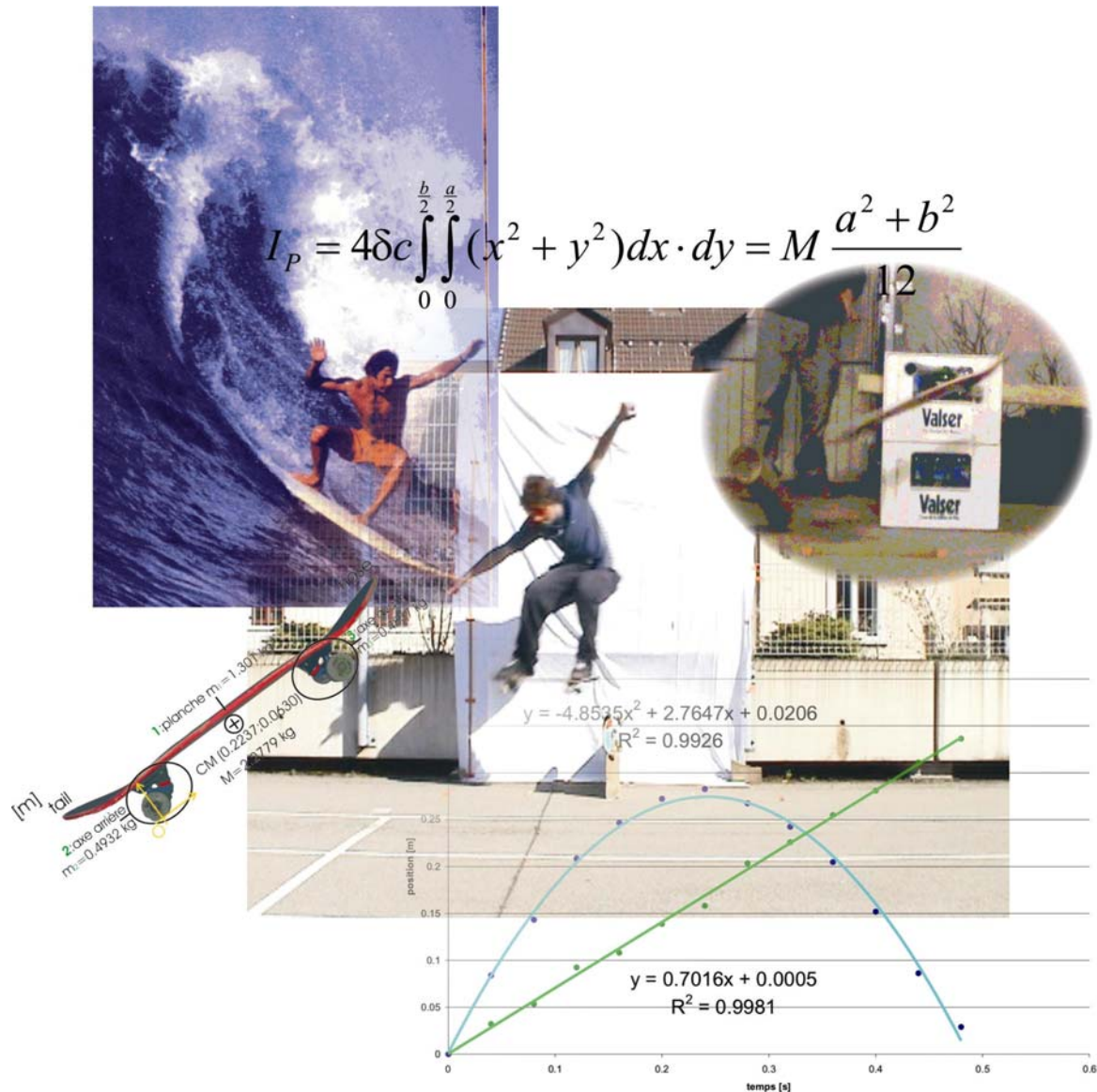


Étude du ollie



Yann Pequignot

3M Lycée Blaise Cendrars
La Chaux-de-Fonds
28.01.2005



Avant-propos

Les pages qui suivent sont le résultat d'un intérêt à la fois pour le skateboard et les sciences exactes. Elles ne sont rien d'autre qu'une tentative de démarche scientifique dans un milieu rarement visité. Elles sont aussi l'expression d'un état de mes connaissances dans le cadre précis proposé par le travail de maturité.

Table des matières

| | page |
|--|------|
| 1. Introduction..... | 1 |
| 1.1. Il était une fois des surfeurs..... | 1 |
| 1.2. Il était une fois le ollie..... | 2 |
| 1.3. Un skateur et un travail de maturité..... | 3 |
| 2. Études préliminaires..... | 4 |
| 2.1. Un skateboard..... | 4 |
| 2.2. L'angle de tape..... | 6 |
| 2.3. Le centre de masse..... | 7 |
| 2.4. Le moment d'inertie..... | 10 |
| 2.5. Récapitulation des résultats préliminaires..... | 14 |
| 3. Le ollie en avançant..... | 15 |
| 3.1. Déroulement de la capture d'un ollie en avançant..... | 15 |
| 3.2. Quelques considérations sur le ollie en avançant..... | 15 |
| 4. Le ollie à l'arrêt..... | 17 |
| 4.1. Déroulement de la capture d'un ollie à l'arrêt..... | 17 |
| 4.2. Quelques considérations sur le ollie à l'arrêt..... | 17 |
| 4.3. La tape, le rétablissement et la chute libre..... | 19 |
| 5. Un modèle..... | 21 |
| 6. La tape, ou une bûche tombant sur le tail de mon skate..... | 22 |
| 6.1. Déroulement de l'expérience du lâcher de la bûche..... | 22 |
| 6.2. Quelques considérations sur le lâcher de la bûche..... | 22 |
| 6.3. La bûche tombe sur le tail..... | 23 |
| 6.4. Le skate tourne, le tail vient frapper le sol..... | 27 |
| 6.5. Bilan énergétique..... | 30 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 7. | Rétablir, ou une barre sur la trajectoire du skate | 32 |
| 7.1. | Déroulement de l'expérience d'épreuve du modèle | 32 |
| 7.2. | Quelques considérations sur le modèle éprouvé | 33 |
| 8. | Propos de conclusion | 35 |
| 9. | Sources | 36 |
| 9.1. | Bibliographie | 36 |
| 9.2. | Webographie | 36 |
| 9.3. | Les logiciels particuliers que j'ai utilisés | 36 |
| 10. | Remerciements | 37 |
| 11. | Annexes | I |
| 11.1. | Le calcul d'erreur | I |
| 11.2. | Le moment d'inertie (I_p) d'un parallélépipède rectangle | II |
| 11.3. | La méthode de régression linéaire | III |
| 11.4. | Le CD-Rom | IV |

1. Introduction

1.1. Il était une fois des surfeurs...¹

Bien qu'il y ait déjà eu des gens pour visser des roues sous une planche dès le début du siècle, l'histoire du skateboard semble, selon toute vraisemblance, débiter aux Etats-Unis à la fin des années cinquante. C'est en Californie, où le phénomène surf et sa culture « pop » avaient particulièrement la cote dans ces années là, que naquit l'idée de trouver un équivalent au surf qui pourrait être pratiqué sur les promenades de bord de mer quand les vagues venaient à manquer. D'abord le fruit de bricolages plus ou moins réussis, les skateboards apparurent pour tenter de retrouver les sensations du surf sur le bitume des côtes californiennes ou dans les piscines (vides) si nombreuses dans la région. Le phénomène se répandant, notamment grâce à des groupes pop comme les « Beach boys », il vint intéresser l'industrie qui commença à fabriquer des skateboards dans les années soixante.



Photo 1 : le surf est l'ancêtre direct du skate (source : ARNOLD, 1978, p.10)



Photo 2 : Équilibre sur les mains (source : ARNOLD, 1978, p. 49)

Ce qui ressemblait à une mode était en passe de devenir un sport. Mais le skateboard vécut ensuite une période creuse qui s'explique d'une part par la volonté de certains d'interdire le skateboard décrit comme trop dangereux, et d'autre part par la qualité encore très discutable des skateboards qui démotivait les skateurs. Toutefois au début des années septante, des améliorations techniques importantes faites à l'engin élargirent l'horizon des possibilités des skateurs, relançant ainsi la tendance. Cependant, les figures d'alors ne ressemblaient en rien à ce que l'on peut voir aujourd'hui. La raison principale est toute simple, ils ne sautaient pas avec leur planche, ils ne savaient pas faire sauter leur planche...



Photo 3 : saut en hauteur, avant le ollie (source : LAURENT, 1978, p. 46)

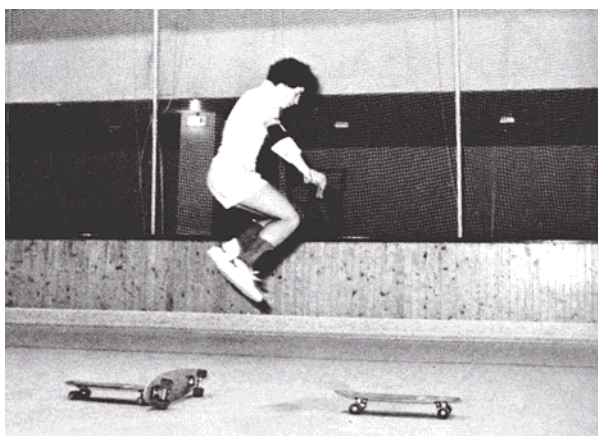


Photo 4 : saut en longueur, avant le ollie (source : LAURENT, 1978, p. 48)

Les figures consistaient pour la plupart à réaliser diverses acrobaties lors de la descente d'une route ou dans des aires réservées au skateboard où l'on avait imité les formes des piscines vides des débuts. Les skateurs voulaient sauter, et ils le faisaient d'ailleurs, mais sans que la planche les suive, comme le montrent les images 2 à 4.

¹chapitre largement inspiré de ARNOLD Peter, « Comment tout a commencé », dans *Le livre du Skateboard*, Fernand Nathan, pp. 12-13

1.2. [Il était une fois le ollie...]¹

Puis en 1978, tout à coup, la littérature sur le skateboard se tarit. Il semble qu'ensuite le skateboard ait pris une telle ampleur, que tout bouge trop vite pour être fixé dans un livre. Les magazines se créent alors et relatent les premières compétitions. Les articles de l'internet francophone sur le skate ne s'aventurent pas très avant sur l'histoire de ce sport, il y a tant à dire sur le présent. C'est dans les sites anglophones que j'ai enfin retrouvé la suite de l'histoire de cette culture. Une culture qui est bouleversée en 1978 par la performance d'un dénommé Alan Gelfand, alors âgé de 15 ans, qui réussit à sauter au-dessus d'une rampe sans avoir à agripper sa planche (voir photo 5). Il donne son surnom, « Ollie », à la figure qui promet d'être la base du skate pour les années qui vont suivre et ce jusqu'à nos jours.



Photo 5 : Alan Gelfand, alias Ollie, en ollie justement (source : www.ollieair.com)

Ce mouvement sera ensuite adapté pour un usage hors de la rampe par l'homme qui a inventé les bases du skate de rue, M. Rodney Mullen. Le principe qui est transmis de skateur à skateur, le plus souvent oralement, consiste à placer le pied avant environ au centre de la planche, le pied arrière sur l'arrière du skate, à bien se baisser, à détendre ses jambes d'un coup, à taper bien fort et bien vite sur l'arrière de la planche à l'aide du pied arrière placé à cet effet, puis de rétablir fortement vers l'avant. La démonstration en image :



Photo 6 : un ollie à plat (source : Ride On n° 1 juin/juillet/août 2003, p. 38)

Cette nouvelle capacité que se découvre le skateur, lui permet de partir à la conquête du bitume des villes, le ollie transformant les marches, les bacs de fleurs, les rampes d'escaliers et autres ouvrages publics en véritable terrain de jeu inépuisable, intarissable. N'en déplaise à leurs détracteurs (!). Le ollie peut ensuite être sujet à d'infinies complications qui constituent la plupart des figures effectuées en skateboard de nos jours. Ci-contre, un exemple des prouesses réalisées par les actuels professionnels du skateboard.



Photo 7 : Zered Bassett en kickflip (source : Thrasher n° 284 d'août 2004, p. 154)

¹principalement inspiré des pages internet <http://www.ollieair.com> et <http://www.angelfire.com/extreme3/triflames/articles/rmsl.html>

1.3. Un skateur et un travail de maturité

Je skate depuis environ deux ans et m'inscris donc dans cette histoire du skate. Je me situe aussi dans l'histoire, plus courte, du travail de maturité. C'est donc dans le cadre de ce travail que je me suis donné pour but d'améliorer ma compréhension du mouvement de base du skateboard moderne par une approche scientifique. Je bénéficie, par ailleurs, de l'avancée technologique disponible en 2004, en Suisse, qui donnera une certaine couleur à mon travail.

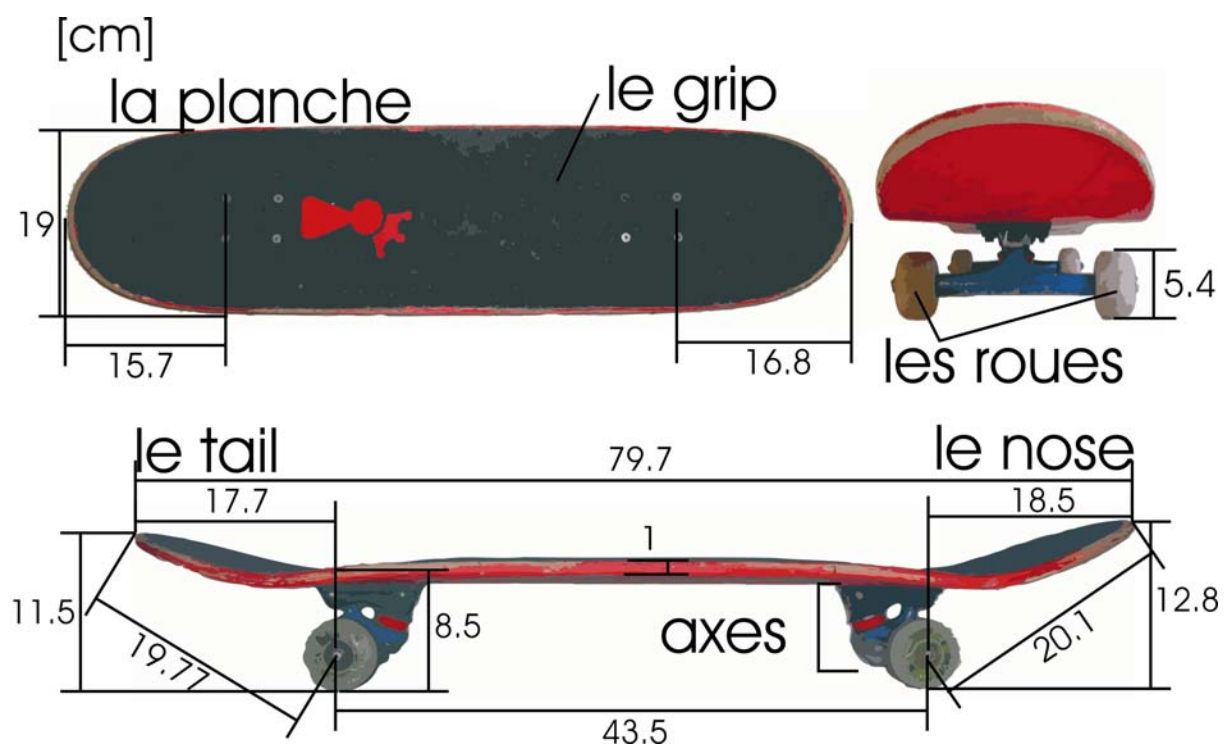
Après avoir fait un tour d'horizon des informations disponibles sur le sujet, j'ai senti que mon travail aurait plus le goût d'une recherche que d'une reformulation de telle ou telle théorie. C'est donc équipé d'une caméra numérique, de mon skate, de mon ordinateur et de mon livre de physique, que j'ai entrepris d'y voir plus clair.

