

# Comprendre l'électricité

Électricité, électronique, circuits logiques, micro-processeurs, PC, internet, téléphone mobile, super-processeurs, ...

Des électrons se déplaçant dans des conducteurs influencent toutes nos activités. Commençons donc par bien comprendre les bases.



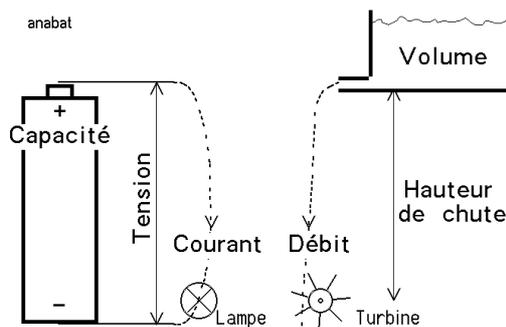
*Nos explications sont en général sur deux colonnes. Si tu es très jeune, joue avec les blocs et ne t'inquiète pas si les explications à droite t'échappent. Relis ceci quand on te parlera d'électricité à l'école. Si ton papa, ta maman, ton oncle, ta sœur ou ... t'aident, ils vont aussi apprendre des tas de choses.*

## Alimentation

Tout élément électronique a besoin d'une alimentation qui fournit l'énergie nécessaire. Notre alimentation utilise des piles ou accus, éléments chers et polluants qu'il faut utiliser correctement. Comparons une pile ou accumulateur à un réservoir d'eau que l'on peut utiliser pour faire tourner un moulin à eau. Si le robinet est ouvert, l'eau s'écoule avec un certain débit qui dépend de l'ouverture, qui crée une résistance au passage de l'eau. La force exercée sur les pales va aussi dépendre de la hauteur de chute.

Dans la pile, ce ne sont pas des molécules d'eau, mais des électrons qui sont stockés, et la chimie de la pile définit la tension qui se mesure en volts (symbole **V**) : 1.5V pour les piles « normales », 1.2V pour les accus.

Le courant se mesure en ampères (symbole **A**) et indique la quantité d'électrons qui passent dans le circuit; il dépend de la résistance entre le plus (+) et le moins (-), une lampe dans notre dessin.



La lampe a besoin d'un certain courant pour s'allumer, il faut choisir sa résistance pour que ce courant soit juste. Une ampoule de lampe de poche est par exemple marquée 3V 60mA, (3 volts et 60 milliampères = 0.06A) ce qui veut dire que si l'on ne branche que 1.5V, le courant sera plus faible et la lampe va seulement rougir. Avec notre analogie hydraulique, si on réduit la hauteur de chute, la turbine va tourner moins vite.

## Expérience 1 : allumons une lampe

### Jouons

Prenons le bloc de pile. il contient deux piles de 1.5V l'une derrière l'autre (on dit en série), donc la tension est de 3V. Si ce sont des accus rechargeables, la tension est de 2.4V. Branchons une ampoule, elle s'allume quand le circuit est fermé.



### Ce que sait l'ingénieur

En électricité, la **tension** se mesure en volts et le **courant** en ampères (c'est comme des électrons par seconde). La capacité de la pile ne dépend pas de la tension, mais du nombre d'électrons stockés, donc de la durée qu'il faudra pour vider la pile avec un certain courant. On parle de mAh : des milliampères pendant une heure. Une pile 3V (deux éléments de 1.5V en série) a une capacité de 1200mAh par exemple. Notre ampoule qui demande 60mA va donc théoriquement rester allumée pendant 20 heures.

Encore une notion importante : la **puissance**. Dans notre analogie hydraulique, la puissance (on parle aussi de force, mais ce n'est pas correct) dépend du débit (vitesse ou quantité d'eau) et de la hauteur de chute (qui augmente la pression sur la turbine).

Le courant passe du + au – et la résistance de la lampe limite le courant.

**Ce qu'il ne faut surtout pas faire**, c'est relier le plus et le moins sans mettre une ampoule ou un moteur. Il n'y a pas de résistance qui limite le courant. La pile se vide en un instant ! C'est ce qu'on appelle un **court-circuit**.

