

Académie d'Orléans –Tours
Université François-Rabelais

FACULTE DE MEDECINE DE TOURS

Année 2014-2015

N°

Thèse

pour le

DOCTORAT EN MEDECINE

Diplôme d'Etat

Par

Clément BOBILLIER
Né le 17 Septembre 1985 à PARIS (XIV)

Présentée et soutenue publiquement le 2 Octobre 2015

**Étude des modifications du signal acoustique de la déglutition selon la texture
des aliments au cours d'un repas**

Jury

Président de Jury : **Monsieur le Professeur Emmanuel Lescanne**

Membres du jury : **Monsieur le Professeur Sylvain Morinière**

Monsieur le Docteur Florent Espitalier

Monsieur le Docteur François Bories

Monsieur le Docteur Franck Marmouset

Monsieur le Docteur Karim Hammoudi

Académie d'Orléans –Tours
Université François-Rabelais

FACULTE DE MEDECINE DE TOURS

Année 2014-2015

N°

Thèse

pour le

DOCTORAT EN MEDECINE

Diplôme d'Etat

Par

Clément BOBILLIER
Né le 17 Septembre 1985 à PARIS (XIV)

Présentée et soutenue publiquement le 2 Octobre 2015

**Étude des modifications du signal acoustique de la déglutition selon la texture
des aliments au cours d'un repas**

Jury

Président de Jury : **Monsieur le Professeur Emmanuel Lescanne**

Membres du jury : **Monsieur le Professeur Sylvain Morinière**

Monsieur le Docteur Florent Espitalier

Monsieur le Docteur François Bories

Monsieur le Docteur Franck Marmouset

Monsieur le Docteur Karim Hammoudi

UNIVERSITE FRANCOIS RABELAIS
FACULTE DE MEDECINE DE TOURS

DOYEN

Professeur Patrice DIOT

VICE-DOYEN

Professeur Henri MARRET

ASSESSEURS

Professeur Denis ANGOULVANT, *Pédagogie*
Professeur Mathias BUCHLER, *Relations internationales*
Professeur Hubert LARDY, *Moyens – relations avec l'Université*
Professeur Anne-Marie LEHR-DRYLEWICZ, *Médecine générale*
Professeur François MAILLOT, *Formation Médicale Continue*
Professeur Philippe ROINGEARD, *Recherche*

SECRETAIRE GENERALE

Madame Fanny BOBLETER

DOYENS HONORAIRES

Professeur Emile ARON (†) – 1962-1966
Directeur de l'Ecole de Médecine - 1947-1962
Professeur Georges DESBUQUOIS (†)- 1966-1972
Professeur André GOUAZÉ - 1972-1994
Professeur Jean-Claude ROLLAND – 1994-2004
Professeur Dominique PERROTIN – 2004-2014

PROFESSEURS EMERITES

Professeur Alain AUTRET
Professeur Catherine BARTHELEMY
Professeur Jean-Claude BESNARD
Professeur Patrick CHOUTET
Professeur Etienne DANQUECHIN-DORVAL
Professeur Guy GINIES
Professeur Olivier LE FLOCH
Professeur Etienne LEMARIE
Professeur Chantal MAURAGE
Professeur Léandre POURCELOT
Professeur Michel ROBERT
Professeur Jean-Claude ROLLAND

PROFESSEURS HONORAIRES

MM. Ph. ANTHONIOZ - A. AUDURIER – Ph. BAGROS - G. BALLON – P.BARDOS - Ch. BERGER –
J. BRIZON - Mme M. BROCHIER - Ph. BURDIN - L. CASTELLANI J.P. FAUCHIER - B. GRENIER –
A. GOUAZE – M. JAN – J.-P. LAMAGNERE - F. LAMISSE – J. LANSAC – J. LAUGIER - G. LELORD -
G. LEROY - Y. LHUINTE - M. MAILLET - Mlle C. MERCIER – J. MOLINE - Cl. MORAINÉ - J.P. MUH -
J. MURAT - Ph. RAYNAUD – JC. ROLLAND – Ph. ROULEAU - A. SAINDELLE - J.J. SANTINI - D. SAUVAGE
– J. THOUVENOT - B. TOUMIEUX - J. WEILL.

PROFESSEURS DES UNIVERSITES - PRATICIENS HOSPITALIERS

MM.	ALISON Daniel.....	Radiologie et Imagerie médicale
	ANDRES Christian.....	Biochimie et Biologie moléculaire
	ANGOULVANT Denis.....	Cardiologie
	ARBEILLE Philippe.....	Biophysique et Médecine nucléaire
	AUPART Michel.....	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
	BABUTY Dominique.....	Cardiologie
	BALLON Nicolas.....	Psychiatrie ; Addictologie
Mme	BARILLOT Isabelle.....	Cancérologie ; Radiothérapie
MM.	BERNARD Louis.....	Maladies infectieuses ; maladies tropicales
	BEUTTER Patrice.....	Oto-Rhino-Laryngologie
	BINET Christian.....	Hématologie ; Transfusion
	BODY Gilles.....	Gynécologie et Obstétrique
	BONNARD Christian.....	Chirurgie infantile
	BONNET Pierre.....	Physiologie
Mme	BONNET-BRILHAULT Frédérique.....	Physiologie
MM.	BOUGNOUX Philippe.....	Cancérologie ; Radiothérapie
	BRILHAULT Jean.....	Chirurgie orthopédique et traumatologique
	BRUNEREAU Laurent.....	Radiologie et Imagerie médicale
	BRUYERE Franck.....	Urologie
	BUCHLER Matthias.....	Néphrologie
	CALAIS Gilles.....	Cancérologie ; Radiothérapie
	CAMUS Vincent.....	Psychiatrie d'adultes
	CHANDENIER Jacques.....	Parasitologie et Mycologie
	CHANTEPIE Alain.....	Pédiatrie
	COLOMBAT Philippe.....	Hématologie ; Transfusion
	CONSTANS Thierry.....	Médecine interne ; Gériatrie et Biologie du vieillissement
	CORCIA Philippe.....	Neurologie
	COSNAY Pierre.....	Cardiologie
	COTTIER Jean-Philippe.....	Radiologie et Imagerie médicale
	COUET Charles.....	Nutrition
	DANQUECHIN DORVAL Etienne.....	Gastroentérologie ; Hépatologie
	DE LA LANDE DE CALAN Loïc.....	Chirurgie digestive
	DE TOFFOL Bertrand.....	Neurologie
	DEQUIN Pierre-François.....	Thérapeutique ; médecine d'urgence
	DESTRIEUX Christophe.....	Anatomie
	DIOT Patrice.....	Pneumologie
	DU BOUEXIC de PINIEUX Gonzague.....	Anatomie & Cytologie pathologiques
	DUMONT Pascal.....	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
	EL HAGE Wissam.....	Psychiatrie adultes
	FAUCHIER Laurent.....	Cardiologie
	FAVARD Luc.....	Chirurgie orthopédique et traumatologique
	FOUQUET Bernard.....	Médecine physique et de Réadaptation
	FRANCOIS Patrick.....	Neurochirurgie
	FROMONT-HANKARD Gaëlle.....	Anatomie & Cytologie pathologiques
	FUSCIARDI Jacques.....	Anesthésiologie et Réanimation chirurgicale ; médecine d'urgence
	GAILLARD Philippe.....	Psychiatrie d'Adultes
	GYAN Emmanuel.....	Hématologie ; thérapie cellulaire
	GOGA Dominique.....	Chirurgie maxillo-faciale et Stomatologie
	GOUDEAU Alain.....	Bactériologie -Virologie ; Hygiène hospitalière
	GOUPILLE Philippe.....	Rhumatologie
	GRUEL Yves.....	Hématologie ; Transfusion
	GUERIF Fabrice.....	Biologie et Médecine du développement et de la reproduction
	GUILMOT Jean-Louis.....	Chirurgie vasculaire ; Médecine vasculaire
	GUYETANT Serge.....	Anatomie et Cytologie pathologiques
	HAILLOT Olivier.....	Urologie
	HALIMI Jean-Michel.....	Thérapeutique ; médecine d'urgence (Néphrologie et Immunologie clinique)
	HANKARD Régis.....	Pédiatrie
	HERAULT Olivier.....	Hématologie ; transfusion
	HERBRETEAU Denis.....	Radiologie et Imagerie médicale
Mme	HOMMET Caroline.....	Médecine interne, Gériatrie et Biologie du vieillissement
MM.	HUTEN Noël.....	Chirurgie générale
	LABARTHE François.....	Pédiatrie
	LAFFON Marc.....	Anesthésiologie et Réanimation chirurgicale ; médecine d'urgence
	LARDY Hubert.....	Chirurgie infantile
	LAURE Boris.....	Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie
	LEBRANCHU Yvon.....	Immunologie
	LECOMTE Thierry.....	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
	LESCANNE Emmanuel.....	Oto-Rhino-Laryngologie

