

Willem van Dreumel

Traduction : Jean-Louis Mehren

Newton a rendez-vous avec l'électronique

36 expériences de physique avec Arduino

pour la maison et l'école

Téléchargement du code présenté dans ce livre :

www.elektor.fr/livres-arduino



Copyright © 2016 – Publitronic - Elektor International Media

Conformément au droit d'auteur, ce copyright ne s'applique pas à certains schémas reproduits dans ce livre à titre de citation et d'illustration des propos et de la démarche intellectuelle de l'auteur, avec l'aimable autorisation des ayants-droit.

Toute reproduction ou copie, même partielle, de ce livre, sans l'accord écrit de l'éditeur, est interdite.

No part of this book may be reproduced, in any form or means whatsoever, without permission in writing from the publisher. While every precaution has been taken in the preparation of this book, the publisher and author assume no responsibility for errors or omissions. Neither is any liability assumed for damages resulting from the use of the information contained herein.

La protection du droit d'auteur s'étend non seulement au contenu mais également aux illustrations, y compris aux circuits imprimés et aux projets y relatifs. En conformité avec l'article 30 de la Loi sur les brevets, les circuits mentionnés ne peuvent être exécutés qu'à des fins particulières ou scientifiques et non pas dans ou pour une entreprise ; **ces exécutions et/ou applications se font en dehors de toute responsabilité de l'éditeur.**

En application de la loi du 11 mars 1957, toute reproduction ou copie de ce livre, même partielle et sur quelque support que ce soit, sans l'accord écrit de l'éditeur, est interdite.

Le code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit.

L'éditeur remercie d'avance le lecteur qui prendra la peine de lui signaler les erreurs éventuelles qui auront échappé à sa vigilance (écrire à webmaster@elektor.fr).

1^{ère} édition, 1^{er} tirage

Mise en page : Mariline THIEBAUT-BRODIER
Coordination : Denis MEYER
Imprimé aux Pays-Bas par Wilco (06/2016)

ISBN : 978-2-86661-203-0

Sommaire

Introduction	5	14. Température	48
1. Enregistrement de données avec Arduino	7	<i>Dispositif de mesure</i>	48
2. Mesures de temps précises avec Arduino	11	15. Chaleur : refroidissement	54
3. Mesures de distance avec Arduino	13	16. Chaleur : absorption	56
4. Gravité	14	<i>Énergie solaire</i>	57
5. Courants de Foucault	18	17. Lumière	58
6. Mouvement uniforme (machine d'Atwood)	20	18. Stroboscope	59
7. Plan incliné.	23	19. Zootrope numérique	61
8. Frottement	24	20. Figures de Lissajous	65
9. Vitesse et accélération	30	21. Lumière concentrée	67
<i>Bonnes affaires</i>	33	<i>Plateau rotatif</i>	67
10. Mouvement oscillatoire	35	<i>Réflexions parallèles</i>	68
<i>D'autres pendules</i>	38	<i>Indice de réfraction</i>	70
11. Oscillations forcées	41	22. Couleur	71
12. Système masse-ressort	42	<i>Disque de Newton</i>	74
13. Balistique	45	23. Température de couleur	76
		24. Infrarouge et ultraviolet	79
		25. Persistance rétinienne	81
		26. Vitesse du son	83
		27. Son	85

28. Mesure de pression.	88	34. Aimants	103
29. Mesure de déplacement précise .	92	<i>Mesure magnétique de force</i> . .	107
30. Module d'élasticité.	93	35. Induction magnétique	108
31. Dynamomètre.	96	36. Anémomètre	111
32. Test de flexion	98	Conclusion	115
33. Couple	100	Kit de démarrage.	117

Introduction

La rencontre de la physique et du micro-contrôleur ne devrait plus étonner personne. Il existe d'excellents enregistreurs de données, ainsi que de nombreux programmes pour les traiter et les présenter sous forme de graphiques colorés et attrayants. La physique rébarbative, c'est fini !

