

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN SCIENCES DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE

PAR
MICHEL CANTIN

LA PRÉCISION DU COUP DE DÉPART AU GOLF
EN FONCTION DE L'AJOUT D'UN TEE À CONTRE-ANGLE

MAI 1998

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire ou de cette thèse a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire ou de sa thèse.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire ou cette thèse. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire ou de cette thèse requiert son autorisation.

RÉSUMÉ

Le golf est un sport en constante évolution, et les compagnies en profitent pour inonder le marché avec de nouveaux articles tous plus coûteux les uns que les autres, cela dans l'unique but d'améliorer le pointage des joueurs. Cette étude se situe dans la même perspective et vise à déterminer quels sont les avantages pour le golfeur d'utiliser un tee supplémentaire à contre-angle pour frapper la balle lors des coups de départ.

Dans ce projet, nous avons procédé à la réalisation de trois expériences spécifiques pour comparer l'efficacité du support à deux tees à celui du tee traditionnel. La première expérience touchait les aspects cinématiques de la question et s'effectuait en laboratoire. La seconde servait à déterminer l'angle optimal que devait avoir le contre-tee pour engendrer une trajectoire optimale de la balle sans diminuer la distance totale parcourue. La dernière était davantage fonctionnelle et pratique, se déroulant sur le terrain avec des golfeurs.

Les résultats en laboratoire favorisent nettement l'utilisation de support à deux tees par rapport au tee traditionnel. Ils démontrent une réduction significative de la rotation négative (ou contre-rotation) de la balle ($F = 83,96$; $d.l. = 1,21$; $p < 0,01$). Plus spécifiquement, nous obtenons une diminution moyenne de 66 % des rotations négatives par rapport à l'emploi d'un seul tee. Nous notons également une diminution des rotations résiduelles de la balle ($F = 7,29$; $d.l. = 1,21$; $p < 0,05$). Finalement les résultats montrent que l'angle d'élévation, la hauteur de trajectoire maximale ainsi que la portée aérienne estimée sont significativement accrus par le recours à un support à deux tees.

Avec ces résultats très encourageants, nous avons procédé à la réalisation de la seconde expérience et avons pu déterminer l'angle de 53° par rapport à l'horizontale en tant qu'angle optimal. C'est avec cet angle que nous avons réalisé la troisième expérience avec des golfeurs possédant des handicaps variant de 2 à 7. Les résultats espérés ne se sont pas concrétisés, ceux-ci restant globalement comparables pour les deux types de supports.

Cette absence de différence peut être attribuable à de nombreuses variables non contrôlables comme le vent, la température et surtout, la régularité des joueurs.

Cette étude montre donc finalement que l'utilisation du support à deux tees n'est pas un avantage ou un inconvénient certain pour le bon golfeur. Par contre, l'effet d'accroissement démontré sur l'angle d'envol procure une meilleure portée aérienne, d'où l'intérêt de vérifier, dans un avenir rapproché, l'efficacité de distance du contre-tee auprès des golfeurs débutants et intermédiaires.

REMERCIEMENTS

Mes remerciements et toute ma gratitude vont à mon directeur de recherche, M. Jacques Dessureault, Ph.D, professeur au Département des sciences de l'activité physique (DSAP), pour son aide, son enthousiasme, sa patience et pour ses connaissances prodiguées afin de mener à terme ce projet de recherche.

J'adresse également mes remerciements à mon co-directeur, M. Louis Laurencelle, Ph.D, également professeur au DSAP, pour avoir orienté et critiqué de façon constructive mon projet de recherche ainsi que pour l'aide apportée à l'analyse des résultats.

De plus, je tiens à remercier M. Claude Brouillette, technicien en électronique au DSAP, pour son aide en laboratoire. Merci à M. Mario Bouchard, professionnel du club de golf Le Grand Portneuf, pour m'avoir permis d'expérimenter sur le terrain. Merci aux sujets ainsi qu'à tous les collaborateurs qui ont participé à la réalisation de toutes mes expérimentations. Merci à M. Sylvain Paquet, arpenteur géomètre, pour sa disponibilité et son expertise lors de la cueillette des résultats sur le terrain. Je veux remercier M. François Laurencelle, étudiant en physique à l'UQTR, pour le support informatique et mathématique qu'il m'a accordé. Merci également à M. Jean-Pierre Bilobeau et M. André Raymond pour leur aide technique au cours de ce projet.

Finalement, je tiens à remercier ma conjointe Nathalie, mes enfants ainsi que les membres de ma famille pour le support et la compréhension qu'ils m'ont accordés durant mes travaux universitaires.

TABLES DES MATIÈRES

	Page
RÉSUMÉ.....	ii
REMERCIEMENTS.....	iv
LISTES DES TABLEAUX.....	vii
LISTES DES FIGURES.....	x
 CHAPITRES	
I. INTRODUCTION.....	1
Problématique.....	3
Hypothèses.....	4
II. RECENSION DES ÉCRITS.....	5
III. EXPÉRIENCE I.....	8
Méthodologie.....	8
Matériel et appareillage.....	8
Plan de la recherche.....	10
Définition et mesure des variables.....	10
Déroulement de l'expérience.....	10
Résultats.....	11
Analyse des résultats.....	16
Discussion.....	23
IV. EXPÉRIENCE II.....	25
Méthodologie.....	25
Matériel et appareillage.....	25
Balles utilisées lors de l'expérimentation.....	26
Plan de la recherche.....	27
Déroulement de l'expérience.....	27

	Résultats.....	29
	Analyse des résultats.....	37
	Discussion.....	41
V.	EXPÉRIENCE III.....	43
	Méthodologie.....	43
	Sujets.....	43
	Appareillage.....	43
	Plan de la recherche.....	45
	Définition et mesure des variables.....	45
	Déroulement de l'expérience.....	46
	Résultats.....	47
	Discussion.....	54
VI.	DISCUSSION GÉNÉRALE.....	55
	Conclusion.....	58
	RÉFÉRENCES.....	60
	ANNEXES	
A.	Tableaux de résultats et de calculs.....	62
B.	Figures.....	72

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Page
1. Résultats comparatifs de l'utilisation du support traditionnel versus le support à deux tees.....	16
2. Moyennes (avec écarts-types) des valeurs mesurées et estimées pour les divers paramètres en fonction de l'utilisation d'un support à un ou deux tees et associées aux différents angles de bâton.....	17
3. Vitesse de la balle en fonction de l'angle du bâton et de l'utilisation ou non d'un contre-tee.....	20
4. Analyse de la variance de la rotation (spin) négative (en rpm) de la balle en fonction de l'angle du bâton et de l'utilisation ou non d'un contre-tee.....	20
5. Analyse de la variance de la rotation (spin) résiduelle (en rpm) de la balle en fonction de l'angle du bâton et de l'utilisation ou non d'un contre-tee.....	21
6. Analyse de la variance de l'angle initial d'élévation estimé (en degrés) de la balle en fonction de l'angle du bâton et de l'utilisation ou non d'un contre-tee.....	22
7. Analyse de la variance de l'apex (hauteur maximale en mètres) atteint par la balle en fonction de l'angle du bâton et de l'utilisation ou non d'un contre-tee.....	22
8. Analyse de la variance de la portée estimée (en mètres) de la balle en fonction de l'angle du bâton et de l'utilisation ou non d'un contre-tee.....	23
9. Présentation des deux variables indépendantes.....	28

10.	Caractéristiques des balles (n = 25) utilisées pour les expérimentations II et III.....	30
11.	Déviation moyennes et racines de l'écart quadratique moyen de la balle par rapport à la ligne médiane.....	32
12.	Distances parcourues par la balle, incluant la portée, la distance de roulement ainsi que la distance totale.....	35
13.	Moyennes des distances aériennes (en mètres) de la balle en fonction de l'angle du bâton et de l'utilisation ou non d'un contre-tee....	38
14.	Analyse de variance de la distance aérienne (Y) de la balle en fonction de l'angle du bâton et de l'utilisation ou non d'un contre-tee.....	38
15.	Moyennes des distances de roulement terrestre (en mètres) de la balle en fonction de l'angle du bâton et de l'utilisation ou non d'un contre-tee.....	39
16.	Analyse de variance de la distance terrestre (Y) de la balle en fonction de l'angle du bâton et de l'utilisation ou non d'un contre-tee.....	40
17.	Moyennes des distances totales (en mètres) de la balle en fonction de l'angle du bâton et de l'utilisation ou non d'un contre-tee...	40
18.	Analyse de variance de la distance totale (Y) de la balle en fonction de l'angle du bâton et de l'utilisation ou non d'un contre-tee.....	41
19.	Caractéristiques des sujets choisis.....	45
20.	Arrangement des séances expérimentales pour les 4 sujets.....	46
21.	Résultats moyens (en mètres) des coups de départ du sujet no 1	49
22.	Résultats moyens (en mètres) des coups de départ du sujet no 2	49

23.	Résultats moyens (en mètres) des coups de départ du sujet no 3	50
24.	Résultats moyens (en mètres) des coups de départ du sujet no 4	50
25.	Résultante aérienne moyenne (Y) et imprécision latérale (X)...	51
26.	Résultante totale moyenne (Y) et imprécision latérale (X).....	52
27.	Résultats des essais cinématographiques en laboratoire.....	63
28.	Liste et caractéristiques des 25 balles sélectionnées.....	64
29.	Résultats des coups de départ du sujet no 1.....	65
30.	Résultats des coups de départ du sujet no 2.....	66
31.	Résultats des coups de départ du sujet no 3.....	67
32.	Résultats des coups de départ du sujet no 4.....	68
33.	Méthode de calculs à partir des données brutes obtenues lors de l'expérimentation III.....	69
34.	Résultats de la recherche exclusive de Fishman (1990).....	71

LISTE DES FIGURES

Figure		Page
1.	Variables intervenant lors du coup de départ au golf.....	6
2.	Schéma de la définition des axes et des rotations.....	7
3.	Montage des points de repère sur la balle (# 1 à 5), le bâton (# 6) ainsi que le point fixe (# 7).....	13
4.	Graphiques des différents paramètres calculés.....	19
5.	Déviation latérale moyenne suite aux impacts effectués à 90°..	33
6.	Déviation latérale moyenne suite aux impacts effectués à 89°..	33
7.	Déviation latérale moyenne suite aux impacts effectués à 91,5°	34
8.	Variation de la distance aérienne de la balle frappée par l'impacteur selon l'angle du contre-tee, en fonction de l'angle de bâton.....	36
9.	Variation de la distance de roulement terrestre de la balle frappée par l'impacteur selon l'angle du contre-tee, en fonction de l'angle de bâton.....	36
10.	Variation de la distance totale de la balle frappée par l'impacteur selon l'angle du contre-tee, en fonction de l'angle de bâton.....	37
11.	Les premiers échantillons de tee utilisés.....	73
12.	Illustration d'un support à deux tees.....	74
13.	Illustration de l'impacteur.....	75
14.	Vue d'ensemble du montage expérimental.....	76
15.	Gabarits utilisés pour placer les balles aux angles voulus.....	76
16.	Compas servant à déterminer l'angle du bâton.....	77
17.	Vue sagittale de la balle avant l'impact (cinématographie).....	77

18.	Équipements servant à la digitalisation.....	78
19.	Système de repérage utilisé lors de l'Expérience II.....	78
20.	Reproduction à l'échelle des allées utilisées pour l'Expérience III	79

CHAPITRE I

Introduction

Le golf est un sport qui a connu une très forte hausse de popularité au cours des dernières années. Les compagnies en ont profité pour présenter aux golfeurs une multitude de nouveaux équipements destinés à améliorer leur qualité de jeu. Tout a été inventé, fabriqué et éprouvé. Les matériaux de la tige du bâton sont passés de l'acier au graphite, allégeant son poids et améliorant sa flexibilité. Les têtes de bâtons ont aussi subi plusieurs transformations : bois, plaqueminier, métal. Même la forme des têtes s'est considérablement transformée au fil des ans (Fishman, 1991). Les balles, quant à elles, n'ont subi qu'une seule modification majeure, à savoir l'utilisation d'un nouveau matériel de recouvrement, le balata, qui permet à la balle une plus grande rotation (Cook, 1991; Liebermann, 1990). Une seule pièce est demeurée à peu près intacte et n'a pas été repensée: c'est le tee. Quelles sont l'origine et l'utilité précise du tee? Lafaurie (1988) allègue que l'usage universel du tee date des années 40. Durant les premiers temps du golf, tel qu'il fut presque immuablement fixé au début du XIX^{ème} siècle, on prenait le départ du trou suivant à une longueur de bâton, puis à deux, de l'arrivée du trou précédent, et ce dans un simple creux sur une surface tondue un peu plus rase. Au fil des ans, on suréleva la balle grâce à un petit monticule de sable, généralement pris dans le trou qu'on venait de réussir (Sgroi, 1991). À la fin du siècle dernier, furent créées des cuillères creuses permettant au joueur de saisir toujours la même quantité de sable dans une boîte et de le façonner afin que la balle soit surélevée à une hauteur constante. Puis, vinrent les premiers tees en caoutchouc qui reproduisaient la forme de l'amas de sable. Chose curieuse, on avait inventé en même temps le tee actuel, mais il avait un autre usage. En effet, afin de ne pas égarer le petit socle

de caoutchouc sur lequel on posait désormais la balle, on l'attachait souvent par une ficelle à une sorte de clou enfoncé dans le sol, vingt ou trente centimètres plus loin (Figure 11, Annexe B). On ignore toujours qui eut le premier, l'idée de se servir du clou lui-même pour surélever la balle! Ce jour-là, le tee moderne était né, pointu au bout pour s'enfoncer dans le sol, évasé et encavé au sommet pour supporter la balle (Lafaurie, 1988).

Les publications indiquant son utilité nous permettent de voir qu'au début, la publicité faite sur le tee concernait uniquement l'accroissement de distance pour les coups de départ (Barclay, 1985). Aujourd'hui nous avons trouvé d'autres avantages à son utilisation. Tout d'abord, considérons que lorsqu'on place la balle sur le tee, c'est le seul moment de la partie où l'on choisit soi-même la position initiale pour la frapper. Le tee nous permet aussi de jouer avec ou contre le vent en surélevant ou en abaissant le tee. On peut aussi éviter des obstacles en plaçant le tee à un endroit stratégique sur le tertre de départ (Hutton, 1989).

La réglementation est presque inexistante quant à la forme que peut prendre un tee, hormis la directive de l'Association Américaine à l'effet qu'aucune substance étrangère ne peut être appliquée entre la balle et la tête du bâton au moment de l'impact (U.S.G.A., 1980).

C'est la venue du bois de départ " J'S Weapon ", lancé par la firme japonaise Bridgestone, qui nous a incités à nous questionner sur le sujet (Fishman, 1990). La "théorie" avancée par Bridgestone veut que la face profonde de la tête du bâton ainsi que sa partie frontale propulsent la balle en réduisant la rotation négative provoquée initialement par l'inclinaison de la tête du bâton (Cochran et Stobbs, 1968). L'effet de freinage de la balle en touchant le sol s'en trouverait atténué, permettant à celle-ci de rouler davantage et ainsi parcourir une plus grande distance suite au contact du sol.

Nous avons donc tenté de reproduire le même phénomène de réduction de rotation négative en modifiant l'angle du tee, pour en arriver à utiliser deux tees à la fois, l'un

normal en support droit et l'autre à contre-angle (Figure 12, Annexe B), afin de forcer la balle à basculer vers l'avant à l'impact.

Problématique

L'utilisation d'un support à deux tees influence présumément la direction et la distance parcourues par la balle lors d'un coup de départ au golf, grâce au contrôle de rotation apporté par le tee à contre-angle. Notre étude portera essentiellement sur les effets de rotation latérale et de rotation longitudinale (i.e. négative), ainsi que sur les modifications de trajectoire que peut subir la balle suite à l'impact. Étant donné l'absence de publications sur l'utilisation d'un support à deux tees, nous tenterons d'évaluer son utilité en répondant aux cinq questions suivantes. La rotation négative de la balle est-elle diminuée? Les rotations latérales sont-elles affectées? Quelles sont les modifications majeures de la trajectoire aérienne de la balle? Quelle est la précision résultante des coups? Enfin, la distance totale parcourue par la balle, incluant son roulement au sol, est-elle augmentée? Ces questions seront étudiées en trois expérimentations. D'une part, en laboratoire, nous procéderons à une analyse cinématographique qui permettra de répondre aux trois premières questions. Ensuite, sur le terrain, nous établirons l'efficacité du support à deux tees par deux expérimentations relatives aux deux dernières questions.

Hypothèses

Afin de répondre aux questions de notre problématique, les hypothèses suivantes apparaissent justifiées.

1. L'utilisation d'un support à deux tees lors de l'impact contribue à augmenter la précision du coup de départ au golf, en diminuant les effets de rotation longitudinale et latérale de la balle et en contrôlant son angle d'élévation.

Cette première hypothèse globale découle du jeu de plusieurs facteurs. D'abord, le contre-tee favorise un angle initial d'envol plus élevé de la balle ou, en tout cas, fait obstacle à un angle d'envol trop faible: cet effet augmente la portée aérienne de la balle, ce qui favorise une plus grande précision. De plus, la rotation négative (i.e. longitudinale anti-horaire) étant réduite, la balle "creusera" moins vers le bas, ce qui contribuera aussi à augmenter sa portée aérienne. Enfin la rotation latérale étant, elle aussi, présumément réduite, la balle "creusera" moins sur le côté, et les trajectoires aérienne et terrestre de la balle seront plus droites.

2. Il n'y a aucune perte sur la distance totale engendrée par l'utilisation du support à deux tees.

La réduction de la rotation négative, dans le cas d'un support à deux tees, favorisera en principe un roulement de la balle sur une plus grande distance; cet effet devrait au moins compenser la réduction de distance attendue en vertu d'une trajectoire aérienne d'angle plus élevé, amenant une perte de vitesse horizontale lors de l'impact.

CHAPITRE II

RECENSION DES ÉCRITS

Dans le contexte de la présente étude, nous avons pu vérifier parmi la grande quantité d'informations disponibles, qu'aucune recherche n'avait été effectuée, à ce jour, sur l'utilisation d'un contre-tee lors des coups de départ au golf. Bien entendu, on retrouve beaucoup de recherches fondamentales réalisées sur la mécanique de l'élan au golf, l'équipement, les trajectoires, les rotations, et bien d'autres. Nous appliquerons les résultats de ces recherches pour valider notre appareillage expérimental et ainsi mieux contrôler les différentes variables.

Mais avant de procéder à l'étude proprement dite, il apparaît important de faire une brève rétrospective des variables qui interviennent lors d'un coup de départ au golf. La Figure 1 présente une liste de ces variables.

