

UNE AUTRE BASE DE LA MECANIQUE ...

... LE PENDULE PESANT

Donnons à un pendule fictif, un mouvement oscillatoire amorti.

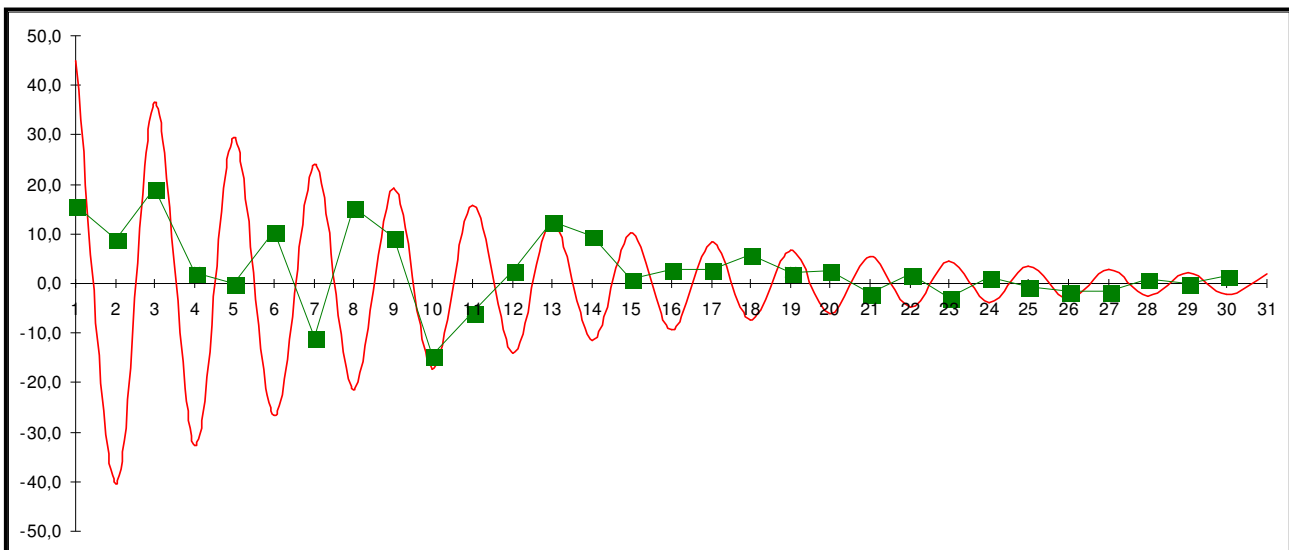
Angle de départ = 45°

Amortissement = 10% par demi-période

On prend une "photo" aléatoirement du pendule à chaque demi-période et on relève les positions du pendule à ces instants (carrés verts sur le graphique).

