

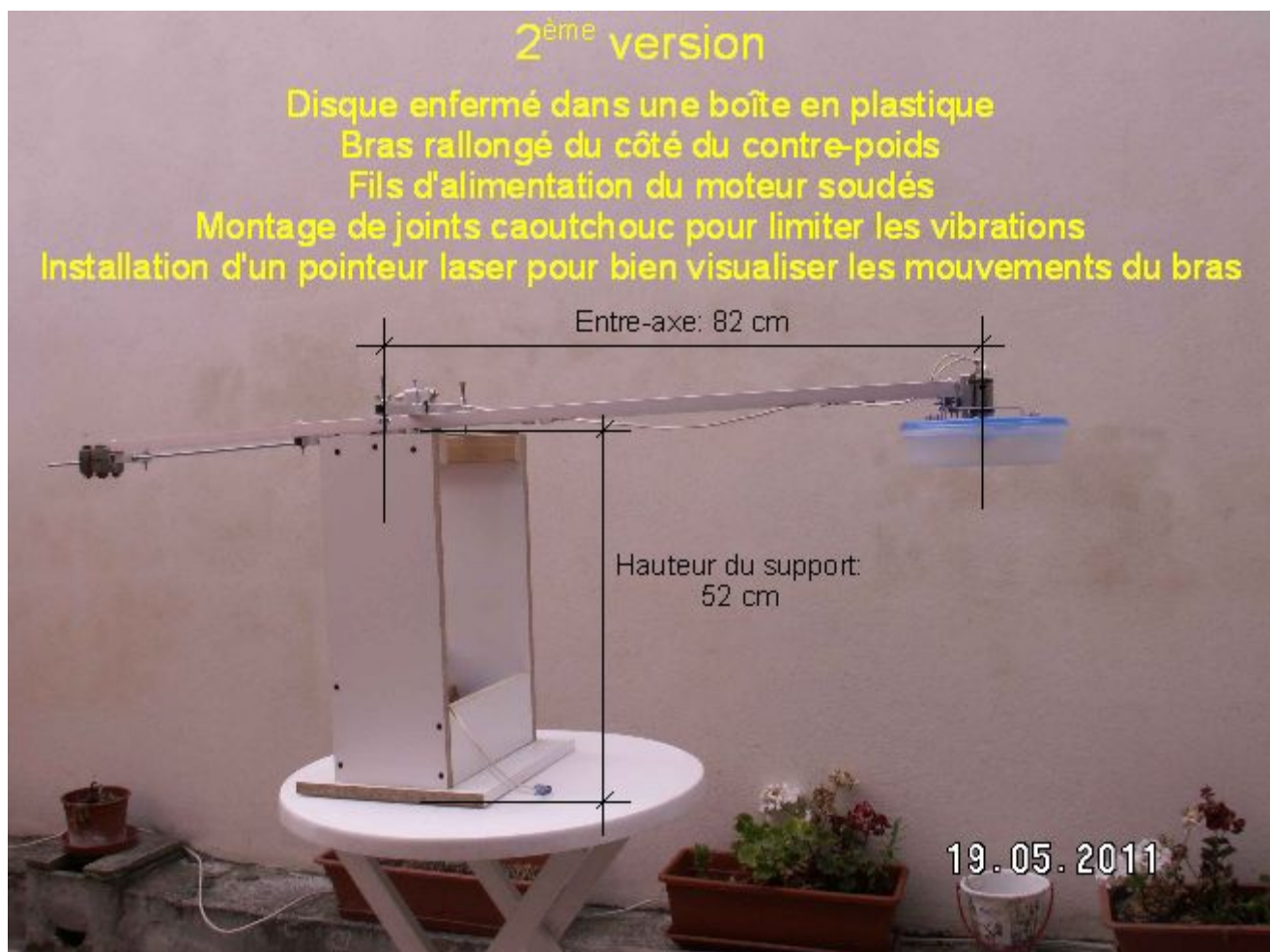
Réplique de la balance de Richard Vialle

Depuis que j'ai entrepris de construire une réplique de cette balance, je vais de surprise en surprise, aussi je vais seulement présenter le matériel abouti. Matériel qu'il a fallu modifier légèrement sur les conseils de Richard car lors des premiers essais le résultat n'était pas probant. Mais après quelques adaptations, non seulement le résultat est positif, mais il le devient de plus en plus, comme si la balance avait besoin d'une période de rodage.

Le principal défaut de la première version était l'important effet aérodynamique généré par le disque en rotation. Dans une turbine de Tesla c'est un fluide en mouvement qui entraîne les disque, là c'est l'inverse. Le disque en rotation génère un flux d'air en périphérie, et ce flux est prépondérant sur l'effet de soulèvement. Il est maintenant clair pour moi qu'il est impératif d'enfermer le disque dans une boîte. De même je n'avais pas pensé à installer des protections anti-vibratoires, or à certains seuils de vitesse des vibrations parasites de l'ensemble moteur/disque sont transmises au bras. La liaison du moteur au bras est maintenant un peu mieux protégée des vibrations, bien qu'elles ne soient pas totalement neutralisées. La tige filetée servant à régler le contre-poids était trop en porte à faux pour son diamètre (6 mm). Conséquence elle jouait un peu le rôle d'un ressort oscillant, et ces micro-mouvements concouraient également à entretenir les vibrations du bras.

