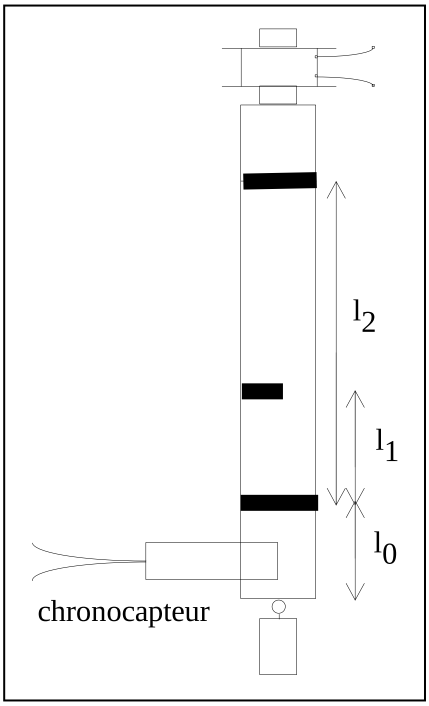
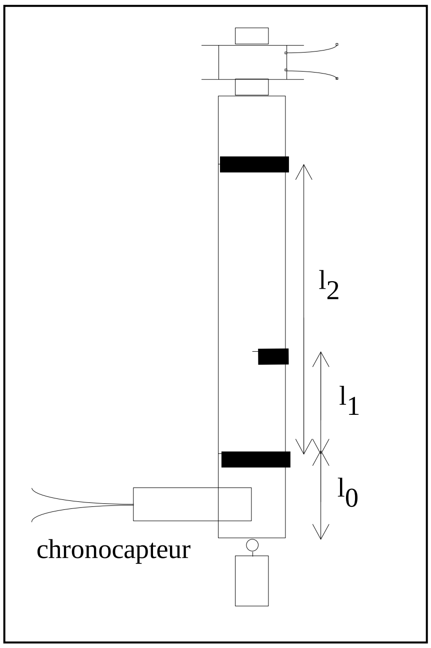
QUELQUES EXPERIENCES SUR LA MESURE DE G.

Première méthode.

Elle s'inspire de l'article de Zibukira MASUHUKO paru dans le BUP de Novembre 1998: une règle en PVC comportant trois repères (bandes de Scotch noir) est fixée à un électro-aimant (à l'aide d'un boulon évidemment). Pour que lors de la chute les frottements de l'air soient négligeables, il est bon d'alourdir la règle par une masse marquée de 200 g.



Première expérience: à l'ouverture du circuit de l'électro-aimant, la chute commence.
Le passage de la première bande noire devant le phototransistor (j'ai utilisé les chronocapteurs Jeulin, position départ du chronomètre sur "ouverture" du circuit, arrêt du chronomètre idem) déclenche le comptage, le passage de la deuxième bande noire stoppe le comptage. On obtient de la sorte la durée t_1 de la chute pour la hauteur de chute l_1.



Deuxième expérience: on retourne la règle, la durée t_2 correspond alors à la hauteur de chute l_2.
N.B. prévoir d'amortir le choc à l'arrivée de la règle au sol (cuvette + billes de polystyrène par ex…)

Valeurs choisies: règle en PVC de 1m de long, masse marquée 200 g, l_0 = 5 cm, l_1 = 20 cm, l_2 = 70 cm.

<u>Calcul:</u>

Supposons que la vitesse initiale soit la même (soit V_0) dans les deux expériences lorsque la première bande noire déclenche le chronomètre.

On a alors pour la hauteur de chute l_1:

$\frac{1}{2}gt_1^2 + V_0 t_1 = l_1$, soit: $\frac{1}{2}gt_1 + V_0 = \frac{l_1}{t_1}$ (on oriente positivement vers le bas)

de même: $\frac{1}{2}gt_2 + V_0 = \frac{l_2}{t_2}$

par soustraction, il vient:

$$\boxed{g = \frac{2\left(\frac{l_2}{t_2} - \frac{l_1}{t_1}\right)}{(t_2 - t_1)}}$$

