



# La boule de fort



*Travail de recherche  
réalisé par :*

Julien	Thomas	Simon	Manuel
Clabecq	Roussel	Thomas	Coffin

Nous nous sommes intéressés à un sport plutôt méconnu, typique de l'Anjou, la boule de fort, qui fait intervenir des éléments aux propriétés physiques particulières. Nous avons cherché à étudier ce jeu de façon scientifique. Nous avons démarré cette étude dans le cadre des TPE en classe de première, puis nous avons approfondi ce travail cette année, afin de participer aux olympiades de la physique.

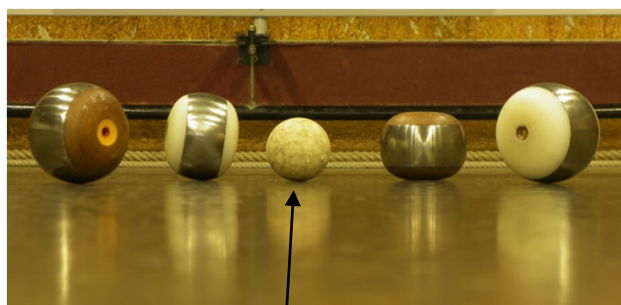
## Table des matières :

	Page
Partie I : Présentation de la boule de fort	
1) Les règles du jeu.....	3
2) Les boules.....	3
3) Le terrain de jeu.....	4
4) Les origines de la boule de fort.....	4
Partie II : Comprendre les trajectoires de la boule de fort	
1) Paramètres variables.....	5
2) Faire varier ces paramètres sur une piste.....	5
3) Faire varier ces paramètres sur une maquette.....	6
4) La vitesse initiale de la boule.....	7
5) La position de la rampe le long de la ligne de lancer.....	8
6) La direction de lancer.....	9
7) Le fort.....	9
8) Mesure de la vitesse de la boule.....	11
9) Etude énergétique.....	12
10) Conclusion.....	13
Partie III : Peut-on gagner scientifiquement à la boule de fort ?	
1) Etablissement du catalogue.....	14
2) Utilisation du catalogue.....	15
3) Les limites de notre catalogue.....	15
4) Comment améliorer le catalogue : la modélisation 3D.....	16
5) Création de la modélisation.....	16
6) Comparaison entre la maquette et sa modélisation 3D.....	18
7) Modification de la forme de la boule.....	19
8) Les limites de la modélisation.....	20
Conclusion.....	20
Annexes	
Fabrication de la boule de fort.....	21
Chronophotographies supplémentaires.....	22
Autre étude de l'évolution de la vitesse de la boule.....	23
Bibliographie.....	23
Remerciements.....	24

## Partie I : Présentation de la boule de fort

### 1) Les règles du jeu :

La boule de fort est un jeu similaire à la pétanque dans lequel les joueurs, par équipe, doivent lancer des boules (les faire rouler sur une piste) pour qu'elles s'approchent le plus possible du maître, une petite boule blanche placée à l'autre extrémité de la piste.



Le "maître" (ou "petit") : un cochonnet, servant de but aux joueurs et donnant le point à l'équipe qui a lancé la boule la plus proche de lui.

### 2) Les boules :



Les boules utilisées sont particulières : elles sont déséquilibrées, elles ont un côté plus lourd que l'autre, le côté fort. Cela leur donne des trajectoires courbes. Ce fort est fait de différentes façons, selon le fabricant : en mettant du bois plus lourd d'un côté, en évidant le côté faible, en limant le cerclage métallique pour décaler la bande de roulement, ou en mettant une vis à l'intérieur.

Selon les deux fabricants que nous avons rencontrés, cette dernière solution est très utilisée, car elle permet de régler le fort. On visse dans un tube de plastique taraudé (au milieu de la boule) une petite tige filetée qui, en la déplaçant, modifie le fort. Une autre tige filetée peut être utilisée pour maintenir la première.



Petite tige filetée d'environ 15 g qui, en étant vissée dans la boule, crée le fort.

Par paire, les boules sont de forme méplate, cerclées d'acier pour les protéger des chocs et mieux les faire rouler sur la piste lisse. Les boules pèsent entre 1,2 et 1,5kg, et mesurent 12,5 cm de haut et 10 cm de large en moyenne. Elles sont construites généralement en bois de cormier, ou en plastique.

### 3) Le terrain de jeu :

La boule de fort se joue dans des sociétés, bâtiments dédiés dans lesquels sont installées des pistes incurvées (dont les bords sont relevés), de 21 à 24 mètres de long et de 5 à 8 mètres de large.

La fédération de boule de fort regroupe 380 sociétés et 48 000 sociétaires.



Des lignes servent à délimiter la zone de lancer

Les terrains de boule de fort étaient autrefois construits en terre battue et en plein air. Sur la piste, il faut obligatoirement porter des chaussons afin de ne pas abîmer le revêtement en résine synthétique.

### 4) Les origines de la boule de fort :

Les origines de la boule de fort sont assez floues mais on sait que ce jeu vient de l'Anjou. Une théorie lui donne naissance dans le fond des bateaux de Loire, tandis qu'une autre la fait naître dans les tranchées de la levée de la Loire au 18<sup>ème</sup> siècle à partir des roues usées des roulements à billes de moulins. Le cerclage en fer serait apparu ensuite vers 1850 pour donner plus de résistance à la boule.

Il existe dans le nord de la France et en Angleterre des jeux similaires, mais la piste incurvée, le fort de la boule et sa forme sont uniques.

## **Partie II : Comprendre les trajectoires de la boule de fort**

En observant un joueur lancer une boule de fort, on s'aperçoit qu'une fois la boule lancée, son mouvement est modifié par le fort et par la forme de la piste.

### **1) Paramètres variables :**

Pour lancer la boule, les joueurs peuvent faire varier 5 paramètres :

- La vitesse initiale de la boule, soit l'énergie qu'ils lui donnent
- Leur position le long de la ligne de lancer
- La direction du lancer
- Le côté du fort (à droite ou à gauche)
- Le réglage du fort (à l'intérieur de la boule)

### **2) Faire varier ces paramètres sur une piste :**

Nous avons voulu étudier l'influence de chacun de ces paramètres sur la trajectoire de la boule. Il nous a donc fallu lancer la boule avec une rampe nous permettant de contrôler indépendamment ces paramètres. Nous avons ainsi conçu et fabriqué cette rampe :



Pour observer les trajectoires suivies par la boule, nous sommes allés dans des sociétés pour faire plusieurs lancers avec notre rampe et une boule que nous avons empruntée. Nous avons réalisé des chronophotographies, en photographiant la piste en mode rafale (une photo par seconde) et en superposant les images obtenues.



Sur nos chronophotographies, nous avons indiqué :

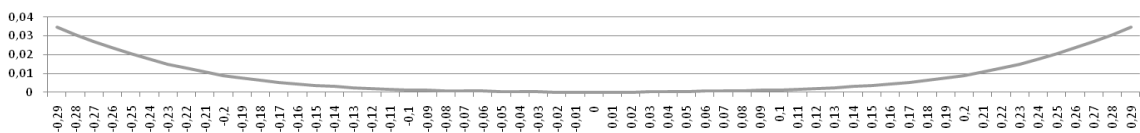
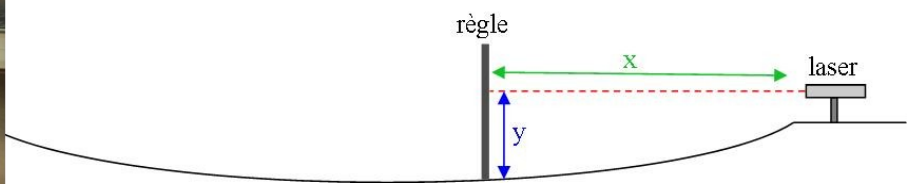
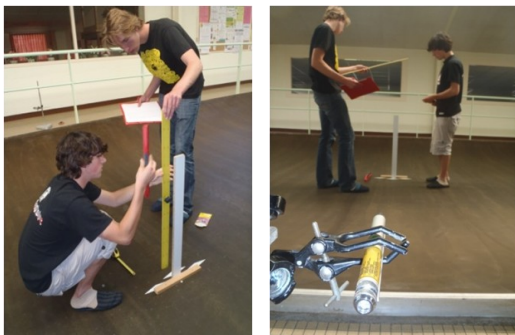
- le côté du fort pour le lanceur (G/D),
- l'axe de la rampe par rapport à celui de la piste (angle),
- la position de la rampe le long de la ligne de lancer par rapport à son centre (distance),
- l'inclinaison de la rampe, c'est-à-dire la vitesse initiale de la boule (taquet).



### 3) Faire varier ces paramètres sur une maquette :

On ne pouvait pas faire de mesures très précises sur une vraie piste, car la configuration des sociétés dans lesquelles nous nous sommes rendus ne nous permettait pas de filmer le terrain en plongée zénithale pour effectuer un pointage à l'aide d'un logiciel du lycée (Généris). Pour le faire, nous avons fabriqué une maquette de piste.

Afin de respecter la courbure d'une véritable piste, nous avons mesuré la hauteur de plusieurs points de la piste sur sa largeur en s'aidant d'un laser. Excel nous a permis d'obtenir l'équation de la courbe. Nous avons adapté ces données à l'échelle 1/10<sup>ème</sup> et construit la maquette.



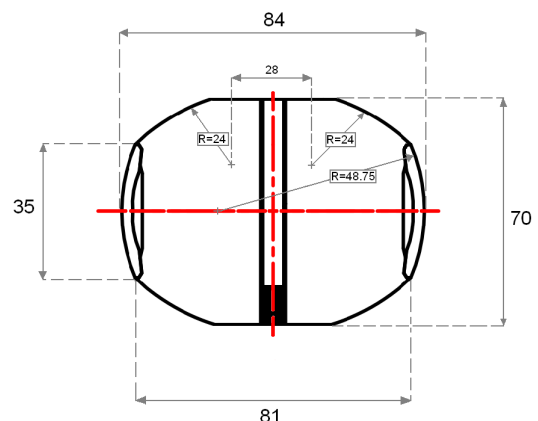
Courbure de la maquette (unité : m)

$$\text{Equation de la courbe : } y = 0,0042x^4 - 4E-15x^3 + 0,0057x^2 + 9E-14x + 0,0025$$

$R^2 = 0,9997$ , donc la modélisation est proche de la réalité.

