

Bonjour à tous, je m'appelle Nils Xhoffray. Cela fait un moment que je me passionne pour le golf, et particulièrement pour le matériel nécessaire à sa pratique. Aujourd'hui, j'ai décidé de vous présenter ce fascinant objet qu'est la balle de golf et plus particulièrement son aérodynamisme.

Tout d'abord Lorsque l'on observe le lancer conventionnel d'une balle lisse, la trajectoire de la balle est une parabole, écrasée sur sa fin à cause des frottements de l'air. A contrario d'un coup de golf, où on observe une première phase de la trajectoire hyperbolique. La principale différence entre les deux lancers, étant la balle, et plus particulièrement la présence d'alvéoles sur la surface de la balle de golf.

Nous pouvons donc nous demander : quels sont les impacts des alvéoles sur l'aérodynamisme d'une balle de golf ? Cette question guidera notre exploration aujourd'hui. Pour ce faire je me dois d'introduire certaines grandeurs et principe physique qui aideront notre étude.

nombre de reynolds et régimes d'écoulement

En premier lieu le nombre de Reynolds est une variable adimensionnée qui caractérise l'écoulement d'un fluide. En aérodynamique, il aide à concevoir des systèmes en fonction des régimes d'écoulement, déterminant ainsi les forces de traînée et de portance. Il existe différents régimes de flux :

- **Flux laminaire** : pour $R_e < 2000$ - pour lequel l'écoulement est ordonné, et les forces visqueuses dominantes.
- **Flux de transition** : pour $2000 < R_e < 4000$ - où L'écoulement commence à devenir instable, il s'agit de la transition entre le flux laminaire et le flux turbulent.
- **Flux turbulent** : qui lui $R_e > 4000$ - Les forces inertielles dominant complètement l'écoulement est chaotique et complexe.

Dans notre cas nous nous placerons pour des nombres de Reynolds autour de $6.8 \cdot 10^5$

Ecoulement et traînée aérodynamique

Par ailleurs, l'écoulement autour de la balle de golf influence grandement sa traînée aérodynamique. Celle-ci dépend majoritairement du régime de flux dans lequel notre balle évolue. Etant donné le nombre de Reynolds de notre étude $\gg 10^3$, nous obtiendrons une force de traînée \vec{F}_t égale à : . Où le coefficient de traînée (C_x) mesure la résistance d'un objet en mouvement dans un fluide, ce qui influence son efficacité aérodynamique. Le coefficient de portance (C_l) quantifie la capacité d'un objet à générer une force perpendiculaire au flux d'air, ce qui est essentielle pour la mise en sustentation de la balle on définit en général la portance telle quel.

Théorème de Bernoulli

Ensuite, le théorème de Bernoulli stipule que pour un fluide incompressible et non visqueux, l'énergie totale reste constante le long d'une ligne de courant. Ce principe est central pour comprendre les variations de pression et de vitesse autour de notre balle de golf lorsqu'elle est en mouvement. Il s'agit simplement d'une conservation de l'énergie mécanique.

Maintenant, nous pouvons parler de l'effet Magnus. Lorsque la balle est en rotation, l'air se déplace plus rapidement sur un côté de la balle et plus lentement de l'autre. Le théorème de Bernoulli nous dit alors qu'une différence de pression apparaît. Cette différence de pression génère une force perpendiculaire à la direction de déplacement définit tel quel.

Pour visualiser cette différence de pression et d'écoulement j'ai tracé les profils de de ces dernières autour de la balle, à l'aide de python. On observe bien cette accélération du fluide d'un côté de la balle. De même on observe bien, que du côté de la balle où le fluide est ralenti, la pression elle augmente, en accord avec le théorème de bernoulli

Le **curl** d'un champ vectoriel mesure la rotation du champ en chaque point. En aérodynamique, le curl est nécessaire pour analyser les champs de vitesse des fluides et comprendre la rotation locale du fluide autour des objets en mouvement.

- Il est utilisé pour déterminer la présence de tourbillons ou de zones de rotation dans un flux.
- En cartésien, il se calcule avec une matrice déterminant les dérivées partielles et les composantes du champ vectoriel.

Maintenant que nous avons introduit toutes les grandeurs qui interviendront dans notre étude, un peu d'histoire. Lors de l'invention des premières balle en coque plastique, les joueurs ont put remarquer que les leurs balles abîmés avaient tendance a être plus stable en vol tout en ayant une meilleure portée.