J'ai également ajouté un petit pointeur laser sur le bras, de manière à pouvoir détecter des mouvements de faible amplitude et prendre des mesures précises.

Vue d'ensemble





La balance en vue axiale
avec la cible en position

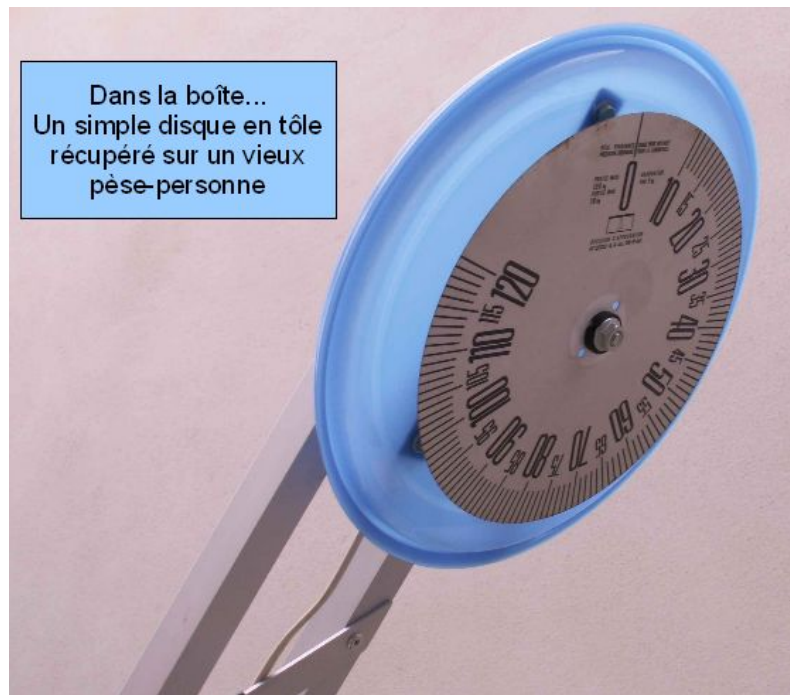
Fixation du moteur (12V pour environ 10000rpm) et de la boîte contenant le disque à entraîner



