



**HAL**  
open science

## Influence d'un Modèle d'Incisive sur un Ecoulement à Reynolds 4000

Xavier Grandchamp, Annemie van Hirtum, Kazunori Nozaki, Shinji Shimojo

► **To cite this version:**

Xavier Grandchamp, Annemie van Hirtum, Kazunori Nozaki, Shinji Shimojo. Influence d'un Modèle d'Incisive sur un Ecoulement à Reynolds 4000. CFA 2010 - 10ème Congrès Français d'Acoustique, Apr 2010, Lyon, France. hal-00541363

**HAL Id: hal-00541363**

**<https://hal.science/hal-00541363>**

Submitted on 30 Nov 2010

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# 10ème Congrès Français d'Acoustique

Lyon, 12-16 Avril 2010

## Influence d'un Modèle d'Incisive sur un Ecoulement à Reynolds 4000

Xavier Grandchamp<sup>1</sup>, Annemie Van Hirtum<sup>1,2</sup>, Kazunori Nozaki<sup>2</sup>, Shinji Shimojo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Gipsa-lab, 961 rue de la Houille blanche, F-38402 Saint Martin d'hères, xavier.grandchamp@gipsa-lab.grenoble-inp.fr

<sup>2</sup>Cyber Media Center, Osaka University, Japan; annemie.vanhirtum@gipsa-lab.grenoble-inp.fr

En menant une étude numérique utilisant la Simulation des Grandes et Echelles et une étude expérimentale basée sur l'anémométrie à film chaud, on évalue les modifications dues à une représentation schématique de la partie palais – incisive sur un écoulement donné. Dans une première étape, cette représentation simplifiée est construite à partir de certaines caractéristiques morphologiques observées [6,7]. Une fois définie, cette géométrie est insérée dans un canal rectangulaire de rapport largeur  $l$  sur hauteur  $H$  égal à  $l/H = 4$ , dans lequel un écoulement de nombre de Reynolds  $Re_b = 4000$  est imposée. La présence de l'incisive supérieure positionnée en sortie du canal rectangulaire conduit à une obstruction de 70 % de celui-ci. Dans une deuxième étape, le recours à la Simulation des Grandes Echelles permet d'obtenir une visualisation globale de l'écoulement aussi bien en amont qu'en aval de l'obstacle, permettant de définir certains caractères à étudier. Dans une troisième étape, les résultats issus de la simulation, et collectés en aval de l'obstruction, sont confrontés aux données expérimentales obtenues sur une maquette construite à partir du domaine numérique.

### 1 Introduction

Du point de vue clinique, la conjugaison incisives supérieures et production de fricatives joue un rôle pivot dans le cadre de reconstruction partielle ou totale de dentition ; en demandant au patient édenté de prononcer le son /f/ ou /v/ les incisives supérieures sont positionnées, puis à partir du son /s/ les incisives inférieures sont placées. Néanmoins, des patients ayant subi des reconstructions partielles ou totales de leur dentition, peuvent éprouver des défauts d'élocution en particulier lors de la génération du son /s/. [1] a montré que la cause de ces défauts résultait d'un faisceau de paramètres morphologiques tel que la position exacte, l'orientation ou encore la forme des incisives supérieures. Dans le but de réduire ces problèmes, les traitements se sont donc très tôt personnalisés, fournissant par la même de grande base de données de quantités de mesures de paramètres morphologiques (e.g [2])

En parallèle à cette demande de données morphologiques, les techniques de mesures se sont perfectionnées telles que Cone Beam CT scans permettant d'obtenir des reconstructions 3D de portions de cavité orale de patients. Ce type de reconstructions est particulièrement utile pour des reconstructions ayant pour but des études numériques d'aéro-acoustiques [3]. Néanmoins, sans validation expérimentale les écoulements résultants et les données aéro-acoustiques ne peuvent être appliquées directement à des fins médicales. Malgré ce besoin, la littérature fournit peu de résultats d'écoulements issus de configurations géométriques basées sur des données morphologiques du conduit vocal lors de la production humaine de fricatives, *i.e* Reynolds  $Re_b$  modéré et faible nombre de Mach  $Ma$ .

Les modèles mécaniques *in-vitro* de géométries simplifiées utilisées par la communauté travaillant sur la production de sons humains, et de fricatives en particulier, sont à la fois peu nombreuses et essentiellement concentrées sur les données acoustiques [4]. Il existe de fait très peu de données sur le champ de vitesse même pour des

modèles *in-vitro*. Un autre intérêt pour cette étude réside, dans le besoin nécessaire à la validation de modèles, en fournissant des informations quantitatives sur le champ de vitesses moyennes et turbulentes [5].