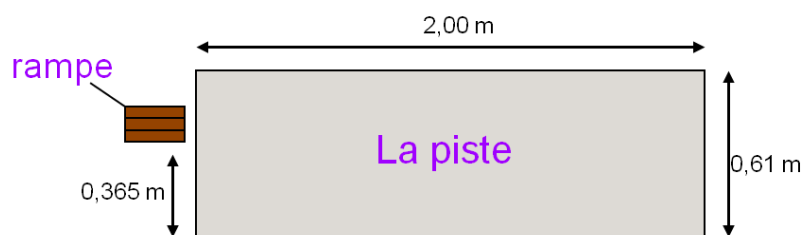


Nous avons rendu visite à un fabricant de boule de fort, qui a fabriqué pour nous une petite boule de fort. Mais celle-ci n'est pas à l'échelle de la maquette de piste, car le fort n'aurait pu se faire ressentir et elle n'aurait pas réagi comme une vraie boule. D'ailleurs il nous a fallu régler le fort au maximum pour qu'on observe une influence sur les trajectoires. La masse de la mini-boule est de 760g, soit environ deux fois moins qu'une vraie boule.

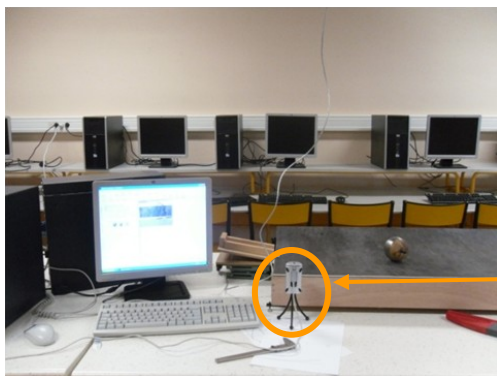


Côtes de la boule (en mm)

Nous avons aussi fabriqué une petite rampe, différente de la première et mieux adaptée à la maquette.



Nous avons fixé une caméra au-dessus de la maquette pour pouvoir réaliser le pointage des trajectoires par informatique.



Caméra pour mesurer la vitesse angulaire

Caméra grand angle, au-dessus du centre de la piste

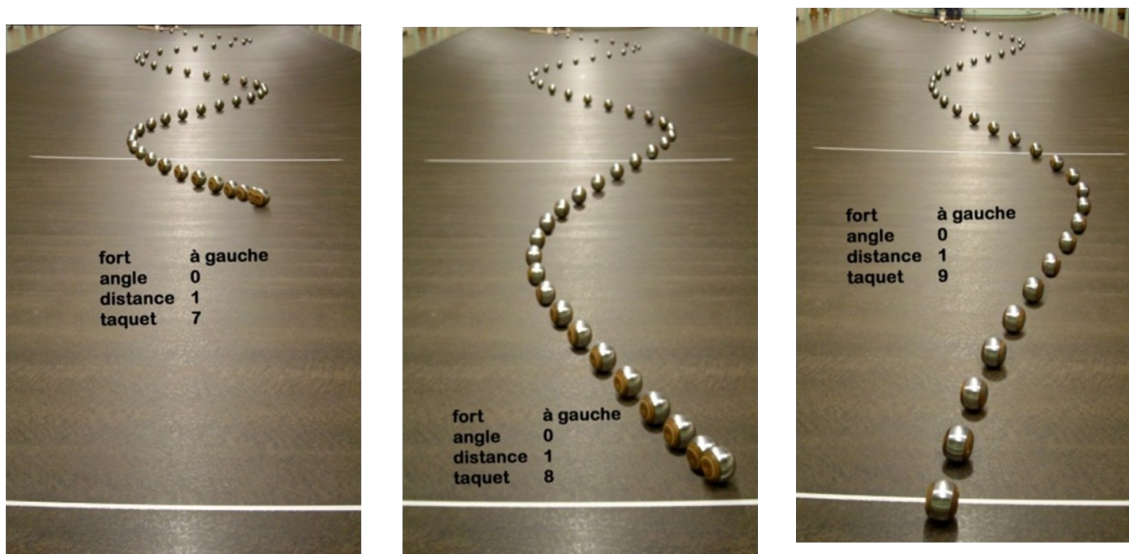


Toutes ces données nous ont permis d'étudier un à un l'influence de chaque paramètre de lancer.



Chronophotographie réalisée avec le logiciel Génériss à parti d'un film de notre rampe

#### 4) La vitesse initiale de la boule (l'inclinaison de la rampe) :

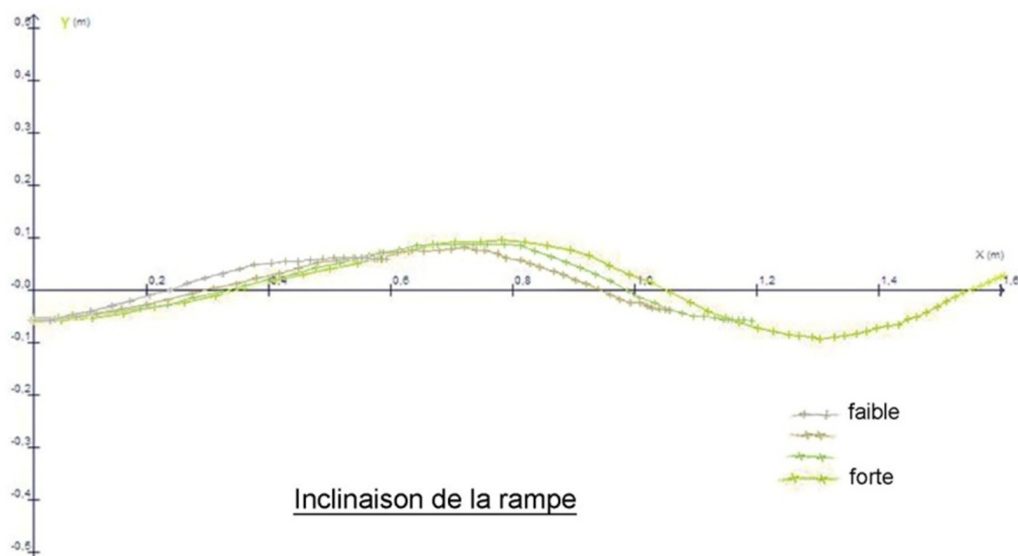


En comparant les chronophotographies, on voit que les courbes ont une plus faible amplitude quand l'inclinaison de la rampe est plus forte. Plus la vitesse initiale de la boule est importante, plus celle-ci va loin, moins le fort se fait ressentir et moins la trajectoire est courbe. Les trajectoires s'étirent.

D'ailleurs, lors d'un tir, quand le joueur lance la boule très fort pour percuter et déloger les boules qui le gênent, la trajectoire de la boule est une droite.

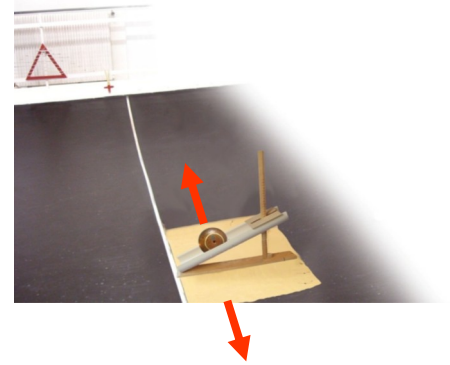
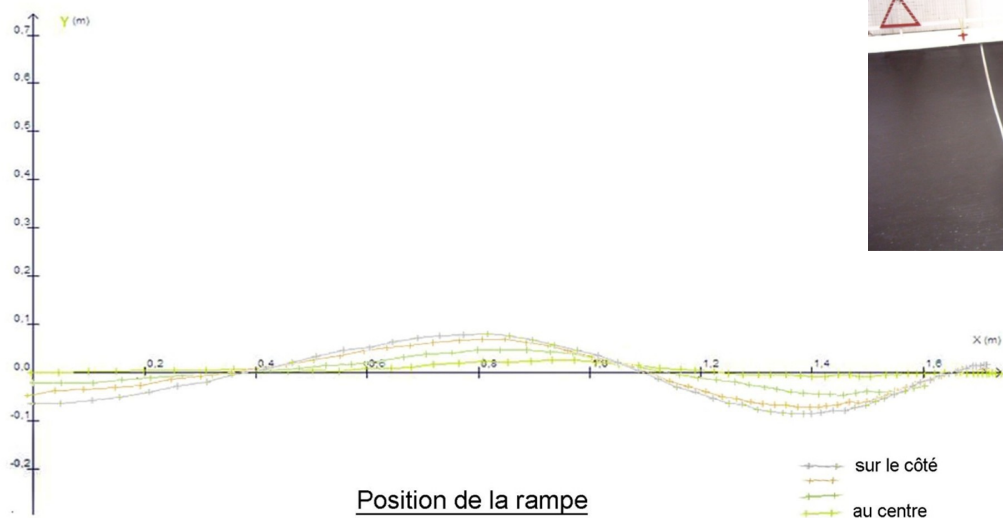
Le fort a plus d'influence quand la vitesse est faible. Au cours d'un lancer, les virages de la boule sont plus marqués à la fin du lancer, quand la vitesse de la boule diminue. La vitesse de rotation de la boule l'équilibre, c'est comme un gyroscope : plus il tourne vite, plus il est difficile de modifier son axe de rotation.

On observe les mêmes choses sur un graphique réalisé grâce au pointage sur la maquette avec Génériss. Sur ces graphiques, l'axe des abscisses correspond aux points les plus bas de la maquette, au milieu de la largeur. Ici, moins la rampe est inclinée plus les courbes sont foncées.



