Neuville/Saône

XIX $^{\text{éme}}$ Olympiades - 27 et 28 janvier 2012

L’impesanteur

La vie en impesanteur est – elle si formidable ?

Estelle Chignard
Chloé François
Pérette Jusforgues
Elèves de Terminale S

Table des matières

1) Résumé

La vie en impesanteur serait –elle si formidable ?
Comment se comporte une ogive de cathédrale ?
Est -il facile de se chauffer, les mouvements de convection thermiques existent -ils?
Que devient le beau jet d'eau de notre jardin?
Notre belle pendule Franc Comtoise sera t -elle toujours aussi précise ?
Pourra –t –on toujours apprécier le son émis par notre orchestre préféré?
La vinaigrette est –elle plus facile à faire ? Un bateau flotte – t - il ?

Ce sont les questions que nous nous posions lorsque nous avons préparé les expériences destinées à être embarquées dans l’Airbus « ZERO G » de Novespace.

2) Introduction

Notre professeur de physique, Mr Jouve, a déposé un dossier de candidature en mai 2010 auprès du CNES pour participer au vol Parabolique lycéen de mai 2011. C'est ainsi que notre lycée a été sélectionné en juin 2010. Deux autres lycées, le lycée Jeanne d'Arc de Mazamet et le lycée Melchior de Cayenne, étaient sélectionnés également.

Dix élèves ont préparé ce vol dans le cadre de l'atelier scientifique du lycée pendant l'année scolaire 2010-2011. Nous étions alors en première S.
Nous avons conçu sept expériences destinées à être embarquées dans l'airbus « ZERO G » qui nous ont permis d'étudier:

- le comportement d'une voûte romaine
- la mise en évidence de l'absence de convection thermique dans l'air en impesanteur
- le comportement d'un jet d'eau en impesanteur
- a mesure de la vitesse du son en impesanteur
- la mesure de la période des oscillations d'un pendule pesant
- la statique des fluides en impesanteur

Nous étions encadrés par deux professeurs du lycée : M Jouve et M Borderie.

Madame Alexandra Jaquemet, ingénieur chez Novespace, a suivit tout au long de l'année nos activités et a contrôlé nos réalisations grâce à des échanges très fréquents de mails avec nos professeurs. La sécurité de l'avion étant en jeu il nous a fallu suivre un cahier des charges sévère et toutes nos expériences devaient être conformes aux normes de la Direction Générale de l'Aviation Civile(DGAC) pour qu'elles aient le droit d'être embaquées.

Monsieur Gilles Tavernier, ingénieur au CNES, et madame Jaquemet vinrent au lycée une journée en février 2011 pour nous rencontrer et nous donner des indications pour améliorer nos expériences.

Le vol parabolique concernant notre lycée a eut lieu le 11 mai 2011 à Bordeaux. A cette occasion, les dix élèves et les deux professeurs des trois lycées furent invités à Bordeaux du 8 mai au 12 mai. Le CNES organisa pour nous des visites d'entreprises et de laboratoires, et des visites touristiques de la région de Bordeaux.

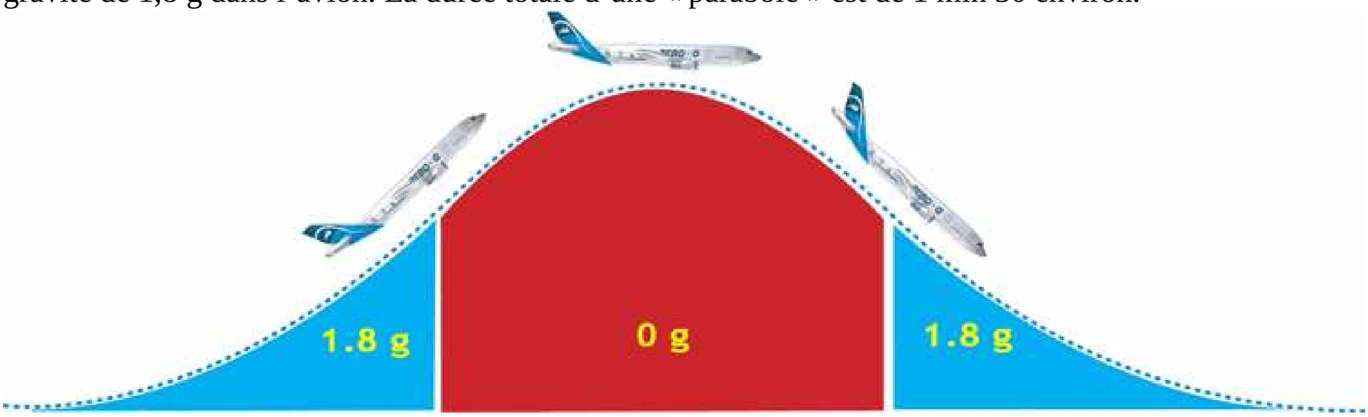
Les élèves mineurs ne pouvant pas embarquer dans l'airbus, c'est notre professeur M Jouve qui effectua le vol et contrôla le bon déroulement des expériences.

Le groupe du lycée Rosa Parks devant l'airbus »ZERO G » à Bordeaux Mérignac

3) Description succincte d’un vol parabolique

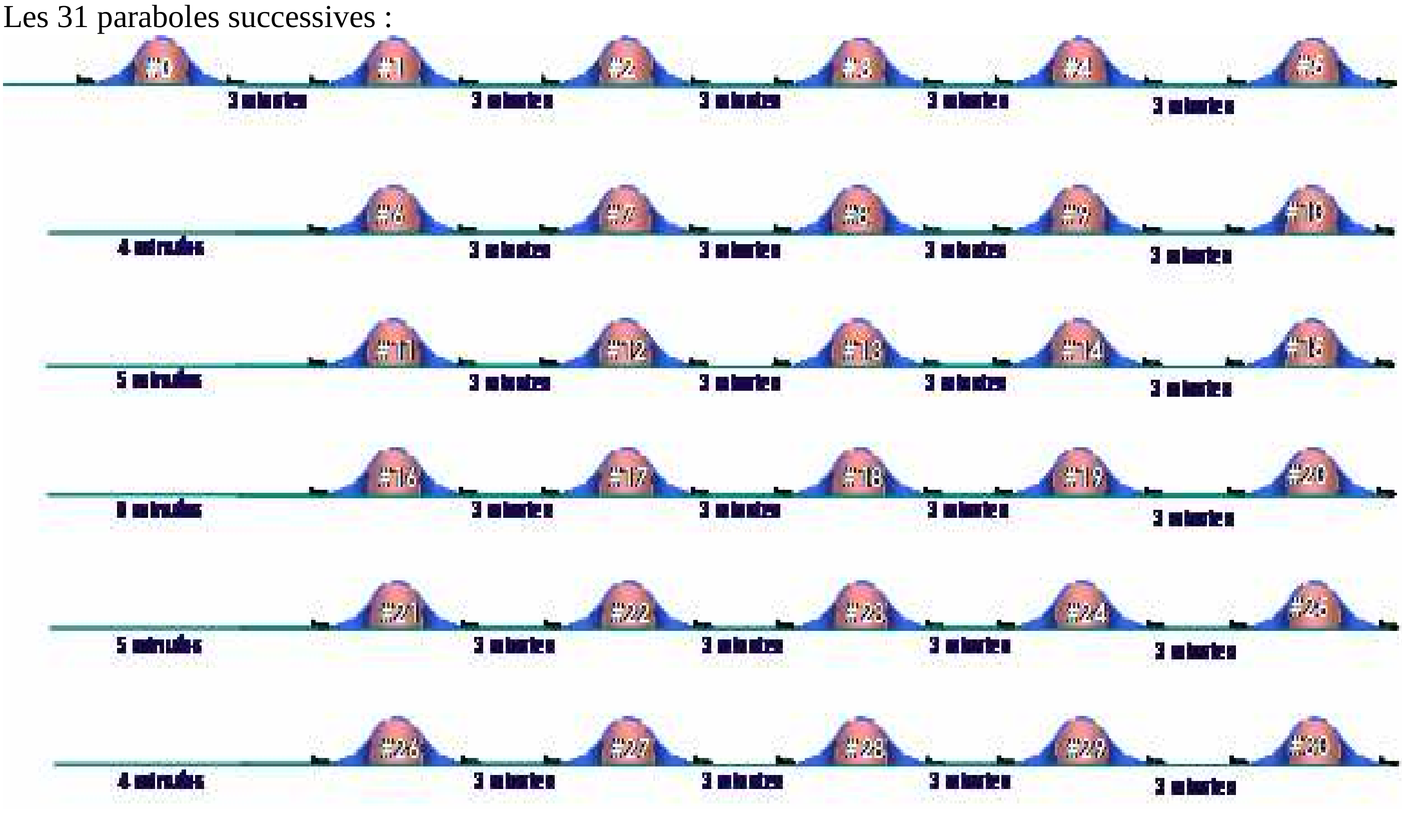
Le vol parabolique est effectué à bord d’un airbus A320 datant de 1970 mais ayant peu volé. Cet Airbus appartient à la société Novespace filiale privée du CNES. Il est basé à Bordeaux Mérignac.
Plusieurs zones géographiques sont utilisées : au large de la Bretagne, dans le Golfe du Lion, et dans les zones d’entraînement de l’armée de l’air situées sur le territoire français. Les pilotes appartiennent à la Direction Générale de l’Armement. Ils sont des pilotes d’essais confirmés.

