Dossier : Balance à disque tournant de Richard VIALLE – effet à masse négative

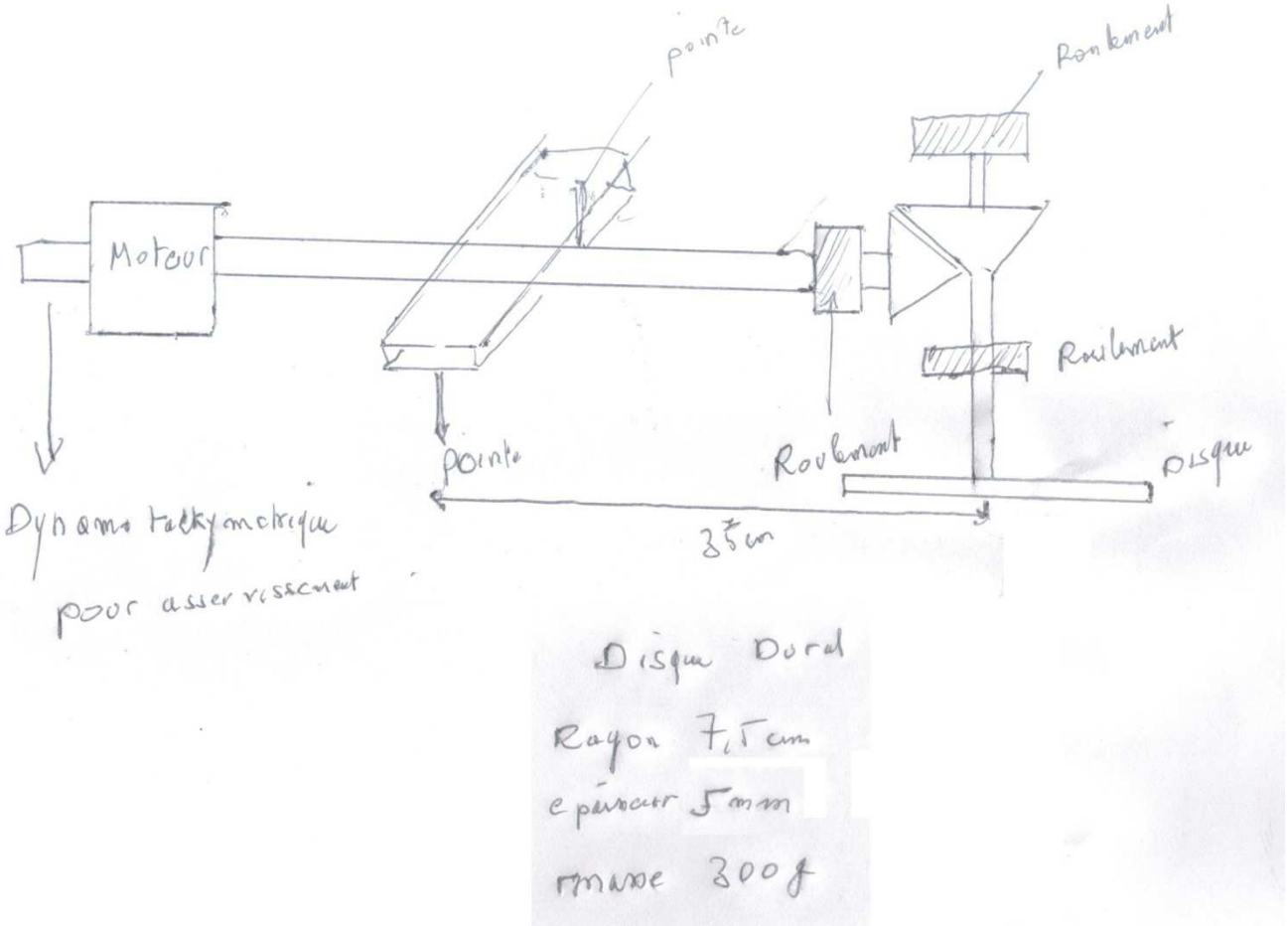
*Par : **Pascuser** – **version du 11/09/2012 à 22h15***

Voir la série de 7 vidéos commençant ici: http://www.youtube.com/watch?v=Fqt3gC0qvRM

La balance est constituée d'un bras métallique posé en équilibre sur une surface plane par deux pointes disposées au centre du bras. D'un côté du bras on trouve le moteur électrique et de l'autre côté on trouve le disque tournant, encapsulé dans un boitier en plastique pour éviter tout entraînement de l'air qui puisse produire une poussée sur le disque. Le moteur est relié au disque par un système d'engrenages.

Le moteur a été monté d'un côté et le disque de l'autre de façon que le couple de rotation ne soit pas trop important d'un même côté, ce qui entraînerait un pivotement de la balance sur elle-même autour de l'axe des pointes. Le rotor du moteur est en effet assez lourd et sa masse importante produit un moment d'inertie de rotation non négligeable.

Schéma réalisé à la main par Richard VIALLE du principe de sa balance :



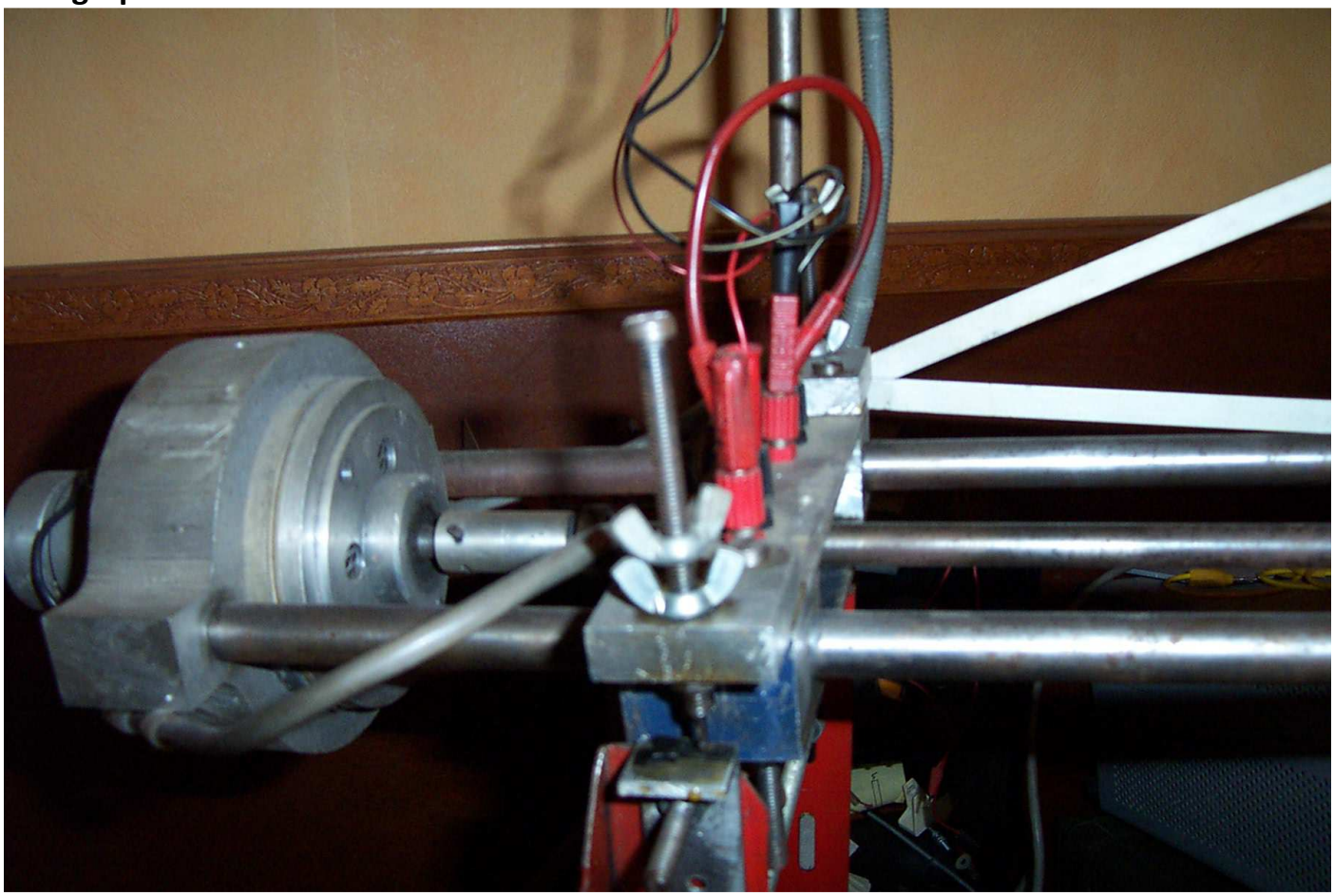
La zone d'appui en pointe aurait pu être constituée d'une seule pointe, mais Richard VIALLE a volontairement conçu la zone d'appui avec deux pointes afin d'avoir un bon équilibre de la balance. En effet, toute force qui aurait tendance à faire basculer le bras dans des directions autres que le basculement recherché ferait tomber le bras du sol sur lequel il repose.

