toujours les plus significatifs quant au résultat sonore. Un apprentissage est donc nécessaire pour en tirer le meilleur parti.

L'intérêt serait encore plus grand s'il était possible de visualiser simultanément la cavité buccale et l'appareil respiratoire (poumons, diaphragme). On peut espérer que des techniques moins délicates à mettre en oeuvre que les rayons X, comme par exemple les ultra-sons, permettront prochainement de reprendre ce travail.

NOTE : Les documents disponibles sont :

- au Laboratoire d'Acoustique : un film 16 mm post-sonorisé comportant des séquences de chant vietnamien, de parole normale et voix de fausset (vietnamien), de flûte traversière et de guimbarde.
- à la Fondation BOREL-MAISONNY : une bande magnétoscopique montrant des exemples de chant diphonique, de guimbarde, de clarinette, de flûte à bec et quelques phrases en parole pathologique imitée (insuffisance vélaire).