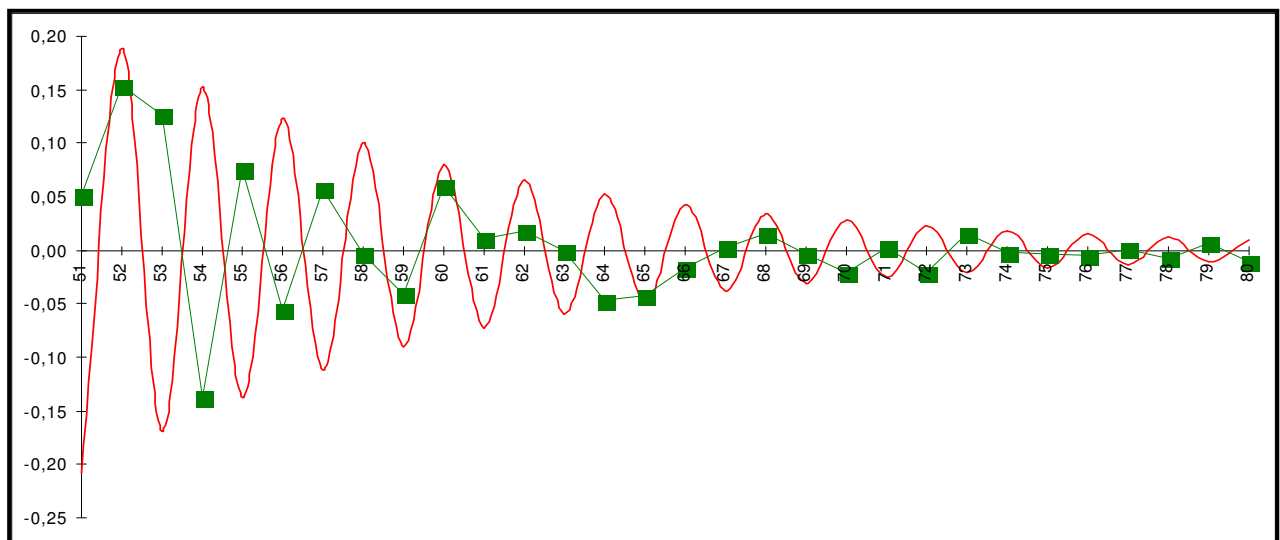
Amortissement	10%
Amplitude à T0	45

OSC	Amplitude		Flash	Mouvement		Oscillations
	-45	45		-45	45	
						45,0
1	-40,5	40,5	15,8	-40,5		-40,5
2	-36,5	36,5	9,0		36,5	36,5
3	-32,8	32,8	19,3	-32,8		-32,8
4	-29,5	29,5	2,3		29,5	29,5
5	-26,6	26,6	0,0	-26,6		-26,6
6	-23,9	23,9	10,6		23,9	23,9
7	-21,5	21,5	-10,9	-21,5		-21,5
8	-19,4	19,4	15,3		19,4	19,4
9	-17,4	17,4	9,2	-17,4		-17,4
10	-15,7	15,7	-14,6		15,7	15,7
11	-14,1	14,1	-5,9	-14,1		-14,1
12	-12,7	12,7	2,5		12,7	12,7
13	-11,4	11,4	12,6	-11,4		-11,4
14	-10,3	10,3	9,5		10,3	10,3
15	-9,3	9,3	1,1	-9,3		-9,3
16	-8,3	8,3	2,7		8,3	8,3
17	-7,5	7,5	3,0	-7,5		-7,5
18	-6,8	6,8	5,8		6,8	6,8
19	-6,1	6,1	2,4	-6,1		-6,1
20	-5,5	5,5	2,4		5,5	5,5



Suite

51	-0,2	0,2	0,05	-0,2		-0,2
52	-0,2	0,2	0,15		0,2	0,2
53	-0,2	0,2	0,13	-0,2		-0,2
54	-0,2	0,2	-0,14		0,2	0,2
55	-0,1	0,1	0,08	-0,1		-0,1
56	-0,1	0,1	-0,05		0,1	0,1
57	-0,1	0,1	0,06	-0,1		-0,1
58	-0,1	0,1	0,00		0,1	0,1
59	-0,1	0,1	-0,04	-0,1		-0,1
60	-0,1	0,1	0,06		0,1	0,1
61	-0,1	0,1	0,01	-0,1		-0,1
62	-0,1	0,1	0,02		0,1	0,1
63	-0,1	0,1	0,00	-0,1		-0,1
64	-0,1	0,1	-0,05		0,1	0,1
65	0,0	0,0	-0,04	0,0		0,0
66	0,0	0,0	-0,02		0,0	0,0
67	0,0	0,0	0,00	0,0		0,0
68	0,0	0,0	0,02		0,0	0,0
69	0,0	0,0	0,00	0,0		0,0
70	0,0	0,0	-0,02		0,0	0,0



On répète la manipulation 1000 fois (TEA), on note la position du pendule à chaque oscillation. Nous nous attarderons surtout sur les oscillations relevées suivantes :