J'ai choisi l'Arduino, car cette plateforme est d'un accès facile et sa documentation abondante. La famille Arduino offre des ressources extraordinaires à un prix dérisoire. Ajoutez-y le logiciel gratuit *CoolTerm*, et vous pouvez enregistrer toutes les données de mesure pour les retravailler sous Excel et créer aisément des tableaux ou des graphiques.

Ce livre n'est pas un manuel de physique. Vous n'y trouverez ni équations différentielles ni courbes abstraites. Nous étudierons des phénomènes physiques de la vie

de tous les jours. Sans chercher à être exhaustif, mon modeste ouvrage apporte aux leçons de physique une approche nouvelle et créative grâce aux techniques modernes de mesure et de traitement des données. L'électronique utilisée est simple, et constitue une belle démonstration des possibilités.

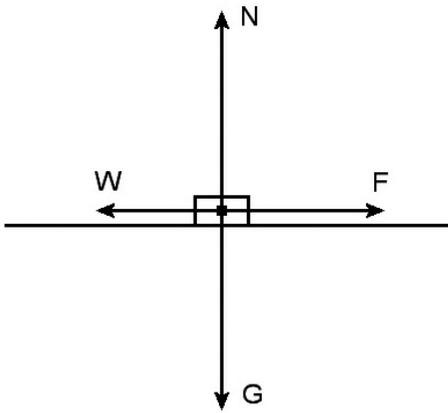
Quand il est évoqué, le contexte historique des sujets n'est qu'esquissé, car ce livre veut avant tout inviter à l'expérimentation. Les nombreux exemples tirés de manuels de physique classiques sont simples et peuvent être testés de manière empirique.

Attention : lumière et chaleur sont des formes d'énergie qui peuvent présenter un danger pour l'expérimentateur et son entourage.

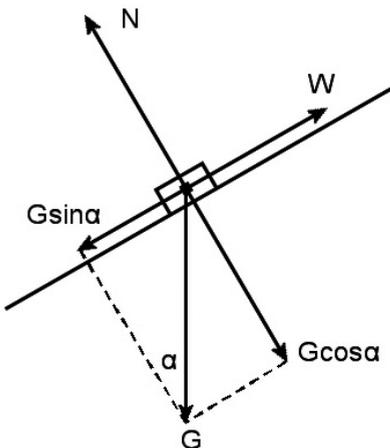
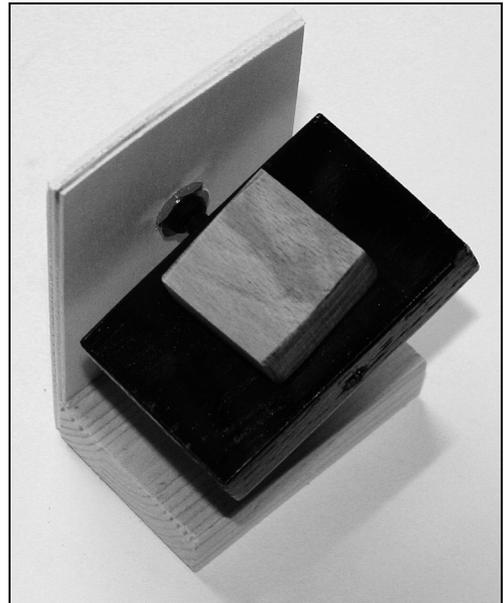
Votre devise sera donc :
« réfléchir avant d'agir ! »

8. Frottement

Le *coefficient de frottement* entre deux matériaux peut être mesuré en appliquant une force horizontale W sur un objet – recouvert de l'un des deux matériaux et placé sur une surface plane recouverte de l'autre matériau – jusqu'à ce qu'il commence à bouger.



La *force de frottement* $W = f \times N$, où N est la force normale à la surface (poids de l'objet) et f le coefficient de frottement.