La compréhension des divers éléments spécifiques au golf est essentielle à l'analyse et à la description des concepts véhiculés dans le présent mémoire. Avant de commencer, il est important de bien définir le système d'axes utilisé au cours de l'étude et qui a servi à déterminer les mouvements rotatoires de la balle. Comme une image vaut mille mots, la Figure 2 présente les axes et les rotations définis sur la balle.

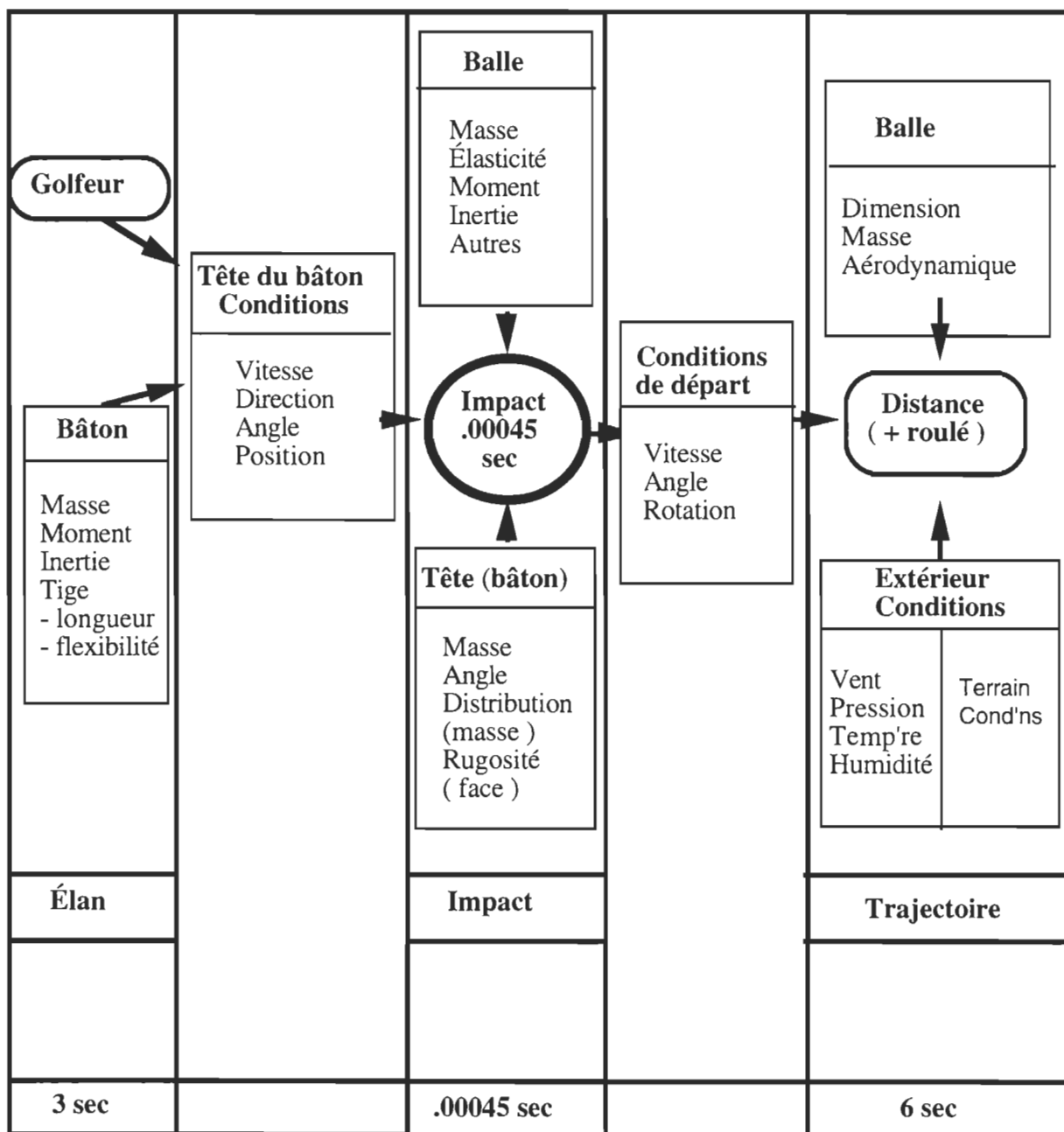


Figure 1. Variables intervenant lors du coup de départ au golf (Cochran,1990).

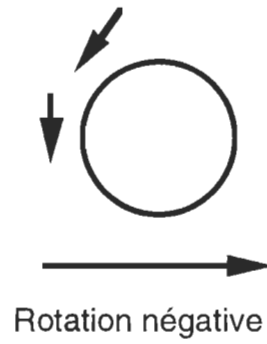
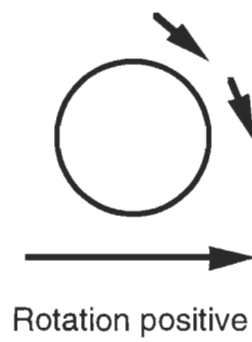
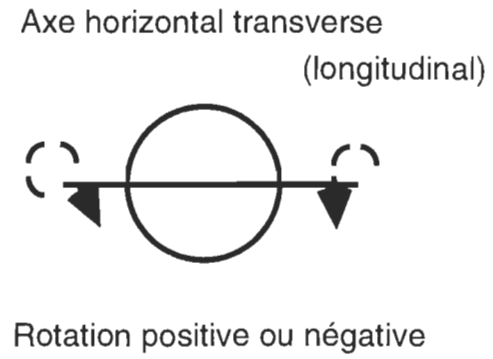
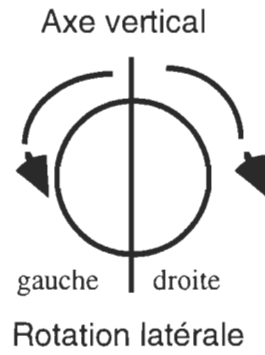


Figure 2. Schéma de la définition des axes et des rotations

CHAPITRE III

EXPÉRIENCE I

(Cinématique de la balle, en laboratoire)

La première expérience a pour but de vérifier, par cinématographie à haute résolution, s'il est vrai que la balle frappée sur un support à deux tees subit une rotation négative réduite et une trajectoire modifiée.

Méthodologie

Matériel et appareillage

Nous utilisons un impacteur fabriqué expressément pour la présente étude. L'appareil (Figure 13, Annexe B) est un système à deux pendules asservis reproduisant grossièrement un impact au golf. Ce système permet de varier la force et la vitesse d'impact au besoin, sous de sévères bornes cependant. On place le bâton, soit un RM-1000 avec une tige de marque Précision FM 6.5 et un balancement de type C-8, pour frapper la balle à angle droit. Avec notre compas artisanal (Figure 16, Annexe B), on peut varier l'angle de frappe de la tête du bâton. Nous ajoutons sur l'impacteur une barre stabilisatrice en bois, annulant ainsi la force centrifuge appliquée sur la tête du bâton et, par ricochet, ses mouvements vibratoires: de plus, le bâton est maintenu rigide annulant du même coup les forces d'inertie provenant du mouvement de rotation du bâton autour de son axe.

Nous utilisons des tees de deux longueurs; 57 mm (2 1/4 po) pour le tee en support droit et 70 mm (3 po) pour celui à contre-angle. Les tees sont piqués dans du polystyrène

d'une épaisseur de 50 mm (2 po). Un gabarit sert à positionner uniformément les deux tees aux angles désirés (Figure 15, Annexe B).

Nous utilisons la même balle pour tous les essais, soit une balle de marque Top-Flite XL^{II}. La balle est munie de deux rubans noirs croisés qui déterminent cinq points de repère. Ces points permettront de mesurer les positions successives et de calculer les rotations de la balle (Figure 3). Le bâton et la structure de soutien du bâton sont aussi marqués. De plus, nous déterminons de façon précise la position du centre de gravité par la technique d'immersion (dans l'eau) ce qui permet d'orienter la balle en position stable vers le bas.

Un signal de départ permet de déclencher simultanément la course du bâton vers la balle ainsi que le moteur d'une caméra destinée à enregistrer l'impact et l'envol de la balle au départ. Cette caméra, de type LOCAM 16 mm, est placée perpendiculairement au plan sagittal de l'impact bâton-balle (Figure 16, Annexe B). Une agglomération d'ampoules lumineuses totalisant 2000 watts sert à amplifier l'éclairage d'appoint. Pour les besoins de l'analyse des résultats, trois types de référence sont placés dans le champ de vision de la caméra : mesure-étalon, chronomètre et rapporteur d'angles. Une cible en polystyrène est placée à quelques mètres du point d'impact afin d'arrêter la balle. On utilise des films de type 4X réversibles, 400 pieds, noir et blanc avec double perforation (7278). Un numériseur de type CALCOMP 9100 sert à l'analyse des résultats obtenus sur pellicule. Un ordinateur Macintosh sert également à l'étude quantitative de ces résultats.

Plan de recherche

L'expérience consiste simplement à réaliser des impacts dans deux conditions comparées, soit avec le support à un tee ou celui à deux tees.

Définition et mesure des variables

Le type de support de la balle constitue ici la variable indépendante, soit le support traditionnel d'un tee droit ou le support à deux tees, impliquant l'ajout d'un tee à contre-angle, l'angle utilisé étant de 48° par rapport à l'horizontale.

La rotation latérale de la balle, sa rotation longitudinale et la trajectoire de la balle sont les principales variables dépendantes de cette première recherche.

L'angle de la tête du bâton attaché à l'impacteur est modifié à tour de rôle aux valeurs de 89° , 90° et $91,5^\circ$ par rapport à la trajectoire perpendiculaire.

Déroulement de l'expérience

La mise au point ainsi que la réalisation de l'expérience ont lieu au laboratoire de biomécanique humaine de l'Université du Québec à Trois-Rivières sous des conditions intérieures standards (Figure 14, Annexe B).

Dans la phase de mise au point, on ajuste la lentille (12,5 mm) de la caméra LOCAM d'après les résultats obtenus lors d'un test pilote. En évaluant la vitesse linéaire de la tête du bâton à l'impact à environ 8,5 m/s, on fixe le facteur d'obturation à 1/9 et la vitesse de la caméra à 500 images par seconde, ce qui donne un temps d'exposition de 1/4500, afin de réduire au maximum les effets de comète sur la balle. On positionne la tête du bâton à l'angle voulu avec l'aide du compas. De plus, on installe une butée qui permet

de relever la tête du bâton toujours à la même hauteur à l'arrière de la balle; ainsi, tous les impacts se reproduisent sous des conditions identiques. Avant chacun des essais, le système d'éclairage s'active.

Pour permettre à la caméra d'atteindre sa vitesse exacte au moment de l'impact bâton-balle, un signal verbal sert à synchroniser le départ de la caméra et le début du mouvement de pendule du bâton vers le bas et l'avant. L'expérimentateur compte à haute voix "1, 2, 3, GO". Au compte de "3", on actionne manuellement la caméra et à "GO" le bâton débute sa course vers la balle.

En résumé, un essai type se déroule comme suit. À l'aide du gabarit, on dépose la balle avec son centre de gravité vers le bas, soit sur un support droit conventionnel ou sur le support à deux tees avec un angle de 48° . La position de la balle nous permet de filmer toutes les marques installées sur son contour lors du tournage (Figure 17, Annexe B). On soulève le bâton vers l'arrière grâce au bras de levier et on l'immobilise contre la butée. On donne le signal de départ: "1, 2, 3, GO", ce qui permet de filmer le moment d'impact entre la tête du bâton et la balle dans des conditions stables. Par la suite, on repositionne la balle sur un autre support et on répète la même séquence.

RÉSULTATS

Nous présentons d'abord la procédure pour extraire et traiter les données obtenues sur pellicule, puis les résultats proprement dits.

Premièrement, il faut extraire les divers paramètres à partir des cinq points déterminés sur la balle, ainsi que les deux autres, l'un fixé au bâton de golf et l'autre sur la structure de support. Pour ce faire, on projette le film de l'expérimentation sur une tablette digitale (Figure 18, Annexe B). Pour chaque essai, la numérisation des sept points de chaque image est effectuée, cinq provenant de la balle, un du bâton et l'autre de la structure

fixe (Figure 3). Par la suite, les données sont imprimées comme des résultats numériques et permettent de calculer les nombreux paramètres liés aux mouvements propres de la balle et à sa trajectoire. Les paramètres retenus, avec leurs unités de mesure sont:

- La vitesse du film (images/s);
- La vitesse de la balle (m/s);
- La rotation négative (back spin) (rpm);
- La rotation résiduelle (rpm);
- L'angle d'élévation de la balle (degrés);
- La hauteur maximale de trajectoire (m);
- La portée aérienne de la balle (m);
- La vitesse linéaire de la tête du bâton (m/s).

Notons enfin que tous les points sont rapportés (par soustraction) au point 7, une référence fixe placée sur la structure de l'impacteur; les points 1 et 4 (sur la balle) et 6 (sur la tête du bâton) sont des points cartésiens avec un substrat physique correspondant, alors que les points 2, 3 et 5 sont des points cartésiens virtuels, mesurés à l'horizon de la balle et servant principalement à estimer ses diverses rotations (Figure 3).

Voici les différents calculs que nous devons faire à partir des points numérisés sur la balle afin d'obtenir les résultats du Tableau 1.

Le temps réel obtenu des marques inscrites sur le film à l'aide d'un générateur de temps sert pour standardiser les durées et les vitesses.

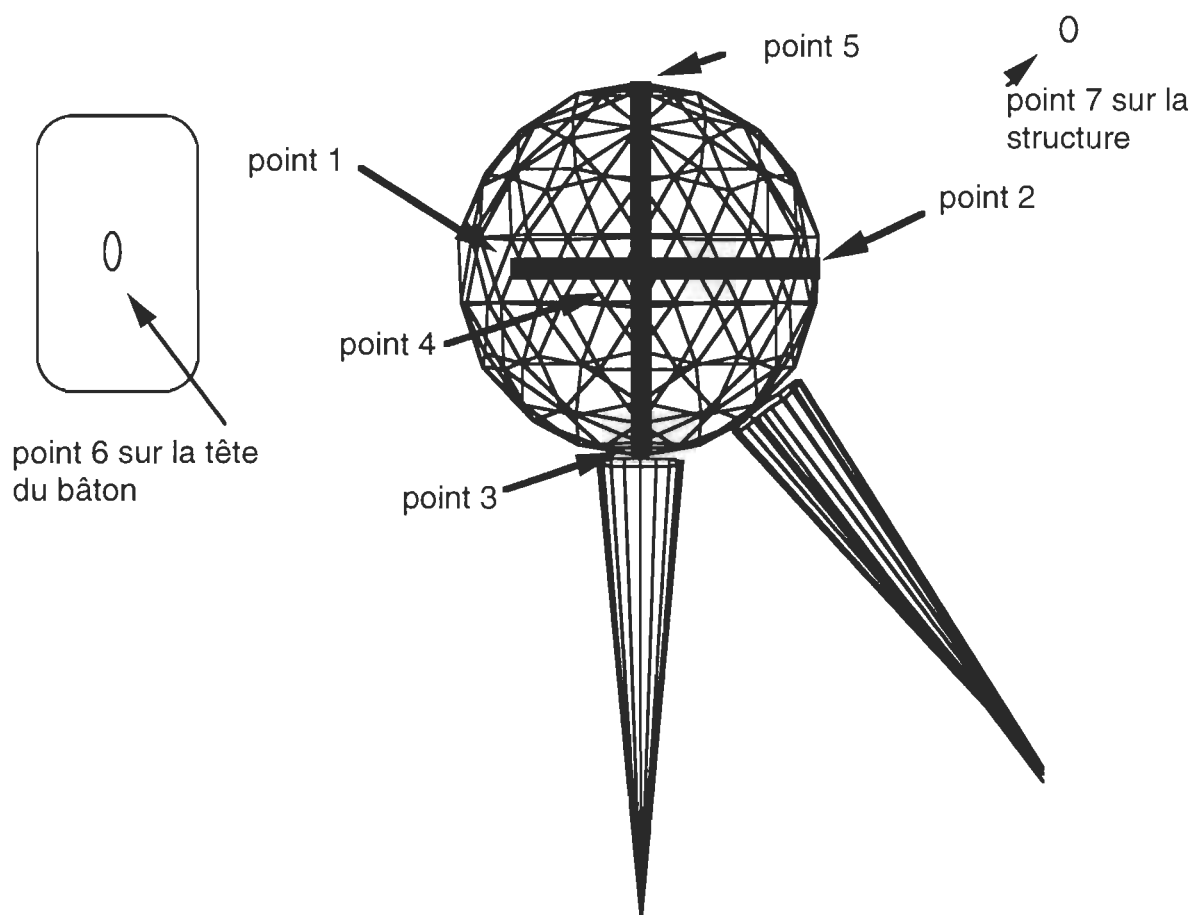


Figure 3. Montage des points de repère sur la balle (# 1 à 5), le bâton (# 6) ainsi que le point fixe (# 7).

Un dernier point, le point 8, indique le centre géométrique de la balle; on l'obtient en faisant la médiane des points 3 et 5.

Pour obtenir la vitesse de la balle immédiatement après l'impact, le déplacement du centre de la balle (point 8) est déterminé en distance cartésienne, et il est possible d'en obtenir la vitesse moyenne lors de l'impact.

On évalue la rotation négative de la balle par son déplacement rotatoire dans le plan Z à partir des points 3 et 5. À partir des déplacements horizontaux (X : longueur de la trajectoire) et verticaux (Y : hauteur) de la balle, nous pouvons estimer sa rotation à l'aide

de l'équation suivante: on prend les déplacements en Y (hauteur) et en X (longueur de la trajectoire) d'une image à l'autre, puis on estime la rotation par l'équation, $\tan^{-1} (\Delta X / \Delta Y) - \pi / 2$ en radians: la variation angulaire moyenne est ensuite exprimée en révolutions par minute (rpm). Il faut préciser que pour la présentation des résultats, les rpm sont inscrites en valeurs absolues, bien que la variation angulaire observée soit négative.

Par rotation résiduelle, nous désignons le mouvement rotatoire de la balle hors du plan sagittal, c'est-à-dire sa rotation en profondeur dans l'axe de la caméra. On estime le mouvement en profondeur par l'écart entre la position du bout du ruban horizontal sur la balle (point 1) et le centre géométrique de la balle, ce qui, en utilisant le rayon réel de la balle comme référence, nous permet d'estimer l'angle formé par l'intersection de la croix et son déplacement d'une image à l'autre. Cette mesure, estimée comme la précédente, est aussi donnée en révolutions par minute (rpm). Il faut préciser que, pour la présentation des résultats, on inscrit le nombre en valeur absolue alors que la variation angulaire observée est négative.