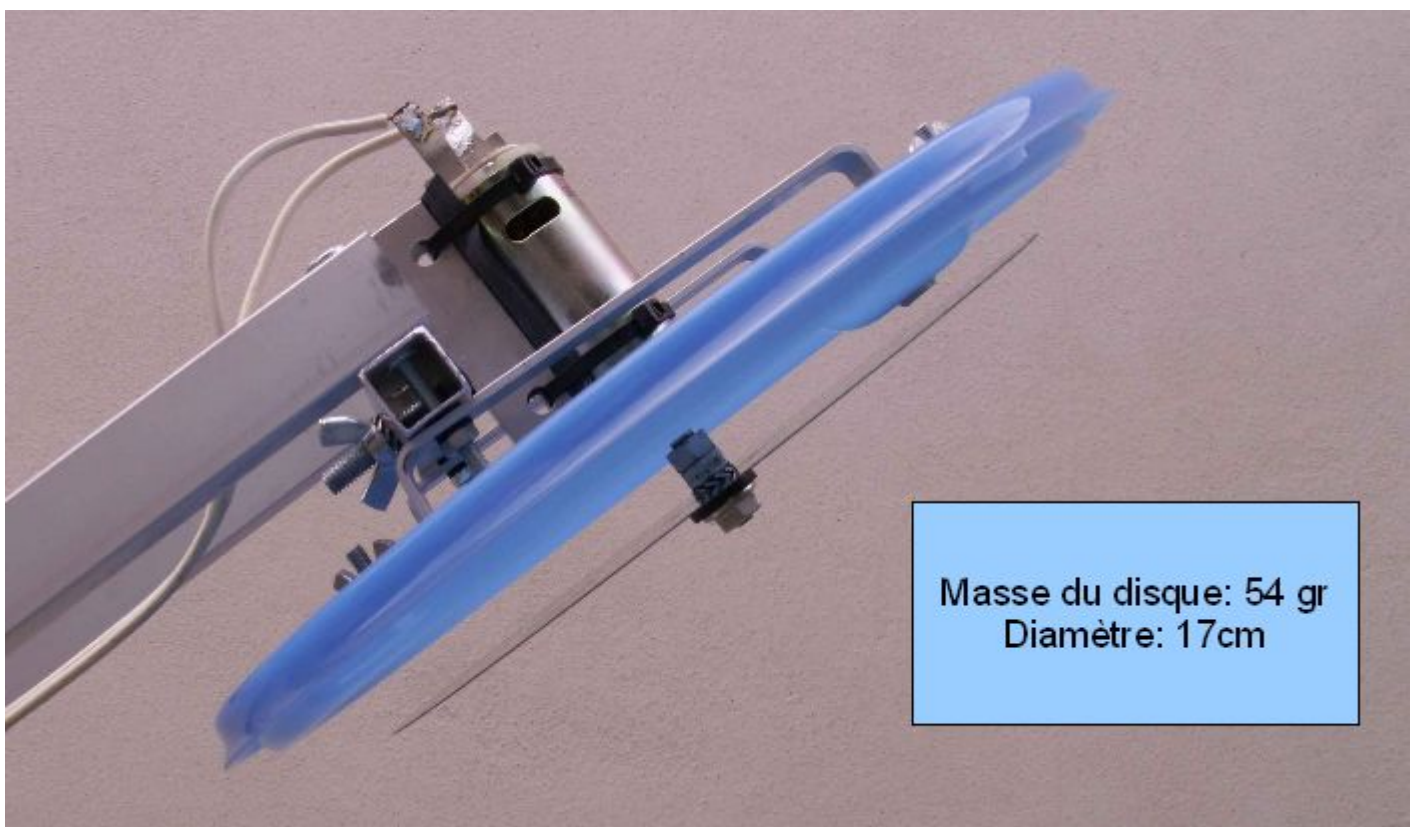
Fixation du moteur
et de la boîte

19.05.2011

Le disque utilisé



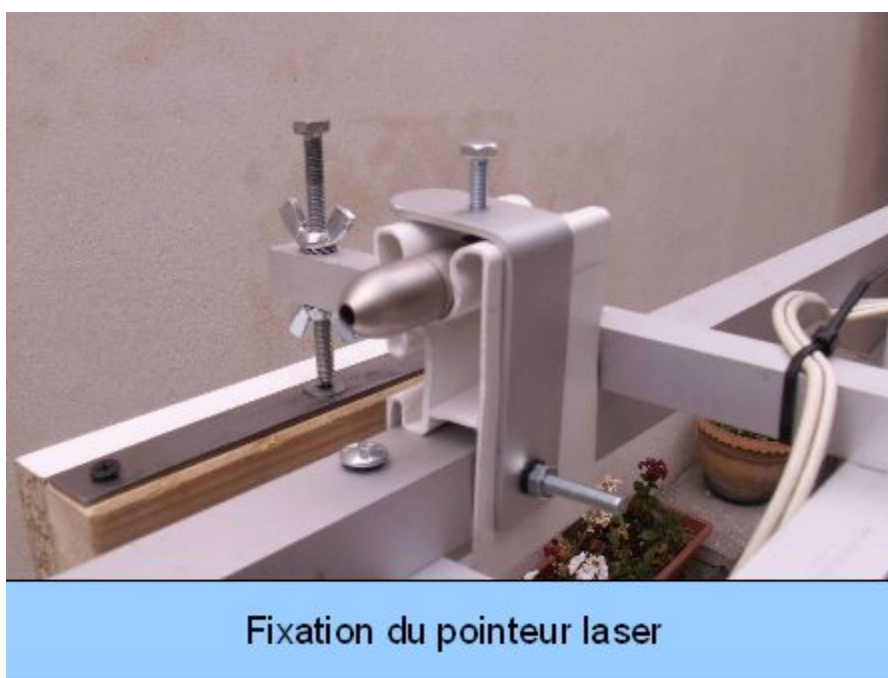
**Une rondelle de caoutchouc permet de conserver le disque
perpendiculaire à l'axe du moteur**



De l'autre côté un contre-poids réglable pour équilibrer la balance à l'arrêt



Le pointeur laser permet de suivre les mouvements de la balance, amplifiés selon la distance avec la cible