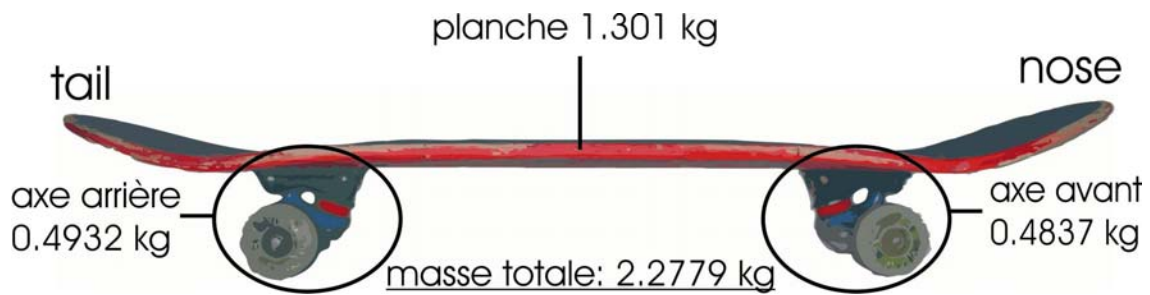
2. Études préliminaires

Dès que je me suis penché sérieusement sur la question que je m'étais posée, il m'est apparu que la définition de certaines caractéristiques de mon skate allaient être nécessaires à la suite de mes investigations. Certaines questions survenues seulement par la suite sont, toutefois, exposées ici, puisqu'elles ne dépendent pas de l'étude particulière du ollie, mais se bornent à décrire un skateboard plutôt banal. Il existe évidemment des différences entre les divers skateboards, cependant, il fallait en choisir un et j'ai tout simplement choisi celui dont je me servais pour skater lors de mon étude.

2.1. Un skateboard

Ci-dessous sont exposés les relevés des dimensions et des masses des composants de mon skateboard. J'ai indiqué par la même occasion le vocabulaire anglais que j'utiliserai par la suite, la tradition du skateboard s'avérant venir, linguistiquement du moins, d'Outre-Atlantique. Le grip est le morceau de papier de verre collé sur la planche, afin que les chaussures ne glissent pas sur la planche. Le tail et le nose sont respectivement l'arrière et l'avant de la planche. Je préciserai encore ici que ce skateboard est constitué d'éléments de marques différentes comme il est d'usage sur les skateboards de qualité haut de gamme. Petit clin d'œil, et pas le moindre, la planche est l'une des rares « made in switzerland » disponibles sur le marché.

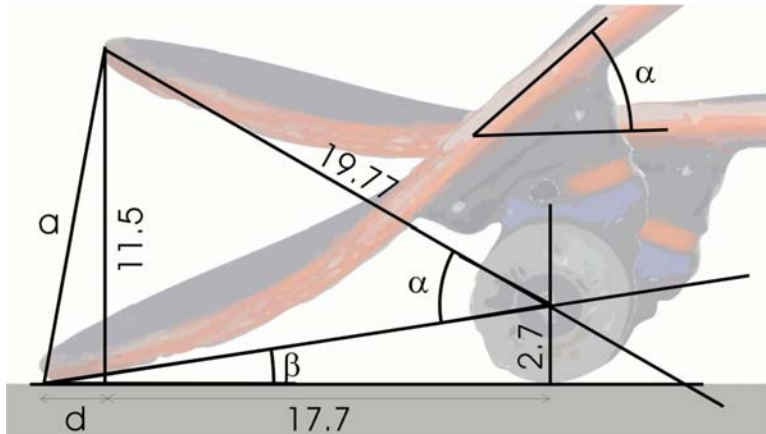




Pour les incertitudes sur les mesures de distances, il me semblerait prétentieux, au vu de la difficulté à encadrer mon skate avec des instruments de mesure, de garantir une précision supérieure à ± 0.2 cm. Exception faite du diamètre des roues dont l'erreur est plus faible, puisque le diamètre de fabrication est connu, j'estime l'erreur sur le diamètre des roues à 0.1cm, et à 0.05cm sur le rayon. Pour les masses, l'incertitude a été estimée en tenant compte de la précision donnée par le fabricant de la balance et du fait que la balance n'a pas été calibrée depuis un moment, autrement dit : ± 0.001 kg. Comme je n'ai pas pu peser mon skate tout entier en une fois, l'erreur sur la masse totale est de ± 0.003 kg. Toutefois ces erreurs sont sûrement sous-estimées car la planche soumise à une utilisation intense s'use. Il en va de même pour les axes et les roues qui ont, eux aussi, une durée de vie limitée. Cette usure fait évidemment varier un peu les masses. La même remarque peut être faite sur les distances car la planche s'usant, le tail et le nose particulièrement mis à contribution, rétrécissent. J'ai toutefois essayé de limiter ce facteur d'usure en réalisant les expériences sur un laps de temps assez court.

2.2. L'angle de tape

J'ai utilisé les mesures du skateboard pour déterminer l'angle de « tape », ou autrement dit l'angle de la rotation exécutée par le skate, autour de ses roues arrières, depuis la position initiale - les quatre roues touchent le sol - jusqu'à ce que le tail touche le sol.



$$\beta = \arcsin\left(\frac{2.7}{19.77}\right)$$

et donc

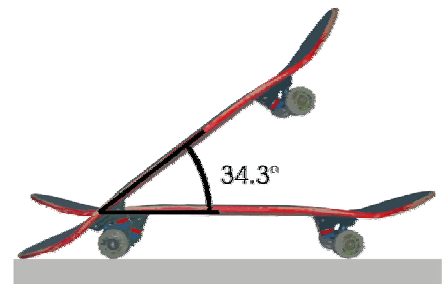
$$d = 19.77 \cos(\beta) - 17.7$$

$$a = \sqrt{d^2 + 11.5^2}$$

Puis selon le théorème du cosinus :

$$a^2 = 2 \cdot 19.77^2 (1 - \cos(\alpha))$$

$$\alpha = \arccos\left(1 - \frac{a^2}{2 \cdot 19.77^2}\right) \cong 34.282^\circ$$



L'erreur sur cette valeur s'avère impossible à calculer par propagation simple du fait de la présence de trigonométrie, et il me semble trop compliqué au vu du but visé de la calculer à l'aide des dérivées des fonctions utilisées, c'est pourquoi je vais fixer subjectivement l'incertitude sur cette valeur tout en tentant d'appréhender au mieux les imprécisions sans compromettre trop fortement les calculs suivants.

$$\alpha \cong 34.3 \pm 1^\circ \text{ ou } 0.5986 \pm 0.0017 \text{ rad}$$

2.3. Le centre de masse

Les formes compliquées des éléments qui constituent le skateboard rendent difficile une approche où l'on agrège les propriétés des constituants du système pour obtenir le centre de masse général (CM). C'est pourquoi j'ai opté pour une méthode plus expérimentale mais tout à fait efficace plutôt que pour la formule ci-contre qui m'aurait demandé bien trop d'approximation.

\vec{r}_{CM} = position du CM par rapport à l'origine

m_i = masse du $i^{\text{ème}}$ élément

\vec{r}_i = position du $i^{\text{ème}}$ élément

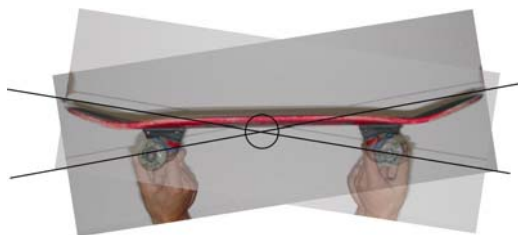
$$M = \sum m_i$$

$$\vec{r}_{CM} = \frac{\sum m_i \vec{r}_i}{M}$$

J'ai donc suspendu un poids au bout d'une ficelle pour faire office de fil à plomb. J'ai ensuite tenu mon skate par les roues avant, en le laissant s'équilibrer à la manière d'un pendule, comme indiqué sur les photos ci-contre. Il se comporte de la même manière qu'un pendule dont toute la masse serait concentrée au centre de masse. Ainsi, il sera en mouvement à moins que le centre de masse soit aligné sur la verticale du point de suspension, en l'occurrence, l'axe avant.



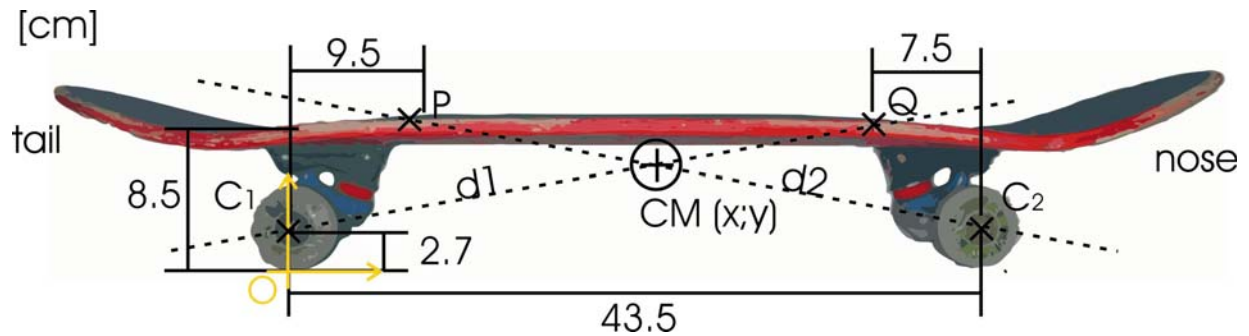
De toute évidence, le centre de masse se trouvait être hors de l'objet. Après avoir soigneusement aligné le centre de l'axe, autour duquel tournent les roues que je tenais, à mon pseudo fil à plomb, j'ai donc marqué au stylo le point où se croisaient la planche et le fil. J'ai renouvelé la mesure en tenant le skateboard par ses roues arrière.



C'est l'intersection de chacune des deux droites, passant par chacune des deux paires de points reliées par le fil à plomb, qui définit le centre de masse. On observera que je néglige toutefois la profondeur. Le skateboard est symétrique vu du dessus ce qui placerait le centre de masse à la moitié de la

largeur de la planche, mais cette donnée ne m'intéresse pas pour la suite car je m'efforcerai de me limiter à une étude à deux dimensions. Ceci est bien sûr simplificateur, car bien que les mouvements dans la troisième dimension ne soient pas nécessaires au ollie, je ne puis garantir malgré ma grande maîtrise du skate (!!)

d'entrer complètement dans un modèle à deux dimensions. Il apparaît par ailleurs que l'énergie délaissée n'est pas significative par rapport à l'ensemble, car le moment d'inertie du skate autour d'un axe longitudinal est faible, toute la masse se trouvant près de l'axe.



Soit $P(9.5 \pm 0.3; 8.5)$ et $Q(36 \pm 0.3; 8.5)$, le centre des roues arrières $C_1(0; 2.7)$ et le centre des roues avant $C_2(43.5; 2.7)$, la droite d_1 qui contient Q et C_1 et la droite d_2 qui contient P et C_2 . Soit encore, l'intersection de d_1 et d_2 $CM(x; y)$.

Je n'ai indiqué, ci-dessus, que l'erreur sur les valeurs mesurées à l'aide du fil. Les autres ayant déjà été définies dans le point [Un skateboard](#). Toutefois l'erreur sur le centre de masse fera l'objet, par la suite, de réflexions particulières relatives à l'utilisation qui en sera faite. Pour l'instant l'erreur sur le point en se basant uniquement sur les erreurs des mesures est calculée séparément à la page suivante.

La première droite est :

$$\vec{d}_1 = \vec{C_1Q} = \vec{OC_1} + \vec{OQ} = \begin{pmatrix} 0 \\ -2.7 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 36 \\ 8.5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 36 \\ 5.8 \end{pmatrix} \Rightarrow \vec{n}_1 = \begin{pmatrix} -5.8 \\ 36 \end{pmatrix}$$

$$d_1 : -5.8x + 36y + c = 0 \rightarrow c_1 = -97.2 \rightarrow d_1 : -5.8x + 36y - 97.2 = 0$$

La deuxième droite est :

$$\vec{d}_2 = \vec{C_2P} = \vec{OC_2} + \vec{OP} = \begin{pmatrix} -43.5 \\ -2.7 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 9.5 \\ 8.5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -34 \\ 5.8 \end{pmatrix} \Rightarrow \vec{n}_1 = \begin{pmatrix} 5.8 \\ 34 \end{pmatrix}$$

$$d_2 : 5.8x + 34y + c = 0 \rightarrow c_2 = -344.1 \rightarrow d_1 : 5.8x + 34y - 344.1 = 0$$

Leur intersection :

$$d_1 : -5.8x + 36y - 97.2 = 0$$

$$d_2 : 5.8x + 34y - 344.1 = 0$$

$$70y = 441.3 \Rightarrow y \cong 6.3043cm \Rightarrow x \cong 22.3714cm$$

$$\Rightarrow CM(22.37; 6.30)$$

J'ai fait les calculs selon les règles classiques de la propagation des erreurs dans les additions et les multiplications¹. Pour calculer l'erreur sur x, j'ai procédé comme pour y, en résolvant le système d'équation par addition, ce qui revient à amplifier d_1 par 17 et d_2 par 18.

L'erreur sur la composante x de $\vec{n}_1 : -((-2.7 \pm 0.05) + (8.5 \pm 0.2)) = -5.8 \pm 0.25$
 et sur la composante y : $(0 \pm 0.2) + (36 \pm 0.3) = 36 \pm 0.5$

et sur $c_1 : -(36 \pm 0.5) \cdot (2.7 \pm 0.05) = -97.2 \pm \left[\left(\frac{0.5}{36} + \frac{0.05}{2.7} \right) \cdot 97.2 \right] = -97.2 \pm 3.15$

L'erreur sur la composante x de $\vec{n}_2 : (-2.7 \pm 0.05) + (8.5 \pm 0.2) = 5.8 \pm 0.25$
 et sur la composante y : $-((-43.5 \pm 0.2) + (9.5 \pm 0.3)) = 34 \pm 0.5$

et sur $c_1 : -(5.8 \pm 0.2) \cdot (43.5 \pm 0.2) - (34 \pm 0.5) \cdot (2.7 \pm 0.05) =$
 $= -344.1 \pm \left[\left(\frac{0.2}{5.8} + \frac{0.2}{43.5} \right) \cdot 252.3 + \left(\frac{0.5}{34} + \frac{0.05}{2.7} \right) \cdot 91.8 \right] \cong -344.1 \pm 13.09$

$$\begin{aligned} \text{L'erreur sur y : } & \frac{(97.2 \pm 3.15) + (344.1 \pm 13.09)}{(36 \pm 0.5) + (34 \pm 0.5)} = \frac{441.3 \pm 16.24}{70 \pm 1} \\ & \cong 6.30 \pm \left[\left(\frac{16.24}{441.3} + \frac{1}{70} \right) \cdot 6.30 \right] \cong 6.30 \pm 0.32 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{L'erreur sur x : } & \frac{(-1652.4 \pm 53.55) + (6193.8 \pm 235.62)}{(98.6 \pm 4.25) + (104.4 \pm 4.5)} = \frac{4541.4 \pm 289.17}{203 \pm 8.75} \\ & \cong 22.37 \pm \left[\left(\frac{289.17}{4541.4} + \frac{8.75}{203} \right) \cdot 22.37 \right] \cong 22.37 \pm 2.39 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \text{CM}(22.37 \pm 2.39; 6.30 \pm 0.32)$$

Cette incertitude peut sembler importante. Il me faut admettre que j'ai utilisé plusieurs paramètres comportant des erreurs relativement importantes. Toutefois le schéma ci-contre donne une bonne représentation à l'échelle de ce qu'elle représente, et l'on est contraint de remarquer que l'aire dans laquelle le centre de masse est compris, reste limitée et vraisemblable.