Le profil de la trajectoire suivie par la balle est obtenu à l'aide des équations régissant le mouvement des corps en chute libre. Les facteurs suivants servent à estimer cette trajectoire: vitesse moyenne (et non instantanée) de la balle suite à l'impact, le temps, la distance horizontale et l'élévation sur la cible de polystyrène au moment de l'impact. Il faut noter que l'utilisation de la vitesse moyenne, plutôt que la vitesse ponctuelle initiale, aboutit à une sous-estimation du paramètre de vitesse initiale. À partir de l'équation de trajectoire ainsi déterminée, nous dégageons l'angle initial d'envol (en degrés), la hauteur maximale atteinte par la balle (en mètres), ainsi que la portée aérienne totale (en mètres).

Les déplacements en X et Y dans le plan Z servent à estimer la vitesse linéaire de la tête du bâton le long d'un polygone inscrit dans le cercle de rotation; cette mesure est ensuite corrigée par un facteur léger pour déterminer la vitesse de rotation circulaire réelle du bâton, en mètres par seconde (m/s).

L'expérimentation s'effectue comme suit: une première série de 10 essais avec la tête du bâton à 90° , une seconde également de 10 essais à 89° et une dernière série de 7 essais à $91,5^\circ$. À 90° et 89° , on réalise 5 essais avec un tee traditionnel et 5 autres en ajoutant un tee à contre-angle de 48° par rapport à l'horizontale. À $91,5^\circ$ par contre, seulement deux essais sont suffisamment visibles sur le film pour extraire les données digitalisées avec les deux tees (Tableau 27, Annexe A). La valeur de chaque paramètre étudié est estimée pour chaque essai.

Le Tableau 1, qui donne un synopsis des résultats sur les effets du contre-tee, montre que, nonobstant une vitesse de bâton légèrement supérieure, la vitesse de la balle à l'impact diminue avec l'utilisation du support à deux tees, ainsi que les rotations négatives et résiduelles qui elles, sont considérablement réduites suite à l'ajout du tee à contre-angle. De plus, ce double support accroît l'angle d'envol de la balle, la hauteur maximale ainsi que la distance aérienne estimée. Globalement, on peut dire que le support à deux tees affecte positivement la trajectoire ainsi que les mouvements de rotation de la balle lors de l'impact.

Une analyse plus détaillée des résultats est nécessaire afin de justifier ces conclusions. C'est justement l'objet de la section suivante.

Tableau 1

Résultats comparatifs de l'utilisation du support traditionnel versus le support à deux tees

	1 tee	2 tees
Le bâton		
Vitesse linéaire du bâton (m/s)	8,67	8,88
La balle		
Vitesse de la balle au départ (m/s)	14,03	13,80
Les rotations négatives (rpm)	340,27	129,53
Les rotations résiduelles (rpm)	284,79	203,01
La trajectoire		
Angle d'envol (degrés)	13,11	19,28
La hauteur maximale ou Y max (m)	0,52	1,06
La distance aérienne (m)	8,87	12,09

Analyse des résultats

Les résultats obtenus à chaque essai pour chacun des angles de bâton (89°, 90°, 91,5°) avec l'utilisation d'un ou de deux tees (Tableau 2), donnent lieu à une analyse de variance à plan A X B pour chaque paramètre étudié.

Tableau 2

Moyennes (avec écarts-types) des valeurs mesurées et estimées pour les divers paramètres en fonction de l'utilisation d'un support à un ou deux tees et associées aux angles de bâton

Paramètre	Support	Tête du bâton		
		89°	90°	91,5°
Vitesse de la balle (m/s)	1 tee	14,11	13,93	14,05
		(0,50)	(0,44)	(0,36)
	2 tees	13,77	14,02	13,33
		(0,51)	(0,43)	(0,24)
Rotation négative (rpm)	1 tee	398,54	413,20	209,08
		(32,04)	(13,13)	(52,77)
	2 tees	169,54	116,56	61,95
		(122,25)	(43,75)	(21,99)
Rotation résiduelle (rpm)	1 tee	204,58	306,44	343,34
		(117,77)	(35,06)	(95,22)
	2 tees	156,04	218,40	234,60
		(45,44)	(75,83)	(23,19)
Angle d'envol de la balle (degrés)	1 tee	13,52	13,46	12,34
		(0,57)	(0,31)	(0,36)
	2 tees	19,76	18,96	19,15
		(0,63)	(0,82)	(0,78)
Hauteur maximale (m)	1 tee	0,55	0,53	0,46
		(0,01)	(0,02)	(0,01)
	2 tees	1,11	1,05	0,98
		(0,04)	(0,06)	(0,04)
Portée aérienne (m)	1 tee	9,21	8,97	8,43
		(0,38)	(0,48)	(0,22)
	2 tees	12,27	12,25	11,24
		(0,60)	(0,46)	(0,01)

Les résultats apparaissant au Tableau 2 sont un bon reflet de ce que l'on retrouve dans la littérature, ce qui nous permet de croire que l'impacteur répondait adéquatement aux diverses conditions expérimentales.

Lors d'une recherche effectuée par Cochran et Stobbs (1968), il est fait mention que lorsqu'on tourne la face du bâton vers la droite (ouvert à 89°), on augmente l'inclinaison de la tête du bâton et conséquemment la hauteur de projection de la balle; simultanément, il y a augmentation de la quantité de rotation négative de la balle. D'autre part, le fait de tourner la tête du bâton vers la gauche (fermé à $91,5^\circ$) réduit l'inclinaison de la tête du bâton, et ainsi la balle est propulsée plus bas, réduisant de plus les rotations négatives. Les auteurs stipulent également que c'est le bâton et non le joueur qui donne de la rotation à la balle, étant donné qu'elle est frappée obliquement en raison du degré d'inclinaison de la face du bâton. Cette rotation appliquée à la balle produit l'effet d'élévation, tendant à combattre l'effet de la gravité. Ils ont démontré qu'un angle de 20° était l'angle idéal d'envol lors des coups de départ, avec une vitesse de rotation de 60 rpm. Pour ce qui est des rotations résiduelles, ils précisent que les coups avec courbe d'un côté ou de l'autre de la ligne médiane pendant l'envol sont dus au fait que le joueur applique un effet de rotation à la balle. Cet effet est appliqué de la même façon que l'effet de rotation inverse, c'est-à-dire que la face du bâton à l'impact n'a pas été placée à 90° dans la direction de la cible. Il peut y avoir une combinaison des deux rotations, soit inverse et de côté; ceci provoque un effet de rotation inclinée. Plus l'effet de côté est grand, plus la rotation inclinée se rapproche de l'horizontale. On peut constater que nos résultats se rapprochent de cette description même si, avec notre impacteur la vitesse moyenne du bâton à l'impact n'était que de 8,7 m/s. Les graphiques de la Figure 4 font voir les résultats qui apparaissent au Tableau 2.

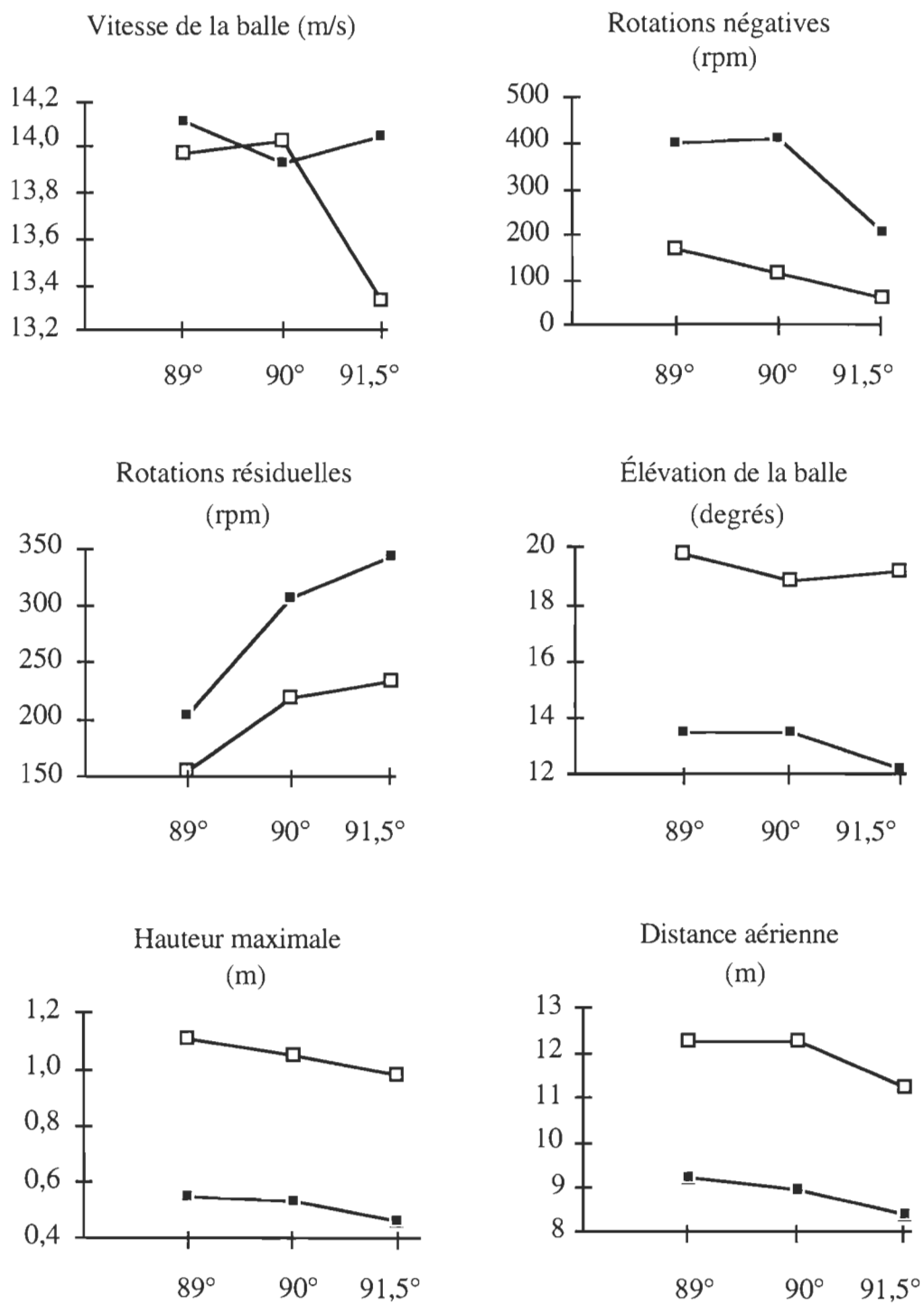


Figure 4. Graphiques des différents paramètres calculés (■ essais avec un seul tee, □ essais avec deux tees).

Tableau 3

Vitesse de la balle en fonction de l'angle du bâton et de l'utilisation ou non d'un contre-tee

Source de variation	Degrés de liberté	Carré moyen	F
Tees (A)	1	0,696	3,540
Angles (B)	2	0,211	1,073
A x B	2	0,328	
Intragroupe	21		

Tableau 4

Analyse de la variance de la rotation (spin) négative (en rpm) de la balle en fonction de l'angle du bâton et de l'utilisation ou non d'un contre-tee

Source de variation	Degrés de liberté	Carré moyen	F
Tees (A)	1	335274,16	83,964**
Angles (B)	2	57111,52	14,303**
A x B	2	11210,37	2,807
Intragroupe	21		

** $p < 0,01$

L'analyse de variance révèle que la vitesse de la balle n'est pas influencée par l'ajout d'un contre-tee, ni par l'angle de frappe de la tête du bâton (Tableau 3).

La contre-rotation de la balle frappée est réduite de façon significative et substantielle par l'utilisation du contre-tee (Tableau 4: $F = 83,964$; $d.l. = 1,21$; $p < 0,01$):

Tableau 5

Analyse de la variance de la rotation (spin) résiduelle (en rpm) de la balle en fonction de l'angle du bâton et de l'utilisation ou non d'un contre-tee

Source de variation	Degrés de liberté	Carré moyen	F
Tees (A)	1	44579,57	7,288*
Angles (B)	2	28078,80	4,590*
A x B	2	1870,93	< 1
Intragroupe	21	6117,19	

* $p < 0,05$

elle est d'environ 340 rpm pour un seul tee et chute à 116 rpm avec deux tees, une réduction des deux tiers dans le nombre de révolutions par minute. L'angle croissant du bâton entraîne aussi une réduction significative de la rotation négative ($F = 14,303$; $d.l. = 2,21$; $p < 0,01$). La Figure 4 fait voir ces résultats.

La rotation résiduelle de la balle, c'est-à-dire son mouvement rotatoire dans l'axe perpendiculaire au plan de sa trajectoire, est réduite significativement par l'ajout d'un contre-tee (Tableau 5: $F = 7,288$; $d.l. = 1,21$; $p < 0,05$). La diminution de 284,79 rpm à 203,01 rpm, en moyenne, varie quelque peu d'une condition d'angle à l'autre, comme le montre la Figure 4. D'autre part, la rotation en profondeur de la balle augmente avec l'angle de bâton ($F = 4,590$; $d.l. = 2,21$; $p < 0,05$).

L'utilisation d'un tee à contre-angle augmente l'angle d'élévation de la balle, qui passe en moyenne de $13,11^\circ$ à $19,26^\circ$ (Tableau 6: $F = 747,061$; $d.l. = 1,21$; $p < 0,01$). Il y a aussi une légère chute moyenne de cet angle d'élévation quand le bâton passe de 89° à $91,5^\circ$ ($F = 5,199$; $d.l. = 2,21$; $p < 0,05$).

Tableau 6

Analyse de la variance de l'angle initial d'élévation estimé (en degrés) de la balle en fonction de l'angle du bâton et de l'utilisation ou non d'un contre-tee

Source de variation	Degrés de liberté	Carré moyen	F
Tees (A)	1	252,151	747,061**
Angles (B)	2	1,755	5,199*
A x B	2	1,006	2,981
Intragroupe	21	0,338	

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$

Tableau 7

Analyse de la variance de l'apex (hauteur maximale en mètres) atteint par la balle en fonction de l'angle du bâton et de l'utilisation ou non d'un contre-tee

Source de variation	Degrés de liberté	Carré moyen	F
Tees (A)	1	1,896	1605,732**
Angles (B)	2	0,027	22,968**
A x B	2	0,001	< 1
Intragroupe	21	0,001	

** $p < 0,01$

Tableau 8

Analyse de la variance de la portée estimée (en mètres) de la balle en fonction de l'angle du bâton et de l'utilisation ou non d'un contre-tee

Source de variation	Degrés de liberté	Carré moyen	F
Tees (A)	1	62,017	327,281**
Angles (B)	2	2,095	11,055**
A x B	2	0,111	< 1
Intragroupe	21	0,189	

** $p < 0,01$

Comme pour la portée horizontale, l'apex de la trajectoire de la balle augmente fortement par l'ajout d'un contre-tee, passant en moyenne de 0,51 m à 1,05 m (Tableau 7: $F = 1605,732$; $d.l. = 1,21$; $p < 0,01$). On retrouve aussi un effet semblable de l'angle du bâton ($F = 22,968$; $d.l. = 2,21$; $p < 0,01$), comme le montre la Figure 4.

La portée de la balle frappée est significativement et fortement accrue par l'utilisation d'un contre-tee, passant globalement de 8,87 m à 11,92 m (Tableau 8: $F = 327,281$; $d.l. = 1,21$; $p < 0,01$). Aussi, comme on le voit à la Figure 4, l'angle du bâton influence la portée ($F = 11,055$; $d.l. = 2,21$; $p < 0,01$).

DISCUSSION

Les résultats de cette première expérience, basés sur une cinématographie à haute résolution, montrent globalement des avantages à l'utilisation d'un tee supplémentaire à contre-angle, par rapport au tee conventionnel. La réduction des rotations négatives, la

diminution des rotations résiduelles, l'augmentation de l'angle d'envol, la hauteur de trajectoire maximale ainsi que la portée estimée sont tous des paramètres que le contre-tee a favorisés en laboratoire.

Ces résultats incitent donc à poursuivre l'expérimentation afin de tenter de déterminer s'il est possible de retrouver les mêmes avantages avec des golfeurs, dans des conditions où les variables ne sont pas toutes contrôlées.

Une conclusion générale sera produite à la fin de nos trois expériences.

CHAPITRE IV

EXPÉRIENCE II

(L'effet du tee à contre-angle en interaction avec
l'angle de frappe du bâton)

Cette seconde expérience a deux buts: vérifier si le tee à contre-angle amortit les effets adverses occasionnés par un angle de frappe oblique et déterminer l'angle que doit avoir le contre-tee afin d'améliorer la trajectoire de la balle.

Méthodologie

Matériel et appareillage

L'expérimentation avec l'impacteur a lieu à l'extérieur, sur une pelouse résidentielle. Un compas (Figure 16, Annexe B) de fabrication artisanale sert à positionner la tête du bâton à l'angle désiré; il sert également à déterminer une ligne médiane (axe des Y) qui passe par le centre de la balle et qui se prolonge perpendiculairement sur une distance de 25 mètres. À partir de cette ligne, on installe une corde permanente placée parallèlement à 2,75 mètres du centre, ce qui nous permet de mesurer une déviation en X par rapport à la médiane. De cette corde permanente, on place perpendiculairement deux repères mobiles, l'un à 7,5 m et l'autre à 15 m du point de départ, afin de mesurer le point de contact de la balle avec le sol ainsi que la distance totale parcourue par la balle (Figure 19, Annexe B). On retire les cordes mobiles lors des essais et on les redéploie pour la prise de mesure. Deux séries de clous de couleurs différentes, numérotés de 1 à 15, servent à marquer

l'endroit du contact de la balle sur le sol ainsi que la fin du roulement. On utilise deux rubans à mesurer métriques ainsi que le gabarit qui nous permet la pose uniforme des deux tees; le tee plus court mesure 57 mm (2 1/4 po) et le plus long, utilisé à contre-angle, mesure 70 mm (3 po).

Balles utilisées lors de l'expérimentation

Les balles utilisées sont de marque Spalding (Top-Flite XL^{II}) avec une enveloppe de type syrlin. Nous avons estimé le coefficient de restitution (Couture, 1981) en laissant tomber la balle d'une hauteur de 2 m sur une surface uniforme de béton. On mesure la hauteur de rebond à 5 reprises pour chacune des balles, afin de déterminer le pourcentage de rebondissement. Au Tableau 10 de la section des résultats, figurent les paramètres mesurés lors des tests servant à déterminer le coefficient de restitution, la distribution de masse, le diamètre et la masse des balles.

