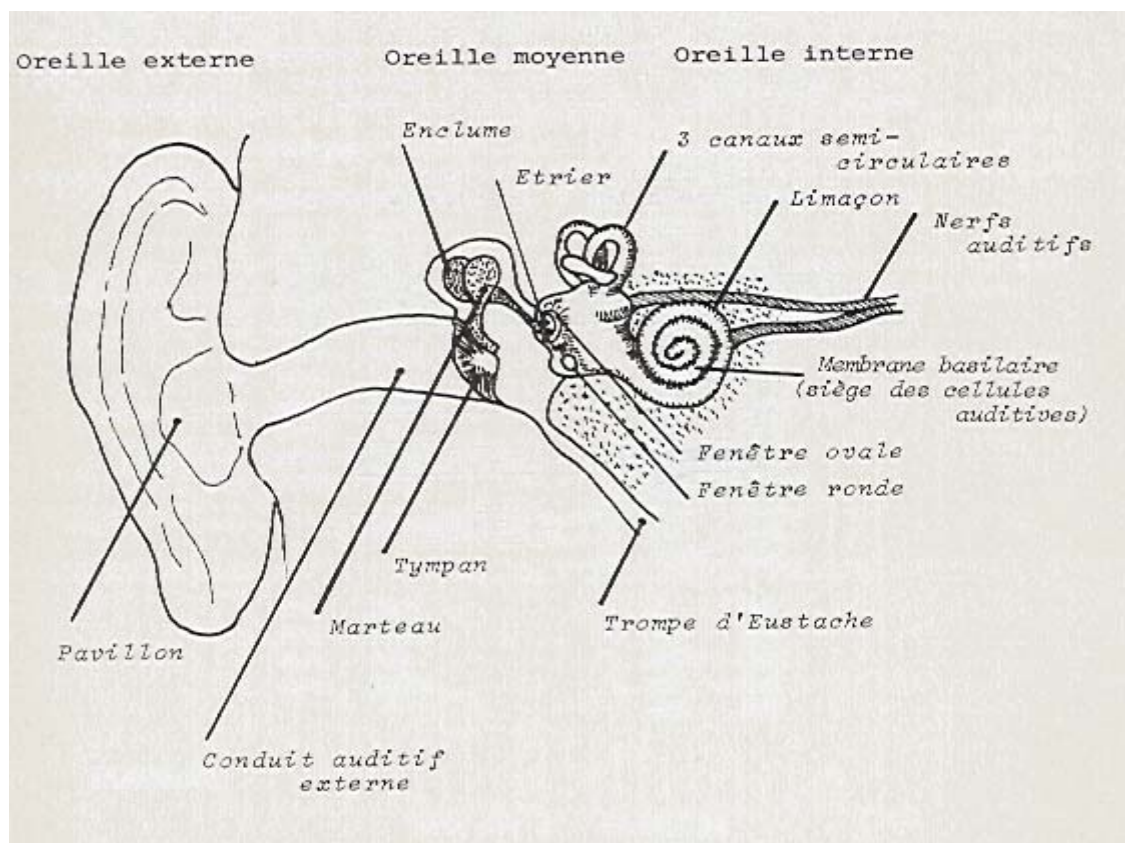


3 Phonétique acoustique

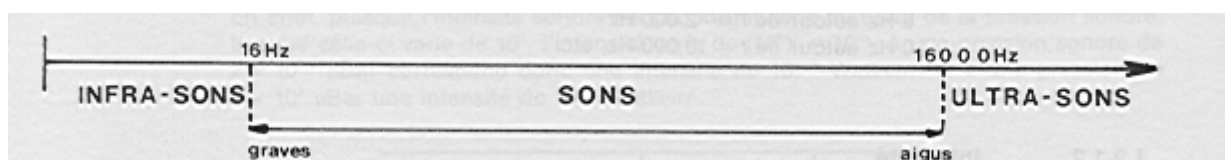
1. L'audition

Pour qu'il y ait son → dispositif de perception

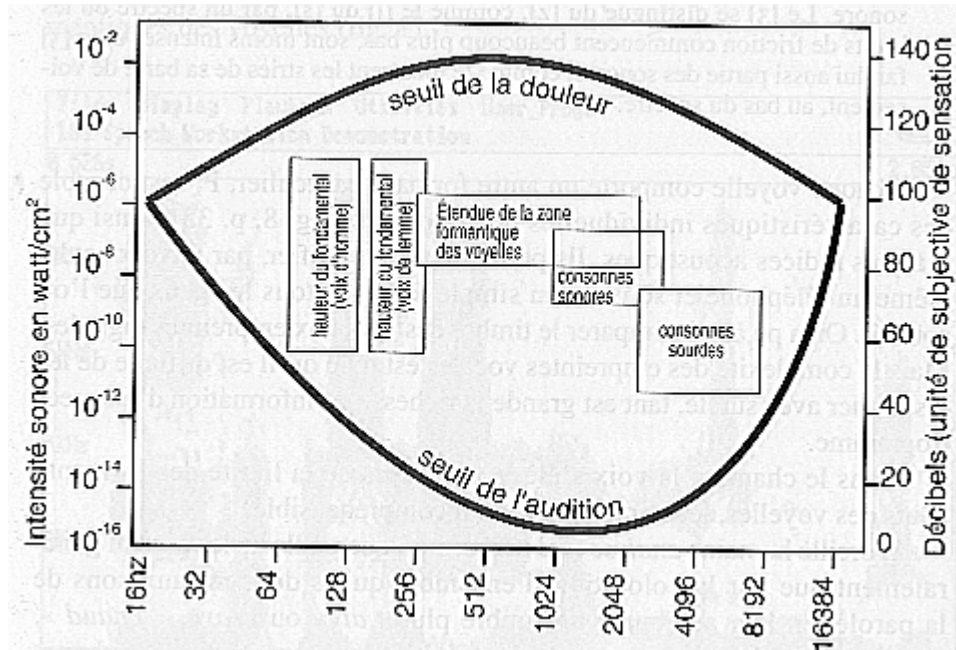
◆ Les 3 zones de l'oreille



- ◆ Les dispositifs : le pavillon, le tympan (10^{-5} mm/ 10mm), la cochlée
- ◆ L'oreille externe concentre, l'oreille moyenne conduit, l'oreille interne transforme
- ◆ Comme tout dispositif non inerte → domaine de sensibilité :
 - enfants (11hz à 20 000hz) vieillards (25 hz à 12 000 hz)



- La sensibilité de l'oreille n'est pas fixe mais varie selon la fréquence : à 2500 hz → 4 hz, à 8000 hz → 18 hz
- Le domaine de l'oreille



2. Première distinction des sons du langage

◆ On peut distinguer :

Mouvement vibratoires périodiques	apériodiques
Sons harmoniques	non harmoniques
tons purs, sons	bruits
résonance	pas de résonance principale
vibration sans constriction	constriction
type ouvert	type fermé
<i>vocoides (voyelles)</i>	<i>contoides (consonnes)</i>

3. perception des différences

- ◆ La perception de la hauteur mélodique d'un son == fréquence de vibration
 - sons (périodiques) : C'est la fréquence la plus basse du complexe (F0) qui commande l'impression de hauteur musicale ou mélodique du son

- bruits (apériodiques) : C'est le domaine des fréquences les plus fortes qui commande l'impression de hauteur musicale ou mélodique du son
- ◆ Remarque sur les dispositifs à filtre passe bas : F0 est perçu (reconstruit) même lorsqu'il est physiquement filtré (absent).