Un vol parabolique comporte en réalité 31 paraboles, dont 30 sont réellement utilisées. La première étant une parabole d’initialisation utilisée par les pilotes pour effectuer des contrôles.
Pour chaque parabole l’avion d’abord en palier à 6 km d’altitude se cambre d’abord pendant 20 s jusqu’à 47° par rapport à l’horizontale, c’est la phase de ressource d’entrée caractérisée par une gravité de 1,8 g dans l’avion. Ensuite les pilotes placent l’airbus sur une trajectoire parabolique de telle sorte que l’avion soit en chute libre, les réacteurs compensent seulement la traînée, c’est la phase d’impesanteur caractérisée par une gravité de 0 g dans l’avion qui dure 22 s et qui a un sommet à 8,3 km d’altitude. Enfin l’avion étant alors incliné à 45° vers le sol, les pilotes cambrent de nouveau l’avion pour qu’il se place en vol palier, c’est la phase de ressource de sortie qui dure 20 s et qui est caractérisée par une gravité de 1,8 g dans l’avion. La durée totale d’une « parabole » est de 1 min 30 environ.



Doc Novespace

Les 31 paraboles successives :



Les paraboles sont regroupées par paquets de cinq séparés chacun par des durées plus ou moins grandes.

Un vol dure environ 3h 30 au total. Les utilisateurs peuvent répéter 30 fois leurs expériences ou effectuer des expériences différentes à chaque parabole, ou toute autre procédure selon les finalités des expériences.

Dans l'avion pendant la phase de microgravité(cliché Novespace)

4) Le châssis « éducation » du CNES.

Le CNES dispose d'un châssis destiné aux lycéens qui comporte deux compartiments :

-Un compartiment « mécanique » dans lequel on place les expériences n'utilisant pas de liquide.

-Un compartiment « étanche » destiné aux expériences comportant des liquides. C'est une sorte de boîte munie de gants qui permettent de manipuler les dispositifs enfermés dans le compartiment.

Deux caméscopes fournis par le CNES permettent de filmer les expériences durant toute la durée du vol.
Le châssis dispose d'une alimentation électrique secteur 230 V protégée par un disjoncteur différentiel de 30 mA.

Le châssis au lycée Rosa Parks

Le châssis installé dans l'avion

Le compartiment étanche

Le compartiment mécanique

Il n'y a qu'un châssis et les trois lycées utilisent le même. Les vols de chaque lycée ont donc lieu à des jours différents. Une campagne de vols paraboliques dure trois jours avec un vol parabolique par jour, chaque lycée utilise donc un vol.

Le châssis éducation est placé dans l'avion en même temps que les expériences des scientifiques professionnels.

Pour que l'on puisse adapter les expériences aux dimensions et contraintes du châssis, le CNES le met à la disposition de chaque lycée pendant quelques jours, et c'est lorsque le châssis est dans le lycée que M Gilles Tavernier et un ingénieur de Novespace viennent rencontrer les lycéens. Ce fut le 8 février 2011 pour le lycée Rosa Parks.

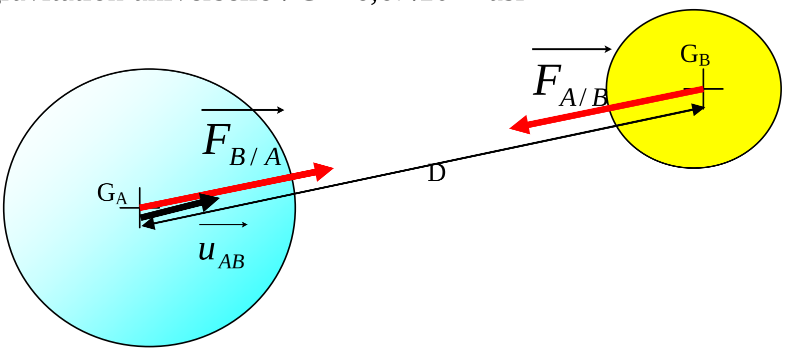
Les expériences des scientifiques dans l'avion

5) Pourquoi n'y a-t-il pas de pesanteur pendant la phase parabolique ?

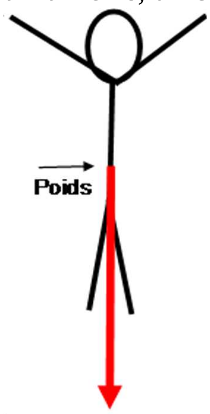
a) Qu'est ce que le poids d'un corps ?

Le poids d'un corps est essentiellement dû à la force d'interaction gravitationnelle.
Les corps de masse M_A et M_B ayant des centres de gravité distants de D s'attirent avec la loi d'Interaction gravitationnelle : $\overrightarrow{F_{A/B}} = -\overrightarrow{F_{B/A}} = -G\dfrac{M_A \times M_B}{D^2}\vec{u}_{AB}$

G est la constante de gravitation universelle : G = $6{,}67.10^{-11}$ usi



Ces masses s'appellent les masses graves car elles interviennent dans la gravitation.
Sur la Terre, un corps de masse m, situé sur le sol, subit cette attraction de la part de la Terre (il attire lui-même la Terre avec cette même force).



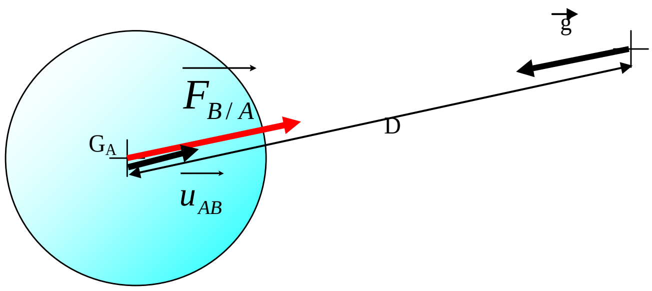
Cette attraction définit ce que l'on appelle le poids.

$$\vec{P} \approx -G\frac{M_{Terre} \times m}{R_T^2}\vec{u}_{AB}$$

R_T est le rayon de la Terre.
Cette relation est approchée, car le poids d'un corps comprend aussi l'action de la Lune et des autres astres (phénomènes de marée dans les océans) mais également l'action des forces dues au mouvement de rotation de la Terre.

Si on identifie l'expression précédente avec celle du poids $\vec{P} = m.\vec{g}$ où $.\vec{g}$ est le vecteur champ de pesanteur :

$$\vec{P} = m.\vec{g} = -G\frac{M_{Terre} \times m}{D^2}\vec{u}_{AB} \text{ on trouve que } \vec{g} = -G\frac{M_{Terre}}{D^2}\vec{u}_{AB}.$$



Au niveau du sol $\vec{g} = -G\frac{M_{Terre}}{R_T^2}\vec{u}_{AB}$ où R_T est le rayon de la Terre.