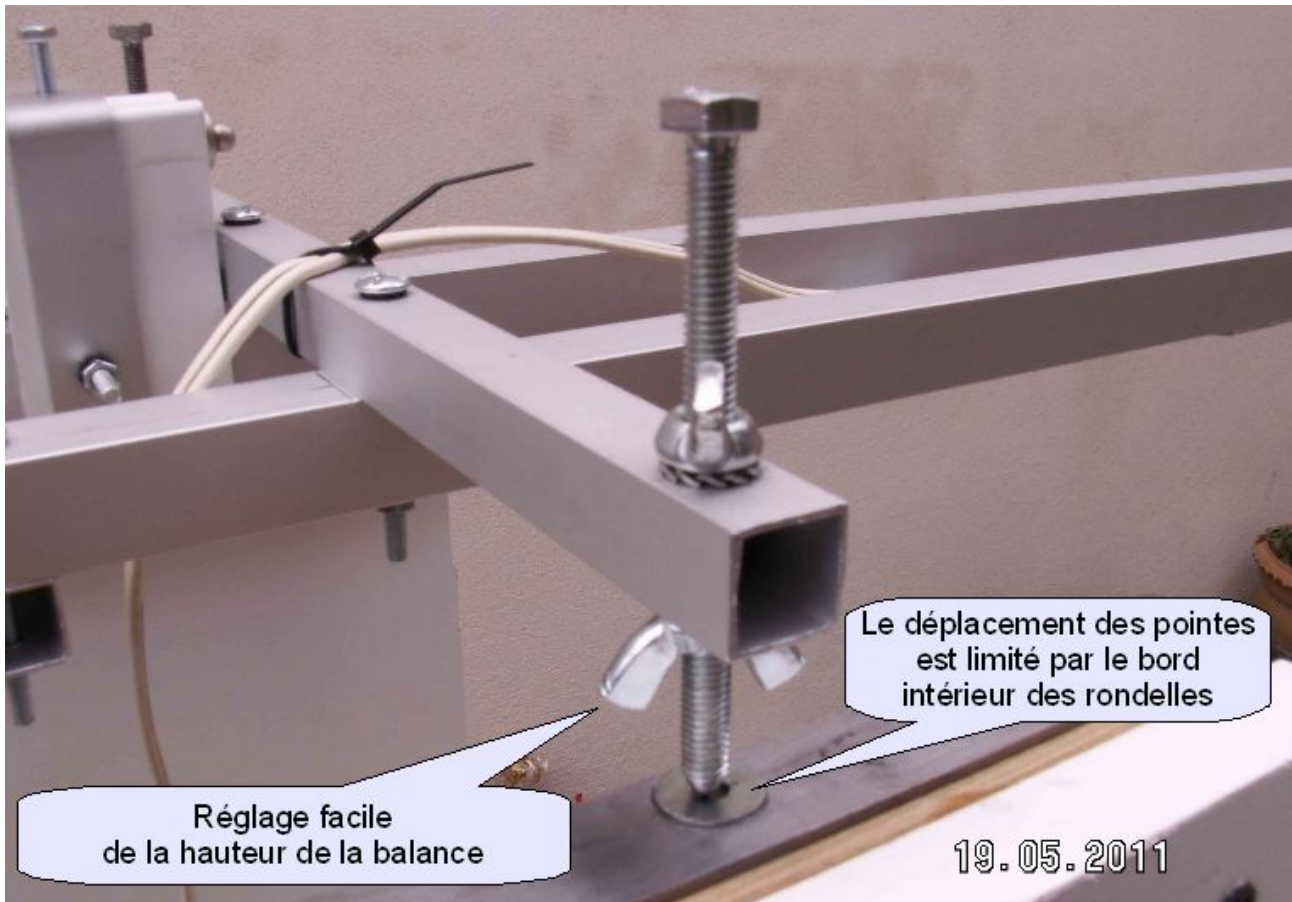
Pas mal de matériel de récupération



Articulation de la balance



En position de travail



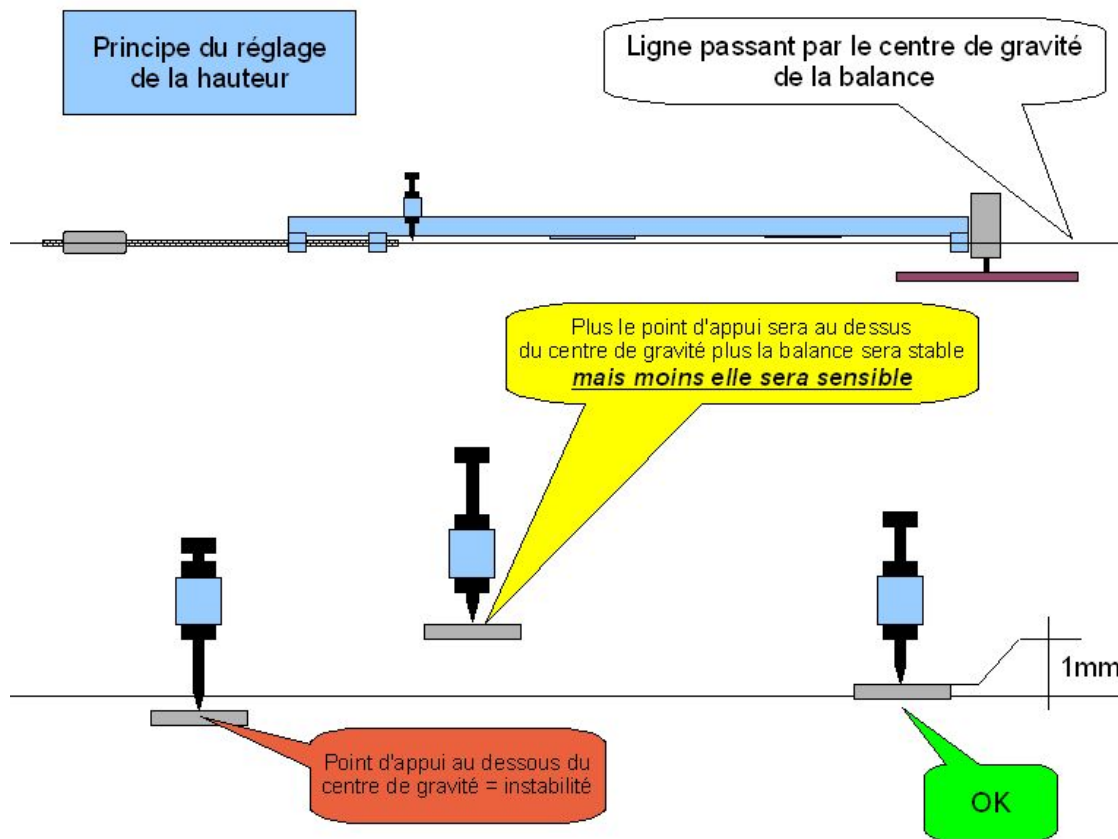
Pour obtenir une bonne sensibilité, il faut un bras de levier assez grand. Plus le bras de levier sera grand et plus la balance sera sensible... mais plus elle mettra de temps à se stabiliser et ses oscillations seront lentes.