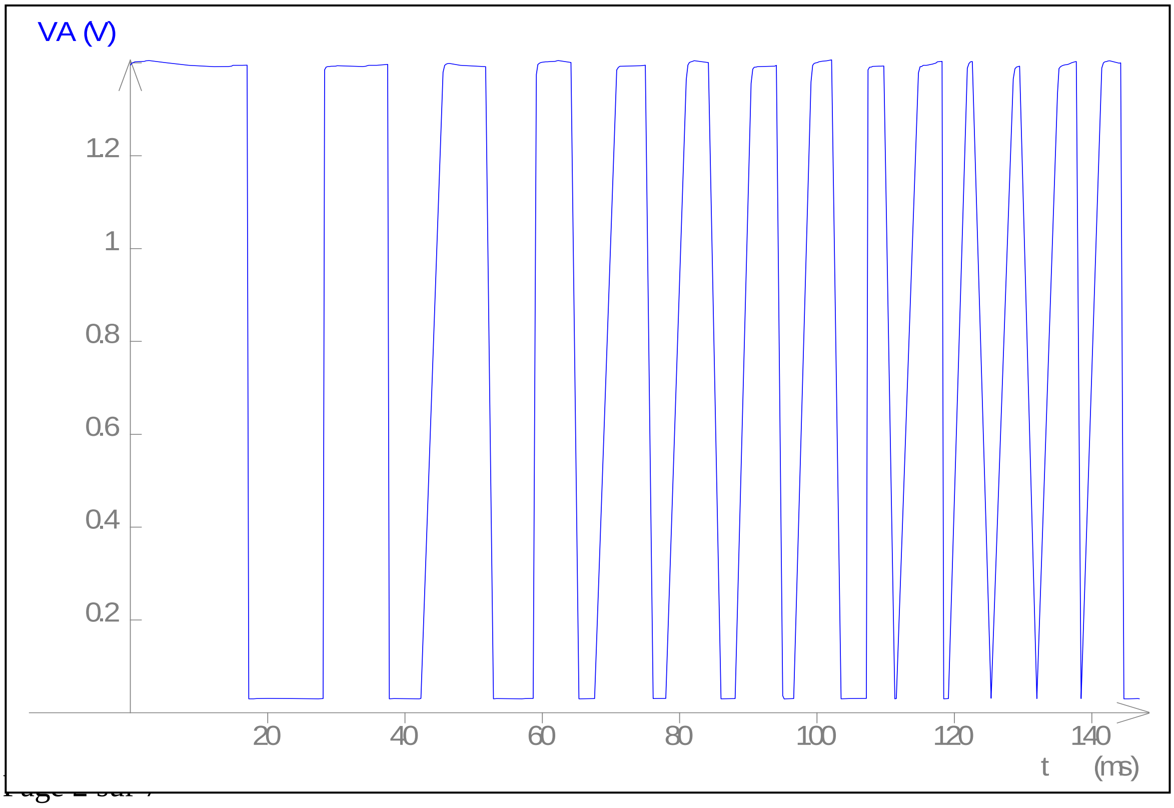
Résultats: pour les valeurs choisies, ils sont presque parfaitement reproductibles, on trouve en moyenne sur 10 mesures:

$t_1 = 0{,}125$ s, et $t_2 = 0{,}290$ s, soit $g = 9{,}86$ m.s^{-2}, c'est à dire $\frac{\Delta g}{g} \approx 0{,}5\%$

<u>Deuxième méthode.</u>

Le montage expérimental est le même, mais cette fois ci c'est une règle portant des bandes alternativement noires et transparentes qui tombe. Le photocapteur est donc alternativement occulté puis éclairé. On saisit les mesures sur une interface d'ordinateur (Orphy GTS)

Voici le graphe obtenu:



Les valeurs élevées de la tension correspondent à l'occultation, les valeurs basses au capteur dégagé.
Paramétrage de la saisie:
durée 150 ms, 400 mesures, synchro seuil montant à 50 mV

On affiche le tableau de valeurs:

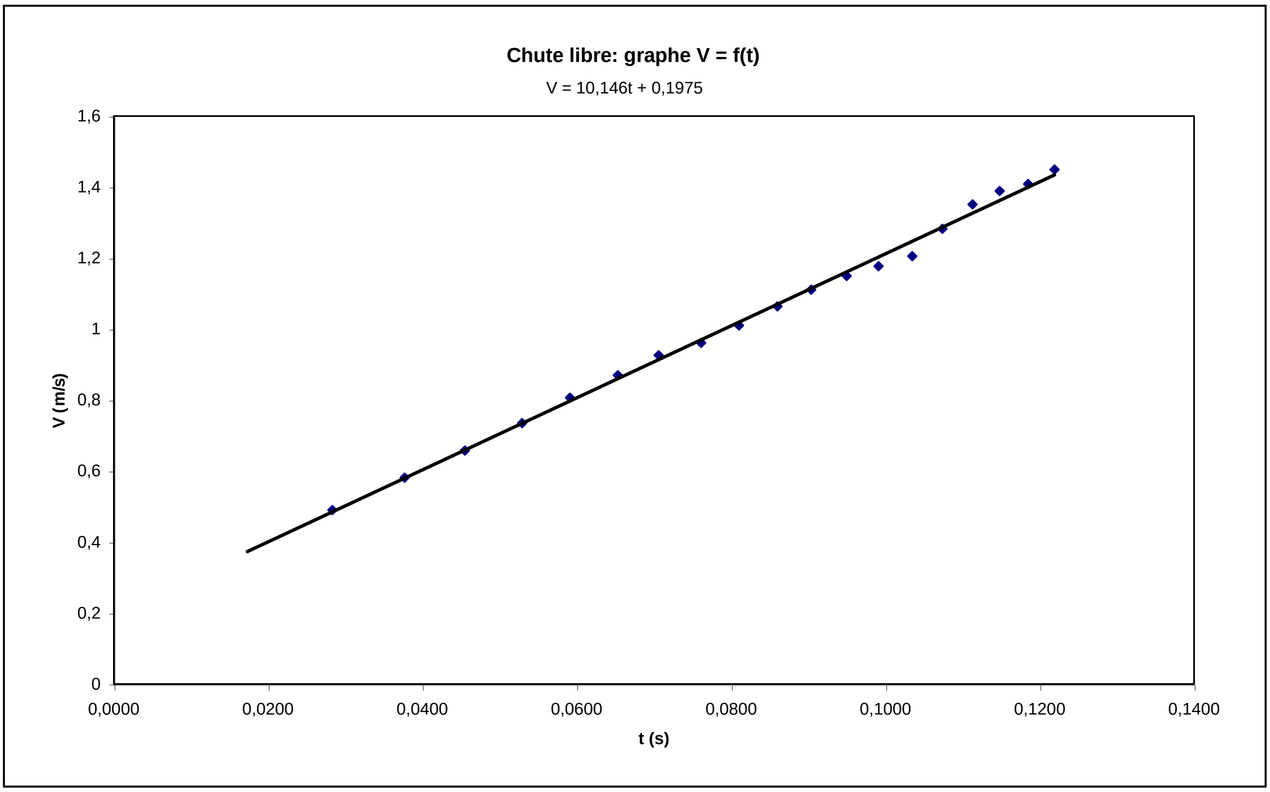
t (s)	V_A (V)	t (s)	V_A (V)	t (s)	V_A (V)	t (s)	V_A (V)
0,0000	1,3949	0,0570	0,0303	0,0994	1,3949	0,1357	1,3937
0,0002	1,3996	0,0575	0,0306	0,0996	1,3991	0,1359	1,3951
0,0005	1,4010	0,0587	0,0308	0,0998	1,4001	0,1362	1,3959
0,0007	1,4025	***0,0591***	***1,3749***	0,1001	1,4008	0,1364	1,3963
0,0016	1,4031	0,0593	1,3966	0,1003	1,4025	0,1366	1,3971
0,0021	1,4035	0,0596	1,3996	0,1007	1,4038	0,1369	1,3986
0,0023	1,4045	0,0598	1,4010	0,1014	1,4045	0,1371	1,4003
0,0028	1,4050	0,0600	1,4015	0,1021	1,4065	0,1373	1,4013
0,0051	1,4006	0,0605	1,4023	***0,1035***	***0,0303***	0,1375	1,4025
0,0085	1,3946	0,0607	1,4025	0,1047	0,0306	0,1378	1,4031
0,0122	1,3916	0,0612	1,4031	0,1072	0,0308	***0,1385***	***0,0306***
0,0143	1,3921	0,0619	1,4035	***0,1074***	***1,3852***	0,1415	1,3890
0,0147	1,3932	0,0621	1,4045	0,1076	1,3907	0,1417	1,3998
0,0150	1,3946	0,0623	1,4050	0,1079	1,3912	0,1419	1,4025
0,0163	1,3949	0,0642	1,4010	0,1081	1,3924	0,1421	1,4031
0,0170	1,3951	***0,0653***	***0,0301***	0,1086	1,3926	0,1424	1,4040
0,0173	***0,0301***	0,0656	0,0303	0,1090	1,3929	0,1426	1,4043