- F0 est le plus petit entier multiple du spectre des fréquences
 - Etant donné un spectre à 300hz, 450hz, 600hz, 750hz, F0 est reconstruit à 150hz
 - Plus F0 est bas (voix basse), plus le spectre est riche en harmoniques : F0 100hz → 200, 300, 400, 500, 600hz
F0 200hz → 400, 600hz
 - Les voix humaines sont suffisamment graves pour posséder un grand nombre d'harmoniques audibles → différenciation des couleurs vocaliques
 - F0 : Homme 100/ 150hz, Femme 200/ 300hz, enfant 300/ 450hz
- ◆ Remarque concernant la perception de la fréquence par l'oreille : perception selon une échelle logarithmique à base 2
- Dans le domaine 16hz -- 16000hz, chaque fois que la fréquence est doublée on perçoit un même écart : de 16 à 32, 64, 128, 256, 512, 1024, 2048, 4096, 8192, 16284 hz. Cet écart perçu comme identique est l'octave
 - Le domaine de perception peut donc être découpé en 10 octaves (ut-1 à ut9) chaque octave est divisé en 12 demi tons . orgue de ut-1 à ut 9, piano 7 octaves
- ◆ Perception de l'intensité
- dépend de la force, de l'énergie → amplitude de la vibration

- plus la fréquence est haute (aiguë) plus il faut d'énergie pour avoir l'impression de la même intensité
- intensité : mesure physique en watts, dynes, pression, travail etc.
- Pour l'oreille l'intensité perçue augmente de 1 toutes les fois que l'énergie augmente de 10 (loi de Fechner Weber, perception logarithmique à base 10 de l'intensité)

Percept	1	2	3	4	5	6	7	8
stimulus	10	100	10^3	10^4	10^5	10^6	10^7	10^8
stimulus	de 1 à 8 = de 10 à 100.000.000							