C'est plus facile avec un plan incliné : nous mesurons l'angle d'inclinaison quand l'objet commence à glisser, et l'Arduino calcule $f = \tan \alpha$.

Le bloc dont la surface est recouverte du matériau 1 est placé sur le plateau noir recouvert du matériau 2. On augmente l'inclinaison du plateau jusqu'à ce que le bloc commence à glisser.

Une petite extension du *sketch* calcule directement le coefficient de frottement f et montre le résultat.

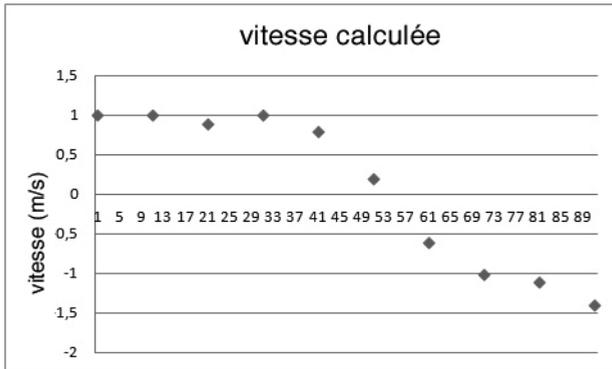


Figure 9.2

Si nous avons suffisamment de points de mesure, le graphique nous permet aussi de calculer l'accélération. L'intervalle entre les points de mesure est de 10 ms. Entre les points 40 et 70 (300 ms), la vitesse passe de 0,7 à 1 m/s ; l'accélération entre ces deux points est donc de 5,6 m/s².

L'accélération est calculée en mesurant le changement de vitesse par unité de temps. Elle peut aussi être mesurée directement avec un élément piézoélectrique sur lequel on a fixé une masse.

Lors d'un freinage, la force d'inertie de cette masse exercera une pression sur le cristal, aux bornes duquel une tension se développera. Lors d'une accélération, l'inverse se produit : la masse « tire » sur l'élément piézoélectrique. Il est facile de placer cristal et masse dans un petit étui ; un *sketch* permet alors de visualiser les mouvements de l'étui.

Le premier graphique résulte de secousses, fortes dans un sens, plus faibles dans l'autre (un peu comme pour faire sortir le ketchup de sa bouteille).

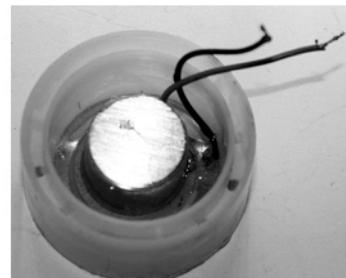


Figure 9.3

Pour le second, il s'agit d'un mouvement oscillant à partir de l'épaule.

Le troisième graphique montre ce qui se passe lorsque le capteur est retourné. La masse est manifestement trop grande : le signal est limité à 1 023, le maximum pour `analogRead`. Le capteur « à l'envers » capte aussi les vibrations de l'ordinateur sous la table.