¹voir annexe p. I [Calcul d'erreur](#)

2.4. Le moment d'inertie

Le moment d'inertie (I) mesure l'inertie d'un objet, soit la difficulté à le mettre en mouvement de rotation ou inversement à l'arrêter, à l'instar de la masse (m) dans son rapport au mouvement de translation. Le moment d'inertie représente la répartition de la masse par rapport à un axe donné. Pour un objet donné, il n'existe pas un moment d'inertie unique, mais différents moments d'inertie pour différents axes de rotations. La définition du moment d'inertie est la suivante :

$$I = \sum m_i r_i^2$$

De plus, le théorème des axes parallèles (ou aussi règle de Steiner), me sera nécessaire. Il découle directement de la formule exprimant l'énergie cinétique totale d'un corps tournant autour d'un axe de direction fixe (K_{tot}) et de l'expression de l'énergie cinétique de rotation (K_{rot}). La vitesse angulaire ($\omega = v/r$) d'un corps tournant est égale en tous points de celui-ci et par rapport à n'importe quel point de celui-ci. Ainsi, si la vitesse angulaire par rapport à un axe de rotation quelconque égale ω , la vitesse de ce même corps par rapport à son centre de masse est également ω . Un corps tournant autour d'un axe (a) ne passant pas par son centre de masse possède, en plus de l'énergie de rotation relative à son centre de masse (K_{rot}), l'énergie cinétique de translation de son centre de masse (K_{cm}). Ainsi :

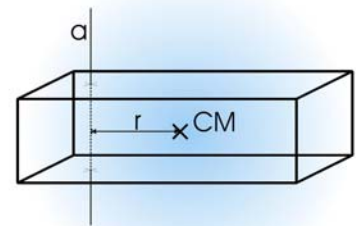
$$K_{tot} = K_{cm} + K_{rot} \rightarrow K_{tot} = \frac{1}{2} m v^2 + \frac{1}{2} I_{cm} \omega^2$$

$$\text{mais } K_{cm} = \frac{1}{2} m v^2 \text{ avec } v = r \omega \Rightarrow K_{cm} = \frac{1}{2} m (r \omega)^2$$

$$\rightarrow K_{tot} = \frac{1}{2} m (r \omega)^2 + \frac{1}{2} I_{cm} \omega^2 \text{ ce qui donne finalement :}$$

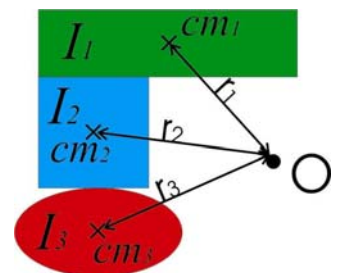
$$K_{tot} = \frac{1}{2} (I_{cm} + m r^2) \omega^2 \rightarrow K_{tot} = \frac{1}{2} I \omega^2 \text{ donc}$$

$$I_{tot} = I_{cm} + m r^2$$

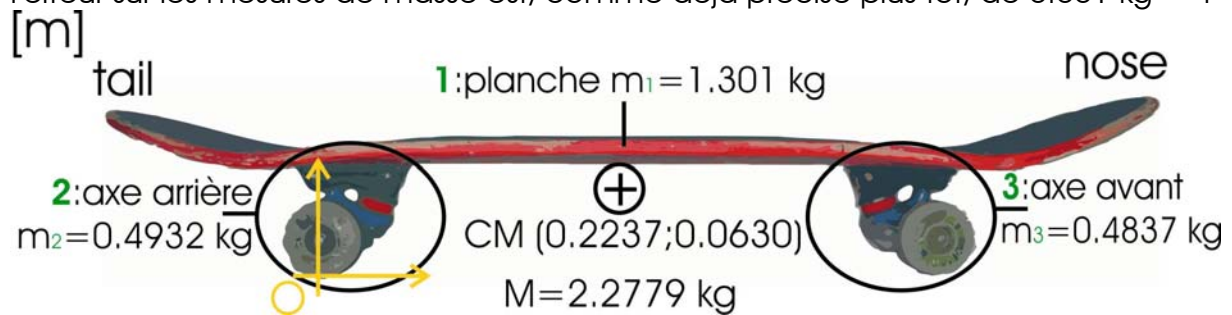


J'ajoute encore ici que le moment d'inertie d'un système d'objet est la somme des moments d'inertie individuels relatifs à l'axe choisi.

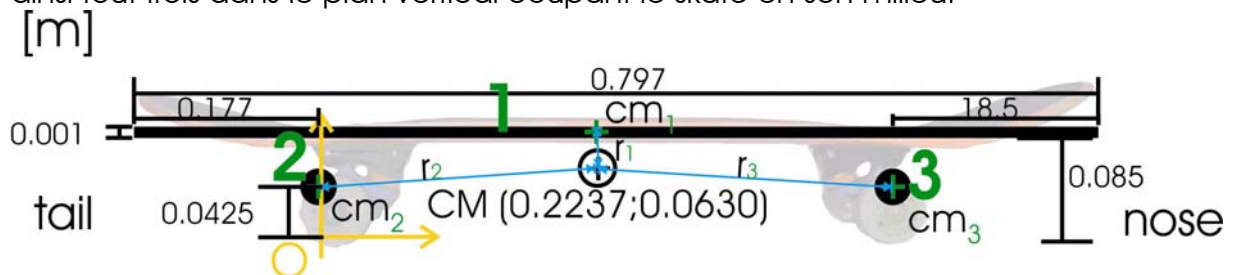
$$I = I_1 + m_1 r_1^2 + I_2 + m_2 r_2^2 + \dots = \sum I_i + m_i r_i^2$$



Le skateboard, les masses de ses composants et son centre de masse, — l'erreur sur les mesures de masse est, comme déjà précisé plus tôt, de 0.001 kg — :



Ci-contre, la modélisation que j'ai choisie pour le calcul du moment d'inertie. Soit un parallélépipède rectangle (1) pour la planche et deux masses ponctuelles (2 et 3) pour représenter les deux axes respectifs. Soit encore cm_1 au centre géométrique du parallélépipède rectangle, et cm_2 et cm_3 placés en x au niveau du centre des axes, en y à la moitié de la hauteur de l'axe, et en profondeur, au centre de la largeur de la planche. Les centres de masse des trois objets se situent ainsi tout trois dans le plan vertical coupant le skate en son milieu.

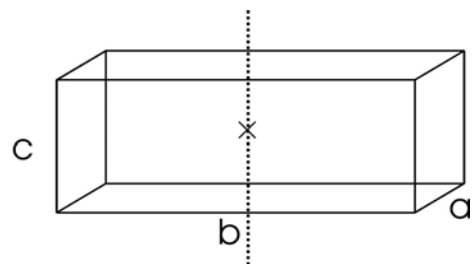


Le calcul des moments d'inertie des objets 1, 2 et 3 respectivement notés I_{1cm} , I_{2cm} et I_{3cm}

$$\underline{I_{1cm}}$$

Le moment d'inertie d'un parallélépipède rectangle est¹ :

$$I = \frac{1}{12} m(a^2 + b^2)$$



Dans le cas qui me concerne, $m = 1.301 \pm 0.001$, $a = 0.797 \pm 0.01$, $b = 0.01 \pm 0.003$. J'estime l'erreur sur a et b de manière particulière ici, ces valeurs ne sont pas vraiment mesurées puisqu'elles découlent d'un choix, celui d'un modèle, par définition réducteur, c'est donc pour tenter d'appréhender ce décalage que je fixe ces erreurs.

$$I_{1cm} = \frac{1}{12} \cdot 1.301(0.797^2 + 0.01^2) \cong 0.0689 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$\Delta a^2 = 2 \frac{\Delta a}{a} a^2 = 2a\Delta a \quad \Delta(I_{1cm}) = \left(\frac{0.001}{1.301} + \frac{2 \cdot 0.797 \cdot 0.01 + 2 \cdot 0.01 \cdot 0.003}{0.797^2 + 0.01^2} \right) I_{1cm} \cong 0.00179 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

¹démonstration, voir en annexe p. II

I_{2cm} et I_{3cm}

Les I_{2cm} et I_{3cm} sont nuls car je les considère comme des masses ponctuelles.

Le moment d'inertie (I_1) du système par rapport à l'axe (a_1) passant par son centre de masse et sortant de la feuille



Soit $cm_1(0.2215;0.09)$, au centre du rectangle représentant la planche, $cm_2(0;0.0425)$ et $cm_3(0.435;0.0425)$, centrés en hauteur. J'ai fixé les erreurs sur ces points de la même manière que s'ils avaient été mesurés, c'est-à-dire 0.002 m (Δ) autant en x qu'en y. Et $CM(0.2237 \pm 0.0239; 0.0630 \pm 0.0032)$, centre de masse du skate entier, et point par lequel passe l'axe de rotation. Pour les erreurs, les règles de propagation des produits et des sommes sont impuissantes face aux racines présentes dans les calculs de normes. Quand bien même les normes apparaissent élevées au carré, permettant ainsi l'utilisation des règles de propagation pour les produits et les sommes, il m'a semblé plus adapté de procéder différemment. J'ai donc calculé les erreurs sur les normes par la méthode utilisant la dérivée¹.

$$r(x, y) = \sqrt{x^2 + y^2} \quad \frac{dr}{dx} = \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}} \quad \frac{dr}{dy} = \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2}} \quad \Delta r = \left| \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}} \right| \Delta x + \left| \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2}} \right| \Delta y$$

$$r_1 = \sqrt{0.0022^2 + 0.027^2} \pm \left[\frac{0.0022}{\sqrt{0.0022^2 + 0.027^2}} 0.0259 + \frac{0.027}{\sqrt{0.0022^2 + 0.027^2}} 0.0052 \right] \cong 0.0271 \pm 0.0073$$

$$r_2 = \left\| \overrightarrow{CMcm_2} \right\| \pm \Delta \left\| \overrightarrow{CMcm_2} \right\| \cong 0.2246 \pm 0.0263m \quad r_3 = \left\| \overrightarrow{CMcm_3} \right\| \pm \Delta \left\| \overrightarrow{CMcm_3} \right\| \cong 0.2123 \pm 0.0263m$$

$$\Delta(m_1 r_1^2) = 1.301 \cdot 0.0271^2 \left(\frac{0.001}{1.301} + \frac{2 \cdot 0.0073}{0.0271} \right) \quad \Delta(m_2 r_2^2) = 0.4932 \cdot 0.2246^2 \left(\frac{0.001}{0.4932} + \frac{2 \cdot 0.0263}{0.2246} \right)$$

$$\Delta(m_3 r_3^2) = 0.4837 \cdot 0.2123^2 \left(\frac{0.001}{0.4837} + \frac{2 \cdot 0.0263}{0.2123} \right)$$

$$\Delta(I_1) = \Delta(I_{1cm}) + \Delta(m_1 r_1^2) + \Delta(m_2 r_2^2) + \Delta(m_3 r_3^2) \cong 0.0136 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

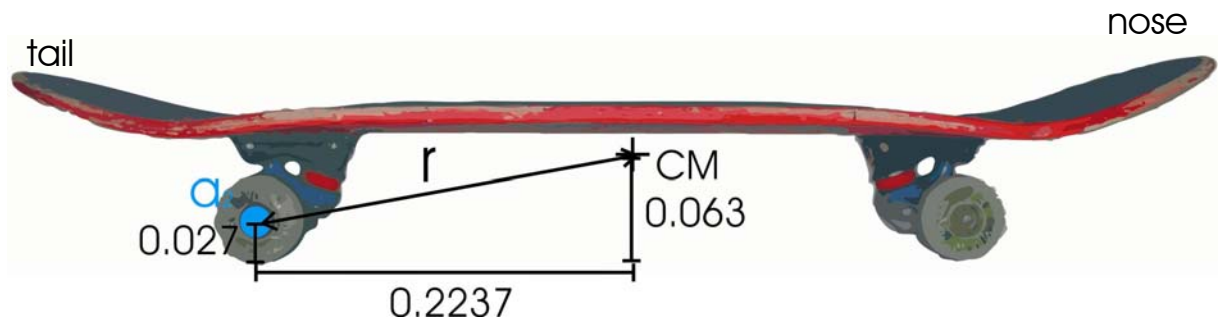
$$I_1 = I_{1cm} + m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + m_3 r_3^2 \cong 0.1165 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Soit le moment d'inertie du skate par rapport à l'axe, sortant de la feuille et passant par son centre de masse :

$$I_1 \cong 0.1165 \pm 0.0136 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

¹voir annexe p. I, [Calcul d'erreur](#)

Le moment d'inertie (I_2) par rapport un axe (a_2) parallèle mais passant par le centre de l'axe arrière



$$r = \sqrt{0.2237^2 + (0.063 - 0.027)^2} \pm \left[\frac{0.2237 \cdot 0.0239}{0.2266} + \frac{0.036 \cdot (0.0032 + 0.0005)}{0.2266} \right] \cong 0.2266 \pm 0.0242 \text{ m}$$

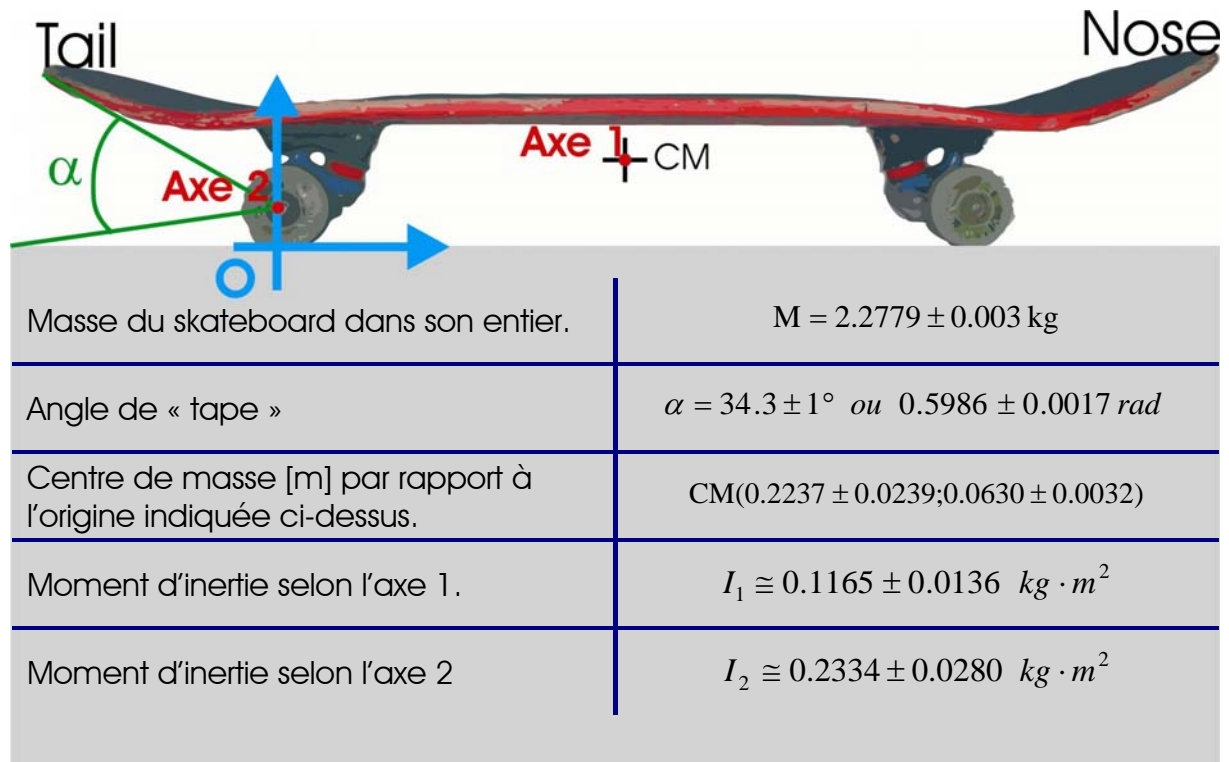
Soit la masse totale du skateboard $M = 2.2779 \pm 0.003 \text{ kg}$ et r la distance entre le CM et le centre de l'axe arrière. L'erreur semble être plus justement estimée par la racine carrée de la somme des erreurs élevées au carré¹, c'est donc ainsi que j'ai procédé. Ainsi selon la règle de Steiner :

$$I_2 = I_1 + Mr^2 \pm \left[\sqrt{0.0136^2 + 0.0242^2 + 0.003^2} \right] \cong 0.2334 \pm 0.0280 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

¹voir annexe p. I, [Calcul d'erreur](#)

2.5. Récapitulation des résultats préliminaires

Voici les résultats obtenus jusqu'ici qui sont en fait différentes caractéristiques physiques du skateboard.



Ces résultats, issus des études préliminaires à l'analyse du mouvement de ollie proprement dite, forment la base des raisonnements qui suivent. J'ai été contraint de simplifier mon skate, de le réduire à la description que représentent les résultats ci-dessus. Ils sont une manière de simplifier la complexité du problème mais permettent par là même une réflexion scientifique en matière d'énergie.