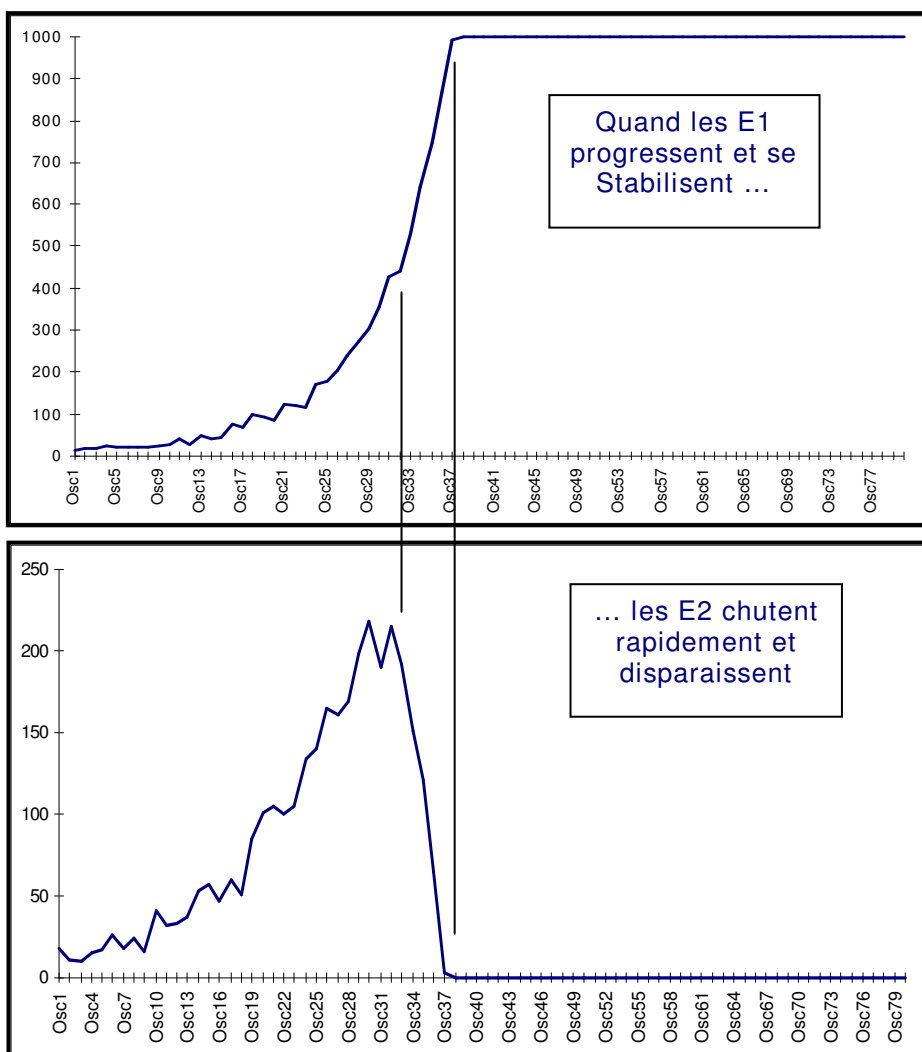
Relevés	1	7	14	21	28	35									
Amort	10%														
Angle °	45														
	90 °	45 °												22 °	
TEA	Osc1	Osc2	Osc3	Osc4	Osc5	Osc6	Osc7	Osc8	Osc9	Osc10	Osc11	Osc12	Osc13	Osc14	
1	-21	13	-29	20	-16	15	1	-16	11	6	-13	5	-11	9	
2	30	-39	-9	7	27	-5	23	-3	7	12	5	7	-6	10	
3	16	18	31	-14	-4	-9	2	-20	9	-9	-4	-11	-2	-6	
4	36	-31	5	21	-1	-13	3	-7	-11	-2	-3	-1	-3	-6	
5	14	-11	-11	20	-7	-6	21	13	19	-5	-7	-1	-5	1	
6	-1	27	-26	3	-6	-16	-5	16	7	1	13	-4	6	-2	
7	-39	-37	-29	21	18	21	15	5	2	-11	-3	1	12	-9	
8	14	-21	-22	-14	0	3	21	3	4	-4	8	8	-2	-9	
9	41	32	-19	1	-18	13	14	-9	18	-15	0	6	3	-9	
10	30	31	-32	3	29	2	-14	-20	18	-10	5	1	-8	9	
11	15	30	24	2	-4	-3	9	-6	-6	1	-10	-10	-5	6	
12	18	-25	33	24	-3	20	24	-20	-7	14	13	2	-6	9	
13	20	32	30	2	-25	12	2	-16	-13	-16	2	-10	6	-4	
14	44	-8	-14	14	4	-17	17	-21	-3	13	-10	9	6	-6	
15	1	-35	-1	24	-21	10	-17	6	16	-4	-5	1	3	8	
16	34	28	2	-29	18	-24	23	11	-11	-13	-8	-12	-3	-3	
17	34	19	-12	-10	-17	4	-3	-18	10	-10	7	-10	-9	-2	
18	19	-38	27	13	7	-11	22	-13	-13	1	10	-5	-10	8	
19	-22	-32	-2	-18	26	9	-6	-11	0	12	0	-6	5	-11	
20	4	26	-19	-16	8	-7	-9	14	-15	-1	-6	3	-4	3	

On compte les écarts E1 : Mêmes positions du pendule au cours de la même oscillation et pour 2 expériences de suite.