Autre point fondamental : le réglage de la position des appuis de la balance par rapport au centre de gravité. Il est impératif que la balance ne soit pas en situation d'instabilité. Pour cela, il faut que le point d'appui des pointes (vis appointées au touret à meuler) se trouve au dessus du centre de gravité de la balance. Si l'appui se fait en dessous la balance sera en instabilité.

Il faut donc régler la hauteur du point d'appui de manière à être certain qu'il est au dessus du centre de gravité... mais pas trop sinon la balance sera trop stable donc peu sensible. Ça se joue à pas grand chose (de l'ordre de 1 mm) pour obtenir un compromis stabilité/sensibilité satisfaisant. Pour effectuer ce réglage il suffit d'un peu de patience.

On place volontairement la balance en instabilité, ce qui est facile à voir. Si après équilibrage par le contre-poids on incline légèrement la balance dans un sens, elle continue de s'incliner jusqu'à aller en butée de ce côté au lieu de chercher à revenir à l'équilibre.

Quand on est dans cette situation il suffit de remonter les pointes par palier jusqu'à ce qu'on soit revenu dans une situation stable. Là on fait l'opération inverse, on fait redescendre les pointes par des paliers plus petits (mm par mm) jusqu'à ce que l'instabilité soit trouvée. Dernier réglage, on remonte les pointes d'environ 1mm. Si ça paraît encore limite instable on remonte d'un dernier ½ mm et normalement c'est bon. Pour donner un ordre de grandeur de la sensibilité, la balance détecte sans problème un trombone posé sur le bras vers le moteur.



Réactions générales constatées lors des essais de cette réplique

Il y a une vitesse critique en dessous de laquelle il ne se passe rien de visible. Mais sans régulateur ni appareil de mesure, impossible à définir. Au delà de cette vitesse, la balance se soulève effectivement et sans ambiguïté.

Le sens de rotation du disque n'est pas très important. Toutefois, le sens anti-horaire (vu de dessus) est préférable. Dans le sens horaire la balance commence par s'abaisser un peu avant de monter.