La valeur de g est de l'ordre de 9,8 m.s^{-2} au niveau du sol.

b) La chute libre

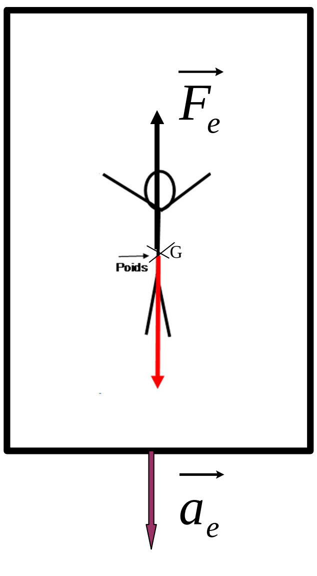
Un corps en chute libre est un corps soumis uniquement à son poids.
Dans l'air un corps n'est jamais réellement en chute libre, les forces de frottement dues à l'air existent toujours.
Il est cependant possible de considérer que pour des durées de chute suffisamment petites le corps est presque en chute libre.
Dans le référentiel terrestre, appliquons la seconde loi de Newton sur le système objet en chute libre :

$$masse_{d'inertie} \times \overrightarrow{accélération} = masse_{grave} \times \vec{g}$$

La mase inertielle est égale à la masse grave, c'est le principe d'équivalence connu depuis Galilée et Newton, donc tous les corps chutent avec la même accélération égale à $\vec{g}$

$$\overrightarrow{accélération} = \vec{g}$$

c) L'impesanteur



Pour comprendre pourquoi les objets dans l'avion, effectuant une parabole, n'ont apparemment plus de poids, il faut se placer dans le référentiel lié à l'avion. Un tel référentiel n'est pas Galiléen et il faut faire intervenir les forces dues au mouvement appelées forces d'inertie. Le référentiel est en translation. Il n'a qu'une accélération d'entraînement $\vec{a}_e$ qui est égale à $\vec{g}$ d'après l'étude précédente. La force d'inertie d'entraînement est $\vec{F}_e = -m\vec{a}_e$
Appliquons la deuxième loi de Newton dans le référentiel en chute libre.

$$\vec{F}_e + \vec{P} = m.\vec{a}'$$

où $\vec{a}'$ est l'accélération du centre d'inertie de l'objet dans le référentiel en chute libre.

Donc $-m\vec{a}_e + m\vec{g} = m\vec{a}'$

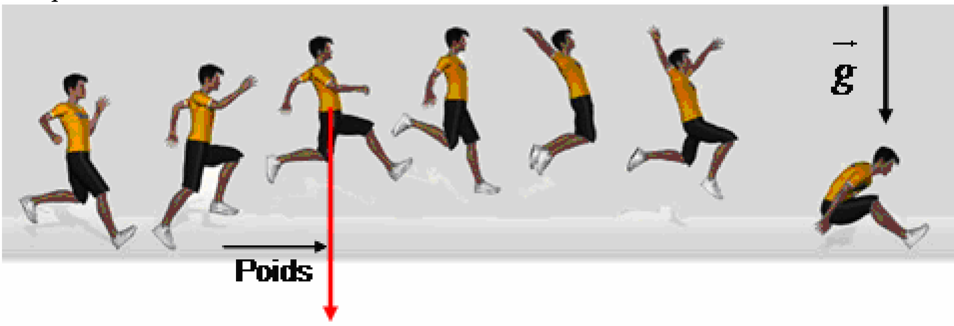
or $\vec{a}_e = \vec{g}$ donc $\vec{a}' = \vec{0}$.

L'objet semble alors soumis à aucune force, il est en impesanteur. Les effets du poids ne sont plus visibles. C'est pourquoi les objets dans la cabine de l'avion flottent. L'impesanteur est donc un état dans lequel la pesanteur est compensée par une force d'inertie. Les objets ont donc encore un poids, mais ses effets ne sont plus ressentis. C'est pourquoi les objets dans la cabine de l'avion flottent. L'impesanteur est donc un état dans lequel la pesanteur est compensée par une force d'inertie.

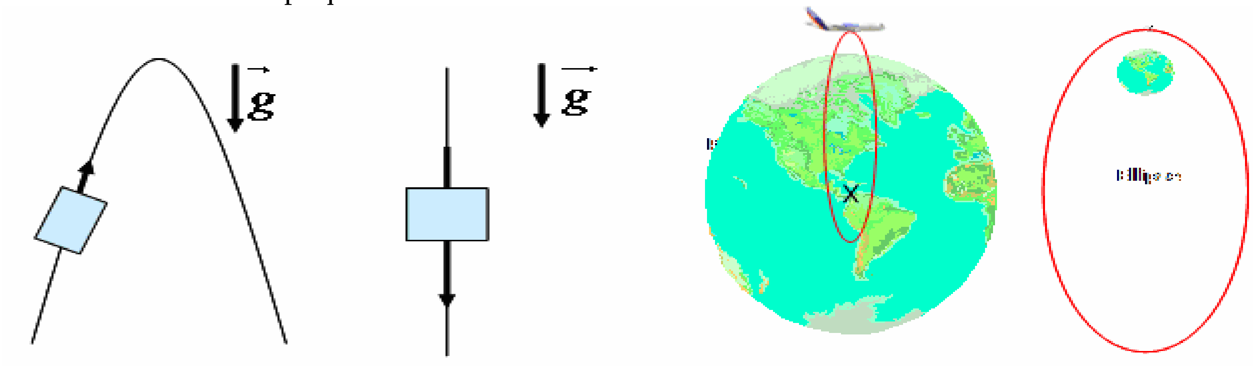
Le mot impesanteur est à distinguer du mot apesanteur qui désigne l'absence de pesanteur, donc de force gravitationnelle. Une telle région de l'espace où les forces de gravitations sont nulles n'existe pas.

d) L'impesanteur est –elle observée ailleurs que dans un avion en vol parabolique ?

D'après l'étude précédente, tout objet en chute libre peut être considéré en état d'impesanteur.
Donc un sportif qui effectue un saut est en état d'impesanteur, de même un ballon effectuant une trajectoire parabolique.



Les satellites en orbite elliptique ou circulaire autour de la Terre le sont aussi.



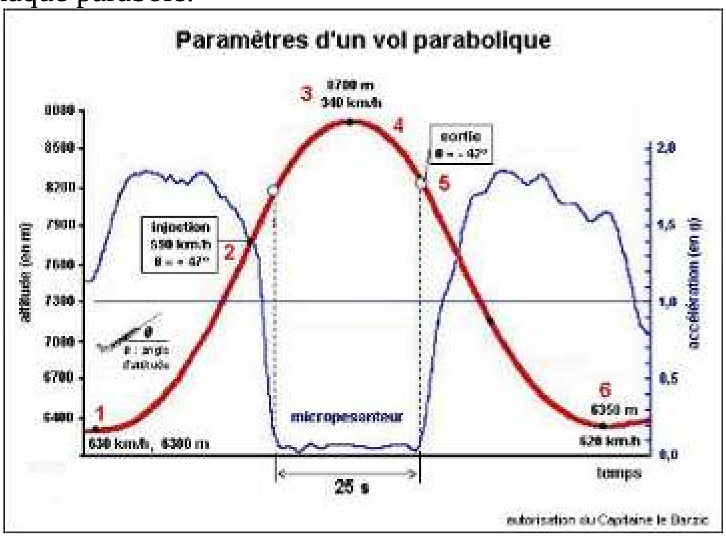
chute libre parabolique chute libre verticale

On peut même considérer que l'avion effectue une portion d'ellipse correspondant à une trajectoire de satellisation, mais dont la plus grande partie serait dans la Terre elle-même !

6) Microgravité plutôt qu'impesanteur.

Le pilote et le copilote réalisent la parabole « à la main » sans calculateur. Ils s'efforcent d'obtenir la parabole la plus « propre » possible mais il est impossible d'obtenir rigoureusement 0 g. On est donc dans des conditions de microgravité avec parfois des inversions.

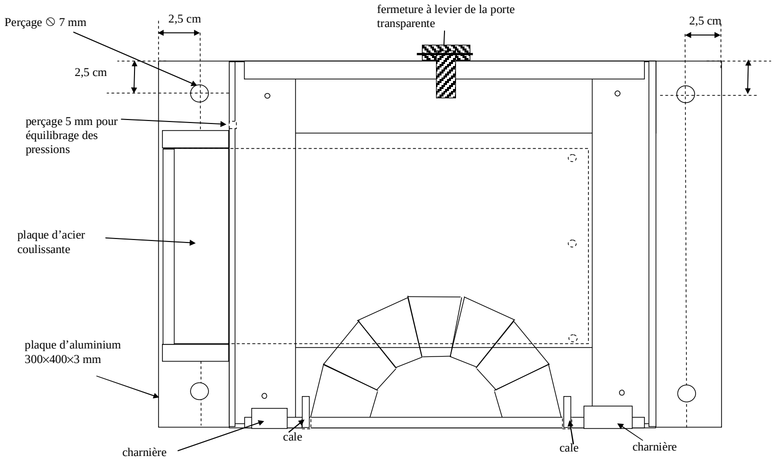
Après le vol, Novespace met à la disposition des utilisateurs les valeurs de la gravité régnant dans la cabine de l'avion pour chaque parabole.