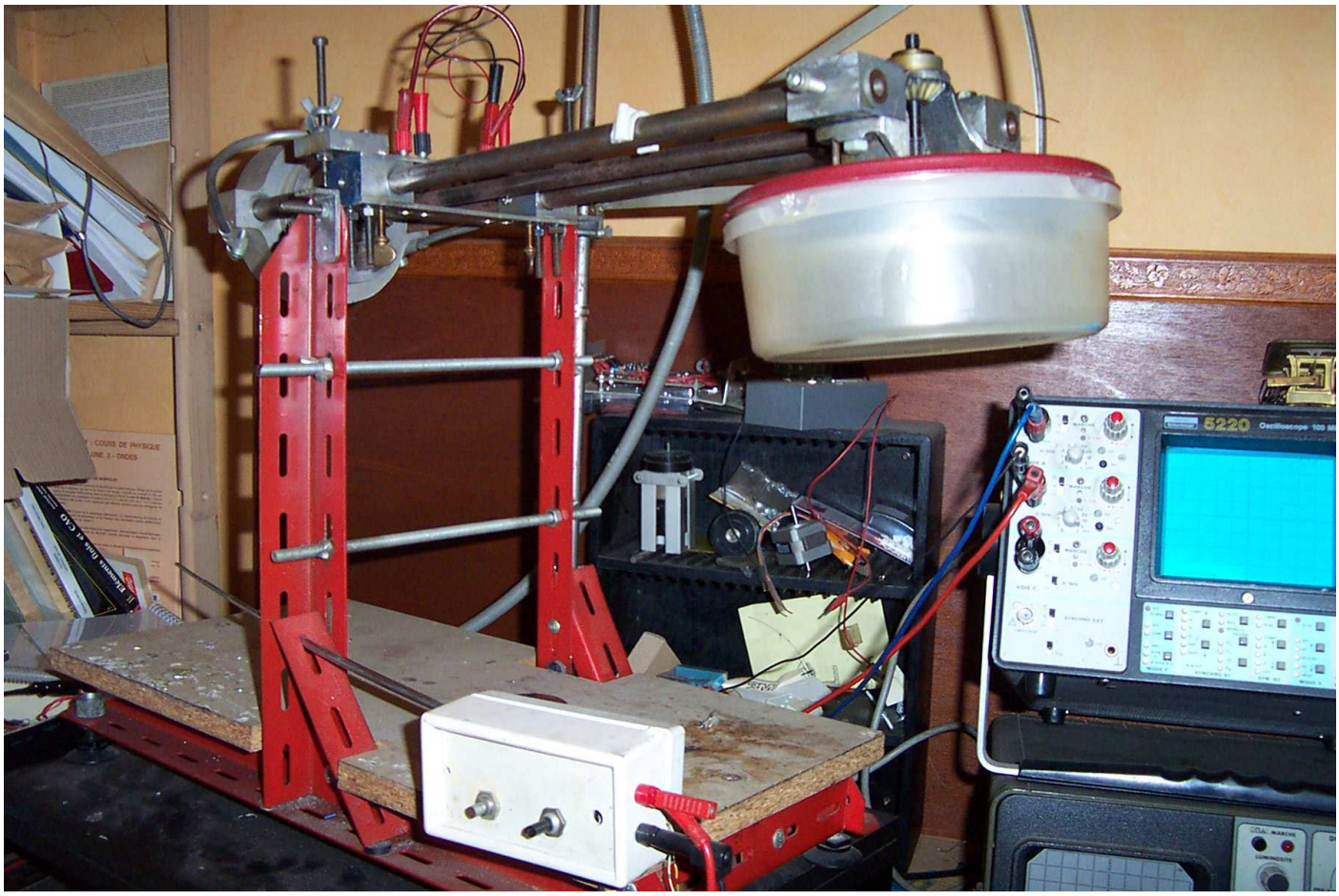
Le moteur a un couple de rotation qui va avoir tendance à faire basculer la balance depuis la pointe située à l'avant vers celle située à arrière sur le schéma précédent (ou inversement selon le sens), en pivotant autour de l'axe du bras central. Le fait d'avoir deux pointes empêche l'accentuation de ce mouvement qui ferait tomber le bras.

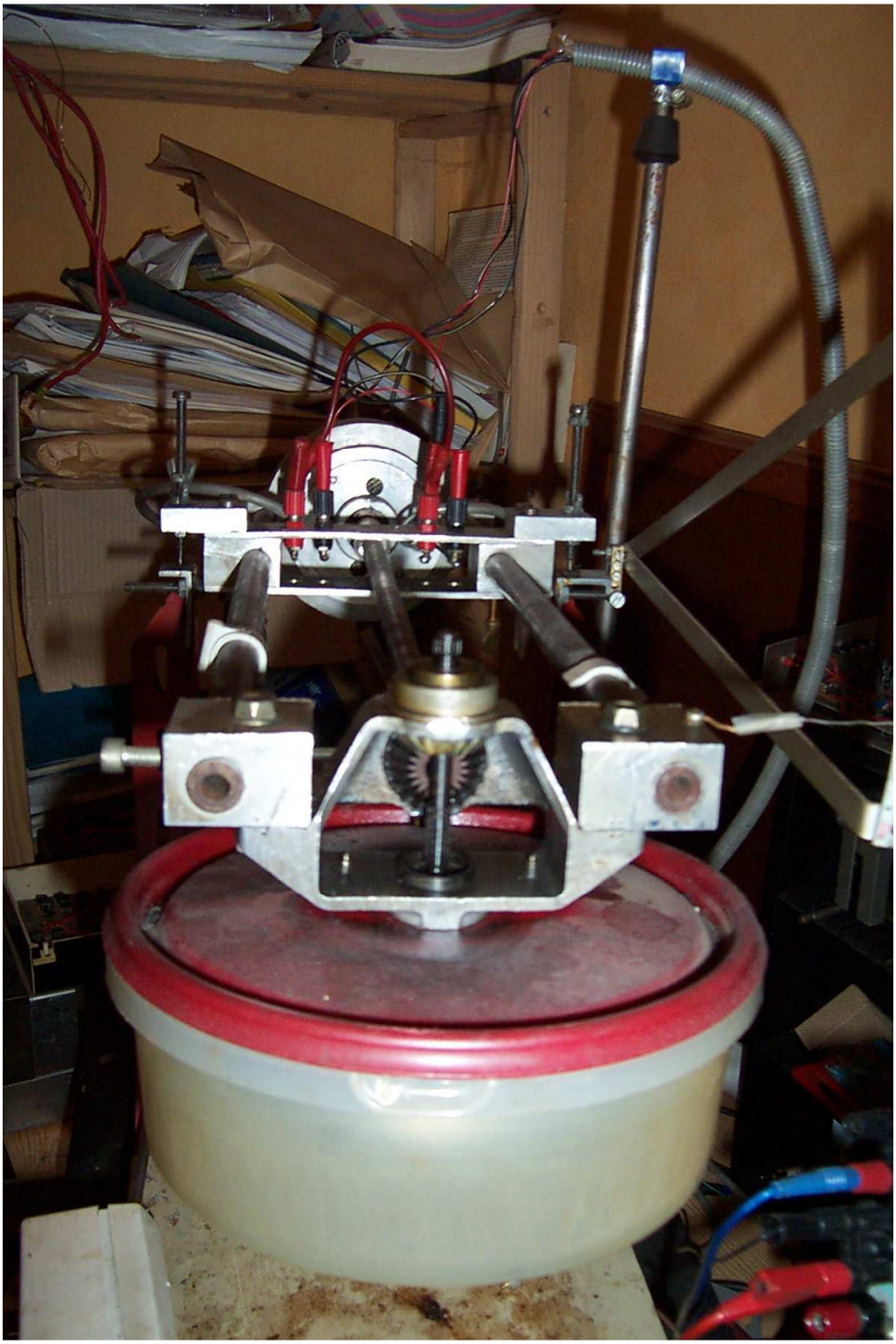
De même le couple de rotation du disque va avoir tendance à faire pivoter le bras autour d'un axe parallèle à chacun des pointes, provoquant un pivotement de la droite vers la gauche (ou inversement selon sens). Là aussi, pour prévenir ceci on a les deux pointes. En effet le frottement des pointes est suffisant sur la zone d'appui pour empêcher ces mouvements de rotation du bras autour des deux axes précédemment cités.

Remarque : la première version de la balance de Richard VIALLE était constituée de deux disques tournant dans des sens inversés, situés l'un au-dessus de l'autre, afin de compenser totalement l'effet de couple de rotation des disques. Ici on n'a pas cette compensation mais les frottements à 2 pointes empêchent les problèmes.

Photographies de la balance :







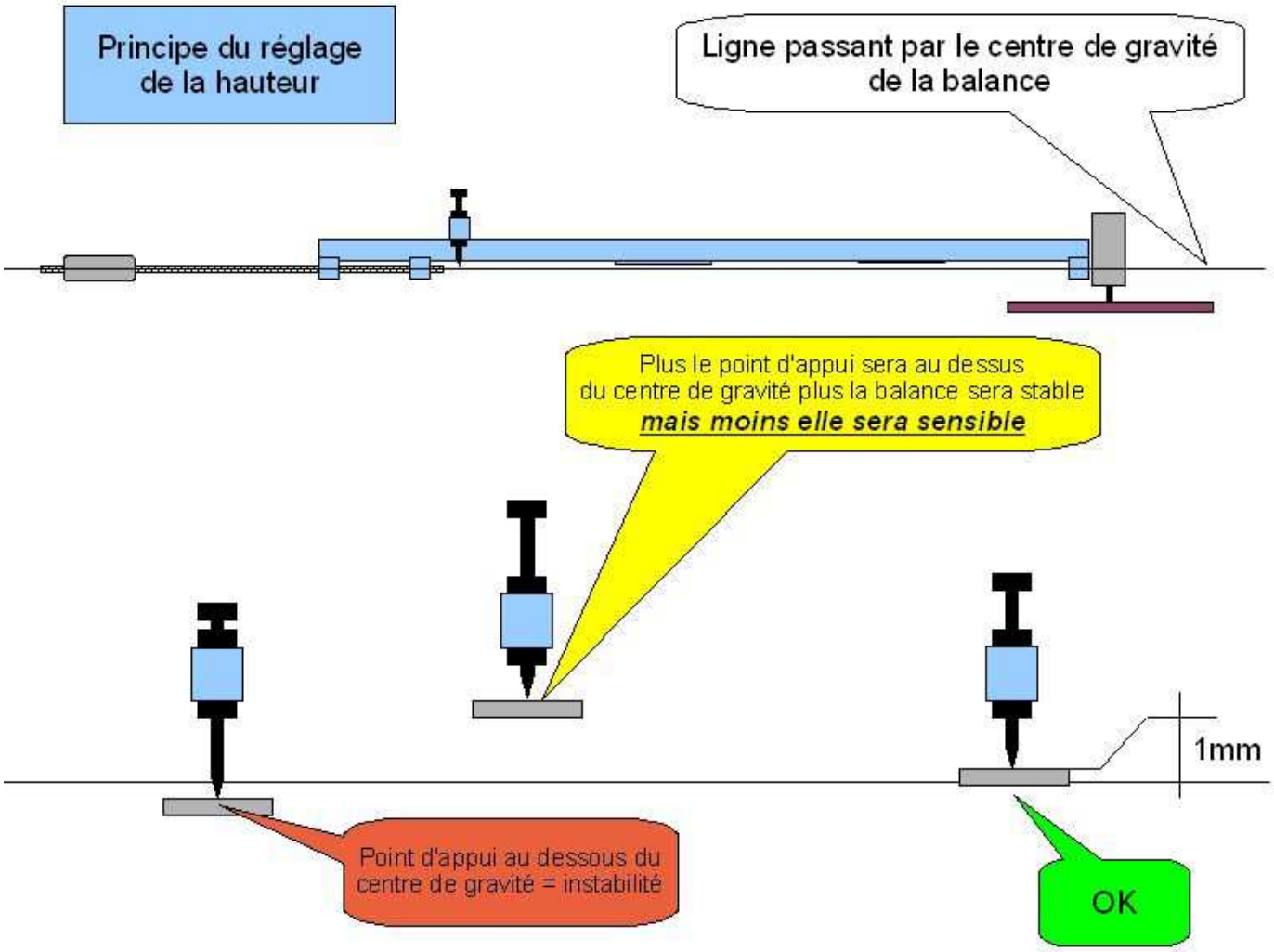
Réglage de la balance

L a balance a un centre de gravité plus bas que le centre du bras, à cause des masses situées majoritairement sous le bras plutôt qu'au-dessus (le disque !).