	LINASSIER Claude	Cancérologie ; Radiothérapie
	LORETTE Gérard	Dermato-Vénéréologie
	MACHET Laurent	Dermato-Vénéréologie
	MAILLOT François	Médecine Interne
	MARCHAND-ADAM Sylvain	Pneumologie
	MARRET Henri	Gynécologie et Obstétrique
	MARUANI Annabel	Dermatologie
	MEREGHETTI Laurent	Bactériologie-Virologie ; Hygiène hospitalière
	MORINIERE Sylvain	O.R.L.
	MULLEMAN Denis	Rhumatologie
	PAGES Jean-Christophe	Biochimie et biologie moléculaire
	PAINTAUD Gilles	Pharmacologie fondamentale, Pharmacologie clinique
	PATAT Frédéric	Biophysique et Médecine nucléaire
	PERROTIN Dominique	Réanimation médicale ; médecine d'urgence
	PERROTIN Franck	Gynécologie et Obstétrique
	PISELLA Pierre-Jean	Ophtalmologie
	QUENTIN Roland	Bactériologie-Virologie ; Hygiène hospitalière
	REMERAND Francis	Anesthésiologie et Réanimation chirurgicale
	ROBIER Alain	Oto-Rhino-Laryngologie
	ROINGEARD Philippe	Biologie cellulaire
	ROSSET Philippe	Chirurgie orthopédique et traumatologique
	ROYERE Dominique	Biologie et Médecine du développement et de la Reproduction
	RUSCH Emmanuel	Epidémiologie, Economie de la Santé et Prévention
	SALAME Ephrem	Chirurgie digestive
	SALIBA Elie	Biologie et Médecine du développement et de la Reproduction
Mme	SANTIAGO-RIBEIRO Maria	Biophysique et Médecine Nucléaire
MM.	SIRINELLI Dominique	Radiologie et Imagerie médicale
	THOMAS-CASTELNAU Pierre	Pédiatrie
Mme	TOUTAIN Annick	Génétique
MM.	VAILLANT Loïc	Dermato-Vénéréologie
	VELUT Stéphane	Anatomie
	WATIER Hervé	Immunologie.

PROFESSEUR DES UNIVERSITES DE MEDECINE GENERALE

M.	LEBEAU Jean-Pierre	Médecine Générale
Mme	LEHR-DRYLEWICZ Anne-Marie	Médecine Générale

PROFESSEURS ASSOCIES

MM.	MALLET Donatien	Soins palliatifs
	POTIER Alain	Médecine Générale
	ROBERT Jean	Médecine Générale

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES - PRATICIENS HOSPITALIERS

Mme	ANGOULVANT Théodora	Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique : addictologie
M.	BAKHOS David	Physiologie
Mme	BERNARD-BRUNET Anne	Biostatistiques, Informatique médical et Technologies de Communication
M.	BERTRAND Philippe	Biostatistiques, Informatique médical et Technologies de Communication
Mme	BLANCHARD Emmanuelle	Biologie cellulaire
	BLASCO Hélène	Biochimie et biologie moléculaire
M.	BOISSINOT Éric	Physiologie
Mme	CAILLE Agnès	Biostatistiques, Informatique médical et Technologies de Communication
M.	DESOUBEAUX Guillaume	Parasitologie et mycologie
Mme	DUFOUR Diane	Biophysique et Médecine nucléaire
M.	EHRMANN Stephan	Réanimation médicale
Mme	FOUQUET-BERGEMER Anne-Marie	Anatomie et Cytologie pathologiques
M.	GATAULT Philippe	Néphrologie
Mmes	GAUDY-GRAFFIN Catherine	Bactériologie - Virologie ; Hygiène hospitalière
	GOUILLEUX Valérie	Immunologie
	GUILLON-GRAMMATICO Leslie	Biostatistiques, Informatique médical et Technologies de Communication
MM.	HOARAU Cyrille	Immunologie
	HOURIOUX Christophe	Biologie cellulaire
Mmes	LARTIGUE Marie-Frédérique	Bactériologie - Virologie ; Hygiène hospitalière
	LE GUELLEC Chantal	Pharmacologie fondamentale ; Pharmacologie clinique
	MACHET Marie-Christine	Anatomie et Cytologie pathologiques
MM.	PIVER Eric	Biochimie et biologie moléculaire

	ROUMY Jérôme.....	Biophysique et médecine nucléaire in vitro
Mme	SAINT-MARTIN Pauline	Médecine légale et Droit de la santé
MM.	SAMIMI Mahtab	Dermatologie
	TERNANT David.....	Pharmacologie – toxicologie
Mme	VALENTIN-DOMELIER Anne-Sophie..	Bactériologie – virologie ; hygiène hospitalière
M.	VOURC'H Patrick.....	Biochimie et Biologie moléculaire

MAITRES DE CONFERENCES

Mme	ESNARD Annick	Biologie cellulaire
M.	LEMOINE Maël.....	Philosophie
Mme	MONJAUZE Cécile	Sciences du langage - Orthophonie
M.	PATIENT Romuald	Biologie cellulaire

MAITRE DE CONFERENCES ASSOCIE

Mmes	HUAS Caroline.....	Médecine Générale
	RENOUX-JACQUET Cécile	Médecine Générale

CHERCHEURS INSERM - CNRS - INRA

M.	BOUAKAZ Ayache	Directeur de Recherche INSERM – UMR INSERM 930
Mmes	BRUNEAU Nicole	Chargée de Recherche INSERM – UMR INSERM 930
	CHALON Sylvie.....	Directeur de Recherche INSERM – UMR INSERM 930
MM.	CHARBONNEAU Michel.....	Directeur de Recherche CNRS – UMR CNRS 7292
	COURTY Yves.....	Chargé de Recherche CNRS – UMR INSERM 1100
	GAUDRAY Patrick	Directeur de Recherche CNRS – UMR CNRS 7292
	GILOT Philippe	Chargé de Recherche INRA – UMR INRA 1282
	GOUILLEUX Fabrice	Directeur de Recherche CNRS – UMR CNRS 7292
Mmes	GOMOT Marie	Chargée de Recherche INSERM – UMR INSERM 930
	GRANDIN Nathalie	Chargée de Recherche CNRS – UMR CNRS 7292
	HEUZE-VOURCH Nathalie.....	Chargée de Recherche INSERM – UMR INSERM 1100
MM.	KORKMAZ Brice	Chargé de Recherche INSERM – UMR INSERM 1100
	LAUMONNIER Frédéric.....	Chargé de Recherche INSERM - UMR INSERM 930
	LE PAPE Alain	Directeur de Recherche CNRS – UMR INSERM 1100
Mme	MARTINEAU Joëlle	Chargée de Recherche INSERM – UMR INSERM 930
MM.	MAZURIER Frédéric.....	Directeur de Recherche INSERM – UMR CNRS 7292
	MEUNIER Jean-Christophe.....	Chargé de Recherche INSERM – UMR INSERM 966
	RAOUL William.....	Chargé de Recherche INSERM – UMR CNRS 7292
Mme	RIO Pascale.....	Chargée de Recherche INSERM – UMR INSERM 1069
M.	SI TAHAR Mustapha.....	Directeur de Recherche INSERM – UMR INSERM 1100

CHARGES D'ENSEIGNEMENT

Pour la Faculté de Médecine

Mme	BIRMELE Béatrice	Praticien Hospitalier (<i>éthique médicale</i>)
M.	BOULAIN Thierry	Praticien Hospitalier (<i>CSCT</i>)
Mme	CRINIERE Lise	Praticien Hospitalier (<i>endocrinologie</i>)
M.	GAROT Denis.....	Praticien Hospitalier (<i>sémiologie</i>)
Mmes	MAGNAN Julie.....	Praticien Hospitalier (<i>sémiologie</i>)
	MERCIER Emmanuelle	Praticien Hospitalier (<i>CSCT</i>)

Pour l'Ecole d'Orthophonie

Mme	DELORE Claire	Orthophoniste
MM.	GOUIN Jean-Marie	Praticien Hospitalier
	MONDON Karl	Praticien Hospitalier
Mme	PERRIER Danièle.....	Orthophoniste

Pour l'Ecole d'Orthoptie

Mme	LALA Emmanuelle	Praticien Hospitalier
M.	MAJZOUN Samuel.....	Praticien Hospitalier

SERMENT D'HIPPOCRATE

En présence des Maîtres de cette Faculté,
de mes chers condisciples
et selon la tradition d'Hippocrate,
je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur
et de la probité dans l'exercice de la Médecine.

Je donnerai mes soins gratuits à l'indigent,
et n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail.

Admis dans l'intérieur des maisons, mes yeux
ne verront pas ce qui s'y passe, ma langue taira
les secrets qui me seront confiés et mon état ne servira pas
à corrompre les mœurs ni à favoriser le crime.

Respectueux et reconnaissant envers mes Maîtres,
je rendrai à leurs enfants
l'instruction que j'ai reçue de leurs pères.

Que les hommes m'accordent leur estime
si je suis fidèle à mes promesses.
Que je sois couvert d'opprobre
et méprisé de mes confrères
si j'y manque.