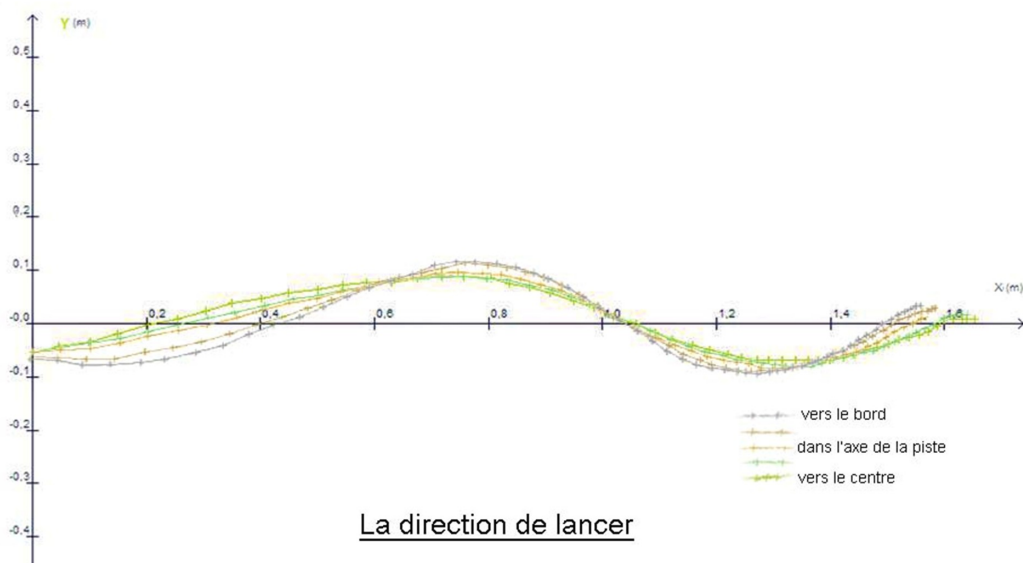


## 5) La position de la rampe le long de la ligne de lancer :



Lorsque la boule monte sur le côté de la piste, on dit qu'elle prend de la "charge". La pente redirige la boule vers le milieu de la piste. Et cet effet est très visible même proche du centre de la piste, alors qu'elle est quasiment plate. Cela permet de faire prendre à la boule des trajectoires courbes grâce auxquelles elle peut slalomer entre les autres boules déjà présentes sur le jeu, pour arriver au maître.

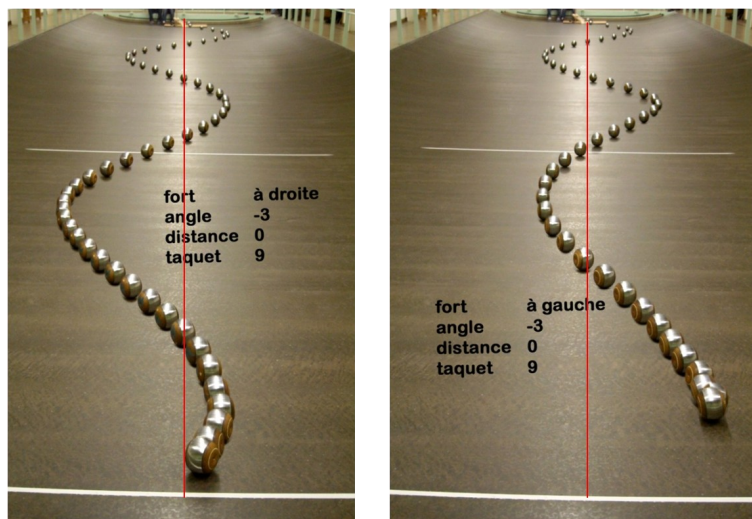
## 6) La direction de lancer :



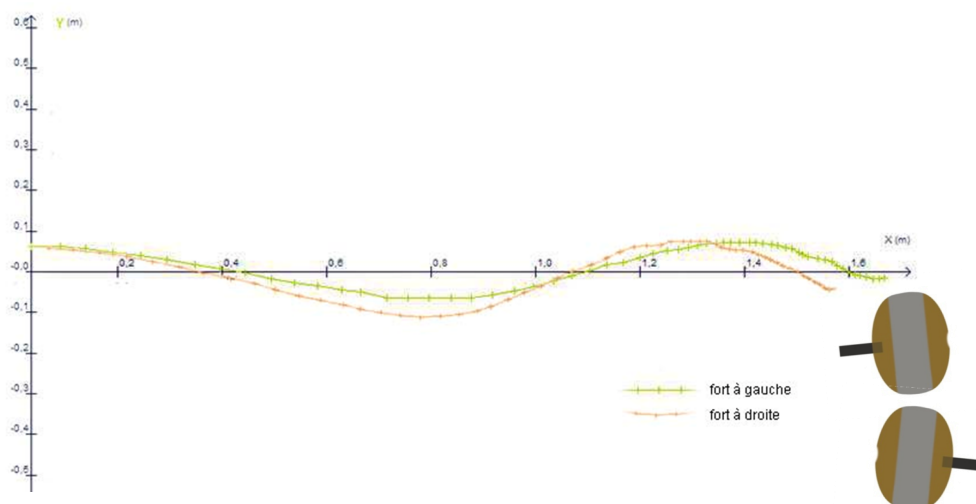
Changer la direction de lancer permet d'avoir une trajectoire plus ou moins courbe. Notre boule étant trop grosse pour la maquette, la zone d'arrivée de la boule est toujours au milieu de la largeur du jeu. Mais l'abscisse du point d'arrivée change, car la distance parcourue par la boule reste à peu près la même alors que sa trajectoire varie.

Pourtant, bien qu'on ne le voit pas sur la maquette, on remarque sur la piste que les trajectoires courbées par la charge sont plus longues (par exemple 17,65m au lieu de 15,60m) : la courbure de la piste permet de parcourir une plus grande distance.

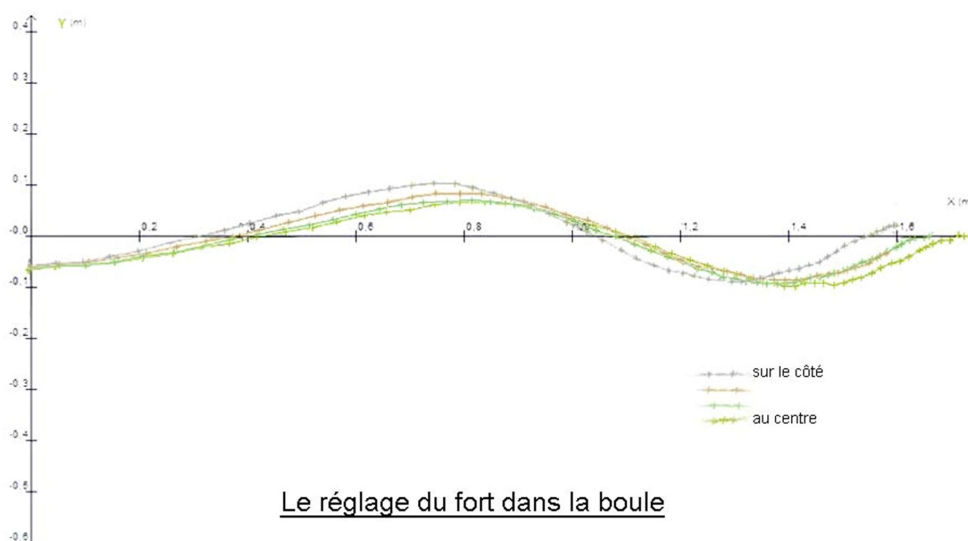
## 7) Le fort :



On observe que le fort a tendance à ramener la boule vers son côté. Quand on change le côté du fort, pour un même lancer, le fort compense ou accentue les effets de la charge :



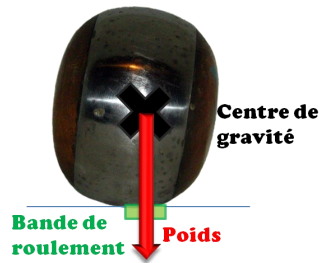
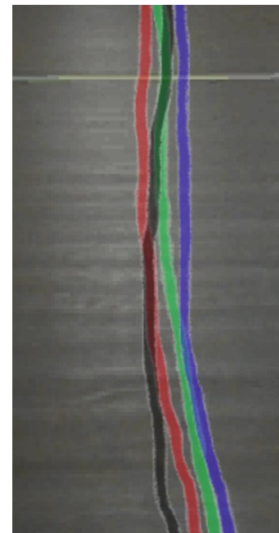
Pour observer l'influence du fort, nous avons lancé plusieurs fois une boule en modifiant à chaque fois le réglage du fort.



On remarque que plus le fort est placé loin du centre de la boule, plus il fait tourner la boule de son côté.

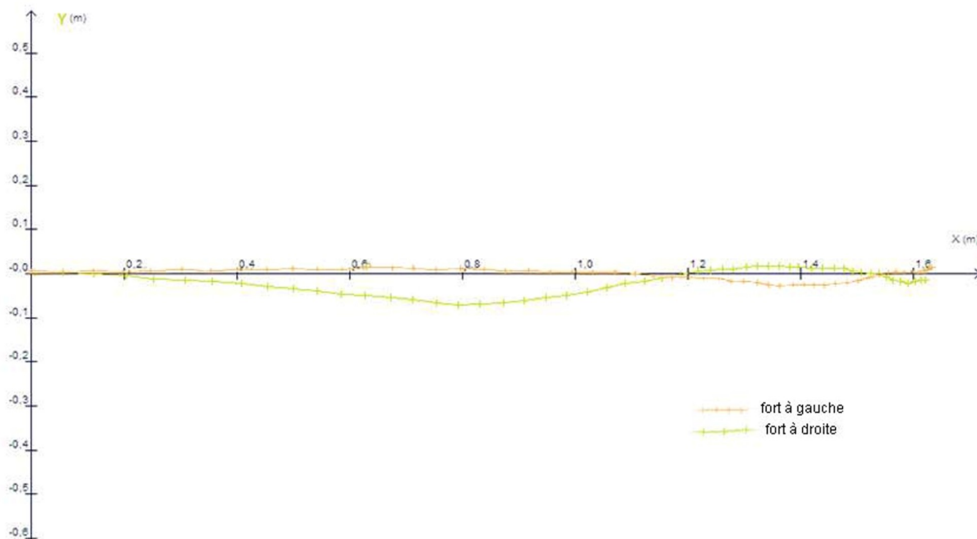
On observe la même chose sur une vraie piste, en filmant des lancers à un endroit où la modification du fort est logique et visible : la boule avec plus de fort (4) tourne, monte sur le bord de la piste et redescend plus tôt. Le réglage du fort modifie la position du centre de gravité de la boule, qui s'incline. Sa bande de roulement est décalée, la boule tourne.