◆ L'échelle subjective de l'intensité perçue : décibel

- La plus petite intensité audible à 1000hz = 0 Db
- Quelques intensités remarquables

micro Pascal	dB	
$6,3 \cdot 10^9$	170	fusée spatiale;
$2 \cdot 10^8$	140	avion à réaction au décollage; seuil de la douleur;
$6,3 \cdot 10^7$	130	mitrailleuse;
$2 \cdot 10^7$	120	marteau pneumatique; avion à hélice au décollage; tonnerre; voix dite de grand opéra (à 1 mètre);
$6,3 \cdot 10^6$	110	atelier de chaudronnerie; scie mécanique;
$2 \cdot 10^6$	100	camion; train; métro; intérieur de voiture bruyante; moto sans silencieux; voix dite d'opéra comique;
$6,3 \cdot 10^5$	90	intérieur de métro, d'autobus;
$2 \cdot 10^5$	80	rugissement du lion à quelques mètres; intérieur d'auto; gare animée;
$6,3 \cdot 10^4$	70	rue très animée; circulation intense;
$2 \cdot 10^4$	60	conversation normale; magasin;
$6,3 \cdot 10^3$	50	bureau tranquille; aspirateur;
$2 \cdot 10^3$	40	rue calme; quartier résidentiel la nuit; voix chuchotée;
$6,3 \cdot 10^3$	30	habitation calme; jardin; salle vide de cinéma;
$2 \cdot 10^2$	20	bruissement léger;
6,3	10	respiration normale; silence total; désert;
20	·0	seuil d'audition.

4. La perception des voyelles : le timbre

- ◆ Deux sons de même fréquence F_0 et de même intensité peuvent être différents. Ex La (440hz) d'un violon et d'un alto
- ◆ Le timbre (couleur) est perçu \rightarrow composition, force relative et place des harmoniques dominantes.
 - différence entre hauteur (F_0) et timbre (Harmoniques)
 - F_0 bas et harmoniques dominantes basses = couleur grave (voyelles d'arrière)
 - F_0 haut et harmoniques dominantes hautes = couleur aiguës (voyelles d'avant)
- ◆ caractéristiques individuelles de la voix : F_0
 - On peut avoir une même couleur (voyelle) pour des voix différentes (F_0)

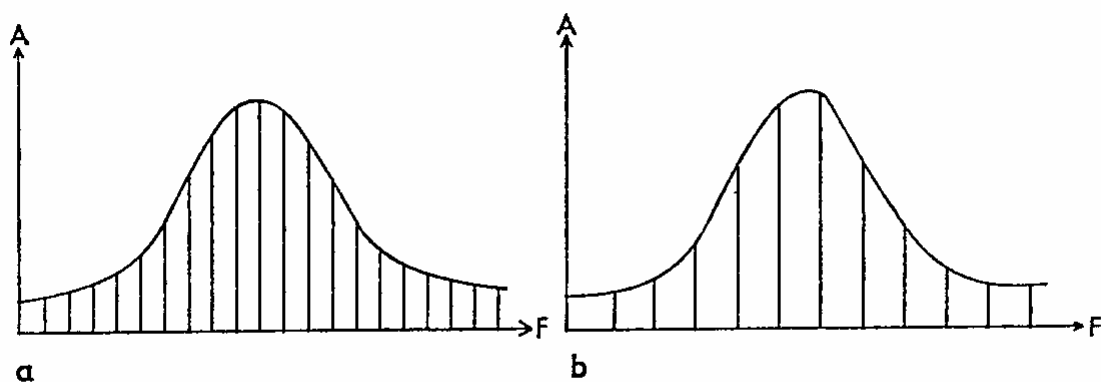
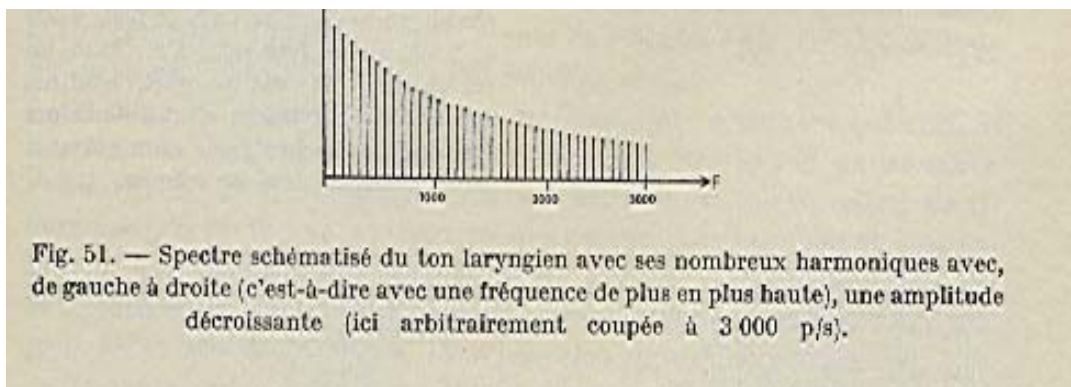


Fig. 54. — Spectres de deux tons ayant des fondamentaux différents (celui à droite deux fois l'autre), par ailleurs identiques.