7) Les expériences embarquées

a) La voûte romaine

On a construit une voûte romaine avec des petits blocs de polystyrène alourdis avec une rondelle d'acier. La formes de ces blocs est calculée pour qu'une fois assemblés ils constituent une voûte verticale qui reste stable sous l'action de leur poids.



L'ensemble est placé dans une boîte en aluminium de 40cm×30cm×7 cm que nous avons construit avec une ouverture en plastique transparent devant. Une plaque aimantée amovible est située à l'arrière de la boîte afin que l'on puisse assembler la voûte malgré les turbulences de l'avion. La plaque aimantée est retirée juste avant la ressource d'entrée de la parabole.

Voici ce que devient cette voûte en impesanteur :

b) Statique des fluides

Trois bouteilles en plastique transparentes contiennent respectivement :

-de l'eau colorée en bleu

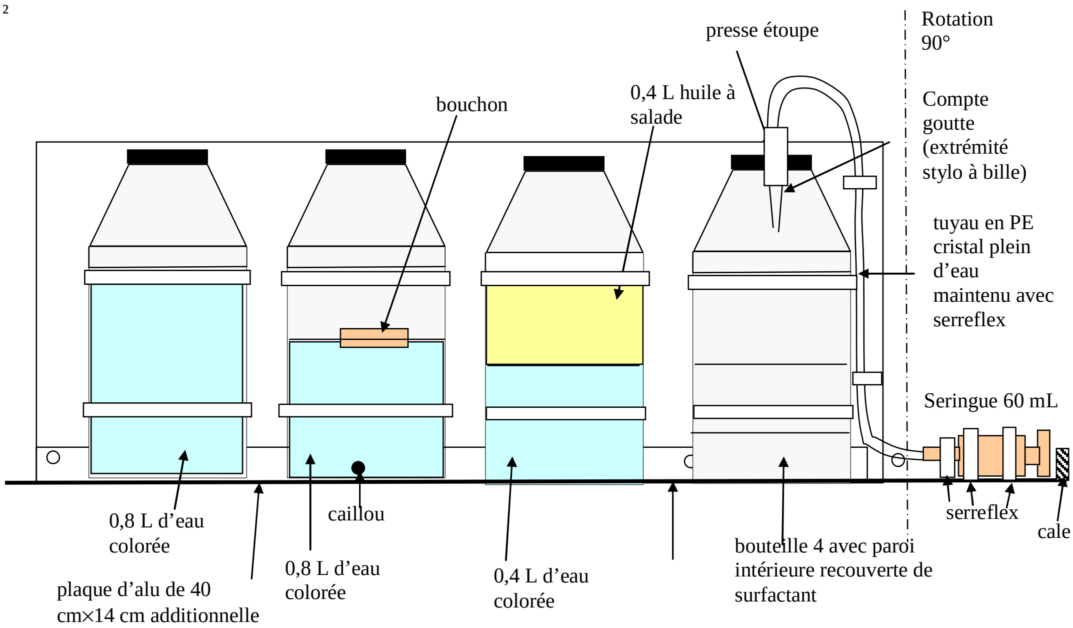
-de l'eau colorée en bleu et de l'huile végétale pour friture

-de l'eau colorée en bleu avec un caillou et un bouchon en liège

Une quatrième bouteille est munie d'un compte goutte qui traverse son bouchon, le compte goutte est relié par un tuyau en plastique à une seringue contenant de l'eau colorée. On a recouvert les parois de cette bouteille avec un surfactant (imperméabilisant pour chaussure) afin de limiter les forces de capillarité.

Les trois premières bouteilles permettront de mettre en évidence le comportement de l'eau, du mélange huile – eau, des objets flottants ou non.

Le but de la quatrième expérience est d'obtenir une « bulle d'eau » flottant dans la bouteille vide tel le whisky du capitaine Hadock dans la BD de tintin « On a marché sur la Lune ».



On constate qu'en microgravité l'eau se colle à la paroi de la bouteille à cause des forces de capillarité qui deviennent alors prépondérantes. La poussée d'Archimède disparaît, le bouchon coule, et le caillou flotte. L'huile et l'eau forment spontanément une émulsion. Nous n'avons pas pu obtenir la « bulle d'eau » dans la quatrième bouteille car la goutte qui se forme au bout du compte –goutte reste fixée et ne se détache pas. Si on pousse plus fort sur la seringue, elle est alors propulsée vers le culot de la bouteille.

On peut cependant observer de grosses gouttes flasques monter et descendre le long de la paroi selon la direction de la microgravité.

Gravité normale Microgravité

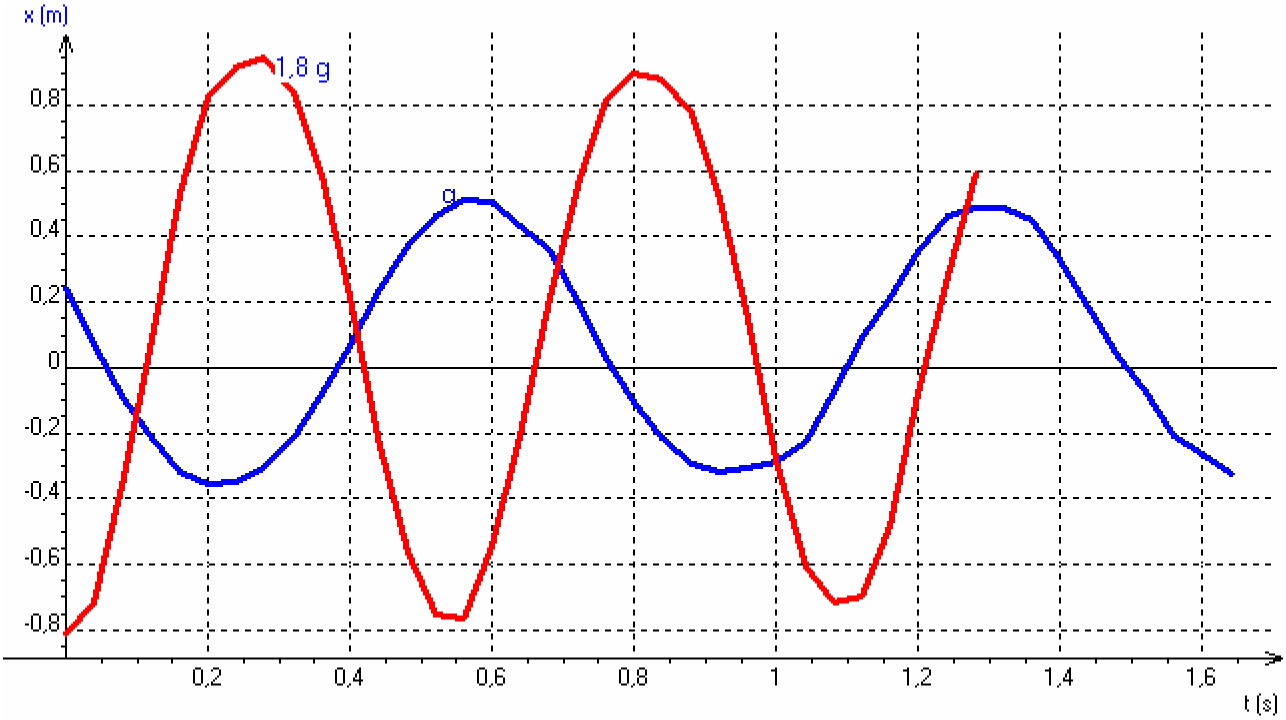
c) *Période d'oscillation d'un pendule pesant*

On a construit un pendule pesant avec une tige d'aluminium de longueur 12 cm munie à l'une de ses extrémités d'un axe horizontal et à l'autre extrémité d'une balle de golf.

Il est intéressant de mesurer la période des oscillations du pendule pesant lors de la phase de gravité normale et lors de la phase d'hypergravité. Lors de la phase de microgravité on s'attend à ce que le pendule soit en équilibre indifférent autour de son axe, c'est effectivement ce que l'on observe.

