

Contribution de l'IRM à l'analyse de la physiologie de la déglutition et des dysphagies oropharyngées : étude fonctionnelle des prothèses intra-laryngées

Florence Guilleré

Résumé

Ces travaux ont pour objectif, à partir de l'analyse en ciné-IRM du processus de déglutition salivaire chez un sujet sain, d'optimiser le rendement clinique de cette technique pour les dysphagies. Un protocole d'imagerie rapide et une grille d'évaluation (*D-GRID*) ont été conçus. Leur application a été étudiée chez des patients présentant une tumeur des voies aéro-digestives supérieures, et chez des patients porteurs de Prothèses Intra-Laryngées (*PIL*). La *D-GRID* permet de *mesurer* et d'*évaluer* le mécanisme de protection des voies aériennes, de concevoir des programmes de réhabilitation et de suivre l'évolution des dysphagies. L'analyse de la déglutition en ciné-IRM est limitée par l'absence de bolus et la position de decubitus dorsal, mais nos résultats montrent sa fiabilité. La ciné-IRM définit des modèles du déplacement normal ou anormal des structures anatomiques au cours de la déglutition. Les données de l'imagerie dynamique contribuent au développement des *PIL*.

Mots clés : ciné-IRM, déglutition salivaire, dysphagies oropharyngées, grille d'évaluation (*D-GRID*), prothèses Intra-Laryngées.

Contribution of cine-MRI to the physiology of swallowing and oro-pharyngeal dysphagia. Functional study of intra-laryngeal prostheses

Abstract

The aim of this study was to develop the use of fast imaging to assess the swallowing mechanism in healthy volunteers, and to optimize its clinical use in case of oro-pharyngeal dysphagia. A fast imaging protocol during dry swallowing and an evaluation grid (*D-GRID*) were designed. Healthy subjects, patients with head and neck cancer or patients implanted with intra-laryngeal prostheses underwent kinetic MRI. True-FISP sequences provide accurate information about morphological aspects of the oro-pharyngo-larynx and displacements of anatomical structures involved in the normal or impaired swallowing mechanism. The analysis of the swallowing process with cine-MRI is restricted because of the lack of bolus and the supine position, but our results show the reliability of this method. Patterns of normal or abnormal anatomical structures movements during swallowing are determined by cine-MRI. The development of Intra-Laryngeal Prostheses represents a therapeutic solution partly based on dynamic MRI data.

Key Words : Cine-MRI, Dry Swallowing, Oro-Pharyngeal Dysphagia, Evaluation grid (*D-GRID*), Intra-Laryngeal Prostheses.

Florence GUILLERÉ, Ph.D.
 Orthophoniste
 Service d'ORL et de chirurgie cervico-faciale
 CHU de Strasbourg
 Hôpital Hautepierre (Strasbourg)
 1 Av Molière
 67098 Strasbourg Cedex
 Courriel :
 florence.guillere@chru-strasbourg.fr

L'article présenté est un extrait de la thèse soutenue en septembre 2013 par Florence Guilleré, orthophoniste au service d'ORL et de chirurgie cervico-faciale du CHU de Strasbourg¹⁵. Depuis octobre 2005, F. Guilleré développe l'application des techniques d'IRM du mouvement à l'évaluation et à la rééducation des dysphagies oropharyngées en collaboration avec Christian Debry et Philippe Schultz, chirurgiens ORL, Francis Veillon et Sophie Riehm, radiologues du service de radiologie du CHU⁹. Ces travaux ont eu pour objectifs, à partir de l'analyse en ciné-IRM de la déglutition de la salive chez le sujet sain, de préciser son intérêt diagnostique pour les dysphagies, d'analyser le mécanisme physiopathologique, de concevoir des programmes de rééducation des dysphagies, d'évaluer objectivement l'évolution des troubles de la déglutition, l'impact de la rééducation, et d'étudier la fonctionnalité d'implants intralaryngés.

◆ Ciné-IRM et DÉGLUTITION

La *déglutition* est le *mécanisme* permettant le passage de la salive et des aliments de la cavité buccale vers l'œsophage tout en protégeant les voies respiratoires. Les perturbations de ce processus, observables à tout âge, de la naissance au plus grand âge, peuvent être la conséquence d'une atteinte périphérique des structures anatomiques du carrefour aéro-digestif ou de celle des structures corticales et/ou sous-corticales impliquées dans le contrôle neurologique de la déglutition^{7,22,23,26,30,31}. Les étiologies susceptibles d'entraîner des troubles de la déglutition et d'engager le pronostic vital et fonctionnel sont nombreuses et variées (tumeurs des Voies Aéro-Digestives Supérieures (VADS), affections neurologiques tumorales ou dégénératives, traumatismes, vieillissement...). Plusieurs spécialités médicales dont l'ORL sont concernées par les dysphagies et leur prise en charge, et les explorations fonctionnelles de la déglutition sont en constante évolution.

Actuellement, le « gold-standard » des méthodes d'exploration de la déglutition en cas de dysphagie demeure la vidéofluoroscopie. Néanmoins les informations concernant les tissus mous restent limitées, la vidéofluoroscopie est irradiante et contre-indiquée en cas de fausses-routes majeures. La méthode d'investigation idéale des troubles de la déglutition serait une technique non invasive, de résolutions spatiale et temporelle permettant de visualiser précisément i) les phases de la déglutition, ii) le transfert de la salive ou d'un bolus de différentes textures au travers des voies aéro-digestives, iii) la morphologie et le déplacement des structures anatomiques impliquées et ii) les fausses-routes. Les premières applications de l'*IRM dynamique* à l'étude de la déglutition et des dysphagies oropharyngées datent des années 90, avec le développement des techniques d'imagerie rapide ou ultra-rapide du mouvement pour l'imagerie cardiaque et vasculaire^{1-6,10-13,16-19,24,28,29}. Les premières IRM dynamiques de déglutition ont été pratiquées en déglutition salivaire ou avec ingestion d'un produit de contraste liquide ou solide. L'IRM s'effectue en position de *decubitus dorsal* (voir glossaire, annexe 1) : avaler un bolus solide ou liquide en position allongée sur le dos n'est pas un contexte physiologique standard de déglutition et présente des risques de fausses-routes. En revanche, la déglutition de la salive dans cette position s'apparente à la déglutition de la salive au repos. L'IRM est ainsi envisageable dans la majorité des cas, en particulier pour les patients traités pour un cancer ORL qui présentent des troubles sévères de la déglutition, et pour lesquels une vidéofluoroscopie est contre-indiquée²³.

La prise en charge des dysphagies comporte la *rééducation de la déglutition* ; les programmes rééducatifs sont fondés sur les données de l'exploration du mécanisme physiopathologique. Les études portant sur les effets de la réhabilitation de la déglutition sont peu nombreuses et hétérogènes. En 2009, R. Speyer et al.²⁷ ont analysé 59 articles rédigés en allemand, anglais, français, hollandais et espagnol, publiés de 1986 à 2008. Il ressort de cette revue de la littérature que, tandis que les effets à court terme de la rééducation sont bien documentés, les données des effets à long terme restent rares. Les points faibles les plus fréquemment rencontrés dans la méthodologie sont l'absence de groupe contrôle – groupe constitué de patients n'ayant pas bénéficié de rééducation –, les possibilités de récupération spontanée qui ne sont pas évoquées, le faible nombre de patients inclus aux études, le manque d'analyses statistiques, d'évaluation objective, et de données pré-traitement. L'examen de la déglutition de la salive par IRM dynamique permet une évaluation objective de la dysphagie.

Les dysfonctionnements majeurs du pharyngo-larynx sont responsables de troubles sévères de la déglutition et/ou de problèmes respiratoires importants (e.g. *sténose laryngée* (voir glossaire, annexe 1)). Une bio-prothèse implantable

en silicone et en titane comportant des valves, dénommée PIL (Prothèse Intra Laryngée), conçue afin de suppléer aux fonctions déficientes, est actuellement à l'étude^{8,14}. Elle a été mise au point à partir de travaux théoriques associant ingénieurs et cliniciens (ERT 1061 – UMR 977 – Protip SAS). La PIL est proposée lorsqu'aucune amélioration notable ne peut être rapidement espérée par la rééducation orthophonique ou par les techniques chirurgicales répertoriées dans la littérature. Le suivi pré- et post-opératoire clinique et radiologique des patients comporte l'analyse à différents intervalles de la fonction respiratoire, du fonctionnement des valves par nasofibroscope et par ciné-IRM, de l'appréciation des fausses-routes sous réalimentation per os par nasofibroscope et vidéo-fluoroscopie.

La première partie de cet exposé présente le développement du protocole d'IRM de la déglutition et la conception de la grille d'évaluation (*D-GRID**). La deuxième partie illustre à partir d'un cas détaillé comment analyser le mécanisme physiopathologique et concevoir un programme de rééducation de la déglutition d'après les données de l'IRM. La troisième partie ouvre des perspectives d'application de la ciné-IRM par l'étude de la fonctionnalité d'implants intra-laryngés.

◆ L'analyse de la déglutition par ciné-IRM

L'application de la ciné-IRM chez des patients présentant une dysphagie oropharyngée a rendu nécessaire l'exploration de la déglutition chez des sujets sains en ciné-IRM afin d'obtenir des données standard et mettre en évidence la physiopathologie.

Matériels et Méthodes

Des acquisitions morphologiques et dynamiques dans les 3 plans au cours de la déglutition de la salive ont été obtenues chez des individus sains (n=30). La population témoin est constituée de 10 hommes et 20 femmes (sex-ratio : 1/2), âgés de 23 à 61 ans (moyenne : 39 ans, médiane : 42 ± 19 ans). La cohorte est composée de personnel médical ou paramédical hospitalier exempt de tout antécédent de troubles de la déglutition.

Le **protocole d'imagerie** comporte l'IRM morphologique puis l'IRM dynamique de déglutition dans les 3 plans de l'image : *le plan sagittal médian* pour l'analyse des mouvements ; *le plan coronal* dont : - une coupe oblique postérieure (COR 1) parallèle à la Paroi Pharyngée Postérieure (PPP) pour apprécier le recul de la langue, - une coupe oblique antérieure (COR 2) passant par l'épiglotte et le pharyngolarynx pour mettre en évidence l'action des



muscles palato-pharyngiens et la fermeture glottique (Fig.1) ; le *plan axial* passant par la Base De Langue (BDL) et la vallécule parallèlement au disque intervertébral C3/C4 afin de visualiser l'occlusion oropharyngée maximale (Fig.2).