- 1
- 2
- 3
- 4

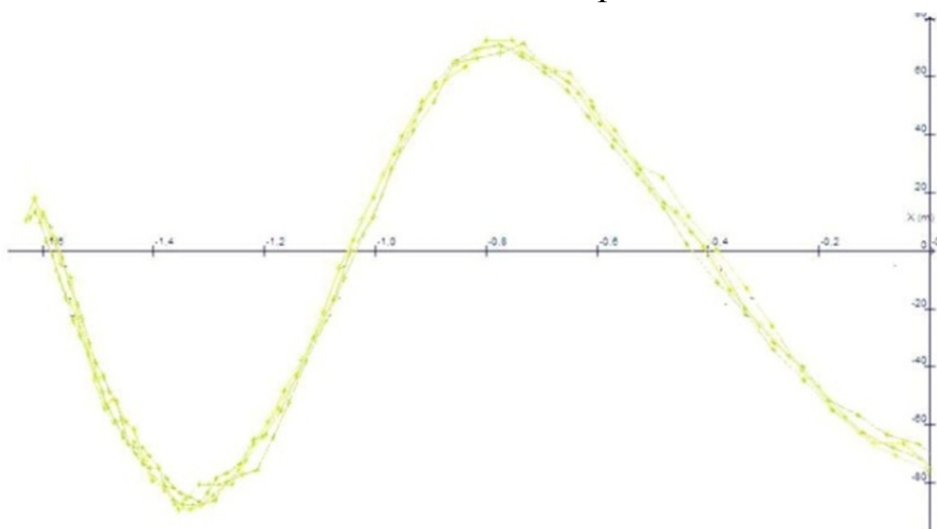


Variations de trajectoires en modifiant le fort

En lançant la mini-boule du milieu de la largeur, et en changeant le côté du fort, on voit que les deux trajectoires ne sont pas symétriques car la maquette ne l'est pas tout à fait.

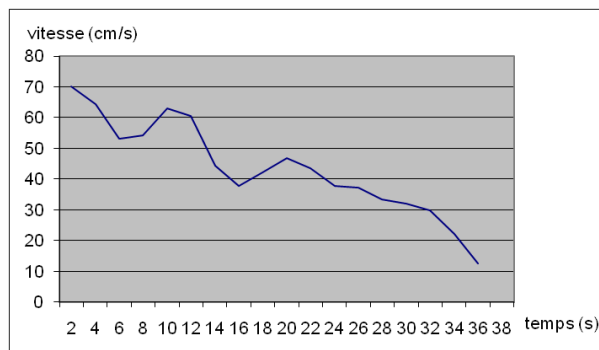


Mais notre maquette reste quand même assez fiable : il y a très peu de différences entre plusieurs lancers réalisés avec les mêmes paramètres :



## 8) Mesure de la vitesse de la boule :

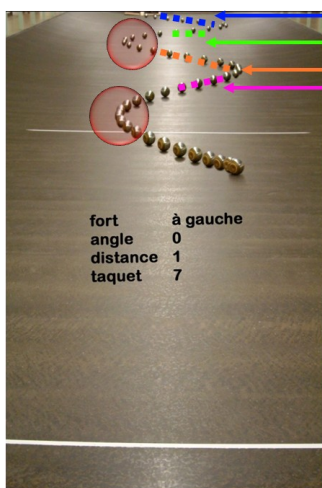
Sur une vraie piste, nous avons suivi un lancer en plaçant une marque sur la piste toutes les deux secondes pour repérer l'endroit où se trouve la boule. Puis en mesurant la distance séparant deux marques successives, nous avons calculé la vitesse de la boule.



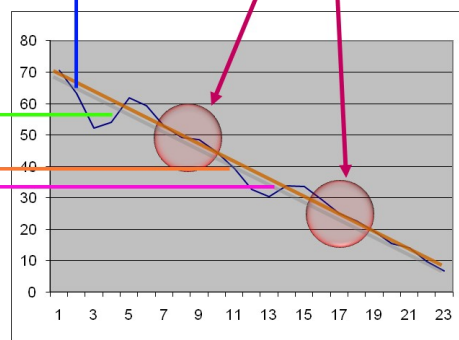
Courbe de l'évolution de la vitesse de la boule par rapport au temps

L'évolution de la vitesse de la boule s'explique par la "charge".

On voit bien que la boule ralentit plus (par rapport à sa "décélération naturelle" — ) lorsqu'elle monte sur le côté de la piste, puis qu'elle accélère lorsqu'elle redescend.

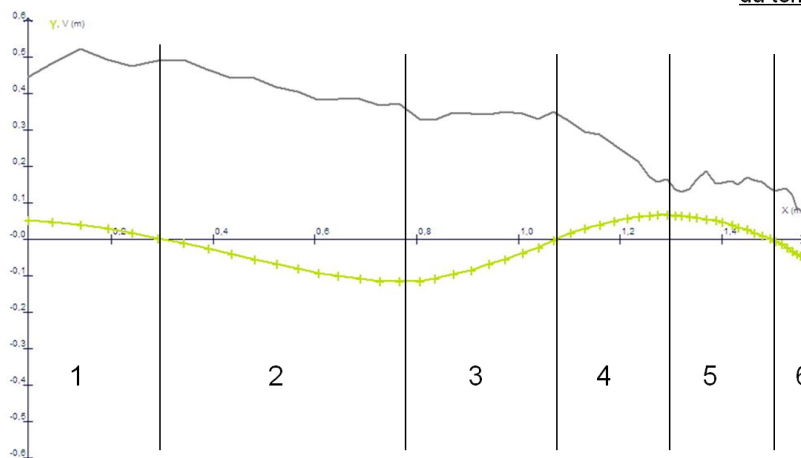


Ces virages sont moins marqués, car la boule prend moins de charge puisque son fort la ramène à droite.



Courbe d'évolution de la vitesse en fonction du temps

Sur la maquette :



1, 3, 5 : la boule descend du bord de la piste, son accélération est compensée par les frottements qui la ralentissent, sa vitesse stagne.

2, 4, 6 : la boule monte vers le bord de la piste, elle décélère.



## 9) Etude énergétique :

Nous observons que la boule, une fois lancée, sur une piste, roule sur près de 20 mètres alors que sa vitesse de départ est faible : environ  $70 \text{ cm.s}^{-1}$ . Pour illustrer ce phénomène nous pouvons calculer l'énergie cinétique de la boule et le frottement, entre un point A (la boule sur la piste, venant juste d'être lancée) et un point B (la boule en fin de course, à l'arrêt dans le référentiel terrestre) sur la maquette.

Nous avons réalisé des pointages avec le logiciel Génériss pour connaître la vitesse angulaire de la boule au départ de la maquette, qui est  $\omega = 12 \text{ rd.s}^{-1}$ . Nous avons modélisé la mini-boule par informatique (voir partie III), ce qui a permis de connaître le moment d'inertie de cette boule :  $I = 533849.10^{-9} \text{ kg.m}^2$ . La vitesse linéaire initiale  $v_A = 0,50 \text{ m.s}^{-1}$  a été trouvée grâce au pointage réalisé à partir du film en plongée zénithale de la maquette.

$$E_K(B) - E_K(A) = \sum W_{AB}(\vec{F}_{ext})$$

$$0 - \left( \frac{1}{2}mv_A^2 + \frac{1}{2}I\omega_A^2 \right) = W_{AB}(\vec{P}) + W_{AB}(\vec{R}_N) + W_{AB}(\vec{f})$$

$$-\frac{1}{2}mv_A^2 - \frac{1}{2}I\omega_A^2 = \vec{P} \cdot \vec{AB} + \vec{R}_N \cdot \vec{AB} + \vec{f} \cdot \vec{AB}$$

$$-\frac{1}{2}mv_A^2 - \frac{1}{2}I\omega_A^2 = P \times AB \times \cos 90^\circ + R_N \times AB \times \cos 90^\circ + f \times AB \times \cos(\vec{f} \cdot \vec{AB})$$

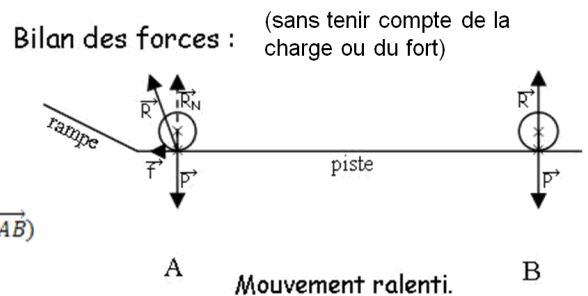
$$-\frac{1}{2}mv_A^2 - \frac{1}{2}I\omega_A^2 = 0 + 0 - f \times AB$$

$$f = \frac{\frac{1}{2}mv_A^2 + \frac{1}{2}I\omega_A^2}{AB}$$

$$f = \frac{\frac{1}{2} \times 0,760 \times 0,50^2 + \frac{1}{2} \times 533849.10^{-9} \times 12^2}{1,64}$$

$$f = 0,081 \text{ N}$$

Ce frottement est assez faible, il illustre bien que la boule roule sur une grande distance avec peu d'énergie.