On cherche donc à travers ce travail à effectuer une première analyse sur le comportement d'un écoulement soumis à une géométrie reprenant les caractéristiques morphologiques d'une incisive supérieure, et de fournir des données de vitesses en amont de cet obstacle. Pour les besoins de l'expérimentation cette géométrie est positionnée dans un conduit vocal schématisé par un canal rectangulaire de rapport largeur  $l$  sur hauteur  $H$  tel que  $l/H = 4$ . La présence de cet obstacle impose un degré d'obstruction de 70 %. L'écoulement est étudié pour un nombre de Reynolds  $Re_b$ , basé sur la hauteur  $H$  du canal et la vitesse débitante, égal à  $Re_b = 4000$ . Cet article est articulé autour de 3 parties. On évoquera :

- Dans une première, la construction de l'obstacle à partir de certains caractères morphologiques.
- Dans une seconde, l'obstacle ainsi défini sera positionné dans un domaine numérique, et une première analyse sera effectuée.
- Dans une troisième, une comparaison entre les données issues des simulations numériques et des mesures obtenues à partir d'un dispositif expérimental sera menée. Au regard des dimensions de la géométrie de l'obstacle, et en particulier du fort taux de constriction, cette confrontation sera faite sur les données obtenues en sortie de constriction issues de la simulation et du dispositif expérimental. Dans cette troisième est dernière partie on s'attachera à caractériser l'écoulement résultant de la constriction à partir de traits généralement recherchés pour les jets plans.

## 2 Construction du modèle

A partir de données issues de la littérature propre à la dentisterie un modèle d'incisive supérieure est donc élaboré. 2 paramètres majeurs sont sélectionnés (figure 1):

- l'angle  $\theta_1$ , formé par le plan palatal PP et l'axe de l'incisive maxillaire  $U_1$ ,
- l'angle  $\theta_2$ , formé par le plan palatal et la tangente à la surface labiale de l'incisive.

On fixe  $\theta_1 = 107^\circ$  et  $\theta_2 = 90^\circ$  [6,7]. Nous donnons ensuite comme dimensions à cette incisive de forme trapézoïdale, les caractéristiques suivantes :

- Le côté parallèle supérieur (ou la base du trapèze) noté  $l_{pal}$  confondu avec le plan palatal noté PP est égale à  $l_{pal} = 6.6 \times 10^{-3}$  m.
- Le côté opposé à  $l_{pal}$ , et noté  $l_t$  représentant l'extrémité de la dent, est fixé à  $l_t = 1.25 \times 10^{-3}$  m dans la direction de l'écoulement [2].
- Une dernière longueur notée  $l_0$  correspondant morphologiquement à la distance entre le bord de fuite de la dent et le bord de fuite de la lèvre, est prise égale à  $l_0 = 1.7 * l_{pal} = 1.1 * 10^{-3}$  m.

Le modèle palais – incisive supérieure obtenue à partir de ces considérations fournit une géométrie bidimensionnelle représentée en figure 1. Afin d'être utilisé pour les simulations numériques et expérimentales, le modèle précédent est inséré dans un canal rectangulaire de largeur  $l = 0.105$  m et de hauteur  $H = 0.025$  m, représentant une portion du conduit vocal (figure 2). La présence du modèle d'incisive supérieure crée un taux d'obstruction de 70% du canal, soit un rapport  $H/H_c \approx 3.3$ , où  $H_c$  représente la hauteur de l'ouverture.

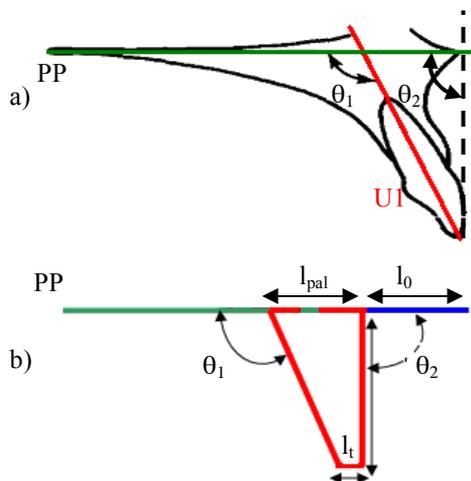


Figure 1 : Choix des paramètres du modèle à partir (a) de données *in-vivo* et, (b) modèle résultant. PP : plan palatal ;  $U_1$  : axe de l'incisive maxillaire ;  $\theta_1$  : angle entre PP et  $U_1$  ;  $\theta_2$  angle entre PP et la surface labiale de l'incisive.

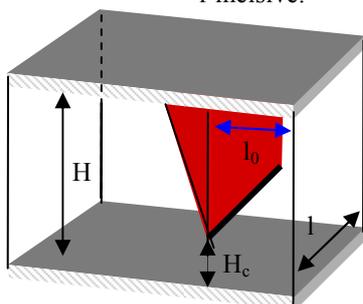


Figure 2 : Vue en perspective de l'embout 3D.