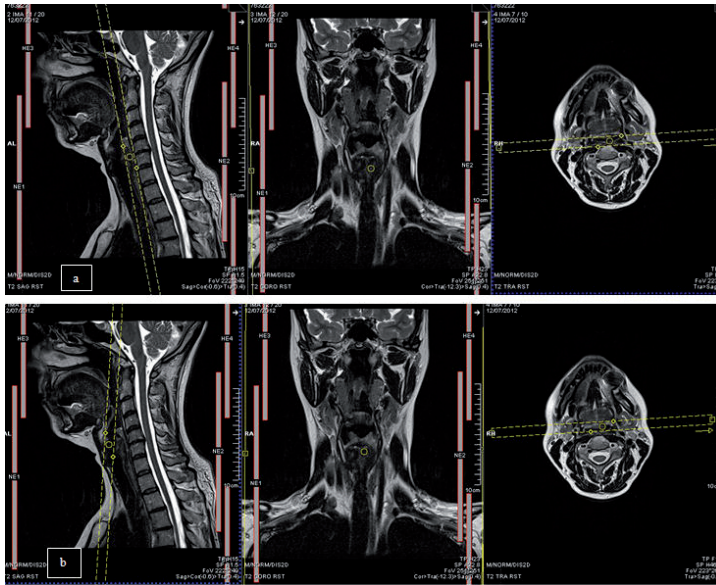


Fig.1. Copies d'écran des plans de coupe **a)** coronale postérieure -COR1- **b)** coronale antérieure -COR2*.

*NB : comme en radiologie, sur les coupes coronales et axiales, ce qui est à droite de l'écran correspond au côté gauche du sujet, ce qui est à gauche sur l'image est la droite du sujet

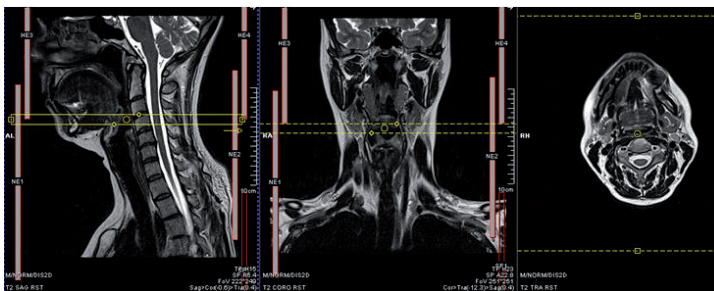


Fig.2. Copie d'écran du plan de coupe axial -AX1-



Aucun produit de contraste n'a été utilisé. Il a été simplement demandé au sujet d'avaler en continu sa salive pendant toute la durée du bruit de chaque séquence dynamique. Les séquences d'imagerie rapide ont été obtenues sur un système de 1.5 T (MAGNETOM Avanto, Siemens, Erlangen, Allemagne). La durée d'acquisition était de 22 secondes pour 128 images soit 5.8 images par seconde dans le plan sagittal ; dans les plans coronal et axial, la durée d'acquisition était de 18 s pour 100 images soit 5.5 images par seconde (les caractéristiques techniques complémentaires figurent en annexe 2). L'examen dure environ 15mn.

***D-GRID : Déglutition-Guilleré RIEhm Debry**

Interprétation

Les images ont été enregistrées sous format numérique DICOM (Digital Imaging and COmmunications in Medicine) gravées sur CD Rom. Les séries ont été interprétées sur une console en double lecture (SR radiologue et FG orthophoniste). Les différentes phases de la déglutition ont été analysées en mode dynamique et également image par image.

Calculs statistiques

Les calculs statistiques ont été réalisés par un biostatisticien (FL), avec le logiciel R-2.14.0. Les comparaisons entre variables -déplacements des structures anatomiques (déplacement de la PPP-stades 0 et 1-, élévation du larynx -1, 1,5, 2, 2,5 vertèbres- et élévation de l'os hyoïde -1, 1,5, 2 vertèbres-), sexe des témoins- et les coefficients de corrélation ont été calculés avec les tests de Fisher, de Spearman et de Student. Nous rapporterons ici les résultats principaux. La concordance entre les mesures de ces déplacements effectuées par les observateurs a été évaluée avec le coefficient Kappa de Cohen pondéré. Les intervalles de confiance de ce coefficient ont été calculés à 95%. La significativité de chaque test a été retenue au seuil de 5%, ($p\text{-value}<0.05$).

Résultats

Les structures anatomiques participant à la déglutition sont identifiées aussi bien en imagerie morphologique qu'en imagerie ultra-rapide, quel que soit le plan de coupe (Fig.3-5). *Visualisation des mouvements* : Deux phases de la déglutition salivaire sont identifiées : mouvement lingual, élévation du voile du palais et fermeture vélo-pharyngée pour la phase orale ; élévations du larynx et de l'os hyoïde, recul de la BDL, bascule de l'épiglotte, contraction des muscles palato-pharyngiens, rapprochement des cartilages aryénoïdes, occlusion oropharyngolaryngée à l'exception de la relaxation et de l'ouverture du Sphincter Supérieur de l'Œsophage (SSO) pour la phase pharyngée.

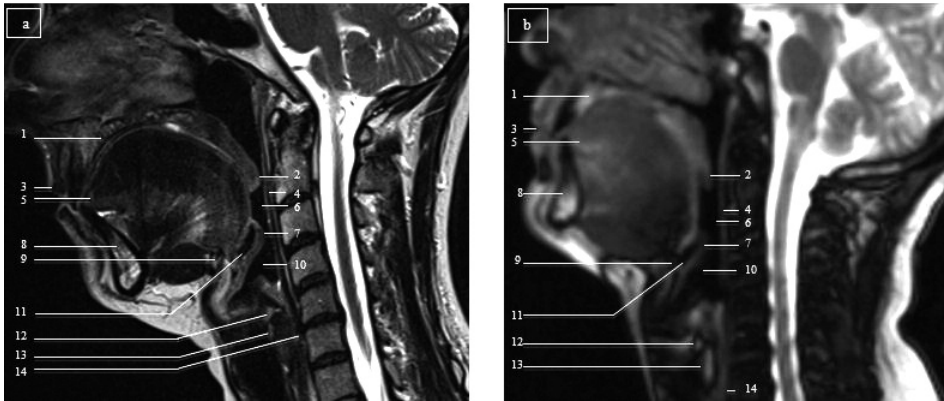


Fig. 3. Identification et correspondance des structures anatomiques en coupe sagittale médiane cervicale haute **a)** en IRM morphologique **b)** en mode True-FISP.

1. palais dur, 2. uvule palatine, 3. lèvres, 4. paroi pharyngée postérieure, 5. langue, 6. oropharynx, 7. épiglotte, 8. mandibule, 9. os hyoïde, 10. vestibule laryngé, 11. vallécule, 12. cartilage aryténoïde, 13. cartilage cricoïde, 14. bouche de l'œsophage.

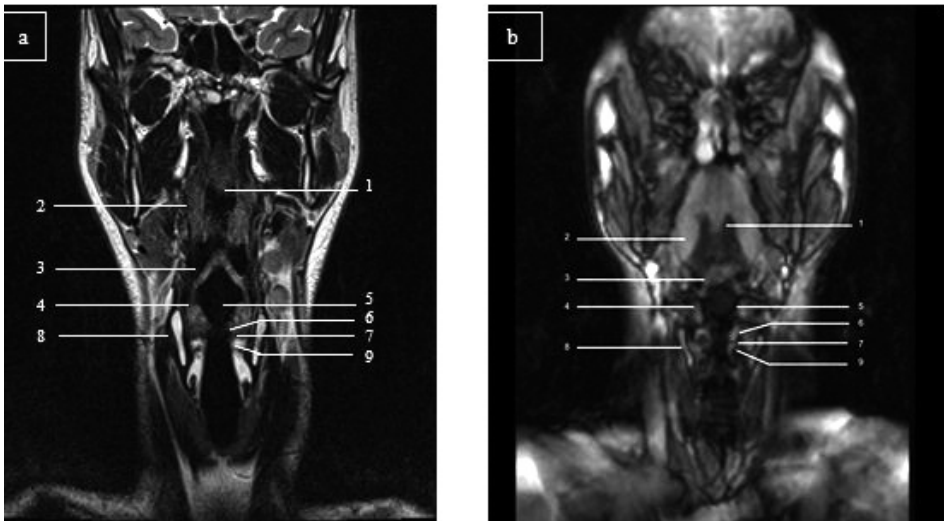


Fig. 4. Identification et correspondance des structures anatomiques en coupe coronale cervicale haute **a)** en IRM morphologique **b)** en mode True-FISP.

1. uvule palatine, 2. muscle palato-pharyngien, 3. épiglotte, 4. repli ary-épiglottique, 5. vestibule laryngé, 6. bande ventriculaire, 7. ventricule de Morgagni, 8. cartilage thyroïde, 9. corde vocale.



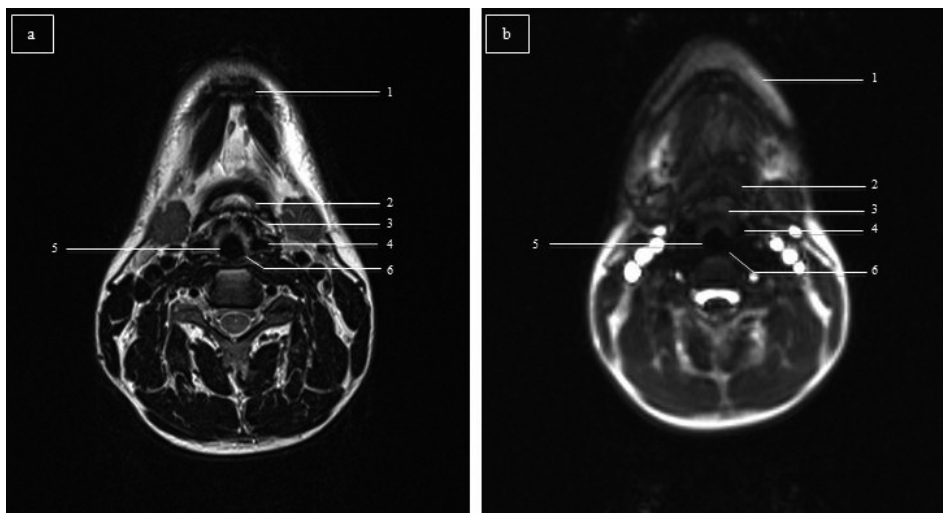


Fig. 5. Identification et correspondance des structures anatomiques en coupe transversale cervicale

a) en IRM morphologique

b) en mode True-FISP.