## 10) Conclusion :

Le fort a toujours tendance à faire tourner la boule de son côté. Il s'exprime plus lorsque la vitesse de la boule est faible.

Lorsque la boule monte sur les bords de la piste, elle prend de la "charge", ce qui modifie sa vitesse et sa trajectoire, et renvoie la boule vers le milieu de la piste.

Les avantages de la forme de la piste et de son faible frottement sont que la boule peut parcourir une grande distance sans être lancée très fort, permettant des nuances dans les trajectoires. Le fort et la courbure de la piste permettent surtout d'obtenir des trajectoires courbes et variées afin d'éviter les autres boules pour s'approcher du maître. On remarque que même si la piste semble plate en son milieu, la très faible pente a quand même une importante influence sur la boule.

L'étude des trajectoires de la boule nous permet de comprendre l'influence que peuvent avoir les différents paramètres de lancement, ce qui est utile pour essayer de gagner scientifiquement à la boule de fort.

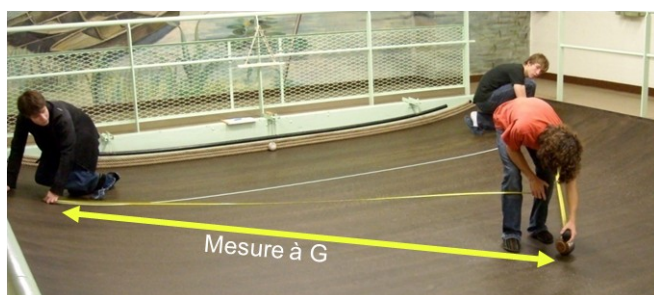
## Partie III : Peut-on gagner scientifiquement à la boule de fort

Nous avons cherché à utiliser ce que nous avons appris pour tenter de savoir s'il est possible de gagner scientifiquement à la boule de fort, en étudiant, comprenant et finalement prévoyant le comportement de la boule, pour pouvoir remporter une partie.

Pour y parvenir, nous avons réalisé de nombreux lancers en modifiant un à un les paramètres que nous pouvons faire varier avec notre rampe. Nous avons mesuré et noté dans un "catalogue" les coordonnées de l'endroit où s'arrêtait la boule en fin de course. Lors d'une partie, nous pourrions faire l'inverse : nous mesurerons l'emplacement du maître (à atteindre), nous comparerons ces coordonnées avec celles de notre catalogue et nous saurons quels paramètres de la rampe sont optimaux pour lancer la boule de façon à ce qu'elle s'approche le plus possible du maître.

### 1) Etablissement du catalogue :

Pour mesurer précisément les « coordonnées » de la boule lorsqu'elle s'arrête, nous avons mesuré les distances entre la boule et chaque extrémité de la ligne tracée sur la piste. Cela nous permet d'être beaucoup plus précis qu'en mesurant une abscisse et une ordonnée sur un repère orthonormé dont l'origine serait le centre de la ligne blanche, et on peut quand même convertir les coordonnées trouvées dans ce dernier repère.



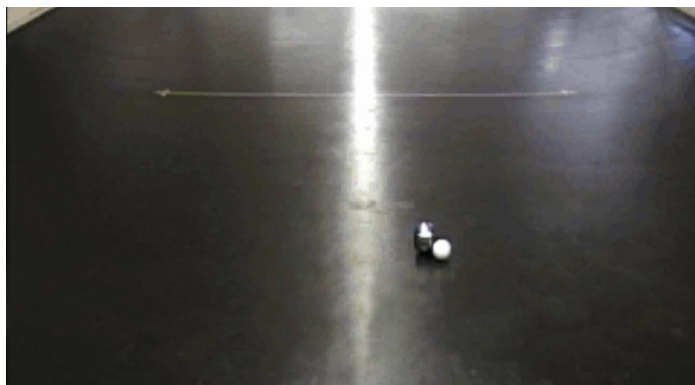
fort	angle	distance	taquet	mesure à D
D	0	0	8	350
G	0	0	8	360
D	0	0	9	250
G	0	0	9	320
D	0	0	10	-235
G	0	0	10	290
D	-3	0	10	260
D	-3	0	9	305
D	-3	0	11	-265
G	-3	0	11	-315
G	-3	0	10	310
G	-3	0	9	435

Un extrait de notre catalogue

(les chiffres ne désignent pas des valeurs avec unité, ce sont des codages que nous utilisons)

## 2) Utilisation du catalogue :

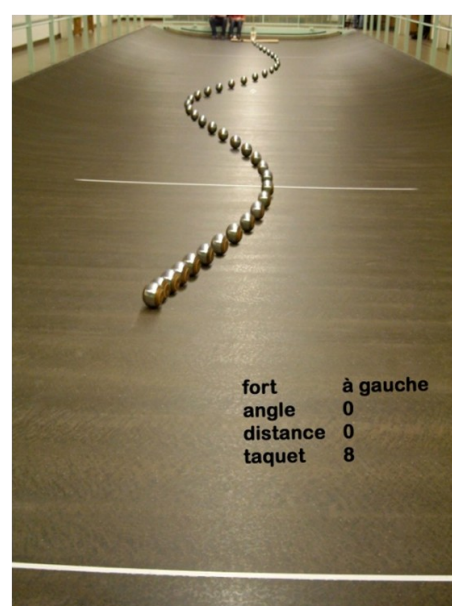
Nous nous sommes servis de ce catalogue, et nous avons de nombreuses fois constaté son efficacité, en réussissant à placer la boule près du maître. Donc oui, il semble qu'il soit possible de gagner scientifiquement à la boule de fort.



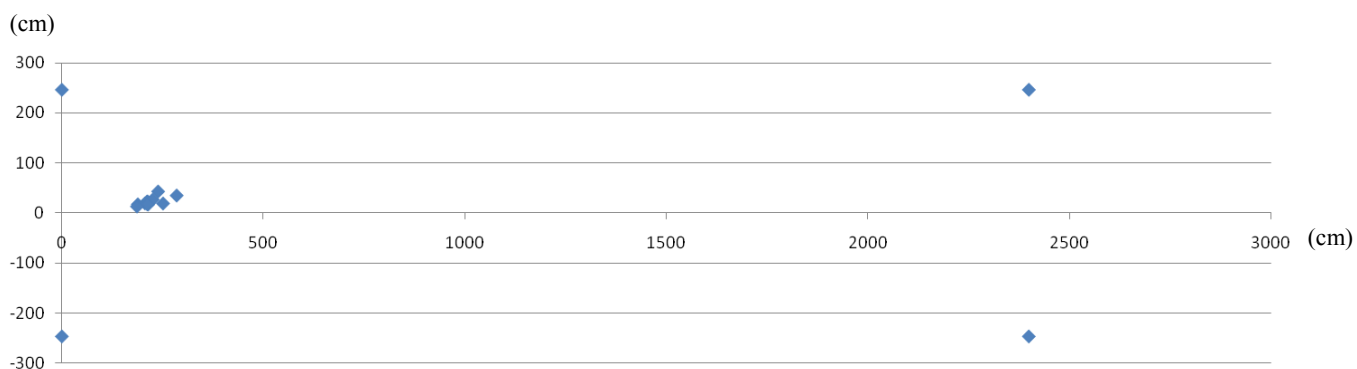
## 3) Les limites de notre catalogue :

Si ce que nous avons fait fonctionne le plus souvent, il y a malgré tout parfois des exceptions : deux lancers avec les mêmes réglages ne sont pas toujours identiques. On voit qu'il est difficile d'être très précis, car un faible changement dans le lancer provoque une importante modification de la trajectoire.

Exemple de lancers avec les mêmes réglages de la rampe mais avec des trajectoires différentes



Une des explications est la relative imprécision de notre rampe. Nous avons lancé 10 fois la boule selon une même configuration, avec notre rampe, et mesuré et calculé les coordonnées des points d'arrivée.



La moyenne des abscisses des points est 221 cm (il y a un écart type de 27) et la moyenne des ordonnées est 23 cm (écart type de 8). Les divergences tiennent surtout des abscisses, c'est-à-dire de la diminution de la vitesse ou des changements de trajectoire, provoqués par l'imprécision de la rampe (deux lancers avec les mêmes paramètres ne sont pas toujours identiques) ou des éléments incontrôlables comme la poussière.

#### 4) **Comment améliorer le catalogue : la modélisation 3D**

Il faudrait, pour s'approcher d'une plus grande exactitude, réaliser plus de lancers pour un même paramétrage de la rampe et en faire la moyenne afin de gommer les exceptions de trajectoires. Mais cela prendrait beaucoup de temps. Or on pourrait l'éviter en faisant un lancer parfait à chaque fois, ce qui serait le cas avec la modélisation en 3D des lancers.

Il serait très long de faire un nombre suffisant de lancers pour avoir un catalogue exhaustif, et on pourrait faire une infinité de lancers différents. Grâce à la modélisation, on pourrait se faciliter la tâche, car les pistes de boule de fort sont moins souvent disponibles qu'un ordinateur...

Nous n'avons pas pu tester notre catalogue dans les conditions d'une partie, et de toute façon il ne contient pas les trajectoires empruntées par la boule (on ne peut fixer une caméra qui filme toute la piste), ce qui serait pourtant utile pour éviter les autres boules déjà présentes autour du maître, subtilité importante du jeu. La modélisation 3D peut nous permettre de connaître les trajectoires.