On filme le pendule pendant toute la durée d'une parabole.

A l'aide du logiciel régavi, on pointe les positions successives du centre la balle de golf, puis on transfert les valeurs dans le logiciel regressi. On obtient les deux courbes suivantes.



On mesure la période lors de la phase 1 g : T(1 g)exp = 0,712 s
On mesure la période lors de la phase 1,8 g : T(1,8g)exp = 0,540 s

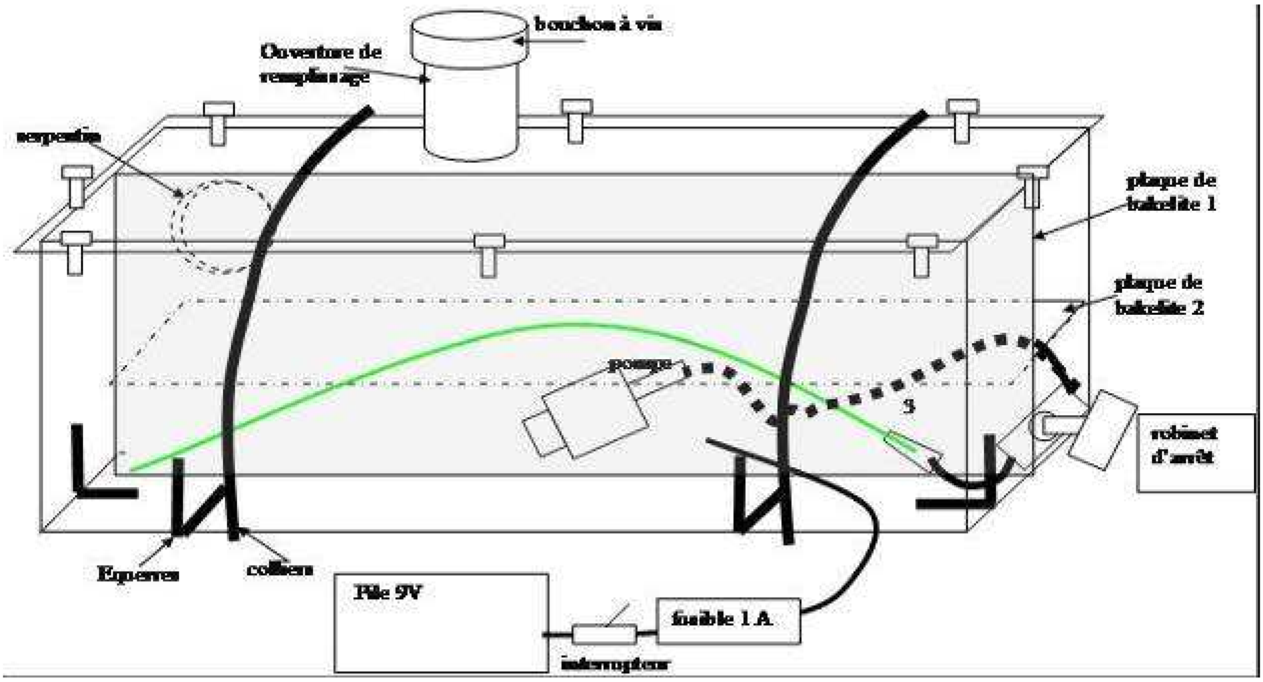
La théorie montre que la période d'un pendule pesant est proportionnelle à $\frac{1}{\sqrt{g}}$, donc le rapport théorique entre les deux valeurs doit vérifier : $\frac{T(1g)}{T(1{,}8g)} = \sqrt{1{,}8} = 1{,}34$

Le rapport de deux valeurs expérimentales est $\frac{T(1g)_{\exp}}{T(1{,}8g)_{\exp}} = 1{,}32$

L'écart relatif entre les deux valeurs de ce rapport est de 1,5 %, la dépendance théorique de T à la valeur de g est donc vérifiée.

d) *Jet d'eau parabolique*

On a réalisé un petit jet d'eau parabolique dans un aquarium hermétiquement fermé. Le plan du dispositif est dessiné ci-dessous :



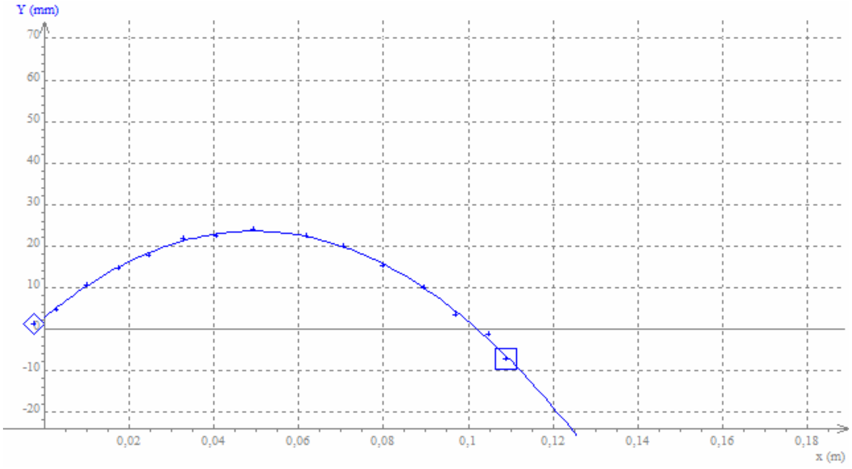
Le jet d'eau est filmé en permanence. A côté de l'aquarium est placé un « g-mètre » fourni par le CNES qui donne la valeur de la gravité.
On obtient les trois allures du jet suivantes (on a accentué en noir le jet pour plus de visibilité):

En phase de microgravité on observe un jet rectiligne.

Pour les phases de gravité normale et d'hypergravité on essaie de déterminer la valeur de la gravité à partir de la trajectoire du jet d'eau observée, puis on compare la valeur trouvée avec celle donnée par le g-mètre du CNES.

Pour cela on extrait une image du film que l'on ouvre avec le logiciel regavi. Après initialisation de l'échelle, on pointe la trajectoire du jet. On transfert les valeurs dans regressi. On obtient les deux courbes suivantes, avec leur modèle parabolique : Y(x)=a+b*x+c*x^2.

Phase 1,8 g



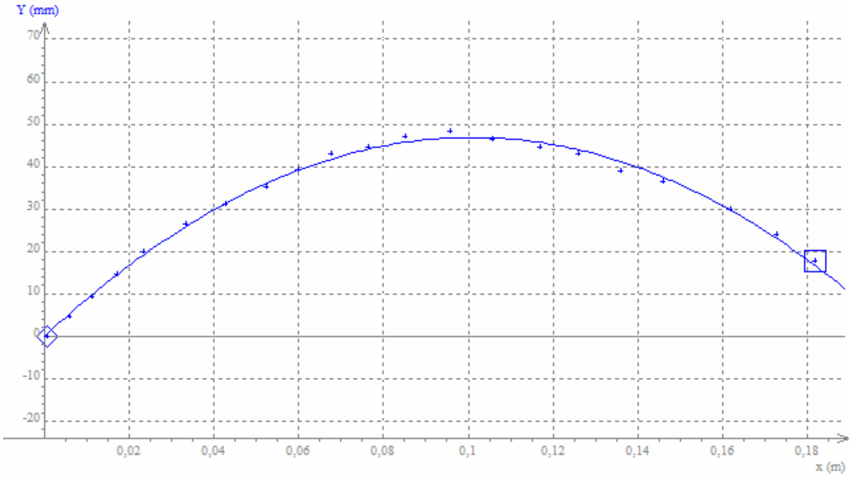
Ecart expérience-modèle 3,6 % sur Y(x)

a=2,77 ±0,79 mm

b=(841 ±36) 10^{-3}

c=-8,51 ±0,32 m^{-1}

Phase 1 g



Ecart expérience-modèle 2,8 % sur Y(x)

a=-0,000016 ?? m

b=(930 ±31) 10^{-3}

c=-4,61 ±0,16 m^{-1}

La deuxième loi de Newton permet de trouver l'équation de la trajectoire (v annexe):

$$y = -\frac{1}{2}.g.\frac{x^2}{V_0^2.\cos^2(\alpha)} + \tan(\alpha).x$$

où α est l'angle entre la vitesse initiale et l'horizontale, V_0 est la valeur de la vitesse initiale.
On peut identifier les coefficients de la modélisation :

$c = -\frac{1}{2}.g\frac{1}{V_0^2.\cos^2(\alpha)}$ et b = $\tan(\alpha)$.