1. mandibule, 2. os hyoïde, 3. épiglotte, 4. sinus piriforme, 5. larynx, 6. bouche de l'œsophage.

Grille d'évaluation (D-GRID) et mesures (Tableau 1)

La *D-GRID*, fondée sur les observations en imagerie dynamique, a été conçue pour représenter et évaluer la mobilité des tissus mous et des cartilages essentiels à la déglutition et à la rééducation de ses troubles : recul de la BDL, avancée de la PPP (*facteur oropharyngé*) et élévations du larynx et de l'os hyoïde (*facteur laryngé*). Les mouvements de ces structures anatomiques ont pour objectif la fermeture complète de l'isthme oropharyngolaryngé à la déglutition : la qualité de l'occlusion oropharyngée a été intégrée à la grille, destinée à des patients susceptibles de présenter des fausses-routes, des capacités motrices réduites et une occlusion oropharyngée déficiente. Nous avons choisi une échelle à 3 degrés d'évaluation : 0 pour absence de mouvement et d'occlusion, 1 pour mouvement et occlusion incomplets, 2 pour mouvement et occlusion complets.

Facteur oropharyngé : Un recul lingual et une occlusion oropharyngée complets (stade 2) correspondent à un déplacement antéro-postérieur net de la langue et à la disparition de la filière aérique de l'oropharynx (Fig.6) ; un déplacement de la BDL et une occlusion complets, de stade 2, ont été constatés chez tous les

témoins (Tableau 1). Les stades 0 et 1 reflèteraient des troubles de déglutition graves (0 : pas de recul de la BDL) ou modérés (1 : recul incomplet de la BDL).

La motilité de la PPP est variable : elle reste immobile (stade 0) chez 33,33% de la cohorte (Tableau 1). La mesure de son avancée (**d**) peut être réalisée à partir d'un point fixe, le corps vertébral de C2 ou l'interligne C2-C3 en regard de l'oropharynx, selon la morphologie du sujet (Fig.7). Pour cela, il suffit d'effectuer une première mesure au repos, soit de sélectionner la réglette proposée dans la barre d'outils à disposition sur l'écran, de cliquer sur le premier point de référence à l'extrémité du corps vertébral de C2, et de déplacer la souris jusqu'à l'extrémité de la PPP (vers la gauche de l'écran), de cliquer une nouvelle fois pour fixer la mesure : la valeur de la distance s'affiche en mm. La deuxième mesure sera réalisée de la même façon au point maximal de déglutition repéré en faisant défiler les images une à une (Fig.7). La mesure du déplacement est obtenue par soustraction de la valeur minimale de la valeur maximale. Les valeurs de **d** obtenues chez 66,67% des témoins sont réparties de 0,5 à 3 mm (précision au 5/10^{ème} de mm) : elles peuvent correspondre au stade 1, soit $0 < \mathbf{d} \leq 3$ mm (Tableau 1). Les stades 0 et 1 de l'avancée de la PPP sont physiologiques ; les valeurs de **d** supérieures à 3 mm correspondraient à un stade 2.

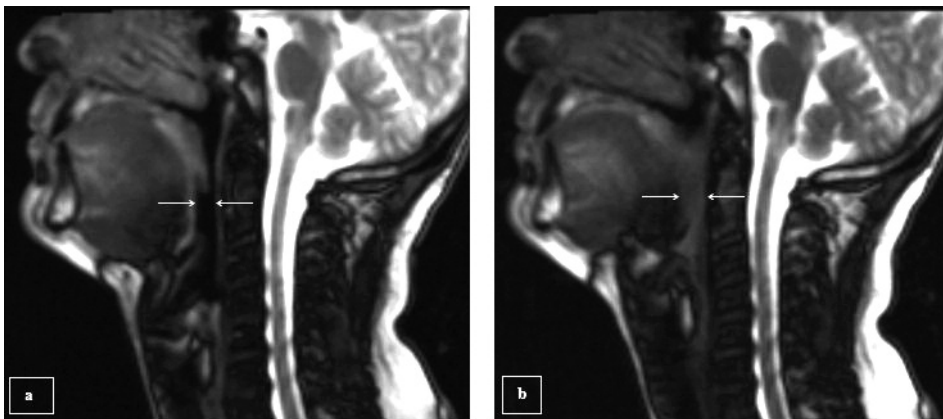


Fig.6. Coupes sagittales médianes cervico-faciales en mode True-FISP
 a) au repos b) à la déglutition, recul de la BDL et occlusion oropharyngée complets (stades 2).

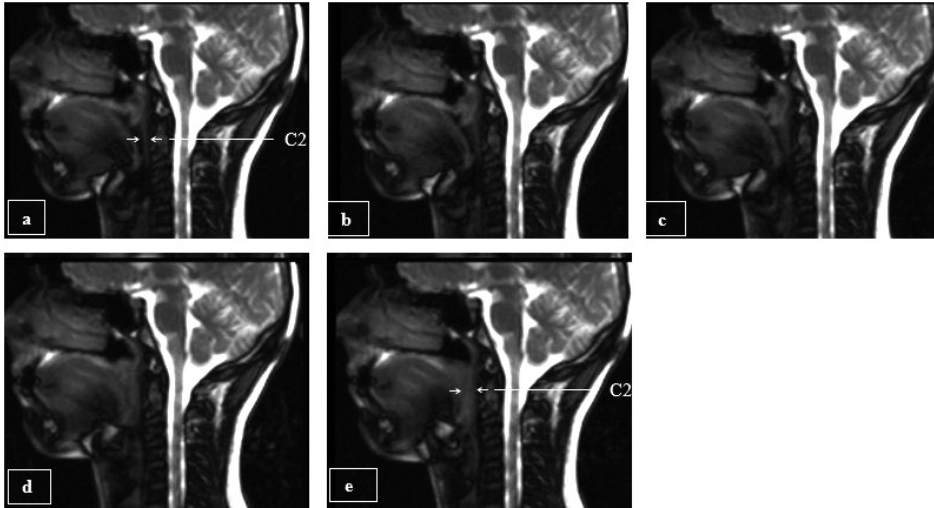


Fig.7. Mesure de l'avancée de la PPP (**d**) sur des coupes sagittales médianes en mode True-FISP **a**) épaisseur de la PPP au repos : 4 mm
e) épaisseur maximale de la PPP à la déglutition : 6 mm, **d**=2 mm (stade 1).

Facteur laryngé : l'élévation laryngée est repérable par le déplacement du cartilage cricoïde et celui de l'os hyoïde dans l'axe vertical. La colonne cervicale, qui est une unité anatomique fixe, individuelle relative, a été choisie comme unité de mesure. L'ascension du larynx est calculée à partir du bord inférieur du cartilage cricoïde, du point de référence à l'horizontale au repos en regard de C6 à son point le plus haut, et celle de l'os hyoïde à l'horizontale au repos en regard de C3 à son point le plus haut, de ½ vertèbre en ½ vertèbre (Fig.8). Le larynx s'élève de 1 à 2,5 vertèbres et l'os hyoïde de 1 à 2 vertèbres chez les sujets sains (Tableau 1).



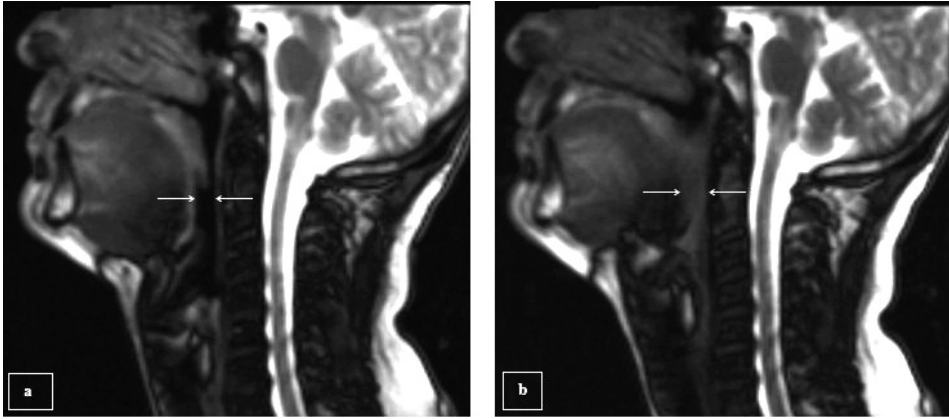


Fig.8. Mesures de l'élévation du larynx et de l'os hyoïde
 a) position au repos b) élévation maximale au cours de la déglutition :
 larynx : 1,5 vertèbres ; os hyoïde : 1 vertèbre.

Résultats statistiques

Les résultats ne font pas apparaître de corrélations statistiquement significatives entre âge, avancée de la PPP, élévations du larynx et de l'os hyoïde ($p > 0.05$). Le coefficient de corrélation rho de Spearman, calculé pour la PPP dont le mouvement est une variable à deux valeurs (stade 0 ou stade 1), est légèrement négatif, plus l'âge augmente, moins la paroi pharyngée se déplace. Une corrélation entre l'élévation du larynx et celle de l'os hyoïde est observée (p Fisher=0.002). La comparaison des élévations deux à deux n'est pas significative ($p > 0.05$). L'avancée du mur pharyngé est plus importante chez les femmes que chez les hommes (p Fisher=0.044). Les élévations du larynx et de l'os hyoïde ne sont pas sexe-dépendantes (p Fisher=0.904). L'étude de la fiabilité inter-lecteurs montre un niveau d'accord entre les juges (coefficient Kappa modéré) excellent ($0.81 < K < 1$) pour les mesures des déplacements du mur pharyngé postérieur (0.93), du larynx (0.93) et de l'os hyoïde (0.92).

