

## ANALYSE SPECTRALE DES VOYELLES CHEZ LES SUJETS ATTEINTS DE MALADIE DE PARKINSON

ARABIA-GUIDET C.

INSERM U3 "Physiologie et Pathologie Cerebrale"  
47 Bd de l'Hopital  
75651 PARIS Cedex 13

MAITTON A.

Laboratoire "Image et Parole" et Laboratoire de Phonétique (DRL)  
Université Paris 7  
2 Place Jussieu 75005 PARIS

CHEVRIE-HUILLET C.

INSERM U3 "Physiologie et Pathologie Cerebrale"  
47 Bd de l'Hopital  
75651 PARIS Cedex 13

### RESUME

Cette etude se place dans le cadre plus general d'un programme, en cours d'elaboration, d'aide au diagnostic automatise des troubles de la phonation.

L'analyse du signal electrolottographique ainsi que l'analyse spectrale du signal acoustique permettent en effet, en procedant a l'etude quantitative et descriptive du timbre vocalique, d'aider a la detection de troubles, tant au niveau de la source sonore qu'a celui de l'articulation.

L'etude presentee ici concerne uniquement l'analyse spectrale de voyelles /a/ du francais prononcees par une population temoin en voix "normale" et en voix "faible" et par des sujets atteints de maladie de Parkinson.

Les resultats font apparaître que la fréquence des formants varie tres peu d'un groupe a l'autre. Par contre, la répartition spectrale de la puissance est significativement differente d'une population a l'autre et semble être un indice pertinent pour la detection et éventuellement la classification d'une voix pathologique.

### INTRODUCTION

L'etude du timbre vocalique de sujets atteints de troubles phonatoires a déjà été entreprise par plusieurs auteurs, essentiellement dans le cas de pathologies du larynx.

Nous nous intéressons plus particulièrement aux troubles liés a un dysfonctionnement du système nerveux central tels qu'on peut les rencontrer chez les sujets parkinsoniens.

La voix des malades parkinsoniens a été décrite par la plupart des auteurs de la littérature comme une voix de faible intensité. L'altération du timbre a aussi été fréquemment signalée et l'élévation du fondamental est également classique ([3],[6]). L'analyse, comportant une comparaison sujets témoins/sujets malades, a donc été complétée par une autre étude comparative avec les mêmes sujets témoins mais ayant la consigne de parler d'une voix "faible".

### CORPUS-SUJETS

Le corpus est constitué de deux /a/ tenus et de dix /a/ situés à l'intérieur des mots suivants :

/kaRe/, /fam/, /lega/, /banan/, /banan/, /gaze/, /qarqarism/, /jasceR/, /kuppapje/ et /mazik/.

L'ensemble des locuteurs, tous de sexe masculin, est constitué de dix sujets témoins et dix sujets parkinsoniens.

Tous ces sujets ont prononcé les dix mots. Pour les voyelles tenues, l'analyse porte sur six locuteurs parkinsoniens (PK) et sept locuteurs témoins en voix "normale" (NX). En voix "faible" (FA), quatre personnes ont prononcé les deux /a/ tenus ainsi que les six premiers mots de la liste.

### METHODE

Rappelons brièvement la méthode employée déjà décrite dans un précédent article ([1]) : les enregistrements sont numérisés à 16 kHz et un calcul de transformée de Fourier rapide (FFT) est effectué avec une fenêtre de Hanning de 512 points (32 ms) dans la partie centrale des voyelles. Les spectres sont ensuite normalisés par rapport à leur puissance totale.

Ces spectres, présentant des "pics" et des "vallées" dans les mêmes régions, ont été divisés en six classes dont les bornes correspondent à la fréquence moyenne des minima, soit

Classes	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Fréquence en Hz	60	375	1125	1875	3000	4500
	à	à	à	à	à	à
	375	1125	1875	3000	4500	7000

Nous avons également réalisé des spectrogrammes en bande large d'une partie du corpus (cf fig 1) : leur observation confirme bien la rapidité et l'existence paradoxale de transitions brusques perçues à l'oreille chez les Parkinsoniens ([5]).

De fait, la partie stable des voyelles est souvent très brève et les formants difficiles à localiser. De même, l'articulation des consonnes paraît assez imprécise.

