

VIBRATION DE LA FLECHE

Introduction

L'avènement des vidéos à haute vitesse du comportement de la flèche a généré un intérêt pour les vibrations de celle-ci. Il semble qu'il y ait une certaine confusion dans l'esprit des archers sur le sujet et bien que la vibration de la flèche n'a qu'un impact faible sur le vol, cet article présente un survol de ce sujet.

Vibrations et modes propres

Si on pince une corde de guitare ou si on tape sur le tube d'une flèche, on crée une déformation initiale, un état de contrainte et un champ de vitesse le long de cette corde ou flèche. Ceci donne naissance à un mélange de vibration de différentes fréquences dans la corde/flèche. Au départ ces fréquences de vibrations sont quelconques mais au bout d'un certain temps seul un ensemble particulier de fréquences continue d'exister. Les fréquences qui restent sont celles qui s'accorde avec la géométrie de la corde/flèche, et sont appelées fréquences propres. Ce sont les conditions aux limites qui vont déterminer les fréquences propres de vibration de la corde/flèche, c'est à dire si les extrémités sont fixes ou libres. En effet, pour chaque fréquence propre il y a des points sur la corde qui restent immobiles (ce sont les noeuds) et d'autres qui ont un mouvement d'amplitude maximum (ce sont les ventres). Si une extrémité de la corde/flèche est fixe alors par définition ce doit être un noeud pour **toutes** les fréquences propres. L'inverse est moins évident mais vrai : si une extrémité est libre de se déplacer alors c'est un ventre pour **toutes** les fréquences propres.

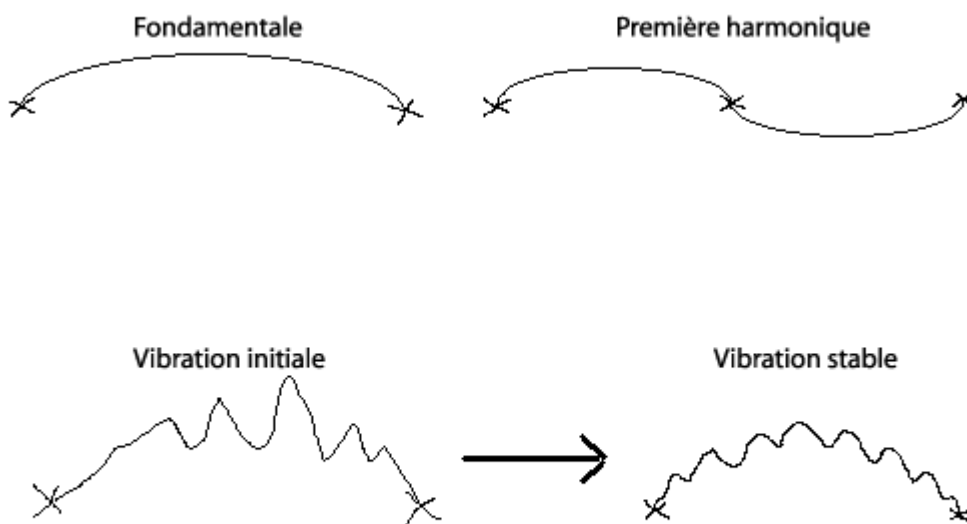


Figure 1 : Mode de vibration d'une flèche ou d'une corde. Régime transitoire de la vibration initiale à la vibration stable.

La forme de la corde/flèche à un instant donné est la somme de tous les déplacements à toutes des fréquences propres. La Figure 1 montre la première fréquence propre (que l'on appelle la fondamentale) ainsi que la première harmonique qui est de fréquence double. Si on considère une

vibration initiale comprenant des fréquences aléatoires, au bout d'un moment il n'y aura plus que les fréquences propres qui formeront un ensemble de vibrations stables.

Il faut noter que si les conditions aux limites imposent des noeuds et des ventres particuliers pour toutes les fréquences propres, les autres noeuds et ventres des modes propres ne coïncideront pas. Ainsi, pour la vibration totale de la corde/flèche les seuls points où il peut y avoir un noeud ou un ventre sont les extrémités. En général on utilise le terme noeud pour un point où la vibration est faible (et non nulle comme l'impose la définition du noeud). (NdT : Cette approximation est valable car la plupart du temps UN mode propre domine la vibration et les noeuds et ventres de vibration de la flèche sont les noeuds et les ventres de ce mode propre). Un deuxième point souvent incompris est que les noeuds ne sont stationnaires que dans le référentiel de centre de masse de la flèche, c'est à dire dans un référentiel où le centre d'inertie de la flèche est immobile. Par exemple, par rapport au Berger bouton les noeuds peuvent se déplacer à 30 m/s vers l'avant avec la flèche tournant sur elle-même à 3000 tours/min, tout en étant stationnaires.