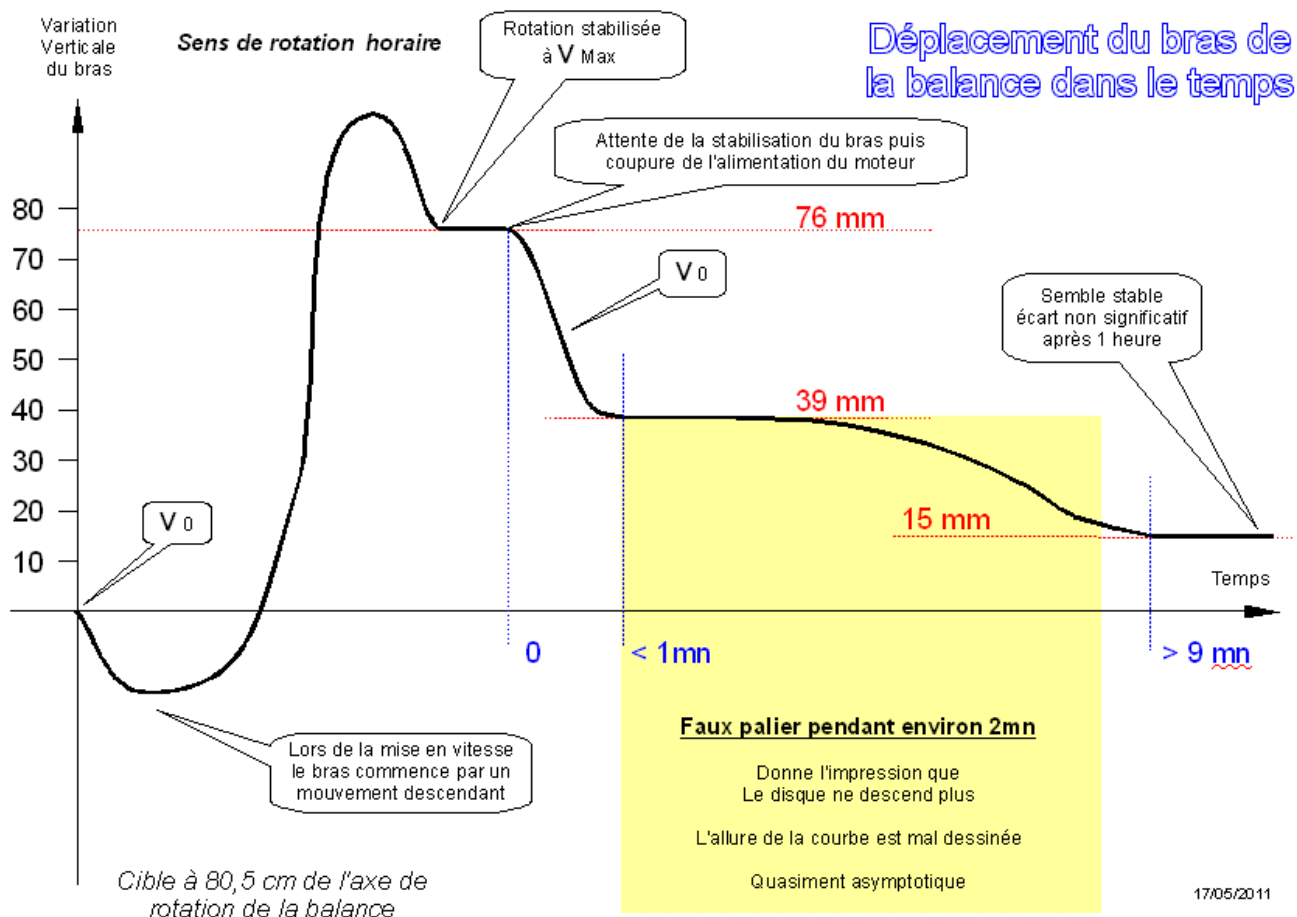
Il est également préférable d'aligner la balance dans le sens Est/Ouest pour s'affranchir de la force de Coriolis. Dans le sens Nord/Sud les mouvements sont simplement d'une amplitude légèrement moindre.

Lorsque le disque tourne à une vitesse stabilisée il ne redescend plus tant que le moteur est alimenté.

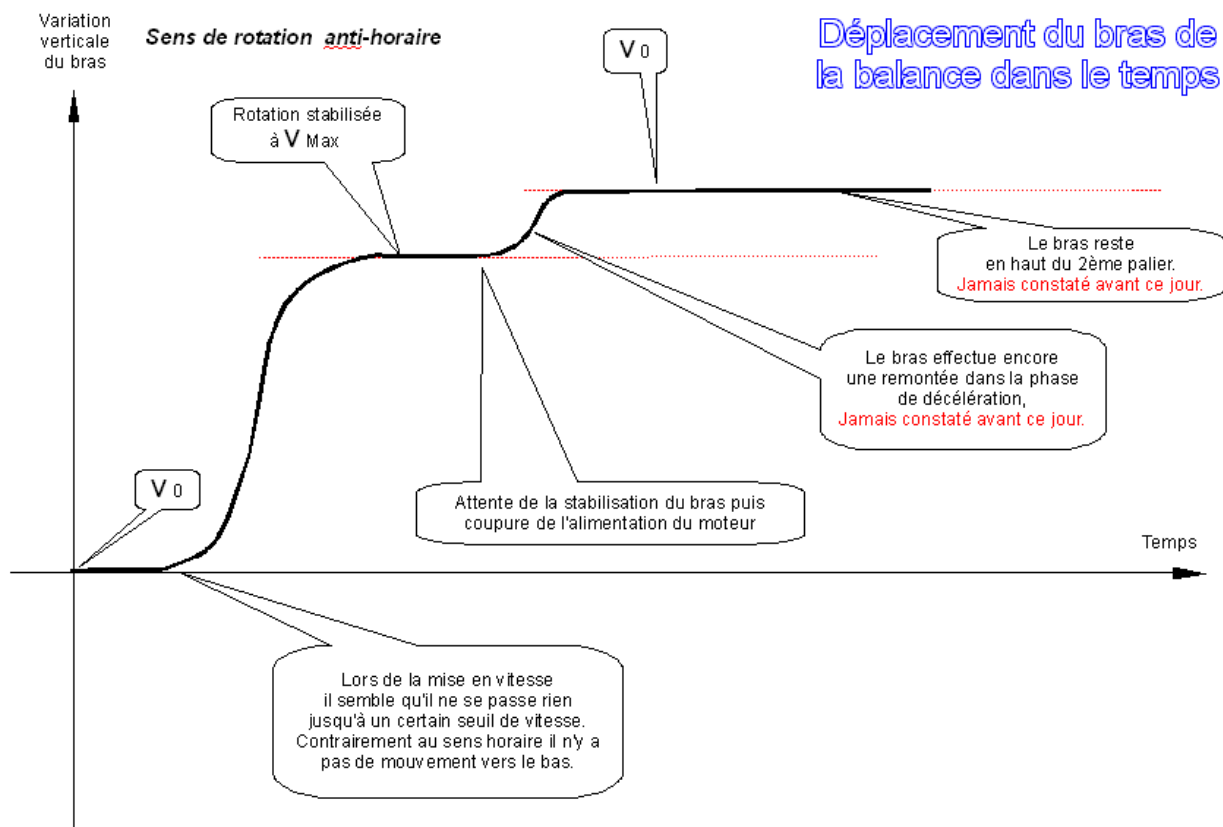
Après coupure de l'alimentation du moteur, le disque redescend mais pas jusqu'au point d'équilibre original. Il y a un nouveau point d'équilibre au dessus de l'ancien. Il semble que cet effet est cumulatif, plus on fait de test et plus le nouveau point d'équilibre est haut. Aussi après chaque séries de manipulations, il devenait nécessaire de régler à nouveau le contre-poids de manière à replacer la balance en équilibre à l'horizontale. Toutefois, après pesée, le poids du disque reste inchangé.