E1	12	16	17	23	20	21	22	178	205	239	273	305	355	427	441	530	640	747
TEA	Osc1	Osc2	Osc3	Osc4	Osc5	Osc6	Osc7	Osc25	Osc26	Osc27	Osc28	Osc29	Osc30	Osc31	Osc32	Osc33	Osc34	Osc35
1	-21	12	-30	19	-16	14	1	0	0	0	0	0	0	-2	0	-2	0	0
2																		
3										1							1	1
4															1			1
5													1	1				1
6					1					1			1	1	1	1	1	1
7										1			1	1				1
8												1	1	1				1
9									1	1			1	1		1	1	1
10									1				1	1		1	1	1
11			1										1	1			1	1
12									1				1	1		1	1	1
13													1	1		1	1	1
14										1		1	1	1		1	1	1
15												1	1	1		1	1	1
16											1	1	1	1		1	1	1
17	1									1	1	1	1	1		1	1	1
18									1	1		1	1	1		1	1	1
19									1	1	1	1	1	1		1	1	1
20									1	1	1	1	1	1		1	1	1
21									1	1	1	1	1	1		1	1	1
22								1		1	1	1	1	1		1	1	1
23								1		1	1	1	1	1		1	1	1
24								1		1	1	1	1	1		1	1	1
25					1			1		1	1	1	1	1		1	1	1
26							1			1	1	1	1	1		1	1	1
27										1	1	1	1	1		1	1	1
28										1	1	1	1	1		1	1	1
29										1	1	1	1	1		1	1	1
30										1	1	1	1	1		1	1	1

Les écarts E1 progressent rapidement. Plus les oscillations sont petites, plus les E1 sont nombreux, Ils augmentent jusqu'à à l'arrêt du pendule. Le système est alors totalement stabilisé en position d'équilibre, à l'angle 0°, on a plus que des écarts E1.

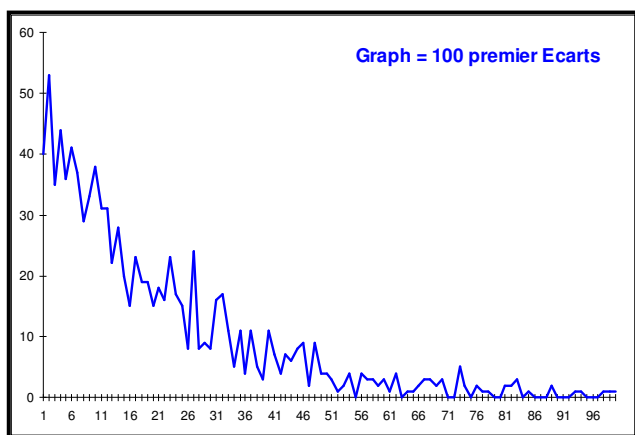
Comme dans tout système stabilisé, les autres écarts, E2, E3, ... disparaissent après avoir existé selon la Loi E. Exemple avec les écarts E2



COMPARAISONS DES courbes des Ecartés à différentes oscillations.

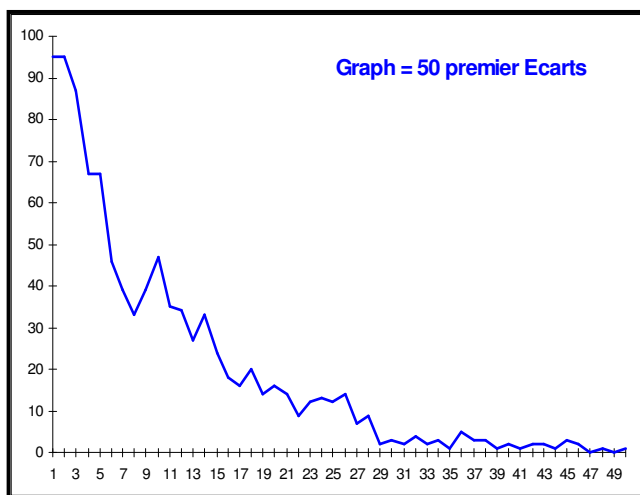
Oscillation 14 : Amplitude totale d'environ 22°