Le test de distribution de masse consiste à plonger la balle dans une solution d'eau suffisamment saturée en chlorure de sodium (NaCl) pour permettre à une partie de la balle d'émerger au-dessus de la surface de l'eau. On donne un mouvement de rotation à la balle. Après un certain laps de temps, la balle devient immobile et on marque la partie émergée de la balle d'un point rouge. La balle est de nouveau mise en mouvement. On mesure le temps pris pour parvenir à l'immobilité complète. Un point rouge est de nouveau marqué sur la balle à la partie émergée. On réalise trois essais de ce genre avec chacune des balles devant servir à notre étude. Si le point rouge émerge à chacun des essais, cela veut dire que le centre de gravité pointe vers le bas. On élimine toutes les balles ayant un temps de stabilisation inférieur à 45 secondes et toutes celles ayant plus d'un point rouge.

Nous prenons les mesures de diamètre de la balle à l'aide d'un micromètre métrique pouvant présenter des lectures au millième près, la masse de chaque balle étant mesurée à l'aide d'une balance électronique.

Plan de recherche

Le plan de cette recherche est de type factoriel à deux facteurs: l'angle entre les deux tees est une première variable indépendante, et la seconde est l'angle de frappe de la tête du bâton. Ainsi cinq valeurs d'angle entre les tees et trois angles de frappe de la tête du bâton à l'impact (Tableau 9) sont retenus pour fins d'analyse.

Déroulement de l'expérience

Cette expérience s'est déroulée le 1^{er} juillet 1994, de 9 à 16 heures. La température extérieure est de 26 degrés Celsius, avec un vent très léger. Avant de débiter, nous tondons la pelouse pour que celle-ci soit uniforme. Par la suite, nous procédons aux dernières retouches sur l'impacteur afin de reconstituer un fonctionnement identique à celui utilisé en laboratoire. La tête du bâton est placée à 90 degrés, un seul tee servant au premier essai. La marque rouge sur la balle pointe toujours vers le haut, ainsi le centre de gravité pointe vers le bas. Un total de 15 essais pour chacun des angles sont réalisés, ce qui donne 75 essais (15 x 5) pour une série avec la tête du bâton avec un angle de 90 degrés. Pour les 3 angles de bâtons différents, nous réalisons un total de 225 essais. L'expérimentation se déroule normalement avec des périodes de repos adéquates pour l'équipe expérimentale. Nous recueillons les données à partir des clous numérotés après chaque série de 15 essais.

Tableau 9
Présentation des deux variables indépendantes

Angle du tee à contre-angle	X	Angle de frappe du bâton
58°		
53°		89°
48°		90°
43°		91,5°
(0)		

Légende: L'angle du tee à contre-angle est déterminé par rapport à l'horizontale et la base du tee (Le chiffre (0) représente un seul tee).

Pour chacun des essais, quatre personnes sont attitrées à des fonctions particulières. Un premier agent place les tees à l'angle voulu en utilisant le gabarit, un autre place le tout en position pour être frappé sur l'impacteur. Le troisième agent soulève le bâton à une hauteur préétablie à l'aide du bras de levier et le dernier marque avec deux clous numérotés le point de chute de la balle et la fin de sa course.

Le même principe se répète lors de la prise des résultats: un agent tient les deux bouts des rubans à mesurer au-dessus d'un clou numéroté, un second donne verbalement la distance parcourue par la balle en Y, un troisième indique la déviation en X et le dernier inscrit les résultats.

RÉSULTATS

Nous présentons d'abord la procédure suivie pour l'extraction et le traitement des données sur les balles ainsi que leurs trajectoires, puis les résultats proprement dits.

Dans un premier temps, nous expliquons le processus de sélection des balles utilisées pour nos expérimentations II et III. Il faut noter que sur les 52 balles de type Top-Flite XL^{II} évaluées au départ, 18 balles ont été éliminées suite au test de stabilisation, ainsi qu'à celui de distribution de la masse: 12 à cause d'un délai de stabilisation inférieur à 45 secondes, et 6 autres qui n'arrivaient pas à se stabiliser convenablement d'un essai à l'autre. Avec les 34 balles restantes, nous procédons au test de rebond, avec 5 essais par balle. Nous mesurons ensuite leurs diamètres à 5 reprises et enfin les balles sont pesées à trois reprises. Pour les trois derniers paramètres, nous calculons la moyenne pour chaque balle. Nous confrontons ces résultats au manuel des règlements (U.S.G.A., 1980) concernant la grosseur et le poids des balles de golf. Les valeurs de référence doivent être respectées: la balle ne doit pas avoir un diamètre inférieur à 42,67 mm et un poids supérieur à 54,93 gr. Pour finaliser le choix des balles, un processus d'élimination par les extrêmes est appliqué en priorisant le poids, le pourcentage de rebond et enfin le diamètre. Les 25 balles réglementaires sont ainsi retenues (Tableau 28, Annexe A) et deux balles de remplacement sont de plus sélectionnées par mesure de réserve. Le Tableau 10 présente les caractéristiques des balles retenues.

Le premier but de cette seconde expérimentation est de vérifier si le tee à contre-angle amortit les effets adverses (coup en crochet) occasionnés par un angle de frappe oblique. Selon Cochran et Stobbs (1968), il existe des effets mécaniques qui sont reliés aux coups en crochet. Trois causes peuvent être à l'origine de ces coups en crochet. Elles sont indépendantes l'une de l'autre mais elles peuvent aussi agir ensemble. Ce sont:

Tableau 10
Caractéristiques des balles (n = 25) utilisées pour les expérimentations II et III

	Rebondissement (%)	Stabilisation (sec)	Diamètre (mm)	Poids (gr)
\bar{X}	70,86	57,46	42,69	45,41
s_x	0,04	2,29	0,02	0,13

Légende: \bar{X} ; moyenne, s_x ; écarts-types

1. Coup hors-centre: la balle est frappée en un autre point que le centre de la face du bâton (centre de percussion).
2. Élan hors-ligne: balancer la tête du bâton à travers la balle dans une autre direction que la ligne voulue.
3. Face non alignée: Frapper la balle avec la face du bâton qui est dirigée vers une autre direction que sur la ligne d'élan.

Pour cette expérimentation, l'impacteur frappe la balle à une vitesse moyenne de 8,75 m/s; l'impact se produit au centre de la tête du bâton et toujours en direction de la ligne médiane du terrain. À 90 degrés, la ligne de frappe se maintient; mais à 89 et 91,5 degrés, la balle se dirige directement soit à droite ou à gauche du centre. C'est pour cette raison que lors de l'analyse des résultats, l'écart latéral entre la ligne médiane et la trajectoire de la balle est enregistré. Seule la trajectoire aérienne de la balle est examinée, car la surface de roulement n'est pas toujours uniforme, ce qui accroît l'imprécision de la mesure. De plus, il faut noter qu'avec un impact non aligné et une vitesse réduite, les propriétés aérodynamiques et les caractéristiques élastiques de la balle ne sont guère comparables à la réalité d'un vrai coup de départ.

Les données du Tableau 11 ainsi que celles du Tableau 12 ont été obtenues de la façon suivante; après chaque série de 15 essais, la déviation latérale (en X) de la balle a été mesurée à une borne située à 2,75 m de la ligne médiane et nous soustrayons cette grandeur de la mesure obtenue pour déterminer la position réelle de la balle par rapport à la médiane. En Y par contre, nous installons nos repères mobiles à 7,5 ainsi qu'à 15 mètres. Le premier repère nous aide à mesurer le point de chute de la balle tandis que le second nous approche de la fin du roulement. La portée aérienne de la balle et son roulement terrestre, une fois additionnés, indiquent la distance totale parcourue .

À partir de ces résultats, on trace un graphique représentant la déviation en X pour chacun des angles de frappe de la tête du bâton, soit 90° , 89° et $91,5^\circ$.

La Figure 5 montre que l'utilisation d'un contre-tee à 48° ou 53° semble produire des déviations latérales moyennes inférieures au tee traditionnel. En effet, l'écart entre la ligne médiane et les résultats obtenus semble réduit lorsqu'on les compare au tee traditionnel ainsi qu'aux tees à contre-angle de 58° et 43° . La mesure de REQM, qui nous informe de la dispersion des corps individuels autour de la ligne médiane, ne donne aucun avantage aux angles et il est de même pour ce qui concerne l'utilisation d'un contre-tee.

Lorsque l'impact s'effectue à 89° , l'angle du contre-tee à 53° (0,16 m) est le seul à donner des résultats supérieurs au tee traditionnel (0,25 m); ce résultat est aussi confirmé par la mesure de dispersion moyenne des coups qui montre une valeur de 0,24 m (Figure 6 et Tableau 11).

Avec un angle de frappe à $91,5^\circ$, la Figure 7 montre que l'utilisation d'un seul tee surpasse légèrement les autres conditions quant à la précision des coups, les données de REQM, au Tableau 11, confirmant globalement cette conclusion.

Tableau 11

Déviations moyennes et racines de l'écart quadratique moyen de la balle par rapport à la ligne médiane.

Bâton (degrés)	Tee (degrés)	Aérienne (m)	REQM (m)
90	(0)	0,06	0,18
	43	0,08	0,38
	48	-0,03	0,31
	53	0,02	0,23
	58	-0,09	0,17
89	(0)	0,25	0,30
	43	0,36	0,48
	48	0,34	0,38
	53	0,16	0,24
	58	0,31	0,37
91,5	(0)	-0,09	0,27
	43	-0,18	0,33
	48	-0,28	0,33
	53	-0,11	0,28
	58	-0,10	0,23

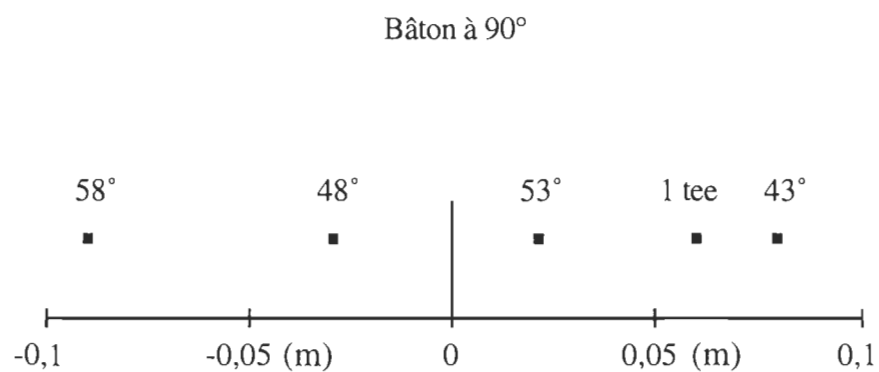


Figure 5. Déviations latérales moyennes suite aux impacts effectués à 90° (n=15).

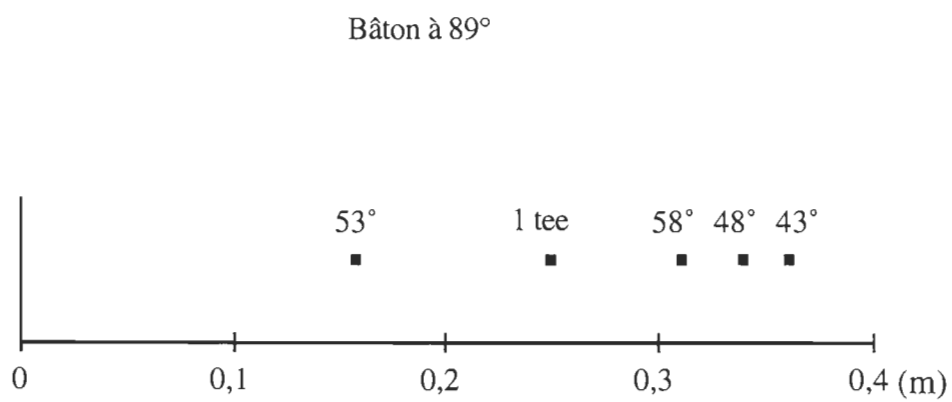


Figure 6. Déviations latérales moyennes suite aux impacts effectués à 89° (n=15).

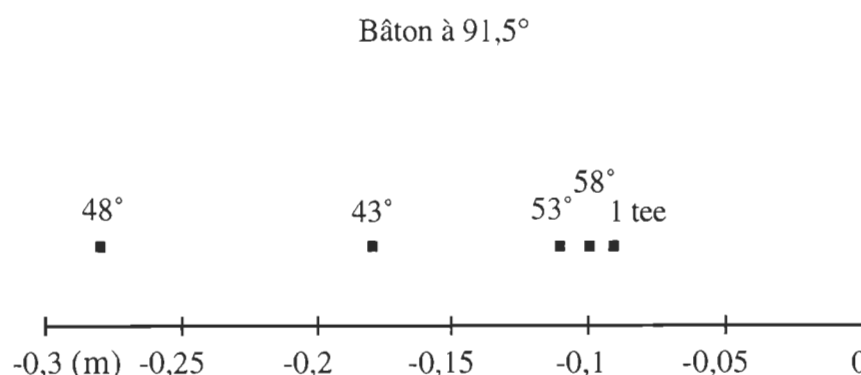


Figure 7. Déviations latérales moyennes suite aux impacts effectués à 91,5°
(n=15).

Dans l'ensemble et quel que soit l'angle de frappe de la tête du bâton, on peut conclure que l'utilisation du tee traditionnel ainsi que le support à deux tees de 53° semblent donner des résultats relativement comparables en termes de précision des coups. Cependant, on ne note aucun désavantage marqué à l'utilisation d'un contre-tee, avec une légère préférence pour l'angle de 53°.

Les Figures 8, 9 et 10 présentent, sous forme de graphiques, les résultats du Tableau 12 portant sur la distance de portée (distance aérienne) de la balle, la distance de roulement terrestre suite à l'impact de la balle en fin de portée ainsi que la distance totale enregistrée pour chacune des conditions expérimentales. Sur ces figures, les carrés vides représentent les essais avec deux tees et la ligne pleine représente la référence avec un seul tee.

Tableau 12

Distances parcourues par la balle, incluant la portée, la distance de roulement ainsi que la distance totale.

Bâton (degrés)	Tee (degrés)	Portée (m)	Terrestre (m)	Dist. totale (m)
90	(0)	9,20	9,78	18,98
	43	11,64	7,97	19,60
	48	11,53	8,37	19,90
	53	11,59	8,87	20,46
	58	11,07	8,73	19,80
89	(0)	9,47	8,28	17,75
	43	11,95	7,15	19,10
	48	10,76	7,07	17,83
	53	10,85	7,37	18,22
	58	10,23	7,93	18,15
91,5	(0)	9,37	10,33	19,70
	43	12,00	7,6	19,60
	48	11,91	7,51	19,43
	53	11,66	9,14	20,80
	58	10,97	9,30	20,27

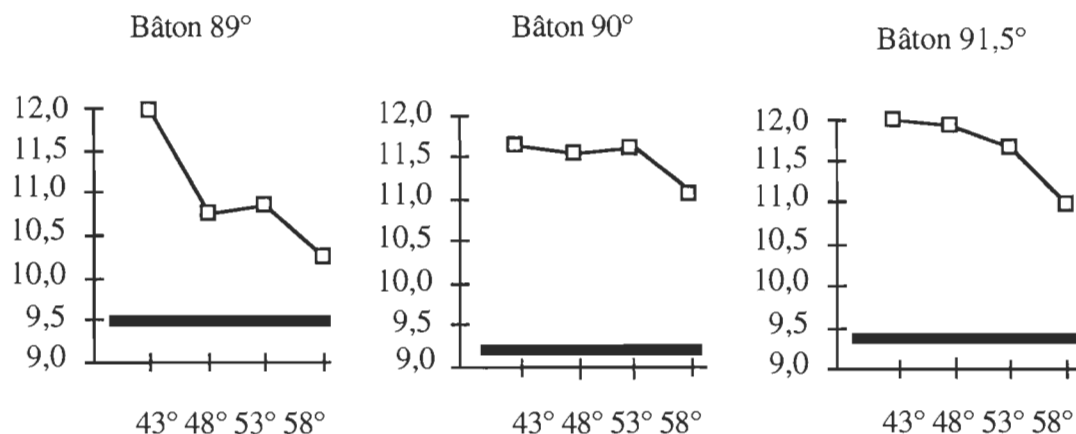


Figure 8. Variation de la distance aérienne (m) de la balle frappée par l'impacteur selon l'angle du contre-tee, en fonction de l'angle de bâton.

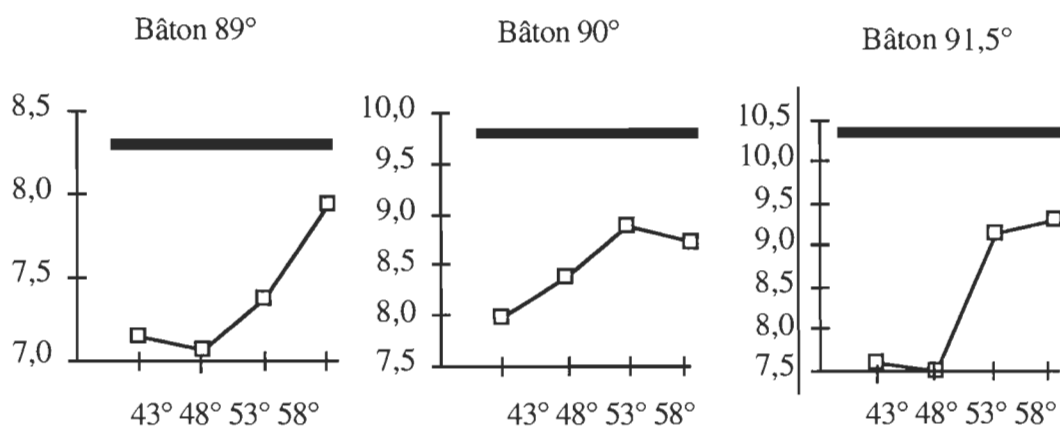


Figure 9. Variation de la distance de roulement terrestre (m) de la balle frappée par l'impacteur selon l'angle du contre-tee, en fonction de l'angle de bâton.