Pour que la balance fonctionne de manière stable, et non pas instable (équilibre impossible) ou surstable (force de rappel à l'équilibre trop grande, la balance ramène très fortement tout déséquilibre : elle est très peu sensible), un réglage doit être effectué.

Ce réglage se fait en changeant la longueur des pointes d'appui. C'est pour cette raison que ces pointes sont réglables en hauteur : ce sont de simples vis serrées par des boulons papillons, comme on peut le voir sur les photographies.

Jean-Paul C .a réalisé un schéma expliquant le réglage de stabilité indiqué par Richard VIALLE, que voici :



A gauche, instabilité, au centre surstabilité et à droite stabilité : voilà comment se règlent les pointes.

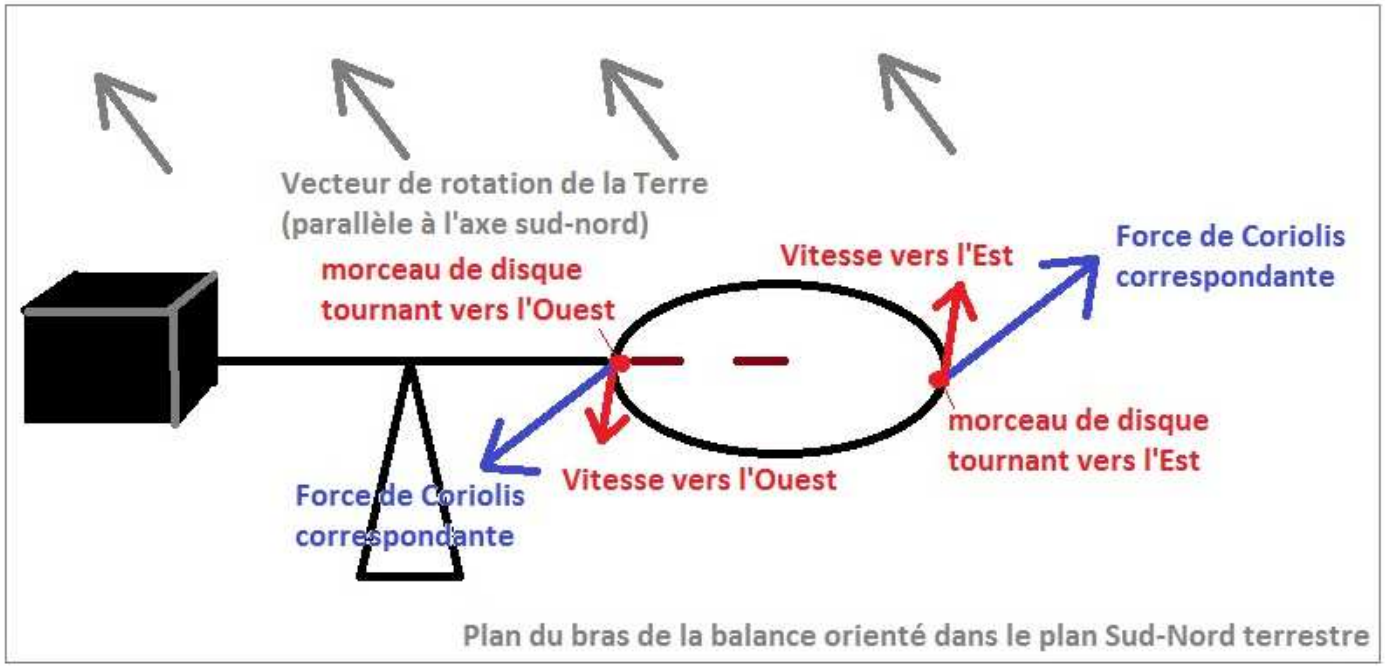
En effet tout corps va pivoter de manière à amener son centre de gravité au plus bas. Si le centre de gravité est situé plus haut que la zone d'appui, la balance va donc pivoter jusqu'à se renverser, car c'est à l'envers que le centre de gravité serait plus bas que la zone d'appui : c'est l'instabilité.

Prise en compte de la force de Coriolis :

La force de Coriolis est une force qui s'exerce sur un corps ayant une vitesse dans un système en mouvement de rotation. La force s'exerce perpendiculairement à la vitesse de l'objet et à l'axe de rotation. Or la balance est attachée au référentiel terrestre qui est en rotation (rotation de la Terre sur elle-même). Donc tout objet ayant une vitesse sur Terre subit une force perpendiculaire à son vecteur vitesse. Un objet en chute libre par exemple subit une force dirigée vers l'Est, un objet en ascension subit une force dirigée vers l'Ouest, un objet qui va vers l'est subit une force dirigée vers le haut et un objet qui va vers l'ouest subit une force dirigée vers le bas.

Richard VIALLE voulait pouvoir orienter le plan de bascule de sa balance afin de la disposer perpendiculairement à l'axe est-ouest, c'est-à-dire dans le plan nord-sud. Ainsi tout mouvement de rotation du disque ou du rotor moteur ne produira aucune force nette totale. En effet, en disposant la balance symétriquement dans le plan nord-sud, toute partie du disque qui tourne et a une vitesse instantanée dirigée dans une direction donnée subit une force de Coriolis opposée à la force de Coriolis que subit le morceau symétrique du disque.

Un exemple : si on prend un morceau du disque qui tourne vers l'est, il subit une force de Coriolis vers le haut, mais le morceau symétrique de disque tourne vers l'ouest et subit une force de Coriolis exactement opposée. Ainsi les forces de Coriolis ne produisent pas de force totale nette. Toutefois ceci est insuffisant à supprimer tout effet de Coriolis, il reste une résultante car si la force totale nette est nulle, les moments de ces forces ne sont pas les mêmes. C'est pourquoi Richard parle bien de diminution de l'effet de la force de Coriolis (pas de suppression).



Les forces de Coriolis en bleu sont ici dans le plan de la page, comme le vecteur de rotation de la Terre, les vecteurs vitesses rouges sont perpendiculaires au plan de la page.

La balance est donc montée sur un plan pivotant permettant de la placer dans le plan sud-nord.

Puisqu'il reste une composante du moment net, on pourrait se dire qu'on tient là la faille, que tout est expliqué et qu'il n'y a rien à voir. Eh bien non car en faisant tourner le disque dans l'autre sens on a une composante du moment opposée des forces de Coriolis et donc la balance devrait pencher du côté du disque au lieu de s'élever du côté du disque. Or elle s'élève toujours, preuve que le moment des forces de Coriolis n'est pas l'explication ; il est très faible numériquement face à la force qui produit le basculement de la balance disque vers le haut.

Fonctionnement de la balance :

1) Pivotement de la balance disque vers le haut

Le moteur est accéléré, entraînant le disque dans son mouvement. Durant la phase d'accélération, la balance initialement à l'équilibre horizontal se met à modifier son état d'équilibre : le côté avec le disque s'élève tandis que le côté avec le moteur s'abaisse.

Il n'existe aucune explication purement mécanique à cette observation, ne faisant pas intervenir autre chose de nouveau. C'est pour prouver l'effet à masse négative de la théorie proposée par Richard VIALLE que ce dernier a construit cette balance. Et effectivement elle montre un effet anormal conforme à sa théorie. L'analyse physique par les lois de la mécanique classique effectuée plus loin dans ce document le prouvera.

La théorie prévoit que la masse du disque va se voir greffée d'une masse gravitationnelle additionnelle négative si le disque est en accélération ou d'une masse gravitationnelle additionnelle positive si le disque est en décélération.

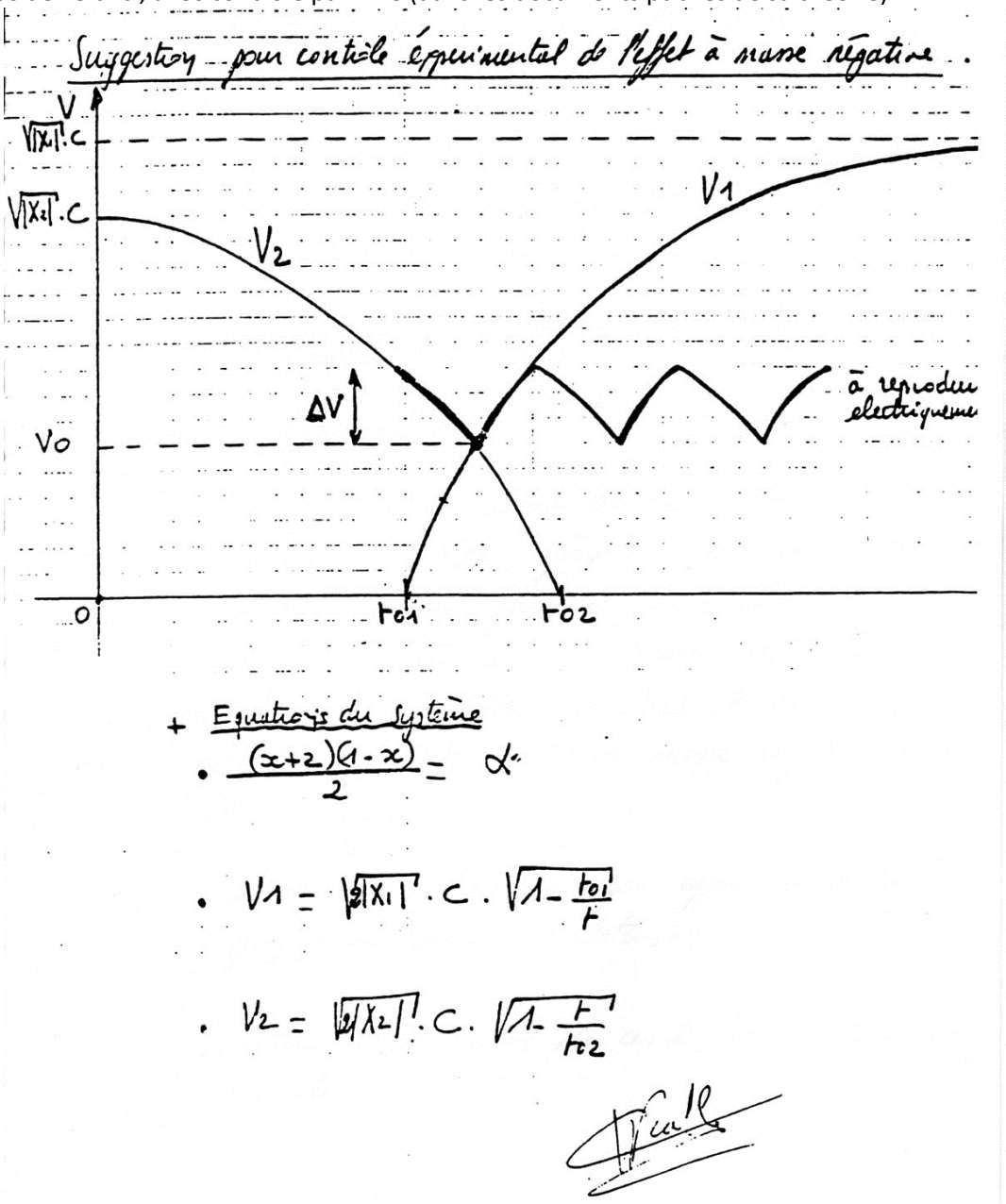
2) Comportement face à l'asservissement : suraccélération