Discussion

Les études répertoriées de 1995 à 2010^{1-6,10-13,16-19,24,28,29} (Tableau 2) concernent exclusivement ou en partie l'analyse de la déglutition en IRM dynamique chez des volontaires sains en temps réel. Différentes séquences d'imagerie rapide ont été testées : les séquences les plus appropriées à la déglutition (peu d'artefacts de mouvements) sont les séquences Turbo-FLASH^{4,6,11,17,24,28},

SSFSE^{3,16} et True-FISP^{1,5}. Les images obtenues dans notre série (Fig. 1 à 8) offrent une qualité satisfaisante pour la visualisation statique morphologique ou dynamique de la déglutition. Les systèmes d'IRM dynamique de la déglutition les plus fréquemment utilisés ont une *induction magnétique* de 1,5 T (*Tesla*, voir glossaire - Tableau 2), rarement en-dessous (0,5 T¹⁸). Les essais (n=2) que nous avons menés sur un système à 3 T (Signa, General Electric, Buc, France), se sont avérés de moins bonne qualité : un système à haut champ magnétique est plus sensible aux artefacts de mouvements²⁰. De plus, les éléments d'antenne équipant l'Avanto sont plus spécialisés, et dédiés à l'imagerie cervicale. Nous avons poursuivi les examens sur le système de 1,5 T. La majeure partie des études rapportées (n=18, Tableau 2) comportent des acquisitions de ciné-IRM ou d'IRM morphologiques de référence en séquences sagittales (n=16) ; quelques-unes s'intéressent aux séquences coronales (n=6) et axiales (n=3) : nous avons réalisé les premières acquisitions et recueilli des données en IRM dynamique de déglutition dans les 3 plans de l'image. Le protocole en ciné-IRM a été développé dans notre équipe en déglutition salivaire en raison de son objectif : son application en carcinologie ORL. Les traitements des tumeurs des voies aéro-digestives supérieures peuvent être à l'origine de fausses-routes majeures chez des patients déjà sévèrement fragilisés par la maladie. En outre, la rééducation de la déglutition est réalisée en déglutition salivaire lorsque la reprise de l'alimentation n'est pas possible par voie orale : les données de l'IRM dynamique ont été exploitées dans la perspective de l'évaluation des capacités de la déglutition de la salive et de leur évolution. La position en decubitus dorsal et la déglutition salivaire sont apparentées à la déglutition naturelle au cours du sommeil. Honda et al. relèvent une différence de coordination des mouvements entre la déglutition en position assise ou en position allongée : l'IRM à champ ouvert offre des perspectives intéressantes pour une imagerie de déglutition avec bolus en position assise¹⁷. Les études réalisées avec des séquences True-FISP ont porté sur la déglutition de bolus liquide⁵ (eau), de bolus de texture lisse⁵ (yaourt) ou pâteuse^{1, 5} (semoule⁵, pudding¹), avec ou sans agent de contraste⁵ (gadolinium⁵ (voir glossaire) ou dérivé de gadolinium¹). Notre équipe a réalisé les premières IRM dynamiques de déglutition salivaire en séquences True-FISP.

L'interprétation des images dépend des connaissances préalables de la physiologie de la déglutition. En vidéofluoroscopie l'interprétation des images est subjective et les études de fiabilité inter- ou intra-individuelle montrent des différences (Léonard et al.²¹, communication de V. Woisard, congrès de la SFP&PaCo, oct. 2010). Dans notre étude, la concordance inter-observateurs à l'interprétation des images et à la cotation de l'avancée de la PPP et de l'élévation de l'os hyoïde et du larynx est statistiquement excellente ($0.81 < K < 1$). Une

étude de la concordance inter- et intra-observateurs serait à mener avec un plus grand nombre de lecteurs.

Parmi les études de la déglutition en ciné-IRM répertoriées (Tableau 2), la seule échelle proposée (Honda et al. en 2003¹⁷) est ciblée sur la comparaison de la qualité des images obtenues en ciné-IRM et en vidéofluoroscopie. La D-GRID, fondée sur les observations en imagerie dynamique, a été conçue pour représenter et évaluer la mobilité des tissus mous et des cartilages essentiels à la déglutition et à la rééducation de ses troubles : recul de la BDL, avancée de la PPP (*facteur oropharyngé*) et élévation du larynx (*facteur laryngé*). En position de decubitus dorsal et en déglutition salivaire, les données de notre cohorte montrent que le déplacement de la PPP n'est pas observé pour un tiers de sujets sains (stade 0) : cette absence de mobilité doit être considérée comme normale. Lorsqu'il est observé, le déplacement de la PPP (d) est compris entre 0,5 et 3 mm (stade 1) : l'avancée standard de la PPP correspond au stade 0 ou 1. Des valeurs supérieures à 3 mm ou stade 2 pourraient signifier une compensation par développement de ce déplacement pour améliorer un mécanisme de protection des voies aériennes déficitaire ou problématique.

Les mesures des élévations en unités anatomiques de notre cohorte déterminent les valeurs standard qui serviront de référence pour les patients dysphagiques : élévation du larynx de 1 à 2,5 vertèbres, élévation de l'os hyoïde de 1 à 2 vertèbres (Tableau 1). Les mesures des déplacements de l'os hyoïde et du larynx en vidéofluoroscopie de la déglutition montrent une corrélation entre l'élévation de l'os hyoïde et de celle du larynx dans l'étude de Palmer et al.²⁵, qui suggèrent que le mécanisme musculaire est commun aux deux structures. Nos résultats retrouvent cette corrélation statistiquement significative ($p < 0.05$). Nous avons décidé de conserver les deux structures anatomiques dans notre grille d'évaluation malgré leur corrélation pour deux raisons : une raison statistique (comparaison deux-à-deux non significative - $p > 0.05$ -) et une raison clinique (résections partielles ou totales de l'os hyoïde et atteinte plus ou moins importante des muscles sous- ou sus-hyoïdiens dans les traitements des cancers des VADS).

◆ Conclusions

Globalement, nos résultats confirment les données de la littérature sur l'application de l'imagerie rapide à l'analyse de la déglutition. Les séquences True-FISP sont adaptées à la *visualisation* directe des lèvres, de la langue, du palais mou, du pharynx, du larynx et de l'œsophage, et à la *description quantitative et qualitative des mouvements* des structures laryngées au cours du cycle

normal de la déglutition. Notre protocole d'imagerie permet une analyse chronologique du processus de déglutition. La D-GRID est un outil simple de mesure des composantes de la physiologie de la déglutition, conçu pour être appliqué à la physiopathologie des dysphagies oropharyngées, en complément d'autres méthodes d'exploration, comme la nasofibroscope et la vidéofluoroscopie de déglutition. Nous avons déterminé des valeurs de référence des déplacements des structures anatomiques au cours de la déglutition chez des sujets sains afin d'évaluer les déplacements de ces structures anatomiques chez des patients dysphagiques. L'exploitation de la D-GRID dans ce contexte est étudiée et illustrée dans la partie 2.

◆ Application de la ciné-IRM à l'examen des dysphagies oropharyngées d'étiologie ORL au CHU de Strasbourg : Étude de cas

Le but de cet exposé est de décrire, à partir d'un cas clinique de dysphagie en carcinologie ORL, comment la ciné-IRM de la déglutition de la salive contribue de façon précise à l'analyse de la physiopathologie et à la rééducation de la déglutition.

Étude de cas - Patient N°45

Le patient (♂, 54 ans), présente une tumeur classée pT3N1M0 (voir glossaire) de la région des 3 replis à droite traitée par laryngectomie sus-glottique avec hémipipectomie droite étendue au repli ary-épiglottique, ablation de la moitié de l'os hyoïde du côté droit et curage cervical fonctionnel bilatéral (voir glossaire) avec gastrostomie et trachéotomie. L'exérèse carcinologique est représentée en figure 9. La respiration est assurée par une canule de trachéotomie ; le système est *non fenêtré* (voir glossaire) au début afin de protéger les voies respiratoires des fausses-routes salivaires, puis *fenêtré* (voir glossaire) au 8ème jour pour laisser un passage au flux d'air par les voies respiratoires hautes. L'alimentation est garantie par voie entérale (sonde de gastrostomie). La cicatrisation au bout de 10 jours autorise le sevrage de la canule. La décanulation bien supportée dans les 24 h permet l'entraînement rééducatif avec apprentissage de la technique sans et avec déglutition salivaire (manœuvre de déglutition supra sus-glottique avec rotation à droite^{22,31}). L'exercice des praxies oro-pharyngo-laryngées stimule les glandes salivaires et favorise la production de la salive : il sera abordé quand la déglutition de la salive et la reprise alimentaire seront assurées.

La reprise de la nutrition par voie orale est progressive, avec de l'eau gélifiée puis des aliments de textures mixées ou lisses (yaourts, compotes...) ; les

liquides sont proscrits afin d'éviter les fausses-routes et sont épaissis. La chirurgie est suivie d'une Radio- et ChimioThérapie (RCT) qui débute 2 mois et demi après l'intervention, et dure 7 semaines. Le patient bénéficie de 11 séances de rééducation orthophonique post-opératoire au cours de son hospitalisation et de 4 séances après hospitalisation, sur une période de 7 mois. Durant cette période, très motivé, il s'entraîne quotidiennement (4 fois par jour, durée de quelques minutes à 20 minutes) avec des interruptions dues à son état de fatigue au cours de la RCT. Le mode de nutrition est mixte pendant la durée des traitements, et laissé à l'appréciation du patient. Il sera sevré de sa sonde de gastrostomie 2 mois après la RCT.