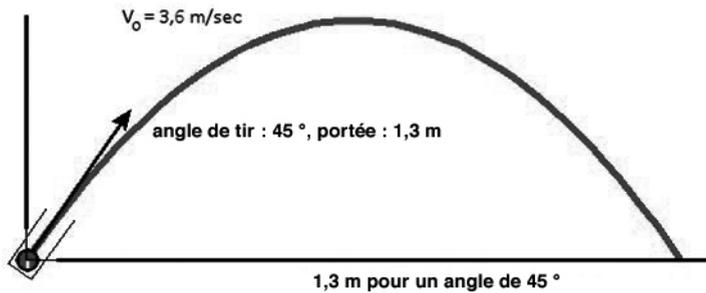


Figure 13.3

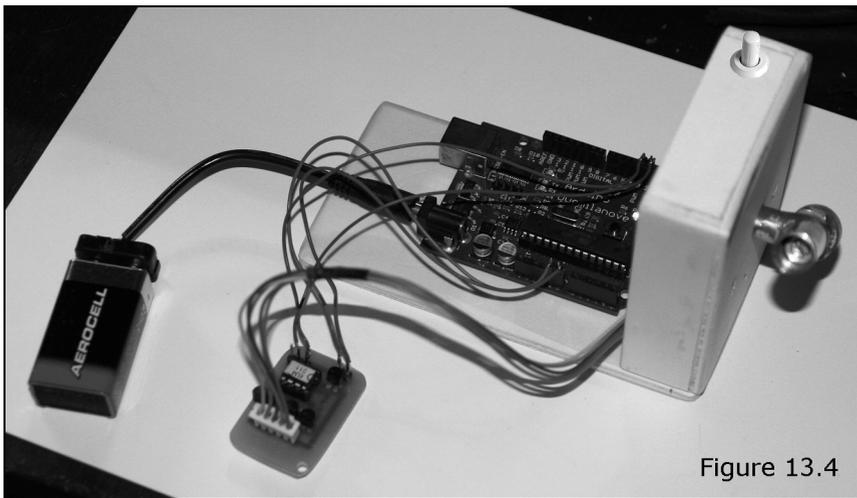


Figure 13.4

Nous allons maintenant déterminer la relation entre angle de tir et portée, à l'aide de notre moteur pas-à-pas (on peut utiliser le montage décrit dans l'expérience sur le frottement). L'angle fixé, on signale le départ du coup, la portée théorique est calculée, et on saisit la mesure de la distance horizontale pour comparaison.

Les différences proviennent de divers facteurs, dont l'utilisation d'un écrou comme détente et le frottement entre res-

sort et boulon. Conformément à la théorie, c'est sous un angle de 45° que la portée est maximale. Une portée de 60 cm est atteinte sous un angle de 15° ou 75° , il y a un écart avec la portée théorique. La puissance du ressort utilisé joue indubitablement un rôle.

Quoi qu'il en soit, c'est remarquable pour un simple ressort de stylo à bille !

20. Figures de Lissajous

Si nous soumettons un signal lumineux à deux oscillations harmoniques perpendiculaires, nous obtenons un tracé étudié par Bowditch et Lissajous au 19^e siècle. Lissajous a obtenu des figures d'interférence – qui portent désormais son nom – en réfléchissant un signal lumineux successivement sur deux miroirs parallèles fixés chacun à un objet en vibration (diapason).

On peut obtenir ces figures avec un petit laser (celui d'un pointeur fera l'affaire) et deux miroirs fixés en biais à l'axe d'un moteur en rotation.

Comment fixer un miroir à l'axe d'un moteur ? On trouve dans les ordinateurs et d'autres montages électroniques des

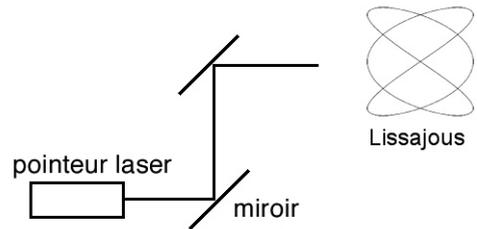


Figure 20.1

petits ventilateurs d'environ 4x4 cm². Ils possèdent une surface plane sur laquelle on peut fixer le miroir avec de l'adhésif double-face. Si on replie un côté de l'adhésif, le miroir ne sera plus tout à fait plat, c'est ce qu'il nous fallait.