La moyenne des deux valeur de b nous donne $\tan(\alpha)$ = 0, 88 ce qui nous permet de connaître α .
On trouve α = 42°

Pour déterminer g , il nous faut connaître la vitesse initiale V_0.
Nous avions d'abord essayé de déterminer cette vitesse en repérant le mouvement des gouttes observées lorsque la pompe se désamorce, mais la valeur obtenue est mauvaise et ne permet pas de retrouver la valeur de l'intensité de la pesanteur.
Nous avons ensuite pensé à mesurer le débit volumique réglé de telle sorte que la parabole soit identique à celle que l'on observe sur le film. On recueille l'eau dans une éprouvette graduée de 100 mL pendant une durée de 10 s. On réalise plusieurs essais et on calcule une valeur moyenne.
On trouve Q_v= 5,7 mL/s = $5{,}7\times10^{-6}$ $m^3.s^{-1}$

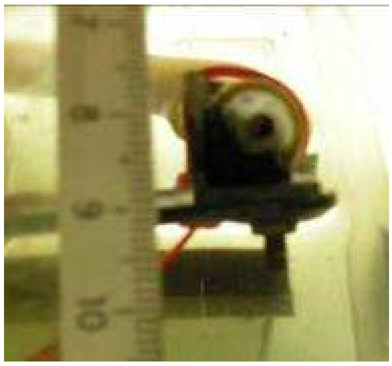
Le débit volumique Q_v, la section S de l'orifice de la buse sont reliés à la vitesse volumique par la relation

$$Q_v = S \times V_0.$$

On mesure le diamètre de l'orifice de la buse à partir d'une photo macro. D = 0,23 cm

$S = \pi . R^2 = 4{,}0 \times 10^{-6}\ m^2$

Donc $V_0 =$ 1,4 m/s.



Le modèle nous donne l'expression : $g = -2.c..V_0^2.\cos^2(\alpha)$

Pour la phase 1 g :

$$g = 2 \times 4{,}6 \times 1{,}4^2 \times \cos^2(42°) = 9{,}9\ m.s^{-2}$$

ce qui est proche de la bonne valeur de 9,8 $m.s^{-2}$ avec 1,6 % d'écart.

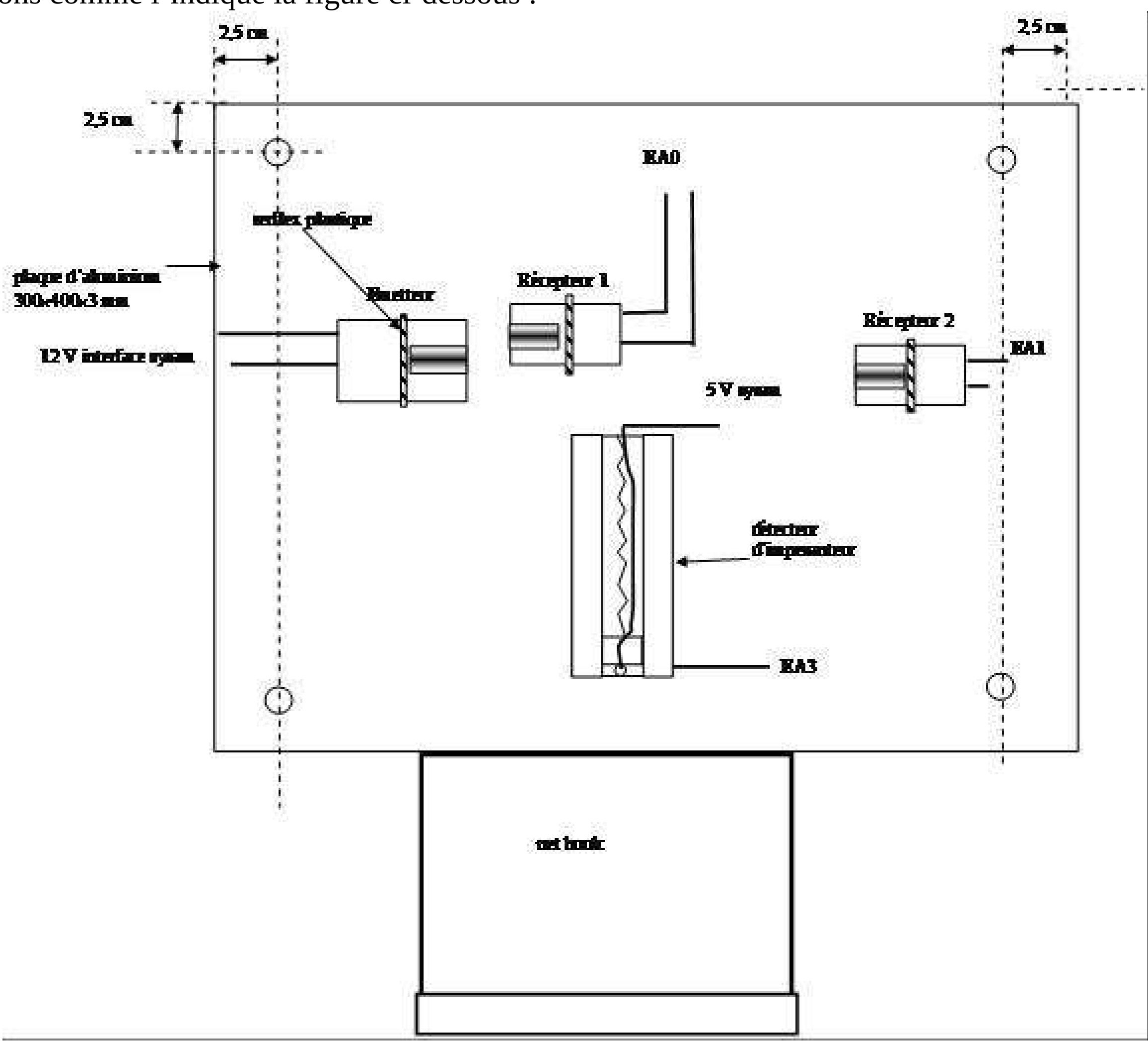
Pour la phase d'hypergravité :

$$g' = 2 \times 8{,}5 \times 1{,}4^2 \times \cos^2(42°) = 18{,}4\ m.s^{-2}$$

ce qui est proche de la bonne valeur de g' = 1,8.g = 17,6 $m.s^{-2}$ avec 4,3 % d'écart.

e) La vitesse du son

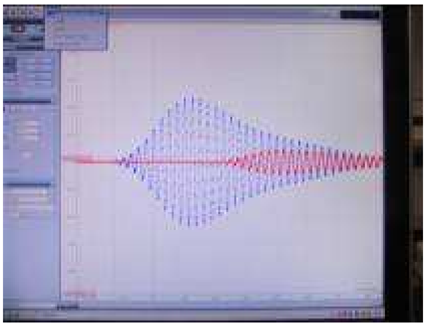
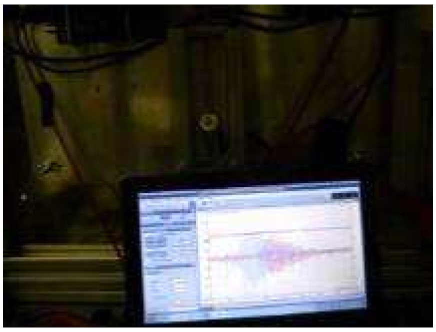
Nous avons monté une platine comportant un émetteur de salves d'ultra-sons et deux récepteurs d'ultrasons comme l'indique la figure ci-dessous :



Les récepteurs sont reliés à une interface sysam et un ordinateur qui enregistre en permanence pendant la durée de cinq paraboles les signaux délivrés par les deux récepteurs.