Le Tableau 12 révèle que la distance de portée aérienne de la balle est supérieure avec l'utilisation du support à deux tees, quel que soit l'angle de frappe de la tête du bâton lorsque comparée au tee traditionnel. De plus, on note une diminution appréciable du roulement terrestre avec l'utilisation de ce même support. En ce qui concerne la distance

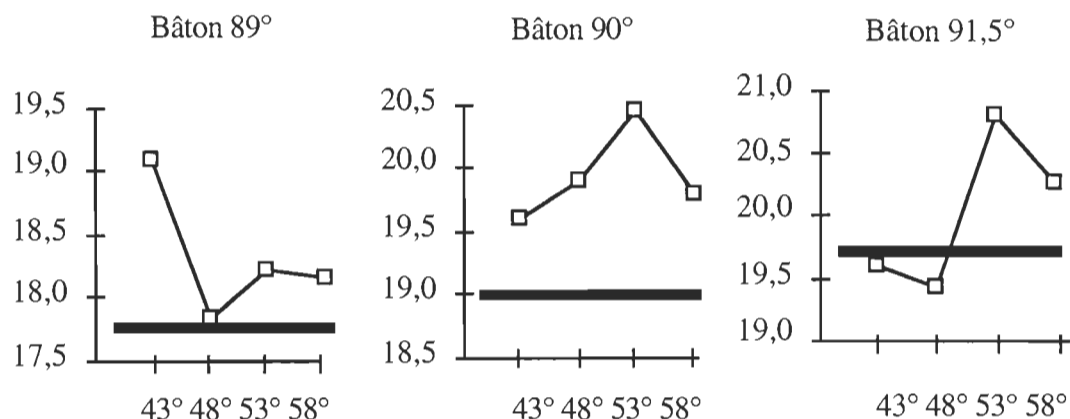


Figure 10. Variation de la distance totale (m) de la balle frappée par l'impacteur selon l'angle du contre-tee, en fonction de l'angle de bâton.

totale parcourue par la balle, on peut observer de façon générale, que l'utilisation d'un contre-tee affecte diversement le résultat final. Afin de vérifier ces résultats, une analyse de variance permettra de déterminer les effets significatifs provenant de ces variables. Les moyennes concernées apparaissent aux Tableaux 13, 14 et 15: les données sont présentées selon l'angle du contre-tee (0 signifiant un seul tee) et l'angle de frappe du bâton.

Analyse des résultats

Au Tableau 14, l'analyse de variance portant sur la distance aérienne parcourue par la balle en fonction de l'angle initial de frappe du bâton et de l'utilisation ou non d'un contre-tee, révèle plusieurs effets hautement significatifs. D'abord, la portée aérienne augmente quand l'angle de bâton passe de 89° à 91,5° ($F = 48,36$; $d.l. = 2,21$; $p < 0,01$). L'utilisation du support à deux tees laisse voir des résultats très significatifs lorsque comparés aux résultats provenant de l'utilisation d'un seul tee ($F = 1184,43$; $d.l. = 1,210$; $p < 0,01$). De plus, l'angle du contre-tee influence aussi significativement les distances

Tableau 13

Moyennes des distances aériennes (en mètres) de la balle en fonction de l'angle du bâton et de l'utilisation ou non d'un contre-tee

Bât/tee	0	43°	48°	53°	58°	\bar{X}
89°	9,47	11,95	10,76	10,85	10,23	10,65
90°	9,20	11,64	11,53	11,59	11,07	11,01
91,5°	9,37	12,00	11,91	11,66	10,97	11,18
\bar{X}	9,35	11,86	11,40	11,37	10,76	

Tableau 14

Analyse de variance de la distance aérienne (Y) de la balle en fonction de l'angle du bâton et de l'utilisation ou non d'un contre-tee

Source de variation	Degrés de liberté	Carré moyen	F
Bâton (A)	2	5,76	48,36**
Tees (B)	4		
1 vs 2 tees	1	141,08	1184,43**
reste	3	9,23	77,54**
A x B	8	1,64	13,75**
Intragroupe	210	0,12	

** $p < 0,01$

Tableau 15

Moyennes des distances de roulement terrestre (en mètres) de la balle en fonction de l'angle du bâton et de l'utilisation ou non d'un contre-tee

Bât/tee	0	43°	48°	53°	58°	\bar{X}
89°	8,28	7,15	7,07	7,37	7,93	7,56
90°	9,78	7,97	8,37	8,87	8,73	8,74
91,5°	10,93	7,60	7,51	9,14	9,30	8,78
\bar{X}	9,46	7,57	7,65	8,46	8,65	

($F = 77,54$; $d.l. = 3,210$; $P < 0,01$). Enfin, il existe une interaction significative entre les conditions d'angles du bâton et les conditions d'angles de tee comme le montre la Figure 5: l'effet favorable paraît plus efficace à 90°.

L'analyse des résultats portant sur les distances de roulement terrestre en fonction de l'angle initial de frappe et de l'utilisation ou non d'un contre-tee montre que l'effet d'angle augmente de 89° à 91,5°, ce qui est tout à fait normal. De plus, on note que l'utilisation du second tee diminue significativement le roulement de la balle ($F = 72,28$; $d.l. = 1,210$; $p < 0,01$). Il reste également de la variation significative entre l'utilisation des différents tees à angle ($F = 14,42$; $d.l. = 3,210$; $p < 0,01$). L'angle le plus grand semble favoriser le roulement. L'interaction entre l'angle du bâton et l'angle de tee est aussi significative ($F = 2,82$; $d.l. = 8,210$; $p < 0,01$).

Le Tableau 17 montre que la distance totale varie selon l'angle de bâton et les conditions de tee. L'utilisation d'un second tee s'avère globalement favorable à la distance totale ($F = 13,82$; $d.l. = 1,210$; $p < 0,01$). Il reste des variations significatives selon l'angle du deuxième tee ($F = 4,46$; $d.l. = 3,210$; $p < 0,01$), l'angle de 53° apparaissant

Tableau 16

Analyse de variance de la distance terrestre (Y) de la balle en fonction de l'angle du bâton et de l'utilisation ou non d'un contre-tee

Source de variation	Degrés de liberté	Carré moyen	F
Bâton (A)	2	35,72	38,05**
Tees (B)	4		
1 vs 2 tees	1	61,41	72,28**
reste	3	13,65	14,42**
A x B	8	2,66	2,82**
Intragroupe	210	0,94	

** : $p < 0,01$

Tableau 17

Moyennes des distances totales (en mètres) de la balle en fonction de l'angle du bâton et de l'utilisation ou non d'un contre-tee

Bât/tee	0	43°	48°	53°	58°	\bar{X}
89°	17,75	19,10	17,83	18,22	18,15	18,21
90°	18,98	19,60	19,90	20,46	19,80	19,75
91,5°	19,70	19,60	19,43	20,80	20,27	19,96
\bar{X}	18,81	19,44	19,05	19,83	19,41	

Tableau 18

Analyse de variance de la distance totale (Y) de la balle en fonction de l'angle du bâton et de l'utilisation ou non d'un contre-tee

Source de variation	Degrés de liberté	Carré moyen	F
Bâton (A)	2	68,48	68,11**
Tees (B)	4		
1 vs 2 tees	1	78,40	13,82**
reste	3	4,48	4,46**
A x B	8	3,29	3,27**
Intragroupe	210	1,01	

** $p < 0,01$

supérieur aux autres. Cette supériorité de l'angle 53° du contre-tee est confirmée pour les trois conditions de bâton, nonobstant l'interaction signalée plus haut.

DISCUSSION

Selon l'analyse des résultats, l'utilisation d'un contre-tee avec angle de 53° paraît engendrer une plus grande distance totale de la balle. Quant aux rotations latérales, il semble que l'angle de 53° soit plus efficace à réduire ces rotations lorsque comparé aux trois autres angles étudiés. C'est pourquoi l'utilisation du contre-tee avec un angle de 53° est retenue pour fins d'analyse plus poussée lors de l'expérimentation suivante sur le terrain, avec des golfeurs.

Les résultats obtenus dans cette seconde expérience viennent confirmer ceux obtenus dans l'Expérience I. Dans la première, nous avons estimé une meilleure portée aérienne avec l'utilisation d'un contre-tee et cette expérience-ci vient appuyer ces résultats. Elle confirme également l'augmentation de l'angle d'envol de la balle au départ ainsi que de la hauteur maximale atteinte. De plus, on enregistre une légère diminution des déviations latérales, ce qui tend à démontrer une réduction des rotations résiduelles de la balle.

CHAPITRE V

EXPÉRIENCE III

(Précision et distance des balles frappées)

Cette troisième expérience examine l'autre versant de nos hypothèses, soit l'utilité pratique du support à deux tees dans une situation réelle de jeu. Nous voulons examiner, par le concours de vrais golfeurs, l'influence du support à deux tees versus le tee traditionnel sur la distance et la précision à partir d'un coup de départ.

Méthodologie

Sujets

Quatre sujets ont participé à l'expérience; ce sont des hommes, membres d'un club de golf, possédant tous au moins quinze années d'expérience comme golfeurs. Leur handicap varie entre 2 et 7 (Tableau 19).

Appareillage

L'expérimentation a lieu au club de golf Le Grand Portneuf, sur les allées 2 et 3 du parcours bleu. En raison de la force des vents, il fut convenu de réaliser une partie de l'expérience sur le tertre de départ du trou no 2 qui pointe à 303° par rapport au nord et d'où provient un vent de l'ouest (Figure 20, Annexe B). La seconde partie de l'expérience

s'effectue sur le tertre de départ du trou no 3, qui est parallèle à l'allée no 2, mais en sens inverse. Avant le début de l'expérience, l'expérimentateur et un arpenteur placent deux stations repères sur chaque allée. Sur chacune des allées, on mesure une première station à partir du point d'origine (départ) des golfeurs; ce point équivaut à (1000,1197) pour le trou no 2 et à (1000, 1212) pour le no 3. Par la suite, on établit une station centrale (1000,1000): ce point se situe sur la perpendiculaire qui passe par le milieu du tertre de départ et qui se termine sur le drapeau du vert. Les stations permettent de mesurer les distances aériennes et terrestres parcourues par les balles.

On utilise les mêmes balles que lors de l'expérience précédente. Les sujets utilisent leur propre bâton. Des marqueurs sont nécessaires pour indiquer l'endroit de chute de la balle ainsi que la fin de son roulement. Voici deux exemples de marqueurs pour le même essai: Sujet 1 (couleur Rouge), 1 pour essai 1, A pour contact au sol= R(1A)
Sujet 1 (couleur Rouge), 1 pour essai 1, B pour distance totale = R(1B)

Une équipe de six personnes veille au bon déroulement de l'expérience. Deux aides s'occupent des golfeurs au départ. Un premier agent enregistre des notes sur les sujets et coordonne les essais. L'expérimentateur se trouve également au départ et il lui revient la tâche de positionner toutes les balles, soit avec le support à deux tees ou le tee traditionnel, pour chacun des essais. L'autre groupe se retrouve dans l'allée; un responsable coordonne le travail des trois agents qui l'accompagnent et prend également note de tous les essais réalisés. Les trois agents quant à eux, observent la trajectoire de la balle et marquent l'endroit d'impact de cette dernière avec le sol ainsi que la fin de son roulement. La communication entre les deux coordonnateurs se fait à l'aide d'un radio émetteur bi-directionnel.

Tableau 19

Caractéristiques des sujets choisis

Sujets	Sexe	Expérience	Handicap
1	M	18	2
2	M	40	7
3	M	20	3
4	M	15	3

Plan de la recherche

Cette dernière étape de notre recherche est de type intrasujets. Les quatre sujets devront réaliser les deux niveaux de la variable indépendante, soit (a) le support à un tee ou (b) le support à deux tees. Seul l'ordre des traitements va varier. Le Tableau 20 illustre l'arrangement expérimental. Cette procédure a pour but de neutraliser l'effet d'ordre et ainsi de permettre des résultats homogènes et plus fiables (Robert, 1968).

Définitions et mesure des variables

Le type de support de la balle constitue la variable indépendante, soit le support traditionnel, un seul tee, soit le support à deux tees impliquant l'ajout d'un tee à contre-angle de 53° au tee traditionnel.

Tableau 20
Arrangement des séances expérimentales pour les 4 sujets

Sujets	Ordre de traitement	
1	a	b
2	b	a
3	a	b
4	b	a

Légende: a : support à un tee ; b : support à deux tees

Le point d'impact de la balle au sol est considéré comme la principale variable dépendante de cette seconde étape de la recherche. On le mesure à l'aide de deux vecteurs, soit en X_1 pour évaluer sa déviation latérale par rapport à la ligne médiane qui passe au centre de la balle et en Y_1 pour évaluer la distance de la trajectoire parabolique suivie par la balle.

On considère également comme seconde variable dépendante la distance de roulement terrestre de la balle, à savoir, du point de contact de la balle au sol jusqu'à l'arrêt de cette dernière en fin de course. Les mesures ultérieures (X_2, Y_2) permettront de vérifier aussi notre seconde hypothèse.

Déroulement de l'expérience

L'expérimentation a lieu le lundi, 11 octobre 1995, de 16 à 19 heures, au club de golf Le Grand Portneuf. La température diminue, depuis 19° Celsius au début de l'expérimentation à 16° à la fin, la pression barométrique varie entre 102,6 et 102,4 mm

Hg. Le vent d'ouest, à 31 km/hre au début, diminue d'environ 3 à 4 km/hre par demi-heure pour finalement se stabiliser à 10 km/hre en fin d'expérimentation. Comme il n'a pas plu depuis plusieurs jours, la balle roule sans contrainte.

Les sujets prennent une période de temps pour se s'échauffer et ils retrouvent leur rythme en frappant quelques balles avant de procéder à l'expérimentation. Une voiturette électrique est à leur disposition afin de faciliter leur déplacement sur les différents trous.

On soumet les sujets à l'expérimentation, aucun sujet ne peut assister à la prestation des autres. On rappelle les directives ainsi que la procédure à suivre à chacun. À chaque essai, l'expérimentateur place la balle sur le support; ensuite, le sujet adopte la position qui lui convient en vue de frapper la balle dans la direction du drapeau. Tel que spécifié auparavant, l'angle du tee à contre-angle est de 53° . Quatre personnes sont installées à des endroits stratégiques sur le terrain afin de vérifier le point de contact de la balle ainsi que le point d'arrêt de la balle en fin de course. Une fois ce double marquage effectué, un agent communique avec le responsable des départs et donne le feu vert pour un nouvel essai. Sur le premier tertre de départ, chaque golfeur effectue 10 essais consécutifs avec un seul tee et autant en utilisant le support à deux tees, suivant l'ordre indiqué au Tableau 20. Sur le second tertre, les sujets réalisent 5 essais pour chacun des deux supports. On nettoie les balles au besoin pour éviter toute friction additionnelle lors de la propulsion dans les airs.

RÉSULTATS

Tout d'abord, la procédure suivie afin d'extraire et de traiter les données provenant des golfeurs sera présentée. Par la suite, viendront les résultats.

Dans un premier temps, on mesure avec l'aide du théodolite la position de chacun des marqueurs sur le sol. À partir de ces mesures, les distances aériennes et terrestres parcourues par la balle peuvent être déterminées. Soit Y , qui réfère à l'axe de la trajectoire

idéale de la balle, et X, à l'axe perpendiculaire. Pour ce faire, on soustrait du point d'origine du système la valeur enregistrée au point de chute de la balle, ce qui permet d'obtenir la distance parcourue par la balle dans les airs et sur le sol. L'on procède de la même façon en ce qui concerne les écarts latéraux de la balle par rapport à la ligne médiane. Le Tableau 33, en Annexe A, présente le modèle qui a servi au calcul des données brutes provenant des tableaux 29 à 32 de l'Annexe A.

Les résultats de cette expérience sont présentés aux tableaux 21 à 24. Ainsi les distances aériennes, terrestres et totales sont présentées, une valeur d'imprécision latérale après roulement y étant ajoutée. Cette valeur d'imprécision latérale est représentée par l'écart-type des déviations latérales de la balle par rapport à son point de départ: cette valeur reflète mieux l'indice de précision que ne le fait la moyenne. Il faut prendre note que les distances sont données en mètres plutôt qu'en verges, comme c'est la coutume au golf.

Les tableaux 25 et 26 présentent un résumé des résultats provenant des quatre sujets. Les valeurs résultantes de la distance horizontale parcourue dans les airs, de la distance terrestre ainsi que de la distance horizontale totale sont présentées dans ces tableaux. De plus, les déviations latérales apparaissent au bas des tableaux et tous ces résultats sont exprimés en mètres. Une analyse globale de l'utilisation du tee à contre-angle versus le tee traditionnel est donc effectuée. Il faut préciser que pour l'analyse de variance, nous utilisons le logarithme de la valeur d'imprécision en X, cette transformation étant indiquée pour satisfaire les conditions de validité de cette méthode.

Tableau 21

Résultats moyens (en mètres) des coups de départ du sujet no 1

Distance / trou	No 2	No 2	No 3	No 3
	1 tee	2 tees	1 tee	2 tees
Distance aérienne (m)	199,14	191,41	211,16	216,54
Distance terrestre (m)	20,66	16,71	30,75	29,79
Distance totale (m)	219,80	208,12	241,91	246,33
Imprécision latérale (m)	16,26	11,47	8,49	5,71

Tableau 22

Résultats moyens (en mètres) des coups de départ du sujet no 2

Distance / trou	No 2	No 2	No 3	No 3
	1 tee	2 tees	1 tee	2 tees
Distance aérienne (m)	164,81	171,29	175,44	181,89
Distance terrestre (m)	18,08	15,85	35,25	35,91
Distance totale (m)	182,89	187,14	210,69	217,80
Imprécision latérale (m)	14,30	18,50	7,98	5,60

Tableau 23

Résultats moyens (en mètres) des coups de départ du sujet no 3

Distance / trou	No 2	No 2	No 3	No 3
	1 tee	2 tees	1 tee	2 tees
Distance aérienne (m)	201,94	206,12	227,37	230,06
Distance terrestre (m)	17,73	14,76	38,23	28,15
Distance totale (m)	219,67	220,88	265,60	258,21
Imprécision latérale (m)	17,57	15,60	5,76	4,79

Tableau 24

Résultats moyens (en mètres) des coups de départ du sujet no 4

Distance / trou	No 2	No 2	No 3	No 3
	1 tee	2 tees	1 tee	2 tees
Distance aérienne (m)	219,89	224,54	235,38	226,76
Distance terrestre (m)	17,53	13,79	34,87	27,50
Distance totale (m)	237,42	238,33	270,25	254,26
Imprécision latérale (m)	24,51	10,69	3,86	7,16

Tableau 25

Résultante aérienne moyenne (Y) et imprécision latérale (X)

Distance aérienne				
Sujet / trou	No 2	No 2	No 3	No 3
	1 tee	2 tees	1 tee	2 tees
1	199,6	191,63	211,32	216,59
2	165,16	171,84	175,51	181,96
3	230,01	206,45	227,43	230,13
4	220,22	224,79	235,39	226,83
\bar{X}	197,00	198,68	212,41	213,88
Imprécision latérale				
Sujet / trou	No 2	No 2	No 3	No 3
	1 tee	2 tees	1 tee	2 tees
1	14,43	9,43	9,25	5,43
2	11,28	14,68	4,92	5,86
3	15,75	12,43	5,45	5,79
4	12,75	11,76	2,15	2,67
\bar{X}	13,55	12,07	5,44	4,93

Tableau 26
 Résultante totale moyenne (Y) et imprécision latérale (X).