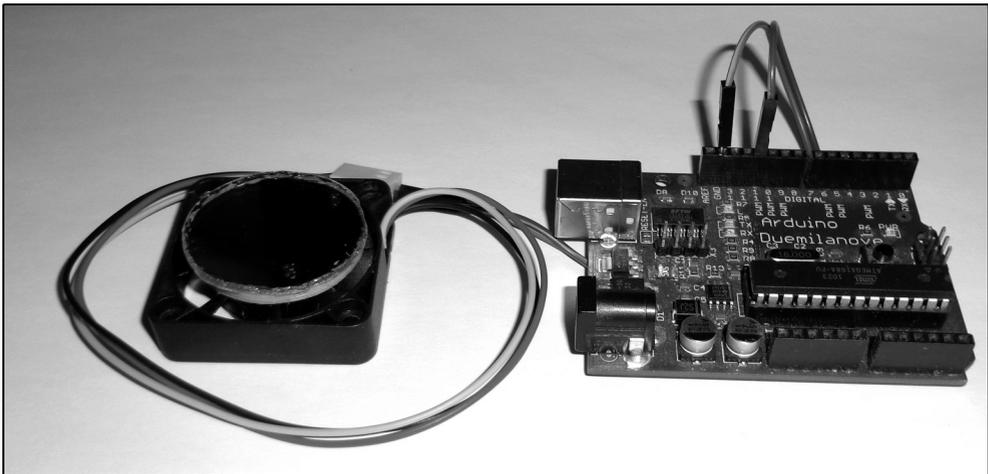


Figure 20.2

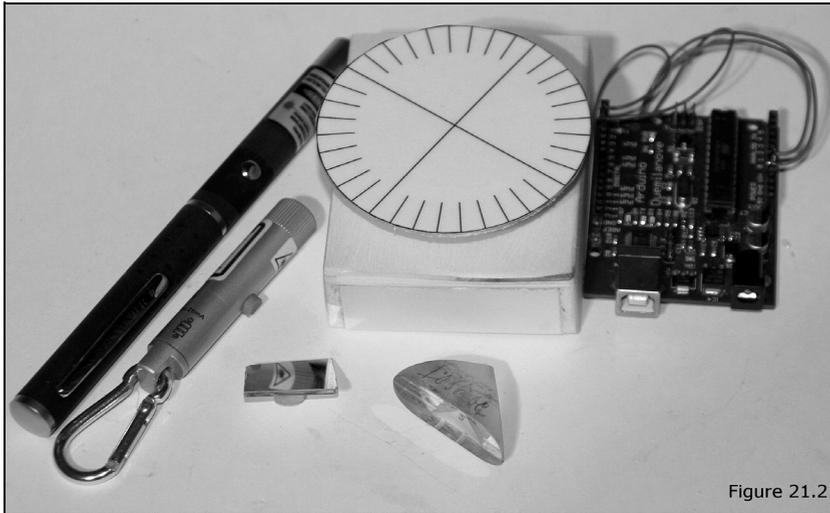


Figure 21.2

Réflexions parallèles

Si deux miroirs sont perpendiculaires l'un à l'autre, un rayon lumineux est réfléchi parallèlement à lui-même. Un prisme a aussi deux faces réfléchissantes formant un angle droit ; nous obtenons donc le même résultat.

Si on tourne le prisme, le rayon réfléchi n'est plus nécessairement parallèle. C'est facile à montrer : nous plaçons un papier à hauteur de la source de lumière et y perçons un petit trou au point d'impact du rayon réfléchi initial.

Un prisme peut constituer un portique lumineux facile à orienter. Tant que le prisme est illuminé, un rayon est réfléchi à proximité de la source, dans ce cas un pointeur laser de 15 mW (il est fortement déconseillé d'utiliser un laser plus puissant dans ce genre d'expérience).

Nous constatons aussi que le rayon incident est en partie réfléchi par la surface du prisme, l'angle de réflexion étant égal à l'angle d'incidence. Et ce n'est pas tout : une partie des rayons traverse aussi le prisme sans être réfléchi. Mettez un peu de talc ou de farine dans la paume de vos mains et secouez-les doucement au-dessus du prisme ; vous verrez alors tous les rayons. Ça fonctionne également avec de la vapeur d'eau, mais nous réprouvons l'usage de fumée de cigarette !

Disque de Newton

Newton a montré qu'en plaçant les couleurs de l'arc-en-ciel côte à côte sur un disque et en le faisant tourner, on obtenait une lumière blanche. Ce qui démontrait que la lumière blanche était constituée des couleurs de l'arc-en-ciel.