Richard VIALLE a acheté et programmé une électronique d'asservissement dynamo-tachymétrique du moteur de façon à pouvoir contrôler la courbe d'accélération ou de décélération de ce dernier.

En effet, d'après sa théorie, si la vitesse du disque évolue de façon proportionnelle à la racine carrée du temps alors la masse négative créée est constante, ce qui permet d'avoir un effet constant sur le disque dont le bras va s'élever comme si une masse fictive négative avait été ajoutée (masse identique dans le temps).

La courbe de décélération est contrôlée elle-aussi de la même façon, créant une masse positive supplémentaire constante égale à la masse négative constante créée précédemment.

Voilà la courbe d'accélération/décélération qui était programmée dans la première version de la balance de Richard VIALLE il y a plus de 25 ans , avec contrôle par DAC (dans les documents publiés de sa théorie) :



Les équations de montée en accélération et décélération de la balance actuelle sont du même genre, mais différentes tout de même. Dans cette première version on n'a pas une loi d'accélération en racine carrée et une loi de décélération en racine carrée.

Les lois programmées dans le contrôleur électronique d'asservissement sont :

Vaccélération (t)=Vmax$\sqrt{\frac{t}{\tau}}$ où t commence à 0 à partir du début de l'accélération et on termine à τ.

Vdécélération(t)=Vmax$\sqrt{1-\frac{t}{\tau}}$ où t commence à 0 à partir du début de la décélération et on termine à τ.

Donc accélération et décélération ont une durée identique τet les lois sont réellement « symétriques » l'unes de l'autres, ce qui signifie que $x = \gamma.v/K'$ devient son opposé dans la définition de α, le coefficient multipliant la masse gravitationnelle dans la théorie de Richard VIALLE ; $\alpha = 1 - \frac{x}{2} - \frac{x^2}{2}$

Toutefois x² lui, reste égal par changement de signe de x. Donc on ne transforme pas vraiment la masse créée supplémentaire en son opposé. Rappelons que la masse $m_0$devient : $m_0 - \Delta m$ avec $\Delta m = \left(\frac{x}{2} + \frac{x^2}{2}\right) m_0$

La vitesse Vmax est la vitesse maximale atteinte en fin de la phase d'accélération. Elle est programmée entre 3500 et 4000 tours par minute (le système d'asservissement et le moteur permettant d'aller jusqu'à un maximum de 5000 tours par minute)

Le système de contrôle se fait en tension avec la correspondance : 2,5V pour 1000 tours par minute.

Expérimentalement on observe que lorsque le disque accélère et que la balance pivote, le disque s'élevant, on a vers la mi-course un bruit émis d'accoup de rattrapage du système d'asservissement qui ralentit le disque pour le ramener sur la loi de commande en racine carrée.

En fait ceci signifie que le système d'asservissement qui fonctionne alors en mode accélération doit d'un seul coup se mettre à ralentir le disque qui se met à suraccélérer plus vite qu'il n'y est poussé par le moteur ; de façon totalement opposée à l'intuition et à la mécanique classique en physique.

Il faut normalement fournir plus d'énergie pour faire tourner le disque plus vite ; c'est bien ce qui se passe au début ; mais au bout d'un certain moment, le disque se met d'un seul coup à suraccélérer sans qu'on lui ait donné plus d'énergie, et alors le tachymètre qui surveille la vitesse du moteur (donc du disque) donne l'information au système de contrôle qui « voit » qu'on sort de la courbe d'accélération programmée et qui ralentit alors la rotation.

Pour que cette observation se fasse de façon quantifiable, Richard VIALLE a branché la tension qui pilote la loi de commande programmée pour l'asservissement en racine carrée sur une entrée d'oscilloscope, et la tension lue par le tachymètre qui permet de donner la vitesse réelle du moteur (donc du disque) sur une autre entrée d'oscilloscope. Ceci est connecté sur l'oscilloscope du haut dans la photo plus bas.

X(t)=Tension proportionnelle à Vmax$\sqrt{\frac{t}{\tau}}$ loi programmée = K1.Vmax$\sqrt{\frac{t}{\tau}}$

Y(t)=Tension proportionnelle à Vmax$\sqrt{\frac{t}{\tau}}$ lu par le tachymètre = K2.Vmax$\sqrt{\frac{t}{\tau}}$

Puis sur l'oscilloscope Richard VIALLE fait afficher Y(t) en fonction de X(t).

Si il ne se passe rien d'anormal on a donc Y(t)= $\frac{K2}{K1}$ X(t) donc les deux voies sont proportionnelles l'unes à l'autre.

C'est bien ce qu'il observe sur l'oscilloscope pendant un certain temps.

En fait il n'a pas tout d'abord linéarité entre les deux voies car l'asservissement est un **asservissement souple**. Richard VIALLE m'a indiqué qu'un asservissement rigide ne permettrait pas de voir le dérapage constaté. L'asservissement souple permet au moteur de pouvoir se débrayer un peu de la commande d'asservissement. Au démarrage, l'inertie du disque et les frottements du système d'entraînement font que la loi d'accélération du moteur ne suit pas tout à fait celle commandée : il y a un décalage. En fait puisqu'on a une accélération tout le long, l'inertie du disque s'opposant à tout changement de vitesse devrait provoquer toujours le même décalage : le moteur a du retard sur la commande, légèrement. Mais au fur et à mesure s'ajoute la perte d'inertie du disque avec la création de la masse négative.

C'est le phénomène anormal de suraccélération qui se produit et le système d'asservissement va chercher à ralentir le disque. Alors on observe bien en effet sur l'oscilloscope que la loi mesurée sur le disque diffère de la loi commandée. La mesure montre qu'il y a en effet une suraccélération du disque, jusqu'à un pic qui se produit lorsque le système d'asservissement va passer de l'accélération à la décélération.

Cette accélération s'explique très bien dans la théorie de Richard VIALLE qui indique qu'une masse négative se crée avec l'accélération (note : une masse positive ou négative se crée lors de la décélération, selon les réglages). Le moment d'inertie du disque diminue alors, ce qui signifie qu'une même énergie apportée pour faire tourner le disque permet de le faire tourner plus vite sans apport supplémentaire (puisque c'est l'inertie qui a diminué).

C'est la signature de la masse négative.

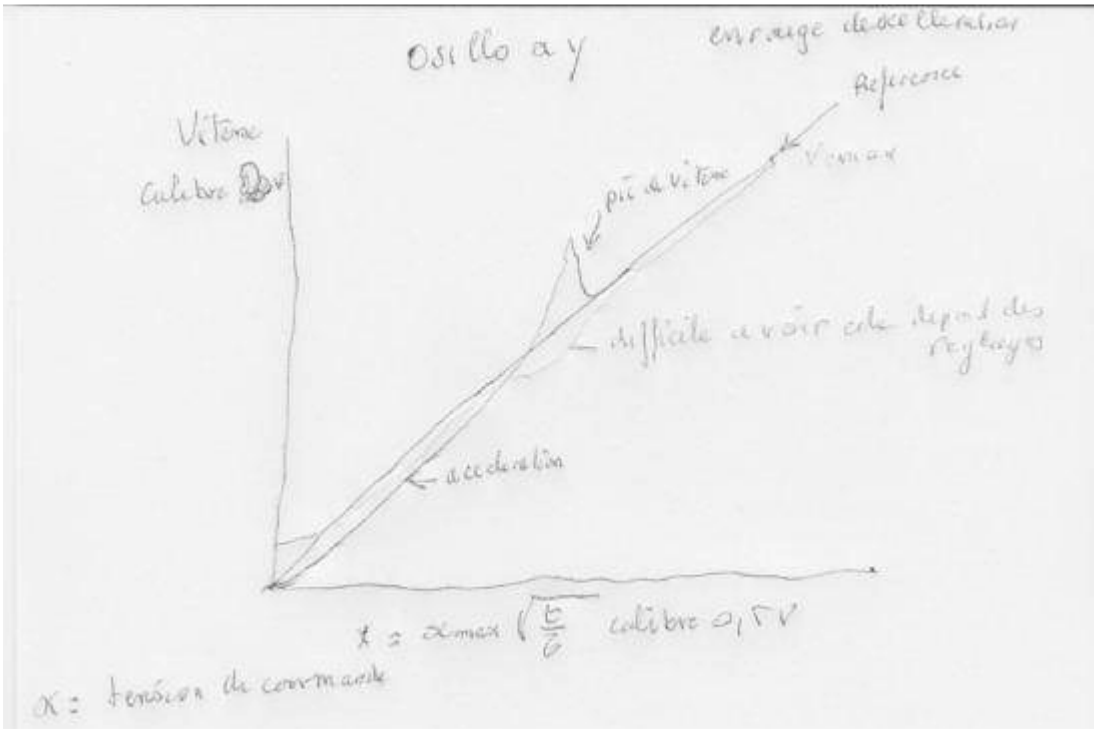


Schéma manuscrit de Richard VIALLE, expliquant ce qu'on voit sur l'oscilloscope

Cela se voit mal sur le scan, mais en rouge Richard VIALLE a tracé la courbe obtenue à la décélération : il y a aussi un pic, mais il est moins visible. En effet la loi inverse est en racine carrée inversée par rapport à la première mais l'effet de la masse négative sur le disque n'est pas dépendant que de x, mais aussi de x^2. Donc changer x en son opposé ne change pas la masse négative en son opposé exacte comme déjà dit. Donc le pic négatif est moins prononcé que le pic positif (selon réglages de x)

Alors par un changement de réglage du temps de décélération qui deviendrait plus grand que le temps d'accélération, on peut faire en sorte que la totalité de la masse positive créée en phase de décélération devienne égale à la totalité de la masse négative créée en phase d'accélération.