Distance totale				
Sujet / trou	No 2	No 2	No 3	No 3
	1 tee	2 tees	1 tee	2 tees
1	220,34	208,44	242,03	246,39
2	183,49	187,95	210,83	217,86
3	221,08	221,34	265,65	258,25
4	239,69	238,52	270,28	254,43
\bar{X}	216,15	214,06	247,20	244,23
Imprécision latérale				
Sujet / trou	No 2	No 2	No 3	No 3
	1 tee	2 tees	1 tee	2 tees
1	16,26	11,47	8,49	5,71
2	14,30	18,50	7,98	5,60
3	17,57	15,60	5,76	4,79
4	24,51	10,69	3,86	7,16
\bar{X}	18,16	14,07	6,52	5,81

De façon générale, les valeurs résultantes de portée aérienne moyenne suite à l'utilisation du tee traditionnel et du contre-tee à 53° ne semblent pas différentes. On note que l'imprécision latérale est plus forte avec un vent de face au trou no 2 et que le support à deux tees, avec contre-angle à 53°, semble favoriser légèrement la précision par rapport au support traditionnel.

Dans un premier temps, on peut voir au Tableau 26 que le vent influence la distance totale du coup; la littérature le confirme également. Jorgenson (1994) présente, dans son chapitre sur l'aérodynamique du golf, les effets que peut avoir le vent sur la balle. Il écrit que le vent se dirigeant vers le golfeur, augmente la résistance sur la balle et aussi l'angle d'élévation de celle-ci. Ces deux contraintes font en sorte que la portée aérienne de la balle est réduite, ce qui diminue également la distance finale. On note de plus que dans des conditions de grand vent, les coups en crochet sont accentués lorsque la balle est frappée contre le vent, ce qui entraîne une perte de précision et qu'on retrouve dans les deux tableaux précédents (25, 26). On remarque de plus un très léger désavantage d'un ou deux mètres de l'utilisation du support à deux tees. Par contre, il semble que ce même support soit légèrement plus précis. Une analyse de variance permettra de confirmer ou non ces affirmations.

Les analyses de variance, dont nous ne reproduisons pas les tableaux, montrent des effets significatifs (à $\alpha = 0,05$ ou $\alpha = 0,01$) pour la condition de vent, représentée ici par les numéros (2 et 3) des tertres de départ. Toutefois, nulle différence n'apparaît pour les conditions de tees ni pour l'interaction tees X vent. Il semble donc que l'utilisation d'un second tee, dans les conditions vraisemblables que nous avons explorées, ne porte pas à conséquence sur le terrain en ce qui concerne la distance totale, la portée aérienne et l'imprécision latérale.

DISCUSSION

Nous n'avons observé aucun avantage à l'utilisation d'un tee à contre-angle pour les bons golfeurs; cependant nul inconvénient n'est apparu. On note cependant que sur la distance totale, il n'y a que deux ou trois mètres de différence à l'avantage du tee traditionnel. Pour cette minime perte de distance, le golfeur peut préférer la sécurité, c'est-à-dire la précision. On peut remarquer que trois joueurs sur quatre améliorent légèrement leur précision sur chacun des trous en frappant la balle avec le contre-tee. Une étude ultérieure à plus grande échelle et avec des joueurs de différents niveaux pourrait nous permettre de vérifier cette tendance.

CHAPITRE VI

DISCUSSION GÉNÉRALE

Le but premier de cette recherche était de voir si l'utilisation d'un support à deux tees influençait la direction et la distance parcourues par la balle lors d'un coup de départ au golf, grâce au contrôle de rotation apporté par le tee à contre-angle.

Les résultats obtenus nous démontrent que, dans des conditions expérimentales parfaitement contrôlées, et avec une vitesse de balle plutôt faible, comme c'était le cas dans les expérimentations I et II, l'utilisation du support à deux tees est significativement favorable. Sur le terrain, dans des conditions réelles de jeu, les mêmes avantages du contre-tee ne se sont pas manifestés clairement.

Le présent chapitre traitera donc de l'interprétation des résultats obtenus. Dans un premier temps, nous répondrons aux cinq questions de notre problématique qui concernaient les effets de rotation latérale et de rotation longitudinale, ainsi que les modifications de trajectoire que peut subir la balle suite à l'impact. Par la suite, nous vérifierons la validité de nos deux hypothèses de départ et finalement, nous tenterons d'expliquer pourquoi les mêmes avantages du contre-tee ne se sont pas reproduits sur le terrain.

La première question était de voir si on notait une diminution des rotations négatives en utilisant le support à deux tees versus le tee unique. L'expérience en laboratoire a montré clairement que la contre-rotation de la balle frappée est réduite de façon significative et substantielle par l'utilisation du contre-tee; avec l'impacteur, elle est d'environ 340 rpm pour un seul tee et chute à 116 rpm avec deux tees, une réduction des deux tiers dans le nombre de révolutions par minute.

La seconde question concernait les rotations latérales. Encore là, les résultats de laboratoire avec l'impacteur sont très favorables. La rotation latérale (résiduelle) de la balle, c'est-à-dire son mouvement rotatoire dans l'axe perpendiculaire au plan de sa trajectoire, est réduite significativement par l'ajout d'un contre-tee. La diminution de 284,79 rpm à 203,01 rpm, en moyenne, varie quelque peu d'une condition d'angle à l'autre, comme le montre la Figure 4.

En troisième lieu, on voulait voir si la trajectoire de la balle serait modifiée. Les résultats de laboratoire et de terrain confirment cette modification. L'utilisation d'un tee à contre-angle augmente l'angle d'élévation de la balle, qui passe en moyenne de $13,11^\circ$ à $19,26^\circ$; de plus, l'apex de la trajectoire de la balle augmente fortement par l'ajout d'un contre-tee, passant en moyenne de 0,51 m à 1,05 m. Nous avons facilement pu observer un phénomène comparable lors des expérimentations à l'extérieur.

Pour ce qui est de la précision résultante des coups avec le contre-tee, les résultats à l'extérieur ne montrent pas d'effets significatifs. Cependant, si on se fie à la littérature mentionnée plus tôt, selon laquelle un mauvais coup (crochet) est la somme des rotations négatives et latérales de la balle, le contre-tee, en réduisant ces deux types de rotations, devrait en principe améliorer la précision des coups.

Enfin pour la dernière question concernant la distance totale parcourue par la balle, on note pour les bons golfeurs une légère perte de distance, d'environ trois mètres, en utilisant le support à deux tees comparativement au tee traditionnel.

Toutes ces réponses nous permettent de prendre position vis-à-vis de nos deux hypothèses de recherche. La première hypothèse suggérait une augmentation dans la précision des coups, une diminution des rotations latérales et négatives de la balle, ainsi qu'une augmentation de l'angle d'envol. Dans l'ensemble, on peut dire que cette hypothèse est confirmée, particulièrement en utilisant l'impacteur, en laboratoire. Par contre, la deuxième hypothèse n'est pas du tout étayée, à savoir que les résultats obtenus montrent

une légère diminution plutôt que l'augmentation prédite de la distance totale de roulement. Cette constatation laisse croire que la perte de vitesse horizontale, occasionnée par un plus grand angle de chute de la balle, a neutralisé les bénéfices attendus de la réduction des rotations négatives de la balle. Cette deuxième hypothèse, inspirée de Fishman (1990), était fort simple: en diminuant les rotations inverses, on diminue l'effet de freinage de la balle sur le sol, lui permettant de rouler sur une plus grande distance (Tableau 34, Annexe A). Nous avons vraisemblablement sous-estimé l'importance de l'angle d'envol accru avec l'utilisation du contre-tee.

Dans cette dernière partie, nous tenterons d'expliquer pourquoi les avantages favorables constatés avec l'impacteur ne se sont pas répétés avec les golfeurs expérimentés. Est-il possible que cela tienne tout simplement à l'importance de l'impact du coup d'envoi, douze fois supérieur chez le golfeur par rapport à l'impacteur, et que l'effet du tee était complètement oblitéré? Nous avançons une autre explication qui nous semble plus plausible. Pour les deux premières expériences, nous avons fiché les tees dans un bloc de polystyrène, ce matériau offrant une résistance constante au contre-tee, tandis qu'avec les golfeurs, sur les tertres de départ no 2 et 3 du club de golf Le Grand Portneuf, le sol s'avérait plutôt sablonneux, la résistance au contre-tee étant inconstante. Cette différence de résistance du support de la balle a pu influencer nos résultats et l'efficacité du support à deux tees. Le jeu conjoint du vent sur le terrain, de l'angle de chute de la balle sur le sol ainsi que de la moindre résistance du contre-tee, suffit à expliquer pourquoi les avantages ne se sont pas reproduits à l'extérieur.

CONCLUSION

Dans cette dernière partie du mémoire, nous présenterons les caractéristiques favorables à l'utilisation du support à deux tees. Par la suite, nous montrerons son côté pratique et finalement nous parlerons de son avenir.

Voici les constatations concrètes qui ont été faites au cours de ces expérimentations. D'abord, on note une augmentation nette de l'angle d'envol de la balle suite à l'impact. Deuxièmement, il en résulte une plus grande portée aérienne de la balle. Finalement, les rotations négatives et résiduelles (latérales) de la balle sont considérablement réduites. Ces trois constatations sont très intéressantes pour nous, mais plus particulièrement pour le golfeur qui veut améliorer son pointage: voici pourquoi.

Selon Hay (1985), la hauteur de la balle juste après l'impact, en rapport avec la hauteur du point où elle tombera, est un facteur déterminant sur la longueur de vol de la balle; les golfeurs ont très peu de contrôle sur ces conditions. Nous avons vu, d'après nos résultats en laboratoire, que l'ajout d'un tee à contre-angle projette la balle à un angle d'environ 20° , ce qui correspond à l'angle idéal d'envol selon Cochran et Stobbs (1968). Voici une liste des occasions où les golfeurs pourraient avantageusement utiliser le support à deux tees:

- pour éviter des obstacles sur les coups de départ (eau, sable, herbe longue et ravin);
- pour éviter de frapper une balle trop basse (calottée) et qui touche le sol rapidement, car l'air offre moins de résistance que le sol;
- pour profiter d'un vent favorable et ainsi accroître la distance aérienne.

Quant aux propriétaires de terrains, ils pourraient augmenter l'achalandage sur leur terrain si les joueurs diminuent leur temps de partie en surmontant régulièrement les caprices du terrain.

Toujours selon cette expérience, il y a deux occasions pour lesquelles l'utilisation du contre-tee est déconseillée, soit:

- lorsque l'on doit frapper la balle contre le vent, la distance peut être réduite par l'augmentation de la résistance de l'air causée par le vent et par le fait que le contre-tee augmente la hauteur de vol de la balle;
- lorsque le sol est humide ou sablonneux, la résistance du contre-tee est considérablement réduite dans cette situation; elle peut même être annulée dans certaines conditions.

Pour ce qui est de l'avenir du support à deux tees, nous aimerions procéder à une autre expérience avec des golfeurs débutants et intermédiaires pour pouvoir établir une corrélation entre l'utilisation du support à deux tees et le handicap du joueur. Comme nous n'avons trouvé aucun avantage pour les bons golfeurs ni aucun inconvénient, il serait intéressant de pouvoir expérimenter en contrôlant une autre variable, soit de changer nos sujets pour le robot mécanique "Iron Byron" que la United States Golf Association utilise pour tester tous les nouveaux équipements de golf. Peut-être pourrions-nous voir dans ce cas si l'utilisation du support à deux tees augmente ou non la précision du coup de départ.

RÉFÉRENCES

- Barclay, J. (1985, mai). The golf tee. *Greenmaster*, 21(4), 28-29.
- Cochran, A. et Stobbs, J. (1968). *The search for the perfect swing*. California: The Booklegger.
- Cochran, A.J. (1990). Science, equipment development and standards. In A.J. Cochran (Éd.), *Science and Golf: Proceedings of the first world scientific congress of golf* (p. 178). E & FN SPON.
- Cook, C. (1991, décembre). Match your shot to your ball type. *Golf Digest*, 42(12) 44-53.
- Couture, M. (1981). *Influence de la force exercée par les mains sur la poignée du bâton de golf en fonction de la vélocité et de la précision*. Mémoire de maîtrise, Université de Sherbrooke.
- Fishman, L. (1990, décembre). Putting Jumbo's driver to the test. *Golf Digest*, 41(12), 90-96.
- Fishman, L. (1991, décembre). New hope for the new year. *Golf Digest*, 42(12), 60-65.
- Hay, J.G. (1985), *The biomechanics of sports techniques*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Hutton, D. (1989, mai et juin). Use the tee to your advantage. *Golf Australia*, 38-39.
- Jorgensen, Théodore P. (1994). The aerodynamics of golf. In T. P. Jorgenson (Éd.), *The physics of golf* (pp. 61-72). New York: AIP PRESS.
- Lafaurie, A-J. (1988). *Le golf, son histoire de 1304 à nos jours*. Paris : Jacques Grancher.
- Liebermann, B.B. (1990). The effet of impact conditions on golf ball spin-rate. In A.J. Cochran (Éd.), *Science and Golf: Proceedings of the first world scientific congress of golf* (pp. 225-230). E & FN SPON.
- Robert, M. (1988). *Fondements et étapes de la recherche scientifique en psychologie*. St-Hyacinthe : Edisem.

U.S.G.A. (1980). *Decisions on the rules of golf*. New Jersey: The United States Golf Association.

Sgroi, P. (1991, janvier). Origins of the tee. *Australian Golf Digest*, 100-101.

ANNEXE A

Tableaux de résultats et de calculs

Tableau 27 Résultats des essais cinématographiques en laboratoire

Essais	Bâton °	Tee °	Film Vitesse (Images/sec)	Vitesse (m/s)	Balle Rot. nég. (rpm)	Rot. résiduel. (rpm)	Élévation (degrés)	Trajectoire y max (mètres)	Portée (mètres)	Bâton Vit. liné. (m/s)
1	90	0	477	13,4	432,9	261,7	13,6	0,508	8,382	8,66
2	90	0	502	13,79	399,3	336,1	13,8	0,522	8,987	8,6
3	90	0	485	13,75	409	295,8	13,6	0,532	8,8	8,72
4	90	0	518	14,14	405,7	291,1	13	0,522	8,983	8,9
5	90	0	506	14,57	419,1	347,5	13,3	0,573	9,698	9,24
6	90	48	517	13,88	115,7	331,5	19,8	1,124	12,502	8,98
7	90	48	516	14,19	48	173,3	18,7	1,058	12,482	9,12
8	90	48	515	14,53	151,1	145,3	17,6	0,984	12,406	9,27
9	90	48	500	13,38	110	258,8	19,3	1,004	11,427	8,66
10	90	48	530	14,1	158	179,1	18,9	1,067	12,444	8,91
11	89	0	466	13,92	433,7	400	13,6	0,544	9,008	8,58
12	89	0	498	13,94	424,9	120	13,6	0,549	9,067	8,8
13	89	0	466	14,47	360,9	113,4	13,4	0,574	9,629	8,75
14	89	0	465	13,4	402	166,2	14,3	0,559	8,768	8,74
15	89	0	498	14,8	371,2	223,3	12,7	0,542	9,599	8,42
16	89	48	502	13,28	134,2	109	19,8	1,036	11,479	8,75
17	89	48	514	14,52	75,4	149,3	18,9	1,131	13,1	9,35
18	89	48	511	13,94	379,4	218,5	19,5	1,105	12,4	8,87
19	89	48	513	13,33	94,7	119,6	20,6	1,126	11,95	8,12
20	89	48	512	13,78	164	183,8	20	1,13	12,43	8,91
21	91,5	0	500	14,34	180,6	322,4	12	0,455	8,5539	8,95
22	91,5	0	497	14,26	227,6	362,4	12,2	0,468	8,61	8,73
23	91,5	0	490	14,01	176,1	211,7	12,5	0,469	8,457	8,48
24	91,5	0	455	13,44	167,4	342,2	12,9	0,463	8,052	8,31
25	91,5	0	494	14,21	293,7	478	12,1	0,455	8,464	8,2
26	91,5	48	513	13,5	77,5	251	18,6	0,947	11,243	8,85
28	91,5	48	506	13,16	46,4	218,2	19,7	1,008	11,231	8,72

Légende: 0 = un seul tee

Tableau 28

Liste et caractéristiques des 25 balles sélectionnées

Balle numéro	Poids (gr)	Rebond (%)	Stabilisation (sec)	Diamètre (mm)
3	45,33	67,05	57,55	42,678
5	45,68	70,25	57,48	42,688
6	45,29	68,61	59,02	42,676
7	45,32	72,28	54,56	42,698
8	45,69	67,29	58,05	42,704
9	45,39	66,74	55,18	42,682
10	45,54	69,86	55,23	42,680
11	45,27	69,71	57,00	42,724
12	45,42	70,88	58,21	42,690
13	45,27	69,32	57,24	42,680
14	45,21	74,50	62,02	42,684
17	45,21	66,98	61,40	42,672
19	45,48	75,01	60,20	42,686
20	45,33	69,94	52,49	42,678
21	45,25	74,31	56,33	42,678
22	45,43	73,6	58,38	42,712
25	45,41	68,78	57,44	42,718
26	45,46	69,00	54,32	42,686
27	45,5	72,28	60,58	42,708
28	45,52	74,54	56,02	42,692
29	45,23	72,67	58,12	42,648
30	45,54	66,82	59,09	42,716
31	45,37	68,54	55,59	42,710
32	45,37	68,38	59,02	42,662
33	45,4	70,33	56,00	42,718
<hr/>				
\bar{X}	45,41	70,86	57,46	42,69
s_x	0,13	0,04	2,29	0,019
<hr/>				
## 1	45,4	75,39	62,01	42,688
## 2	45,32	75,42	61,45	42,716

Légende: ## : balles supplémentaires ; gr : gramme ; % : pourcentage; sec : seconde ;
mm : millimètre.