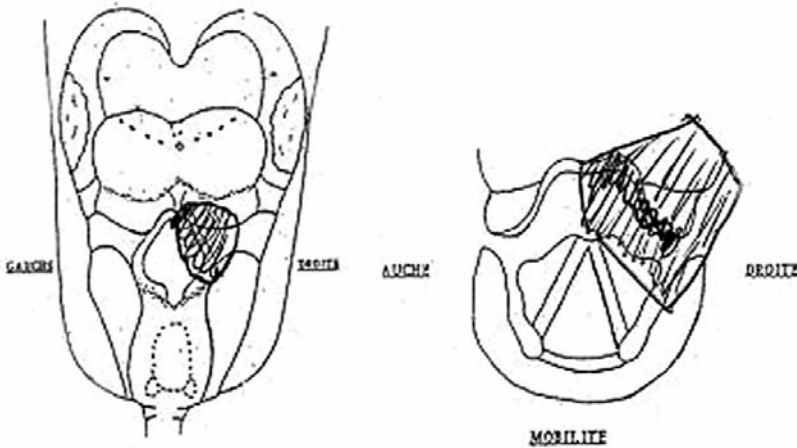


Fig.9. Exérèse carcinologique patient N°45

IRM1

Chez ce patient, nous ne disposons pas de données pré-traitement, et la première acquisition en ciné-IRM (représentée par X sur le tableau 3) est réalisée 1 mois après le traitement chirurgical. Le patient présente un recul lingual incomplet, une avancée de la PPP de stade 1, une occlusion oropharyngée complète dans le plan sagittal médian (Fig. 10 a), et une élévation laryngée réduite (0.5 vertèbre). Les données sont exposées sur le tableau 3. Les coupes coronales et axiale objectivent une fermeture oropharyngée quasi-complète, avec un sinus piriforme droit semi-fermé (à gauche sur l'image) (Fig. 10 b,c). Une faiblesse de la fermeture apparaît par intermittence, l'occlusion oropharyngée est effective de façon plus brève à droite qu'à gauche. Le mécanisme de protection des voies respiratoires est insuffisant. Les données du facteur oropharyngé dans le plan sagit-

tal montrent un déficit du recul lingual qui n'entrave pas l'occlusion oropharyngée dans le plan sagittal : le déplacement de la PPP, dans les limites standard ($d_1=1,5$ mm, $0 < d_1 \leq 3$ mm, stade 1), permet une occlusion complète. Ce mouvement spontané de la PPP pourrait être un moyen de compensation développé spontanément par le patient ou préexister à la pathologie. Il peut être renforcé par la rééducation (par exemple par la déglutition langue tirée³¹). Les exercices de phonation fondés sur l'articulation des phonèmes vélaire, les mouvements de recul mandibulaire (menton rentré) vs. avancée mandibulaire, sans et avec déglutition salivaire, sont indiqués pour améliorer la qualité du recul lingual.

Les données du facteur laryngé montrent une élévation du larynx et de l'os hyoïde (0,5 vertèbre) en-deçà des valeurs de référence (de 1 à 2,5 vertèbres pour le larynx et de 1 à 2 vertèbres pour l'os hyoïde). Ce déficit pourrait expliquer le défaut de fermeture du vestibule laryngé (Fig.10 a, 2.). Glottages actifs ou passifs, sans et avec déglutition salivaire, voix chantée (le patient chantait dans une chorale avant la maladie), théâtralisation, sont programmés.

En conclusion, la rééducation orthophonique, à poursuivre après hospitalisation, doit être axée sur l'élévation laryngée et l'augmentation de la mobilité des structures participant à la déglutition. L'alimentation par voie orale reste possible en évitant les liquides en raison du pertuis (voir glossaire). Afin d'évaluer l'évolution de la déglutition, une IRM comparative est indiquée.

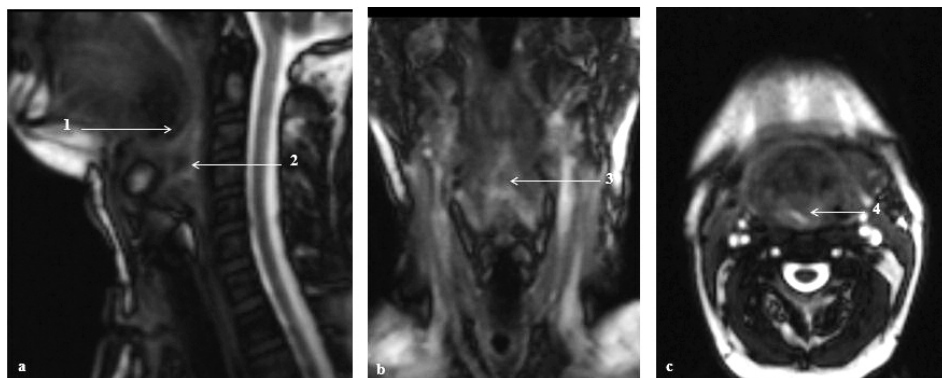


Fig.10. **a 1** Recul lingual incomplet, **2** défaut de fermeture du vestibule laryngé en coupe sagittale (image 76 série 2), **b 3** occlusion incomplète en coronale (image 4 série 4) et **c 4** en axiale (image 20 série 7) IRM 1, M1 post-opératoire patient N°45.

IRM 2

L'IRM dynamique réalisée 12 mois après l'intervention (IRM 2 = O, Tableau 3), montre un recul lingual standard complet en coupe sagittale, une augmentation conséquente de l'avancée de la PPP ayant évolué de 1,5 mm ($0 < d_1 \leq 3$ mm, stade 1) à 5 mm ($d_2 > 3$ mm, stade 2). L'occlusion oropharyngée se maintient : satisfaisante dans le plan sagittal, elle reste incomplète dans les autres plans. L'élévation laryngée est meilleure, avec des valeurs standard, de 1,5 vertèbres au lieu de 0,5 à l'IRM 1 (=X) (Fig. 11 a, Tableau 3). Les coupes coronales objectivent une contraction symétrique des piliers palato-pharyngiens ainsi qu'une occlusion glottique complète. Un pertuis visible en coronale et en axiale persiste (Fig. 11 b,c).

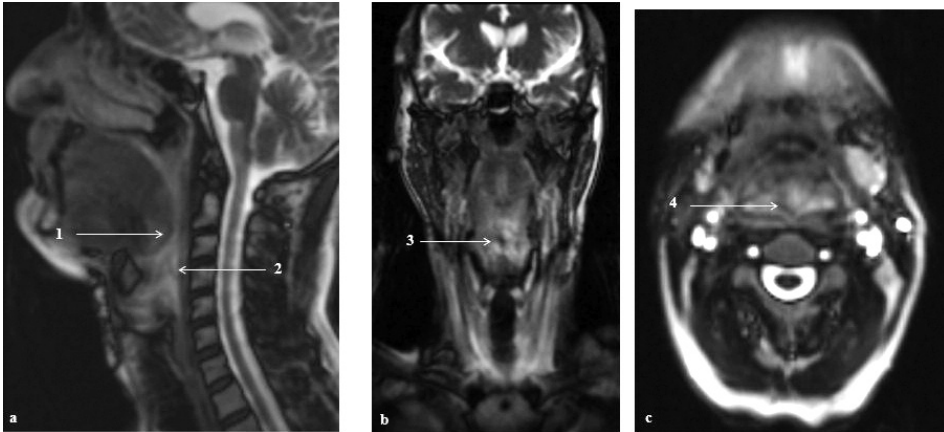


Fig.11. IRM 2, M12 post-opératoires patient N°45 **a** 1 meilleur recul lingual en coupe sagittale et 2 fermeture du vestibule laryngé (image 95 série 8), **b** 3, 4 pertuis en coupes coronale (image 9 série 9) et c axiale (image 27 série 11).

Le facteur oropharyngé a évolué avec des déplacements des tissus mous (langue et PPP) meilleurs. La qualité de l'occlusion oropharyngée reste déficiente dans les plans coronal et axial (pertuis du côté de l'exérèse de l'épiglotte). Les fausses-routes aux liquides persistantes sont contrôlées par le patient avec manœuvre de protection (déglutition supra sus-glottique avec rotation à droite). La manœuvre n'est pas nécessaire avec des textures mixées.

En conclusion, les améliorations mises en évidence incitent à la poursuite de l'entraînement rééducatif afin de réduire le pertuis persistant du côté droit à la déglutition.

◆ Discussion

Nous avons mis en œuvre l'examen de la déglutition salivaire par IRM dynamique et exploité la *D-GRID* à l'examen et à la prise en charge des dysphagies oropharyngées en carcinologie ORL depuis octobre 2005⁹. Les IRM sont inscrites dans le cadre du suivi carcinologique pour les tumeurs dont la localisation ou le traitement génère ou sera susceptible de générer des fausses-routes ou des dysphagies complexes. L'objectif de l'IRM est i) l'analyse de la déglutition avant traitement, ii) l'analyse de la dysphagie avant et après traitement chirurgical, radio- et/ou chimiothérapique, iii) la conception de programmes de réhabilitation de la déglutition, iv) l'étude de l'évolution de la dysphagie et de l'impact de la rééducation. L'exercice chirurgicale du patient affecte une zone clé de la déglutition du transit pharyngé et de la fermeture oropharyngée : celle-ci est complète dans le plan sagittal et incomplète dans le plan coronal et axial, en raison de la localisation de la tumeur et de la dissymétrie résultant de son traitement (chirurgie, RCT). L'avantage de l'IRM dynamique sur la vidéofluoroscopie est de fournir un angle de vue dans les 3 plans de l'espace et de rendre compte des mouvements des structures anatomiques dans chacun de ces 3 plans. Les acquisitions des IRM 1 et 2 ont mis en évidence la présence d'un déficit minime de l'occlusion oropharyngée, interprété comme source de fausses-routes aux liquides. L'évolution du pertuis n'est pas analysée : ses dimensions pourraient être mesurées.

La *D-GRID* indique des valeurs du facteur oropharyngé et du facteur laryngé 12 mois après intervention se rapprochant des valeurs standard pour le recul lingual et l'élévation du larynx et de l'os hyoïde. Le patient a retrouvé une mobilité oro-laryngée efficiente et développé l'avancée de la PPP permettant une fermeture dans le plan sagittal, néanmoins insuffisante. Les fausses-routes ponctuelles à la déglutition de liquides peuvent être contrôlées par les manœuvres de protection. Ces indications incitent à la poursuite de l'entraînement rééducatif. La rééducation a duré 7 mois après l'intervention, soit 3 mois après RCT. En l'absence de données pré-traitement, l'avancée de la PPP (**d**), supérieure aux valeurs de référence ($d_2=5\text{mm}$, pour des valeurs standard telles que $0 < d \leq 3 \text{ mm}$) pourrait aussi bien être un mécanisme de compensation développé spontanément par le patient ayant débuté avant traitement, renforcé par la rééducation, qu'un résultat de la réhabilitation. Un contrôle en IRM dans un délai de 6 à 12 mois permettrait de mesurer l'évolution du mécanisme de déglutition : l'un des effets secondaires de la radiothérapie est la fibrose musculaire^{3,7,31}. Une "surveillance" avec imagerie de la déglutition permettrait d'apprécier la mobilité des structures anatomiques engagées dans le processus de déglutition et de guider la rééducation si elle est nécessaire.

D'un point de vue économique, le coût d'une IRM est environ 6 fois celui d'une vidéofluoroscopie (288€ vs. 47€ en 2014). Non irradiante, étroitement liée à la programmation de la rééducation et à l'entraînement orthophonique, elle autorise une mesure objective précise de la déglutition et de sa réhabilitation. Il serait indispensable d'étudier de la même façon les déplacements observés en vidéofluoroscopie des cartilages, de la langue, de la PPP, si la qualité des images le permet. Un mémoire d'orthophonie est en cours sur la comparaison de l'impact de la nasofibroscope, de la vidéofluoroscopie et de la ciné-IRM de déglutition sur les programmes de rééducation des dysphagies d'étiologie ORL ou neurologique (Marion Kessler, Université de Lorraine, 2014-2015).