Imaginez avec l'analogie hydraulique que l'on supprime la résistance du robinet en l'arrachant. Le réservoir se vide en un instant par le trou béant !

La puissance de la lampe dépend de la tension et du courant ; elle s'exprime en Watts. On a mesuré 60mA sous 3V, donc cela fait  $0.060 \times 3 = 0.180W = 180mW$ .

On pourrait noter sur l'ampoule 3V 180mW, et calculer le courant si on a besoin de sa valeur. C'est ce qu'on lit sur les lampes d'éclairage : 220V 40W. Cela fait quel courant ?

## Expérience 2 : modifions la tension

### Jouons

Mettons les deux accumulateurs de la boîte en série. Entre extrémités, cela fait 6 volts. Branchons notre ampoule 3 volts, mais pas trop longtemps : elle s'allume en surintensité, car la tension est trop grande. Le filament devient trop chaud, et ne va pas résister longtemps.



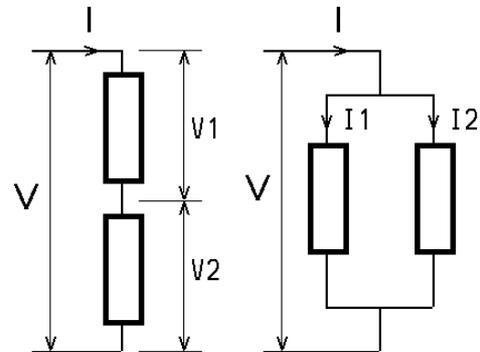
Si on avait 2 ampoules, ou pourrait les connecter en série. Elles s'allumeraient normalement, mais l'une des deux serait probablement un peu plus lumineuse ; pourquoi ?

Est-il permis de mettre les deux piles en parallèle ? Oui, mais dans le même sens, les deux + ensemble et les deux - ensemble, c'est comme deux amis qui poussent un wagon. Mais si les deux piles n'ont pas la même tension, la pile qui a la plus faible tension va utiliser du courant. Quand le wagon a pris de la vitesse, et qu'il faut toujours pousser, celui qui n'arrive pas à courir assez vite et s'accroche au wagon le freine, et l'autre doit faire double effort.

Si on forme une boucle en reliant les piles + avec -, c'est la catastrophe ! Les piles se vident l'une dans l'autre et ne sont plus utilisables en quelques secondes. Cela ne vaut pas la peine d'essayer, c'est évident.

### Ce que sait l'ingénieur

Si des éléments électroniques sont en série, les tensions s'ajoutent, et le courant est le même (les électrons ne se perdent pas). En parallèle, ce sont les courants qui s'ajoutent.



$$V = V1 + V2$$

$$I = I1 + I2$$

La résistance électrique s'exprime en ohms (symbole  $\Omega$ , lettre grecque Omega). C'est le quotient entre la tension et le courant :

$$R = \frac{U}{I}$$

Si la tension double, le courant double aussi, si on ne change pas la résistance.

Donc  $U = R \cdot I$  (tiens un canton Suisse, facile de se rappeler !)

C'est la fameuse loi d'Ohm. Il y a 200 ans, il fallait être un grand savant pour découvrir ce qui est si simple aujourd'hui !

## Attention aux courts-circuits

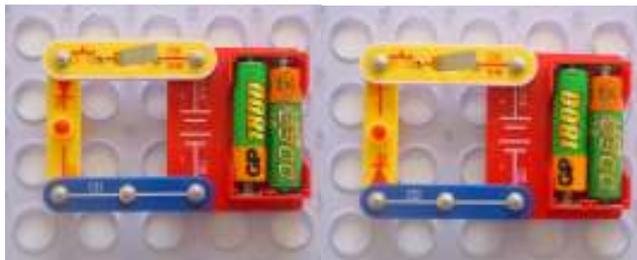
Il faut naturellement réfléchir avant de connecter une pile, pour être sûr qu'il n'y a pas de court-circuit, mais on peut faire des erreurs. Comment se protéger des courts-circuits ?