Dans notre expérience, le disque est fixe et nous dirigeons notre canon à lumière dessus. Un *sketch* permute cycliquement les LED, ce qui équivaut à faire tourner le disque.

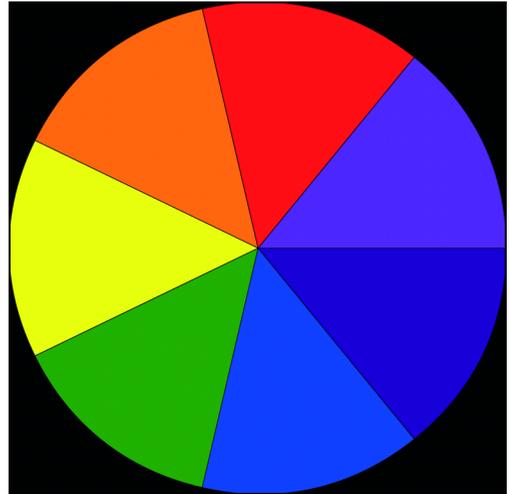


Figure 22.7

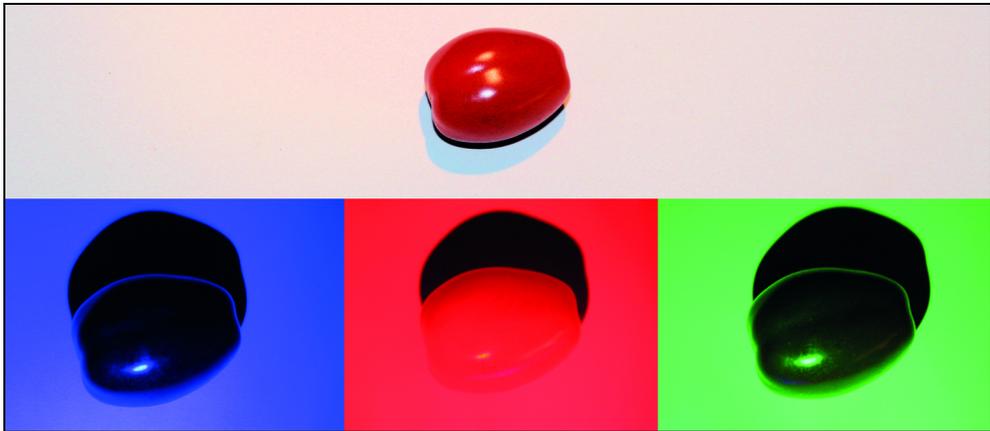


Figure 22.8 - Une tomate apparaîtra noire, et ne sera rouge qu'avec la lumière rouge. Aligned trois poivrons de couleur différente, ils s'illumineront tour à tour.

```
// disque de Newton
int rood = 11;
int groen = 10;
int blauw = 9;
int x; // compteur
int d=20; // tempo réglable
```

```
void setup() {
  pinMode(rood, OUTPUT);
```

```
  pinMode(groen, OUTPUT);
  pinMode(blauw, OUTPUT);
}
```

```
void loop() {
  for(x=0; x<255; x++){
    analogWrite(rood, x); // rouge
    delay(d);}
  for(x=0; x<255; x++){
```