## 3 Etude numérique

### 3.1 Choix des paramètres

Lors de l'étude numérique l'évolution de l'écoulement d'air est obtenue à partir de la simulation numérique des grandes échelles dans le cas d'écoulement incompressibles et instationnaires. Le modèle dynamique de Smagorinsky [8] avec les modifications de Lilly [9] est utilisé, permettant de déterminer le coefficient de Smagorinsky localement en temps et en espace. Les simulations sont obtenues sur supercomputer (SX8 NEC Inc.) à partir d'un code à éléments finis Front Flow Blue/FFB 5. Le domaine de calcul consiste en un assemblage de 5 sous – domaines de calcul. La section avale du domaine de calcul correspond au domaine de l'embout dans lequel est inséré l'obstacle en forme de dent défini dans la section 2. Le domaine de calcul situé en amont de la dent (sous - domaines 1et 2) consiste en une section rectangulaire uniforme reprenant la hauteur  $H$  et la largeur  $l$  de l'embout défini en section 2. La base de l'obstacle en forme de dent est située à  $3.2H$  de l'entrée du domaine. Le domaine de calcul est défini par un maillage structuré de 1882200 éléments à partir du logiciel Gridgen v1.5. Grâce à la décomposition en sous-domaine, le maillage est densifié dans les zones d'intérêt en particulier autour de la dent et des couches limites où la précision de la grille à la constriction et en aval est de 0.05 mm.

La qualité de la grille de calcul est vérifiée au travers de la condition de Courant – Friedrichs – Lewy durant la simulation. En entrée du domaine de calcul un profil de vitesse uniforme est imposé. Les conditions de non-glissement et de non réflexion sont imposées respectivement sur les parois et à la sortie du domaine de calcul. L'incrément de temps  $\Delta t$  est pris tel que  $10^{-3} = \Delta t \cdot U_b/H$ , avec  $U_b$  représentant la vitesse débitante et égal à 2.5 m/s. Le nombre de Reynolds  $Re$ , basé sur la hauteur  $H$  et  $U_b$  est par conséquent pris égal à  $Re = 4000$ .

Les champs de vitesse moyenne et turbulente sont calculés à partir de 5000 champs de vitesses instantanées entre le pas de temps 5000 et 10000.

### 3.2 Résultats

L'écoulement obtenu se comportant de façon bidimensionnel, on se concentre essentiellement sur le champ moyen de vitesse selon les composantes  $(\bar{U}_x, \bar{U}_y)$  et le champ turbulent suivant les composantes  $(\sigma_x, \sigma_y)$ . La figure 4 montre l'évolution spatiale du champ de vitesse pour les 2 composantes de la vitesse moyenne, suivant les plans  $(xOy)$  en  $z = 0$ . Il apparaît que pour la composante  $\bar{U}_y$ , la présence de l'obstacle ne se manifeste essentiellement qu'au niveau de la pointe de l'obstacle, où l'écoulement subit une forte accélération négative verticale. La composante  $\bar{U}_x$ , présente en revanche une plus importante variation longitudinale. Ainsi, on observe que le

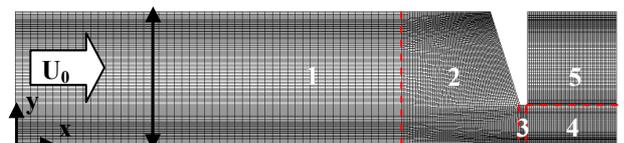


Figure 3 : Visualisation du domaine de calcul.

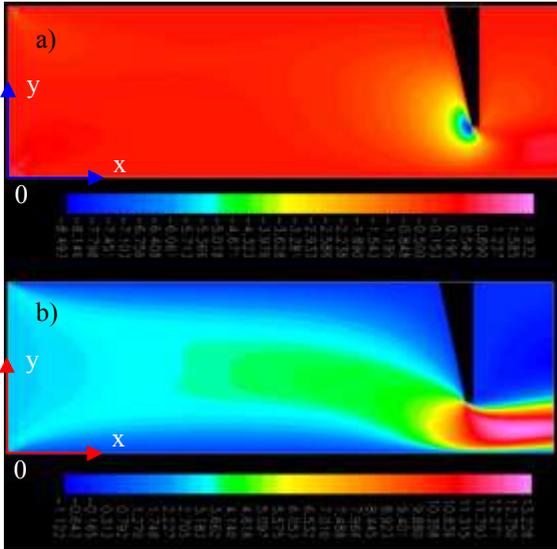


Figure 4 : Evolution spatiale du champ de vitesse moyen selon la composante (a)  $\bar{U}_y$  et (b)  $\bar{U}_x$ .

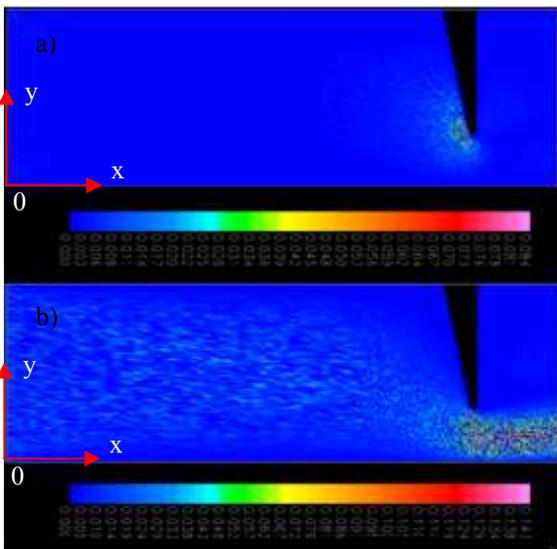


Figure 5 : Evolution spatiale du champ de vitesse turbulente selon la composante (a)  $\sigma_x$  et, (b)  $\sigma_y$ .