Ceci peut nous amener à faire certaines hypothèses sur le rôle joué par les alvéoles notamment :

- sur la Perturbation de l'écoulement
- sur l'Augmentation de la portance
- ainsi que la Réduction de la traînée

impact sur l'écoulement : alvéoles

En premier lieu voici une visualisation du curl, ou de la vorticité, au sein des alvéoles d'une balle de golf. On observe l'apparition de tourbillons au sein des alvéoles perturbant la couche limite, la rendant turbulente. D'après l'étude de Bearman, P. W., et Harvey, J. K. (1976). "Golf ball aerodynamics" une couche limite turbulente adhère à la surface de la balle plus longtemps avant de se séparer. Cela réduit la taille de la zone de basse pression derrière la balle, diminuant ainsi la traînée de pression. A contrario de la balle lisse où la couche laminaire se sépare plus tôt de la balle

impact sur l'écoulement : curl

De la même manière, j'ai adapté le projet python "stable fluid" de GregTj afin de tracer l'écoulement d'un fluide de même densité que l'air autour de différentes balles. La balle alvéolée montre une création de tourbillons plus importante dans la zone postérieure à elle. Ainsi qu'un écoulement de l'air plus stable, et une capacité à faire s'écouler l'air l'environnant bien plus importante que la balle lisse. En, effet les alvéoles semblent perturber le flux d'air et favorisent une couche limite turbulente. Ce qui nous amène aux mêmes conclusions que précédemment.

A l'aide du même projet nous avons tracer les distributions de pression autour de nos balles. Les alvéoles aident à créer une zone de haute pression sous la balle plus restreinte et localisée. Les effets combinés que nous venons d'observer contribuent à une réduction de la traînée ainsi qu'une amélioration de la portance

Augmentation de la portance : Expérience

Pour compléter notre compréhension de l'effet des alvéoles sur la portance, nous avons réalisé une expérience de visualisation de l'écoulement et de mesure de la portance. Cette image montre notre dispositif expérimental. A l'aide d'une soufflerie, on vient souffler sur notre balle en rotation pour y mesurer la portance générée par l'effet magnus à l'aide d'une balance.

Augmentation de la portance : exploitation des données et limites

On observe alors sur la balance une variation du poids du module, cependant cette dernière oscille entre des valeurs positives et négatives que ce soit pour la balle lisse ou alvéolée, alors qu'on devrait obtenir des valeurs nulles ou négatives qui viennent de la possible portance. Cette oscillation est très certainement due aux vibrations du matériel utilisé, ainsi que la qualité du module construit. On obtient tout de même des valeurs assez proches de celles attendus, mais pas de différences significatives entre les balles lisses et alvéolées, ceci ne nous permet pas de conclure.

Réduction de la traînée : expérience

Toujours dans une démarche de vérification de nos hypothèses et pour mieux comprendre l'effet des alvéoles sur la traînée, nous avons réalisé une expérience permettant de calculer le coefficient de traînée de nos balles. Cette image montre notre dispositif expérimental. A l'aide d'une soufflerie, on vient souffler sur notre balle placée en sustentation à l'aide d'un rail soufflant, une masse additionnelle peut être utilisée pour compenser le poids puisque le rail est incliné.

Réduction de la traînée : exploitation des données et limites

Nous avons réalisés des mesures pour les deux balles et obtenues des valeurs de 0,26 pour la balle lisse et 0,18 pour la balle de golf. Des valeurs plutôt proche de celles attendues. La différence perçue est principalement due à notre anémomètre ainsi que le manque de contrôle de l'environnement d'expérimentation. Cependant on obtient effectivement que la balle alvéolée possède un coefficient de traînée plus faible et donc une traînée moins importante. Ceci confirme nos hypothèses

Impact sur la portée et la stabilité : Trackman dispositif

Afin de finaliser notre étude il nous fallait un passage en condition réel. Pour mesurer l'impact des alvéoles sur la portée et la stabilité de la balle de golf, nous avons utilisé un dispositif Trackman. C'est un outil de mesure précis qui nous permet d'analyser en détail la trajectoire de la balle à l'aide d'un radar.

Impact sur la portée et la stabilité : Trackman exploitation des données

Les données recueillies par le Trackman nous ont permis d'exploiter les trajectoires et de comparer les performances des balles avec et sans alvéoles. On remarque des vitesses de club similaires pour toutes les balles, mais pas de résultats significatifs quand à la distance totale atteinte par les différentes balles. Nous avons vu tout au long de cet exposé que la balle alvéolé possédait des meilleures caractéristiques aérodynamiques que la balle lisse. Ainsi l'absence de résultats est majoritairement liée à la simulation même du trackman qui ne prends pas en compte le caractère lisse de la balle.

Conclusion

Au vu de tous ce qui a été étudié, il est clair que les alvéoles jouent un rôle non négligeables dans l'efficacité accrue des balles de golf. Nous avons montré que ces dernière avaient une traînée plus faible, et le contexte de leur utilisation montre également une meilleure stabilité en l'air, une portance accrue. Merci de m'avoir écouté.