- ◆ Caractéristiques des voyelles ; place et force des harmoniques
 - Chant d'une même voyelle [a] sur les notes de la gamme → F0 varie, harmoniques dominantes stables (résonateur fixe)
 - Chant sur une même note la [440hz] des différentes voyelles → F0 fixe, harmoniques variables (forme du résonateur)

5. Timbre et résonance

- ◆ voix humaine : source d'énergie → source sonore → résonance
 - cavités infra glottiques, glottiques et supraglottiques
 - Le ton glottal (ton laryngien) → vibration des cordes vocales. Il est très riche en harmoniques régulièrement décroissantes :



- ◆ Un résonateur est un dispositif qui possède des caractéristiques propres de résonance (filtre)
 - Etant donné un fondamental et ses harmoniques, et un résonateur possédant ses caractéristiques propres de résonance, dans le son résultant, certaines fréquences sont renforcées d'autres sont filtrées. On obtient un spectre complexe (coloré).

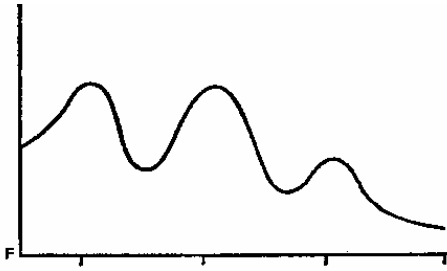


Fig. 52. — Courbe de résonance fortement simplifiée du tube résonateur en position de repos (avec des maxima d'intensité à 500, 1 500, 2 500 etc. p/s).
Horizontalement : les fréquences,
verticalement : l'intensité (en db).

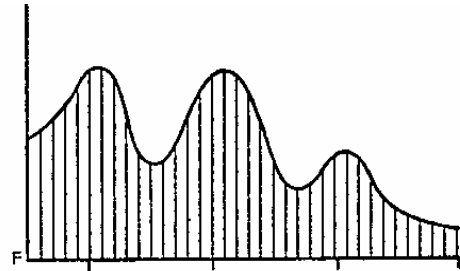


Fig. 53. — Spectre fortement schématisé du timbre du ton laryngien après avoir été modifié par la résonance du tube résonateur. Les sommets, c'est-à-dire les maxima d'intensité, s'appellent formants et sont, dans cet exemple, arbitrairement choisis au nombre de trois (à 500, 1 500 et 2 500 respectivement). En réalité, un tel spectre, s'il est complet, contient encore des fréquences et des domaines formantiels plus hauts que ceux qui sont visibles dans ce schéma.

◆ Deux fondamentaux différents peuvent donner les même formants (résonateurs de forme semblable)