Titre : Étude des modifications du signal acoustique de la déglutition selon la texture des aliments au cours d'un repas

Résumé :

Objectif : L'analyse acoustique de la déglutition est une technique non invasive qui doit encore être perfectionnée pour pouvoir être utilisée en pratique clinique. Aucune étude acoustique n'a été réalisée pendant les conditions physiologiques d'un repas. Or le volume et la texture des bolus ingérés varient pendant un repas. De même, chaque individu a un comportement alimentaire propre, analysable avec l'acoustique. L'objectif de cette étude était de décrire les bruits de la déglutition pendant un repas utilisant plusieurs textures et de comparer les résultats selon le sexe et l'âge, en utilisant des technologies d'acquisition et d'analyse numériques.

Méthodes: 31 sujets sains de moins de 70 ans ont été inclus. Le repas comprenait 3 textures : 100mL de purée de pommes de terre, 100mL d'eau, et 100mL de yaourt nature. L'enregistrement des bruits de déglutition était réalisé avec un microphone-cravate placé à la partie droite du cou juste sous le cartilage cricoïde. Les sujets étaient filmés, avec une acquisition synchronisée du son et de la vidéo. Les données acoustiques étaient analysées à l'aide du logiciel Cool Edit Pro®. Les différents paramètres acoustiques étaient comparés selon la texture, l'âge et le genre.

Résultats : la durée moyenne totale du repas était de $116,78 \pm 40,98s$ (min = 47,90s ; max = 205,66s), avec en moyenne 27 déglutitions. La durée moyenne de chaque déglutition était de $699,1 \pm 141,9ms$. L'intervalle moyen entre 2 déglutitions était de $3982,2 \pm 2260,6ms$, avec plusieurs comportements alimentaires mis en évidence. On ne retrouvait pas de différence selon l'âge ou le sexe. La texture influençait la plupart des variables avec des durées plus courtes pour l'eau.

Conclusion : Cette étude a permis d'établir des durées de référence pour l'analyse acoustique d'un repas chez des sujets sains de moins de 70 ans. D'autres études chez des sujets âgés puis chez des patients avec des troubles de déglutition devront être réalisées pour permettre d'utiliser cet outil en pratique clinique.

Mots clés : déglutition, troubles de déglutition, acoustique, texture, sons de déglutition

Title: Impact of food texture on the acoustic signal of swallowing during a meal

Abstract:

Purpose: Acoustic analysis is a non-invasive technique for detecting swallowing disorders, still in development. The purpose of this study was to describe the swallowing sounds during a meal with several textures, in order to establish standards and to evaluate the impact of age and gender, using digital technologies.

Methods: 31 healthy volunteers under 70 years were included. The meal was made of three different textures: 100 ml of water, 100 ml natural yoghurt and 100 ml of mashed potato. The recording of the swallowing sounds was made using a tie-clip microphone placed on the right side of the neck just below the cricoid cartilage. Subjects were filmed by a camera with a synchronized acquisition of sound and video. Sound files were processed through the Cool Edit Pro® software. The durations of the acoustic parameters were compared by age and gender.

Results: The mean total duration of the reference meal was $116,78 \pm 40,98s$ (min = 47.90 s max =205,66s), with on average 27 swallows. The mean time of each deglutition was 699.1 ± 141.9 ms. The mean interval between two successive deglutitions was $3982.2 \pm 2260.6ms$. There were no differences according to age or gender. Texture influenced most parameters, with shorter time for water.

Conclusion: This study established normal acoustics durations during a reference meal in adults under the age of 70 years. To extend this study we are currently working on a population of healthy elderly subjects. The next step of our research will be the use of this meal in patients at risk of swallowing disorder, to detect early infra-clinic dysfunction.

Keywords:

deglutition, pharyngeal swallowing, swallowing sounds, deglutition disorders, texture, acoustic analysis.

Table des matières

<u>Liste des abréviations</u>	2
<u>Introduction</u>	3
<u>Matériels et Méthodes</u>	4
- Sujets.....	4
- Technique d'acquisition.....	4
- Acquisition et analyse des déglutitions isolées pour chaque texture d'aliment.....	5
- Acquisition et analyse des déglutitions au cours d'un repas avec différentes textures d'aliments.....	7
- Durées de réalisation de l'enregistrement et des analyses acoustiques.....	9
- Analyse statistique.....	9
<u>Résultats</u>	9
- Sujets.....	9
- Acquisition et analyse des déglutitions isolées pour chaque texture d'aliment.....	10
- Acquisition et analyse des déglutitions au cours d'un repas avec différentes textures d'aliments.....	11
a) Résultats pour la totalité du repas	11
b) Résultats selon les textures	13
c) Résultats selon le genre et l'âge	14
- Durées d'enregistrement et d'analyse.....	15
<u>Discussion</u>	16
- Mise au point de la technique d'enregistrement.....	16
- Acquisition et analyse des déglutitions isolées pour chaque texture d'aliment.....	16
- Acquisition et analyse des déglutitions au cours d'un repas avec différentes textures d'aliments.....	17
- Comportement alimentaire.....	19
- Intérêt de la technique, limites et perspectives.....	19
<u>Conclusion</u>	21
<u>Bibliographie</u>	22

Liste des abréviations

CS : composante sonore, au sein du bruit de chaque déglutition, on distingue CS1, CS2 et CS3

DTD : durée totale d'une déglutition

DTR : durée totale du repas, avec les 100mL de chaque texture

IT : intervalle de temps entre les CS, on distingue IT1 et IT2

ITD : intervalle de temps entre deux déglutitions successives

SSO : sphincter supérieur de l'œsophage

Introduction :

Plusieurs équipes ont montré depuis les années 1960 que le signal acoustique de la déglutition était porteur d'informations utilisables pour analyser la déglutition de manière non invasive (1 à 7). Les moyens technologiques d'acquisition ont évolué, depuis la simple utilisation du stéthoscope (8), jusqu'aux acquisitions analogiques puis numériques du signal. Le signal numérique peut maintenant être analysé par des logiciels performants et précis.

Afin de déterminer l'origine des bruits de la déglutition, plusieurs études ont couplé ce signal avec le radiocinéma de la déglutition (5 à 7). Lors de nos précédentes études, nous avons montré que le passage du bolus et le déplacement des structures anatomiques produisaient ces bruits (6). La durée de la déglutition étant inférieure à 1 seconde, une synchronisation parfaite entre le signal sonore et les images du radiocinéma était indispensable. Nous avons pu décrire plusieurs composantes sonores (CS) dans le bruit d'une déglutition, présentes dans plus de 70% des enregistrements (5). Nous avons aussi étudié les modifications du bruit en fonction du volume et de la texture des bolus ingérés. La durée du bruit augmentait avec l'augmentation du volume et la viscosité de la texture. Plusieurs études ont étudié les variations du bruit de la déglutition en fonction de l'âge et du sexe avec des résultats variables. Morinière et al. (5) ou Cichero et al. (9) ne retrouvaient pas de différence selon le sexe, alors que Lebel et al. (10) ou Takahashi et al. (11) constataient des durées de bruit plus courtes chez la femme. Pour l'âge, Youmans et al. (12) ne retrouvaient pas de différence entre 2 groupes de 20 à 40 ans et de 40 à 60 ans. Eyigor et al. (13) trouvaient une augmentation des durées au delà de 70 ans. Néanmoins, toutes les études citées décrivaient l'analyse de déglutitions isolées, et n'étaient pas réalisées dans les conditions physiologiques d'un repas.

Peu d'études ont étudié les déglutitions successives nécessaires pour avaler une quantité importante de liquide ou d'aliment. Dans notre équipe, en 1997, nous avons comparé l'ingestion de 100mL d'eau à celle de 100mL de yaourt (14). Cette étude avait montré que l'ingestion d'eau nécessitait moins de déglutition que pour le yaourt et qu'elle était plus rapide. Elle mesurait également l'intervalle de temps entre 2 déglutitions, et retrouvait plusieurs comportements alimentaires différents (régulier, irrégulier et progressif). Cette étude utilisait des moyens d'enregistrement analogiques et n'était pas couplée à un enregistrement vidéo. Nous avons souhaité de nouveau

analyser le signal acoustique de la déglutition en plaçant le sujet dans des conditions d'un repas pour se rapprocher de la situation habituelle d'une prise alimentaire. Nous avons utilisé les moyens actuels, numériques, pour l'acquisition et l'analyse. Par ailleurs pour plus de précision, nous avons couplé l'enregistrement sonore à un enregistrement vidéo du sujet.

Le but de cette étude était de décrire les bruits de la déglutition pendant un repas utilisant plusieurs textures (eau, purée, yaourt) afin d'établir des normes et de comparer les résultats selon le sexe et l'âge, en utilisant des moyens technologiques numériques.