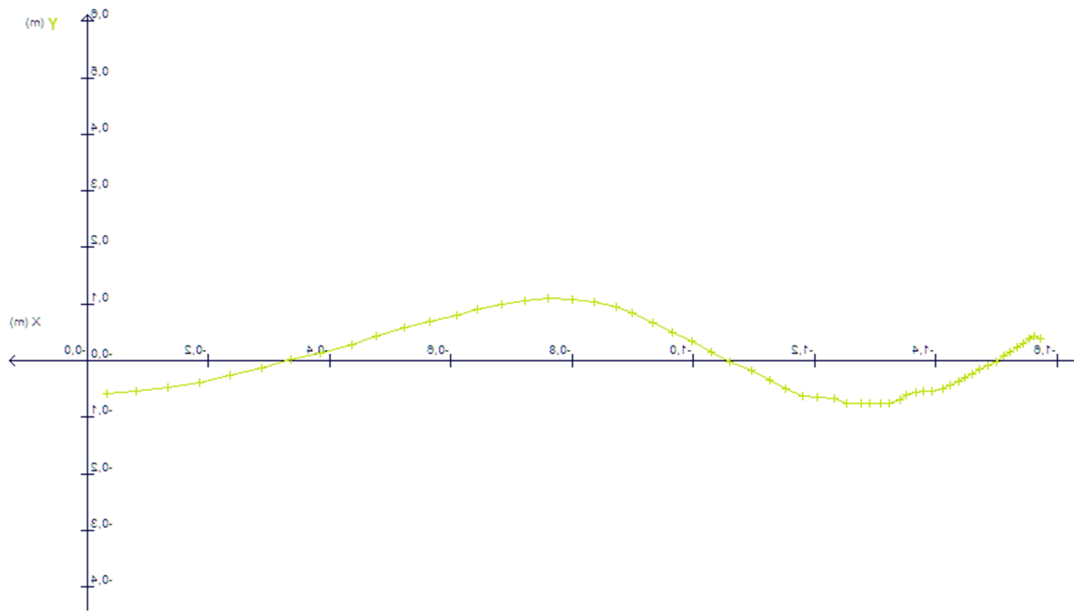
Un autre problème de notre catalogue est qu'il ne fonctionne que pour une seule piste, pour une seule boule avec un réglage de fort unique, avec une seule rampe... Il ne fonctionne plus dès qu'on change un de ces éléments. La modélisation pourrait nous permettre d'adapter le catalogue à chaque fois, ou de savoir s'il n'est pas nécessaire de le faire au cas où un faible changement d'un des paramètres ne risque pas d'entraîner un changement significatif de la trajectoire.

#### 5) **Création de la modélisation :**

Nous avons contacté deux professeurs de l'Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers, qui nous ont aidés à faire une modélisation, ce qu'on ne pouvait faire nous-mêmes. C'est la maquette que nous avons modélisée, car on pouvait faire des mesures plus précises dessus, et toutes ces mesures étaient nécessaires pour leur fournir suffisamment d'informations.

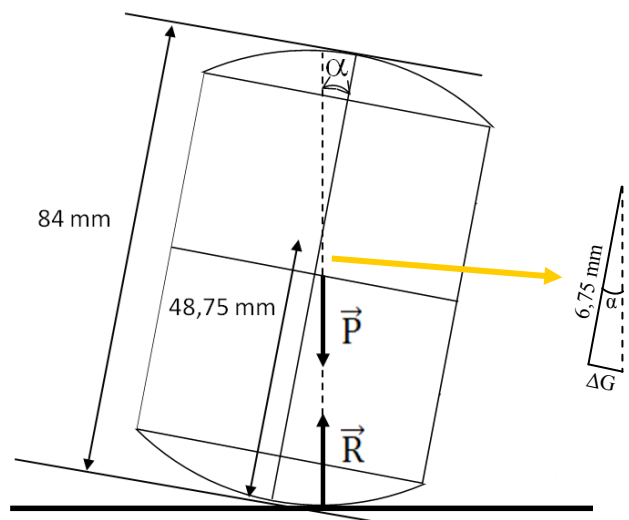
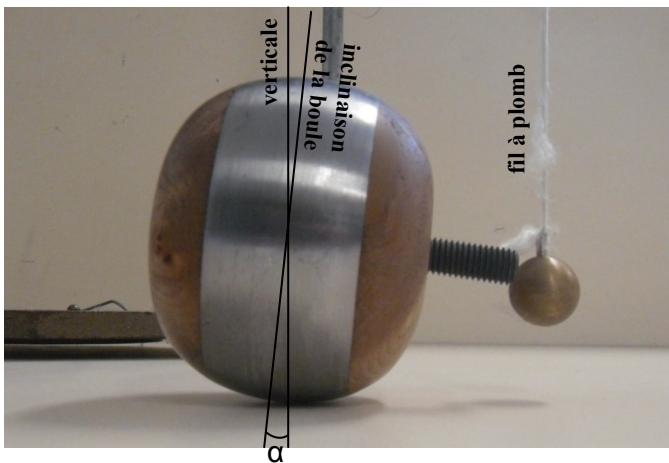
Nous avons décidé arbitrairement d'une configuration de lancer de référence que l'on allait étudier, en lançant la boule à 6 cm du centre de la piste, dans l'axe de la piste, la rampe levée au maximum, le fort au maximum, à droite. La vitesse linéaire de la boule au lancement est de 0,50 m/s et sa vitesse angulaire de 12 rd/s. Elle parcourt 1,64 m.





Lancer dans la configuration de référence

Si le fort est le plus grand possible, dans la configuration de référence, on peut calculer le décalage du centre de gravité par rapport à une boule sans fort, en mesurant l'angle d'inclinaison de la boule :

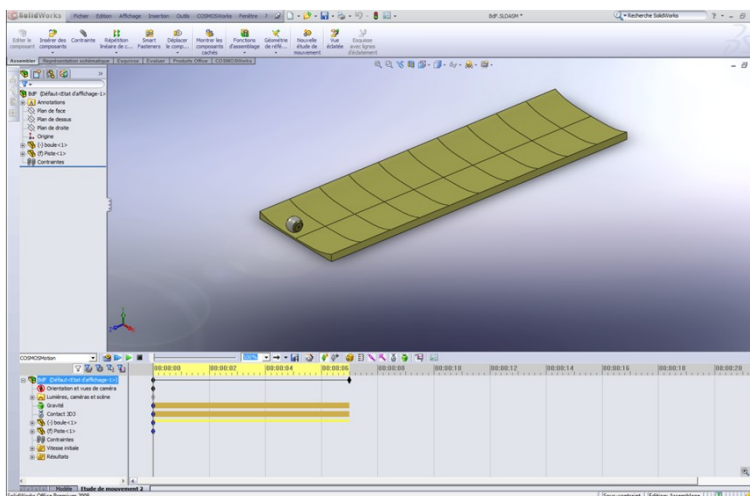
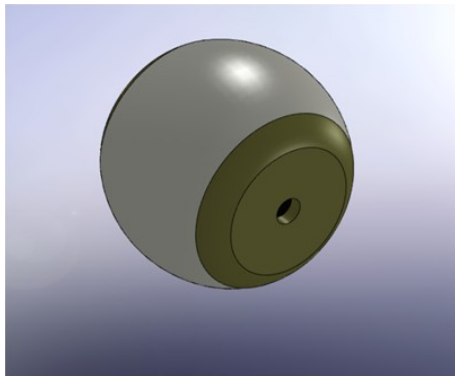


On mesure  $\alpha = 6^\circ$

$$\tan \alpha = \frac{\Delta G}{48,75 - \frac{84}{2}}$$

Donc le centre de gravité de la mini-boule est décalé de  $\Delta G = 6,75 * \tan(6) = 0,7 \text{ mm}$   
 Cette indication permet de créer un fort dans la boule modélisée.

Les professeurs de l'ENSAM ont donc recréé la boule et la piste sur ordinateur, nous sommes allés visiter l'école et ils nous ont expliqué comment ils procédaient, le logiciel utilisé, etc. Une difficulté a notamment été d'obtenir un « frottement » pour ralentir la boule, ce qui a finalement été possible en modifiant la direction de la gravité, comme si la piste était en pente.

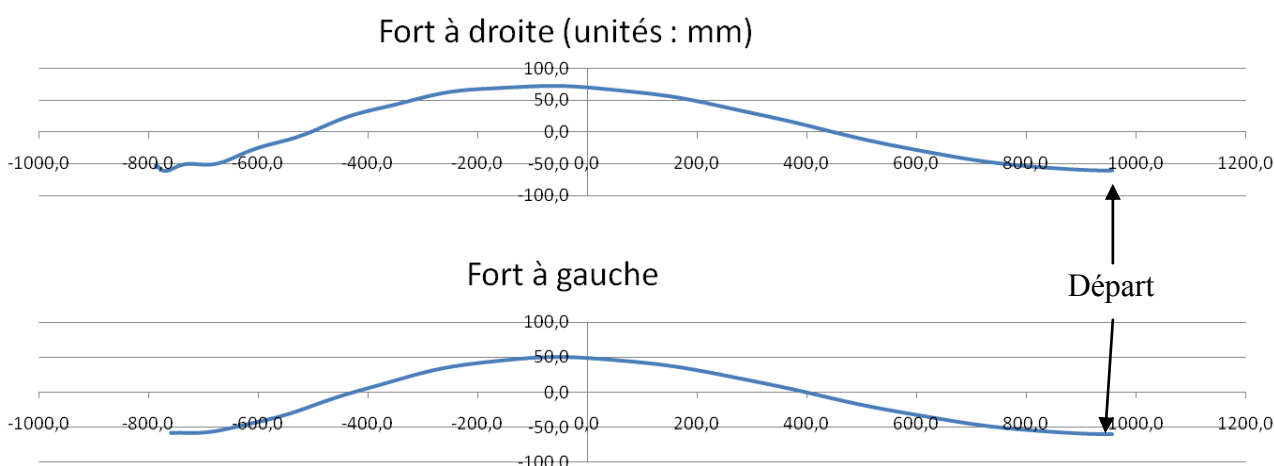


Capture d'écran du logiciel SolidWorks

### 6) Comparaison entre la maquette et sa modélisation 3D :

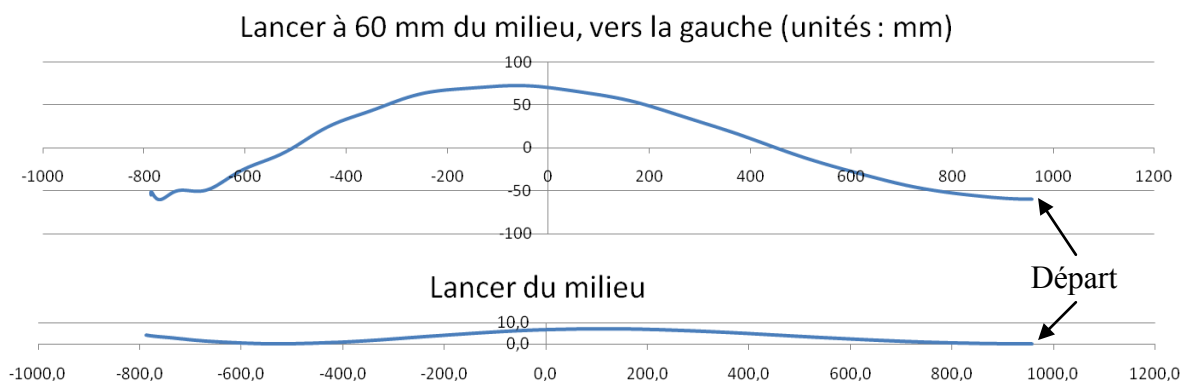
Le lancer de référence a été modélisé, ainsi qu'un lancer pour lequel le côté du fort a été modifié et un autre pour lequel la place de la rampe a été modifiée, pour pouvoir comparer non seulement les trajectoires obtenues, mais aussi la façon dont un paramètre évolue, entre la modélisation et la maquette.