Un détecteur d'impesanteur constitué par un ressort auquel est suspendue une masse de 50g en métal est aussi relié à l'interface sysam. Une tension de 5V est appliquée au point d'attache supérieur du ressort. La

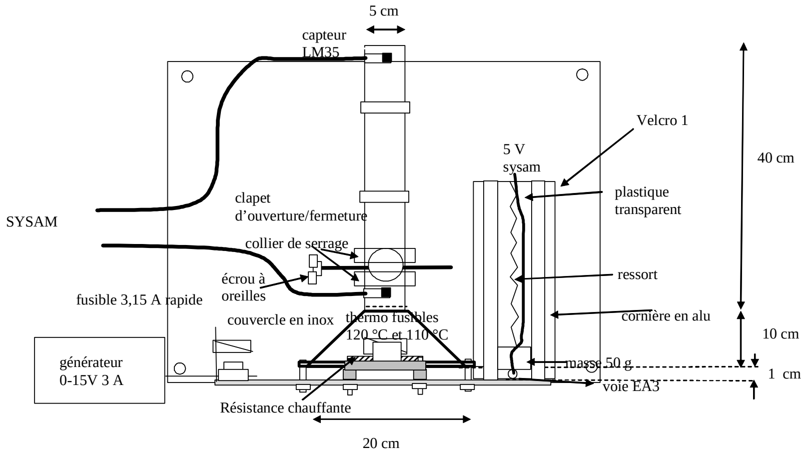
voie EA3 est reliée à une plaque en aluminium située sous la masse suspendue. Lorsque la pesanteur disparaît, la masse n'est plus en contact avec la plaque et la tension mesurée passe de 5 V à 0V. Ceci permet, ensuite, lors de l'analyse des résultats de savoir s'il y de la pesanteur.
Résultats : aucune différence de vitesse du son mesurée en présence ou non de pesanteur, on trouve une valeur de 340 m/s valeur trouvée pour l'air à 20°C.

Détecteur d'impesanteur Allure des signaux obtenus et l'ensemble fixé dans le compartiment mécanique

f) Convection thermique dans l'air

Le but de cette manipulation est de vérifier l'absence de convection thermique dans l'air en état d'impesanteur.
Le dispositif comporte une résistance chauffante alimentée sous 12 V placée sous un couvercle en inox percé en sa partie supérieure. Un tube en PVC est placé au dessus de ce couvercle. Ce tube est muni d'un clapet que l'in peut ouvrir ou fermé manuellement en sa partie inférieure. Deux capteurs de températures LM35 sont fixés dans le tube en sa partie inférieure et en sa partie supérieure. Les capteurs sont reliés à l'interface sysam et un détecteur d'impesanteur identique à celui utilisé dans la manipulation de mesure de la vitesse du son permet de repérer l'absence de pesanteur en synchronisme avec les signaux délivrés par les capteurs de température.



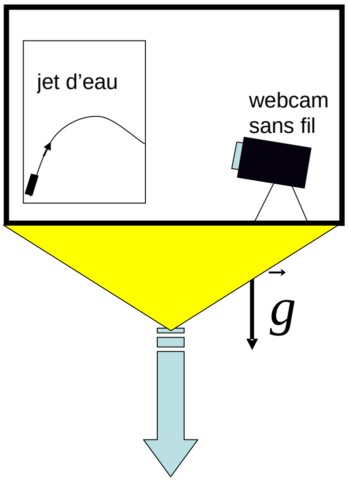
Le dispositif sur le rack CNES

La résistance chauffante est mise en marche au début de la pose en vol palier de 8 min. L'interface sysam enregistre les signaux. Le clapet est en position fermée. L'air chaud doit s'accumuler dans le couvercle et le capteur inférieur doit mesurer une température de 50°C environ alors que le capteur supérieur doit rester à la température ambiante de la cabine de l'avion.
Lorsque la phase de microgravité débute on ouvre le clapet puis on le referme juste avant la fin de cette phase. On recommence cette opération pour cinq paraboles. La température du capteur supérieur ne doit pas varier.
Malheureusement nous n'avons pas pu exploiter les courbes obtenues car elles étaient trop bruitées.

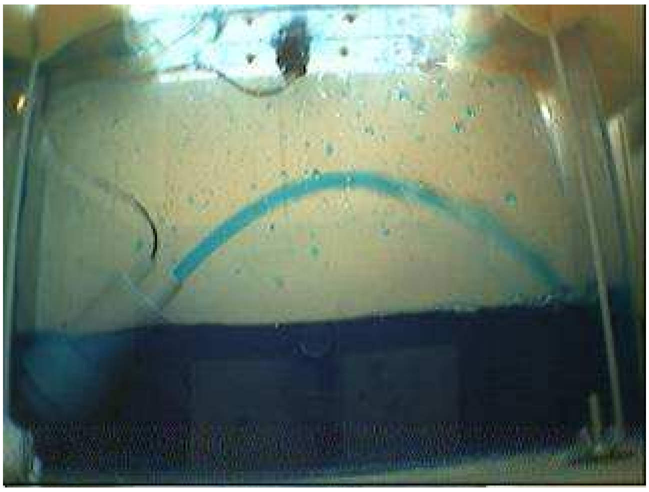
8) Visualisation d'un jet d'eau dans une boîte en chute libre.

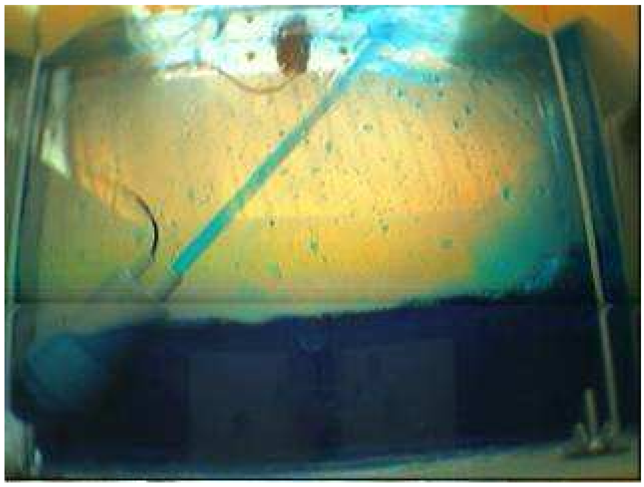
a) L'expérience de chute libre

Pour vérifier que les résultats obtenus dans l'avion « Zero G » peuvent être aussi obtenus dans un objet en chute libre, nous avons construit une boîte en carton contenant un petit aquarium avec une petite pompe réalisant un jet analogue à celui embarqué dans l'avion.
Nous avons placé sous la boîte un cône en polystyrène afin de diminuer les frottements dus à l'air.
Une petite caméra HF filme le jet d'eau. Lors de la fête de la science nous avons lâché la boîte d'une mezzanine de 3 m de haut. On observe l'image en direct sur un ordinateur.



Chute de la boîte lors de la fête de la science

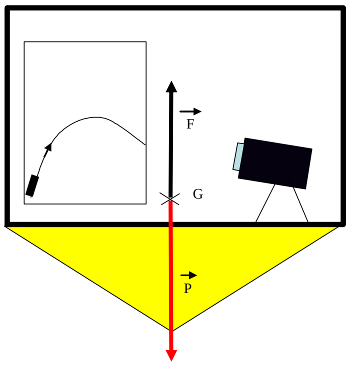




Jet d'eau sous pesanteur normale | Jet d'eau lors de la chute de la boîte

On observe que le jet d'eau parabolique sous gravité normale, devient rectiligne lorsque la boîte est en chute libre. On peut donc bien être en impesanteur au niveau du sol. Il suffit de sauter !