rapprochement de l'obstacle mène à une augmentation de la norme de cette composante couplée à un déplacement vertical de la position du maximum vers le bas de la géométrie. Le passage de l'obstacle conduit à la mise en place d'un écoulement présentant une forme comparable à celle d'un jet pariétal. Les mesures numériques révèlent également une accélération de l'écoulement dans le jet. La présence d'une zone de recirculation située en aval de la dent est également observée. Une constatation analogue est tirée des profils d'intensité turbulente suivant les 2 composantes ( $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ), et présentés en figure 5. Pour la composante transversale  $\sigma_y$ , sa norme ainsi que sa variation ne deviennent significatives qu'en proximité de la pointe de l'obstacle. En revanche, pour la composante longitudinale  $\sigma_x$ , son évolution ainsi que sa norme commencent plus en amont de l'obstacle comparativement à  $\sigma_y$ . Néanmoins les variations les plus significatives se manifestent en aval de l'obstacle dans la zone de développement du jet pariétal. Les simulations mettent donc en évidence que les variations se situent essentiellement au niveau des composantes longitudinales et de la vitesse et de la turbulence,

respectivement  $\bar{U}_x$  et  $\sigma_x$ , et que la configuration de la géométrie conduit à la mise en place en aval de l'obstacle à un jet pariétal.

## 4 Etude *In-vitro*

### 4.1. Dispositif expérimental

Les résultats numériques exposés au paragraphe précédent sont confrontés à des données issues d'un dispositif expérimental présenté en figure 6. L'écoulement d'air est généré à partir d'un compresseur d'air [a] (Atlas Copco GA7) couplé à un régulateur de pression [b] (Norgren type 11-818-987) permettant de travailler à une pression de sortie de compresseur constante. Le débit d'air est fixé grâce à une valve manuelle [c]. Le contrôle de la mesure du débit est assuré par un débitmètre [d] positionnée en aval de la valve manuelle. L'écoulement d'air circule ensuite à travers une conduite uniforme de diamètre 0.01m avant de pénétrer dans un convergent – divergent [e] de longueur totale de 0.07 m et de diamètre de sortie de 0.025 m. Le divergent est fixé à une chambre de conditionnement [f], tapissée de mousses acoustiques afin d'éviter toute résonance, et présentant les dimensions suivantes 0.6×0.51×0.41 m (longueur × largeur × hauteur). A l'intérieur, 2 grilles sont positionnées afin d'obtenir un niveau d'intensité turbulente  $T_U$  inférieur à 1% lors de l'entrée dans l'embout [g] (voir figure 2 également) fixé sur la chambre de conditionnement. Le champ de vitesse issu de ce dispositif est mesuré à partir de la technique de l'anémométrie à film chaud. La sonde [h] (TSI 1201-20) est déplacée principalement suivant les 2 axes (0x), (0y) grâce au positionneur [i] (Chuo precision industrial co. CAT-C, ALS-250-C2P and ALS-115-E1P). Sur chaque point de mesure, l'écoulement est mesuré pendant 4s à une fréquence de 40kHz. On précise que l'embout expérimental présente 2 différences par rapport à celui utilisé numériquement : une épaisseur d'embout de 0.006 m contre 0 m pour les simulations, et une longueur de canal en amont de l'obstacle de 0.042 m contre 0.08 m pour les simulations.

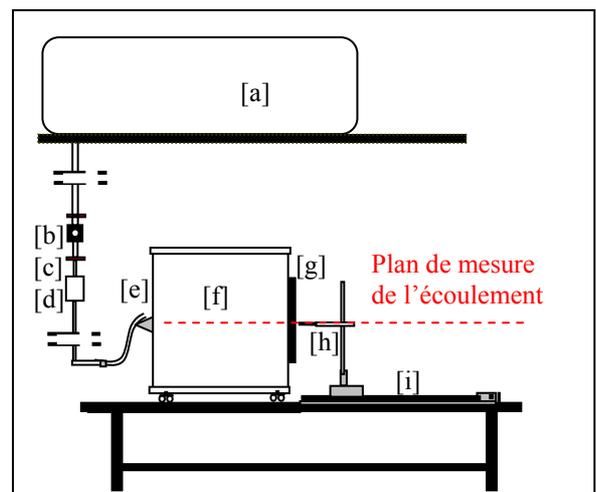


Figure 6 : Vue générale du dispositif de calibration. [a] compresseur, [b] détendeur, [c] vanne, [d] débitmètre, [e] divergent, [f] chambre de conditionnement, [g] embout, [h] film chaud, [i] positionneur

## 4.2. Profils transversaux de vitesse moyenne

La caractérisation du développement des profils de vitesse dans le champ proche en aval de la constriction est basée sur des quantités indiquées suivantes :

- $y_m(x)$  : correspondant à la distance à partir du mur jusqu' à la vitesse maximale
- $\bar{U}_m(x)$  : correspondant à la vitesse maximum
- $y_{1/2}(x)$  : distance à partir du mur jusqu' à  $\frac{\bar{U}_m(x)}{2}$ .
- $\Delta y_{\text{largeur}}$  : largeur du jet.