On a dit que, dans le mode de vibration stable, la corde/flèche présente un certain nombre de fréquences propres dont une qui sera prédominante (en général la fondamentale). L'un des facteurs prépondérant pour déterminer la fréquence de la fondamentale est la tension de la corde (NdT : l'autre est la masse par unité de longueur de la corde). Tendre plus la corde d'une guitare donne une note plus aigüe (une fréquence propre plus grande). En ce qui concerne la flèche, il y a deux situations différentes. Pendant le vol, la flèche n'est soumise qu'à une tension négligeable et elle vibre librement à fréquence constante. Pendant le lâcher, la situation est analogue à la corde de guitare. La flèche étant accélérée par la corde, le tube est soumis à une forte compression qui tend à diminuer la fréquence propre de vibration. Comme la force appliquée par la corde sur la flèche change continuellement pendant la propulsion, la fréquence de vibration change elle aussi. Puisqu'il n'y a, dans ce cas, pas de répétitivité exacte, le terme vibration peut sembler un peu inexact et je pense que les termes flexion ou ploiement sont plus appropriés (NdT : Bof! En plus ploiement c'est un peu désuet en français!! hé hé!)

La vibration de la flèche

La flexion de la flèche sur l'arc peut être décomposée en deux phases. La première est reliée au lâcher. Au moment du lâcher, la rotation de la palette induit la flexion du tube (voir article sur le paradoxe) avec l'encoche s'éloignant de l'arc du fait de la résultante des forces entre la corde et l'encoche et la pression du Berger bouton. Comme décrit dans l'article sur le paradoxe, lorsque la vitesse de la pointe dépasse la vitesse de l'encoche la flèche se détend jusqu'à ce qu'elle soit droite. Le tube est alors écarté du bouton et présente un profil de vitesse latérale décrit dans l'article précédemment cité.

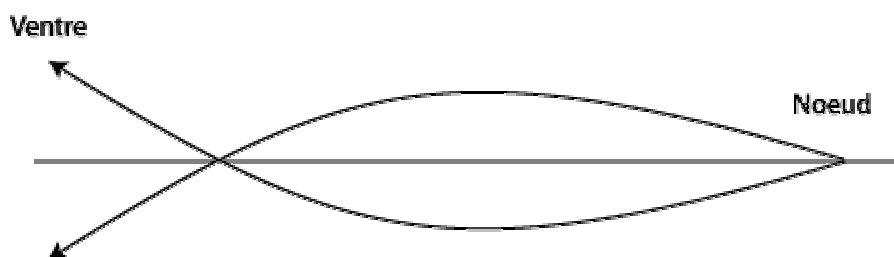


Figure 2 : La réponse en vibration de la flèche solidaire à l'encoche de la corde.

Pour simplifier, la deuxième phase peut être analysée comme l'effet de la combinaison de la vibration du tube et d'une flexion périodique. Pour ce qui est de la vibration d'une flèche sur la corde, on a un noeud (contraint) à l'encoche (elle est solidaire de la corde) et un ventre à la pointe (elle est libre de se déplacer). La vibration stable ressemble à la Figure 2.

La flexion du tube résulte de l'interaction entre la palette, la corde et l'encoche. Elle ressemble à la Figure 3.

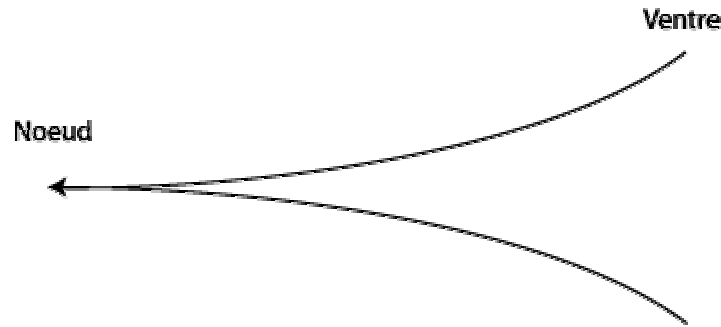


Figure 3 : Excitation à laquelle est soumise la flèche de la part de la corde. Cette déformation du tube se superpose avec celle de la Figure 2 pour donner la Figure 4.