0,0179	0,0303	0,0676	0,0306	0,1093	1,3932	0,1440	1,3996
0,0184	0,0306	***0,0706***	***1,2913***	0,1097	1,3934	0,1442	1,4001
0,0200	0,0308	0,0708	1,3847	***0,1113***	***0,0303***	***0,1447***	***0,0301***
0,0237	0,0306	0,0711	1,3904	0,1116	0,0306	0,1454	0,0303
0,0274	0,0303	0,0713	1,3926	***0,1148***	***1,3788***	0,1467	0,0306
0,0281	0,0306	0,0720	1,3932	0,1150	1,3916	0,1470	0,0301
0,0283	***1,3852***	0,0743	1,3937	0,1152	1,3921		
0,0285	1,3909	0,0745	1,3941	0,1155	1,3946		
0,0288	1,3919	0,0748	1,3944	0,1159	1,3949		
0,0290	1,3921	0,0750	1,3951	0,1162	1,3956		
0,0292	1,3926	***0,0761***	***0,0306***	0,1164	1,3963		
0,0299	1,3932	0,0780	0,0308	0,1166	1,3968		
0,0301	1,3939	***0,0810***	***1,3640***	0,1168	1,3976		
0,0338	1,3921	0,0812	1,3956	0,1171	1,3986		
0,0343	1,3926	0,0814	1,4010	0,1173	1,3996		
0,0345	1,3937	0,0817	1,4023	0,1175	1,4025		
0,0347	1,3946	0,0819	1,4035	0,1182	1,4035		
0,0359	1,3949	0,0821	1,4048	***0,1185***	***0,0301***		
0,0363	1,3956	0,0842	1,4008	0,1191	0,0306		
0,0375	1,3968	***0,0860***	***0,0303***	***0,1219***	***1,3887***		
0,0377	***0,0301***	0,0881	0,0306	0,1221	1,3991		