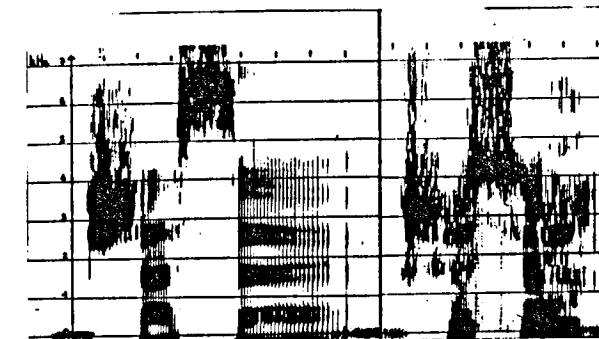


Fig. 1 Spectrogrammes du mot /jasceR/ : à g. : sujet témoin, à d. Parkinsonien.

Ces spectrogrammes, faute de pouvoir fournir des mesures sûres, n'ont pas été exploités et toutes les mesures indiquées ci-dessous ont donc été déterminées à partir des spectres.

### RESULTATS

Une première analyse a consisté à chercher si la cible articulatoire (et donc le timbre de la voyelle /a/) était bien atteinte ou non. Le tableau ci-dessous indique quelle l'est puisqu'on ne détecte aucune différence importante dans la fréquence des formants parmi les trois groupes de sujets, aussi bien pour les voyelles tenues que pour les /a/ situés à l'intérieur des mots (cf tableau 1).

/a/ (mots)	NX		FA		PK	
	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$
F1	560	95	590	60	545	105
F2	1480	140	1455	65	1480	80
F3	2420	135	2505	120	2445	205
F4	3520	135			3505	135

/a/ tenus	NX		FA		PK	
	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$
F1	665	65	655	85	625	115
F2	1140	105	1210	170	1230	130
F3	2500	170	2575	180	2555	205
F4	3530	295			3350	330

Tableau 1. Moyenne et écart-type des fréquences des formants F1 à F4 en voix normale et faible et chez les Parkinsoniens dans les mots (en haut) et les voyelles tenues (en bas).

Les variations observées entre les /a/ des mots

et les /a/ tenus, en particulier sur les formants 1 et 2, se retrouvent de façon identique dans les trois populations et le test t de Student effectuée sur ces mesures montrent que les différences entre voix "normale" d'une part et voix "faible" ou pathologique d'autre part ne sont jamais significatives.

Le tableau 2 montre au contraire que la puissance de ces formants varie selon les voix :

/a/ (mots)	NX		PK	
	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$
F0	100	14	112	8
F1	91	15	79	20
F2	70	18	54	16
F3	52	17	36	15
F4	39	19	27	13

Tableau 2. Moyenne et écart-type des puissances en dB du ditch et des formants chez les témoins et les Parkinsoniens (normalisées sur celle du F0 témoin).

Même si les écarts-types sont importants et donc les moyennes à prendre avec précaution, on constate de façon assez nette une puissance plus élevée chez les Parkinsoniens que chez les témoins dans le pic du fondamental et par contre plus basse dans les pics formantiques (cf fig. 2).

log

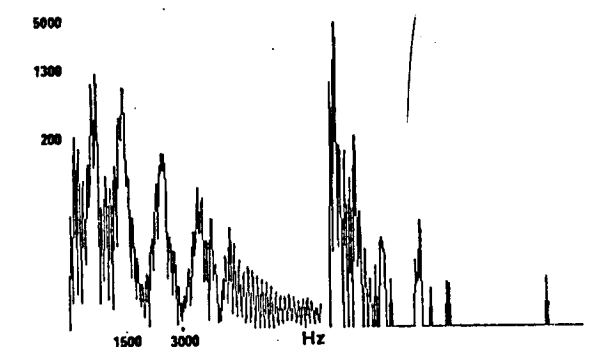


Fig. 2 Spectres du mot /banan/ : à g. : sujet témoin, à d. Parkinsonien.

Ces résultats vont être confirmés par l'étude de la répartition de la puissance des classes C1 à C6 définies ci-dessus.