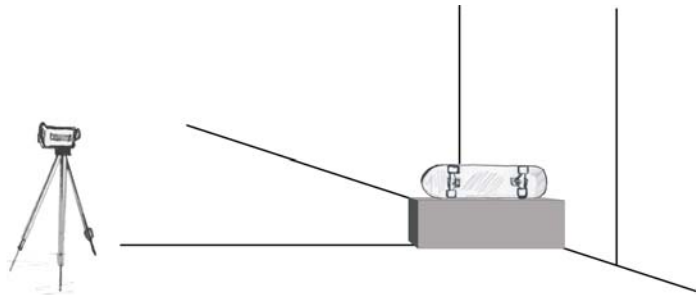
3. Le ollie en avançant

En pensant au ollie, je me suis d'abord dirigé, vers un ollie en roulant, comme c'est d'usage le plus souvent en skateboard. Bien que généralement on débute le skateboard en entraînant des ollies à l'arrêt, le saut de base en skateboard prend tout son sens lorsqu'il est exécuté en roulant. Il permet alors de sauter des obstacles, des marches d'escaliers, monter sur des modules, ou en le compliquant, d'effectuer des figures particulières. J'ai commencé le skate il y a environ deux ans, depuis, le skate a été pour moi une activité à peu près à tant complet durant les beaux jours. J'ai donc moi-même exécuté les mouvements que j'ai ensuite étudiés. J'ai entrepris de filmer un ollie en roulant, histoire de voir plus précisément en quoi cela consistait. J'ai placé un obstacle à vrai dire, plus pour moi que pour les besoins de l'expérience, car il s'avère difficile de faire un ollie convenable sans s'imposer même un petit défi.

3.1. Déroulement de la capture d'un ollie en avançant

Matériel utilisé :

- un skate
- un obstacle
- une caméra numérique
- un mètre



Après avoir disposé la caméra, l'obstacle et le mètre d'échantillonnage, j'ai exécuté quelques ollies. J'avais d'abord disposé la caméra de manière à enregistrer le mouvement de profil, mais j'ai ensuite filmé quelques ollies aussi de face et depuis derrière.

3.2. Quelques considérations sur le ollie en avançant

Voici les images saisies sur la séquence de film où mon ollie a été filmé de profil. Les autres vues sont présentes uniquement dans le film gravé sur le CD-Rom en annexe¹.



¹ voir en annexe, p. IV, Le CD-Rom



J'ai observé que je me baisse très bas pour ensuite me détendre et me propulser en hauteur. Je me débrouille pour que mon skate passe lui aussi au-dessus de l'obstacle, en tapant sur l'arrière de mon skate, puis en rétablissant vers l'avant. Le skate est en position horizontale, juste après avoir dépassé l'obstacle. Je plie ensuite un peu les genoux pour amortir la réception. Toutefois je vais reprendre ensuite ces observations c'est pourquoi je passe ici rapidement à la suite.

J'ai bien pointé quelques points sur la séquence à l'aide de Logger Pro © 3, mais j'ai vite compris qu'il me faudrait un autre matériau pour mon travail et que je n'allais pas pouvoir calculer grand-chose sur ces images. Je pourrais me poser la question de savoir si ma vitesse est constante, ou si hormis le ralentissement provoqué par le skate qui touche le sol, une partie de la vitesse horizontale est utilisée au moment de la tape pour s'élever. Il m'apparaît toutefois que ces questions sont secondaires et que je souhaite me concentrer plutôt sur le fait que la planche s'élève sous mes pieds. Il me fallait donc aller au plus simple pour comprendre les bases du mouvement. J'ai donc gardé à l'esprit les images de l'exécution des ollies en avançant, et j'ai repris mon skate et ma caméra avec l'idée de simplifier déjà une composante, soit la vitesse initiale en x , qui n'est pas nécessaire au saut.

4. Le ollie à l'arrêt

4.1. Déroulement de la capture d'un ollie à l'arrêt

Matériel utilisé :

- un skate
- une réglette de 50cm
- une caméra numérique
- un trépied
- Logger Pro © 3



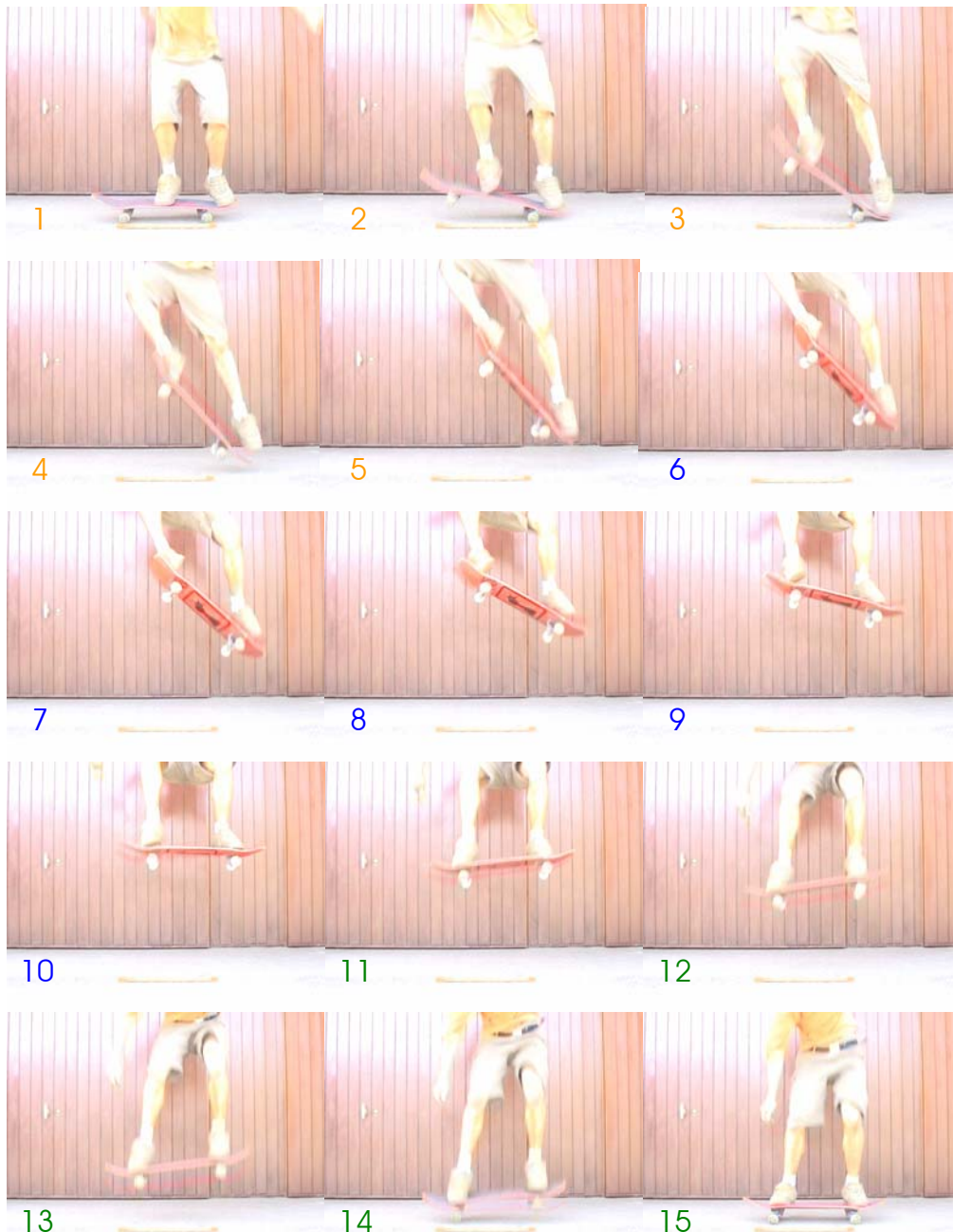
J'ai mis en place la caméra et je l'ai enclenchée. J'ai déposé la réglette de 0.5m devant mon skate. J'ai ensuite simplement effectué quelques ollies jusqu'à avoir le sentiment d'avoir fait quelque chose d'à peu près standard. Après ça, j'ai acquis la séquence désirée sur mon ordinateur et je l'ai convertie en « .avi », le format nécessaire à l'étude de mouvement à l'aide de Logger Pro © 3. A l'aide de Logger Pro © 3, j'ai défini une origine et une échelle. Pour l'échelle, j'ai finalement utilisé la distance entre les deux roues, mesurée à 0.435m, plutôt que la barre en bois de 0.5m que j'avais déposée à cet effet. Les mesures du skateboard s'approchait ainsi plus de ce que j'avais mesuré. Mon système d'axe défini, j'ai pointé la roue avant et la roue arrière tout au long du mouvement. J'ai aussi pointé le déplacement de mes pieds durant le ollie.

4.2. Quelques considérations sur le ollie à l'arrêt

J'ai tout d'abord observé la séquence des photos saisies, par arrêt sur image au cours du film. La caméra enregistre vingt-cinq images par seconde le temps entre chaque image est donc de 0.04s. Le temps en l'air est d'environ onze images, autrement dit presque la moitié d'une seconde. Tout se déroule donc vite, en particulier pour la caméra à qui revient le rôle de saisir des images le plus nettement possible.

Remarquer avant toute chose la position des pieds avant l'exécution, elle rend possible le saut. Je suis goofy, ce qui veut dire que mon pied qui se place à l'avant le plus naturellement est le droit. Mon pied droit se trouve donc à peu près au centre de la planche alors que le gauche est posé sur le tail. Je commence par me baisser, je plie les genoux dans le but de m'élever. Je me détends ensuite en appuyant sur le pied avant. C'est à la toute fin de cette détente que je m'appuie sur le pied arrière placé sur le tail de la planche. Vient ensuite le tour de la planche de s'élever, pour rester plaquée sous les pieds, pour permettre un bon contrôle du skate pendant le saut.

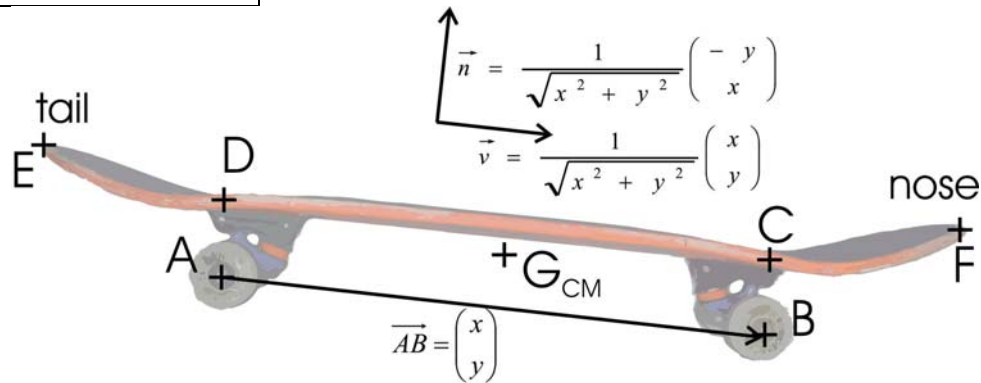




Ainsi, l'on observe assez nettement le mouvement, toutefois il apparaît difficile de calculer quoique ce soit tant qu'un animal aussi compliqué que moi se trouvera être partie intégrante du mouvement. Je remarque cependant que l'on peut réduire le ollie à trois phases relativement distinctes. La première phase, les images 1 à 5, en orange, dans laquelle le pied arrière est presque uniquement actif et « tape » sur le tail du skate. La deuxième phase, les images 6 à 10, en bleu, est celle du pied avant qui est presque uniquement actif et s'active à redresser le skate. Mon corps a fini son ascension et freine le skate qui pourrait monter encore, puis tout deux, entamons une classique chute libre. La dernière phase est donc la redescente, images 11 à 15, en vert, eh oui !!... je skate sur la terre, le skateur est relativement vite rappelé à la dure réalité de la gravité, même si l'entraînement permet dans une certaine mesure de défier les lois de la gravité.

4.3. La tape, le rétablissement et la chute libre

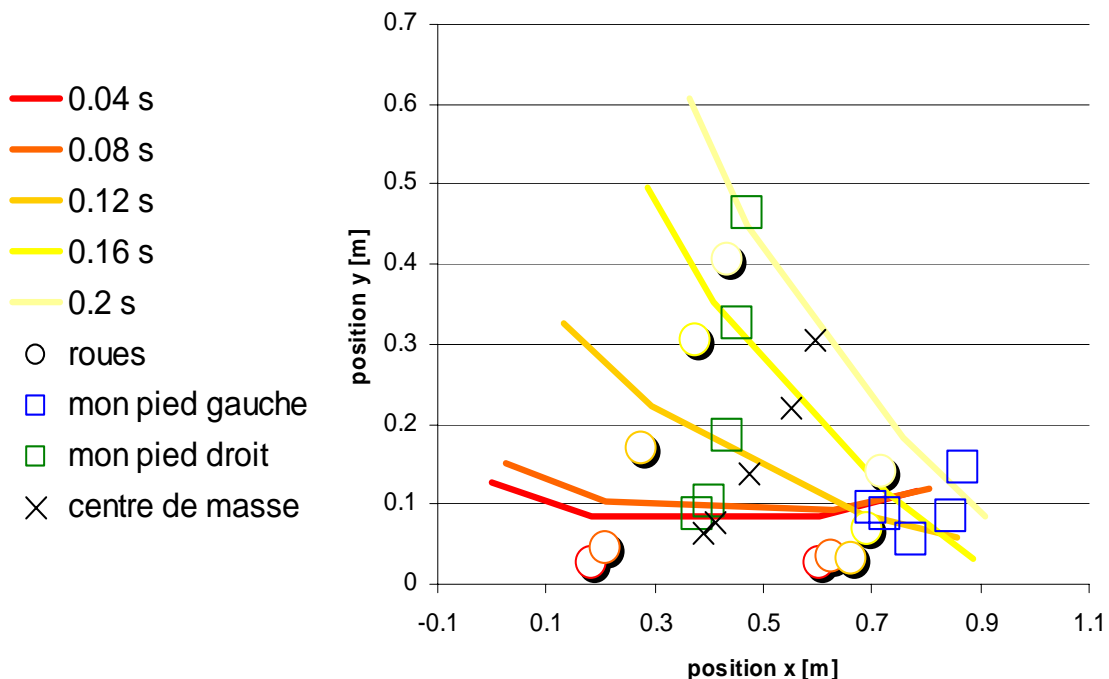
A l'aide des points cliqués sur les roues avant et arrière le long du film, j'ai, à l'aide de vecteur, reconstitué le skate et placé le centre de masse, pour une meilleur visualisation. Après avoir défini une base orthonormée sur le vecteur reliant les deux roues, j'ai atteint les autres points à l'aide des mesures connues du skateboard. J'ai aussi calculé le centre de masse, dont la définition était le sujet du point Le centre de masse.



$$\vec{OE} = \vec{OA} - 0.177\vec{v} + 0.115\vec{n} \quad \vec{OF} = \vec{OB} + 0.177\vec{v} + 0.115\vec{n} \quad \vec{OC} = \vec{OB} + 0.058\vec{n} \quad \vec{OD} = \vec{OA} + 0.058\vec{n}$$

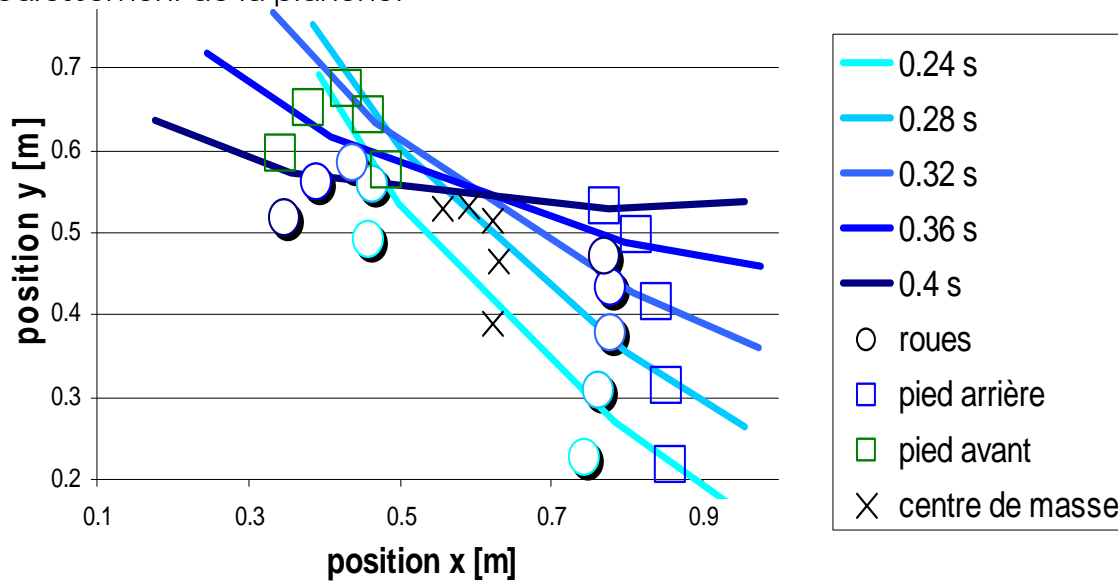
$$\vec{OG}_{CM} = \vec{OA} + \frac{0.2237}{0.435}\vec{AB} + 0.036\vec{n}$$

Ainsi la première phase se déroule comme décrite dans le graphe ci-dessous. J'ai observé que le pied arrière applique une force sur le tail du skate alors que le pied avant ne fait que suivre le mouvement du skate sans l'influencer significativement. Bien que le pied avant frotte le long du grip et modifie déjà le mouvement du skate, il me semble possible de dissocier les deux actions. J'entends que le mouvement du skate dans cette phase ne se trouverait que peu modifier, sans l'action du pied avant.