Matériels et Méthodes

Sujets :

Nous avons inclu 31 volontaires, âgés de moins de 70 ans. Tous les sujets remplissaient les critères d'inclusion suivants : absence d'antécédent de trouble de déglutition, absence de dyspnée ou de dysphonie, absence d'antécédent de chirurgie cervicale ou de radiothérapie, d'accident vasculaire cérébral ou de maladie neurologique. Le consentement éclairé des sujets était recueilli après explications sur les objectifs de l'étude et les risques encourus, en accord avec la législation. Deux groupes étaient formés, avec les sujets de moins et de plus de 30 ans.

Technique d'acquisition :

Les enregistrements étaient effectués dans un environnement calme et silencieux. Chaque sujet était placé en position assise. L'enregistrement acoustique était obtenu avec un microphone monté sur un pavillon de stéthoscope (Electret tie clip microphone, 50-18000 Hz ; Sony) positionné sur la peau, du côté droit du cou au niveau du bord inférieur du cartilage cricoïde. Le microphone était maintenu en place par un bandeau élastique et était connecté à la carte son d'un ordinateur via une table de mixage. Les participants étaient filmés (Solid State Camera COHU®). Le son et la vidéo étaient

acquis de manière synchronisée (figure 1). Les fichiers sonores étaient traités par un seul investigateur, par l'intermédiaire du logiciel Cool Edit Pro® (Syntrillium Software Corporation, Phoenix, AZ, USA), après application d'un filtre passe-bande (50-4000Hz). On pouvait regarder en même temps les fichiers vidéo. Cela permettait de corréliser les sons répertoriés aux images et éventuellement de confirmer l'origine du bruit par l'image en cas de doute, ou d'identifier un éventuel artéfact.

Figure 1 :



Installation lors des enregistrements : la caméra vidéo et le microphone sont connectés à l'ordinateur pour une acquisition synchronisée des images et des sons

Acquisition et analyse des déglutitions isolées pour chaque texture d'aliment :

La première partie de l'étude était l'analyse de plusieurs bolus, afin de caractériser le bruit de déglutition de chaque sujet selon la texture ingérée, et d'évaluer la reproductibilité par rapport à la littérature et aux précédentes études réalisées dans notre laboratoire. De plus, cela permettait de vérifier la bonne synchronisation entre la vidéo et le son.

Chaque sujet faisait 3 déglutitions calibrées de 5 mL de purée de pomme de terre reconstituée (Mousline®, un sachet dans 250 cl de lait et ½ litre d'eau à 30°C, viscosité dynamique mesurée par la méthode Brookfield : 50 000mPa.s), puis 10 mL d'eau plate (Cristaline®, viscosité dynamique mesurée par la méthode Brookfield : 1mPa.s), puis 5 mL de yaourt (Danone® non sucré viscosité dynamique mesurée par la méthode Brookfield : 300mPa.s), soit 9 déglutitions. Le bolus était préparé dans une seringue puis placé sur une cuillère à café, dans la bouche du patient qui le déglutissait sur ordre de l'examineur, en respectant un délai d'au moins 30 secondes entre chaque déglutition.

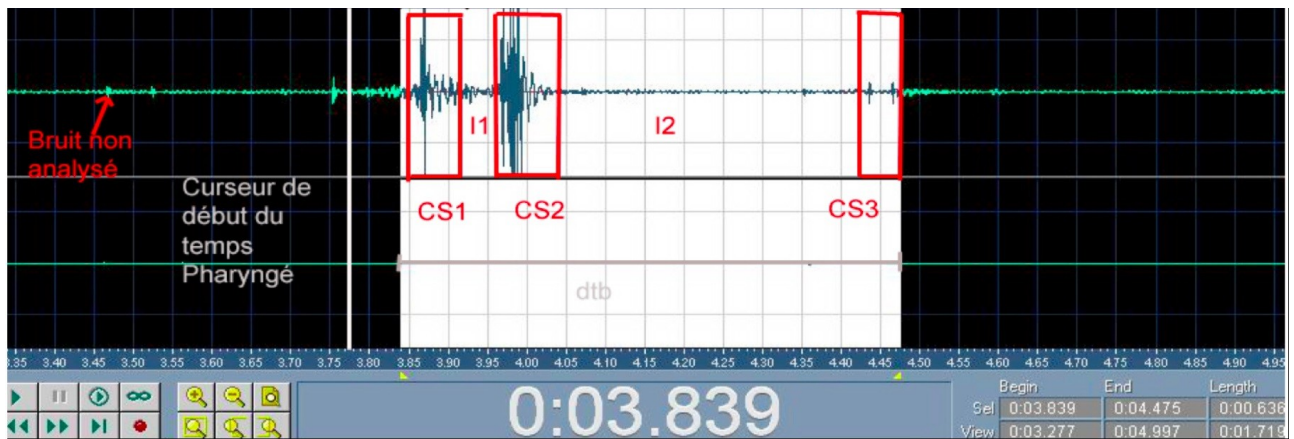
On commençait par l'écoute de tous les enregistrements du même sujet en regardant, en même temps, le déplacement du curseur sur le signal. L'analyse de la durée totale de chaque déglutition (DTD) était faite en encadrant le signal par deux curseurs : le premier au niveau de la première déflexion du signal par rapport à la ligne de base, dès que l'on entendait le début du bruit, le deuxième au retour à la ligne de base, dès que l'on n'entendait plus le bruit de déglutition. L'analyse des éléments au sein du bruit était faite de la même manière en plaçant un repère au début et à la fin de chaque composante sonore (CS) entendue (6). On repérait (figure 2) :

- en premier la composante du passage du bolus au travers du sphincter supérieur de l'œsophage (SSO) : CSO (composante sonore oesophagienne) ou CS2, qui était la plus facile à repérer.
- la composante qui se trouvait avant CS2 était définie comme la CSOP (composante sonore oropharyngée) ou CS1
- la composante située après CS2 était définie comme la CSRL (composante du relâchement laryngé) ou CS3, avec la fermeture du SSO.

Les paramètres suivants étaient ainsi mesurés, selon les mêmes procédures que lors des précédentes études (6,15):

- la DTD (en millisecondes),
- la durée (en ms) de chaque CS,
- la durée des intervalles de temps (IT) entre les composantes sonores (IT1 entre CS1 et CS2 et IT2 entre CS2 et CS3),
- le nombre de CS au sein de chaque bruit,
- le pourcentage de présence des différentes CS.

Figure 2 :



Exemple d'acquisition d'une déglutition à l'aide du logiciel Cool Edit Pro®. On repère les composantes sonores (CS) et les intervalles entre les trois CS.

Acquisition et analyse des déglutitions au cours d'un repas avec différentes textures d'aliments :

Les participants devaient manger un repas standardisé : 100mL de purée à la cuillère, 100mL d'eau plate au verre, puis 100mL de yaourt la cuillère (figure 3). L'ordre était toujours le même. Aucune consigne n'était donnée sur le rythme et le nombre de bouchées. La seule recommandation était de manger comme un repas habituel. Pour leur confort, les enregistrements se sont déroulés chez des sujets à jeûn depuis au moins 2 heures.

Figure 3



Repas utilisé dans l'étude : 100mL de purée de pommes de terre, d'eau et de yaourt

Les variables étudiées étaient :

- le nombre de déglutitions enregistrées sur le signal acoustique (exemple : figure 4),
- le nombre de bouchées : il correspondait au nombre de cuillerées (yaourt, purée) ou au nombre de fois où le verre (eau) était porté à la bouche. Ceci était comptabilisé sur la vidéo,
- la DTD de chaque déglutition et le calcul des moyennes des DTD pour chaque sujet et pour la population,
- la durée de CS2,
- l'intervalle de temps entre chaque déglutition (ITD),
- le temps pour manger les 100 millilitres de chaque texture,
- la durée totale du repas (DTR),
- le volume moyen des bouchées et des déglutitions.
- le comportement alimentaire, en définissant les 3 mêmes comportements que Boiron et al. (14) : régulier en cas de variation des ITD de moins de 10% de la moyenne des 2 premiers ITD, progressif en cas d'augmentation des ITD de plus de 10% par rapport au précédent, irrégulier en cas de variation aléatoire des ITD.

Figure 4 :



Exemple de l'analyse acoustique de l'ingestion de 100mL d'eau, avec le logiciel Cool Edit Pro®. On distingue ici 3 déglutitions.

Durées de réalisation de l'enregistrement et des analyses acoustiques :

La durée nécessaire pour réaliser chaque enregistrement a été mesurée, de même que la durée totale nécessaire pour l'analyse des signaux enregistrés.

Analyse statistique :

Des analyses statistiques ont été effectuées afin de déterminer l'effet des différentes textures, du sexe ou de l'âge sur les variables étudiées. Les populations hommes et femmes ont été comparées en termes d'âge, de poids, de taille (test t de Student).

La normalité de la distribution a tout d'abord été vérifiée par une analyse de Kolmogorov-Smirnov, et l'homogénéité des variances a été vérifiée par une analyse de Levene.