Tableau 29 Résultats des coups de départ du sujet no 1

Sujet No1: 16 heures, trou no 2, température 18°, pression 102,6 , vent défavorable de 31 km/hre arrivant de l'ouest à 147°.														
1 tee							2 tees							
Contact (A)		Fin roul. (B)		Roulem.	Résult.	Déviaton	Contact (A)		Fin roul. (B)		Roulem.	Résult.	Déviaton	
Y	X	Y	X	(y2-y1)	(mètres)	(degrés)	Y	X	Y	X	(y2-y1)	(mètres)	(degrés)	
	208,93	9,29	232,18	9,75	23,25	232,38	2,40	194,77	-14,21	205,38	-17,26	10,61	206,10	-4,80
	192,35	-19,78	205,52	-21,20	13,17	206,61	-5,89	194,47	-9,80	203,36	-8,17	8,89	203,52	-2,30
	213,28	17,20	230,59	19,37	17,31	231,40	4,80	177,71	-8,65	193,03	-12,89	15,32	193,46	-3,82
	188,00	6,41	207,79	6,40	19,79	207,89	1,76	194,01	-1,77	209,71	-4,19	15,7	209,75	-1,14
	192,21	-9,26	206,61	-11,39	14,40	206,92	-3,16	196,13	4,38	206,31	5,68	10,18	206,39	1,58
	198,25	13,53	238,97	14,70	40,72	239,42	3,52	173,77	-9,97	188,51	-15,17	14,74	189,12	-4,60
	197,83	-15,78	207,67	-20,34	9,84	208,66	-5,59	202,29	10,35	234,03	11,39	31,74	234,31	2,79
	202,29	12,19	229,10	11,88	26,81	229,41	2,97	198,17	8,68	224,63	9,93	26,46	224,85	2,53
Moy	199,14	1,73	219,80	1,15	20,66	220,34	0,10	191,41	-2,62	208,12	-3,83	16,71	208,44	-1,22
Sx	8,67	14,43	14,11	16,26	9,79	14,01	4,29	10,09	9,43	15,08	11,47	8,18	14,98	3,17
Sujet No1: 18 heures, trou no 3, température 17,5°, pression 102,3 , vent favorable de 20 km/hre arrivant de l'ouest à 327°.														
	216,76	-5,47	251,03	-10,06	34,27	251,23	-2,30	218,30	-7,36	244,46	-9,35	26,16	244,64	-2,19
	209,10	17,32	232,76	11,26	23,66	233,03	2,77	212,40	-3,02	240,08	-5,18	27,68	240,14	-1,24
	208,42	-2,72	243,35	-7,70	34,93	243,47	-1,81	211,68	-4,49	245,33	-2,68	33,65	245,34	-0,63
	216,68	-0,26	252,63	2,25	35,95	252,64	0,51	218,90	3,52	248,02	2,78	29,12	248,04	0,64
	204,86	-3,31	229,77	-0,61	24,91	229,77	-0,15	221,40	5,40	253,75	4,56	32,35	253,79	1,03
Moy	211,16	1,11	241,91	-0,97	30,74	242,03	-0,20	216,54	-1,19	246,33	-1,97	29,79	246,39	-0,48
Sx	5,32	9,25	10,38	8,49	5,94	10,38	2,02	4,27	5,43	5,04	5,71	3,14	5,02	1,33

Tableau 30 Résultats des coups de départ du sujet no 2

Sujet No 2: 16,30 heures, trou no 2, température 18,5°, pression 102,5 ,vent défavorable de 28 km/hre arrivant de l'ouest à 147°.														
1 tee							2 tees							
Contact (A)		Fin roul. (B)		Roulem.	Résult.	Déviaton	Contact (A)		Fin roul. (B)		Roulem.	Résult.	Déviaton	
Y	X	Y	X	(y2-y1)	(mètres)	(degrés)	Y	X	Y	X	(y2-y1)	(mètres)	(degrés)	
172,46	-0,84	191,34	-5,48	18,88	191,42	-1,64	163,99	20,12	175,35	25,96	11,36	177,26	8,42	
153,25	18,45	173,07	18,76	19,82	174,08	6,19	178,10	20,92	194,03	24,44	15,93	195,56	7,18	
169,44	-11,04	179,94	-15,72	10,50	180,62	-4,99	157,75	-9,93	173,96	-16,88	16,209	174,78	-5,54	
163,63	-11,13	179,44	-19,04	15,81	180,45	-6,06	167,01	-12,12	178,68	-17,82	11,67	179,56	-5,70	
166,65	9,45	187,56	11,33	20,91	187,90	3,46	182,20	-10,41	203,72	-11,18	21,52	204,02	-3,14	
164,34	-13,16	176,52	-18,95	12,18	177,53	-6,13	177,29	-15,85	196,18	-18,20	18,89	197,02	-5,30	
164,66	1,95	189,97	-5,02	25,31	190,03	-1,51	174,50	6,53	190,63	7,48	16,13	190,78	2,25	
164,08	-7,93	185,28	-15,26	21,20	185,91	-4,71	169,48	-4,79	184,56	-5,01	15,08	184,63	-1,56	
Moy	164,81	-1,78	182,89	-6,17	18,08	183,49	-1,92	171,29	-0,69	187,14	-1,40	15,85	187,95	-0,42
Sx	5,60	11,28	6,62	14,30	4,94	6,24	4,58	8,19	14,68	10,74	18,50	3,38	10,53	5,73
Sujet No 2: 18,15 heures, trou no 3, température 17°, pression 102,3, vent favorable de 18 km/hre arrivant de l'ouest à 327°.														
190,55	-3,60	215,62	-11,54	25,07	215,93	-3,06	181,27	-3,45	216,14	-5,98	34,87	216,22	-1,58	
188,72	-1,60	230,02	-3,47	41,30	230,04	-0,86	175,14	5,53	209,53	7,93	34,39	209,68	2,17	
165,32	1,75	202,80	-1,12	37,48	202,80	-0,32	178,35	6,64	219,98	-1,75	41,63	219,98	-0,46	
158,36	8,26	199,20	7,85	40,84	199,35	2,26	175,45	-6,56	214,23	-5,01	38,78	214,29	-1,34	
174,24	5,62	205,84	6,87	31,60	205,95	1,91	199,23	-2,80	229,12	-3,51	29,89	229,15	-0,88	
Moy	175,44	2,09	210,69	-0,28	35,26	210,82	-0,02	181,89	-0,13	217,80	-1,66	35,91	217,86	-0,42
Sx	14,14	4,92	12,41	7,98	6,89	12,40	2,18	10,01	5,86	7,36	5,60	4,49	7,32	1,51

Tableau 31 Résultats des coups de départ du sujet no 3

Sujet No 3: 17,00 heures, trou no 2, température 19 °, pression 102,5 ,vent défavorable de 24 km/hre arrivant de l'ouest à 147°.														
1 tee							2 tees							
Contact (A)		Fin roul. (B)		Roulem.	Résult.	Déviation	Contact (A)		Fin roul. (B)		Roulem.	Résult.	Déviation	
Y	X	Y	X	(y2-y1)	(mètres)	(degrés)	Y	X	Y	X	(y2-y1)	(mètres)	(degrés)	
207,25	23,22	239,01	31,86	31,76	241,12	7,59	207,08	12,98	231,20	19,70	24,12	232,04	4,87	
212,66	8,79	232,83	10,16	20,17	233,05	2,50	207,99	12,90	226,23	15,18	18,24	226,74	3,84	
206,17	4,84	234,91	11,58	28,74	235,19	2,82	211,19	-16,83	227,07	-19,84	15,88	227,93	-4,99	
182,13	14,18	200,46	15,19	18,33	201,03	4,33	210,89	6,00	227,51	9,79	16,62	227,72	2,46	
180,61	17,43	195,93	24,07	15,32	197,40	7,00	204,76	-8,76	209,21	-11,62	4,45	209,53	-3,18	
204,31	35,49	222,36	39,55	18,05	225,85	10,09	205,54	-9,42	221,76	-11,42	16,22	222,05	-2,95	
217,52	-15,05	217,59	-15,63	0,07	218,15	-4,11	195,40	-11,77	203,16	-9,80	7,76	203,39	-2,76	
204,90	29,07	214,26	33,21	9,36	216,82	8,81								
Moy	201,94	14,75	219,67	18,75	17,73	221,08	4,88	206,12	-2,13	220,88	-1,14	14,76	221,34	-0,39
Sx	13,45	15,75	15,82	17,57	10,09	15,84	4,56	5,32	12,43	10,55	15,60	6,61	10,72	3,98

Sujet No 3: 18,30 heures, trou no 3, température 16,5°, pression 102,4, vent favorable de 14 km/hre arrivant de l'ouest à 327°.														
231,10	-8,79	261,97	-5,13	30,87	262,02	-1,12	224,92	8,98	246,32	6,85	21,40	246,41	1,59	
222,57	-5,71	262,89	-4,39	40,32	262,92	-0,96	239,25	-1,50	274,22	-1,32	34,97	274,22	-0,28	
224,86	1,18	264,27	-4,29	39,41	264,30	-0,93	229,75	5,18	258,55	4,02	28,80	258,58	0,89	
230,95	2,58	273,27	6,90	42,32	273,36	1,45	226,34	-3,45	253,76	-3,58	27,42	253,79	-0,81	
Moy	227,37	-2,69	265,60	-1,73	38,23	265,65	-0,39	230,06	2,30	258,21	1,49	28,15	258,25	0,35
Sx	4,32	5,45	5,20	5,76	5,05	5,22	1,23	6,45	5,79	11,80	4,79	5,57	11,76	1,09

Tableau 32 Résultats des coups de départ du sujet no 4

Sujet No 4: 17,30 heures, trou no 2, température 18,5°, pression 102,3 ,vent défavorable de 21 km/hre arrivant de l'ouest à 147°.														
1 tee							2 tees							
Contact (A)		Fin roul. (B)		Roulem.	Résult.	Dévation	Contact (A)		Fin roul. (B)		Roulem.	Résult.	Dévation	
Y	X	Y	X	(y2-y1)	(mètres)	(degrés)	Y	X	Y	X	(y2-y1)	(mètres)	(degrés)	
230,69	-6,00	249,85	-55,75	19,16	255,99	-12,58	233,21	-15,63	246,57	-10,19	13,36	246,78	-2,37	
227,66	-13,38	252,77	-14,62	25,11	253,19	-3,31	204,38	-2,54	222,16	-4,23	17,78	222,20	-1,09	
219,81	-4,92	245,26	-9,20	25,45	245,43	-2,15	228,39	15,85	243,09	14,53	14,70	243,52	3,42	
218,48	21,12	234,80	28,44	16,32	236,51	6,91	234,43	-11,26	246,50	-12,14	12,07	246,80	-2,82	
220,02	-10,34	224,79	-12,25	4,77	225,12	-3,12	226,70	8,07	241,63	9,04	14,93	241,80	2,14	
221,71	-15,94	234,44	-19,63	12,73	235,26	-4,79	220,14	-3,04	230,01	-4,31	9,87	230,05	-1,07	
212,93	11,70	222,55	12,63	9,62	222,91	3,25								
207,80	-1,67	234,93	-8,33	27,13	235,08	-2,03								
Moy	219,89	-2,43	237,42	-9,84	17,54	238,69	-2,23	224,54	-1,42	238,33	-1,22	13,78	238,52	-0,30
Sx	7,34	12,75	11,05	24,51	8,15	12,06	5,72	11,12	11,76	9,99	10,69	2,70	10,11	2,52

Sujet No 4: 18,45 heures, trou no 3, température 16°, pression 102,4, vent favorable de 10 km/hre arrivant de l'ouest à 327°.														
226,63	1,52	268,05	-3,69	41,42	268,07	-0,79	225,61	5,47	254,91	10,97	29,30	255,14	2,46	
238,50	4,44	269,98	3,83	31,48	270,01	0,81	222,50	2,38	251,92	-2,81	29,42	251,93	-0,64	
238,50	0,19	262,29	-3,73	23,79	262,31	-0,81	224,92	8,75	249,00	12,94	24,08	249,33	2,98	
237,88	-0,37	280,70	-4,22	42,82	280,73	-0,86	234,02	4,78	261,23	9,96	27,21	261,42	2,18	
Moy	235,38	1,45	270,25	-1,95	34,88	270,28	-0,41	226,76	5,34	254,26	7,77	27,50	254,46	1,75
Sx	5,84	2,15	7,69	3,86	8,95	7,69	0,82	5,02	2,63	5,23	7,16	2,50	5,21	1,62

Tableau 33

Méthode de calcul à partir des données brutes obtenues lors de l'Expérience III

Cet exemple de calcul sera réalisé à partir du premier essai du sujet no 1 et les résultats sont les mêmes que ceux présentés au Tableau 29 de l'Annexe A. Les données sont recueillies à partir de la station centrale (1000,1000). Nous obtenons pour ce premier essai les résultats suivants: les paramètres lorsque la balle touche le sol au point A sont (1009,29, 988,80) et, lorsqu'elle termine sa course au point B, (1009,75, 965,55). Nous avons préalablement établi un point de référence (origine) sur chacune des deux allées; sur le trou no 2, les paramètres sont (1000,1197,728) et (1000,1212,678) sur le trou no 3.

Dans un premier temps, pour trouver la déviation en X, on soustrait pour le point A: 1009,29 moins 1000 pour obtenir une déviation de 9,29 m et on exécute la même procédure au point B et on obtient 9,75 m.

En Y, on soustrait, au point A, la valeur en Y du point d'origine soit 1197,728 de 988,80 pour ainsi obtenir la distance de portée aérienne qui est de 208,928 m et on arrondit à 208,93 m. La même opération est faite au point B et nous obtenons une distance totale de 232,18 mètres.

Pour connaître la distance du roulement terrestre de la balle, on soustrait la valeur en Y du point B (232,18) moins celle en Y du point A (208,93), pour obtenir comme résultat un roulement total de 23,25 mètres.

La résultante est calculée à partir du point B (9,75, 232,18) et on se sert d'une des formules appliquées au triangle rectangle pour la trouver, soit; $R = \sqrt{X^2 + Y^2}$ ou $R = \sqrt{(54002,61)}$ ou $R = 232,38$ mètres.

Enfin pour trouver l'angle de déviation de la balle au point B par rapport à l'axe des X, on se sert d'une autre formule appliquée au triangle rectangle, soit $\sin A = a/b$. On connaît la longueur de a (9,75 m), ainsi que celle de b (232,18 m). On divise 9,75 m de

232,18 m et on obtient 0,0419 m, le sinus de cette valeur nous donne 0,04198 radian.

Pour déterminer l'angle on utilise la formule suivante; 1 radian = 57,3 degrés, alors on multiplie 0,04198 par 57,3° et on obtient un angle de déviation de 2,40 degrés.

Tableau 34

Résultats de la recherche exclusive de Fishman (1990).

	J's Weapon professionnel	Bois de métal conventionnel
Rotations négatives	3,095 rpm	3,220 rpm
Distance aérienne	226,4 m	227 m
Roulement terrestre	46,4 m	26,6 m
Distance totale	272,4 m	254 m
Plus longue	277,8 m	263,9 m
Plus courte	268,8 m	247,9 m

Caractéristiques de cette recherche: inclinaison de 8,5° des têtes de bâton, vitesse de la tête de bâton de 108 mph (175 km/h) et type de balle balata.

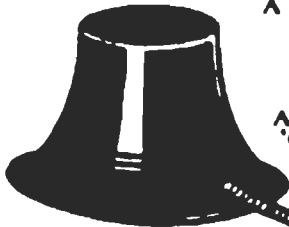
ANNEXE B

Figures

**Why You Should Use
"THE MURRAY TETHERED GOLF TEE"**

<p>The same desired height at all times Substantially built A small base - prevents drag A large base - prevents turning over The small diameter point with enamel finish makes peg easy to enter ground The tee rotates when struck low remaining within radius of 14 inches</p>	<p>It is novel as well as practical It saves the ball - less damage when topped It saves time - no extra steps taken to get tee Three different heights to choose from The small diameter point with enamel finish makes peg easy to enter ground The tee rotates when struck low remaining within radius of 14 inches</p>
---	--

— A Trial Will Convince You —



THREE SIZES
No. 1— $\frac{1}{4}$ " high
" 2— $\frac{1}{2}$ " "
" 3— $\frac{3}{4}$ " "
PRICE 25c EACH



A green elastic
"Cord" 14" long



A celluloid "Ring"
of amber color

A hardwood shaft or "Peg"
enameled yellow

Also put up in sets
consisting of one of each size
PRICE PER SET 75c

If your golf pro or dealer cannot supply you, write direct to:
THE MURRAY COMPANY
P.O. BOX 441 DULUTH, MINN.

Figure 11. Voici les premiers échantillons de tee utilisés (Lafaurie, 1988).

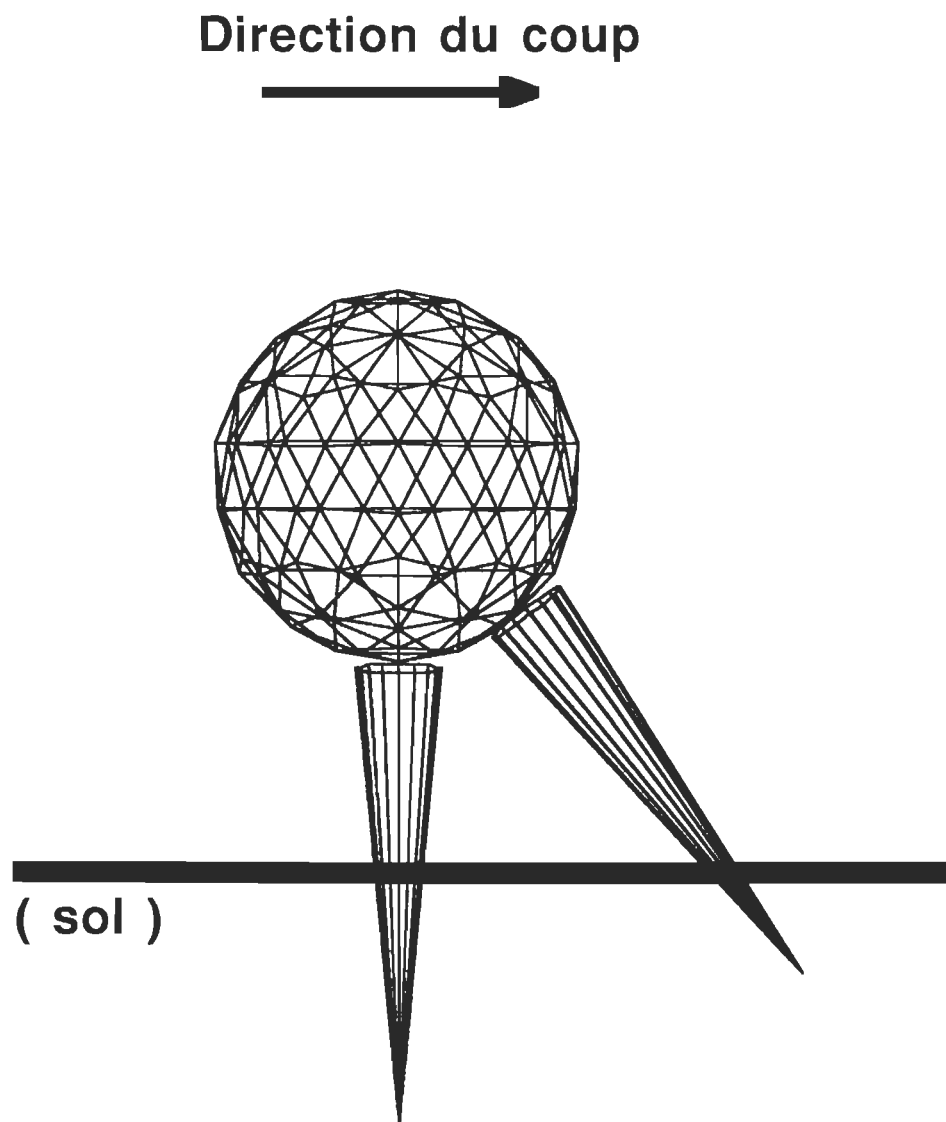


Figure 12. Illustration d'un support à deux tees, avec vue sagittale.