Ces réglages sont possibles. Initialement Richard VIALLE n'avait pas réglé en ce sens et il y a donc une petite dissymétrie de compensation.

3) Détection de l'émission électrique de la masse négative

Un montage placé dans un boitier blanc visible à côté sur la photographie suivante, et qui peut être branché sur un oscilloscope permet de visualiser la masse négative calculée par l'équation de Richard sur l'effet à masse négative.

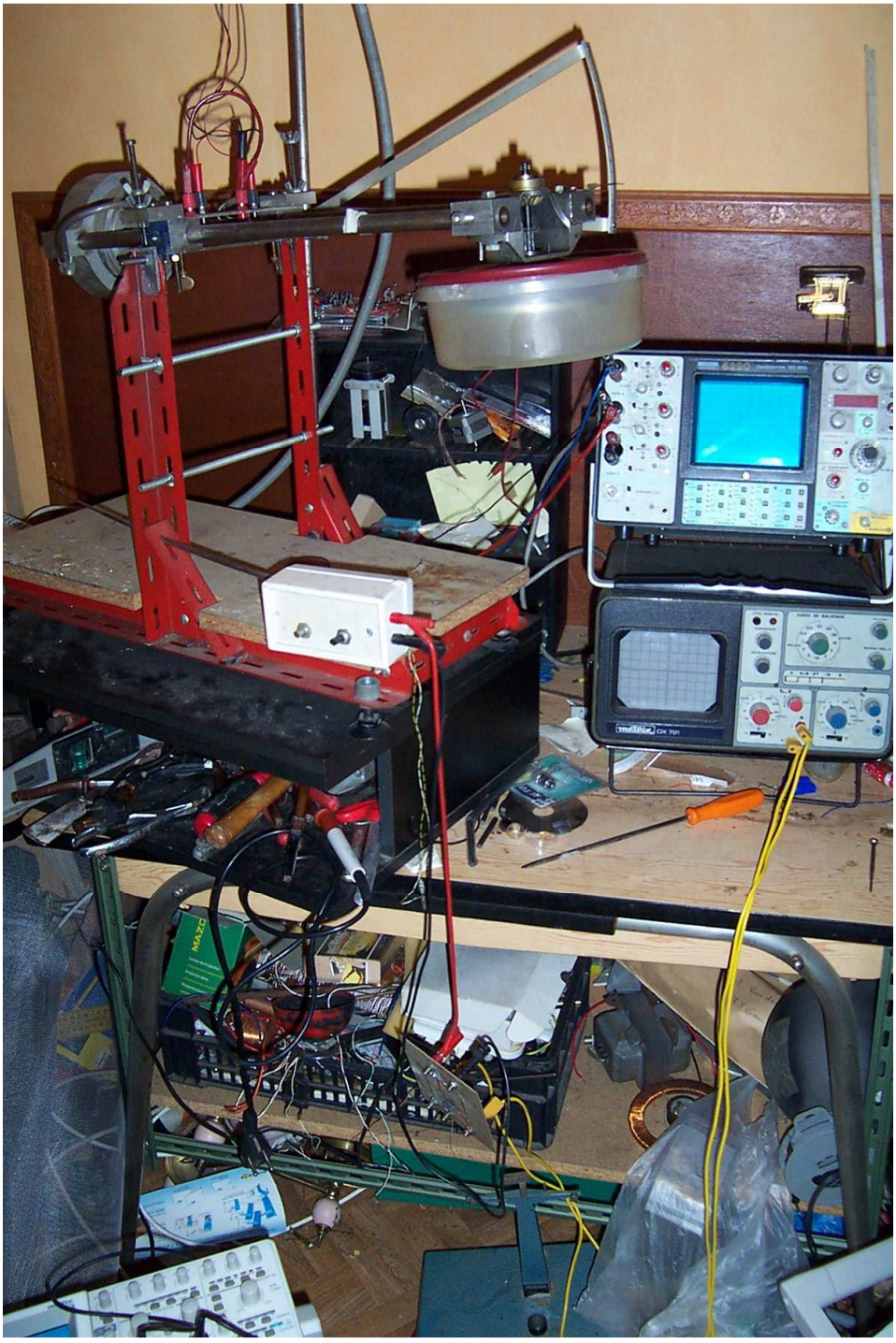
Le boitier blanc contient une antenne et un circuit électrique appelé « blocking » associé avec une diode, qui lui permet d'obtenir en sortie de montage une tension proportionnelle à l'amplitude du champ électrique capté par l'antenne d'entrée.

Le but est de capter le champ électrique émis par la masse négative créée. En effet selon les équations de Richard, une masse négative crée un champ électrique selon une loi du genre :
$E=K.\Delta m.t$ où K est une constante de proportionnalité et t est le temps.

E est ici l'amplitude du champ électrique mesuré qui est en fait oscillant avec la rotation de la mase négative sur le disque à la même fréquence que le disque lui-même (donc change dans le temps, selon accélération ou décélération du disque)

Le dispositif du boitier blanc va donc donner une tension de sortie proportionnelle à E, donc proportionnelle à la masse négative créée Δm.

Un oscilloscope (celui du bas sur la photographie précédente) va permettre de visualiser la tension de la sortie (entre sortie et masse du système électronique) en fonction du temps.



L'observation donne raison à Richard VIALLE : la courbe lue à l'oscilloscope est EXACTEMENT une droite, représentant une fonction linéaire de E par rapport au temps. La pente de cette droite donne K.Δm qui permet donc de calculer Δm la masse négative produite si on connait K.

Ce dispositif permet donc de « suivre » l'évolution de la création de la masse dans le temps. Lorsque l'accélération ne suit pas la loi en racine carrée de Richard VIALLE, on n'obtient plus une droite, ce qui soutient bien son calcul que la masse négative créée est constante dans le temps avec la loi de raciné carrée (si on suit cette loi on a une droite, si on applique une accélération quelconque on n'a plus de droite).

Ceci est une confirmation supplémentaire non seulement de l'existence d'une anomalie mais aussi de la prédictabilité de cette anomalie par la théorie de Richard VIALLE : la masse négative suit les formules de Richard VIALLE.

Pour capter au mieux le champ électrique, l'antenne du dispositif contenu dans le boitier blanc est mécaniquement accolée au socle de la balance (on la voit passer à travers un des trous du socle) ; faisant ainsi de toute la balance une pré-antenne qui guide le champ électrique créé par la masse négative du disque qui y est attachée. Ceci permet d'avoir une mesure de ce phénomène.

Des considérations peuvent être faites sur l'existence d'un champ électrique dans le disque à cause de sa rotation dans le champ magnétique terrestre (par un dispositif style disque de Faraday finalement), ce qui permettrait d'expliquer pourquoi un champ électrique à la fréquence de rotation du disque existe, et qu'on ne mesure qu'un faux effet avec cet appareil. Mais les valeurs numériques montrent que ce champ électrique est bien plus faible que celui que détecte l'appareillage, donc l'explication n'est pas là !

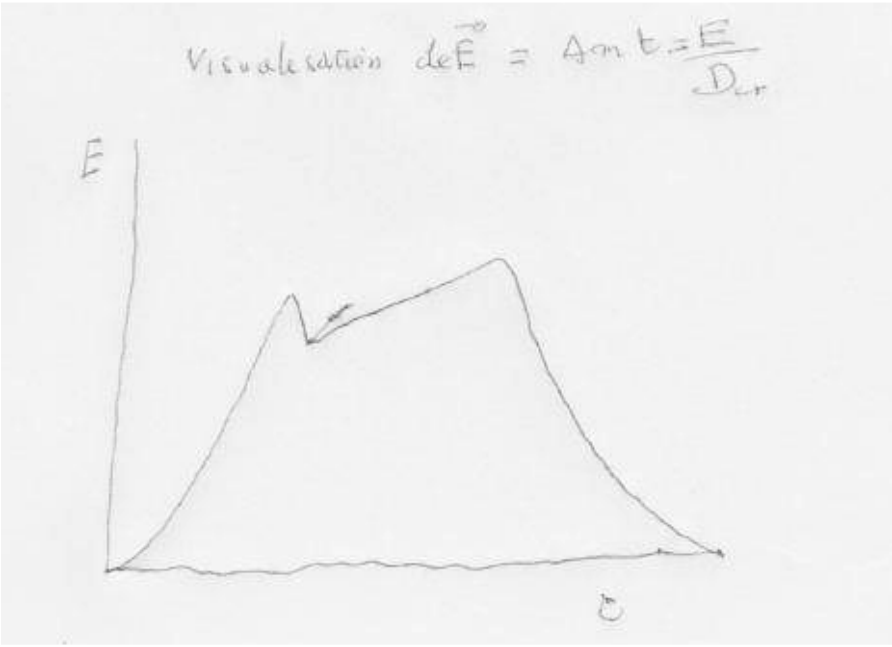


Schéma manuscrit de Richard VIALLE montrant la courbe visualisée à l'oscilloscope par le dispositif

Pour mieux saisir ce qui se passe dans ce graphique : on a une 1ère phase linéaire de E par rapport à t (en fait ce n'est pas exactement linéaire, il y a un léger décalage par rapport à la linéarité à cause de l'asservissement souple qui permet au disque de déraper à cause de l'inertie, le disque « trainant de la patte » pour accrocher à l'asservissement qui veut l'accélérer). La masse négative créée reste à peu près constante (on a à peu près une droite) mais pas exactement toujours à cause de la souplesse de l'asservissement.