0,0384	0,0306	***0,0904***	***1,3556***	0,1224	1,4025
0,0421	0,0303	0,0906	1,3867	0,1226	1,4031
0,0423	0,0308	0,0909	1,3907	***0,1254***	***0,0313***
0,0455	***1,3798***	0,0911	1,3912	0,1286	1,3652
0,0458	1,3946	0,0913	1,3916	0,1288	1,3872
0,0460	1,3976	0,0938	1,3932	0,1290	1,3912
0,0462	1,3986	0,0941	1,3946	0,1293	1,3921
0,0465	1,3991	***0,0950***	***0,0367***	0,1295	1,3932
0,0481	1,3946	0,0952	0,0298	***0,1320***	***0,0306***
0,0518	1,3916	0,0955	0,0303	0,1350	1,3348
0,0529	***0,0301***	0,0966	0,0306	0,1352	1,3877
0,0534	0,0306	***0,0991***	***1,3591***	0,1355	1,3916

Le jeu consiste désormais à repérer les dates de basculement (en ***gras italique***) correspondant aux dates où le capteur est soit masqué, soit démasqué. Les graduations de la réglette sont espacées de 5 mm, il y a donc 1 cm entre deux basculements du capteur, on obtient alors:

h (m)	t	dt	V (m/s)
0	0,0173		
0,005	0,0283	0,0204	0,4902
0,01	0,0377	0,0172	0,5814
0,015	0,0455	0,0152	0,6579
0,02	0,0529	0,0136	0,7353
0,025	0,0591	0,0124	0,8065
0,03	0,0653	0,0115	0,8696
0,035	0,0706	0,0108	0,9259
0,04	0,0761	0,0104	0,9615
0,045	0,0810	0,0099	1,0101
0,05	0,0860	0,0094	1,0638
0,055	0,0904	0,009	1,1111
0,06	0,0950	0,0087	1,1494
0,065	0,0991	0,0085	1,1765
0,07	0,1035	0,0083	1,2048
0,075	0,1074	0,0078	1,2821
0,08	0,1113	0,0074	1,3514
0,085	0,1148	0,0072	1,3889
0,09	0,1185	0,0071	1,4085
0,095	0,1219	0,0069	1,4493
0,1	0,1254	0,0101	0,9901
0,105	0,1320	0,0131	0,7634
0,11	0,1385	0,0095	1,0526
0,115	0,1415	0,0062	1,6129
0,12	0,1447		

Le calcul est classique: à la date t_n, on a $dt_n = (t_{n+1} - t_{n-1})$, et $V_n = 10^{-2}/dt_n$
On remarque une erreur sur les dernières mesures de V (probablement due à la vitesse d'échantillonnage de l'interface, qui lorsque les phénomènes sont trop rapides introduit des erreurs).



Donc ici, g = 10,15 m.s^{-2}, soit $\frac{\Delta g}{g} \approx 3{,}5\%$

Remarque 1: les mesures de g donnent presque toujours un résultat approché par excès, comme si la masse tombait un peu plus vite qu'elle ne le devrait, alors que les frottements devraient logiquement mener à des résultats erronés par défaut… J'ignore pourquoi !

Remarque 2: la même expérience, mais saisie sur oscillo numérique, puis enregistrée à l'aide de l'interface IMP 908, enfin traitée de la même manière conduit à g = 9,84 m.s^{-2} soit $\frac{\Delta g}{g} \approx 0{,}3\%$, c'est donc bien la vitesse d'échantillonnage de Orphy qui limite la précision du travail !

Troisième méthode.

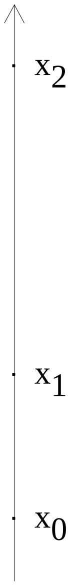
On tire verticalement une bille avec une valeur de vitesse initiale V_0. On mesure les intervalles de temps séparant les passages successifs en face de deux repères distants de L. on en déduit g.

Calcul:

L'équation du mouvement s'écrit dans le repère Ox vertical dirigé vers le haut:

$$x = -\frac{1}{2}gt^2 + V_0 t + x_0$$

pour le passage en x_1, on a:



$$x_1 - x_0 = -\frac{1}{2} g t^2 + V_0 t$$

Cette équation du second degré admet deux racines t_1 et t'_1 dont la différence est T_1, avec les notations usuelles, on a: $T_1 = t'_1 - t_1 = \frac{2\sqrt{\Delta_1}}{g}$, Δ_1 est le discriminant et vaut: $\Delta_1 = V_0^2 + 2g(x_0 - x_1)$

L'intervalle de temps séparant les deux passages successifs à l'altitude x_1 est T_1.
On trouve de même T_2: $T_2 = \frac{2\sqrt{\Delta_2}}{g}$, avec $T_1 > T_2$

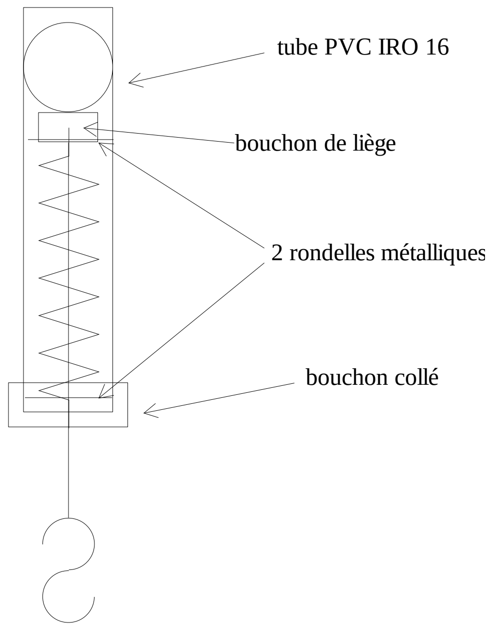
Calculons $T_1^2 - T_2^2 = \frac{4(\Delta_1 - \Delta_2)}{g^2}$

$T_1^2 - T_2^2 = \frac{4[2g(x_2 - x_1)]}{g^2}$, en définitive, on trouve en notant L la distance x_2-x_1

.