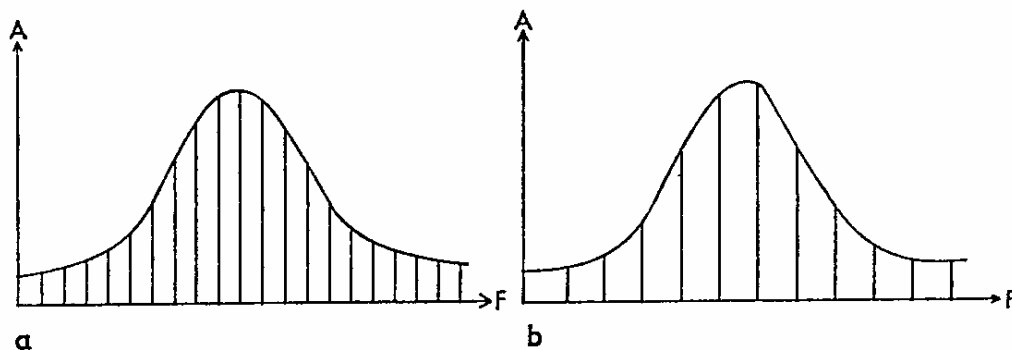
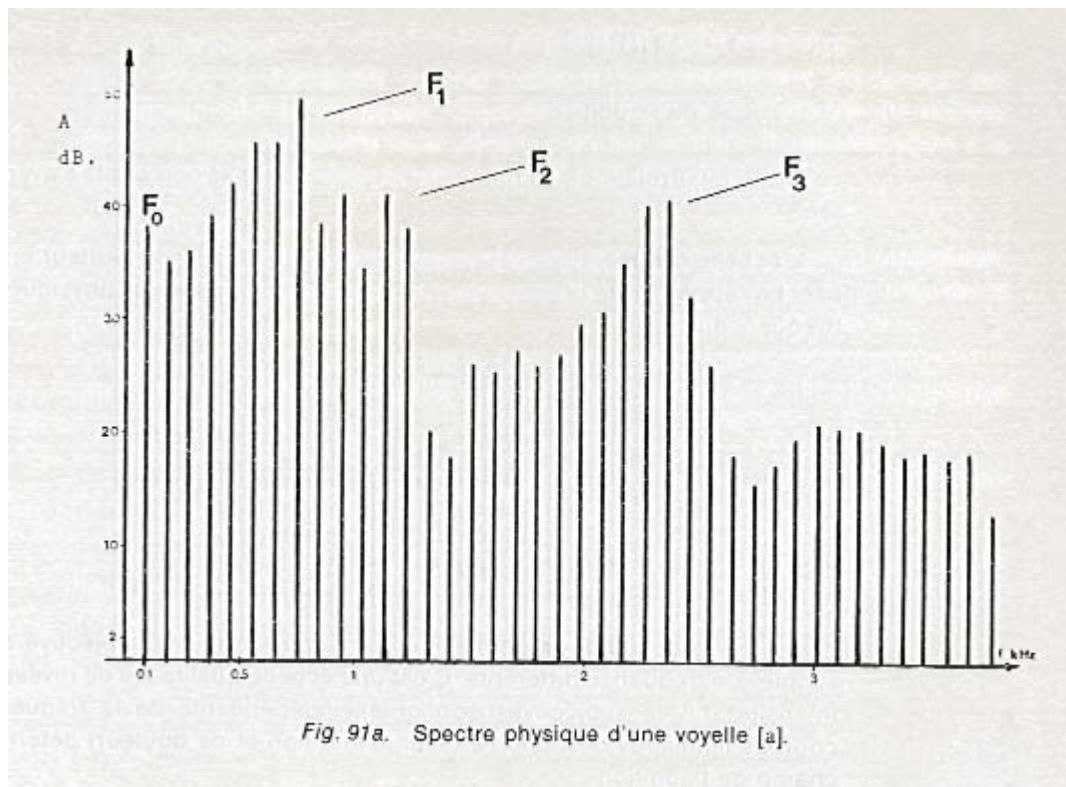
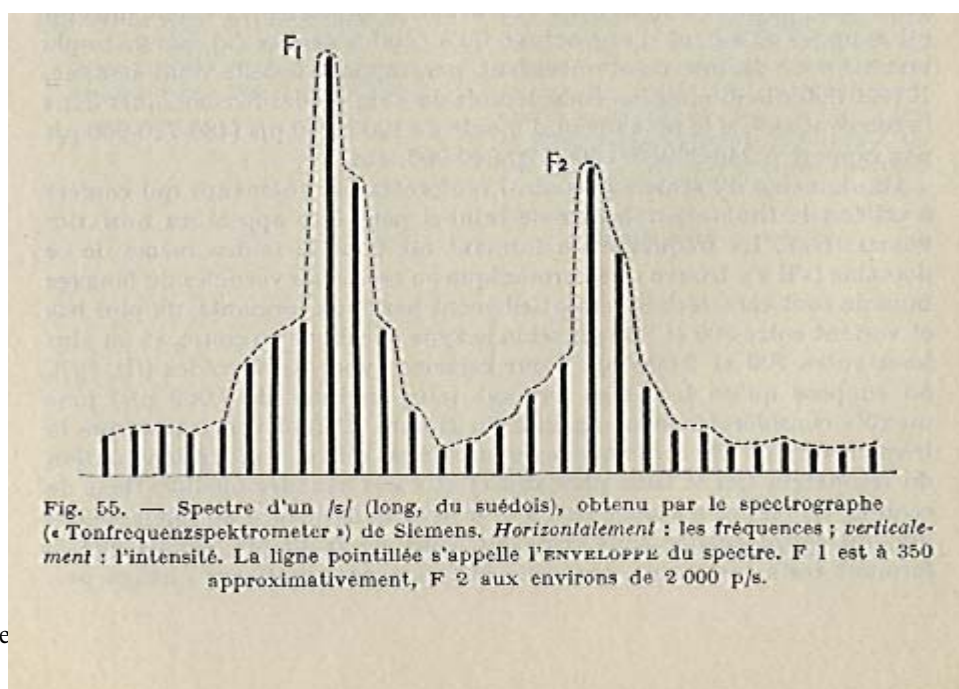


Fig. 54. — Spectres de deux tons ayant des fondamentaux différents (celui à droite deux fois l'autre), par ailleurs identiques.

- ◆ Les harmoniques dominantes constituent les sommets du spectre : les formants.



- ◆ Chaque voyelle est caractérisée par la fréquence de ses formants. F1 et F2 suffisent (parfois F3) : F1 entre 300/800Hz, F2 700/2500 Hz, F3 3000Hz



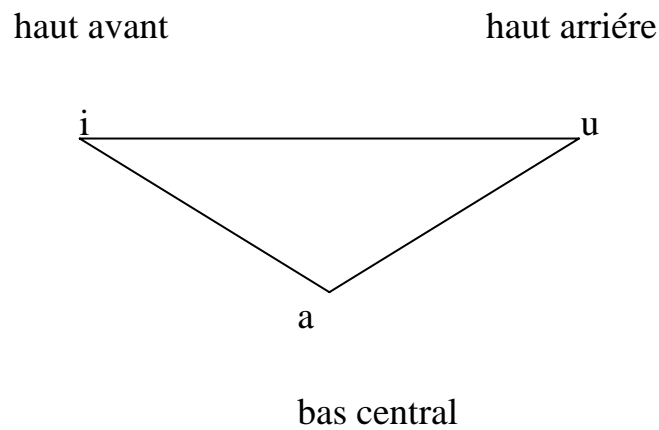
◆ Caractéristiques moyenne des voyelles françaises (F1, F2, F3)