La forme générale du tube à un instant donné est la somme des deux géométries. La flexion liée à l'interaction encoche/corde est synchrone avec la vibration du tube, c'est à dire que lorsque la pointe est fléchie vers l'extérieur de l'arc, l'encoche l'est également. La forme résultante du tube est alors en gros similaire à la vibration d'une flèche en vol libre. La flexion à la pointe est dominée par les effets de vibration. La flexion à l'encoche est dominée par la force d'interaction entre la corde et l'encoche. Au cours du déplacement de la flèche, la direction et l'amplitude de la force de rappel de la corde varient continuellement ainsi que la contrainte de compression du tube (ce que Easton appelle dynamic spine bending). A la fin de la poussée la composante de vibration devient prépondérante.

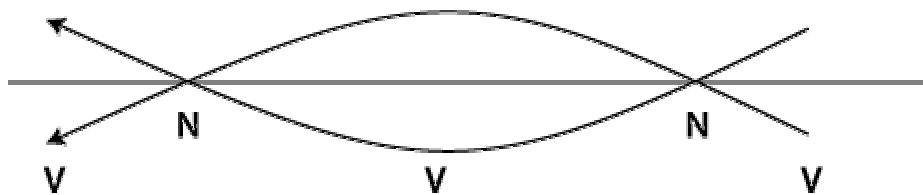


Figure 4 : Configuration de la flèche résultante de la superposition des deux effets précédents. C'est aussi en gros la forme de la flèche pendant la phase de vol libre.

Après avoir quitter la corde, la flèche fléchit dans un mode purement de vibration et présente un ventre de vibration à la pointe et à l'encoche. La forme du tube, la contrainte et le profil de vitesse le long du tube constitue les conditions initiales de cette vibration. La flèche se stabilise dans une configuration proche de la Figure 4. En vol, la flèche ne présente plus de contrainte de compression imposée par l'extérieur (Ce que Easton appelle static spine bending)

Cette vibration de la flèche va disparaître au cours du vol en raison de l'amortissement lié au flux d'air le long du tube et de l'empennage. Pour le tir en salle, on utilise souvent des empennage très large pour maximiser l'amortissement de la vibration. Si la pointe bouge latéralement significativement il peut y avoir une variation de l'endroit où la flèche atteint la cible lié à ce mouvement.

Quand la flèche touche la cible, elle reçoit une décélération très brutale. L'essentiel de l'énergie est dissipé en chaleur mais une quantité substantiel passe en contrainte dans le tube. La flèche en cible présente un noeud à la pointe et un ventre à l'encoche. Le noeud agit comme un encastrement sur la flèche et la contrainte de flexion peut devenir importante à ce noeud quand la flèche fléchit (ah ah!). Toute personne ayant déjà eu une flèche rompue à l'impact ont expérimenté cela! Les vibrations subies par le tube à l'impact sont différentes de celles subies lors de la poussée en ce que le noeud à la pointe dans le premier cas est un encastrement (une partie significative du tube est immobilisée) alors que dans le second c'est un simple point fixe. La Figure 5 montre la vibration stable de la flèche dans la cible.

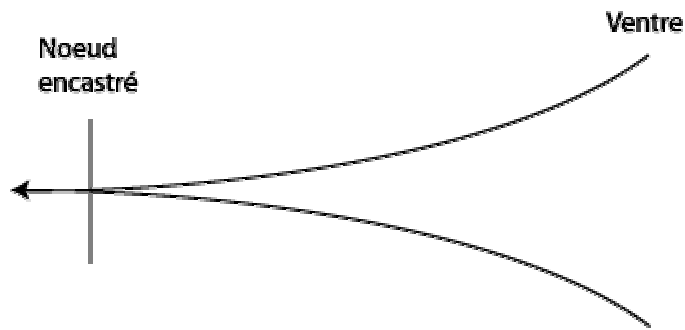


Figure 5 : Vibration de la flèche une fois en cible. Il peut se produire une très forte concentration de contrainte à la jonction de la partie encastrée et de la partie vibrante pouvant conduire à la rupture.