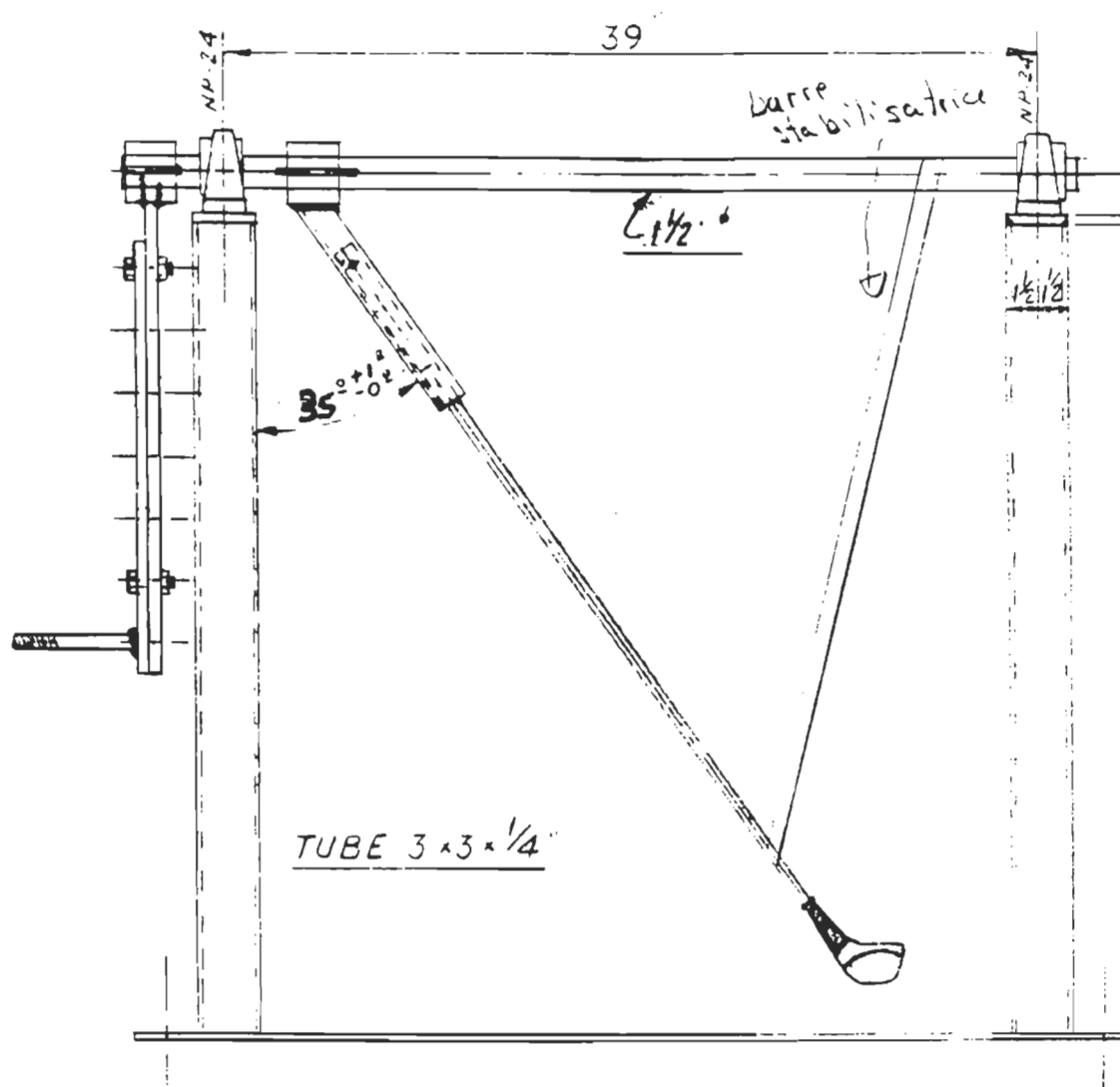


Figure 13. Illustration de l'impacteur (échelle 1 1/2" : 1").

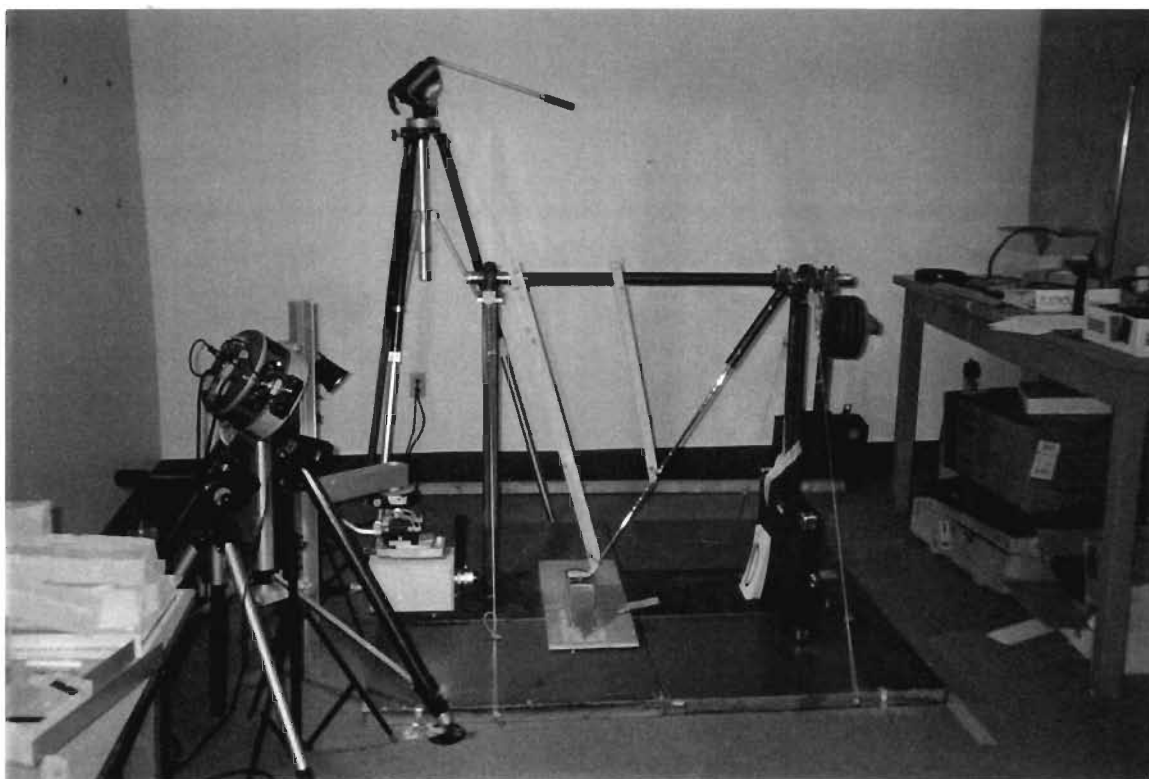


Figure 14. Vue d'ensemble du montage expérimental.

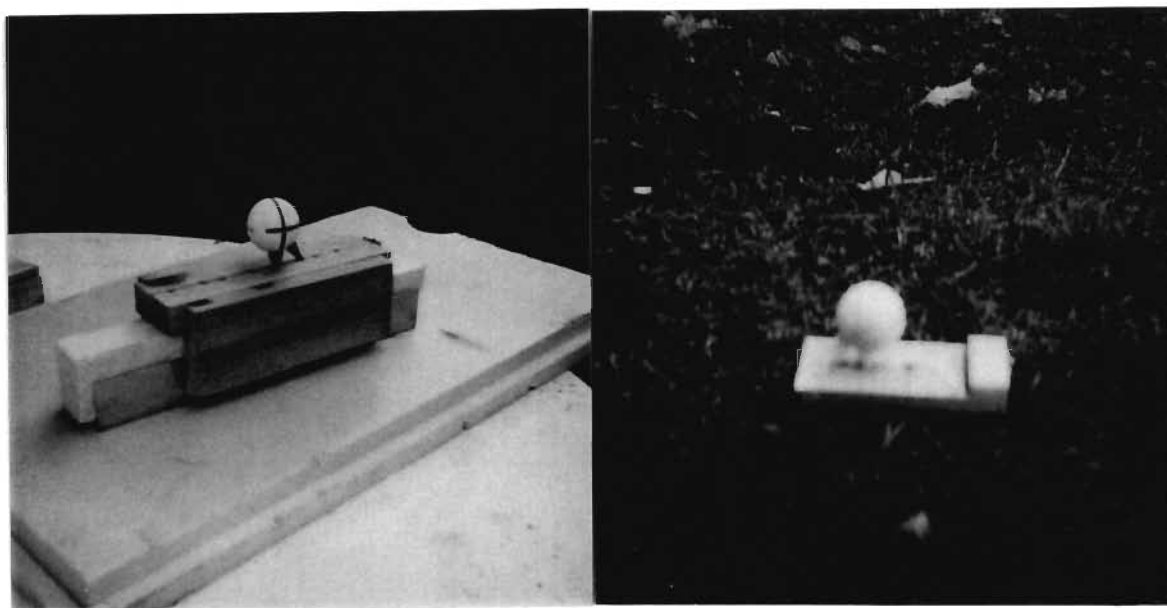


Figure 15. À gauche, gabarit multi-angles (43° , 48° , 53° , 58°) utilisé lors des expériences I et II, à droite gabarit avec un angle de 53° utilisé lors de l'expérience III.

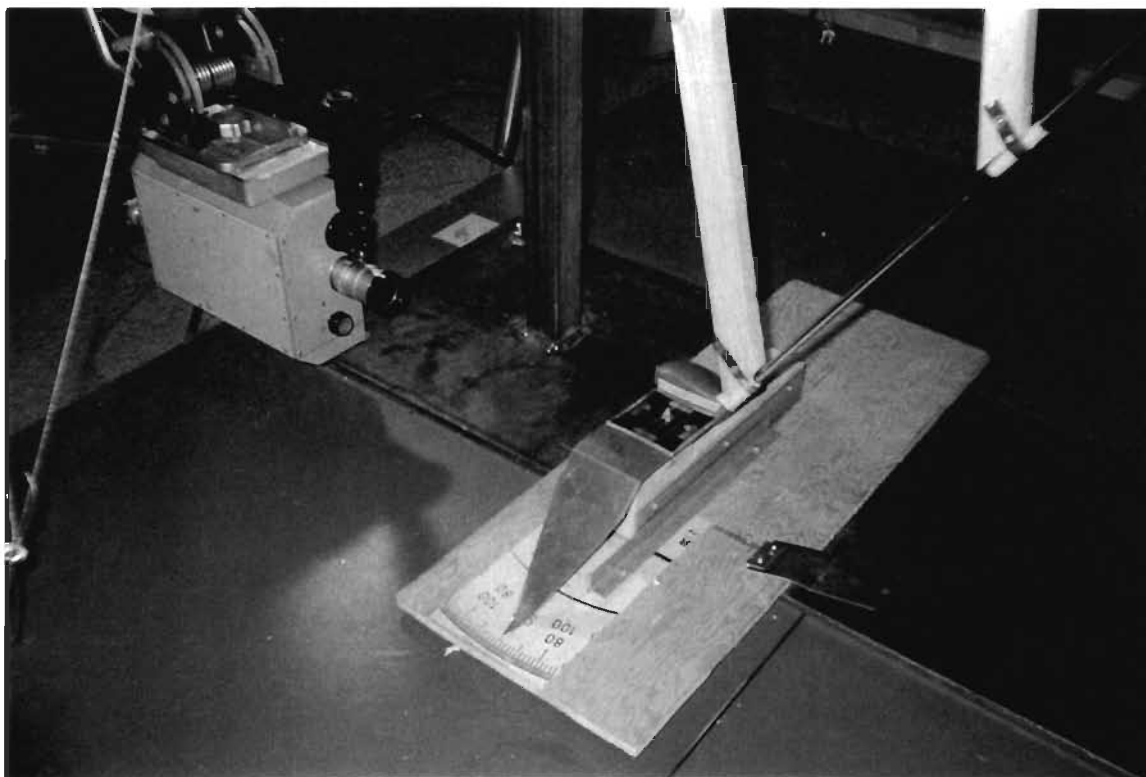


Figure 16. Compas servant à déterminer l'angle du bâton.

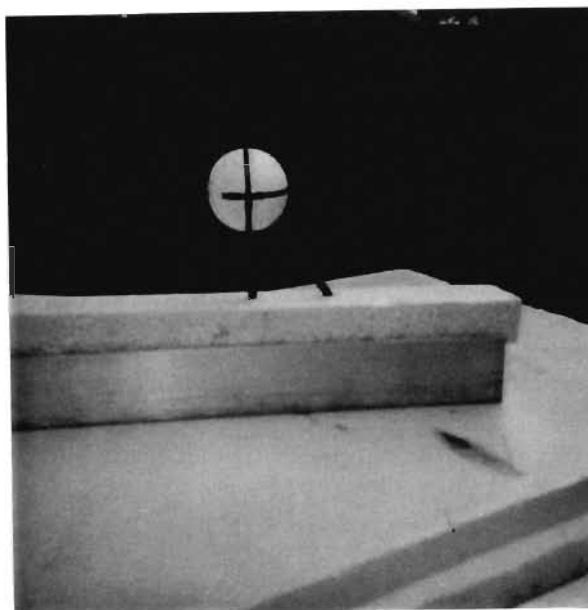


Figure 17. Vue sagittale de la balle avant l'impact (cinématographie)

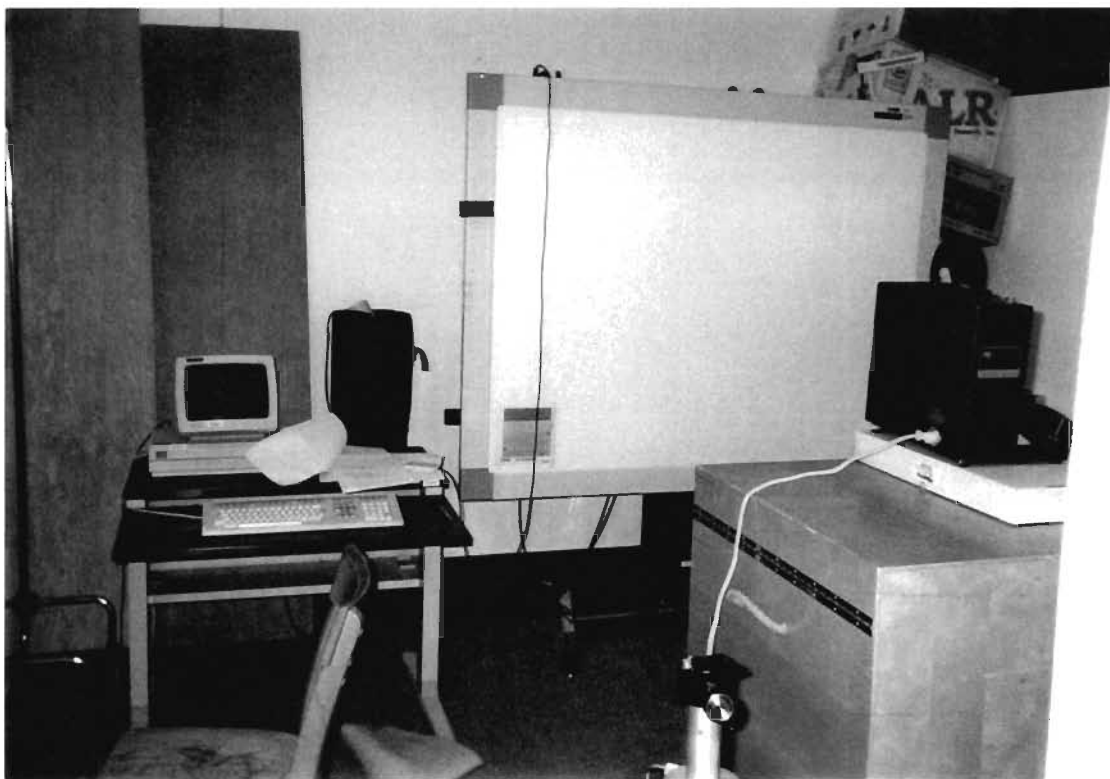


Figure 18. Équipements servant à la digitalisation.

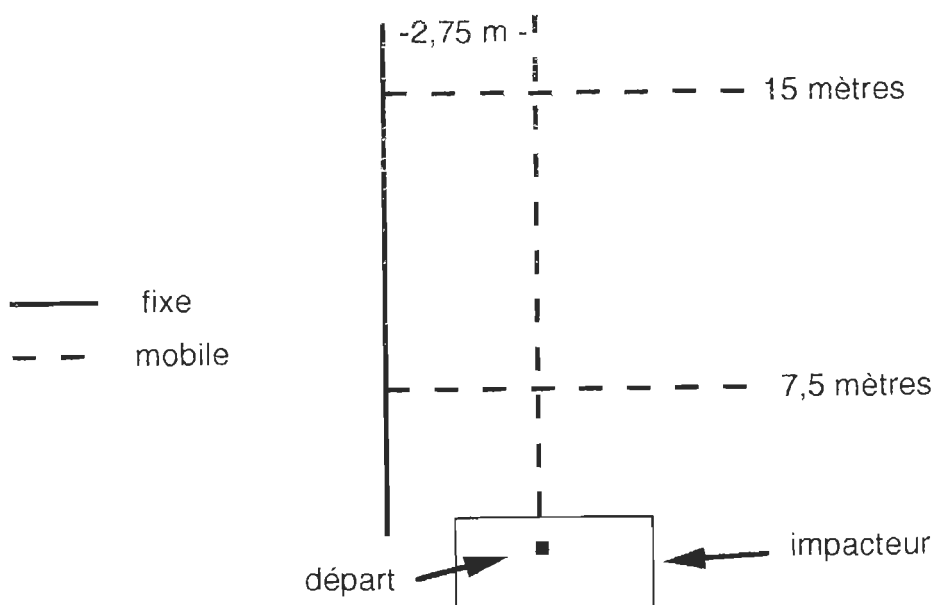


Figure 19. Système de repérage utilisé lors de l'Expérience II.