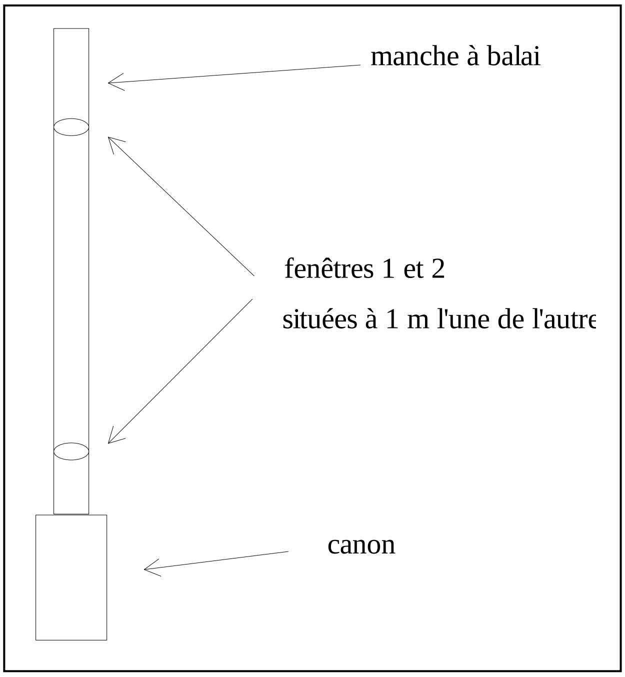
$$\boxed{g = \frac{8L}{T_1^2 - T_2^2}}$$

Réalisation pratique:
Il est impossible de tirer simplement une bille verticalement, la précision de l'alignement vertical est insuffisante et la bille ne repasse jamais dans la fourchette du capteur optique, il faut la guider.



Le "canon à bille"

Donc: "emprunter" le balai de l'agent de service (avec les ménagements d'usage), et percer deux trous de ∅ 12 mm situés à exactement L = 1 m l'un de l'autre. L'installer verticalement (alignement très soigneux au niveau à bulle), puis réaliser un canon à bille. Faute de lanceur de flipper, j'ai pris un tube PVC pour installations électriques, muni d'un bouchon percé pour le passage de la tige, d'une tige filetée et d'un gros ressort. Fixer le bouchon dans le bas du tube à l'Araldite, installer la tige filetée munie d'un crochet à son extrémité, bloquer une rondelle en haut de la tige fileté à l'aide de deux écrous. L'écrou du haut sur lequel viendra reposer la bille est alors recouvert d'un "chapeau" en liège (pour que le contact avec la bille se fasse sur une large surface)



On installe l'ensemble du dispositif, on met les capteurs optiques reliés aux chronomètres devant les fenêtres.

Reste à effectuer les tirs et les mesures.

C'est parfois délicat, il arrive que la bille ne parte pas droit et que les frottements soient trop importants. Il faut répéter plusieurs fois les mesures et éliminer les résultats aberrants.

Voici quelques résultats.

T_1	1,042	1,175	1,090	0,925	0,961	1,315	0,929	1,149	0,903	0,912
T_2	0,507	0,768	0,581	0,188	0,350	0,904	0,240	0,671	0,109	0,147
g	9,65	10,12	9,41	9,75	9,99	8,77	9,93	9,20	9,96	9,87

T_1	1,136	0,975	0,953	1,153	1,031	1,117	1,176	0,967	0,984	1,177
T_2	0,655	0,423	0,315	0,682	0,500	0,645	0,719	0,392	0,393	0,751
g	9,29	10,37	9,89	9,26	9,84	9,62	9,24	10,24	9,83	9,74

Valeur moyenne de g = 9,70 m.s^{-2}, soit $\frac{\Delta g}{g} \approx 1\%$

On constate que cette fois ci l'effet des frottements de la bille sur le manche à balai est visible.