◆ Conclusions

Cet exemple de dysphagie oropharyngée d'étiologie carcinologique ORL illustre l'analyse des acquisitions en IRM dynamique et décrit l'exploitation de notre grille d'évaluation. L'exploration de la déglutition salivaire en ciné-IRM couplée à la D-GRID montre comment i) le traitement d'un processus tumoral affecte les capacités à déglutir, ii) la biomécanique de la déglutition évolue et iii) le plan de la rééducation de la dysphagie est déterminé. Des acquisitions pré-traitement fourniraient des informations sur le mécanisme de déglutition pré-existant aux traitements thérapeutiques. L'IRM renseigne dans les 3 plans de l'image et autorise des mesures qui pourraient être développées (mesure des pertuis). La ciné-IRM de déglutition pourrait être intégrée au suivi carcinologique des patients. Les perspectives d'application de l'IRM de déglutition salivaire et de travaux sont nombreuses : l'efficacité de cet examen sur la prédiction des fausses-routes avec une comparaison de l'exploration de la déglutition en vidéofluoroscopie, l'impact de la RT sur la biomécanique de la déglutition, l'influence du port de la canule de trachéotomie sur la déglutition, l'application de cette technique aux dysphagies d'étiologie neurologique, l'effet de l'âge et du genre sur la déglutition, etc. Dans le cadre des dysfonctionnements majeurs du pharyngo-larynx avec implantation de prothèses intra-laryngées, un suivi fonctionnel en imagerie est nécessaire. L'IRM dynamique a été intégrée aux méthodes objectives d'exploration de la déglutition pré- et post-implantation.

◆ Étude fonctionnelle des Prothèses Intra Laryngées

Introduction

La Prothèse Intra-Laryngée (PIL) est actuellement en phase d'essai clinique chez des patients trachéotomisés ayant un larynx présent mais non fonc-

tionnel. L'*objectif primaire* de la PIL est de restaurer les fonctions primitives de respiration par voie haute, de déglutition, d'olfaction, et de supprimer l'orifice de trachéotomie pouvant faire espérer aux patients une réinsertion socioprofessionnelle et une diminution de ce handicap ressenti à titre personnel de manière très négative et dégradante^{8,14}. L'*objectif secondaire* de la PIL est de constituer un larynx artificiel pour les patients ayant subi une laryngectomie totale¹⁴. Cette étude de faisabilité a pour but d'évaluer la capacité de la PIL à i) permettre une rééducation alimentaire en minimisant les risques de fausses routes en complément ou sans gastrostomie d'alimentation, ii) éviter les complications liées aux canules à ballonnets (voir glossaire), sources potentielles de complications (sténose trachéale, trachéomalacie (voir glossaire)), iii) permettre une respiration haute sans orifice de trachéotomie si l'état du patient le permet. Ces travaux visent à étudier l'impact de la prothèse sur la restauration de la déglutition par des acquisitions comparatives en ciné-IRM de déglutition avant et après mise en place de la PIL.

Matériel et méthodes

L'étude pilote PRI 2006, HUS N°3866, ID RCB 2006-A00270-51, a été menée de 01/2007 à 01/06/2013, sur une population de n=5 patients (sex-ratio 0.7, âge médian 64 ± 17 ans, Tableau 4) ; les essais sont ouverts, non randomisés et multicentriques. La prothèse intralaryngée (Newbreez®) est composée de deux parties : une valve amovible en titane qui permet au patient de respirer et de déglutir, insérée sur un corps en silicone qui conforme l'ensemble des structures laryngées (Fig. 12 A), la valve se situant au-dessus de l'espace glottique. La valve de plus petit diamètre s'abaisse seule à l'inspiration, la valve de plus grande dimension restant en position de repos (Fig. 12 B) ; à l'expiration les deux valves sont solidaires et s'élèvent (Fig. 12 C). A la déglutition les clapets sont fermés ; leur position est maintenue par des aimants pour éviter le passage du bol alimentaire au travers de la prothèse (Fig. 12 D). Les aimants résistent à une pression exercée sur les valves par un bolus de 7 g. Les PIL sont disponibles en plusieurs diamètres. Afin de s'assurer avant toute pose que la prothèse choisie correspond bien à l'anatomie du patient, une imagerie médicale et/ou un contrôle per-opératoire par *ancillaire* (voir glossaire) sont réalisés. La PIL est posée sous anesthésie générale par voie endoscopique : la mise en place de sa partie supérieure au même niveau que les aryténoïdes assure une impaction optimale de la prothèse (Fig 13). Sans trachéotomie, un ancillaire spécifique permettra de la placer. La PIL peut facilement être extraite sous endoscopie et anesthésie locale. Le déroulement pratique de l'essai comporte un suivi post-opératoire clinique et radiologique (J8, J15, M1, M2...M.). Les critères

d'évaluation de l'efficacité de la PIL retenus sont apportés par les analyses post-opératoires à différents intervalles de temps de la fonction respiratoire sur le plan clinique, du fonctionnement des valves par nasofibroscopie et par ciné-IRM en déglutition salivaire, de l'appréciation des fausses-routes sous réalimentation per os par nasofibroscopie et par vidéofluoroscopie de déglutition.



Fig.12. PIL A. constitution de l'implant B. à l'inspiration, le petit clapet s'ouvre vers l'intérieur C. à l'expiration, le grand clapet accompagné du petit s'ouvre vers l'extérieur de la prothèse D. position fermée à la déglutition maintenue par un aimant.

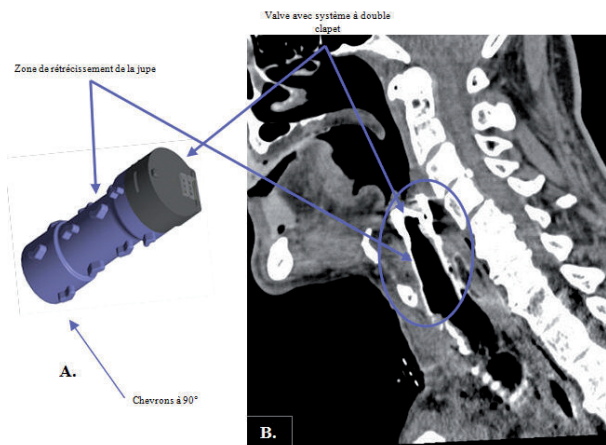


Fig.13 A. Illustration en 3D de la PIL B. Scanner de la PIL en place chez le patient N°96.

Résultats (Tableau 5)

Les essais fonctionnels de la PIL ont été réalisés en nasofibroscopie avec décanulation du patient. L'évaluation du fonctionnement des valves rend nécessaire la décanulation et l'occlusion de l'orifice de trachéotomie ; secondairement, la réalisation d'une nasofibroscopie avec essais de déglutition est possible. Les examens montrent que *les valves sont fonctionnelles* et permettent une *respiration de type inspiration et expiration, normale et sans effort*. Leur fermeture à la déglutition est assurée. Toutefois, la présence de stases salivaires entraîne une inhalation à l'inspiration par regorgement, du fait du déficit de la vidange pharyngée, insuffisante. Au fur et à mesure des essais, la *durée de port de la PIL* s'est améliorée (de 5 jours à 6 mois). Les douleurs, lorsqu'elles sont présentes, sont contrôlées par les antalgiques et s'atténuent progressivement. Le patient N°3 a rencontré des difficultés de tolérance de la canule de trachéotomie. La canule n'autorisant pas le passage du flux respiratoire par le haut, restreint le fonctionnement et l'auto-nettoyage de la PIL, l'assèchement de l'oro-pharyngo-larynx et l'entraînement rééducatif. La présence de l'aimant (Fig. 12 D), dont le fonctionnement assure l'occlusion de la prothèse à la déglutition, limite les examens par ciné-IRM : l'intégrité de l'implant est menacée et l'artefact métallique qu'il génère altère la qualité des images. Des chevrons ont équipé le fût de la PIL, afin d'assurer une meilleure stabilité de la PIL (expulsée par le patient N°40).

◆ Discussion

Peu de chercheurs s'intéressent actuellement à la conception d'une prothèse laryngée artificielle. De nombreuses prothèses en titane poreux ont été implantées jusqu'à maintenant chez l'homme par notre équipe : implants de thyroplastie, implants phonatoires, prothèses mandibulaires. La totalité des implants ont été acceptés sans rejet chez les patients n'ayant pas été irradiés auparavant⁸. Les essais menés avec la PIL confirment les études menées *in vivo*⁸. Ils ont permis de déterminer les indications, les examens et les types de prothèses les plus appropriés à la gestion des déficits fonctionnels du larynx. L'utilité présumée d'une PIL ne peut être estimée qu'au cas par cas. Le critère décisif est l'engorgement du pharynx, qui est évaluable avant la mise en place par examens cliniques et paracliniques (Vidéo fluoroscopie de déglutition, etc.). S'il y a des fausses-routes secondaires (troubles de l'ensemble des effecteurs de la déglutition), la PIL ne sera d'aucune utilité. Une adaptation de la structure du fût de la PIL avec l'ajout de chevrons a pu remédier à son instabilité. Secondairement, ce dispositif limite les risques de nécrose des tissus aux points de contact. Les évaluations successives chez nos patients ont montré que

les troubles de la déglutition majeurs sont une contre-indication absolue à la mise en place d'une PIL, en raison de la stase par regorgement venant recouvrir le plan des aryténoïdes où se situe la partie proximale de l'implant : l'inspiration entraîne une inhalation à l'ouverture des valves. Ce fait aurait pu être anticipé comme la partie sommitale de la prothèse, pas assez surélevée par rapport au plan des aryténoïdes, n'améliorait pas la configuration anatomique pré-existante. La PIL n'a pas résolu la problématique des fausses-routes salivaires. En conséquence, les indications de mise en place sur sténose glottique associée à des troubles de la déglutition mineurs ou moyens sont très nettement précisées.