L'avantage de la modélisation pour étudier les trajectoires est que le pointage est très précis, sans erreur, ce qui peut permettre de confirmer ce que nous avons compris dans la seconde partie. La modélisation enregistre également la hauteur de la boule, ce que nous ne pouvons prendre en compte avec notre maquette.



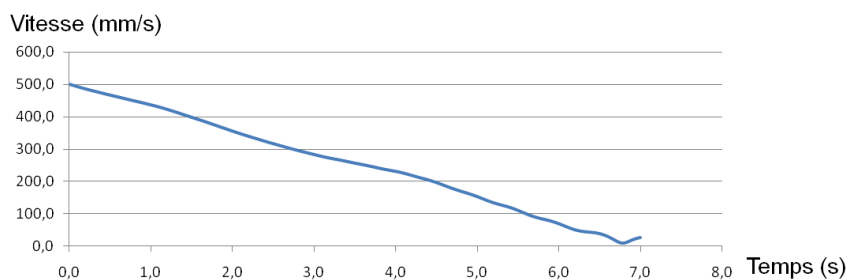
La modélisation prend bien en compte le fort, on voit sur ces graphiques de la trajectoire de la boule que ce paramètre influence l'amplitude des virages pris par la boule et le moment à partir duquel elle tourne. En revanche, son influence n'est pas plus grande à la fin qu'au début, contrairement à ce qu'on peut observer sur une vraie piste (nous verrons pourquoi par la suite).

La modification du point de départ des lancers génère les mêmes modifications de trajectoire qu'avec la maquette ou une vraie piste, le lancer est beaucoup plus courbe, même si la différence de hauteur est quasiment nulle, comme sur une vraie piste.



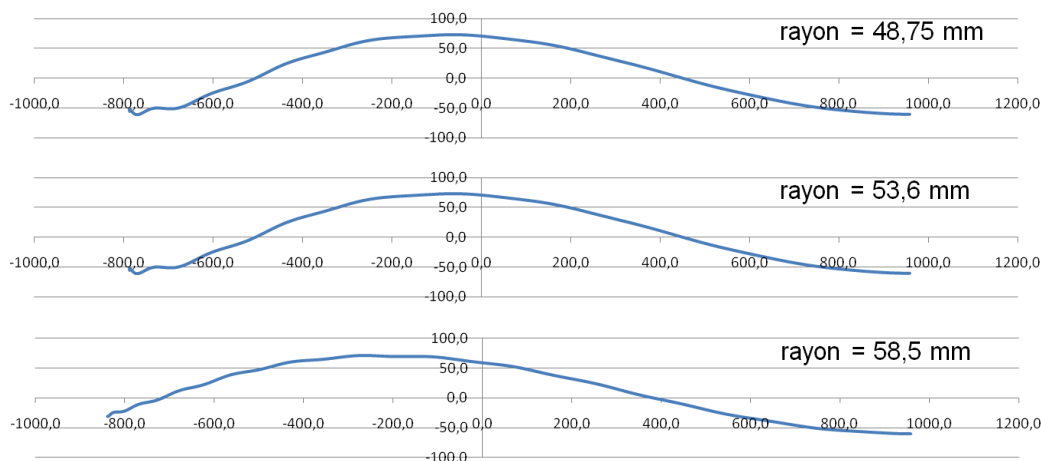
Ainsi, si tout n'est pas parfaitement ajusté dans notre modélisation, on peut dire que celle-ci fonctionne bien, car elle est proche de la réalité.

Pourtant la vitesse pose problème : elle n'évolue pas par paliers comme avec la maquette ou une vraie piste. L'accélération est quasiment nulle, ce qui n'est pas conforme à la réalité.



### 7) Modification de la forme de la boule :

Nous avons modélisé deux lancers identiques au lancer de référence mais en changeant la forme de la boule, ou plus exactement en augmentant de 10% et de 20% le rayon de la courbure du cerclage, de 48,75 mm à l'origine. Les graphiques sont en mm.



On peut ainsi voir que plus le rayon de la courbure du cerclage est grand, plus la boule présente de résistance à tourner, car la bande de roulement devient plus large, il y a plus de frottements. Ce changement n'apparaît cependant qu'après une certaine augmentation du rayon, et la distance parcourue est peu modifiée, donc une assez faible modification de ce rayon n'entraîne pas un fort changement de trajectoire, notre catalogue pourrait donc peut-être fonctionner avec des boules différentes. Cela, nous n'aurions pas pu le savoir avec la maquette, car il aurait été impossible de demander au fabricant de boule de fort d'autres boules en ne modifiant que la courbure du cerclage et de façon très précise.

La modélisation nous permet également de déterminer facilement quelle est la forme optimale de la boule, lui permettant d'aller le plus loin par exemple, ce qui peut être très utile à un fabricant de boules de fort.

#### **8) Les limites de la modélisation :**

Il est donc possible de faire une modélisation, du moins à partir de la maquette, puis peut-être de l'adapter à une vraie piste ensuite pour améliorer le catalogue. Toutefois, la modélisation ne peut être parfaite et correspondre exactement à la réalité. Il y aura toujours les défauts de la piste, les poussières, les changements de température, etc. impossibles à prendre en compte lors de la création du modèle 3D.

### **Conclusion :**

Cette étude nous a permis de mieux connaître ce sport méconnu qu'est la boule de fort. Voir la boule rouler sur la piste nous avait fasciné et intrigué, et nous avons voulu comprendre les trajectoires que nous avons vues dans les sociétés où nous sommes allés. Nous avons donc réussi à étudier, afin de le comprendre, le mouvement de la boule en fonction des paramètres de lancer et de l'influence du fort et de la charge. Avec ces connaissances, nous avons essayé de gagner "scientifiquement", c'est-à-dire selon une méthode scientifique, à la boule de fort. Dans ce but, nous avons conçu un "catalogue", dont nous avons constaté l'efficacité. Nous avons enfin cherché à palier aux défauts de ce "catalogue" en créant une modélisation 3D de lancers de boule de fort, ce qui nous a appris le principe d'une modélisation et comment il nous était possible de l'utiliser.

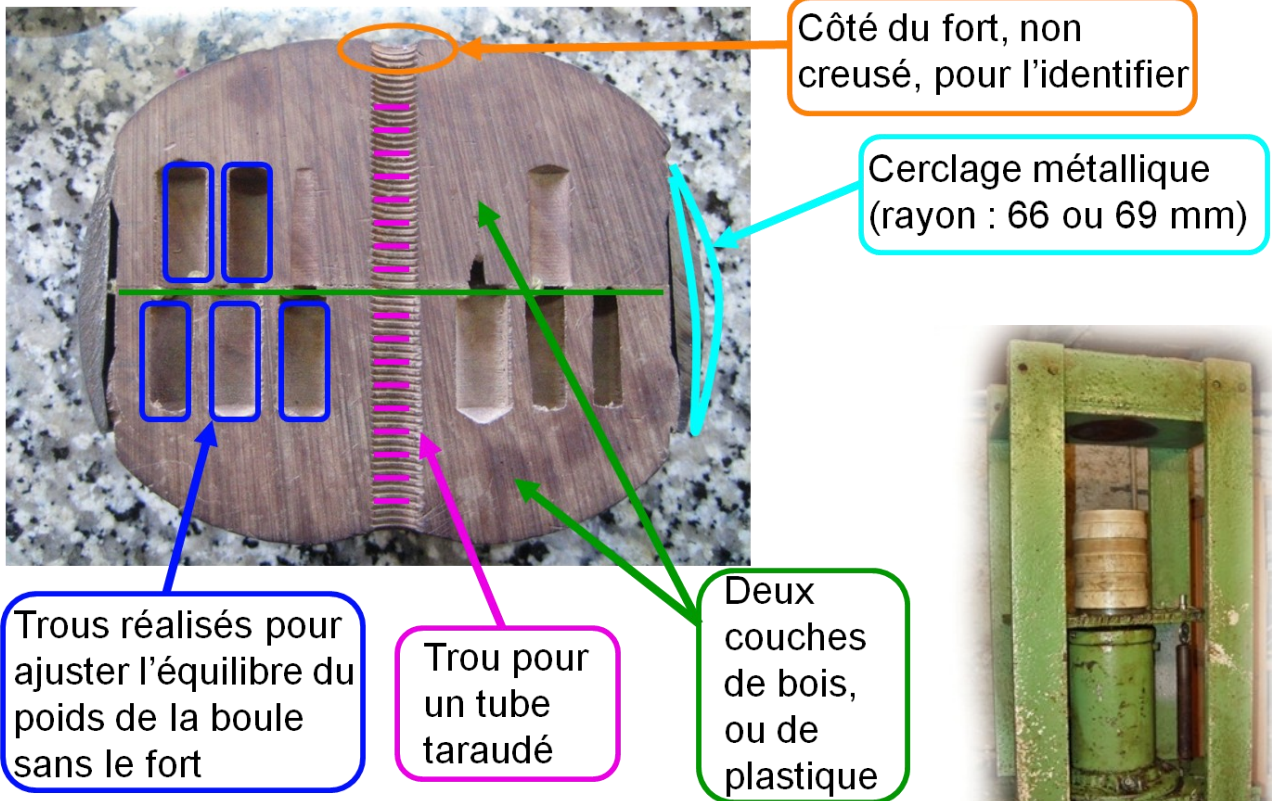
Ainsi, ce que nous avons étudié nous a permis d'envisager des applications : réussir à gagner à la boule de fort, aider les fabricants à trouver une forme optimale de la boule, ou encore créer un jeu vidéo de boule de fort à destination des personnes âgées des maisons de retraite pour qu'elles puissent continuer à jouer à ce sport jusqu'à la fin de leurs jours...