Ecartés	Angle										Tot													
	-12	-11	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3														
1	1	3	0	3	1	2	1	3	1	1	3	0	3	2	1	0	3	2	2	4	3	1	0	40
2	2	1	2	4	3	5	2	1	2	1	5	0	3	4	2	2	3	1	2	3	1	4	0	53
3	0	1	3	2	2	1	2	0	2	4	4	0	1	0	0	1	2	2	1	3	3	1	0	35
4	1	0	0	1	0	5	2	0	3	0	3	1	3	0	3	3	1	7	6	3	0	2	0	44
5	0	5	0	4	0	4	3	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	3	3	4	4	1	0	36
6	0	1	2	3	2	1	0	0	2	2	2	3	2	2	0	1	3	5	2	2	3	2	1	41
7	1	2	1	1	4	1	3	0	1	4	1	3	0	1	3	2	3	1	1	2	1	1	0	37
8	0	1	1	2	1	1	0	1	2	4	2	0	0	3	0	1	0	3	3	2	0	2	0	29
9	0	0	1	2	1	3	1	0	4	1	0	3	2	1	2	0	2	1	1	2	1	3	2	33
10	0	5	3	1	0	1	5	1	0	4	2	1	0	1	1	2	2	3	2	0	0	4	0	38
11	1	0	1	3	2	1	0	0	0	2	4	0	1	2	1	1	3	3	2	3	0	1	0	31
12	2	1	1	1	0	1	2	1	0	1	2	2	4	0	1	3	1	1	1	3	2	1	0	31
13	0	0	1	1	0	1	1	1	3	2	1	0	0	0	3	0	2	3	1	0	1	1	0	22
14	0	0	1	1	0	2	3	0	4	2	1	1	0	1	1	1	1	2	1	1	4	1	0	28
15	0	1	1	2	0	0	1	0	0	1	0	1	2	4	1	0	0	0	1	3	1	1	0	20
16	0	0	2	2	0	3	1	0	1	0	0	0	0	2	0	1	0	1	2	0	0	0	0	15
17	0	2	1	0	0	0	0	1	3	0	2	0	4	2	2	0	2	3	0	0	0	1	0	23
18	0	1	1	2	0	2	1	1	2	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	19
19	0	2	3	2	2	0	0	1	0	0	3	2	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	19
20	0	3	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	3	2	1	0	15



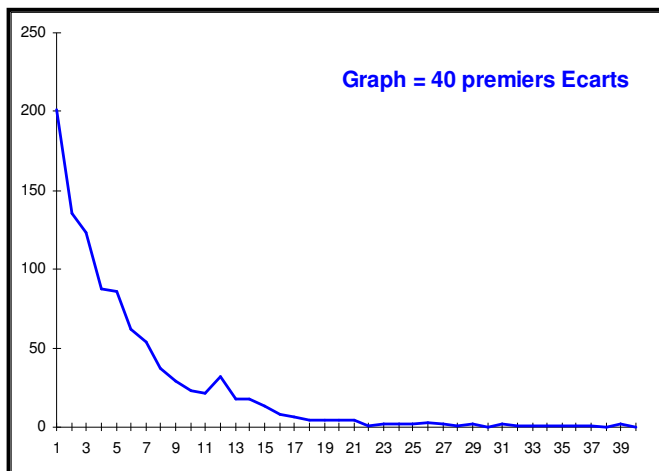
Oscillation 21 : Amplitude totale d'environ 11°

Ecartés	-5	-4	-3	-2	-1	1	2	3	4	5	Tot	
1	11	10	10	10	14	9	6	11	4	7	3	95
2	7	8	7	12	16	12	5	9	9	8	2	95
3	5	10	12	3	8	11	7	14	9	7	1	87
4	3	5	3	7	5	12	4	8	13	5	2	67
5	4	6	10	9	9	6	4	5	7	5	2	67
6	1	5	6	6	5	3	4	6	2	6	2	46
7	2	3	5	2	3	8	2	5	2	5	2	39
8	2	5	4	5	5	2	1	2	4	3		33
9	5	1	3	6	4	2	3	6	4	4	1	39
10	3	4	7	6	2	5	7	3	5	3	2	47
11	4	4	4	5	6	3	3	1	6	1	2	35
12	5	2	3	3	3	5	5	3	2	1	2	34
13	1		3	3	1	6		4	4	4	1	27
14	6	7	4	3	2		1	3	1	4	2	33
15	3	1	1	2	4	2	4	2	3	1	1	24
16	1	1	1	5	2	3	1	3				18
17	2		1	1	2	2	3	1	1		3	16
18	2	2	1	2	2	1	1	3	2	2	2	20
19	3	1	2	1	3		1	1	1			14
20	1	1	2	1	1	1	1	2	2	3	1	16