On rappelle que les profils de vitesse sont obtenus pour des positions depuis l'obstruction jusqu' à la sortie de l'embout, *i.e.*  $0 < x/H_c < 1.5$ . Une vue générale des profils de vitesse mesurés et simulés est montrée en figure 7. Le taux de croissance du jet et l'asymétrie des profils sont recherchés en considérant l'évolution de la position de  $y_m(x)/H_c$  pour chaque profil de vitesse, la position externe  $y_{1/2}(x)$ , et le rapport de vitesses  $\frac{\bar{U}_m(x)}{\bar{U}_{m,0}}$ . Les quantités

résultantes sont illustrées en figure 8. On observe la décroissance de la position de la vitesse maximale  $y_m(x)/H_c$  aussi bien pour les profils de vitesse mesurées que pour les profils de vitesse simulés. Néanmoins, les valeurs  $y_m(x)/H_c$  mesurées continuent de décroître jusqu' à ce que la position

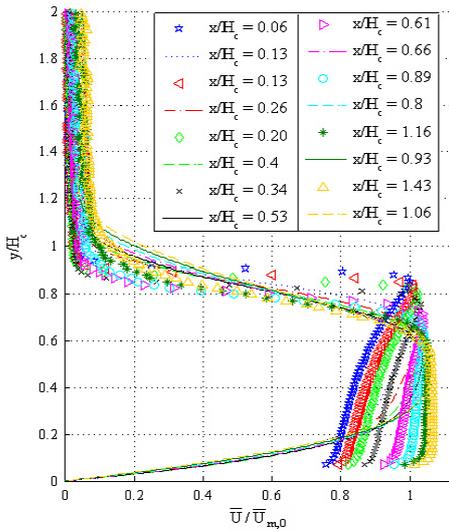


Figure 7 : Evolution du rapport  $\frac{\bar{U}_m}{\bar{U}_{m,0}}$  issu des simulations (trait), et des expériences *in-vitro* (symboles).

longitudinale  $x/H_c \geq 1.1$  soit atteinte, tandis que dans le cas simulé une valeur constante ( $\pm 2\%$ ) égale à  $y_m(x)/H_c \approx 0.47$  est atteinte pour des valeurs longitudinales  $x/H_c \geq 0.7$ . En conséquence, la position latérale du maximum de vitesse continue son évolution sur une distance longitudinale plus importante pour les mesures expérimentales comparées aux simulations. La position externe  $y_{1/2}(x)$ , correspondant à la moitié de la vitesse maximum  $\frac{\bar{U}_m}{2}(x)$ , affiche pour les mesures simulées et expérimentales une évolution en 2 temps avec une décroissance suivie d'une croissance lorsque  $x/H_c$  augmente. On note cependant que

l'augmentation de  $y_{1/2}(x)$  sur les données expérimentales s'étend jusqu' à  $x/H_c \geq 1.1$  alors que pour les simulations cette augmentation s'effectue jusqu' à  $x/H_c \geq 0.7$ . On notera également que la position longitudinale donnant une gamme de valeurs  $y_m(x)/H_c = \text{cste}$  coïncide avec la position longitudinale à partir de laquelle  $y_{1/2}$  augmente ; soit  $x/H_c \approx 1.1$  et  $x/H_c \approx 0.7$  respectivement pour les données mesurées et simulées. A partir du rapport  $y_m/y_{1/2}$  une première analyse sur la symétrie du jet lors de son développement peut être menée. L'évolution longitudinale de cette quantité est reportée en figure 5.8(c). On extrait de cette figure une tendance générale similaire entre les données mesurées et simulées, *i.e.* une décroissance jusqu' à l'obtention d'une valeur constante, en remarquant une nouvelle fois que la position longitudinale à partir de laquelle un régime constant est atteint semble se manifester plus en aval dans le cadre des simulations par rapport aux mesures. D'une manière générale la décroissance initiale des rapports simulés et mesurés indique une augmentation dans la symétrie du jet en repositionnant le maximum de vitesse plus au centre du jet.

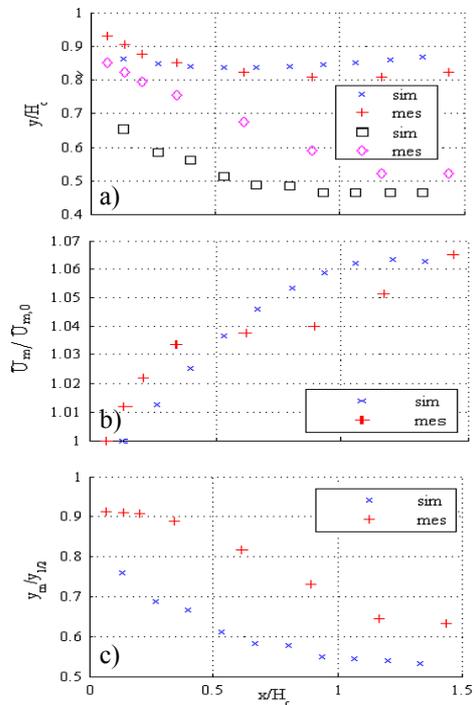


Figure 8 : a) Evolution de la position du maximum de vitesse  $y_m$  (simulé =  $\square$ ; mesuré =  $\diamond$ ) et de la position de la moitié de la vitesse maximale  $y_{1/2}$  (simulé =  $\times$ ; mesuré =  $+$ ). b) Evolution longitudinale du rapport  $\bar{U}_m/\bar{U}_{m,0}$ . c) Evolution du rapport longitudinal du rapport  $y_m/y_{1/2}$ .