Puis on a un rattrapage car l'inertie du disque diminue : on va alors avoir E qui va dépasser légèrement puis de façon plus prononcée en pic la référence linéaire durant la phase 1. Le pic on l'a au moment où le disque dérape dans l'autre sens : il accélère plus que voulu et donc le système d'asservissement va ralentir le disque ; créant donc une décélération pour ce faire. Attention, on parle de décélération de rattrapage dans la phase d'accélération progressive du disque ; on n'est pas dans la phase programmée de décélération à proprement parler du disque.

C'est ce qu'on voit dans la 2ème phase linéaire mais avec une pente inférieure, de E en fonction du temps.

On a : $M_{gravitationnelle} = \alpha . m_0 = \left(1 - \frac{x}{2} - \frac{x^2}{2}\right) m_0 = m_0 - \Delta m$ avec $\Delta m = \left(\frac{x}{2} + \frac{x^2}{2}\right) m_0$
x>0 dans la phase d'accélération pure (x est du signe de γ.v avec γ : accélération du disque et v :vitesse du disque)

Donc dans la phase n°1 on est sûr queΔm est positif (c'est-à-dire qu'on a une masse négative créée) et c'est la pente de la 1ère phase.
Puis on a suraccélération donc le disque va être décéléré par l'asservissement. On a alors forcément x<0

Là on a deux cas possibles : Soit $\frac{x^2}{2} > -\frac{x}{2}$ et donc on reste avec une masse négative créée, mais forcément plus petite que lors de la phase d'accélération, la pente reste positive (c'est ce qui se passe ici), soit $\frac{x^2}{2} < -\frac{x}{2}$ et alors on n'aura plus création de masse négative, mais de masse positive (ou décréation de la masse négative, car c'est la même matière qui est affectée du coefficient α, donc c'est elle qui change d'état). Ce deuxième cas n'a pas lieu dans la phase n°2, à cause

du réglage qui produit une valeur de x permettant cela. En changeant les valeurs de x (selon loi d'accélération) on change tout ce comportement. C'est une question de réglage.

Puis dans une 3ème et dernière phase, l'asservissement va produire un ralentissement du disque, une décélération. On a forcément x<0 aussi. Là aussi on a toujours un léger décalage par rapport au linéaire à cause de la souplesse de l'asservissement. Mais surtout dans ce cas là on a $\Delta m = \left(\frac{x}{2} + \frac{x^2}{2}\right) m_0 < 0$ donc on crée de la masse positive (on décrée de la masse négative).

Donc on a une pente négative de cette zone pseudo-linéaire. Voilà l'explication du schéma.

Hypothèse sur la différence avec la balance réplique de Jean-Paul C. :
L'accélération n'est pas contrôlée et on aurait une courbe croissante en 1ère phase (pas linéaire du tout), comme il n'y a aucune asservissement, aucun pic de dérapage pour ralentir : pas de 2ème phase.
Et dans la phase de décélération qui suit, la 3ème phase, on a toujours une masse négative créée, pas de décréation de la masse négative : la pente reste positive, à cause de la valeur de x imposée par le système qui ralentit.

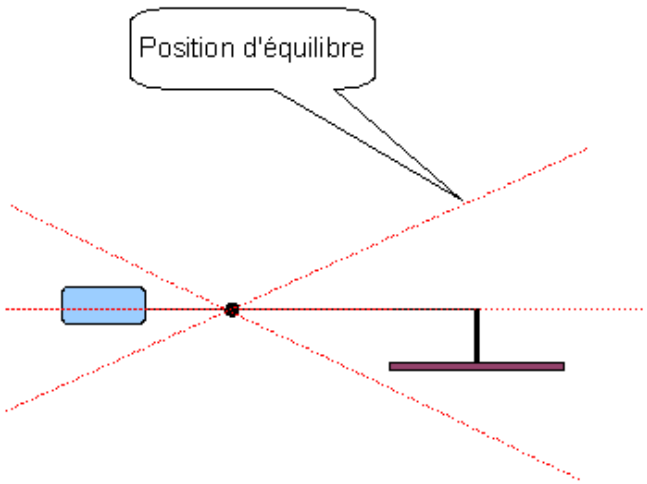
Donc on a un phénomène cumulatif de création de masse négative qui ne disparait jamais. Là où chez Richard VIALLE il y a une compensation à l'accélération et à la décélération (pas parfaite cependant, sauf si on change les temps d'accélération et décélération pour avoir équilibre parfait), on n'a aucune compensation chez Jean-Paul C. où on ne fait que cumuler de la masse négative.

Ceci a conduit à l'anomalie de saturation qu'il a obtenu (voir vidéos explicatives) alors que Richard VIALLE n'a jamais eu de saturation. Il faut aussi faire l'hypothèse que la « masse » négative créée se conserve. Cette hypothèse est très plausible au vu des effets conservés dans l'espace obtenus avec la balance et la QDC.

4) Positions d'équilibre nouvelles anormales

On notera aussi l'existence de deux positions d'équilibre de la balance lorsque le système est coupé (le disque ne tourne pas), ce qui est totalement anormal, car il ne doit exister qu'une SEULE position d'équilibre. Ces deux positions d'équilibre se sont mises à survenir après l'usage intensif de la balance par Richard VIALLE. Initialement la balance n'avait qu'un seul état d'équilibre qui était dans le plan horizontal.

Le fonctionnement de la balance a produit quelque chose qui modifie la physique de l'équilibre de la balance de façon inexplicable.



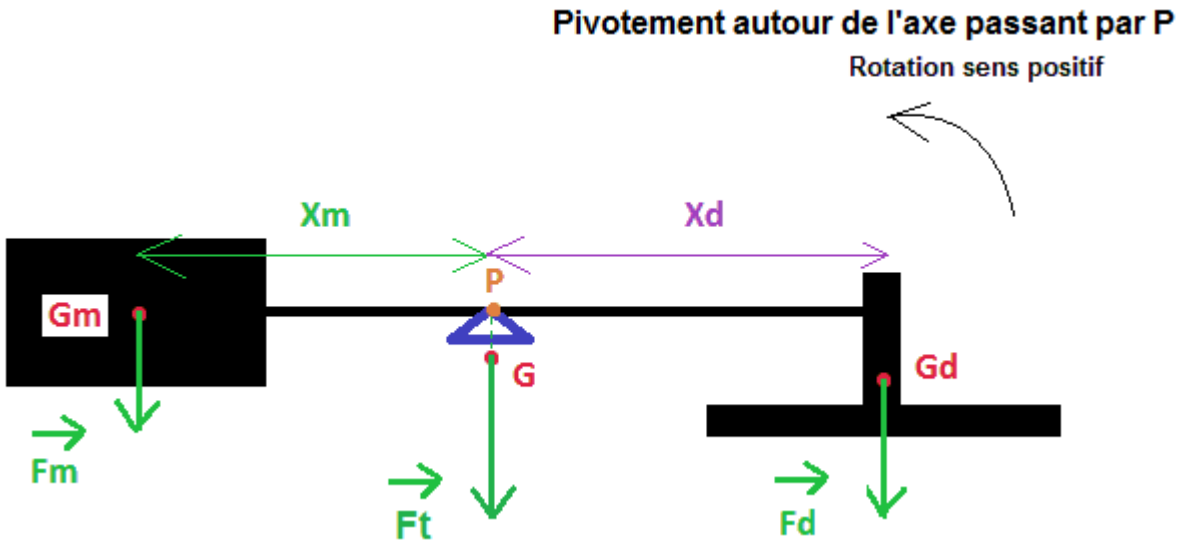
Les deux nouvelles positions sont situées un peu au-dessous et un peu au-dessus de l'équilibre horizontal initial.

5) Conclusion

Tous ces effets : pivotement de la balance disque vers le haut en accélération, diminution du moment d'inertie en accélération, champ électrique émis d'amplitude constante avec la loi de racine carrée seulement , positions anormales d'équilibre lorsque rien ne tourne ; montrent l'existence d'un effet anormal qui est de plus cohérent avec la théorie de Richard VIALLE, conforme à ses équations.

Analyse mécanique de la balance (calculs de mécanique) :

Avant de lancer le moteur et le disque



On appelle :
G : le centre de gravité de la balance (situé au-dessous du point d'appui des pointes permettant le pivotement)
Gd : le centre de gravité du disque avec support, boite plastique, roulements, de tout ce qui est fixé au bras lui-même
Gm : le centre de gravité du moteur électrique, ses branchements, et tout ce qui est attaché au bras lui-même.
P : point d'appui (en fait on a deux points d'appui P1 et P2, les deux pointes, qui définissent un axe de pivotement Δ)

Fd : poids de la partie disque+support disque : Fd=Md.g avec Md : masse disque + support disque
Fm : poids de la partie moteur : Fm=Mm.g avec Mm : masse moteur
Ft : poids total de la balance (disque, moteur, bras, etc, tout confondu poids total) : Ft=Mt.g

Xm : distance entre axe d'appui de pivot Δ(pointes) et projection orthogonale du centre de gravité Gm sur l'axe du bras.
Xd : distance entre axe d'appui de pivot Δ (pointes) et projection orthogonale du centre de gravité Gd sur l'axe du bras.

A l'équilibre, lorsque le moteur ne tourne pas, on a :
Somme des moments = Ft.0+Fm.Xm -Fd.Xd=0 car équilibre⇔Mm.Xm=Md.Xd
En effet comme G est placé directement au-dessous de P à la verticale, le « bras de levier » est nul (distance nulle entre axe Δ et projection orthogonale de G sur l'axe du bras)

En fait le retour à l'équilibre, c'est justement le retour à l'état où le moment exercée par le poids total de la balance par rapport à l'axe d'appui Δ est nul, c'est la position initiale.

Notes sur les forces de Coriolis :

Comme on l'a déjà expliqué, les forces de Coriolis qui s'appliquent à chaque section infinitésimale du disque en rotation sont opposées 2 à 2 pour deux sections symétriques du disque par son centre ; ceci car on a positionné le plan contenant les vecteurs Fd, Fm et le bras de la balance dans le plan Sud-Nord.

Donc la force nette qui s'applique au centre de gravité du disque Gd est nulle. Cela n'est pas suffisant, il faut aussi vérifier que le moment de chacune des forces infinitésimales de Coriolis est nul pour le pivot autour du point d'appui des pointes.