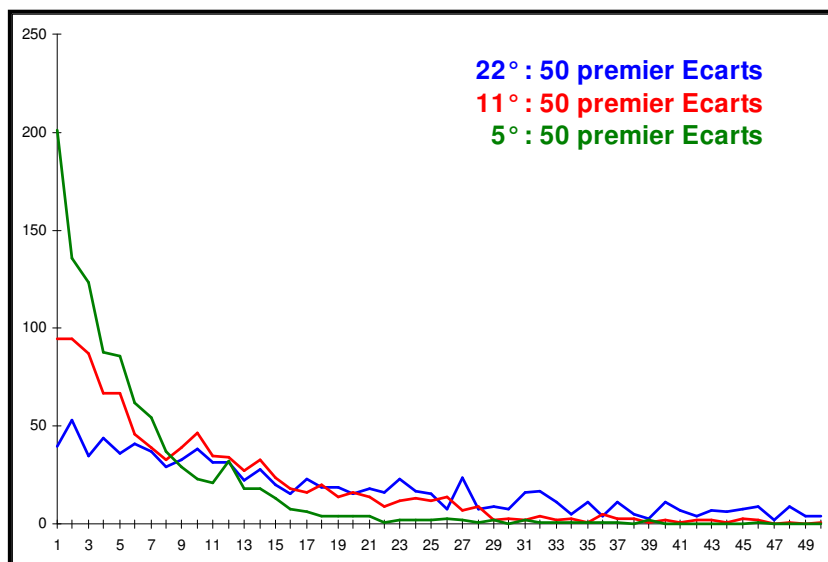


Oscillation 28 : Amplitude totale d'environ 5°

Ecart	-3	-2	-1	0	1	2	Tot
1	10	39	48	46	51	7	201
2	8	23	29	35	41	0	136
3	13	20	24	28	32	6	123
4	11	23	19	22	11	2	88
5	6	14	19	18	24	5	86
6	13	8	12	14	11	4	62
7	10	10	12	10	6	6	54
8	7	5	6	7	10	2	37
9	3	8	4	5	6	3	29
10	2	8	3	2	8	0	23
11	3	6	5	3	2	2	21
12	4	10	5	6	4	3	32
13	3	4	1	3	5	2	18
14	3	0	6	5	0	4	18
15	3	1	3	1	1	4	13
16	3	2	2	0	1	0	8
17	2	0	1	1	2	0	6
18	1	1	1	0	1	0	4
19	0	0	0	1	1	2	4
20	1	0	0	2	0	1	4