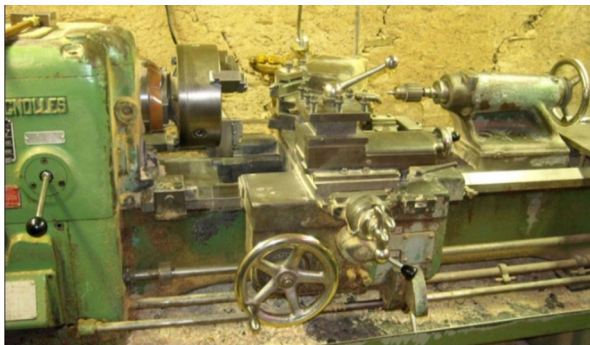
## Annexes

### Fabrication d'une boule de fort

Les deux fabricants de boule de fort que nous sommes allés voir utilisaient des méthodes différentes, mais le principe était le même :



Le cerclage est passé en force grâce à une presse autour des deux couches de bois collées.

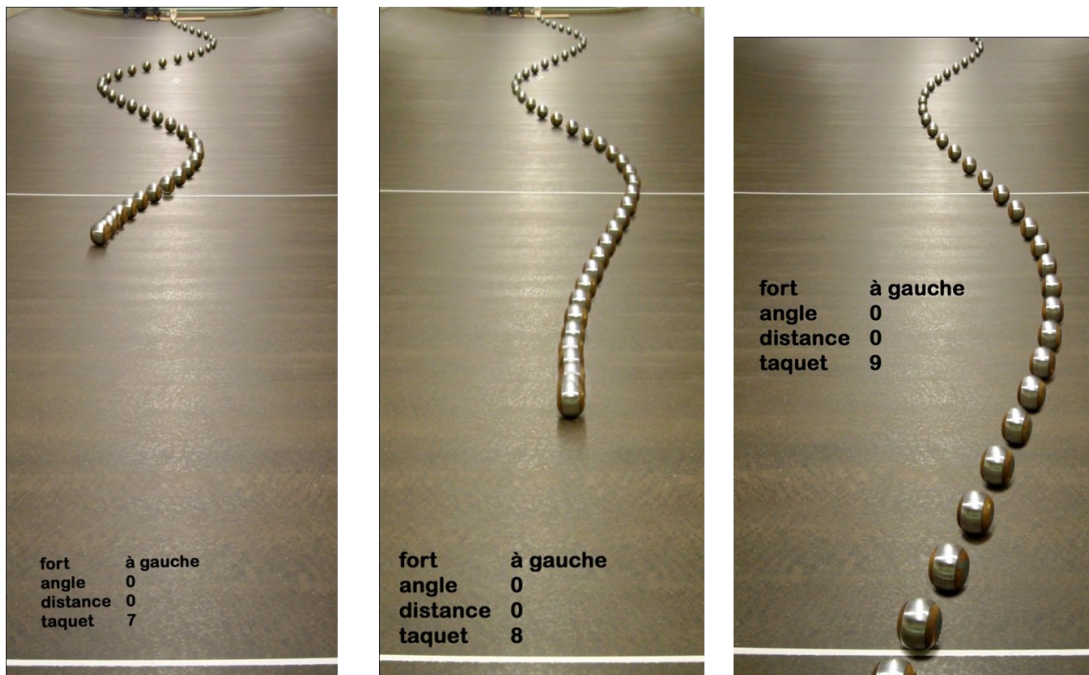


Une fraiseuse donne ensuite au bois sa forme arrondie, puis la boule est vernie.

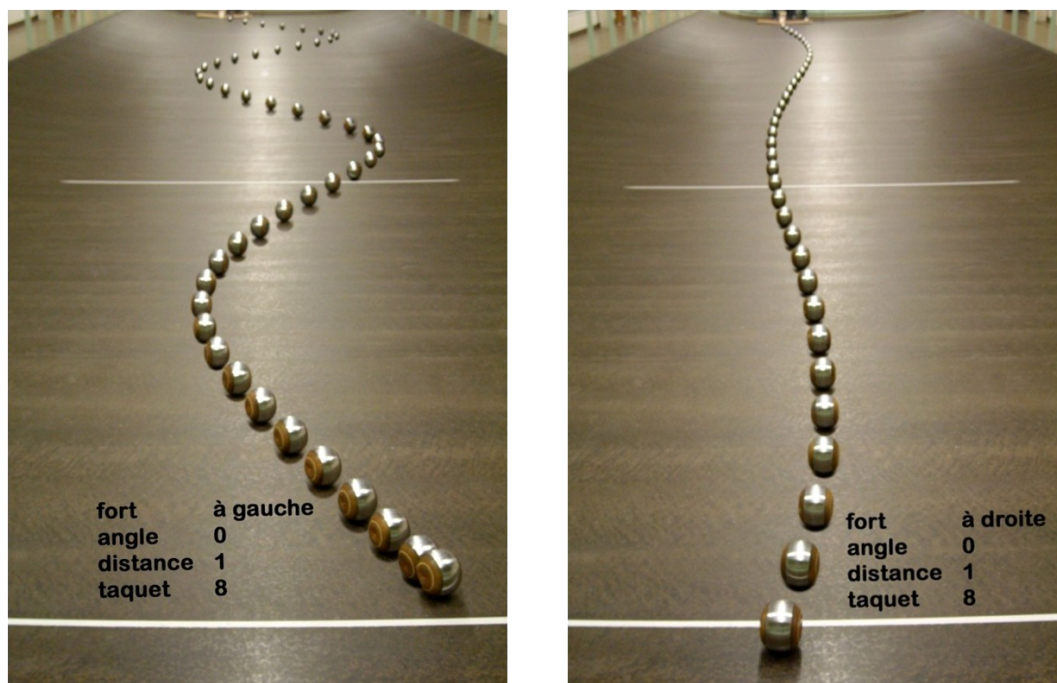


## Chronophotographies supplémentaires :

Ces chronophotographies confirment nos conclusions de la partie II.



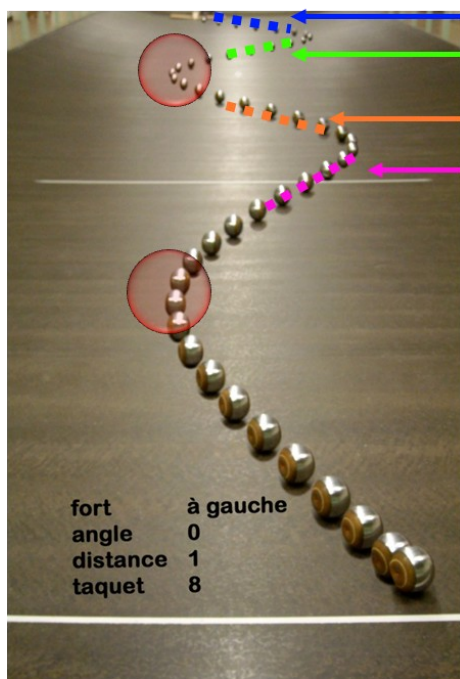
Influence de la vitesse initiale



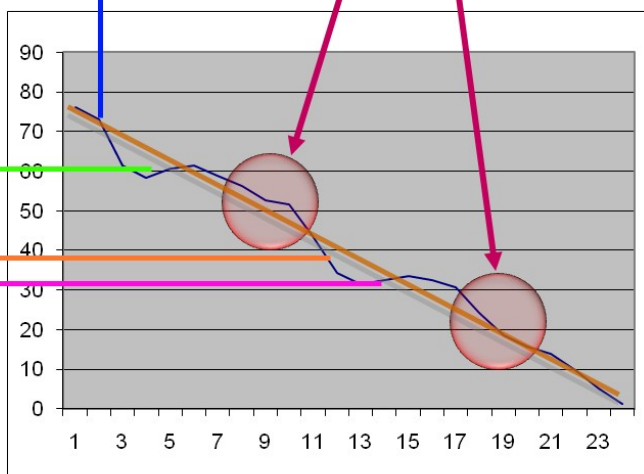
Influence du côté du fort



## Autre étude de l'évolution de la vitesse de la boule :



Ces virages sont moins marqués, car la boule prend moins de charge puisque son fort la ramène à droite.



Courbe d'évolution de la vitesse en fonction du temps

## Bibliographie :

- La boule de fort, Jacques Sigot, éditions C.M.D.
- Notre boule angevine, Marc Leclerc, éditions André Briel
- <http://fedebouledafort.free.fr/index.php?lng=fr>
- <http://bouledafort.free.fr/boule.htm>
- <http://www.boule-de-fort.com/index.php?lng=fr>



### **Remerciements :**

Nous tenons à remercier : Anne Morel et Guénaël Germain de l'ENSAM, Roger Fasilieu, Daniel Louet, fabricants de boules, la Société La Pensée et la Société Notre Dame, d'Angers, la Société Saint Paul, de Saint Barthélemy d'Anjou, la Société du Commerce, de Murs-Erigné, le personnel du lycée Joachim du Bellay et bien sûr notre professeur, M. Le Meignen.