Concernant l'acquisition des déglutitions isolées et des repas, l'analyse de la durée totale et celle des différentes composantes en fonction de la consistance était réalisée par des mesures répétées ANOVA (3 textures [eau ; yaourt ; purée]), corrigées par le test de Greenhouse-Geisser, et suivie par le LSD-Fisher post hoc pour comparer les moyennes deux à deux.

L'effet du genre et de l'âge sur les différents paramètres (nombre de déglutitions, nombre de bouchées, durée de la deuxième composante sonore...) a été analysé par une ANOVA factorielle à 2 facteurs (âge [+30 ans ; - 30 ans] x genre [féminin ; masculin]) sur mesures répétées (3 textures [eau ; yaourt, purée]), corrigée par un test de Greenhouse-Geisser suivi d'un test post-hoc de LSD-Fisher. Les résultats étaient considérés comme significatifs si p était inférieur à 0,05.

Résultats

Sujets :

31 sujets ont été inclus dans cette étude (10 femmes et 21 hommes). L'âge moyen était de 32 ans et 6 mois \pm 13 ans alors que l'âge médian était de 29 ans. Le poids moyen des sujets était de 72 \pm 14kg. La taille moyenne était de 174 \pm 8 cm. L'indice de masse corporel (IMC) moyen était de 24 \pm 4kg/m².

Le poids, la taille et l'IMC étaient significativement différents entre les femmes et les hommes ($p < 0,001$ pour le poids et la taille et $p = 0,0013$ pour l'IMC). Il n'existait pas de différence significative entre les hommes et les femmes concernant l'âge.

Deux groupes ont également été formés avec les sujets de moins et de plus de 30 ans. Ces deux groupes étaient comparables concernant la taille ($p = 0,43$) et le poids ($p = 0,35$).

Acquisition et analyse des déglutitions isolées pour chaque texture d'aliment :

279 enregistrements de déglutition ont été réalisés pour l'analyse des bolus de chaque texture. CS2 était retrouvée dans 100% des cas analysés, CS1 dans 93,7% des cas et CS3 dans 90 % des cas. Le tableau 1 montre la durée moyenne des variables analysées en fonction de la texture.

Tableau 1 :

	%	purée	eau	yaourt	moyenne
DTD		687,4 (144,5)	690,9 (147,5)	701,2 (142,4)	693,1 (144,4)
CS1	93,7	102,1 (21,3)	97,03 (26,2)	101,8 (22,0)	100,4 (23,2)
CS2	100	196,88 (41,8)*	212,10 (51,5)*	194,3 (36,3)*	201,2 (44,3)
CS3	90	64,6 (20,4)	64,61 (18,1)	64,7 (19,4)	64,6 (19,2)
IT1	93,7	141,5 (51,3)	127,6 (41,9)	137,8 (44,9)	135,8 (46,5)
IT2	90	225,9 (61,5)	232,7 (53,6)	244,9 (62,2)	234,5 (59,4)

Durée moyenne en millisecondes des variables pour l'analyse des déglutitions isolées pour chaque texture. L'écart-type est noté entre parenthèses. La colonne « % » correspond au pourcentage de présence des différentes composantes. IT : intervalle entre les CS. DTD : durée totale d'une déglutition. L* correspond à un $p < 0,05$ après analyse post-hoc.

On relevait les résultats suivants :

Pour la purée, la DTD moyenne était égale à 687,4 ms, contre 690,9 ms pour l'eau et 701,2 ms pour le yaourt. La CS2 était d'une durée moyenne de 196,9 ms, contre 212,1 ms pour l'eau et 194,3 ms.

La DTD moyenne était de $693,1 \pm 144,4$ ms. La durée moyenne des 3 composantes sonores valait respectivement $100,4 \pm 23,2$ ms ; $201,2 \pm 44,3$ ms et $64,6 \pm 19,2$ ms, alors que les durées moyennes des intervalles IT1 et 2 étaient égales à $135,8 \pm 46,5$ ms et $234,5 \pm 59,4$ ms.

Au niveau statistique, les composantes sonores variaient significativement selon la texture ($F_{4,112}=3,31$; $p=0,04$). L'analyse post-hoc de la significativité des liens entre les composantes sonores et la texture montrait que seule CS2 variait significativement selon la texture, avec une durée plus longue, entre l'eau et la purée ($p=0,006$) et entre l'eau et le yaourt ($p<0,0001$).

Acquisition et analyse des déglutitions au cours d'un repas avec différentes textures d'aliments :

a) Résultats pour la totalité du repas :

L'ingestion des 3 textures (DTR) durait en moyenne $116,78 \pm 40,98$ secondes (min= 47,90 ; max= 205,66), avec $27,3$ déglutitions $\pm 7,0$ par repas avec des extrêmes allant de 14 à 43 (tableau 2). Chaque déglutition (DTD) durait en moyenne $699,1 \pm 141,9$ ms, avec une CS2 égale en moyenne à $222,4 \pm 54,39$ ms. L'intervalle moyen entre chaque déglutition (ITD) était mesuré à $3982,2 \pm 2260,6$ ms. Le nombre de bouchées moyen, mesuré par la vidéo, était de $22,6 \pm 5,3$ par repas, avec des valeurs de 13 à 38.

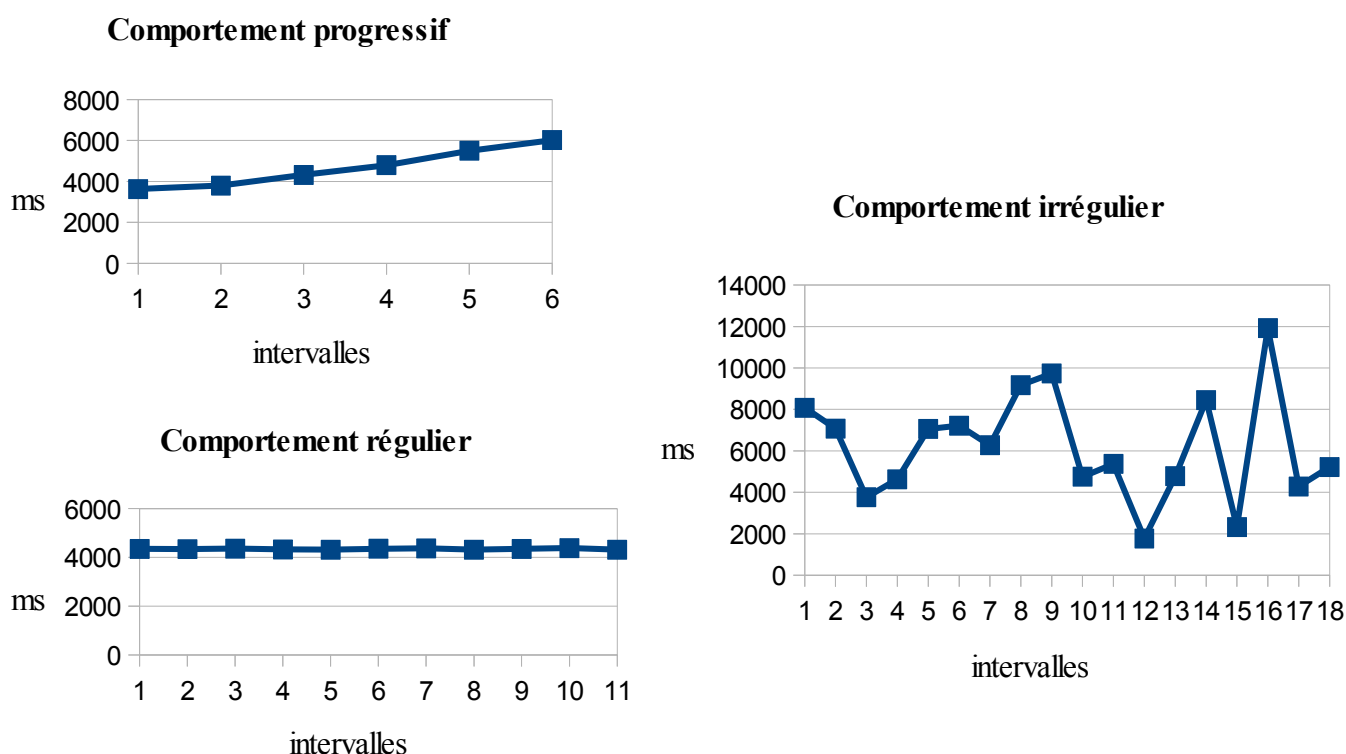
Le volume moyen par bouchée était de 13,3mL avec un minimum à 5,3mL (19 bouchées pour 100mL de purée) et un maximum à 100mL (1 bouchée pour 100mL d'eau). Le volume moyen par déglutition était calculé à 10,9mL, avec un minimum à 5,0mL (20 déglutitions pour 100 mL de purée) et un maximum à 50mL (2 déglutitions pour 100mL d'eau). 20 personnes ont ingurgité les 100mL d'eau en portant le verre une seule fois à la bouche (1 bouchée).