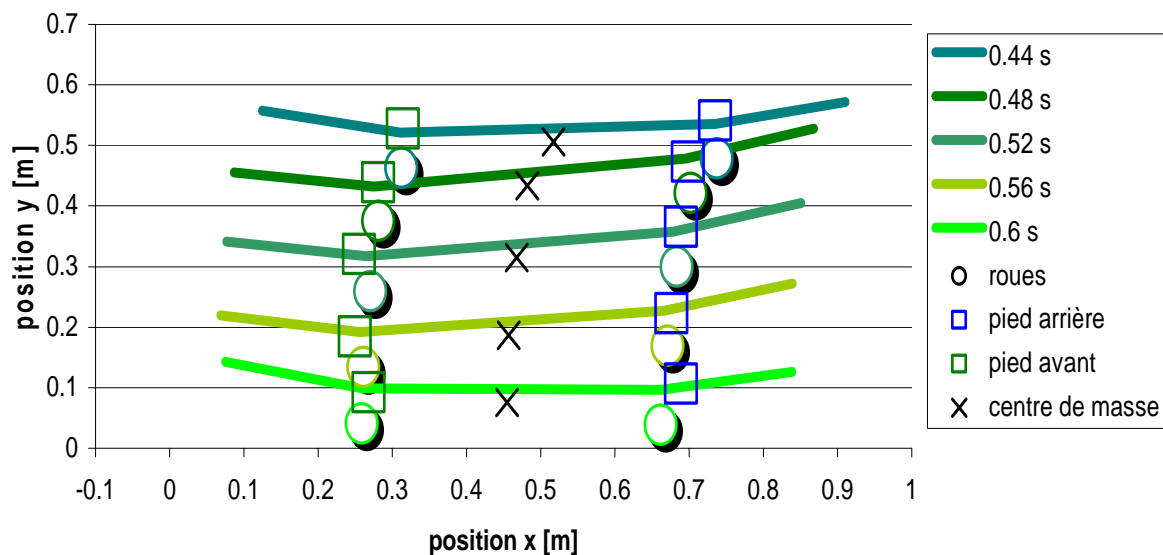


Vient ensuite le temps de rétablir la planche. Dans cette phase, c'est cette fois-ci au tour du pied avant de contribuer au mouvement. Il va opérer une opposition au mouvement de rotation du skate et ainsi le rétablir à l'horizontale. Je

me suis fait la remarque que le pied avant est presque immobile lors de son action de rétablissement. Le pied arrière va cette fois-ci suivre passivement le redressement de la planche.



Il est ensuite temps de garder les pieds sur terre et de retrouver le sol. Généralement, le skateur souhaite donner plus d'énergie que nécessaire à sa planche. J'entends par là que je fournis assez d'énergie au skate pour qu'il soit sensé monter plus haut que ce qu'il fera réellement. Cette volonté vient du fait que le skateur pour une bonne maîtrise de son skate souhaite qu'il colle sous ses pieds, autrement dit, que le skate ait tant d'énergie qu'il presse sous ses pieds. Ainsi au sommet du vol, à environ 0.5m, les pieds freinent le reste d'énergie cinétique du skate et ensuite moi et le skate entamons une chute libre jusqu'au sol. Détail technique, tout skateur tenant à ses genoux finira son ollie en amortissant la réception.



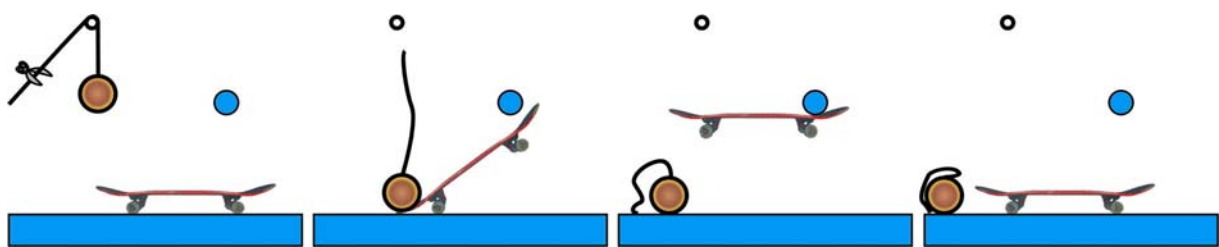
5. Un modèle

J'ai tenté, dans les pages précédentes de décrire avec des mots ce qu'était un ollie. Le mouvement principal que le skateur effectue lors d'un ollie est un simple saut. Il abaisse son centre de gravité en pliant les genoux, il se recroqueville, il se détend ensuite de manière explosive et accélère ainsi son corps ce qui lui permet pour un temps de ne plus être en contact avec le sol. À cela, je ne vois aucune autre explication à donner, c'est plutôt simple et efficace. Toutefois, et c'est là que ça devient intéressant, la planche reste comme collée au pied du skateur, lors du saut. C'est d'ailleurs ce qui étonne généralement les néophytes, qui ne manquent pas d'imagination en supposant quelque système d'aimant sous les pieds des skateurs ou autres supercheries. Déjà lors des débuts du ollie, Allan Gelfand, son inventeur qui était alors sponsorisé par une marque de chaussure, raconte avoir été victime de vols à répétition dont les auteurs espéraient le voir incapable de sauter, une fois dépourvu de ces chaussures...

C'est donc cette question qui m'intéresse en particulier. Je crois personnellement que tout ce qui peut passer pour surprenant, demande simplement un peu plus de sagacité et de connaissances pour être expliqué. Les lois de la physique devraient rester immanquablement vérifiées une fois de plus, pourquoi en serait-il autrement ?

Je n'ai cependant toujours aucune donnée qui me permette une réflexion en termes physiques. Une analyse plus poussée nécessite par exemple, que je puisse déterminer quelle force est appliquée sur le tail. Je vais donc émettre l'hypothèse suivante :

Il suffit pour faire décoller le skate jusqu'à une certaine hauteur dans une position horizontale, de taper fortement sur le tail et qu'un objet, par exemple une barre, fasse office d'un nouvel axe de rotation contre lequel le nose du skate vient buter, rétablissant ainsi le skate avant que celui-ci n'entame la redescente jusqu'au sol.



J'ai donc ensuite réfléchi à des expériences pouvant me permettre d'observer ce que j'avais. J'ai tout d'abord voulu expérimenter le résultat de la tape sur le tail. J'ai imaginé lâcher une bûche sur le tail de mon skate et de filmer la scène pour pouvoir y réfléchir attentivement.

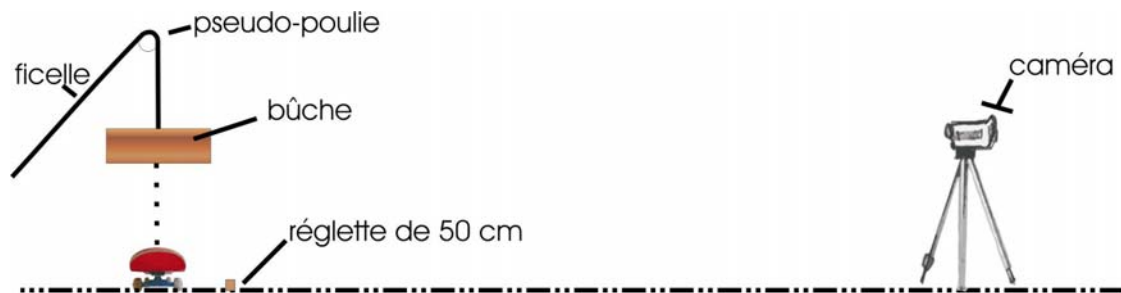
Je me suis, par la suite, dirigé vers l'expérimentation du modèle dans son entier, j'ai alors dû redoubler d'imagination pour parvenir à réunir le matériel nécessaire... dans mon garage qui m'a servi de laboratoire.

6. La tape, ou une bûche tombant sur le tail de mon skate

6.1. Déroulement de l'expérience du lâcher de la bûche

Matériel utilisé:

- un skate
- une bûche
- un crochet
- de la ficelle
- une caméra numérique
- un trépied
- (une règle de 50cm)
- une barre au plafond pouvant servir de poulie
- Logger Pro ©

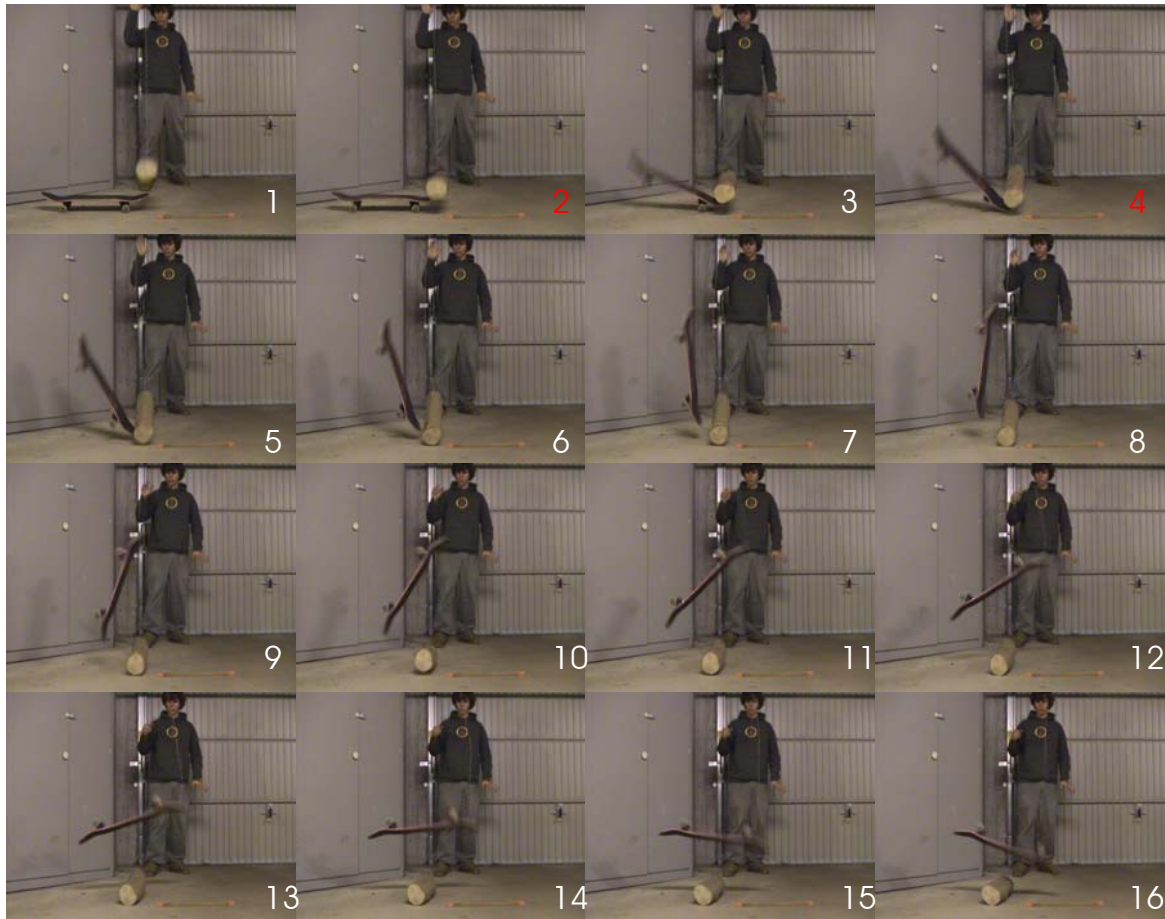


J'ai enrobé une bûche de bois de 3.9 kg dans du scotch pour plus de propreté. J'ai vissé à mi longueur de la bûche un crochet pour pouvoir la tenir à l'aide d'une ficelle. J'ai donc accroché un bout d'une ficelle à la bûche, j'ai passé l'autre bout par-dessus une barre qui m'a servi de poulie et j'ai tenu ce bout dans ma main. J'ai placé mon skate le plus précisément possible au point d'impact de la bûche. J'ai placé une barre en bois de 50cm devant mon skate comme repère pour la vidéo. J'avais eu soin préalablement de placer la caméra sur son trépied à une distance convenable pour englober la scène avec le plus de précision. J'ai ensuite effectué l'expérience plusieurs fois en observant le résultat, dans le but de retenir la meilleure. Par la meilleure, j'entends en fait celle où la bûche est tombée avec le plus de précision sur le tail s'approchant ainsi le plus possible du mouvement de tape et entrant le plus possible dans deux dimensions. J'ai ensuite acquis la vidéo sur mon ordinateur. Après avoir enregistré la séquence souhaitée au format mpeg, je l'ai analysée à l'aide de Logger Pro © 3. J'ai, comme lors de l'expérience précédente, défini l'échelle à partir de l'écartement des deux roues que j'ai déjà mesuré, plutôt qu'avec la règle de bois. J'ai placé l'origine. J'ai ainsi pu mesurer la hauteur de la bûche et j'ai ensuite pointé le centre de la roue avant durant la période de temps intéressante. J'ai effectué la même procédure pour le centre de la roue arrière.

6.2. Quelques considérations sur le lâcher de la bûche



Ci-dessous sont présentés les arrêts sur image de la séquence que j'ai choisi. La première image (ci-contre) n'est pas à la suite des autres, elle montre la position initiale, avant que je lâche la ficelle qui retient la bûche. La phase de chute de la bûche, étant une chute libre classique, elle n'est pas en image. L'image 2 est l'impact de la bûche avec le tail. L'image 4 montre l'impact du tail avec le sol.



Tout d'abord j'ai calculé l'énergie apportée au système, autrement dit l'énergie potentielle de la bûche. Soit, $m_{bûche} = 3.9 \pm 0.1 \text{ kg}$, la constante gravitationnelle $g = 9.81 \text{ m/s}$ et $h = 0.54 \pm 0.02$, mesuré sur la vidéo, à l'aide de Logger Pro ©. Ainsi l'énergie gagnée durant la chute par la bûche est :

$$E_{pot_{bûche}} = mgh = 3.9 \cdot 9.81 \cdot 0.54 \pm \left[\left(\frac{0.1}{3.9} + \frac{0.02}{0.54} \right) 20.66 \right] \cong 20.6599 \pm 1.2949 \text{ J}$$

6.3. La bûche tombe sur le tail

Je décortique maintenant plus précisément les images 2 à 4, autrement dit depuis le moment où la bûche touche le tail jusqu'au moment où le tail tape le sol.

Physiquement, deux choses pouvant se calculer de manière distincte se produisent pour le skate, il tourne autour de l'axe arrière et son centre de gravité s'élève. Le laps de temps étant trop court pour pouvoir me baser sur les données récoltées sur le film, j'ai du tenter d'appréhender cette partie par mes propres moyens.

Je souhaite connaître la vitesse angulaire moyenne du skate autour de l'axe arrière durant le laps de temps défini. Je pourrai ainsi avoir une idée de la quantité d'énergie que représente cette rotation.