Les mécanismes de protection des voies aériennes à la déglutition incluent la fermeture oropharyngée, résultant du recul de la base de la langue, de la bascule de l'épiglotte et de l'ascension laryngée. Un score significatif d'occlusion oropharyngée, indicatif de fausses-routes potentielles, déterminé en ciné-IRM de déglutition pourrait contribuer à la décision d'implantation et au choix d'un type de prothèse laryngée. Les acquisitions IRM devront comporter des séquences dans les trois plans ; l'évaluation de l'occlusion oropharyngée est obtenue en additionnant les stades de chacun des plans (2 occlusion complète, 1 complète, 0 absente). La présence d'une filière étroite sera cotée 1,5 (Tableau 6). Une PIL sans aimant de rappel, de conception différente de sa partie sommitale, permettant les investigations par IRM, est à l'étude.

◆ Conclusion

Les indications d'implantation de PIL sont liées aux essais cliniques et aux études préliminaires ; elles évolueront en fonction de l'expérience des équipes. Dans notre série, les essais avec troubles majeurs de déglutition présentés par 4 patients sur 5, ont permis i) de mieux cibler les indications d'implantation : la PIL est indiquée dans tous les types de sténose laryngée, associée ou non à des troubles de la déglutition mineurs ou moyens, ii) de vérifier leur fonctionnement en respiration et en déglutition en enlevant la canule le temps de l'examen, iii) de préciser le *suivi par ciné-IRM*, envisageable avant implantation et dans les jours précédant l'explantation, en raison du risque de dysfonctionnement des aimants, et iiiii) d'adapter la rééducation. Le tableau 6 présente les types et concepts de prothèses intra-laryngées correspondant aux capacités fonctionnelles de déglutition, de respiration et de phonation. La phonation est réalisée en voix soufflée, en chuchotant. Á terme, le type IV devrait disparaître au profit du type III permettant la phonation sans fausses-routes. Une prothèse de *larynx artificiel* a été conçue à partir de la PIL afin de suppléer aux fonctions de respiration et de déglutition chez les patients traités par laryngectomie totale

pour cause carcinologique (Étude HUS N° 4493, ID RCB N° 2011-A00032-39, "Mise en place d'un larynx artificiel après laryngectomie totale").

◆ Conclusions générales et perspectives

La compréhension et la prise en charge thérapeutique des troubles de la déglutition requièrent des techniques d'exploration dont les plus courantes sont la nasofibroscopie et la vidéofluoroscopie. Le champ d'investigation de l'examen de la déglutition par IRM a été jusqu'à maintenant peu exploité : ces travaux sont le reflet du développement de son utilisation. La ciné-IRM pour l'évaluation de la déglutition est un outil prometteur : elle fournit des informations différentes en permettant des études multiplanaires des tissus mous sans irradiation ni produit de contraste. Notre grille d'évaluation, la D-GRID, visualise des données précises qu'elle permettrait de comparer chez les témoins et les patients avant et après traitement chirurgical, radiochimiothérapique ou orthophonique. Les programmes de rééducation de la déglutition pourraient être mieux ciblés et les effets des différents traitements thérapeutiques mesurés.

Les perspectives sont nombreuses. Des acquisitions en ciné-IRM de déglutition d'une cohorte plus importante de volontaires sains permettraient de constituer des effectifs statistiquement suffisants et de fixer les valeurs standard des facteurs oropharyngés et laryngés. Les données temporelles, notamment la coordination des mouvements des structures anatomiques impliquées dans la déglutition, et le degré d'occlusion du vestibule laryngé seraient à explorer, le score global d'occlusion oropharyngée de la D-GRID à exploiter. Les effets de l'âge (>70 ans), de la radio- et/ou chimiothérapie, du port de la canule de trachéotomie pourraient être recherchés, les données recueillies en IRM comparées à celles de la vidéofluoroscopie. La ciné-IRM pourrait être appliquée aux dysphagies d'étiologies diverses (neurologique, infectieuse..) et en pédiatrie.

Peu de données existent dans la littérature sur les maladies rares : le suivi en imagerie de patients présentant une dysphagie dans le cadre d'une maladie systémique comme la sclérodémie pourrait documenter la physiopathologie et son évolution. Les autres fonctions de l'oro-pharyngo-larynx, la respiration et la phonation, seraient aussi susceptibles d'être étudiées par ciné-IRM.

REFERENCES

AJAJ W, GOYEN M, HERRMANN B, MASSING S, GOEHDE S, LAUENSTEIN T, RUEHM SG. Measuring tongue volumes and visualizing the chewing and swallowing process using real-time True-FISP imaging-initial clinical experience in healthy volunteers and patients with acromegaly. Eur Radiol. 2005 ; 15(5): 913-918.

- AKIN E, SAYIN MÖ, KARAÇAY, BULAKBA I N. Real-time balanced turbo field echo cine-magnetic resonance imaging evaluation of tongue movements during deglutition in subjects with anterior open bite. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2006 Jan : 24-28.
- ALBITER M, PETROW P, KOLB F, BRETAGNE E, LUBOINSKI B, SIGAL R. Étude de la déglutition par ciné-IRM utilisant la séquence single shot fast spin écho (SSFSE) chez des volontaires sains et des patients traités pour un cancer ORL. *J. radiol.* 2003 ; 84(3): 311-316.
- ANAGNOSTARA A, STOECKLI S, WEBER OM, KOLLIAS SS. Evaluation of the Anatomical and Functional Properties of Deglutition with Various Kinetic High-Speed MRI Sequences. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*. 2001 ; 14: 194-199.
- BARKHAUSEN J, GOYEN M, VON WINTERFELD F, LAUENSTEIN T, ARWEILER-HARBECK D, DEBATIN JF. Visualization of swallowing using real-time True-FISP MR fluoroscopy. *Eur Radiol.* 2002 ; 12 : 129-133.
- BREYER T, ECHTERNACH M, ARNDT S, RICHTER B, SPECK O, SCHUMACHER M, MARKL M. Dynamic magnetic resonance imaging of swallowing and laryngeal motion using parallel imaging at 3T. *Magnetic Resonance Imaging*. 2009 ; 27: 48-54.
- CREVIER-BUCHMAN L, BRIHAYE S, TESSIER C. La déglutition après chirurgie partielle du larynx. Solal, Marseille. 1998.
- DEBRY C, SCHULTZ P, VAUTIER D. Biomaterials in laryngotracheal surgery : a solvable problem in the near future ? *J Laryngol Otol.* 2003 Feb ; 117(2) : 113-117.
- FAUVET F, et al. Étude de la déglutition et des dysphagies oropharyngées par ciné-IRM. *Rev. Laryngol.* 2008 ; 129(2) : 85-90.
- FLAHERTY RF, SELTZER S, CAMPBELL T, WEISSKOFF RM, GILBERT RJ. Dynamic Magnetic Resonance Imaging of Vocal Fold Closure During Deglutition. *Gastroenterology*. 1995 ; 109 : 843-849.
- FOUCART JM, CARPENTIER P, PAJONI D, RABISCHONG P, PHARABOZ C. Kinetic magnetic resonance imaging analysis of swallowing : a new approach to pharyngeal function. *Surg Radiol Anat.* 1998 ; 20 : 53-55.
- GILBERT RJ, DAFTARY S, WOO P, SELTZER S, SHAPSEY SM, WEISSKOFF RM. Echo-Planar Magnetic Resonance Imaging of Deglutitive Vocal Fold Closure: Normal and Pathologic Patterns of Displacement. *Laryngoscope*. 1996 ; 106 : 568-572.
- GILBERT RJ, DAFTARY S, CAMPBELL TA, WEISSKOFF RM. Patterns of Lingual Tissue Deformation Associated with Bolus Containment and Propulsion During Deglutition as Determined by Echo-Planar MRI. *JMRI*. 1998 ; 8 : 554-560.
- GUILLERÉ F. Un larynx artificiel à l'horizon 2011 ? *Ortho-magazine*, Elsevier-Masson, Issy-les-Moulineaux, Mai-juin 2009 ; 82 : 16-7.
- GUILLERÉ-FAUVET F. Contribution de l'IRM à l'analyse de la déglutition et des dysphagies oropharyngées. Étude fonctionnelle des prothèses intra-laryngées. Thèse de doctorat d'université en sciences médicales, Université de Strasbourg, sept. 2013, (à paraître aux Editions Universitaires Européennes).
- HARTL DM, ALBITER M, KOLB F, LUBOINSKI B, SIGAL R. Morphologic Parameters of Normal Swallowing Events Using Single-Shot Fast Spin Echo Dynamic MRI. *Dysphagia*. 2003 ; 18 : 156-162.
- HONDA Y. Kinetic MRI using high-speed sequence to evaluate swallowing –Comparison with videofluorography. *Oral Radiol.* 2003 ; 19 : 14-21.
- HONDA Y, YATA N. Dynamic Imaging of Swallowing in a Seated Position Using Open-Configuration MRI. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*. 2007 ; 26 : 172-176.
- KARAÇAY , AKIN E, SAYIN Ö, BULAKBA I N. Real-time balanced turbo field echo Cine-MRI in the analysis of deglutition events and transit times. *Journal of Oral Rehabilitation*. 2006 ; 33 : 646-653.
- KASSLER B, VETTER D. Comprendre l'IRM. Elsevier-Masson. Paris, 6^{ème} éd. 2006.
- LEONARD R, KENDALL K, MCKENZIE S, GONÇALVES MI, WALKER A. Structural Displacements in Normal Swallowing : A Videofluoroscopic Study. *Dysphagia*. 2000 ; 15 : 146-152.
- LOGEMANN JA. Dysphagia : Evaluation and Treatment. *Folia Phoniatri Logop.* 1995 ; 47 : 140-164.

MURRY T, CARRAU R. Functional Tests of Swallowing. Plural Publishing, Inc. Oxford. 2006 ; (4) : 75-79.

PANEBIANCO V, RUOPPOLO G, PELLE G, SCHETTINO I, ROMA R, BERNARDO S, De VINCENZIIS C, LONGO L, PASSARIELLO R. Morpho-functional patterns of physiologic oropharyngeal swallowing evaluated with dynamic fast MRI. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* 2010 ; Published on line.

PALMER JB, TANAKA E, ENSRUD E. Motions of the posterior pharyngeal wall in human swallowing : A quantitative videofluorographic study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation.* Nov. 2000 ; 81 (11) : 1520-1526.

POUDEROUX P. Troubles de la déglutition : étiologies et prise en charge. *Hépatogastro.* 1999 ; 6 (4) : 247-257.