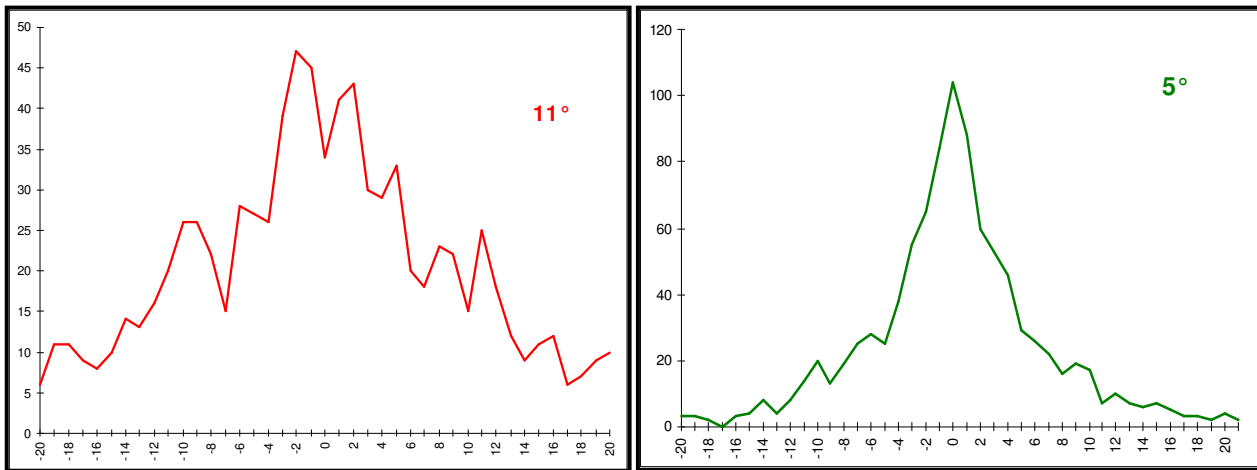
Comparaison entre les 3 courbes



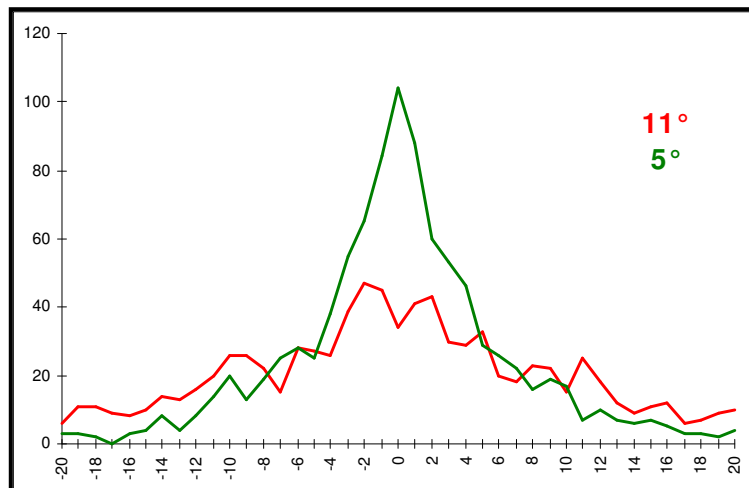
Nous retrouvons le profil caractéristique de la Loi E pour différents rapport n / N :

- 1 / 22 : petit rapport (4.54%), courbe presque plate – Ecart critique élevé
- 1 / 11 : rapport moyen (9,1%), courbe descendante régulière – Ecart critique moyen
- 1 / 5 : rapport grand (20%), courbe abrupte – Ecart critique petit

Comparaison entre les courbes des Différences d'Ecarts



Les 2 sur le même graphique



La courbe des DifEcarts (DE) est toujours fidèle au principe révélé. De plus en plus centrée sur 0 que les rapports n / N grandissent, avec toujours plus de "jamais 2 sans 3".

Ici, le rapport n / N est le rapport **1 instant (photo) / N° d'amplitude** de l'oscillation considérée

**Pour le pendule arrêté sur sa position d'équilibre 0° ,
il ne reste que des Ecarts E1 et donc, que des DE = 0**

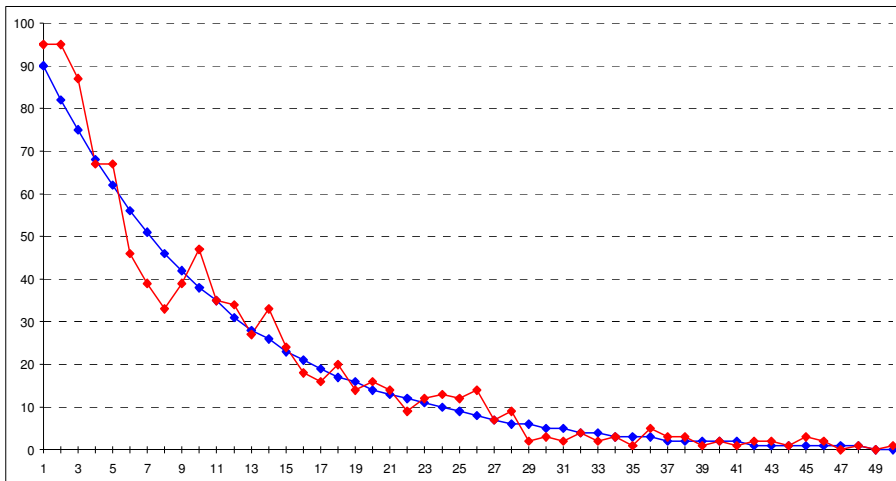
COMPARAISON DE LA Loi E avec la simulation : Amplitude 11°