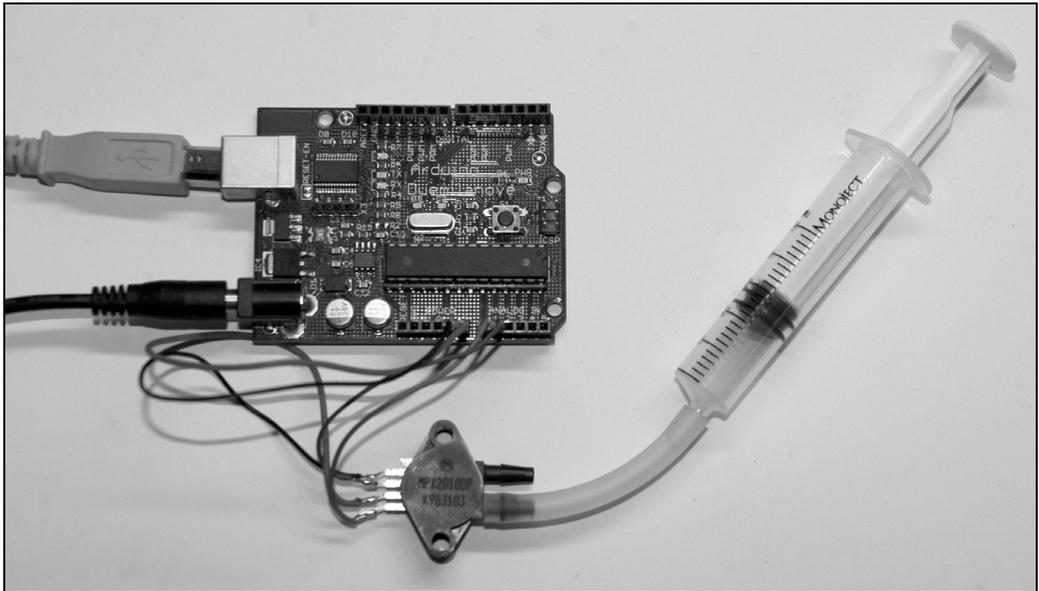


Figure 28.2

Les sorties du capteur sont directement reliées aux entrées A0 et A1 de l'Arduino. Le capteur devant être alimenté sous 10 V, nous alimentons la carte

par une pile de 9 V (le câble USB est nécessaire pour la liaison série avec l'ordinateur).

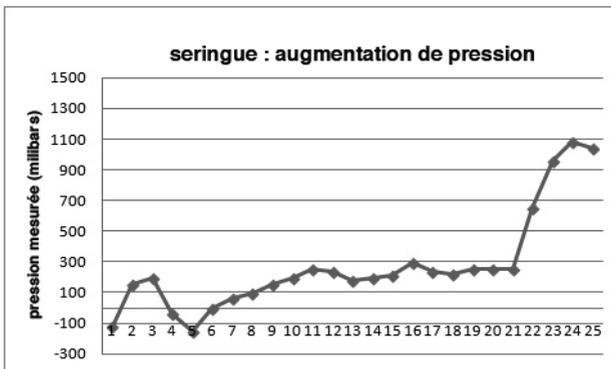


Figure 28.3

33. Couple

Le couple est une notion fondamentale, que l'on rencontre dans les systèmes en rotation, notamment les moteurs. Un toriomètre pour des petits moteurs électriques est dans la suite logique de notre dynamomètre, mais nous effectuons des mesures liées à une rotation plutôt qu'à un mouvement linéaire.

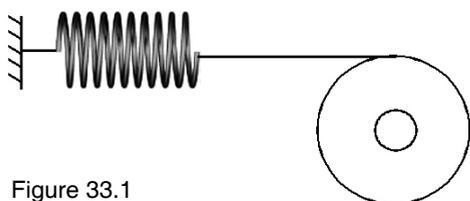


Figure 33.1

Nous fixons une poulie à l'axe d'un potentiomètre, et un fil relié à un ressort à la poulie. En tournant le potentiomètre, nous exerçons une traction sur le ressort et nous créons un couple.

La plage est fonction du ressort, il faut prévoir divers modèles interchangeables.

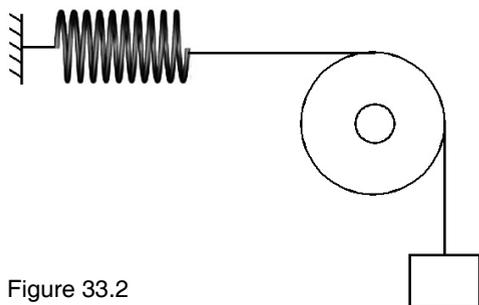


Figure 33.2

L'étalonnage s'effectuera avec un second fil fixé à la poulie et auquel on suspend des poids connus.