Si on note $\overrightarrow{dF}$ la composante de la force de Coriolis d'une section infinitésimale de volume dV à la position angulaire θ sur le disque et qu'on note r sa distance à l'axe central du disque on a :

On considère pour le signe par exemple que le disque tourne dans le sens anti-horaire ou trigonométrique positif lorsqu'on le regarde en vue du dessus :

Moment total des deux sections symétriques= -dF.(Xd+r.cos(θ))+dF.(Xd-r.cos(θ))=-2.r.dF.cos(θ)

Au final on constate qu'il reste quand même un moment résiduel. En terme d'explication de ce qui se passe, le morceau du disque qui est le plus éloigné du point d'appui P produit plus « d'effet » pour faire pivoter la balance par les forces de Coriolis qui s'y appliquent que le morceau du disque qui est plus proche du point d'appui.

Mais comme on l'a déjà souligné si on fait pivoter le disque en sens inverse, on obtient toujours le même déséquilibre de la balance, disque s'élevant vers le haut. Or, l'inversion du sens de rotation doit donner exactement le moment résiduel opposé des forces de Coriolis sur la balance. Donc on devrait voir le bras de la balance aller vers le bas du côté du disque si c'est la force qui explique ce qui se passe. Or ce n'est ABSOLUMENT pas le cas.

Le calcul numérique du moment résiduel de la force de Coriolis donne une valeur bien négligeable face au moment qui fait vraiment monter le disque (basculer la balance disque vers le haut).

On peut le calculer par : Moment total = $-\int 2.r.dF.\cos(\theta)$
avecdF=-2.dm.Ω.v.sin(α)
α : angle entre le plan du disque et l'axe sud-nord de rotation de la Terre sur elle-même
Ω : vitesse angulaire de rotation de la Terre sur elle-même
v : vitesse du morceau de disque = r.ω
ω : vitesse de rotation instantanée du disque sur lui-même
dm : masse du morceau infinitésimal

Moment total = $\int 4.r.dm.\Omega.\mathrm{r}.\omega.\sin(\alpha).\cos(\theta)$=4 $\Omega.\omega.\sin(\alpha).\int r^2.\cos(\theta).\mathrm{dm}$
On travaille en coordonnées cylindriques
dm=r.d θ.dr.dz.ρ (on travaille sur un demi-disque symétrique d'un côté de l'axe sud-nord, par rapport au bras : θ va de $-\frac{\pi}{2}$ à $\frac{\pi}{2}$)
ρ : masse volumique du disque

Moment total =4 $\Omega.\omega.\sin(\alpha).\rho.\iiint_{\theta=-\frac{\pi}{2},r=0,z=0}^{\theta=\frac{\pi}{2},r=0,z=H} r^3.\cos(\theta).d\theta.dr.dz$

=4 $\Omega.\omega.\sin(\alpha).\rho.\mathrm{H}.\frac{R^4}{4}$.2= $2.\Omega.\omega.\sin(\alpha).\rho.\mathrm{H}.R^4$
Ceci est vrai à un instant t la vitesse de rotation du disque dépend du temps t, donc $\omega = \omega(t)$

Pour le disque de Richard VIALLE :
R=7,5cm=0,075m
ρ =0,3/(π.R².H)=0,3/(π.0,075².0,005)=3395,31 kg/m^3
Ω=2.π/(24x60x60)=2π/86400=7,27.10^{-5} rad/s
$\alpha = 90° + 45°$ environ $= \frac{3\pi}{4}$ rad à Bordeaux (lorsque le disque démarre horizontalement)
Si on fait tourner le disque à la vitesse de 3000 tours/min = 50 tours par seconde initialement à l'horizontale on a :
$\omega = 2\pi x50 = 100\pi$ rad/s
(le disque tourne à une vitesse maximale de fin d'accélération de 3500 à 4000 tours/min)

Moment total = 3,47.10^{-5} N.m ce qui correspond à la force exercée par une masse de 3,5 milli-grammes située à 1 mètre du point d'appui ou une masse de 10 milli-grammes située sur l'axe du disque mais qui tirerait à l'envers de la force de gravité, de bas en haut.

On voit que c'est numériquement très faible et c'est la valeur maximale qu'on puisse avoir (avec le disque à l'horizontale) car plus le disque s'élève par le basculement du bras de la balance, plus l'angle α diminue. De plus le disque tourne à sa vitesse maximale seulement en fin de parcours, quand la balance s'est déjà soulevée, il commence à l'arrêt, donc c'est vraiment un ordre de grandeur maximal.

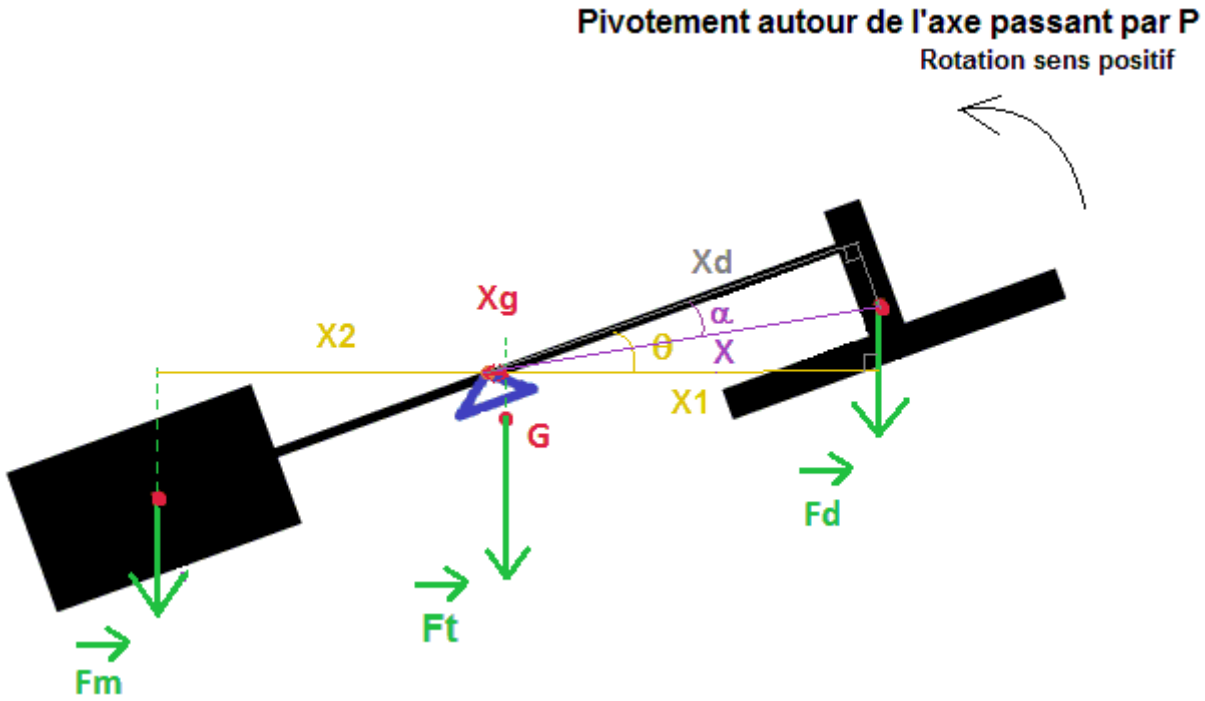
Comme déjà indiqué, le fait que l'inversion du sens du disque ne modifie pas le comportement de la balance prouve que cet effet est totalement négligeable au vu de l'effet qui fait basculer la balance.
Cet effet là ne peut être obtenu que par une masse équivalente de plusieurs grammes situé sur l'axe central de la balance (masse négative car elle tire vers le haut), ce qui est mille fois plus grand que le moment produit par les forces de Coriolis.

Quant aux forces de Coriolis dues au moteur elles sont bien plus négligeables encore, le rotor moteur étant de diamètre bien plus petit (l'effet est proportionnel au rayon du rotor puissance 4, donc encore plus petit pour un rotor petit). De

plus le disque moteur est vertical au démarrage, ce qui fait que les forces de Coriolis se compensent exactement sans résiduel dans ce cas si la balance est orientée dans le plan sud-nord ; ce qui fait que les forces de Coriolis ne peuvent avoir aucun effet à l'horizontale. Dès que la balance bascule on a alors un résiduel, mais comme je l'indiquais, totalement négligeable en rapport du précédent qui est déjà petit.

Au final, même si le calcul réalisé l'a été en plaçant le bras de la balance dans le plan sud-Nord, on comprend que ne pas positionner du tout la balance et donc ne pas s'occuper du tout des forces de Coriolis ne pose aucun problème dans l'étude du système. Jean-Paul C. qui a répliqué la balance de Richard VIALLE ne s'est pas du tout occupé de l'impact des forces de Coriolis car on vient de montrer qu'elles sont négligeables au vu de la force qui fait basculer la balance.

Après avoir lancé le moteur et le disque, déséquilibre de la balance :



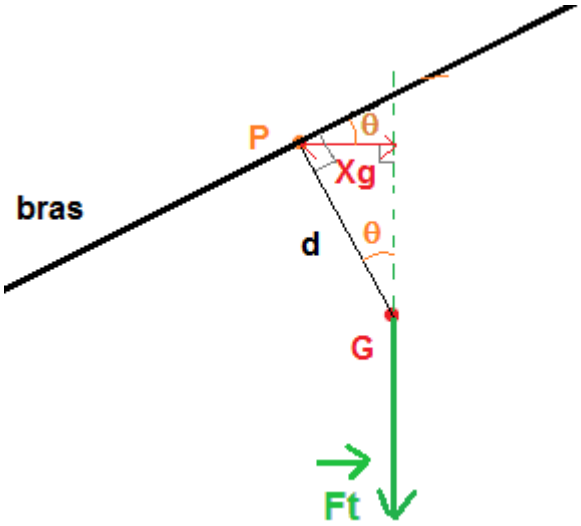
On exprime l'accélération angulaire de la balance (mouvement de déséquilibre par) :
$J\ddot{\theta}$=Fm.X2-Fd.X1 – Ft.Xg

J : moment d'inertie de l'ensemble du système (bras+moteur+disque) par rapport à l'axe du pivot Δ.
X1 : distance entre axe Δ et projeté orthogonal de Gd sur l'horizontale.
X2 : distance entre axe Δ et projeté orthogonal de Gm sur l'horizontale.
Xg : distance entre axe Δ et projeté orthogonal de G sur l'horizontale.
X=distance entre P et Gd
Xd et Xm déjà définis dans le cas initial

On a :$\frac{Xd}{X} = \cos(\alpha)\ et \frac{X1}{X} = \cos(\theta - \alpha)$
Si le centre de gravité Gd du système du disque avait été situé sur l'axe du bras on aurait eu α=0 mais ici ce n'est pas le cas.