	F ₁	F ₂	F ₃
[i]	280	2 300	2 950
[e]	350	1 950	2 550
[ɛ]	450	1 800	2 470
[a]	660	1 350	2 380
[ɑ]	620	1 150	2 250
[ɔ]	480	1 050	2 250
[o]	360	780	2 230
[u]	290	850	2 270
[y]	290	1 800	2 140
[ø]	360	1 450	2 290
[œ]	490	1 380	2 270
[ə]	380	1 400	2 200

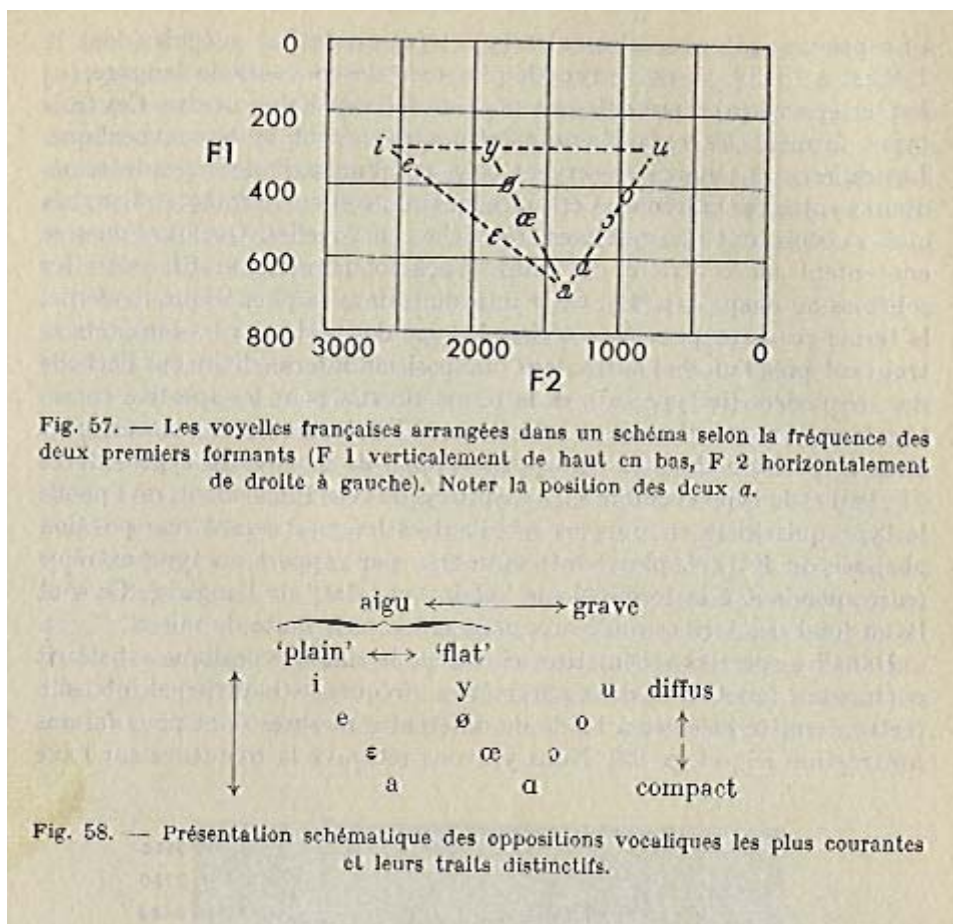
FIG. 12. — Valeurs formantiques des voyelles orales du français (d'après Debrock et Forrez, 1976, légèrement modifiées)

- ◆ L'espace des formants correspond à l'espace buccal : points de déformation maximale de la cavité buccale

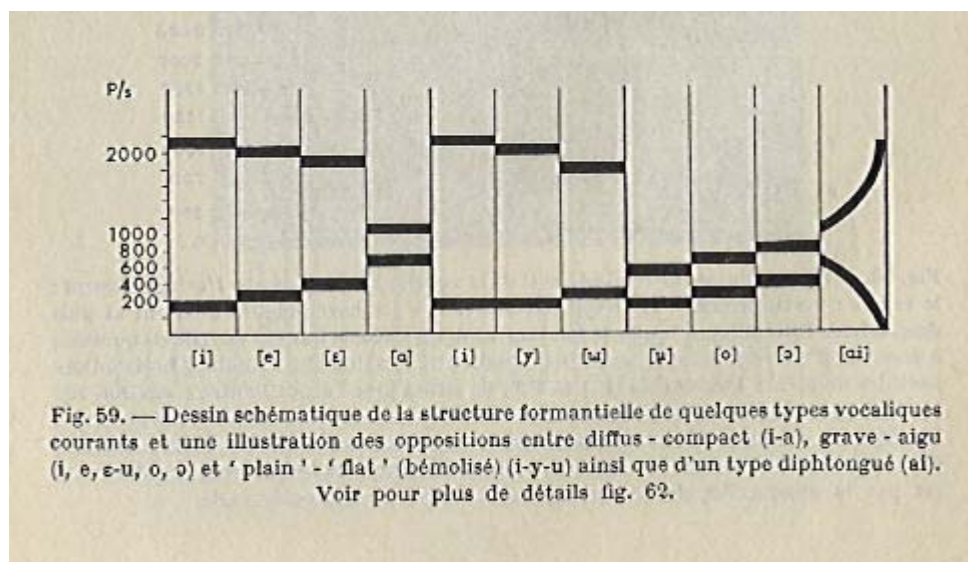
◆ Le triangle vocalique de base :