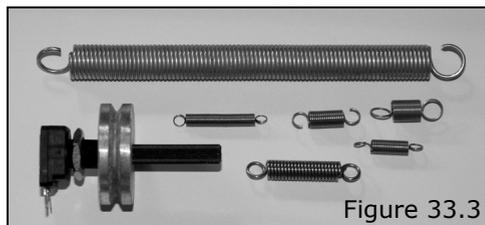


Figure 33.3

La précision dépend de la qualité du potentiomètre utilisé. Avec un axe en plastique, il y a tellement de friction que des mesures fiables sont impossibles. Il faut choisir un modèle avec un axe en métal ; une goutte d'huile à la jonction axe-boîtier fera merveille.

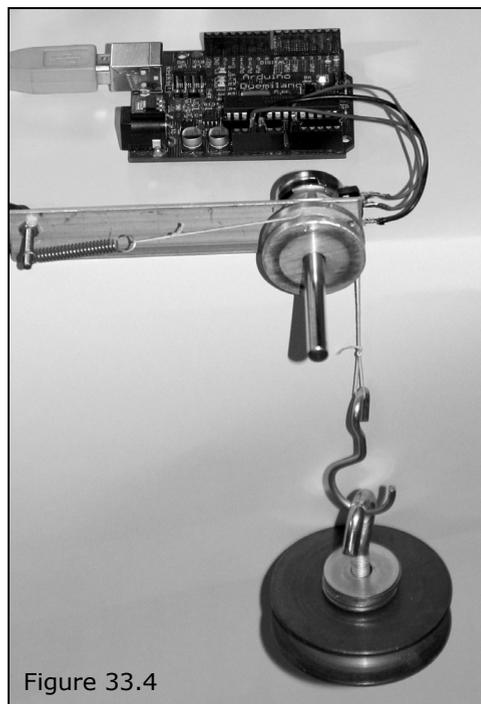


Figure 33.4

Kit de démarrage



Ce kit a été spécialement conçu pour réaliser les expériences décrites dans ce livre.

Le kit est disponible ici :
www.elektor.fr/159009-71

Le kit ne contient pas la carte Arduino Uno. Elle est disponible ici :
www.elektor.fr/arduino-uno-r3

Contenu du kit

- ♦ 1× résistance de 10 k Ω , 5%, 0,25 W, 250 V
- ♦ 2× résistance de 180 Ω , 5%, 0,25 W, 250 V
- ♦ 2× résistance de 100 k Ω , 5%, 0,25 W, 250V
- ♦ 2× résistance de 150 Ω , 5%, 0,25 W, 250 V
- ♦ 2× résistance à CTN de 10 k Ω
- ♦ 1× potentiomètre de 10 k Ω
- ♦ 1× condensateur céramique de 470 nF
- ♦ 3× transistor FET BS170
- ♦ 1× transistor MOSFET IRF520
- ♦ 1× régulateur de tension 5 V LM7805
- ♦ 2× transistor BC547b
- ♦ 1× *timer* 555, boîtier DIP-8
- ♦ 1× pilote de moteur pas-à-pas L293D
- ♦ 1× LED rouge, 5 mm
- ♦ 1× LED rouge, claire, 5 mm, 20 mA
- ♦ 1× LED verte, claire, 5 mm, 20 mA
- ♦ 1× LED bleue, claire, 5 mm, 20 mA
- ♦ 2× récepteur IR
- ♦ 2× LED IR
- ♦ 1× capteur à effet Hall SS495A
- ♦ 1× moteur pas-à-pas (bipolaire)
- ♦ 1× micro à électret
- ♦ 1× piézo
- ♦ 1× plaque d'essai avec 270 contacts
- ♦ Jeu de câbles (65 fils)