On obtient donc :$X1 = Xd.\frac{\cos(\theta-\alpha)}{\cos(\alpha)}$ et comme pour le moteur le positionnement est centré on n'a pas ce souci là et on obtient : $X2 = Xm.\cos(\theta)$

L'angle α dépend uniquement du placement du système d'attache du disque au bout du bras de la balance et de la longueur du bras de la balance et est donc une constante de la géométrie de la balance.



d=GP est la distance entre l'axe de pivot Δ des deux pointes et le centre de gravité de la balance

On exprime ensuite (à l'aide du schéma précédent qui agrandit la zone d'appui P et centre de gravité G de la balance) :

$\frac{Xg}{d} = \sin(\theta)$ doncXg=d.sin(θ)

On en revient à l'équation du mouvement :
$J\ddot{\theta}$=Mm.g.Xm.cos(θ)–Md.g. $Xd.\frac{\cos(\theta-\alpha)}{\cos(\alpha)}$– -Mt.g.d.sin(θ)

Avec le résultat provenant du cas initial d'équilibre qui donne : Mm.Xm=Md.Xd on a :

$$J\ddot{\theta} = g.Md.Xd.\left(1-\frac{\cos(\theta-\alpha)}{\cos(\alpha).\cos(\theta)}\right).\cos(\theta) - Mt.g.d.\sin(\theta)$$

Après réduction au même dénominateur et l'utilisation de la formule d'addition de cos(θ-α) on obtient au final :
$$J\ddot{\theta} = -g.Md.Xd.\sin(\theta).\tan(\alpha) - Mt.g.d.\sin(\theta) = -g.(Md.Xd.\tan(\alpha) + Mt.d).\sin(\theta)$$

Il apparaît ainsi clairementque $J\ddot{\theta}$, qui est le moment total, est de signe négatif puisqu'ici α est positif. Ceci signifie que la balance ne peut rester dans cette position de déséquilibre, elle est rappelée vers la position initiale ; ceci en n'ayant considéré aucune force supplémentaire.

Donc ce qui paraissait intuitivement évident est montré par le calcul : en l'absence d'une force supplémentaire, la balance n'a qu'une seule position d'équilibre et de plus elle ne peut seule se mettre à pivoter.

Remarque :
On encore écrire :
$$J\ddot{\theta} + g.(Md.Xd.\tan(\alpha) + Mt.d).\sin(\theta) = 0$$

Aux petits angles θ on a au premier ordre sin(θ)=θ et on obtient l'équation :

$$J\ddot{\theta} + K.\theta = 0 \text{ avec} K = g.(Md.Xd.\tan(\alpha) + Mt.d)$$
C'est une équation différentielle classique décrivant un oscillateur pendulaire (sans frottement ici, on ne s'est pas intéressé aux forces de frottement).

La solution est alors : θ(t)=A.cos(ωt+φ) avec A,φ : constantes et ω=$\sqrt{\frac{K}{J}}$ qui permet de déduire la période d'oscillation :

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{J}{K}}$$

Ceci signifie que si on imprime une impulsion à la balance (à la main par exemple) dans le cas où aucune force supplémentaire n'existe (on ne fait pas tourner le disque, pas d'effet à masse négative et pas de force de Coriolis) la balance va revenir à l'équilibre en décrivant un mouvement d'oscillation autour de sa position d'équilibre.

C'est ce qu'observe Richard, balance à l'arrêt : il a une oscillation de période mesurée de 10 secondes. En tenant compte des forces de frottement on a un amortissement de ces oscillations jusqu'à stabilisation sur la position d'équilibre. C'est bien ce que l'intuition nous dit aussi et ce qu'on observe sur la balance de Richard VIALLE ou toute balance de ce type. Une balance qui ne présente pas cette oscillation est sujette à des forces de frottement bien trop importants qui empêchent le retour à l'équilibre par des frottements et ne permettrait pas de déterminer l'existence réelle de

multiples états d'équilibre anormaux comme l'observe Richard VIALLE, car la balance resterait « coincée » un peu dans toutes les positions par le frottement bien trop fort sur la zone d'appui.

Le choix de pointes plutôt que tout autre système de pivot permet la diminution des frottements jusqu'à des valeurs si faibles que non seulement l'oscillation est clairement visible, mais elle prend longtemps avant amortissement : c'est la preuve que la balance est sensible et bonne pour usage.

On observe d'ailleurs, lors des deux positions d'équilibre de la balance lorsque le disque ne tourne pas, ce qui est anormal, qu'on a bien des oscillations de stabilisation sur la vidéo filmée qui montre cette anomalie. Les oscillations sont normales, les deux positions d'équilibre elles, ne le sont pas !

Revenons maintenant au mouvement d'élévation de la balance : on a vu qu'il ne peut exister sans force additionnelle créant un moment additionnel. Or on a indiqué qu'il existe le moment de la force de Coriolis qui a été éliminé.

Bien sûr on peut se dire que la force additionnelle est la force de Coriolis qui a été éliminée injustement auparavant. En effet elle va produire un effet de soulèvement du disque. Oui, mais comme déjà dit aussi en tournant en sens inverse, on devrait avoir un effet d'abaissement du disque ; ce qui n'a pas lieu, donc ce n'est PAS la force de Coriolis qui soulève la balance.

De plus on va calculer l'ordre du moment additionnel pour montrer qu'il est bien plus important numériquement que la force de Coriolis, deuxième point prouvant que ce n'est pas la cause de l'effet observé (même si le premier point suffisait déjà !)

On finit par atteindre un nouvel équilibre après que la balance ait pivoté: l'observation expérimentale montre que lorsque le disque cesse d'accélérer, qu'il tourne à vitesse constante, la balance reste dans le nouvel équilibre atteint. Dans la vidéo du fonctionnement de la balance qui dure quelques secondes on voit la balance basculer dans le sens de l'élévation du disque puis de l'abaissement du disque ; car Richard VIALLE fait immédiatement suivre son accélération par une décélération du disque, sans phase de régime à vitesse constante intermédiaire.

La réplique de Jean-Paul C. montre bien que si on reste à régime constant après la phase d'accélération initiale, la balance s'équilibre dans une position donnée qui ne correspond pas à l'équilibre initial horizontal.

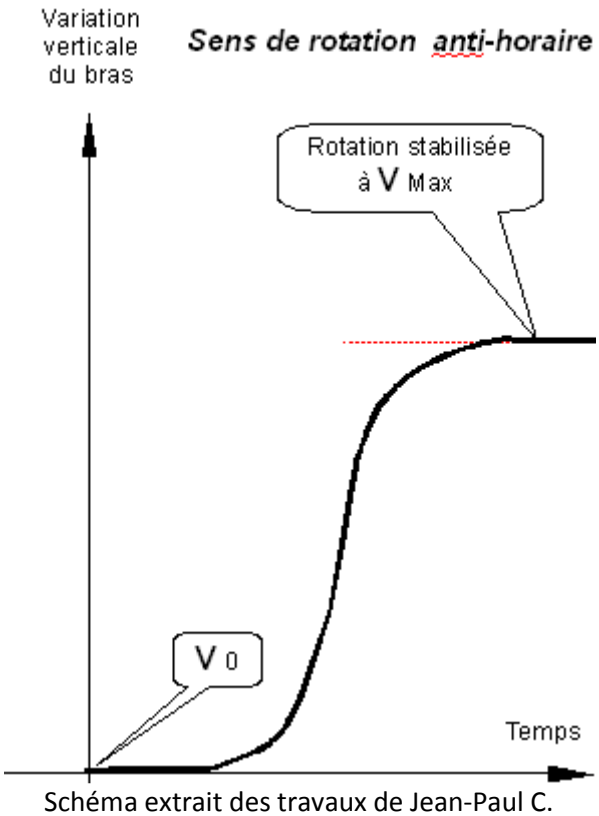


Schéma extrait des travaux de Jean-Paul C.

Richard VIALLE a constaté le même phénomène lors de ses premiers essais de balance, avant de brancher son contrôleur d'accélération qui alterne les accélérations et décélérations.

Donc on finit par obtenir une accélération angulaire nulle (plus de mouvement de pivot de la balance) : $J\ddot{\theta}=0$
Dans ce cas, en notant le moment additionnel Ma on a :

$Ma = g.(Md.Xd.\tan(\alpha) + Mt.d).\sin(\theta)$
où θ est l'angle atteint à l'équilibre obtenu avec le disque « en haut ».
Ma est positif, il tire le disque vers le haut.

Numériquement :
d=1mm=10^{-3} m
(réglage de la hauteur des pointes effectué par rapport à l'équilibre indifférencié de la balance quand G=P)
Mt=5,690 kg (connu précisément)
Md=0,5kg (estimé, en fait c'est minimisé, on a 0,3kg de disque, puis il y a l'entourage plastique, l'axe, le renvoi conique, les roulements)
tan(α)= 0,36
(la balance étant emballée pour déménagement je n'ai pas la valeur précise de α mais il est estimé à 20° par Richard VIALLE, résultats plus précis lorsque la balance sera déballée et mesure faite)
Xd=0,35 m
G=9,81 m/s²
θ=20° minimum (mais on minimise) = $\frac{\pi}{9}\ rad$
Alors Ma=0,23 N.m
C'est seulement une estimation minimale. En effet toute valeur plus grande de la masse Md ou de l'angle q agrandit très sensiblement la valeur numérique de Ma.

Maintenant on compare avec le moment produit par la force de Coriolis déjà calculé auparavant qui est de
Mc=0,0000347 N.m

On voit que le moment qui produit l'élévation de la balance est donc environ 10 000 fois plus grand que celui que la force de Coriolis seule produit (6628 fois plus précisément avec ces estimations).

A titre d'idée, le moment estimé correspond à une masse d'environ 67 grammes qui serait placée au niveau du point d'attache du bras de la balance du côté du disque alors qu'on avait dit que la force de Coriolis qui avait lieu correspondait à une masse de 10 milligrammes environ.

Ainsi nous venons de prouver une deuxième fois que la force de Coriolis ne peut absolument pas être la cause du déséquilibre de la balance, la première fois était déjà l'absence d'inversion de sens de pivotement de la balance selon le sens de rotation du disque (le disque devrait s'abaisser et rester abaissé en changeant son sens de rotation si la force de Coriolis seule intervenait)

Il faut donc une force nouvelle qui vienne s'ajouter et n'a aucune raison d'exister dans la physique classique. C'est là que l'effet à masse négative intervient !