◆ Le triangle vocalique dans l'espace formantique :

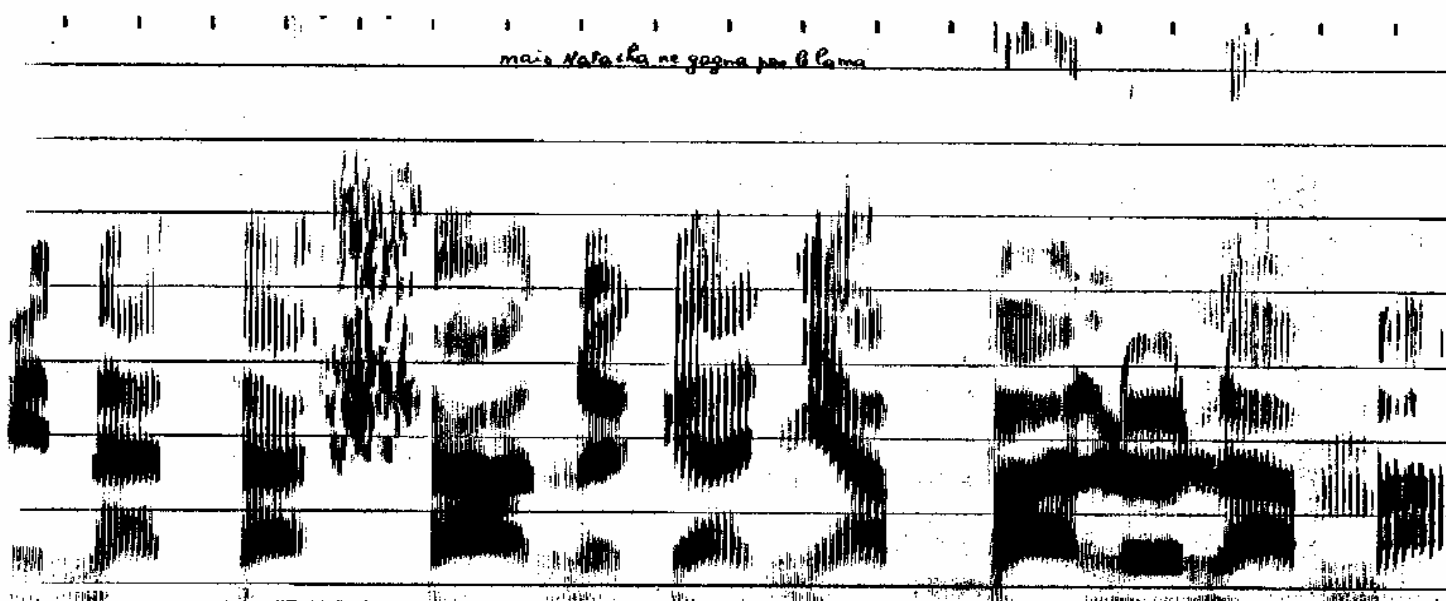


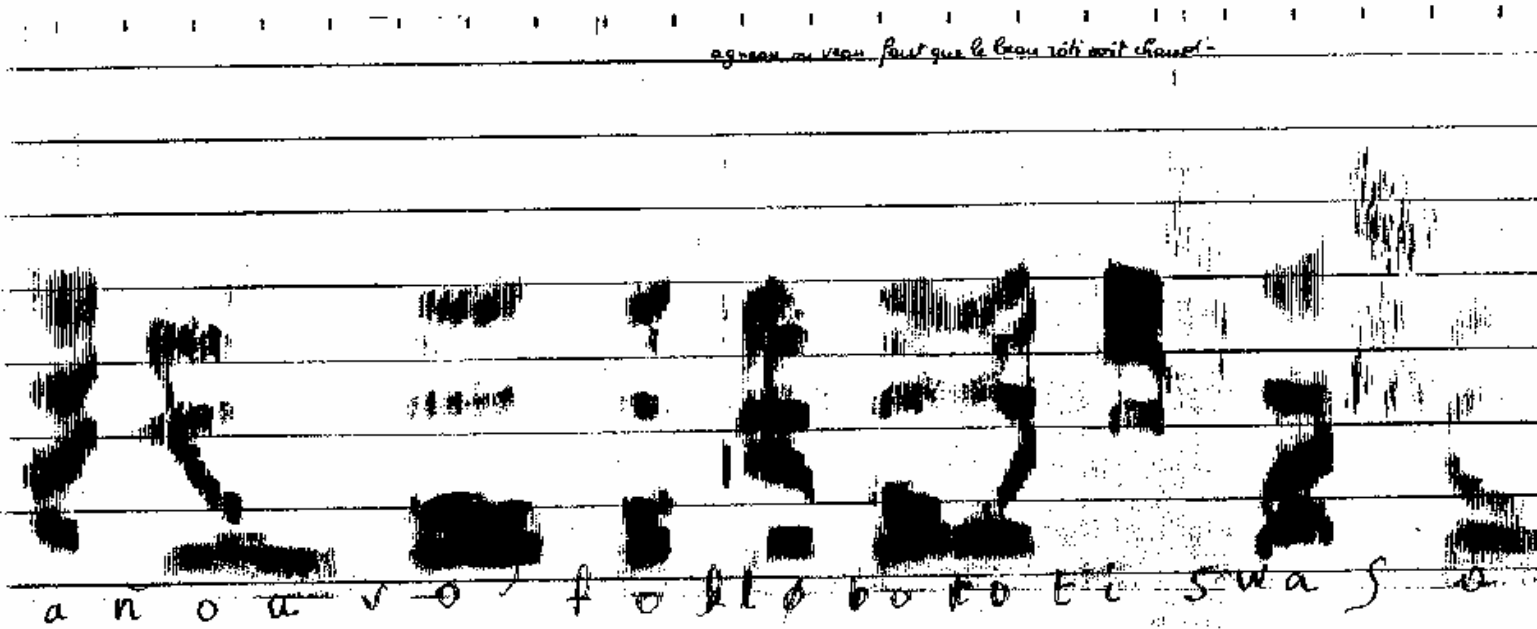
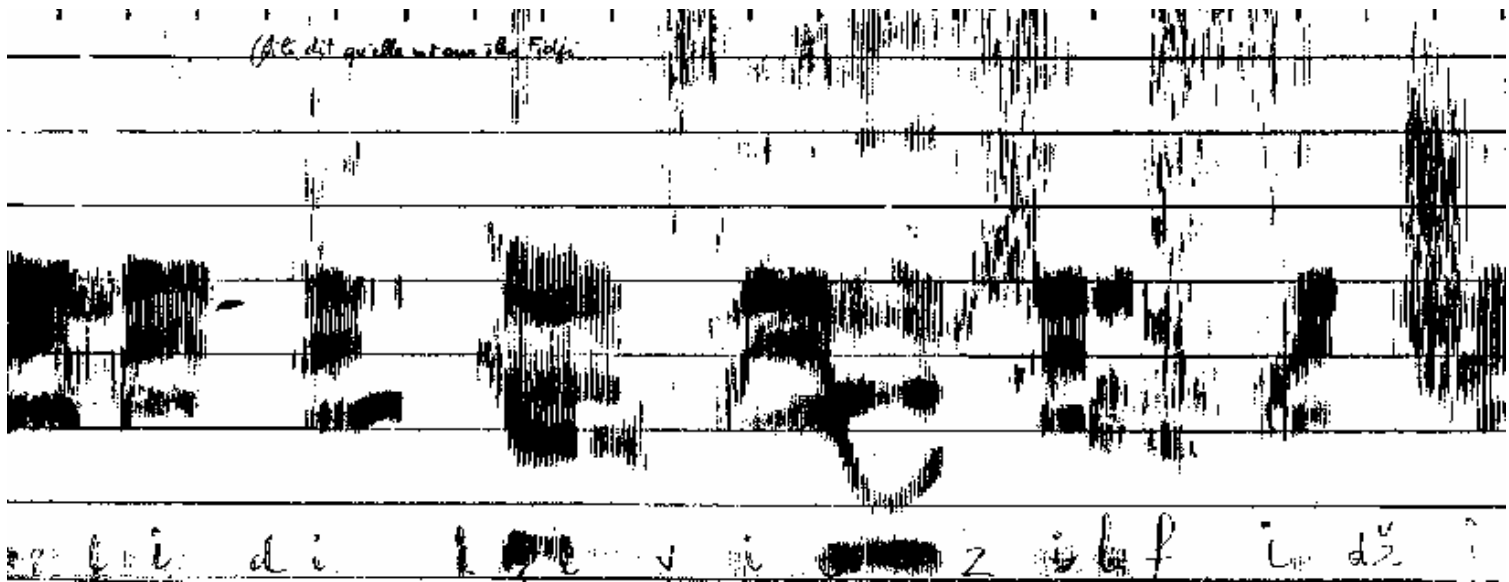
- ◆ Caractérisation des voyelles par leur deux premiers formants (stables), compact/diffus, aigu/ grave, bécarre/ bémol



- ◆ Le spectrogramme : formant, fréquence, intensité, temps

Exemples de spectrogrammes





- ◆ Les sons aperiodiques : perception des consonnes :
- Zone de transition formantique : transiente: Locus

fig. 65-66 a et b et fig. 67 (avec le texte).