L'analyse des intervalles et du comportement alimentaire retrouvait, toutes textures confondues, 32% de régulier, 20% de progressif et 47% de comportement irrégulier (figure 5). Pour 14 sujets (45%), la déglutition suivait le même modèle pour les 3 textures. Pour 24 sujets (77%), la déglutition du yaourt et celle de la purée suivait le même schéma. Pour 16 sujets (51%) le type de comportement alimentaire était le même entre l'eau et le yaourt.

Tableau 2 :

	Femmes	Hommes	< 30 ans	> 30 ans	Population générale
DTR (s)	128,01	111,44	118,28	114,91	116,78 (40,98)
DTD (ms)	681,1	709,5	696,5	702,3	699,1 (141,9)
ITD (ms)	3986,3	3980	3881,9	4111,7	3982,2 (2260,6)
CS2 (ms)	218,8	224,3	225,9	217,9	222,4 (54,4)
Nombre de déglutitions	30	25,8	28,4	25,6	27,3 (7,0)
Nombre de bouchées	25,1*	21,5*	21,8	23,6	22,6 ± 5,3

Variables analysées lors de l'analyse des déglutitions au cours d'un repas selon le sexe, l'âge, et dans la population générale. DTR : durée totale du repas ; DTD : durée totale d'une déglutition ; ITD : intervalle de temps entre deux déglutitions ; CS2 : deuxième composante sonore. L'* correspond à un $p < 0,05$.

Figure 5

Exemple des 3 comportements alimentaires lors de l'ingestion de 100mL de yaourt. En abscisse les différents intervalles entre 2 déglutitions successives, en ordonnée la durée de ces intervalles.

b) résultats selon les textures (tableau 3) :

Pour 100mL de purée, le nombre moyen de déglutitions pour 100 mL de purée était de 11,0 ; ces déglutitions avaient une DTD moyenne de 733,1 ms, avec une CS2 moyenne à 221,7 ms. La durée moyenne pour ingérer les 100 mL était de 59,03 s. Le nombre moyen de bouchées pour les hommes était de 9,4, contre 11,3 pour les femmes.

Pour 100 mL d'eau, le nombre moyen de déglutitions était de 5,3 ; ces déglutitions avaient une DTD moyenne de 605,0 ms, avec une CS2 moyenne à 235,4 ms. La durée moyenne pour ingérer les 100 mL était de 9,63 s. Le nombre moyen de bouchées pour les hommes était de 2,0, contre 1,2 pour les femmes.

Pour 100 mL de yaourt, le nombre moyen de déglutitions était de 11,6 ; ces déglutitions avaient une DTD moyenne de 710,6 ms, avec une CS2 moyenne à 217,3 ms. La durée moyenne pour ingérer les 100 mL était de 50,25 s. Le nombre moyen de bouchées pour les hommes était de 10,5, contre 12,6 pour les femmes.

On retrouvait statistiquement un nombre de déglutitions plus faible pour l'eau ($F_{2,52}=24$; $p<0,001$), des intervalles ITD également plus courts pour l'eau ($F_{2,50}=85,2$; $p<0,001$) de même que la durée pour l'ingestion des 100mL ($F_{2,48}=116,3$; $p<0,001$) et la DTD ($F_{2,50}=19,7$; $p<0,001$). La texture n'influait pas la durée moyenne de CS2. On ne retrouvait statistiquement pas de différence entre le yaourt et la purée.

L'analyse du comportement alimentaire retrouvait pour le yaourt 32% de comportement régulier, 13% de comportement progressif et 55% de comportement irrégulier. Pour la purée ces proportions étaient respectivement de 37%, 20% et 43%, alors que pour l'eau on retrouvait 30%, 27% et 43%.

Tableau 3 :

Temps :	purée	eau	yaourt
Pour 100mL (s)	59,03 (23,80)	9,63 (6,42)*	50,25 (16,63)
DTD (ms)	733,1 (128,1)	605,0 (167,8)*	710,6 (121,8)
ITD (ms)	5083,9 (2128,3)	1531,8 (1496,1)*	3963,4 (1811,0)
CS2 (ms)	221,7 (54,5)	235,4 (59,7)	217,3 (50,9)

Durée moyenne des variables en fonction de la texture.

Les écarts-types sont entre parenthèses. DTD : durée totale d'une déglutition ; ITD : intervalle entre deux déglutitions ; CS2 : deuxième composante sonore. L'* correspond à un $p < 0,05$. Il n'y a pas de différence significative entre la purée et le yaourt. Les durées sont significativement inférieures pour l'eau par rapport aux deux autres ($p < 0,001$) sauf CS2.

c) résultats selon le genre et l'âge (tableau 2) :

Pour un homme, la durée moyenne pour ingérer les 3 textures était 111,44 secondes, avec une DTD de 709,5 ms et une CS2 égale à 224,3 ms. Pour une femme, la durée moyenne était 128,01 secondes, avec une DTD moyenne à 680,1 ms et une CS2 égale à 218,8 ms.

Pour les hommes, la moyenne était de 25,8 déglutitions par repas (10,4 pour la purée / 5,3 pour l'eau / 11,1 pour le yaourt) et 21,5 bouchées (9,4 / 2,0 / 10,5). Pour les femmes, la moyenne était de 30,0 déglutitions par repas (12,2 / 5,3 / 12,5) et 25,1 bouchées (11,3 / 1,2 / 12,6). (figure 6)

On ne retrouvait statistiquement pas d'effet du genre ou de l'âge sur le nombre de déglutitions. Par contre, les femmes utilisaient plus de bouchées pour ingurgiter la purée et le yaourt (respectivement $p = 0,020$ et $p = 0,005$). Concernant la DTD, les ITD et la CS2, on ne retrouvait pas d'effet de l'âge ou du sexe. Le type de comportement alimentaire ne variait pas selon le sexe ou l'âge.

Durées d'enregistrement et d'analyse :

1120 déglutitions ont été analysées. Pour chaque enregistrement, l'installation et le déroulement des mesures nécessitaient en moyenne 32 minutes (max :48 ; min:18). Une rapide courbe d'apprentissage a nécessité la présence des chercheurs seniors du laboratoire pour l'analyse des 5 premiers enregistrements. Il a fallu ensuite une moyenne de quatre heures 10 minutes (max= 05heures 5minutes ; min = 3heures 10 minutes) pour analyser les enregistrements de chaque patient.

Discussion

L'analyse de ces enregistrements a permis de décrire les caractéristiques du bruit de la déglutition pendant un repas comportant plusieurs textures alimentaires, de définir le nombre de déglutitions nécessaires et leurs caractéristiques, la durée totale du repas et l'intervalle entre chaque déglutition. La texture modifiait une grande partie des variables analysées alors que le sexe et l'âge n'avaient pas d'influence.

Mise au point de la technique d'enregistrement :

Les textures choisies étaient la purée de pommes de terre, le yaourt et l'eau, ceci afin d'avoir un panel suffisamment varié de textures et de simuler un repas-type utilisable en clinique de façon régulière, en particulier chez des sujets ayant déjà des troubles de déglutition. De plus, l'eau est une substance fréquemment étudiée en acoustique, le yaourt l'a été par Boiron et al (14) et la purée par Youmans et al (12), ce qui nous offrait des éléments de comparaison.

La caméra vidéo a été d'une grande utilité pendant la période de développement de cet outil acoustique. Lorsqu'un son était plus difficile à analyser, on vérifiait sur la vidéo que le bolus était bien dégluti et qu'il n'y avait pas d'artéfact. Néanmoins, dans la plupart des enregistrements, nous n'avons pas eu besoin de la vidéo pour analyser les caractéristiques acoustiques. Par contre, seule l'analyse de la vidéo permettait de déterminer le nombre de bouchées prises par les sujets et de le corrélérer au nombre de déglutitions.

Acquisition et analyse des déglutitions isolées pour chaque texture d'aliment :

L'intérêt de l'analyse d'une série de déglutitions isolées était de vérifier que notre méthodologie était reproductible et comparable à nos précédentes études, et surtout d'établir un profil acoustique type pour chaque sujet, avant de faire l'étude du repas. Nous avons choisi des bolus de 5mL (purée et yaourt) et 10ml (eau) car il s'agit de volumes souvent utilisés dans la littérature pour l'étude acoustique de la déglutition. De plus, la précédente étude de notre laboratoire montrait des résultats semblables pour 5 et 10 mL, plus difficilement interprétables pour 3mL (15). Nous avons constaté que les bolus de 5mL permettaient des acquisitions bien interprétables pour l'eau et la purée. Pour

l'eau, comme dans les précédentes études (6), nous avons utilisé 10mL. Le nombre de déglutitions enregistrées était de trois pour chaque consistance. Ce nombre correspond aux données de la littérature en ce qui concerne les études acoustiques pour obtenir un résultat fiable. Les bolus étaient administrés à la petite cuillère, ou au verre pour l'eau, après mesure du volume par une seringue. De nombreuses études utilisaient la seringue pour administrer le bolus (Boiron et al (14), Morinière et al (6) et Youmans et al (12)). Seul Eyigör les administrait à l'aide d'un verre ou d'une cuillère (13). Cette méthode nous semblait également plus physiologique. Notre méthode a néanmoins un inconvénient principal venant du faible diamètre de l'orifice de la seringue qui a pu modifier la consistance des substances administrées (purée essentiellement) en les rendant plus fluides, en comparaison avec le repas-type qui utilisait une petite cuillère.