Pour d'autres répliques il serait important de conserver un historique des manips et mesures effectuées dès le début, ce que je n'ai pas fait puisque ce phénomène m'était alors inconnu.

Exemple de relevé du 17 mai 2011



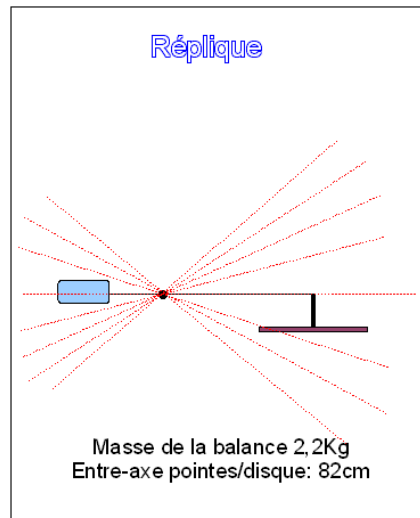
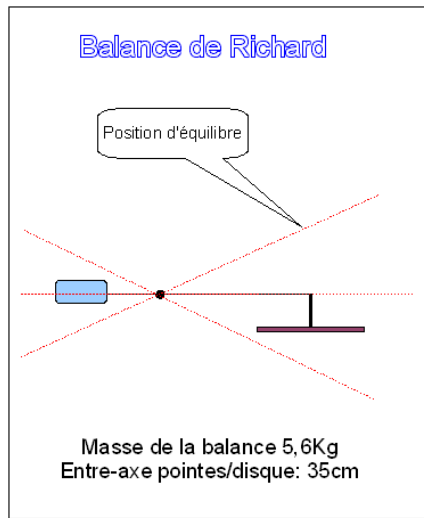
Le 19 mai j'ai procédé à d'autres essais et là 2 nouveautés : moteur coupé le bras restait en position haute, mais complication supplémentaire, lors de la phase de décélération le bras marquait encore un mouvement vers le haut.



Vu ce comportement de la balance qui me semblait anormal, je suis donc retourné le 20 mai chez Richard avec la réplique pour essayer de comprendre ce qui n'allait pas. Or contrairement à ce que j'avais saisi jusque-ici, ce mouvement vers le haut lors de la phase de décélération est normal dans ce sens de rotation et se retrouve dans ses équations. Là je préfère le croire sur parole plutôt que de vérifier les équations...

Il se trouve que plusieurs détails qui n'étaient pas mentionnés dans la présentation initiale de la balance à disque tournant de Richard m'ont surpris au vu du comportement de la réplique. Comme j'ignorais ces détails et que ça colle avec ses équations, on peut donc dire que l'effet mis à jour par Richard est bien reproductible.