La forte valeur du rapport  $y_m/y_{1/2} \approx 0.9$  obtenue pour les profils de vitesse mesurés au niveau de l'obstacle indique une dissymétrie importante dans la forme du jet ; avec un positionnement de la valeur maximale de vitesse près de la couche de cisaillement externe. La présence de ce gradient couplée au positionnement du maximum de vitesse a un double impact en facilitant respectivement l'étirement de la vorticité et son advection pour  $y_m(x)/H_c \approx 1$ .

La symétrie du jet  tudi e, on analyse maintenant l'évolution de la largeur du jet  $\Delta y_{\text{largeur}}$ , où  $\Delta y_{\text{largeur}}$  représente l'ensemble des vitesses moyennes supérieures à un certain pourcentage  $p$  de la vitesse maximum  $\bar{U}_m(x/H_c)$ , *i.e.*  $U(y/H_c, x/H_c) > p \cdot \bar{U}_m(x/H_c)100$ . Cette

analyse est faite au travers de la figure 9 illustrant l'évolution de la largeur du jet  $\Delta y_{\text{largeur}}$  pour des pourcentages  $p$  dérivés des profils de vitesse transversaux. Dans un premier temps on détermine pour chaque position aval  $0 < x/H_c < 1.5$ , le pourcentage  $p$  correspondant aux vitesses situées à une distance  $y/H_c \leq 0.07$  du mur, *i.e.*  $p(x/H_c) = U(y/H_c \leq 0.07, x/H_c)/U_m(y_m, x/H_c) \times 100$ . Les pourcentages  $p(x/H_c)$  obtenus sont reportés en figure 5.9 (b). Ils augmentent graduellement de 77 % à 97 % depuis le bord de fuite de l'obstacle jusqu'à la sortie de l'embout. Dans un second temps,  $p$  est fixé à 97 %, *i.e.* le pourcentage maximum déterminé au travers des mesures expérimentales. Pour des positions longitudinales  $x/H_c \geq 1$  les pourcentages  $p$  sont proches de 97 %, impliquant que les largeurs du jet  $\Delta y_{\text{largeur}}$  obtenus avec  $p = 97\%$  ou  $p(x/H_c)$  sont très peu différentes. A ces distances longitudinales, la largeur du jet obtenue à partir des mesures expérimentales avec  $p = 97\%$  est presque trois fois supérieure à la largeur du jet obtenue à partir des simulations. Pour les distances inférieures, en dépit d'une légère tendance de croissance-décroissance la largeur du jet pour ce pourcentage  $p = 97\%$  donne pour le jet simulé une largeur de jet  $\Delta y_{\text{largeur}}$  à peu près constante oscillant entre  $0.2 < \Delta y_{\text{largeur}} < 0.28$ . En revanche pour les profils de vitesse mesurés, la largeur du jet diminue, passant de 0.6 à 0.1. On note une forte diminution intervenant à partir de  $x/H_c < 0.7$  faisant passer la largeur du jet de  $\Delta y_{\text{largeur}} \approx 0.55$  à  $\Delta y_{\text{largeur}} \approx 0.3$ . L'apparition de ces faibles largeurs de jet  $\Delta y_{\text{largeur}} < 0.2$  pour de faibles distances longitudinales  $x/H_c$  est due à l'asymétrie importante impliquant un pic fin de vitesse, venant se superposer aux profils de vitesse transversaux. Ce pic étant absent des profils simulés, des largeurs de jet  $\Delta y_{\text{largeur}} < 0.2$  ne sont donc pas observées. Par conséquent on associe l'élargissement  $\Delta y_{\text{largeur}}$  pour des distances longitudinales  $x/H_c > 0.7$  avec la disparition d'un tel pic. Le choix de conserver un pourcentage  $p$  fixé à  $p = 97\%$  permet de détecter de tels pics, mais devient inadaptée pour considérer la largeur globale du jet. Par conséquent, la largeur du jet  $\Delta y_{\text{largeur}}$  doit être ré-évaluée à partir des pourcentages  $p$  telles que  $p(x/H_c) = U(y/H_c \leq 0.07, x/H_c)/U_m(y_m, x/H_c) \times 100$ . La largeur du jet résultant apparaît alors décroître avec  $x/H_c$  aussi bien pour les profils de vitesse simulés que pour les profils de vitesse mesurés. Cependant, la décroissance est plus prononcée pour les simulations plutôt que pour les données mesurées, avec la largeur de jet  $\Delta y_{\text{largeur}}$  passant de 1.3 à 2.6 fois plus fine que les profils obtenus expérimentalement.