SPEYER R, et al.. Effects of Therapy in Oropharyngeal Dysphagia by Speech and Language Therapists : A Systematic Review. *Dysphagia.* 2010 ; 25 : 40-65.

SUTO Y, KAMBA M, KATO T. Technical note : Dynamic analysis of the pharynx during swallowing using Turbo-FLASH magnetic resonance imaging combined with an oral positive contrast agent – a preliminary study. *The British Journal of Radiology.* 1995 ; 68 : 1099-1102.

SUTTON BP, CONWAY C, BAE Y, BRINEGAR C, LIANG Z-P, KUEHN DP. Dynamic Imaging of Speech and Swallowing with MRI. 31st Annual International Conference of the IEEE EMBS Minneapolis, USA, Sept, 2009 : 6651-6654.

VANBECKEVOORT D, PONETTE E. Troubles fonctionnels du pharynx et de l'oesophage : évaluation par l'étude dynamique à produits de contraste. *EMC Radiodiagnostic-Appareil digestif.* 2009 ; 1-20.

WOISARD V, PUECH M. La réhabilitation de la déglutition chez l'adulte. Solal, Marseille. 2003.

IRM et DÉGLUTITION - TABLEAUX

Tableau 1 Répartition des sujets témoins sur l'échelle d'évaluation de la déglutition *D-GRID*.

Facteur oro-pharyngé	Stades	0		1		2	
Plan sagittal médian	Recul de la BDL					100%	
	Avancée de la PPP	33,33%		66,67%			
	Occlusion oro-pharyngée					100%	
Plan coronal	Occlusion oro-pharyngée					100%	
Plan axial	Occlusion oro-pharyngée					100%	
Facteur laryngé	Nombre de vertèbres	0	0,5	1	1,5	2	≥ 2,5
	Ascension du larynx			3,33%	43,33%	46,67%	6,67%
	Ascension de l'os hyoïde			36,67%	53,33%	10,00%	
Recul de la BDL, occlusion oro-pharyngée: 0 absent(e), 1 incomplet(e), 2 complet(e)							
Avancée de la PPP = d : d = 0 = stade 0, 0<d≤3mm = stade 1, d>3mm = stade 2							

Tableau 2 Études de la déglutition par ciné-IRM en temps réel chez des sujets sains.

Auteurs Année	Séquences IRM	Système	Induction	Cohorte	Age	Sex ratio	Plans de coupe	Bolus
R.F. Flaherty et al. 1995	EPI	(General Electric)	1.5 T	11	20-30	0.6	Coronal, axial	Salive
Y. Suto et al. 1995	Turbo-FLASH*	Magnetom H15SP (Siemens)	1.5 T	10	25-40 Moy. 30		Sagittal médian	+ Citrate d'ammonium ferrique (0.2%)
R.J. Gilbert et al. 1996	EPI	(General Electric)	1.5 T	15	19-37		Coronal, axial	Salive
R.J. Gilbert et al. 1998	EPI	(General Electric)	1.5 T	7	21-35	0.7	Sagittal médian et latéral	Eau
J.M. Foucart et al. 1998	Turbo-FLASH	Magnetom Vision (Siemens)	1.5 T	5	23-54 Moy. 36	4	Sagittal médian	Eau + Gadolinium (10%)
A. Anagnostara et al. 2001	EPI FLASH Turbo-FLASH	Gyroscan ACS-NT (Philips)	1.5 T	7	25-35	2.5	Sagittal médian	Salive Eau + Gadolinium (10%)
J. Barkhausen et al. 2002	True-FISP	Magnetom Sonata (Siemens)	1.5 T	8	Moy.: 32		Sagittal médian, coronal	Eau ± Gadolinium (0.5, 2.5, 5, 10%), yaourt, semoule
Y. Honda et al. 2003	Turbo-FLASH	Magnetom Vision (Siemens)	1.5 T	10	25-42	0.4	Sagittal médian	Jus de prune
M. Albitzer et al. 2003	SSFSE	Signa (General Electric)	1.5 T	8	24-40	0.3	Sagittal médian	Salive Eau
D.M. Hartl et al. 2003	SSFSE	Signa (General Electric)	1.5 T	7	24-40	0.4	Sagittal médian, coronal	Salive Eau Marshmallow Cake et cookies
W. Ajaj et al. 2005	True-FISP	Magnetom Sonata (Siemens)	1.5 T	50	Moy : 43.6	1	Sagittal médian	Pudding + Gadopentate dimeglumine (0.5%) ± banane
E. Akin et al. 2006	Balanced Turbo-Field Echo	New Intera Nova (Philips)	1.5 T	12	14.37 ± 2.32	0.7	Sagittal médian	Eau
Ş. Karavaş et al. 2006	Balanced Turbo-Field Echo	New Intera Nova (Philips)	1.5 T	10	14.5 ± 2.6	1	Sagittal médian	Eau
Y. Honda et al. 2007	SPGR	Signa SPi TM ** (General Electric)	0.5 T	6	Médiane 31.4 ± 7.5	0.5	Sagittal médian	Eau + citrate d'ammonium ferrique (20%)
T. Breyer et al. 2009	Turbo-FLASH	TIM TRIO (Siemens)	3 T	10	31.4	2.3	Sagittal médian	Salive Jus de myrtille
B.P. Sutton et al. 2009	Multi-shot spiral FLASH	Allegra (Siemens)	3 T				Sagittal médian	Eau
V. Panebianco et al. 2010	Turbo-FLASH	Magnetom Vision (Siemens)	1.5 T	23	Moy.: 44	0.7 6	Sagittal médian, coronal, axial	Salive Yaourt + Gadolinium (10%)
Notre série	True-FISP	Magnetom Avanto (Siemens)	1.5 T	19	23-61 Moy : 34 Médiane 42 ± 19	0.9	Sagittal médian, coronal	Salive

*: avec injection en IV d'un produit de contraste au Gadolinium pour rehausser l'intensité du signal du pharynx; **: IRM à champ ouvert.
NB: Les cases vides ne sont pas renseignées. **EPI:** Echo Planar Imaging; **SPGR:** Spoiled Gradient Recalled; **RF-spoiled GRE:** Radio Frequency-spoiled Gradient-Recalled Echo; **BTFE:** Balanced Turbo-Field Echo; **FLASH:** Fast Low Angle SHot; **SSFSE:** Single Shot Fast Spin Echo; **FISP:** Fast Imaging SPin. **NB:** Les cases vides ne sont pas renseignées.

Tableau 3 Évolution de la déglutition 1 mois (M1) et 12 mois (M 12) après intervention, patient N°45 X=IRM1, d₁, M1; O=IRM 2, d₂, M12.

Stades		0		1		2	
Recul lingual				X		O	
Avancée de la paroi postérieure du pharynx				X d ₁ = 1.5 mm		O d ₂ = 5 mm	
Occlusion oropharyngée	sagittale					X O	
	coronale					XO	
	axiale					XO	
Nombre de vertèbres		0	0,5	1	1,5	2	≥ 2,5
Ascension du larynx (1- 2,5)			X		O		
Ascension de l'os hyoïde (1-2)			X		O		
Recul lingual, avancée pharyngée, occlusion oropharyngée:				0 Absent(e) 1 Incomplet(e) 2 Complet(e)			

IRM et DÉGLUTITION - ANNEXES

Annexe 1

Glossaire

Ancillaire : Instrument destiné à aider le chirurgien à effectuer une mesure.

Canule à ballonnet : Canule équipée d'un ballonnet à son extrémité inférieure qui une fois gonflé permet une meilleure étanchéité de la trachée et empêche le passage d'aliments dans les poumons en cas de fausses-routes.

Curage cervical fonctionnel : Exérèse des chaînes ganglionnaires situées dans le cou en respectant les nerfs moteurs, les gros vaisseaux sanguins et les muscles.

Decubitus : en médecine, le terme decubitus décrit un corps allongé à l'horizontale.

Decubitus dorsal : la personne est à plat dos.

Gadolinium : Terre rare ferromagnétique utilisée comme agent de contraste en IRM.

Non fenêtré vs. fenêtré : se rapporte au système de canule constitué de tubes à parois pleines ne permettant la respiration que par la canule de trachéotomie (système **non fenêtré**) ou comportant des parois perforées afin de laisser passer l'air à travers les tubes vers le haut et permettre de respirer par la canule de trachéotomie ou par le nez ou la bouche (système **fenêtré**).

Pertuis : Ouverture, trou.

Séquence True-FISP : séquence d'imagerie rapide Siemens dédiée à l'imagerie du mouvement (**True-Fast Imaging SPin**). Les types de séquences d'imagerie rapide sont désignés par des acronymes propres à chaque constructeur de système IRM. Les études répertoriées en imagerie rapide de la déglutition chez le sujet sain, de 1995 à 2013, ont utilisé des séquences SSFSE, SPGR, EPI (GE HEALTHCARE), **FLASH**, **Turbo-FLASH**, **Multi-Shot Spiral FLASH**, **True-FISP (SIEMENS)**, **BTFE (PHILIPS)**.

Sténose laryngée : une sténose est une modification anatomique de proportions variables qui se traduit par le rétrécissement d'une structure. Dans la sténose laryngée le calibre du larynx est diminué, ce qui entraîne des difficultés respiratoires plus ou moins sévères selon le degré de la sténose.

Tesla : unité d'induction magnétique.

Trachéomalacie : Ramollissement des anneaux cartilagineux de la trachée dont les parois se collabent à la respiration et empêchent le passage de l'air.

Tumeur pT3N1M0 : classification internationale des cancers selon leur extension anatomique **pTNM** (Pathological Tumor Nodes Metastasis = Tumeur, Ganglions, Métastases Pathologiques), 2009 (dernière édition). **p** : résultats des analyses anatomo-pathologiques ; **T3** : tumeur primitive >4 cm ; **N1** : adénopathie homolatérale unique voisine ≤3 cm ; **M0** : pas de signe de métastases à distance.



Annexe 2

Annexe 2 Paramètres techniques d'acquisition

Séquences d'imagerie ultra-rapide : True-FISP

Pondération	T2
Épaisseur de coupe	10 mm
Résolution spatiale	2.0 ou 2.4x1.5 mm ²
Temps de répétition (TR)	172.9 ms
Temps d'écho (TE)	1.15 ms
Angle de bascule	57 ⁰
Matrice	160x256
Champ de vue (FOV)	380 mm
Bande passante (BW)	62.5 Hz
Nombre d'excitations	1