Ainsi la bûche débute en t_0 avec une vitesse nulle et chute jusqu'à toucher le skate. Si la vitesse de la bûche était constante, je devrais utiliser sa vitesse au temps t pour estimer ensuite la vitesse du système formé par la bûche et le skate. La vitesse de la bûche croît selon une parabole, ainsi en choisissant la vitesse à ce moment là, je trouverai certainement une vitesse trop petite. Je vais donc choisir d'accorder à la bûche au moment où elle arrive sur la planche la vitesse moyenne \bar{v} à laquelle elle se déplace entre t_1 et t_2 . Soit encore $y_0 = (0.54 \pm 0.02) - (0.115 \pm 0.002) = 0.425 \pm 0.022 \text{ m}$ et $g = -9.81 \text{ m/s}^2$. Le calcul d'erreur sur t est fait selon la méthode de propagation utilisant la fonction et sa dérivée, ainsi selon les équations de la balistique :

$$y = \frac{1}{2}(-9.81)t^2 + 0.54 \text{ et } v = (-9.81)t$$

$$y(t_1) = 0.115 \rightarrow t_1^2 = 0.0866 \pm \left(\frac{0.022}{0.425} 0.0866 \right) = 0.0866 \pm 0.0045 \text{ s}^2$$

$$t_1 = \sqrt{x \pm \Delta x} \rightarrow \Delta t_1 = \frac{\Delta x}{2\sqrt{x}} \rightarrow t_1 = 0.2944 \pm \left[\frac{0.0045}{2\sqrt{0.0866}} \right] = 0.2944 \pm 0.0041 \text{ s}$$

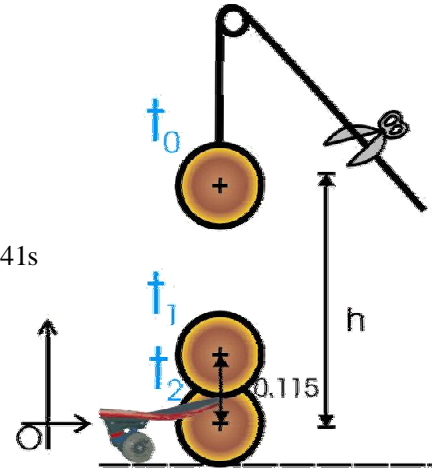
$$v_1 = -2.8876 \pm \left[\frac{0.0041}{0.2944} 2.8876 \right] = -2.8876 \pm 0.0405 \text{ m/s}$$

$$y(t_2) = 0 \rightarrow t_2^2 = 0.1101 \pm \left(\frac{0.02}{0.54} 0.1101 \right) = 0.1101 \pm 0.0041 \text{ s}^2$$

$$t_2 = \sqrt{x \pm \Delta x} \rightarrow \Delta t_2 = \frac{\Delta x}{2\sqrt{x}} \rightarrow t_2 = 0.3318 \pm \left[\frac{0.0041}{2\sqrt{0.1101}} \right] = 0.3318 \pm 0.0061 \text{ s}$$

$$v_2 = -3.2550 \pm \left[\frac{0.0061}{0.3318} 3.2550 \right] = -3.2550 \pm 0.0653 \text{ m/s}$$

$$\bar{v} = \frac{|v_1 + v_2|}{2} \pm \left[\left(\frac{\Delta v_1 + \Delta v_2}{|v_1 + v_2|} \right) \frac{|v_1 + v_2|}{2} \right] = 3.0713 \pm 0.0529$$



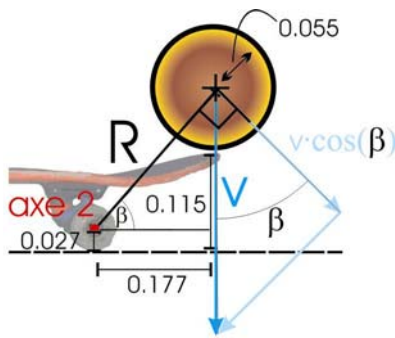
Le signe de v_1 et v_2 indique simplement que la bûche descend, je l'ai omis en calculant \bar{v} .

Au moment t_1 , la bûche entre en collision avec le skate. Je considère pour l'instant uniquement la rotation, ce qui me permet d'imaginer la scène à l'horizontal, c'est-à-dire sans aucun travail extérieur dû à la gravitation. Vu ainsi, le moment cinétique par rapport à l'axe de rotation est conservé. Le moment cinétique (L) est l'équivalent dans le mouvement de rotation de la quantité de mouvement (\bar{p}) dans un mouvement de translation. La bûche contribue au moment d'inertie du système final. Ainsi :

$$I_{bûche} \omega_{bûche} = I_{skate+bûche} \omega_{skate+bûche}$$

J'ai donc calculé le moment cinétique de la bûche par rapport à l'axe de rotation que constitue l'axe arrière au moment où elle entre en contact avec la planche.

La relation entre la vitesse angulaire et la vitesse de translation est $\omega = \frac{v_{\text{tangentante}}}{R}$. Soit encore le diamètre de la bûche, $d_{\text{bûche}} = 0.055 \pm 0.002m$. Les erreurs sont obtenues selon les règles déjà utilisées pour les additions et les multiplications, sinon j'ai précisé le calcul d'erreur. Ainsi :



$$v_{\text{tangentante}} = v \cdot \cos(\beta) \text{ et } I_{\text{bûche}} = m_{\text{bûche}} \cdot R^2 \text{ donc } L = m_{\text{bûche}} \cdot R \cdot v \cdot \cos(\beta)$$

$$R = (0.115 + 0.055 - 0.027)^2 + 0.177^2 \cong 0.2275m$$

$$R(x, y) = \sqrt{x^2 + y^2} \rightarrow \Delta R = \left| \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}} \right| \Delta x + \left| \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2}} \right| \Delta y$$

$$\Delta R = \frac{0.143 \cdot 0.0045}{0.2275} + \frac{0.177 \cdot 0.002}{0.2275} = 0.0428$$

$$\tan \beta = \frac{0.143}{0.177} \pm \left[\left(\frac{0.0045}{0.143} + \frac{0.002}{0.177} \right) 0.8079 \right] = 0.8079 \pm 0.0346$$

$$\beta = \arctan(x \pm \Delta x) \rightarrow \Delta \beta = \frac{\Delta x}{1 + x^2} \rightarrow \beta = 0.6795 \pm 0.0209 \text{ rad}$$

$$\cos \beta \cong 0.7779 \pm \left[\sin \beta |\Delta \beta| \right] \cong 0.7779 \pm 0.0134$$

$$L_{\text{bûche}} = 3.9 \cdot 0.2275 \cdot 3.0713 \cdot 0.7779 \pm \left[\left(\frac{0.003}{3.9} + \frac{0.0248}{0.2275} + \frac{0.0529}{3.0713} + \frac{0.0134}{0.7779} \right) 2.1228 \right]$$

$$L_{\text{bûche}} = 2.1228 \pm 0.3062 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$$

Le moment d'inertie du skate et de la bûche est :

$$I_{\text{skate+bûche}} = I_2 + m_{\text{bûche}} R^2 = 0.2334 + 3.9 \cdot 0.2275^2 \pm \left[\sqrt{0.028^2 + 0.003^2 + 0.0428^2} \right] \cong 0.4352 \pm 0.0512$$

La vitesse angulaire du système formé par le skate et la bûche :

$$\omega_{\text{skate+bûche}} = \frac{L_{\text{bûche}}}{I_{\text{skate+bûche}}} = \frac{2.1228}{0.4352} \pm \left[\left(\frac{0.0512}{0.4352} + \frac{0.3062}{2.1228} \right) 4.5131 \right] \cong 4.8778 \pm 1.1819 \text{ rad/s}$$

L'énergie cinétique de rotation acquise par le skate est :

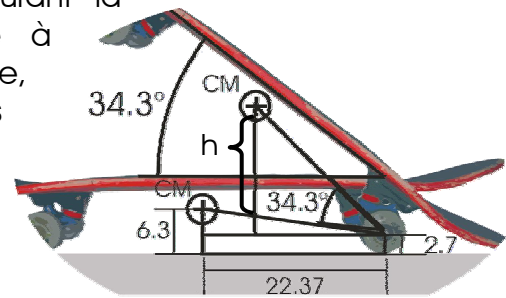
$$E_{\text{cin skate}} = \frac{1}{2} I_2 \omega_{\text{skate+bûche}}^2 = \pm \left[\sqrt{0.0280^2 + 1.1819^2} \right] = 2.7766 \pm 1.1822 \text{ J}$$

Ainsi le skate tourne, mais lors de sa rotation, son centre de masse va s'élever. Je n'en ai pas tenu compte pour calculer l'énergie cinétique, mais la planche ne se contente pas uniquement de tourner. La rotation s'effectue autour d'un axe ne passant pas par le centre de masse et comme la rotation a lieu dans un plan vertical, le déplacement du centre de masse est un travail de la force pesante. C'est donc ce gain d'énergie potentielle que j'ai calculé ensuite.

h est la hauteur dont s'élève le CM durant la rotation. L'erreur s'avère vraiment compliquée à calculer et proportionnellement peu intéressante, c'est pourquoi je la fixe à 0.002m comme pour les autres mesures de longueurs.

$$h = \left(\sqrt{3.6^2 + 22.37^2} \sin(34.3 + \arctan \frac{3.6}{22.37}) \right) - 3.6$$

$$h = 9.17 \text{ cm soit } 0.0917 \pm 0.002 \text{ m}$$



L'énergie potentielle gagnée par le skate est :

$$E_{pot_{skate}} = mgh = 2.2779 \cdot 9.81 \cdot 0.0917 \pm \left[\left(\frac{0.003}{2.2779} + \frac{0.002}{0.0917} \right) 2.050 \right] = 2.050 \pm 0.0474 \text{ J}$$

Lors de cette première collision, il semble y avoir des pertes importantes. Alors que la bûche apporte environ 20J, le skate semble bénéficier seulement du quart de l'énergie. Toutefois, il faut encore ajouter au bilan de l'énergie reçue, l'énergie que la rotation de la bûche avec le skate nécessite :

$$E_{cin_{bûche}} = \frac{1}{2} I_{bûche} \omega_{skate+bûche}^2 \cong 2.4013 \pm \left[\sqrt{0.003^2 + 0.0428^2 + 1.1819^2} \right] \cong 2.4013 \pm 1.1826 \text{ J}$$

Par ailleurs, la bûche rebondit après que le skate ait décollé, ce qui vient se placer dans mon bilan énergétique dans la colonne de l'énergie perdue, mais qu'il m'est difficile d'estimer. Un bilan provisoire de cette collision, en attendant la suite des événements serait :

| |
|--|
| $E_{pot_{bûche}} \cong 20.7 \pm 1.3$ |
| $E_{cin_{skate}} \cong 2.8 \pm 1.2$ |
| $E_{pot_{skate}} \cong 2.1 \pm 0.05 \text{ J}$ |
| $E_{cin_{bûche}} \cong 2.4 \pm 1.2$ |

$$E_{cin_{skate}} + E_{pot_{skate}} + E_{cin_{bûche}} + E_{non-définie} - E_{pot_{bûche}} = 0$$

avec

$$E_{non-définie} \cong 13.4 \pm 3.7 \text{ J}$$

J'ai encore noté que la seule énergie qui semble profiter encore au skate au moment où il tape le sol est son énergie cinétique, soit environ $2.8 \pm 1.2 \text{ J}$.

6.4. Le skate tourne, le tail vient frapper le sol

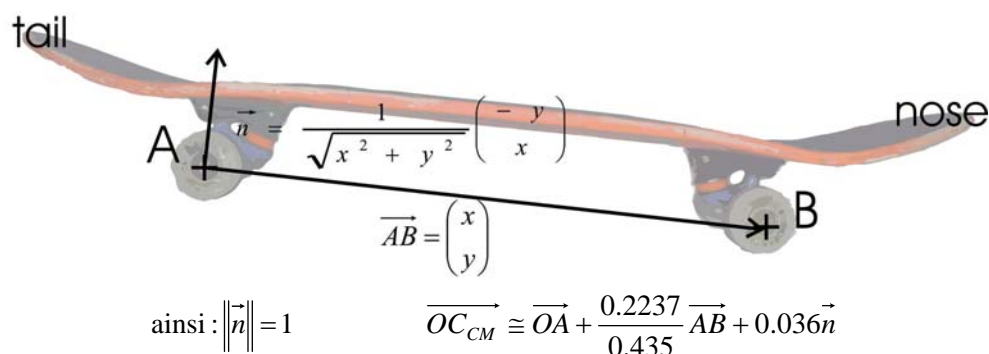
Je me résume. La bûche est tombée, elle entre en collision avec le tail du skate, ce qui a pour effet de former pour un court instant un système constitué de la bûche et du skate en rotation, rotation qui fait s'élever d'une petite hauteur le centre de masse. Si on néglige les frottements, seules les collisions sont intéressantes. J'entends par là que c'est durant une collision qu'il y a modification de la nature de l'énergie ou transmission d'énergie d'un corps à un autre. Dans le cas qui m'intéresse, il y a deux collisions, la première entre la bûche et le skate, et la deuxième entre le skate et le sol. La première que j'ai abordée dans la partie précédente, est assez particulière au modèle choisi, puisque lors d'un ollie effectué par un skateur, il n'y a pas de collision à proprement parler, étant donné que le pied est déjà posé sur le tail. La deuxième par contre semble très similaire. Mais je reprends le skate où je l'ai laissé, le skate tourne donc et le tail vient frapper le sol tandis que la bûche quitte le tail. Lors du ollie, le skateur tape sur le tail lorsque ses jambes sont détendues presque entièrement. Le skateur s'élève alors indépendamment du skate, il est d'ailleurs fréquent que le pied arrière se désolidarise de la planche un instant juste après la tape.

Ainsi comme j'ai déjà étudié le skate avant que le tail tape le sol, il me faut à présent étudier le skate après la collision pour tenter de comprendre en quoi elle consiste.

L'énergie que possède le skate après avoir quitté le sol est la somme de son énergie cinétique liée à son centre de masse et son énergie cinétique relative de rotation.

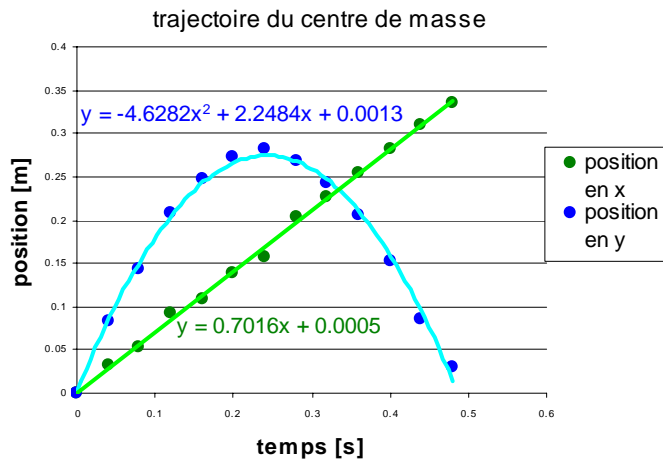
$$E = E_{cm} + E_{rot} = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2$$

N'étant pas capable de prévoir, les effets de cette collision, comme je l'ai fait pour la précédente, mais possédant des informations pertinentes venant du film, je me suis basé sur les données observées sur le film de l'expérimentation à l'aide du logiciel Logger Pro®. A partir des points cliqués sur la vidéo au centre de chacune des deux roues, j'ai à l'aide de vecteurs désigné le centre de masse tous les 0.04s depuis le « décollage » du skate de la manière suivante :



J'aurais aussi pu choisir de calculer un vecteur parallèle à \vec{AB} mais de longueur 1 et le multiplier par 0.2237, toutefois comme la distance entre A et B varie sur la séquence vidéo à cause des imprécisions, l'utilisation d'un rapport me semble plus indiquée.

La trajectoire décrite par le centre de masse m'informe sur la vitesse initiale du skate. Après avoir bougé quelques points dans Logger Pro®, j'estime que ma précision sur les points cliqués dans la séquence est de 0.03m tant en x qu'en y. Le centre de masse en fonction du temps est issu du calcul détaillé ci-dessus, toutefois je vais faire comme s'il avait été pointé sur le film et lui attacher la même erreur de 0.03m.