### 4.3. Profils transversaux de vitesse turbulente

La figure 10 compare les rapports entre la fluctuation de vitesse moyenne définie par l'écart type  $\sigma$  et la vitesse moyenne maximale  $\bar{U}_m$ , obtenue à partir des simulations et des expériences. On rappelle que ces profils transversaux ont été obtenus aux mêmes stations de mesures que les profils moyens de vitesse montrés en figure 7. Alors que les profils obtenus expérimentalement exhibent un pic de 10 % près de l'obstacle, les rapports simulés restent quant à eux inférieurs à 2 % indépendamment de la position longitudinale de mesure. La figure 11(a) permet de suivre l'évolution spatiale de ce maximum entre  $0 < x/H_c < 1.5$ . En tant que référence, la position de la vitesse maximum est également indiquée pour chaque position  $x/H_c$ .

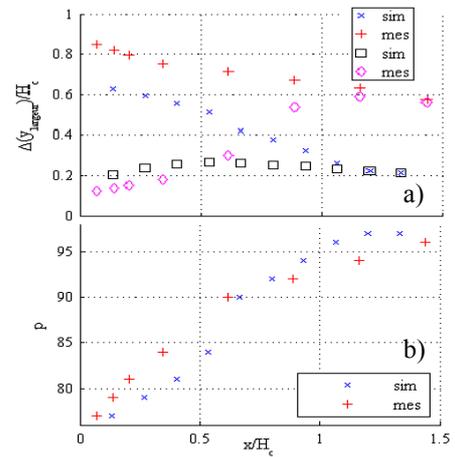


Figure 9 : a) Evolution longitudinale de la largeur du jet pour un pourcentage  $p = 97\%$ .  $y_m$  (simulé =  $\square$ ; mesuré =  $\diamond$ ) et pour un pourcentage  $p$  variable (simulé =  $\times$ ; mesuré =  $+$ ) déterminé en  $y/H_c = 0.07$  et tel que  $p(x/H_c) = U(y/H_c \leq 0.07, x/H_c)/U_m(y_m, x/H_c) \times 100$ . b) Les pourcentages  $p$  obtenus à partir du critère de distance.

On constate que le niveau d'intensité turbulente maximum pour les profils mesurés est déplacée de  $y/H_c \approx 0.9$  à  $x/H_c = 0.06$  vers  $y/H_c \approx 0.8$  à  $x/H_c > 0.5$ . La position de la vitesse maximale  $y_m$  précède le niveau d'intensité turbulente, qui apparaît à des distances transversales  $y/H_c$  plus proches de l'angle de l'obstacle. En s'éloignant longitudinalement, cette divergence entre  $y_m$  et la position du maximum de turbulence augmente à cause du maintien de la position du maximum de turbulence alors que  $y_m$  décroît pour  $x/H_c > 0.7$ . En revanche, les profils simulés ne mettent pas en évidence de pic marqué de turbulence et, restent globalement inférieurs à 2 %. On constate simplement dans la zone proche de  $y/H_c \approx 0.5$  des niveaux d'intensité turbulents plus élevés. Au contraire de l'écoulement mesuré, pour lequel la turbulence est générée près de l'angle de l'obstacle et est convectée en aval, l'écoulement simulé reste laminaire. On considère maintenant la largeur du pic de turbulence  $\Delta y_t$ , et on étudie son évolution en figure 11(b). D'un mince pic  $\Delta y_t/H_c < 0.1$  observé à de faibles distances longitudinales  $0 < x/H_c < 0.34$ , le pic s'élargit graduellement jusqu'à atteindre une valeur  $\Delta y_t \approx 0.4$  pour  $x/H_c = 1.5$ . La symétrie du pic de turbulence est vérifiée en considérant  $\Delta y_t$  pour des valeurs  $y/H_c$  respectivement plus grandes et plus petites que la position du maximum de turbulence. Les valeurs résultantes sont indiquées en figure 11 (b). Pour la simulation, la faible intensité turbulente et l'absence de pic conduisent à  $\Delta y_t/H_c \approx 0.75$  indépendamment de  $x/H_c$ .

## 5 Conclusion

L'impact d'un obstacle reprenant certaines caractéristiques morphologiques d'une incisive supérieure a été étudié numériquement et expérimentalement. Les comparaisons effectuées entre ces deux méthodes sur le champ moyen de vitesse ainsi que le champ turbulent a permis de révéler des tendances communes. On a ainsi constaté dans les deux cas que : la position du maximum de vitesse  $y_{\text{max}}$  est déplacée vers le mur lorsque l'on se déplace longitudinalement en aval de la constriction ; la vitesse maximale moyenne  $\bar{U}_m$  augmente en s'éloignant de la

constriction ; La largeur du jet décroît avec le déplacement aval. Néanmoins, la quantification de ces paramètres met en évidence des divergences entre l'écoulement simulé et mesuré. Ainsi, le jet expérimental est élargi comparé au jet numérique ; les profils de vitesse moyenne transversaux issus de l'expérimentation *in - vitro* exhibent un pic marqué vers  $y/H_c \approx 1$ , absent des données simulées ; cette position du maximum de vitesse est atteinte dans le cas de l'expérimentation à une distance transversale plus importante que pour les données simulées ; le rapport de la position du maximum de vitesse avec la demi-largeur  $y_m/y_{1/2}$  est proche de 1 pour les données expérimentales. Ces différences observées résultent de vitesses moyennes et de gradients de vitesse moyens au voisinage de la dent, *i.e*  $y/H_c \approx 1$  plus important pour les données expérimentales que pour les données simulées. Au regard de la vorticité ces deux observations sont importantes. Le pic fin près de la pointe de la dent observ e sur les profils de vitesse moyenne mesur es, est accompagn e d'un pic d'intensité turbulente de 10 %. Ces pics sont absents du champ d'écoulement simulé, qui présente un caractère laminaire dans le champ proche en aval de la constriction. Par conséquent, ces différences observées dans le champ moyen et turbulent incitent à continuer de futures recherches en particulier lorsque la production de son est envisagée.