Pendule Pesant

n (photo)	1		
N°	11		
T Exp.	1000		-1,30%
Coef	0,90909		-13
a	Calcul E(a) Courbe bleue	E(a) Réel Courbe Rouge	Erreur et Total Erreur

$$E_{(a)} = T n^2 / N \cdot (1 - n/N)^{(a-1)}$$

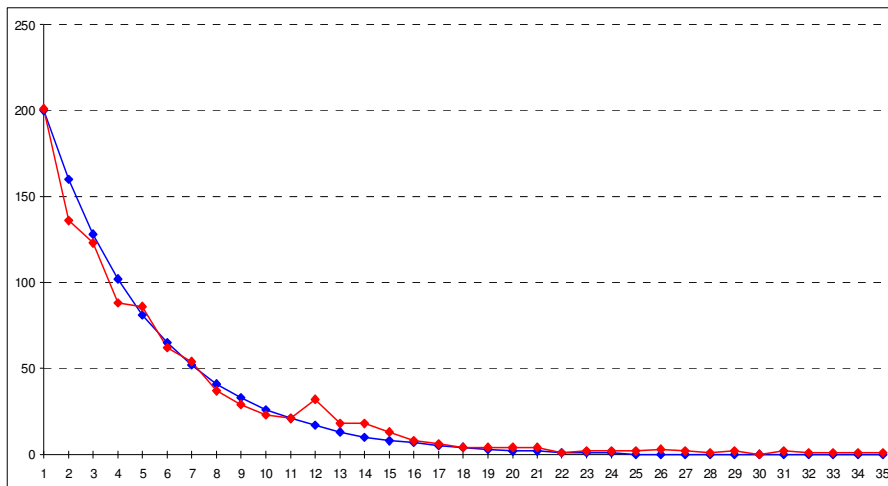
1	90	95	-5
2	82	95	-13
3	75	87	-12
4	68	67	1
5	62	67	-5
6	56	46	10
7	51	39	12
8	46	33	13
9	42	39	3
10	38	47	-9
11	35	35	
12	31	34	-1
13	28	27	1
14	26	33	-7
15	23	24	-1
16	21	18	3
17	19	16	3
18	17	20	-3
19	16	14	2
20	14	16	-2
21	13	14	-1
22	12	9	3
23	11	12	-1
24	10	13	-3
25	9	12	-3
26	8	14	-6
27	7	7	
28	6	9	-3
29	6	2	4
30	5	3	2
31	5	2	3
32	4	4	
33	4	2	2
34	3	3	
35	3	1	2
36	3	5	
37	2	3	
38	2	3	
39	2	1	
40	2	2	
41	2	1	
42	1	2	
43	1	2	
44	1	1	
45	1	3	
46	1	2	
47	1		
48	1	1	
49			
50		1	



COMPARAISON DE LA Loi E avec la simulation : Amplitude 5°

Pendule Pesant			
n (photo)	1		
N°	5		
T Exp.	1000		-0,90%
Coef	0,8		-9
a	Calcul E(a) Courbe bleue	E(a) Réel Courbe Rouge	Erreur et Total Erreur
1	200	201	-1
2	160	136	24
3	128	123	5
4	102	88	14
5	81	86	-5
6	65	62	3
7	52	54	-2
8	41	37	4
9	33	29	4
10	26	23	3
11	21	21	
12	17	32	-15
13	13	18	-5
14	10	18	-8
15	8	13	-5
16	7	8	-1
17	5	6	-1
18	4	4	
19	3	4	-1
20	2	4	-2
21	2	4	-2
22	1	1	
23	1	2	-1
24	1	2	-1
25		2	-2
26		3	-3
27		2	-2
28		1	-1
29		2	-2
30			
31		2	-2
32		1	-1
33		1	-1
34		1	-1
35		1	-1
36		1	
37		1	
38			
39		2	
40			

$$E(a) = T n^2 / N \cdot (1 - n/N)^{(a-1)}$$



Les courbes sont très proches l'une de l'autre.

Il est évident que les mesures aléatoires effectuées peuvent s'estimer ou "se simuler" d'avance par le calcul.

Une nouvelle fois, il faut insister sur le fait qu'appliquer des critères particuliers à cette expérience, comme des temps en seconde, et des prises de photos à intervalles réguliers, reproduirait le mouvement du pendule.

Cela permet de ré-affirmer

que les Lois de la physique ou de la Mécanique

sont des cas particuliers

des LOIS DU CHAOS présentées dans ce long exposé.