Les tableaux 3 et 4 synthétisent toutes les

mesures prises et le resultat du test t de Student (apparie dans la mesure du possible) effectuees sur les paires voix "normale"/voix "faible" (NX/FA), voix "faible"/Parkinsonien (FA/PK) et temoin/Parkinsonien (NX/PK)

/a/	NX1		NX2		FA1		PK1		PK2	
(mots)	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$
C1	2920	1520	2740	1330	4600	1620	4210	1300	4560	2760
C2	2897	825	2942	746	2018	785	2578	898	2529	925
C3	1649	616	1617	546	1014	424	1067	512	1000	522
C4	1244	351	1314	530	948	480	879	316	907	413
C5	974	480	971	644	664	297	711	485	741	531
C6	309	282	411	465	471	126	510	122	496	238

/a/	NX3		NX4		FA2		PK3	
(tenus)	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$
C1	3410	1470	2450	1590	5920	1710	4980	900
C2	3168	1007	3909	1161	1640	1252	2625	771
C3	1106	380	1389	477	782	405	991	382
C4	962	326	1110	449	572	275	532	148
C5	1142	709	977	688	521	291	435	222
C6	204	155	161	128	502	279	431	208

Tableau 3 Moyenne et ecart-type de la puissance par classe.

/a/ des mots: NX1: 6 mots x 4 loc., NX2: 10 x 10, FA1: 6 x 4, PK1: 6 x 10, PK2: 10 x 10  
/a/ tenus: NX3: 4 loc., NX4: 7 loc., FA2: 4 loc., PK3: 6 loc.

/a/(mots)	NX1/FA1		FA1/PK1		NX2/PK2	
ddl	21		77		181	
	t	S	t	S	t	S
C1	5,851	***	-1,695	NS	5,591	***
C2	-4,796	***	2,568	*	-3,305	***
C3	-4,777	***	0,431	NS	-7,801	***
C4	-2,377	*	-0,750	NS	-5,824	***
C5	-2,903	**	0,423	NS	-2,643	**
C6	2,420	*	0,766	NS	1,581	NS

/a/tenus	NX3/FA2		FA2/PK3		NX4/PK3	
ddl	7		17		23	
	t	S	t	S	t	S
C1	5,611	***	-1,558	NS	4,713	***
C2	-3,241	*	2,124	*	-3,156	**(*)
C3	-1,502	NS	1,149	NS	-2,253	*
C4	-4,011	**	-0,400	NS	-4,083	***
C5	-2,305	NS	-0,738	NS	-2,503	*
C6	4,520	**	-0,633	NS	4,003	***

Tableau 4 Resultats des tests de comparaison des populations voix "normale"/voix "faible", voix "faible"/Parkinsoniens, voix "normale"/Parkinsoniens.

COMMENTAIRE

Chaque classe C1 a C5 contient respectivement le

pitch F0 et les formants F1 a F4. La puissance de ces classes reflete donc l'intensite globale des harmoniques situes dans le voisinage de chacun des pics principaux du spectre

La comparaison entre temoins en voix normale et Parkinsoniens a permis de mettre en evidence que la puissance des classes C2 a C5 chez les premiers est toujours superieure a celle des voix de Parkinsoniens, au contraire de celle des classes C1 et C6, toujours inferieure. De plus, il y a une inversion de pente dans la partie basse du spectre puisque la puissance en C2 est plus elevee que celle de C1 (cf fig 3 et 4)

Par contre, l'hypothese qu'on a faite d'une modification de la repartition de la puissance du spectre liee chez les Parkinsoniens a une diminution de l'intensite vocale est confirmee par la similitude entre voix "faible" et voix de Parkinsonien. En effet, qu'il s'agisse de mots ou de voyelles tenues, il n'y a pas de difference significative entre ces deux populations. Cependant la puissance en C1 est sensiblement plus faible chez les seconds et donc la pente du spectre plus raide. La raison de cette dissemblance pourrait etre trouvee dans une legere difference d'intensite vocale entre les voix "faibles" des sujets normaux et les voix des Parkinsoniens puisque l'on sait par ailleurs, que le spectre du signal glottique est d'autant plus raide que la voix est moins intense ([2],[4])

On a evidemment confirme qu'il existait une disparite importante entre voix "normale" et voix "faible": les differences sont tres significatives par exemple dans les mots. Les classes C1 a C3 qui contiennent l'essentiel de l'information tant sur la source sonore que sur le timbre du phone realise n'ont rien de comparable: chez les temoins, peu d'energie en C1 et beaucoup en C2; situation inverse chez les voix "faibles". Les classes suivantes presentent des divergences moins importantes