## Remerciements

Le support financier de l'Agence Nationale de la Recherche (ANR-07-JCJC-0055, bl inter09 486268) est remerci e. Les auteurs souhaitent également remercier le Collège Doctoral Franco – Japonais, la Japanese Society for the promotion of Science (PE 07072), et la région Rhône – Alpes (CIBL 2006).

## R ef erences

- [1] Runte C. "The influence of maxillary central incisor position in complete dentures on /s/ sound production" *The journal of prosthetic dentistry*, 85, 485 – 495 (2001)
- [2] Rudolph D. "The use of tooth thickness in predicting intermaxillary tooth – size discrepancies" *The Angle Orthod.* 68, 133-140 (1998)
- [3] Nozaki K. "Integration of computational fluid dynamics and computational aeroacoustics on grid for dental applications" *In Proc. IEEE CBMS*, p.6 (2005)
- [4] Shadle C. "The acoustics of fricative consonants". *PhD thesis*, (1985)
- [5] Howe M.S., McGowan R.S. "Aeroacoustics of [s]" *Proc. R. Soc. A*, 461, 1005-1028 (2005)
- [6] Fredericks C. "A method for determining the maxillary incisor inclination." *The Angle Orthod* 44, 341-345 (1974)
- [7] Ellis E., McNamara J. "Cephalometric evaluation of incisor position" *The Angle Orthod.* 56 (4), 324-344 (1986)

- [8] Germano M. "A dynamic subgrid-scale eddy viscosity model" *Phys. Fluids A*, 3, 1760-1765 (1991)
- [9] Howe M.S., McGowan R.S. "Aeroacoustics of [s]" *Proc. R. Soc. A*, 461, 1005-1028 (2005)
- [10] Lilly D. "A proposed modification of the Germano subgrid – scale closure method" *Phys. Fluids A*, 4, 633- 635 (1992)

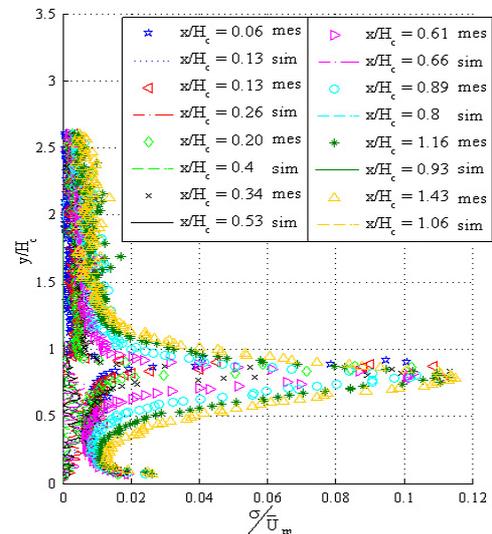


Figure 10 : Evolution du rapport entre la fluctuation de vitesse moyenne  $\sigma$  et la vitesse moyenne maximale  $\bar{U}_m$ .

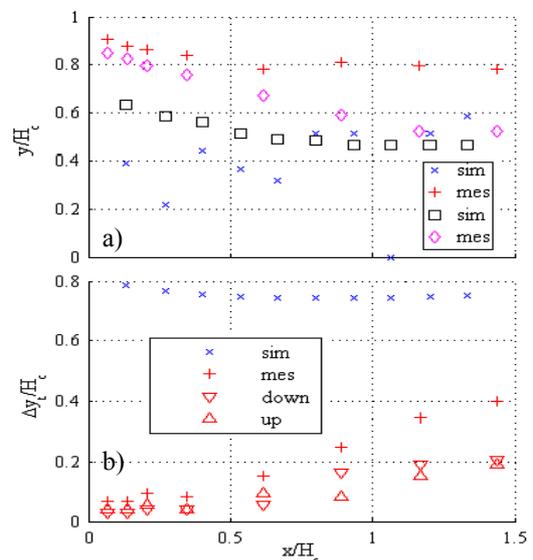


Figure 11 : a) Evolution longitudinale du maximum du rapport  $\sigma/\bar{U}_m$  pour les simulations (x) et les mesures (+), compar e à l'évolution de la position du maximum de vitesse moyenne  $y_m$  (simulé =  $\square$ ; mesuré =  $\diamond$ ), b) Evolution du pic  $\sigma/\bar{U}_m$ . Pour les profils mesur es la demi-largeur du pic est consid eree, et les positions plus grandes ( $\Delta$ ) et plus petites ( $\nabla$ ) que le pic sont indiquées.