La durée totale moyenne du bruit de déglutition (DTD) était de $693,1 \pm 144,4$ ms. Ces résultats sont comparables à ceux retrouvés par Morinière et al. (6), Perlman et al. (16), Boiron et al. (14) ou Youmans et al. (12), et sensiblement supérieurs à ceux d'Hammoudi et al. (15). Par ailleurs, nous n'avons pas mis en évidence de modification de la durée totale du bruit en fonction de la texture du bolus contrairement aux 2 études citées ci-dessus (12,15). Ceci peut s'expliquer par le fait que les quantités ont été mesurées avec une seringue et que la consistance de la purée et du yaourt était plus liquide qu'avec une petite cuillère.

CS2 était retrouvée dans 100% des cas, comme dans la précédente étude réalisée dans notre laboratoire (15). CS1 était retrouvée dans 94% des cas et CS3 dans 90% des cas. Ceci est supérieur à la prévalence des composantes sonores retrouvée par Hammoudi : 81 et 77% (15) ou Morinière : 81 et 81% (5). Dans notre étude, la plus forte prévalence de CS1 et CS3 peut s'expliquer par un réglage plus important de l'amplification du signal, car les signaux des CS1 et CS3 étant plus courts et moins intenses que pour CS2, ceci explique pour Morinière (5) que ces composantes soient probablement présentes mais non détectées car trop courtes ou de trop faible intensité.

Acquisition et analyse des déglutitions au cours d'un repas avec différentes textures d'aliments :

Dix femmes et vingt-et-un hommes ont été inclus, ce qui nous a permis d'effectuer des comparaisons selon l'âge ou le sexe, d'autant plus que les groupes formés étaient comparables. Il s'agissait surtout d'une population jeune. Les sujets de moins de 30 ans étaient de plus regroupés entre 20 et 29 ans alors que l'autre groupe s'étalait de 30 à 69 ans. Cela ne nous a pas permis

d'effectuer une stratification détaillée par tranches d'âge, mais simplement de séparer la population en deux catégories, plus et moins de 30 ans. Par ailleurs, nous avons souhaité limiter l'âge à 70 ans. En effet, la population gériatrique sera étudiée dans une prochaine étude, afin d'y établir également des normes et de les comparer avec celles obtenues ici.

Notre protocole permettait de simuler un repas, avec plusieurs textures différentes, tout en étant réalisable et avec une durée raisonnable par la suite chez des personnes âgées ou ayant des problèmes de déglutition. Nous n'avons retrouvé dans la littérature qu'une étude analysant l'acoustique d'une quantité aussi importante que 100mL par texture (14). Nous avons donc peu d'éléments de comparaison. Le travail de Boiron et al., réalisé en 1997 avec des moyens analogiques, comparait l'ingestion de 100 mL de yaourt à celle de 100 mL d'eau. Les nombres de déglutitions nécessaires pour l'ingestion des 100 mL étaient proches de nos résultats : 10,1 pour le yaourt contre 11,6 dans notre étude, et 4,5 contre 5,3 pour l'eau. La durée nécessaire à la prise des 100 mL était comparable pour l'eau, avec 9,63 s dans notre étude contre 7,01 s pour Boiron. Pour les 100 mL de yaourt, la durée était plus élevée dans notre étude : 50,25 s contre 22,59 s. La principale explication de cette différence est que Boiron et al. utilisaient du yaourt semi-liquide qui était bu au verre donc de manière beaucoup plus rapide qu'avec une petite cuillère.

Nous n'avons pas retrouvé de différence selon l'âge concernant l'ensemble des critères. Ceci est en accord avec Youmans et al. qui retrouvaient des caractéristiques acoustiques comparables chez les personnes entre 20 et 40 ans et celles entre 40 et 60 ans (12). Ce même auteur retrouvait par contre une augmentation des durées du signal acoustique de déglutition chez les sujets de plus de 60 ans. L'étude chez des personnes de plus de 70 ans montrait pour Eyigor des durées augmentées par rapport à ceux de moins de 70 ans (13). Robbins retrouvait quant à lui un rythme de déglutition qui ralentit avec l'âge (17).

Le sexe n'influçait pas la durée totale de chaque déglutition DTD ou de CS2 pour Morinière et al. (5) ou Cichero et Murdoch (9). Certains auteurs retrouvaient une durée du bruit de déglutition diminuée chez la femme (10,11). D'autres au contraire trouvaient une durée plus élevée chez la femme en raison d'une ouverture du SSO plus longue (17). Mais, les analyses étaient réalisées sur des déglutitions isolées et non pas au cours d'un repas. Le sexe n'influçait aucune variable dans notre étude, à part le nombre de bouchées moyen, plus important chez les femmes. Nous n'avons pas étudié le temps de mastication, mais ce facteur n'influçait probablement pas les durées car les aliments étudiés étaient lisses, sans morceaux.

Comportement alimentaire :

L'étude du comportement alimentaire est basée, dans le cadre d'une analyse vidéo-acoustique, sur l'analyse du rythme des bouchées ou des déglutitions. Elle est peu fréquente dans la littérature (14,18).

Dans notre étude, on constatait une inadéquation entre le nombre de bouchées et le nombre de déglutitions. Certains sujets utilisaient ainsi plusieurs bouchées pour une déglutition, alors que c'était l'inverse pour d'autres personnes. Par exemple, 20 sujets (65%) ne portaient le verre qu'une fois à la bouche pour boire les 100mL d'eau. Pour le yaourt, le nombre de déglutitions nécessaires variait de 6 déglutitions (pour 6 bouchées) à 20 déglutitions (pour 19 bouchées). Ces données intéressantes sur le comportement alimentaire permettraient en pratique clinique d'orienter la rééducation de la déglutition en demandant à un sujet de faire plus de bouchées ou plus de déglutitions. Par contre cela nécessite une acquisition acoustique et vidéo ou la présence d'un observateur pendant tout le repas.

L'étude des intervalles entre les déglutitions a permis de retrouver les 3 mêmes comportements alimentaires que dans l'étude de Boiron et al. (14) : régulier, progressif et irrégulier. Les proportions étaient respectivement de 32, 21 et 47% dans notre étude contre 18, 36 et 46%. Seulement 45% des sujets montraient le même comportement pour les 3 textures. L'explication de la prédominance du comportement irrégulier semble être l'adaptation constante du rythme de déglutition en fonction du volume, de la respiration, des habitudes alimentaires et du régime (14). Les intervalles ITD étaient plus élevés pour la purée et le yaourt que pour l'eau, ce qui correspond aux données de Boiron (14). Même si les proportions des différents comportements variaient entre les deux études, il nous a semblé intéressant de les décrire. En effet, cela pourrait permettre de conseiller à un patient ayant des troubles de la déglutition et ayant un comportement progressif de travailler pour avoir un comportement plus régulier.

Intérêt de la technique, limites et perspectives :

Dans les différentes publications de notre équipe, les mesures ont été réalisées par des personnes différentes. Les résultats étaient à chaque fois comparables (5,14,15). Il s'agit donc d'une méthode reproductible.

Cette technique n'a pas pour objectif de remplacer les techniques d'exploration standard comme la nasofibroscopie (19,20), qui permet d'étudier la motricité du voile, du pharynx et du larynx, de tester la sensibilité du carrefour, ou le radio-cinéma de la déglutition (21), qui reste l'examen de référence (gold standard) mais est irradiant, coûteux, et doit être pratiqué en milieu médicalisé. A l'inverse, l'enregistrement acoustique, non-invasif, peut être réalisé facilement, sans avoir à déplacer le patient de son lieu de vie habituel. Il permet d'avoir une étude en condition quasi physiologique ce qui est primordial. Mais, pour obtenir un enregistrement interprétable, plusieurs facteurs sont nécessaires : la bonne compliance du patient, un microphone bien placé et fixe, un lieu silencieux. Tous ces éléments ne sont pas toujours faciles à obtenir notamment pour des sujets âgés ou avec des troubles cognitifs. C'est pourtant dans ces populations que les troubles de déglutition ont une incidence importante (22), et entraînent des conséquences potentiellement graves, à court ou à long terme, avec la survenue de pneumopathies d'inhalation, d'une altération de l'état général, de conséquences psychologiques et sociales... (23,24). Les fausses routes sont le plus souvent silencieuses et difficiles à diagnostiquer (22,26). Certaines études parlent ainsi de fausses routes silencieuses chez 71% des sujets âgés hospitalisés pour une pneumopathie (27). Notre outil acoustique n'est pas adapté au diagnostic des fausses routes silencieuses. Sa place se situe en amont, pour diagnostiquer les troubles précoces de la déglutition et du comportement alimentaire.