b) Vérification de l'état de chute libre



Les frottements de l'air sont, pour des vitesses faibles, proportionnels à la vitesse v de l'objet : F = k×v, où k est un facteur de proportionnalité qui dépend de la viscosité de l'air et de la forme de l'objet.
Dans le référentiel terrestre la seconde loi de Newton appliquée à l'objet en chute verticale soumis à son poids $\vec{P}$ et la force de frottement fluide $\vec{F}$ permet d'écrire :

$$\vec{P} + \vec{F} = m\overrightarrow{a_G}$$

On projette selon l'axe verticale Oy orienté vers le bas : m×g - k×v = m×a_G

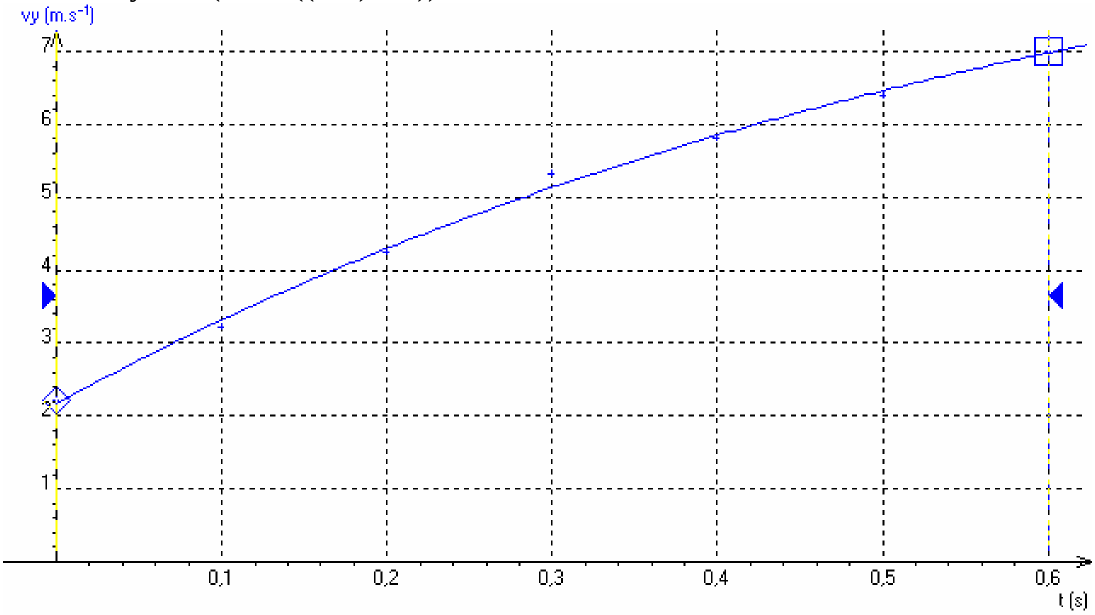
Donc $$\frac{dv}{dt} + \frac{k}{m}v = g$$

Cette équation différentielle a pour solution $v = V_{lim} \times (1 - e^{-(t/\tau)})$ où τ est la constante de temps égale à $\frac{m}{k}$

et v_{lim} est la vitesse limite atteinte au bout de 5τ environ. $v_{lim} = \frac{g.m}{k}$.

Pour vérifier que lors de notre expérience les forces de frottements sont négligeables, nous avons pointé les positions d'un des points de la boîte en chute verticale avec le logiciel Regavi. Puis nous transférons les données dans regressi. Nous modélisons la courbe donnant la vitesse verticale v_y en fonction du temps.

On modélise selon vy = a*(1 – e-((t-t1)/tau))



Ecart expérience-modèle 1,7 % sur vy(t)
a=10,0 ±2,9 $m.s^{-1}$
t1=(-154,00 ±58,00) 10^{-3} s
tau=(630 ±360) 10^{-3} s
La constante de temps tau = 0,630 s montre que notre boîte n'est pas rigoureusement en chute libre puisque notre chute dure environ 0,5 s, donc valeur proche de τ. Pour qu'on puise la considérer en chute libre il faudrait une durée de chute plus courte ou une constante de temps plus grande.
On pourrait augmenter la masse m ce qui serait dangereux pour les opérateurs, ou bien diminuer k c'est-à-dire les frottements en profilant d'avantage la boîte.

9) ***Conclusion***

Il est possible d’être en impesanteur au niveau du sol en réalisant une chute libre mais les frottements de l’air et la durée de la chute très courte font que les vols paraboliques qui offrent 22 s d’impesanteur par parabole sont irremplaçables et les satellites tels que l’ISS sont encore plus performants puisqu’ils permettent d’obtenir des années d’impesanteur.

10)Remerciements

Merci à nos partenaires :

Le CNES

Novespace

L'académie de Lyon qui nous attribua une subvention de 600 Euros

Le CNRS qui attribua une subvention de 300 Euros au club scientifique pour l’autre projet sur les hologrammes et qui, ainsi, nous a permis de bénéficier de crédits supplémentaires.

La fondation C'Génial qui nous attribua une subvention de 600 Euros

Ces subventions ont permis d'acheter le matériel nécessaire à la réalisation des expériences et de diminuer le coût du voyage aller-retour à Bordeaux qui est à la charge des élèves.

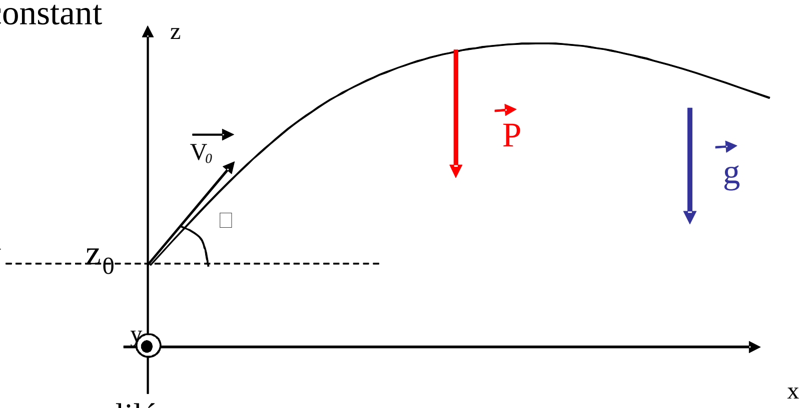
11) Annexe : mouvement d'un objet dans un champ de pesanteur constant

a Conditions d'étude

Le champ de pesanteur est constant
Pas de frottement

b Etude du mouvement

On lance un objet avec une vitesse initiale $\vec{V}_0$ faisant un angle α par rapport à l'horizontale



Référentiel : terrestre considéré comme galiléen
Système : la balle
Bilan des forces :

le poids $\vec{P}$ de module P = m.g

Deuxième loi de Newton

$\vec{P} = m.\vec{a_G}$ Où $\vec{a}_G$ est le vecteur accélération du centre d'inertie de la balle

$m.\vec{g} = m.\vec{a_G}$ donc $\vec{g} = \vec{a_G}$

Projetons sur le système d'axe Oxyz avec O le point où on lance la balle :
Choisissons t = 0 lorsqu'on lance la balle :

$\vec{a}_G \begin{cases} a_{Gx} = 0 \\ a_{Gy} = 0 \\ a_{Gz} = -g \end{cases}$ $\xrightarrow{\text{primitive}}$ $\begin{cases} v_{Gx} = C_1 \\ v_{Gy} = C_2 \\ v_{Gz} = -gt + C_3 \end{cases}$ or en t =0 $\begin{cases} v_{Gx0} = v_0.\cos(\alpha) \\ v_{Gy0} = 0 \\ v_{Gz0} = v_0.\sin(\alpha) \end{cases}$

donc $\vec{v}_G \begin{cases} v_{Gx} = v_0.\cos(\alpha) \\ v_{Gy} = 0 \\ v_{Gz} = -gt + v_0.\sin(\alpha) \end{cases}$

$\xrightarrow{\text{primitive}}$ $\begin{cases} x_G = v_0.\cos(\alpha).t + C_4 \\ y_G = C_5 \\ z_G = -\frac{1}{2}gt^2 + v_0.\sin(\alpha).t + C_6 \end{cases}$

or $x_G = y_G = 0$ et $z_G = z_0$ lorsque t = 0

donc $\vec{OG} \begin{cases} x_G = v_0.\cos(\alpha)\,t \\ y_G = 0 \\ z_G = -\frac{1}{2}gt^2 + v_0.\sin(\alpha).t + z_0 \end{cases}$ ⟵ Equations paramétriques ou équations du mouvement

sur Ox mouvement uniforme

sur Oz mouvement uniformément varié

Mouvement indépendant de la masse de la balle.

c Equation de la trajectoire

$$\overrightarrow{OG} \left| \begin{array}{l} x_G = v_0.\cos(\alpha)\, t \\ y_G = 0 \\ z_G = -\frac{1}{2} g t^2 + v_0.\sin(\alpha).t + z_0 \end{array} \right.$$

donc $t = \dfrac{x_G}{v_0.\cos(\alpha)}$

$$z_G = -\frac{1}{2} g \frac{x^2}{v_0^2.\cos^2(\alpha)} + v_0.\sin(\alpha).\frac{x}{v_0.\cos(\alpha)} + z_0$$

$$z_G = -\frac{1}{2} g \frac{x^2}{v_0^2.\cos^2(\alpha)} + \tan(\alpha).x + z_0$$

Equation d’une parabole