Ci-contre, les équations balistiques de la trajectoire du centre de masse fournies par Excel®. Comme je ne peux pas obtenir les erreurs sur les coefficients par ce biais-là, j'ai calculé selon la méthode de régression linéaire¹, la pente de la droite décrite par la position en x et l'erreur qui lui est propre. Je me base uniquement sur les erreurs sur la position, les données de temps me sont fournies par le fait que la caméra enregistre 25

images par seconde et cet intervalle est censé être fixe. Quoiqu'il en soit, le fabricant de la caméra ne donne aucune indication à ce sujet. Comme je ne sais pas faire la même chose avec la parabole dessinée par la position en y, je vais simplement supposer que l'erreur sur le coefficient qui m'intéresse est du même ordre de grandeur que pour la composante x.

$$\text{en } x : v_{0x}t + x_0 \text{ donc } v_{0x} = 0.7016m/s$$

$$\text{en } y : \frac{1}{2}at^2 + v_{0y}t + y_0 \text{ donc } v_{0y} = 2.2484m/s$$

$$v_{0x} = 0.7016 \pm 0.0556m/s \rightarrow \frac{\Delta v_{0x}}{v_{0x}} \cong 0.0792$$

$$v_{0y} = 2.2484 \pm [2.2484 \cdot 0.0792] \cong 2.2484 \pm 0.1782m/s$$

La vitesse initiale, au moment où la planche quitte le sol est la suivante. Je ne répète pas le calcul d'erreur sur la norme qui a déjà été détaillé plusieurs fois.

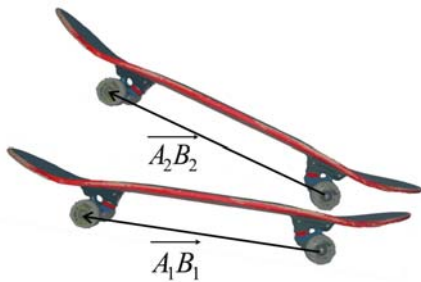
$$v_0 = \begin{pmatrix} 0.7016 \pm 0.0556 \\ 2.2448 \pm 0.1782 \end{pmatrix} \text{ et } \|\vec{v}_i\| = 2.3519 \pm \left[\frac{0.7016 \cdot 0.0556 + 2.2448 \cdot 0.1782}{2.3519} \right] = 2.3519 \pm 0.1867m/s$$

L'énergie cinétique du centre de masse de la bûche est donc :

$$E_{cm} = 0.5 \cdot 2.2779 \cdot 2.3519^2 \pm \left[\left(\frac{0.003}{2.2779} + \frac{2 \cdot 0.1867}{2.3519} \right) 6.3000 \right] = 6.3000 \pm 1.0133J$$

¹voir annexe p. III, [La méthode de régression linéaire](#)

A partir des vecteurs reliant les deux axes, j'ai calculé pour chaque paire d'image l'angle dont tourne la planche durant l'intervalle de temps de 0.04s.



Par la définition du produit scalaire, l'angle α entre $\vec{A_1B_1}$ et $\vec{A_2B_2}$ est :

$$\cos \alpha = \frac{\vec{A_1B_1} \cdot \vec{A_2B_2}}{\|\vec{A_1B_1}\| \cdot \|\vec{A_2B_2}\|}$$

L'erreur sur α est un peu décourageante à calculer et de nouveau, il ne me semble pas que ce qu'on obtiendrait justifierait la peine. Toutefois, plusieurs paramètres interviennent possédant tous une imprécision plutôt importante puisqu'ils sont issus de l'analyse vidéo, j'ai donc fixé pour les angles α une erreur relative de 10%.

Pour chaque intervalle de temps d'une durée de 0.04s, la planche tourne d'un angle α . Comme je l'ai déjà dit, je ne peux pas appréhender l'erreur sur ces intervalles de temps, je ne peux que me fier au fabricant de la caméra. La vitesse angulaire est :

$$\omega = \frac{\alpha}{\Delta t} \pm 10\%$$

Ces différentes vitesses angulaires donnent lieu à une vitesse angulaire moyenne $\bar{\omega}$. La moyenne est le résultat d'une moyenne pondérée, l'erreur sur cette moyenne est aussi le résultat d'un calcul particulier¹ :

$$\bar{\omega} = 5.0252 \pm 0.1522$$

Depuis qu'elle a quitté le sol, la planche tourne autour de son centre de masse à $\bar{\omega}$. Son énergie cinétique de rotation relative à son centre de masse est donc :

$$E_{rot} = \frac{1}{2} I_1 \bar{\omega}^2 = 0.5 \cdot 0.1165 \cdot 5.0252^2 \pm \left[\left(\frac{0.0136}{0.1165} + \frac{2 \cdot 0.1522}{5.0252} \right) 1.4710 \right] \cong 1.4710 \pm 0.2608 J$$

L'énergie cinétique totale de la planche lorsqu'elle quitte le sol est :

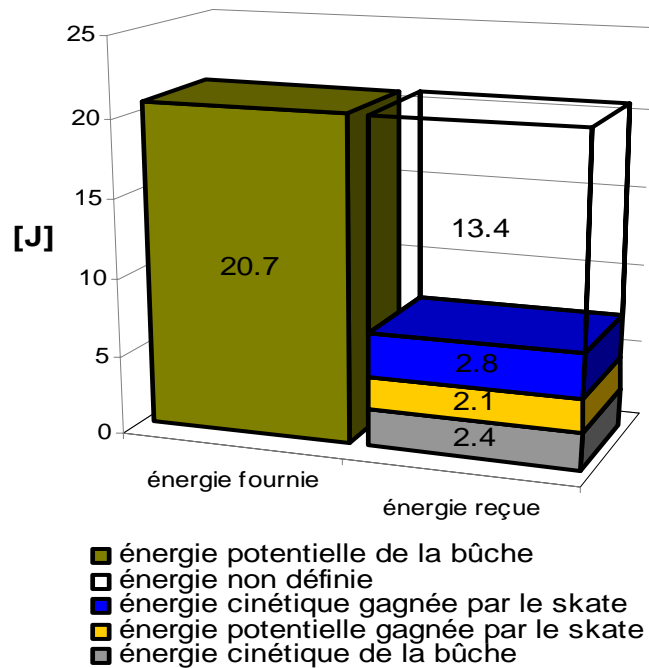
| | |
|----------------------------------|-------------------------------|
| Énergie de rotation autour du cm | $E_{rot} \cong 1.5 \pm 0.3 J$ |
| Énergie de translation du cm | $E_{cm} \cong 6.3 \pm 1 J$ |

$$E = E_{cm} + E_{rot} = \frac{1}{2} m v^2 + \frac{1}{2} I \omega^2 = 6.3000 + 1.4710 \pm [1.0133 + 0.2608] \cong 7.8 \pm 1.3 J$$

¹voir annexe p. I, [Le calcul d'erreur](#)

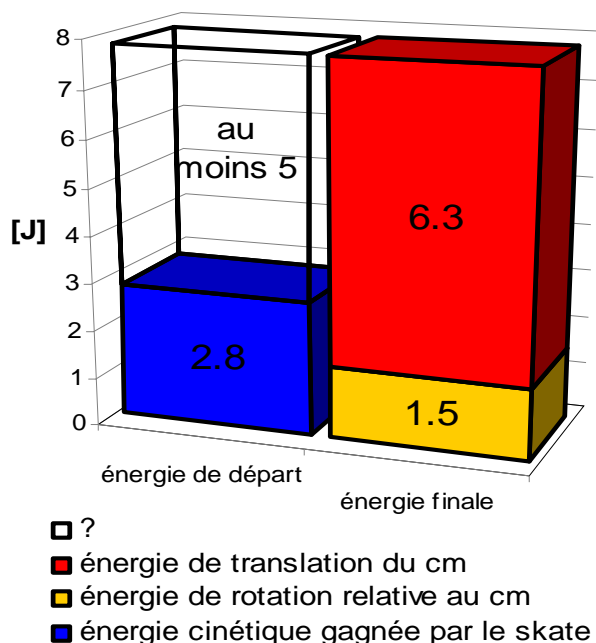
6.5. Bilan énergétique

Il est maintenant temps de réfléchir sur les résultats des calculs que j'ai effectués. J'ai donc une bûche tombant depuis une certaine hauteur, qui change son énergie potentielle de gravitation en énergie cinétique. La bûche en tombant sur le tail du skate va lui transmettre une partie de cette énergie, comme elle l'aurait fait avec le sol, si elle n'avait pas rencontré le tail du skate sur sa trajectoire. Au moment de la collision, la bûche reste en contact avec le skate. Pendant un court instant, la bûche et le skate forment un système en rotation. Cette rotation accélère le skate et en élève son centre de gravité. La bûche, elle aussi tourne, ce qui ne sert en rien au skate, mais utilise aussi une partie de l'énergie. Et comme selon la loi de la conservation de l'énergie, rien ne se perd rien ne se crée tout se transforme, l'énergie manquante à l'appel ne s'est pas volatilisée, je ne l'ai simplement pas reconnue, pas définie. Il y a en fait bien plus de choses qui se passent lors d'une collision comme celle-ci. Comme je l'ai dit, la bûche rebondit encore, elle n'a donc pas perdu toute son énergie lorsqu'elle atteint le sol. Toute l'opération fait aussi du bruit, celui-ci est aussi le résultat de la collision. De plus le skate et la bûche s'usent, c'est donc qu'une partie de l'énergie sert à casser la structure interne, du bois qui les constitue. Le graphique en colonne ci-contre illustre le bilan de cette collision. J'ai omis les erreurs sur les valeurs dans un souci de clarté. Il est frappant que du point de vue du skate, la collision a un rendement relativement faible. Mais dans le cas du ollie, c'est le skateur, à l'aide de son pied arrière qui fournit l'énergie à la planche. Il me semble alors y avoir un rendement bien meilleur.



Mais voyons la suite, au moment où le tail touche le sol, la bûche cesse d'avoir une action sur le skate. Elle ne m'intéresse donc plus. Lors du ollie, le pied arrière n'influence plus le skate après qu'il ait tapé le sol, il perd même le contact avec le skate un instant lors de mon exécution. Mais regardons le skate de plus près, il est donc en rotation autour de l'axe arrière, et ce mouvement de rotation va rencontrer la résistance du bitume lorsque le tail arrive contre le sol. Il va s'en suivre l'envol du skate, de plus en rotation autour de son centre de masse. Ce serait donc l'énergie de rotation du skate avant qu'il touche le sol, qui permettrait ce décollage.

Ci-contre une représentation graphique du bilan énergétique de cette collision. Comme précédemment, je n'ai pas tenu à faire figurer les erreurs sur les valeurs pour permettre une meilleure visualisation.



Il faut tout d'abord remarquer que l'énergie accordée à la rotation autour du centre de masse est tout à fait petite comparée à l'énergie que nécessite le mouvement du centre de masse. Mais il est surtout flagrant que selon ces résultats, il manque au moins 5J pour expliquer le vol qu'effectue le skate après que le tail ait tapé le sol. Au moins 5J, en espérant que la collision soit élastique et ne dissipe pas d'énergie. J'ai calculé cette énergie avec son imprécision, dans le cas optimiste que je viens de décrire :

$$E_f = 6.3000 + 1.7410 - 2.7766 \pm [1.1822 + 0.2608 + 1.0133] = 4.9944 \pm 2.4563 \approx 5 \pm 2.5J$$

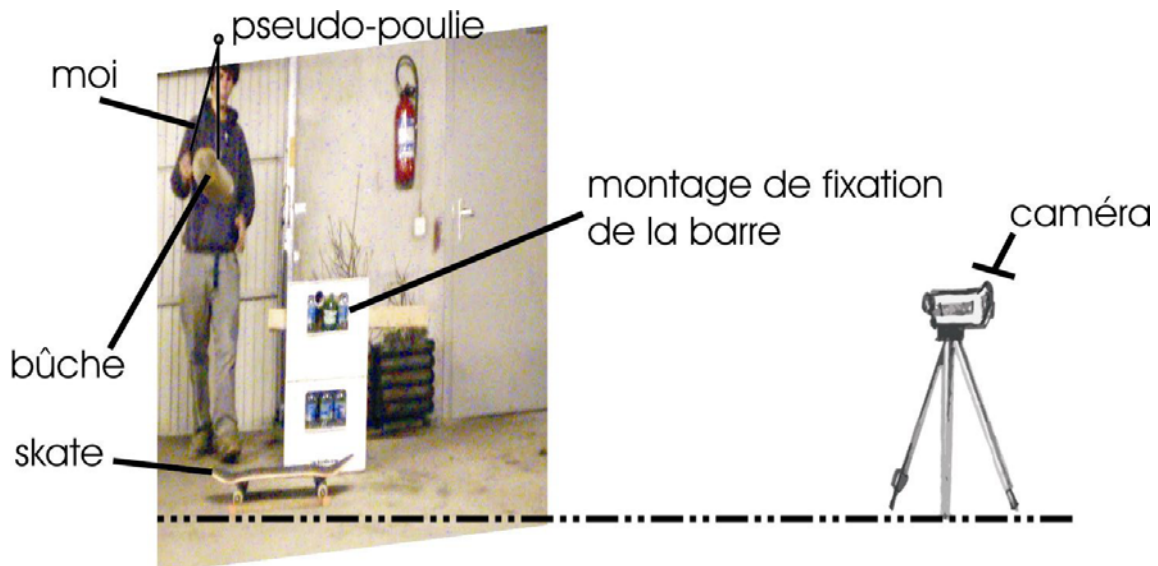
L'erreur est très importante, elle représente la moitié de la valeur. Il y a donc entre 2.5 et 7.5J que je n'ai pas su attribuer à la planche avant que son tail rencontre le sol. En effet cette énergie que possède la planche lorsqu'elle décolle, ne se crée pas d'elle-même, la planche doit avoir emmagasiné au moins environ 8J avant que le tail tape le sol pour expliquer son envol après la collision. En regardant de nouveau le film de l'expérience, et précisément les images où la bûche exerce une force sur le tail, j'ai été forcé de remarquer que, bien que les images soient d'une netteté relative, la planche semble se plier sous l'effet de la chute de la bûche. Il se pourrait donc qu'au moins une partie de cette énergie qui manque au skate durant sa première rotation soit en fait emmagasinée par la flexion de la planche avant d'être restituée lors de la collision avec le sol et de la disparition de la bûche. Cette confirmation de cette hypothèse demanderait des expériences supplémentaires. Par exemple, une expérience qui m'est venu à l'esprit au vu de ces résultats, serait de lâcher la bûche en ayant scotché une bande de papier passant dans un tape timer qui marque un point à chaque intervalle de temps choisi. L'analyse du ruban permettrait peut-être d'observer le comportement de la bûche en matière de vitesse lorsqu'elle rencontre le tail de la planche et d'ainsi vérifier l'analyse théorique que j'ai faite pour la première collision.

7. Rétablir, ou une barre sur la trajectoire du skate

Je me suis donc intéressé dans les pages précédentes au résultat de l'application d'une force sur le tail du skate. J'ai formulé l'hypothèse dans la partie Un modèle, que cette action, combinée à la présence, par exemple, d'une barre faisait s'élever le skate jusqu'à une certaine hauteur dans une position horizontale. J'ai donc fait sauter mon skate dans les airs en lâchant une bûche sur son tail, et sans influence extérieure, son centre de masse va décrire une parabole et le reste du skate va tourner autour de son centre de masse. Or, justement, il est temps d'incider sur lui durant sa trajectoire et d'ainsi éprouver mon hypothèse par une manipulation pratique.

7.1. Déroulement de l'expérience d'épreuve du modèle

Matériel :



- une pseudo-poulie
- « la bûche »
- un skate
- de quoi fixer une barre à une certaine hauteur du sol
- une caméra numérique

J'ai donc utilisé en grande partie le même dispositif que pour l'expérience précédente. J'ai par contre ajouté, cette fois-ci, une barre sur la trajectoire du skate. J'ai essayé de faire preuve d'imagination, car ne possédant pas un laboratoire dans mon garage, il ne m'a pas été facile de fixer la barre de manière à ce qu'elle ne bouge pas trop lors de la collision avec le nose du skate. N'ayant pas d'idée très précise sur la hauteur et la distance à laquelle placer la barre, j'ai simplement ajusté sa position au fil des expériences, jusqu'à obtenir une séquence concluante.

7.2. Quelques considérations sur le modèle éprouvé

Ci-dessous, la séquence que j'ai pensé représenter au mieux l'hypothèse que j'avais formulée. Comme précédemment, je n'ai pas fait figurer les images correspondant à la chute libre de la bûche.



Je remarque d'une part qu'après avoir déjà tapé la barre lors de la troisième image, le skate vient taper une seconde fois contre la barre après s'être rétabli. Ceci semble s'expliquer par le fait que la bûche est un peu trop haute, et que par conséquent, elle fournit un peu trop d'énergie à la planche qui dans son élan revient taper la barre.