Conclusion

Cette étude a permis d'établir des normes concernant l'analyse acoustique d'un repas, ce qui n'avait jusque là pas été effectué. Elle confirme l'intérêt de l'analyse acoustique comme une technique fiable, reproductible et non invasive pour étudier la déglutition et les comportements alimentaires. L'augmentation de la durée totale du repas type, la diminution du volume moyen de chaque déglutition, l'augmentation ou la diminution de l'intervalle entre les déglutitions, ou de la durée pour certaines textures, pourraient être des facteurs annonciateurs de troubles précoces de déglutition. Un repas test utilisé comme moyen de dépistage dans une population à risque pourrait être intéressant pour alerter les professionnels de santé qui pourraient modifier les textures ou initier une rééducation orthophonique. Elle reste pour l'instant difficile à mettre en place sur une grande échelle car les modalités de l'enregistrement et de l'analyse nécessitent beaucoup de temps. La mise au point de logiciels d'analyse automatique du signal sonore est essentielle pour pouvoir raccourcir ces durées. De plus, d'autres études dans une population gériatrique (de plus de 70 ans), puis en pathologie doivent être réalisées pour que cet outil soit utilisable en pratique clinique.

Bibliographie

- 1- Hamlet JA, Nelson RJ, Patterson RL. Interpreting the sound of swallowing : fluid flow through the cricopharygeus. *Ann Otol Rhino Laryngol*. 1990;99:749-52.
- 2- Lear CS, Flanagan JB, Mooress CF. The frequency of deglutition in man. *Arch Oral Biol*. 1965;10:83-99.
- 3- Mackoviak RD, Brenman HS, Friedman MH. Acoustic profile of deglutition. *Proc Soc Exp Bio Med*. 1967;125:1149-52.
- 4- Crary MA, Sura L, Carnaby G. Validation and démonstration of an isolated acoustic recording technique to estimate spontaneous swallow frequency. *Dysphagia*. 2013 Mar ;28(1) :86-94.
- 5- Moriniere S, Beutter P, Boiron M. Sound component duration of healthy human pharyngooesophageal swallowing: a gender comparison study. *Dysphagia*. 2006;21:175-82.
- 6- Moriniere S, Boiron M, Alison D, Makris P, Beutter P. Origin of the sound components during pharyngeal swallowing in normal subjects. *Dysphagia*. 2008; 23:267-73.
- 7- Moriniere S, Boiron M, Beutter P. Swallowing sound signal: description in normal and laryngectomized subjects. *Ann OtolaryngolChir Cervicofac*. 2008;125:1-10.
- 8- Borr C., Hielscher-Fastabend M, Lucking A., Reliability and validity of cervical auscultation. *Dysphagia*. 2007;22:225-34
- 9- Cichero JA, Murdoch BE: Acoustic signature of the normal swallow: characterization by age, gender, and bolus volume. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 2002 ;111: 623-32.
- 10- Lebel D, Parel CL, Thouvenot J: Exploration de la déglutition à partir de son signal sonore. *Arch Int Physiol Biochem* 1990 ; 98:75–86
- 11- Takahashi K, Groher ME, Michi K. Methodology for detecting swallowing sounds. *Dysphagia*, 1994 ; 9:54-62.
- 12- Youmans SR, Stierwalt JA. Normal swallowing acoustics across age, gender, bolus viscosity, and bolus volume. *Dysphagia*. 2011 Dec;26(4):374-84
- 13- Eyigor S, Perlman A, He X. Effects of age, gender, bolus volume and viscosity on acoustic signals of normal swallowing. *Turk J Phys Med Rehab* 2007;53:94-9.
- 14- Boiron M, Rouleau P, Metman EH. Exploration of pharyngeal swallowing by audiosignal recording. *Dysphagia*. 1997;12:86-92.
- 15- Hammoudi K, Boiron M., Hernandez N., Bobillier C., Moriniere S. Acoustic study of pharyngeal swallowing as a function of the volume and consistency of the bolus. *Dysphagia*. 2014 Aug;29(4):468-74

- 16- Perlman AL, Ettema SL, Barkmeier J. Respiratory and acoustic signal associated with bolus passage during swallowing. *Dysphagia* 2000;15:89–94.
- 17- Robbins J, Hamilton JW, Lof GI, Kempster GB : oropharyngeal swallowing in normal adults of different ages. *Gastroenterology* ; 1992; 103 :823-829.
- 18- Golabbakhsh M, Rajaei A, Derakhshan M, Sadri S, Taheri M, Adibi P. Automated acoustic analysis in detection of spontaneous swallows in Parkinson's disease. *Dysphagia*. 2014 Oct;29(5):572-7.
- 19- Perie S, Roubeau B, L St Guily J. Laryngeal Paralysis: Distinguishing Xth Nerve from Recurrent Nerve Paralysis Through Videoendoscopic Swallowing Study (VESS). *Dysphagia*. 2003;19:276-83
- 20- Plant RL, Anatomy and physiology of swallowing in adults and geriatrics. *Otol laryngol clinics of North America*. 1998;31:477-506.
- 21- Doods WJ, Stewart ET, Logemann JA. Physiology and radiology of the normal oral and pharyngeal phases of swallowing. *AJR*,1990, 154: 953-63.
- 22- Kikawada M, Iwamoto T, Takasaki M; Aspiration and infection in the elderly: epidemiology, diagnosis and management. *Drugs aging*, 2005;22(2):115-30
- 23- Ekberg O, Hamdy S, Woisard V, et al. Social and psychological burden of dysphagia : its impact on diagnosis and treatment. *Dysphagia* 2002;17:139-146
- 24- Japanese Respiratory Society; Aspiration pneumonia; *Respirology*, 2009 Nov;14 Suppl2: S59-64.
- 25- Woisard V, Réhault E, Brouard C, Fichaux-Bourin P, Puech M, Grand S. Study of the predictive value of detection tests for silent aspirations. *Rev Laryngol Otol Rhinol (Bord)*. 2009;130(1):53-60.
- 26- Nobrega AC, Rodrigues B, Melo A; Is silent aspiration a risk factor for respiratory infection in Parkinson's disease patients? *Parkinsonism Relat. Disord.*2008 Dec;14(8):646-8.
- 27- Kikuchi R, Watabe N, Konno T et al. High incidence of silent aspiration in elderly patients with community-acquired pneumonia. *Am J Respir Crit Care Med* 1994;150:251-253

Académie d'Orléans – Tours

Université François-Rabelais

Faculté de Médecine de TOURS

Clément BOBILLIER

23 pages – 3 tableaux – 5 figures

Résumé :

Objectif : L'analyse acoustique de la déglutition est une technique non invasive qui doit encore être perfectionnée pour pouvoir être utilisée en pratique clinique. Aucune étude acoustique n'a été réalisée pendant les conditions physiologiques d'un repas. Or le volume et la texture des bolus ingérés varient pendant un repas. De même, chaque individu a un comportement alimentaire propre, analysable avec l'acoustique. L'objectif de cette étude était de décrire les bruits de la déglutition pendant un repas utilisant plusieurs textures et de comparer les résultats selon le sexe et l'âge, en utilisant des technologies d'acquisition et d'analyse numériques.

Méthodes : 31 sujets sains de moins de 70 ans ont été inclus. Le repas comprenait 3 textures : 100mL de purée de pommes de terre, 100mL d'eau, et 100mL de yaourt nature. L'enregistrement des bruits de déglutition était réalisé avec un microphone-cravate placé à la partie droite du cou juste sous le cartilage cricoïde. Les sujets étaient filmés, avec une acquisition synchronisée du son et de la vidéo. Les données acoustiques étaient analysées à l'aide du logiciel Cool Edit Pro®. Les différents paramètres acoustiques étaient comparés selon la texture, l'âge et le genre.

Résultats : la durée moyenne totale du repas était de $116,78 \pm 40,98s$ (min = 47,90s ; max = 205,66s), avec en moyenne 27 déglutitions. La durée moyenne de chaque déglutition était de $699,1 \pm 141,9ms$. L'intervalle moyen entre 2 déglutitions était de $3982,2 \pm 2260,6ms$, avec plusieurs comportements alimentaires mis en évidence. On ne retrouvait pas de différence selon l'âge ou le sexe. La texture influençait la plupart des variables avec des durées plus courtes pour l'eau.

Conclusion : Cette étude a permis d'établir des durées de référence pour l'analyse acoustique d'un repas chez des sujets sains de moins de 70 ans. D'autres études chez des sujets âgés puis chez des patients avec des troubles de déglutition devront être réalisées pour permettre d'utiliser cet outil en pratique clinique.

Mots clés : déglutition, troubles de déglutition, acoustique, texture, sons de déglutition

Jury :

Président de Jury : Monsieur le Professeur Emmanuel Lescanne

Membres du jury : Monsieur le Professeur Sylvain Morinière

Monsieur le Docteur Florent Espitalier

Monsieur le Docteur François Bories

Monsieur le Docteur Franck Marmouset

Monsieur le Docteur Karim Hammoudi

Date de la soutenance : 2 Octobre 2015