Sur le site de Beiter on peut trouver différentes vidéo au format RealMédia du comportement des flèches.

Trouver les noeuds

On peut essayer de relier la position du noeud près de la pointe avec le positionnement du Berger bouton. La suite montre comment trouver ces noeuds de vibration le long du tube.

Lors de la poussée, la flèche présente un noeud au niveau de l'encoche. Il faut donc trouver le noeud près de la pointe. Pour cela, tenir la flèche près de l'encoche sans presser entre le pouce et l'index et faire reposer la flèche pointe vers le haut au bord d'une table à, mettons, 45°. La table doit toucher la flèche environ 6 cm après la pointe. Attraper la flèche à mi chemin entre le point de contact et l'encoche, tirer vers le bas et relacher. La flèche va sauter et taper contre le coin de la table.

Recommencer ce processus en faisant glisser le tube contre le bord de table jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de raclement de la flèche (la flèche vibre aussi plus longtemps suivant comment elle est tenue à l'encoche). Le point de contact entre le bord de la table et le tube est le noeud avant.

Quand la flèche est en vol, il y a deux noeuds à trouver. Tenir la flèche de façon assez lâche entre le pouce et l'index près de la pointe (à 3 cm) en la laissant pendre en dessous. Mettre une pichenette à la flèche vers le milieu du tube. On sent une vibration qui disparaît rapidement. Déplacer le point tenu vers le haut ou vers le bas jusqu'à trouver un point où la vibration reste le plus longtemps (typiquement 3 à 5 s). Le point tenu est alors le noeud avant. Recommencer en retournant la flèche et en commençant à la tenir juste devant l'empennage pour trouver le noeud arrière.

Le noeud avant lorsque la flèche est encochée sera toujours en avant du noeud avant en vol libre. Les positions de noeuds d'une flèche empennée seront différentes de celles d'un tube nu du fait de la masse de l'empennage et de la masse d'air entraînée par le mouvement de l'empennage. De la même façon, changer la masse de la pointe changera la position des noeuds: plus la pointe sera lourde et plus les noeuds seront en avant.

La vibration et le vol

Une flèche quitte la corde fléchie comme une banane autour de la poignée. Durant le vol elle vibre en flexion entre 50 et 60 vibrations par seconde (Hz) dans un plan horizontal. L'amplitude de la vibration décroît au cours du temps en raison de l'amortissement aérodynamique. Cette vibration va clairement influencer la traînée. Qu'est ce que cela peut entraîner sur les propriétés de vol de la flèche?

Au cours de la vibration, le déplacement, l'orientation et la vitesse change continuellement le long du tube. Par conséquent les propriétés aérodynamiques changent également continuellement en un point du tube au cours du temps et le long du tube à un instant donné. Les caractéristiques de la vibration de la flèche (déplacement et angle du tube et profil de vitesse transversale le long du tube) se répètent sur un intervalle de temps très court (la période) de façon symétrique.

Si on suppose que la période de vibration est suffisamment courte par rapport au temps de relaxation de la pression sur l'empennage ou à la période de rotation de la flèche sur elle-même (c'est à dire si la flèche fait un grand nombre de vibrations au cours de son vol), on peut considérer que la traînée introduite dans le plan horizontal se compense et la vibration de la flèche n'a pas d'effet significatif sur le groupement en cible.

Le seul effet significatif que peut avoir la vibration de la flèche sera une augmentation de la traînée sur le tube lui-même. Ceci résulte principalement de la variation de l'angle entre la surface du tube et la direction de l'écoulement de l'air. On peut donc s'attendre à ce qu'un tube qui vibre beaucoup atteigne la cible en dessous d'un tube qui ne vibre pas. Plus l'amplitude de la vibration sera grande et plus la chute sera importante.

Parmi les effets que l'on peut citer encore, la traînée sur la pointe devrait être un peu réduite tandis que la traînée de l'empennage devrait contribuer à l'accélération de la flèche. En pratique cependant ces deux effets doivent être négligeable devant la traînée de la flèche dans son ensemble.

Comme aucune étude systématique n'a été menée sur la question les remarques faites ici forment plus l'opinion de l'auteur qu'un ensemble de résultats étayés.

Crédits : L'article original d'où est tirée cette étude peut être consulté ici :

<http://homepage.ntlworld.com/joetapley>

Merci de citer l'article original.

Merci de ne pas diffuser cet article sans ces crédits.