C'est le rôle d'un fusible, c'est-à-dire une résistance faible qui brûle dès que le courant est trop fort. On a parlé tout à l'heure des ampoules survoltées. Une ampoule survoltée est un fusible : selon l'excès de tension, elle va griller en une fraction de seconde ou une minute. Un fusible a une très faible résistance, c'est comme s'il n'était pas là, son dixième d'ohm ne freine pas le courant de manière sensible. Mais s'il y a court-circuit, le courant augmente, le fil fond en une fraction de seconde, et le courant est coupé. Il faut naturellement éliminer le court-circuit avant de changer le fusible.

Il existe des fusibles thermiques. Ils chauffent comme un fusible, mais au lieu de fondre, leur résistance augmente considérablement, ce qui limite le courant. Ils refroidissent alors, mais la résistance faible ne revient que pour une température nettement plus basse (on appelle cela de l'hystérèse). Si on ne fait rien, cela va de nouveau chauffer, etc. Mais en général, on voit que le courant a disparu, et on coupe pour chercher ce qui ne va pas. Pendant ce temps le fusible thermique se refroidit assez et le circuit peut alors tout de suite être remis en service.

## Expérience 3 : allumons la LED

La LED (Light Emitting Diode) est appelée en français diode lumineuse. La diode est un composant qui ne laisse passer le courant que dans un sens.



Le courant va du + au - ; à gauche, la diode est bien câblée et s'allume. A droite, le courant est bloqué. La diode est représentée par une flèche.

Une LED ne fonctionne qu'à partir de 1.6V environ et une résistance doit limiter le courant. Cette résistance n'est pas visible dans le support de LED, mais elle existe (probablement à l'intérieur de la LED elle-même) et vaut 40Ω. Comment déterminer cette valeur ?

A 1.6V le courant est nul.

A 3V le courant est de  $R_{LED} \cdot (3V - 1.6V)$

et on mesure 37mA

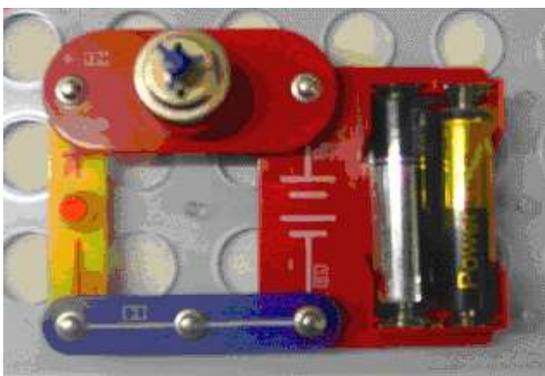
Donc  $R_{LED} = 1.4 / 0.037 = 38\Omega$

En fait (pour les spécialistes) cette résistance est réalisée directement sur la puce et elle n'est pas linéaire.

## Expérience 4 : modifions la résistance

### Jouons

Mettons en série le moteur et la LED. La LED s'allume, mais le moteur ne tourne pas. Pourquoi ?

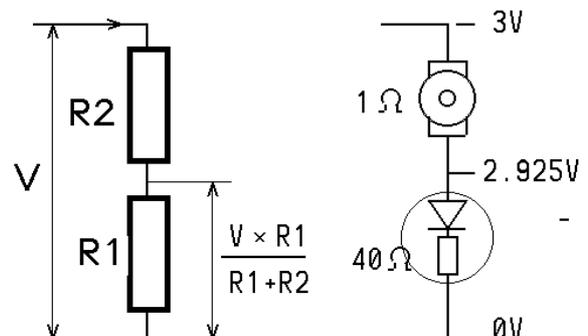


Parce que le courant est limité par la LED en série. Ajoutons un pushoir qui court-circuite la LED. Quand on presse, la LED s'éteint et le moteur tourne.

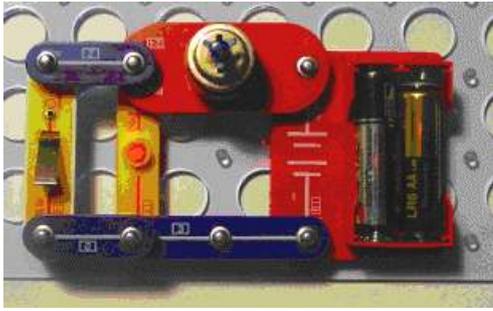
Le moteur a une résistance faible et demande beaucoup de courant pour tourner.