Ceci est moins vrai dans les voyelles tenues puisque, si la difference reste importante pour la premiere classe, elle s'estompe dans tout le reste du spectre. Sans doute, la cause doit etre recherchee dans le fait que parler "faiblement" pour les sujets temoins n'est pas naturel donc difficile a maitriser et ce d'autant plus que la voyelle est accentuee. Cependant, le nombre peu eleve d'items doit inciter a la prudence quant a une

quelconque interpretation

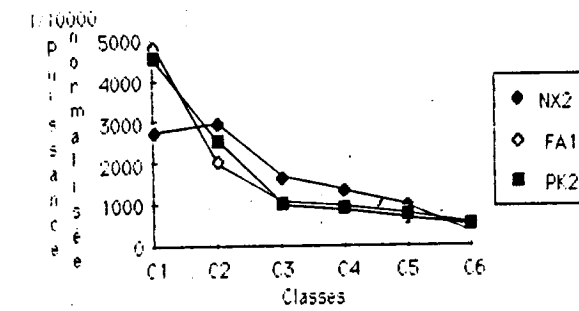


Fig 3 Puissance par classe dans les /a/ des mots pour les trois groupes de sujets.

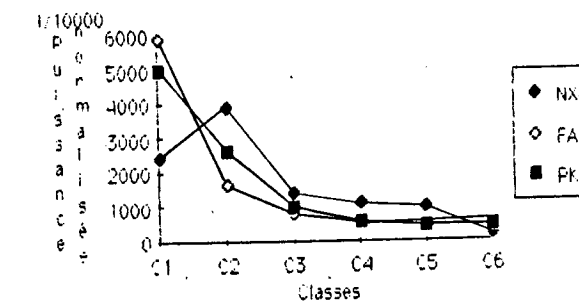


Fig 4 Puissance par classe dans les /a/ tenus pour les trois groupes de sujets.

Si la pente du spectre est à peu près parallèle de C2 à C5 entre les divers sujets, elle est par contre très différente d'un groupe à l'autre entre C1 et C2 d'une part, et C5 et C6 d'autre part. Comme le montre le tableau 5, ce phénomène est amplifié encore sur les voyelles tenues.

	NX	FA	PK
/a/(mots)			
C2/C1	1,07	0,42	0,59
C6/C5	0,42	0,71	0,67
/a/ tenus			
C2/C1	1,60	0,28	0,53
C6/C5	0,16	0,96	0,99

Tableau 5 Rapport des puissances moyennes des classes adjacentes C2/C1 et C6/C5 pour les trois groupes de sujets.

CONCLUSION

Le calcul par classes, c'est-à-dire par bandes de fréquence fixes, semble fournir un bon indice de

description du timbre des sujets parkinsoniens. Cependant, il faut l'utiliser avec précaution compte tenu des variations non négligeables dans la population témoin (voir les écarts-types).

Il est en tous cas plus fiable que la puissance des formants qui est souvent trop faible pour en faire une mesure correcte et qui nécessite la détection préalable, pas toujours aisée et de plus inutile puisque non pertinente, de ces formants.

On a pu confirmer que certaines caractéristiques spectrales de la voix parlée des Parkinsoniens étaient liées à la diminution d'intensité de l'émission vocale. On peut discuter du mécanisme de cette diminution d'intensité: insuffisance respiratoire (signalée par certains auteurs) et/ou rigidité (raideur) des cordes vocales et des muscles larynges (en faveur d'une telle rigidité plaide aussi l'élévation du fondamental).

Les données actuellement recueillies sont insuffisantes pour évaluer les conséquences possibles d'une rigidité de l'appareil articulaire supra-glottique. On notera cependant la réalisation formantique normale de la voyelle /a/. Une étude ultérieure devrait envisager les mêmes mesures sur d'autres voyelles.

REFERENCES

- [1] ARABIA-GUIDET C, MANTOY A. Diagnostic automatisé des troubles de la phonation: analyse spectrale des voyelles. ITBM vol 7, n° 6, 1986 p 728-736.
- [2] FANT G. Preliminaries to analysis of the human voice source. STL OPR n° 4, 1982 p 1-27.
- [3] GUIDET C, CHEVRIE-MULLER C. Méthode de traitement du signal électroglottographique: application au diagnostic automatisé des troubles de la phonation. ITBM vol 4, n° 6, 1983 p 617-635.
- [4] LONGCHAMP F. Les sons du français: analyse acoustique descriptive. 1985.
- [5] RONTAL M, ROLNICK M. Objective evaluation of vocal pathology using voice spectyography. Ann Otol n° 84, 1975 p 662-671.
- [6] SEGUIER N, SPIRA A, DORDAIN M, LAZAR P, CHEVRIE-MULLER C. Etude des relations entre les troubles de la parole et les autres manifestations cliniques de la maladie de Parkinson. Folia phoniatrica 26, 1974 p 108-126.