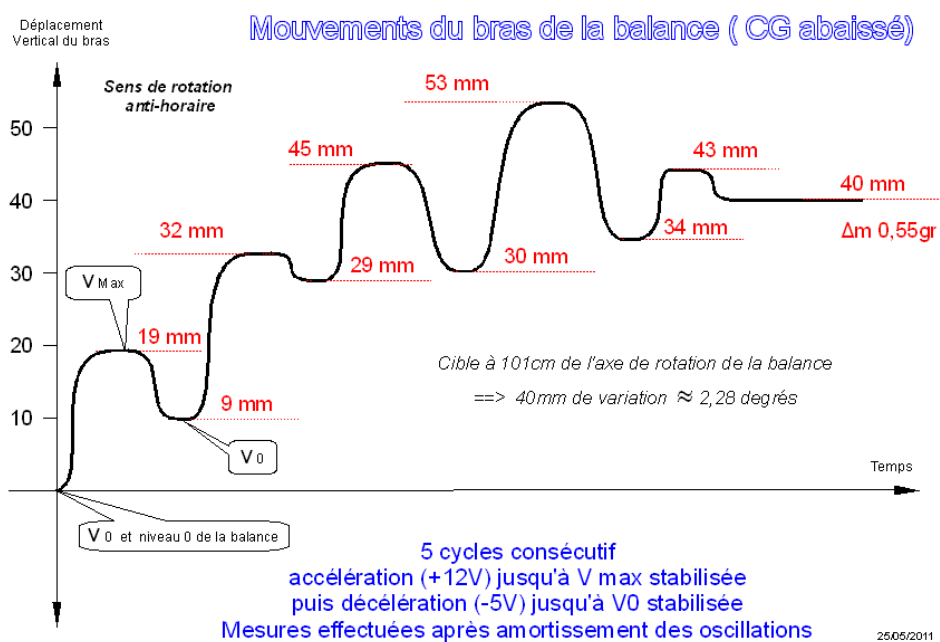
Concernant les 3 points d'équilibre que j'avais constaté de visu chez Richard, j'étais là aussi persuadé qu'il fallait les retrouver pour que l'expérience soit pleinement concluante or je ne les retrouvais pas sur ma réplique lors des premiers essais. Mais après quelques dizaines d'utilisation, non seulement ces 3 positions d'équilibre existent sur la réplique (qui a pourtant fonctionné beaucoup moins longtemps que la balance originale), mais on peut comprendre qu'en fait il en existe une infinité que sa balance ne montre pas bien car elle est trop lourde.



La balance une fois "rodée" n'a plus un **point** d'équilibre mais une **plage** d'équilibre à l'intérieur de laquelle le bras peut théoriquement rester en équilibre dans n'importe quelle position. Pratiquement on constate que certaines positions sont tout de même plus faciles à "attraper" que d'autres, mais en quelques minutes j'ai pu trouver une bonne douzaine de positions d'équilibre, certaines vers le haut d'autres vers le bas.

Avant que ces positions ne se "révèlent", la balance n'en acceptait toujours qu'une seule, ce qui exclu à priori un défaut de géométrie des pointes.

Quelques jours plus tard (le 25 mai) J'ai entrepris de faire des tests à différentes hauteur des pointes pour voir si une position particulière permettrait d'obtenir un effet plus visuel. J'étais déjà tombé par hasard sur un cas où l'angle était nettement plus important. Je n'ai pas réussi à retrouver cette configuration. Toutefois, après avoir légèrement abaissé le centre de gravité de la balance, ce qui renforce sa stabilité mais nuit à sa sensibilité, j'ai effectué le relevé ci-dessous. De plus, ayant alors reçu la balance de précision que j'avais commandée, j'ai pu établir un référentiel de masse.



La valeur de l'écart de masse restant à la fin d'une série de 5 cycles consécutifs est de 0,55gr. Au delà rien de significatif, les mesures oscillent autour de cette valeur.

Évaluation de l'écart de masse

Mon étalon de test pour la sensibilité a toujours été un trombone que je pose entre les connexions du moteur, donc dans l'axe du disque. Pour ce test de la réplique avec le nouveau réglage de la hauteur, le placement du trombone me donnait une déviation de 32mm.

La balance achetée a une précision de 0,1gr. J'ai pesé un lot de 10 trombones --> 4,4gr donc 1 trombone fait 0,44gr. Puisque 1 trombone de 0,44gr fait incliner le bras de la balance (réplique) de +32mm pour cette distance pointes/cible, alors la variation de -40mm obtenue correspond à un allègement calculé de 0,55gr.

Pour déterminer l'angle d'inclinaison du bras ($2,28^\circ$) c'est simplement de la trigonométrie. On a un triangle rectangle dont le côté adjacent (distance des pointes à la cible) fait 1010mm et le côté opposé (variation verticale sur la cible) 40mm [et un peu plus mais pas facile à estimer]. Donc $40/1010=0,0396$ qui correspond à un poil près à la tangente d'un angle de $2,27^\circ$, que j'ai arrondi à $2,28$.

Pourquoi 1010mm, tout bêtement parce que j'utilise un niveau de bonne qualité pour égaliser la hauteur des pointes et que j'utilise désormais ce même niveau comme pige pour caler la distance des pointes à la cible. Le niveau fait exactement 1m de long auquel il faut ajouter des extrémités en caoutchouc de 5mm chacune.

Cette réplique de la balance est actuellement au point mort

L'effet s'atténue de plus en plus au fil des utilisations, le moteur semble tourner moins vite, et actuellement plus aucun effet n'est perceptible alors que celle de Richard fonctionne toujours de la même manière. Mais la sienne permet une décélération contrôlée égale à l'accélération et il n'y a pas ce phénomène d'accumulation que j'avais dû combattre en déplaçant fréquemment le contre-poids.