D'autre part, le skate part un peu en avant ce qui ne faisait, en fait, pas partie du plan. J'ai à ce sujet observé durant mes lâchers répétés que deux cas distincts se produisaient suivant la place du skate par rapport au point d'impact de la bûche. En lâchant la bûche toujours au même endroit, lorsque le tail de la planche se trouvait plutôt à gauche du point de chute de la bûche, celle-ci en chutant avait du mal à rouler sur la gauche et ainsi était encore en contact avec le skate lorsqu'il allait taper la barre, ce qui bloquait tout le mouvement. Inversément, quand le tail était plutôt à droite du point d'impact de la bûche, la bûche influait sur le skate de manière assez courte et roulait rapidement sur la gauche de l'écran, ce qui faisait sauter plus ou moins le skate, libéré de l'influence de la bûche, mais poussait aussi le skate assez fortement vers la droite de l'image. Ainsi, même en tentant de placer la bûche le plus précisément au-dessus du tail, il semble qu'il faille de toute façon que le skate parte un peu vers l'avant pour que la bûche roule sur la gauche et laisse le skate réaliser son mouvement.

Cependant, malgré ces imperfections, il me semble pouvoir dire que l'hypothèse est confirmée. La bûche a tapé sur le tail du skate, le faisant sauter et tourner, mais la barre ingénieusement placée vient proposer un nouvel axe de rotation que celui que formait le centre de masse, modifiant aussi la trajectoire de celui-ci, redressant la planche à l'horizontale au point le plus haut de sa parabole, avant de penser à redescendre sur le sol.

Par manque de temps, je n'ai pas pu approfondir plus particulièrement cette expérience, je me suis par conséquent limité à l'analyse qui précède. D'autres expériences seraient bien sûr encore à réaliser pour préciser et détailler scientifiquement l'action de la barre sur le skate.

8. Propos de conclusion

J'en arrive à la conclusion. D'une part la reddition s'est progressivement rapprochée, et d'autre part, bien que les idées pour continuer cette étude ne me manquent pas, j'aspire à mettre un point final. Je mentirais si je n'avouais pas qu'un souffle nouveau serait nécessaire pour me permettre de reprendre, une fois de plus, mon skate, ma caméra, mon livre de physique,...

J'ai donc tenté d'approcher la réalité du mouvement de base du skate, et j'ai la conviction d'avoir réussi. L'étude visuelle du mouvement m'a permis de réduire à des éléments simples les conditions nécessaires à l'élévation du skate jusqu'à une certaine hauteur, qu'il atteint en position horizontale. La réalisation d'une expérience simple a donné la preuve du caractère réel et pratique du modèle. Le ollie est un mouvement qui peut être simplement démontré.

La découverte d'un thème de physique que je n'avais pas encore étudié m'a permis d'écrire des calculs décrivant les cabrioles effectuées par mon skate. Les chiffres montrent que la planche ne tourne pas assez vite au moment où le tail vient frapper le sol pour expliquer l'amplitude dont il bénéficie ensuite. La planche apparaît se comporter comme une balle que je lâcherais depuis une certaine hauteur et qui, après avoir frappé le sol, remonterait bien plus haut que son point de départ. La supposition que j'ai formulée, c'est que la planche pourrait se plier sous l'action de la bûche, et emmagasiner ainsi de l'énergie, qu'elle restituerait lors du choc avec le sol, quand la bûche cesse d'influer sur le skate. C'est un peu comme si j'avais compressé un ressort qui serait à l'intérieur de la balle et que lorsqu'elle touche le sol, le ressort se détendait, d'un coup, faisant ainsi bénéficier la balle de l'énergie emmagasinée lors de la compression.

Un amical entretien téléphonique avec Laurent Golay, le constructeur de la planche que j'ai utilisée, m'a conforté dans cette idée. Il m'a expliqué que le choix du matériau est principalement motivé par l'optimisation du rapport entre la résistance et la souplesse de la planche. La résistance, car la planche doit claquer quand on la tape au sol. La souplesse, car elle ne doit pas se briser lors des chocs, mais se plier pour accuser les impacts. Ces caractéristiques correspondent, selon moi, à la flexibilité « explosive » que nécessitent les résultats de mon analyse. Ainsi, d'autres matériaux ont été testés depuis les débuts du skate, cependant, le bois convient encore et toujours mieux que les autres.

Ces idées nécessiteraient cependant de plus amples investigations agrémentées de nouvelles expériences. Des expériences qui susciteraient certainement de nouvelles interrogations, et ainsi de suite, car il n'y a aucune raison pour qu'il y ait une fin à ce cheminement, et même s'il en est une, il n'y a pas plus de raison pour qu'on l'atteigne. L'augmentation de mes connaissances à travers ce travail et l'éclaircissement de certains points sont la source d'une satisfaction bénéfique, et dans une mesure égale voire plus grande, d'une conscience plus juste d'une complexité que je peine encore à appréhender.

Le ollie est le mouvement de base du skate, demeurent encore toute sorte de figures à étudier, et bien plus de questions encore dans des domaines divers...

9. Sources

9.1. Bibliographie

ARNOLD Peter, *Le livre du Skateboard, Technique de la « planche à roulettes »*, éditions Fernand Nathan, 1978, p. 61

LAURENT Claude-Marcel, *Pratique du skateboard, tous les secrets de la planche à roulettes*, Paris, éditions Bornemann, 1978, p. 80

LOUBAT Bernard, *Technique et pratique du skateboard*, Paris, éditions De Vecchi, 1978, p. 143

Le magazine *Ride On* n°1 de juin/juillet/août 2003

Le magazine *Thrasher* n° 284 d'août 2004

BENSON Harris, *PHYSIQUE, tome 1, Mécanique*, Paris, éditions De Boeck Université, 1999, p. 588

COMMISSIONS ROMANDE DE MATHÉMATIQUE, DE PHYSIQUE ET DE CHIMIE, *Formulaires et tables*, Genève, éditions du Tricorne, 2000, p. 285

9.2. Webographie

Alan « Ollie » Gelfand, page consultée le 22 janvier 2005
<http://www.ollieair.com>

Rodney Mullen, a living skate board legend, page consultée le 22 janvier 2005
<http://www.angelfire.com/extreme3/triflames/articles/rmsl.html>

Histoire du skate, page consultée le 22 janvier 2005
<http://www.dreamskate.net/histoire.php>

9.3. Les logiciels particuliers que j'ai utilisés

Pour l'acquisition vidéo :

Studio version 8.4.16 de Pinacple Systems Inc., 1998-2002

Pour l'analyse vidéo :

Logger Pro © version 3.2, de Vernier Software et Technology, 2003

Pour les schémas :

Corel Draw version 10.410, de Corel Corporation, 2000

10. Remerciements

Bien que mon travail ait été un travail personnel, il n'a pas été, à proprement parler, un travail solitaire. Il est donc temps de passer aux remerciements de toutes les personnes qui par leur soutien sans faille m'ont accompagné chaleureusement au long de ma démarche.

Je tiens à remercier mon mentor pour m'avoir fait confiance malgré l'étrangeté du sujet que j'ai choisi :

- Michel Augsburg

Je tiens aussi à remercier les personnes qui ont d'une façon ou d'une autre contribué à la réussite de mon travail de maturité :

- Ma famille
- Luc Tripet
- Rafael Richard
- Didier Chattelard, professeur de physique
- Laurent Golay

11. Annexes

11.1. Le calcul d'erreur

Pour la propagation d'erreur lors de l'addition ou de la soustraction de quelques termes, j'ai utilisé le calcul suivant :

ΔA et ΔB = erreur sur A et B

$A \pm \Delta A$ et $B \pm \Delta B$

$P = A + B$ ou $P = A - B$

$$\boxed{\Delta P = \Delta A + \Delta B}$$

Pour la propagation lors de la multiplication ou de la division de quelques valeurs, j'ai utilisé le calcul suivant :

$A \pm \Delta A$ et $B \pm \Delta B$

$S = A \cdot B$ ou $S = \frac{A}{B}$

$$\boxed{\frac{\Delta S}{S} = \frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta B}{B}} \text{ ou } \boxed{\Delta S = S \left(\frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta B}{B} \right)}$$

Lors d'erreur sur des valeurs exprimées par des fonctions plus complexes, j'ai procédé comme suit :

Soit $x \pm \Delta x$ et $u = f(x)$ alors,

$$\boxed{\Delta u \approx |f'(x)| \Delta x}$$

Soit $x \pm \Delta x$, $y \pm \Delta y$ et $v = f(x, y)$ alors,

$$\boxed{\Delta v \approx |f'_x(x, y)| \Delta x + |f'_y(x, y)| \Delta y}$$

en notant f'_x et f'_y la dérivée partielle de f par rapport à x et y .

Dans les autres cas, j'ai fait la racine carrée de la somme des erreurs au carré :

Soit, par exemple $x \pm \Delta x$, $y \pm \Delta y$ et $z \pm \Delta z$ et $w = f(x, y, z)$, alors

$$\boxed{\Delta w = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2}}$$

Pour la moyenne de diverses valeurs avec des erreurs différentes j'ai fait une moyenne pondérée (μ) comme suit :

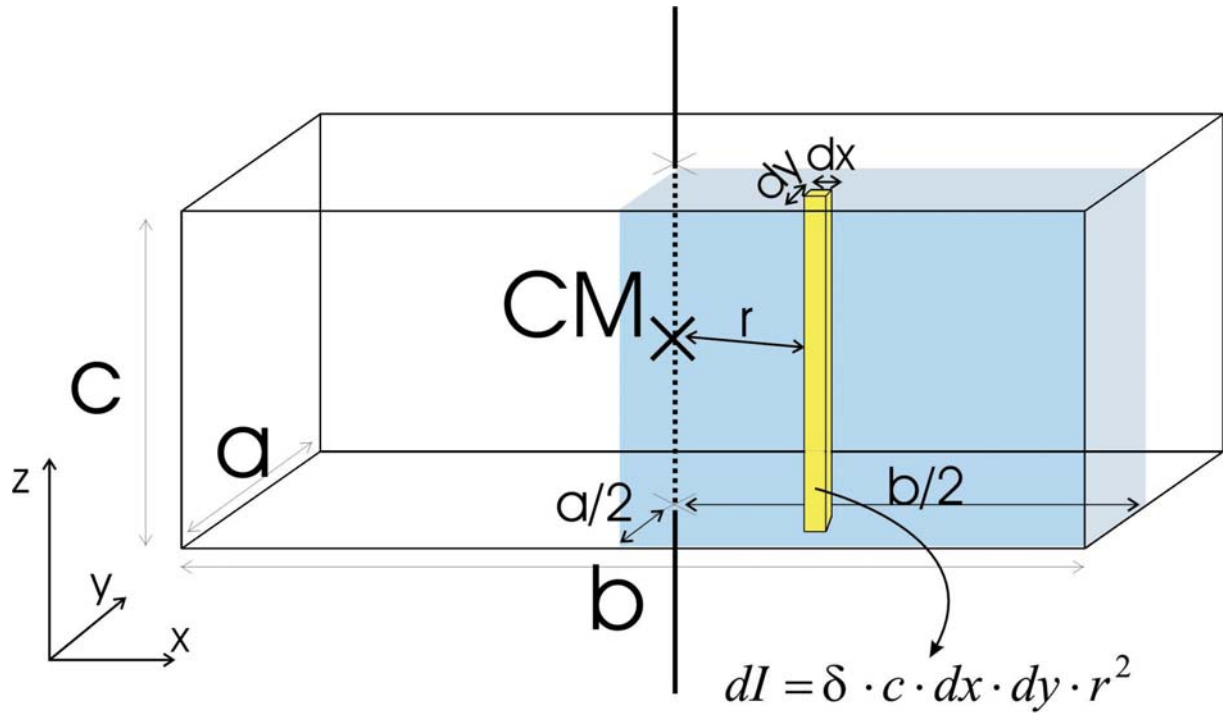
x_i : toutes les valeurs
 σ_i : erreurs respectives des x_i

$$\mu = \frac{\sum_i \left(\frac{x_i}{\sigma_i^2} \right)}{\sum_i \left(\frac{1}{\sigma_i^2} \right)}$$

Et pour l'erreur sur cette moyenne (σ_μ), le calcul est le suivant :

$$\sigma_\mu = \sqrt{\frac{1}{\sum_i \left(\frac{1}{\sigma_i^2} \right)}}$$

11.2. Le moment d'inertie (I_p) d'un parallélépipède rectangle



I_p : moment d'inertie
du parallélépipède
rectangle complet

$$I = \sum m_i r_i^2 = \int r^2 dm$$

I_{\square} : moment d'inertie
du parallélépipède
rectangle coloré en
bleu sur le schéma

$$I_p = 4I_{\square} = 4 \int_0^{\frac{b}{2}} \int_0^{\frac{a}{2}} \delta \cdot c \cdot (x^2 + y^2) dx \cdot dy =$$

δ : masse volumique
du parallélépipède
rectangle

$$= 4\delta c \int_0^{\frac{b}{2}} \int_0^{\frac{a}{2}} (x^2 + y^2) dx \cdot dy =$$

$$= 4\delta c \left[\int_0^{\frac{a}{2}} \left(\frac{x^3}{3} + y^2 x \right) dy \right]_0^{\frac{b}{2}} = 4\delta c \left[\left[\frac{x^3 y}{3} + \frac{y^3 x}{3} \right]_0^{\frac{b}{2}} \right]_0^{\frac{a}{2}} =$$

$$= 4\delta c \left[\frac{b^3}{24} y + \frac{y^3 b}{6} \right]_0^{\frac{a}{2}} = 4\delta c \left(\frac{b^3 a}{48} + \frac{a^3 b}{48} \right)$$

$$\delta = \frac{M}{abc} \rightarrow 4\delta c \left(\frac{b^3 a}{48} + \frac{a^3 b}{48} \right) = 4 \frac{M}{abc} c \left(\frac{b^3 a}{48} + \frac{a^3 b}{48} \right)$$

et après simplification :
$$I_p = M \frac{a^2 + b^2}{12}$$

La méthode de régression linéaire

Pour déterminer la meilleure droite passant par des points mesurés, j'ai utilisé la méthode de régression linéaire qui cherche à minimiser les écarts au carré entre les valeurs expérimentales et la dite droite. Soit N points notés $(x_i; y_i)$ et l'erreur sur y_i notée σ_i . En supposant comme relation entre x et y , une fonction affine de type $y = ax + b$. Soit les coefficients a et b , et leurs imprécisions Δa et Δb , donnés par les expressions suivantes :

$$\Delta = \sum_{i=1}^N \frac{1}{\sigma_i^2} \sum_{i=1}^N \frac{x_i^2}{\sigma_i^2} - \left(\sum_{i=1}^N \frac{x_i}{\sigma_i^2} \right)^2$$

$$a = \frac{1}{\Delta} \left(\sum_{i=1}^N \frac{1}{\sigma_i^2} \sum_{i=1}^N \frac{x_i y_i}{\sigma_i^2} - \sum_{i=1}^N \frac{x_i}{\sigma_i^2} \sum_{i=1}^N \frac{y_i}{\sigma_i^2} \right)$$

$$\Delta a = \sqrt{\frac{1}{\Delta} \sum_{i=1}^N \frac{1}{\sigma_i^2}}$$

$$b = \frac{1}{\Delta} \left(\sum_{i=1}^N \frac{x_i^2}{\sigma_i^2} \sum_{i=1}^N \frac{y_i}{\sigma_i^2} - \sum_{i=1}^N \frac{x_i}{\sigma_i^2} \sum_{i=1}^N \frac{x_i y_i}{\sigma_i^2} \right)$$

$$\Delta b = \sqrt{\frac{1}{\Delta} \sum_{i=1}^N \frac{x_i^2}{\sigma_i^2}}$$

11.3. Le CD-Rom

Mon travail ayant produit une quantité importante de vidéos et de photos, j'ai joint un CD-Rom au rapport sur papier. J'ai gravé sur celui-ci les séquences vidéo qui sont en image dans le dossier et mon travail sur support informatique. Son contenu s'articule comme décrit ci-dessous :

1. Quelques ollies (film)
2. Le ollie en avançant (documents)
3. Le ollie à l'arrêt (documents)
4. La tape, ou une bûche tombant sur le tail de mon skate (documents)
5. Rétablir, ou une barre sur la trajectoire du skate (documents)
6. Le rapport (documents Word)
7. Les schémas (image « .jpg »)
8. Variations sur le ollie (film)