### Ce que sait l'ingénieur

La résistance du moteur arrêté est de 1Ω environ. Celle de la LED est de 40Ω. Deux résistances en série forment un diviseur de tension, avec un rapport de tension égal au rapport des résistances.



Si la tension de la pile est de 3V, on a donc 0.075V sur le moteur, et ce n'est pas suffisant pour le faire tourner.



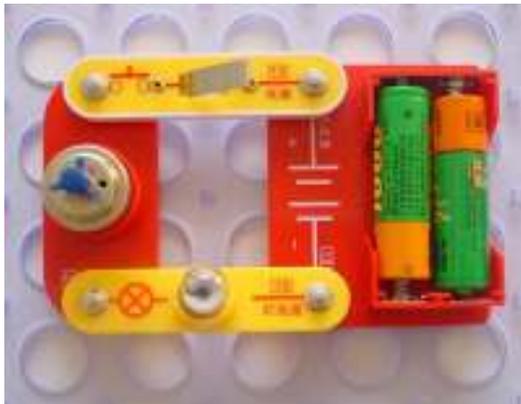
La LED a une résistance élevée. Le courant dont elle a besoin n'est pas limité par le moteur, par contre, c'est elle qui limite le courant à une valeur qui ne suffit pas pour faire tourner le moteur.

Si on court-circuite la LED en appuyant sur le poussoir, on remplace dans le circuit pile-moteur la résistance élevée de la LED par la résistance quasi-nulle du poussoir. Le moteur peut tourner.

### Expérience 5 : une résistance peut varier

#### *Jouons*

Connectons en série le moteur et la lampe. Les deux ont une résistance assez faible et se contentent d'une tension de 1 à 2V. On remarque que la lampe est intense au démarrage du moteur, et s'atténue ensuite. Si on bloque le moteur, la lampe brille au maximum.

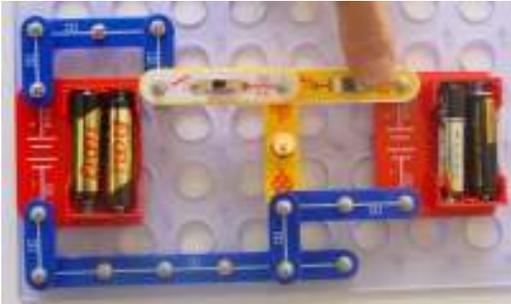
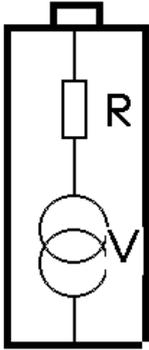


Si l'expérience 4 a été bien comprise, on en déduit que la résistance du moteur arrêté est plus faible que quand il tourne. C'est vrai. Si on pouvait le faire tourner encore plus vite avec un moteur extérieur, il fournirait du courant comme une dynamo et pourrait recharger l'accu !

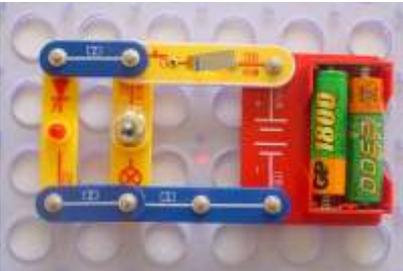
#### *Ce que sait l'ingénieur*

La résistance du bobinage ne varie naturellement pas. C'est le champ magnétique du moteur, qui en tournant génère une tension en sens inverse qui fait que le courant diminue. Cette force dite contre-électromotrice est proportionnelle à la vitesse de rotation. De son côté la résistance de l'ampoule change aussi : le filament froid a une résistance faible. L'échauffement, de 20 degrés à 2500 degrés, multiplie la résistance par beaucoup (nous n'avons pas encore trouvé l'information).

## Expérience 6 : un testeur de pile

<i>Jouons</i>	<i>Ce que sait l'ingénieur</i>
<p>Avec le montage suivant, on a deux piles qui peuvent commander la même ampoule. On met des piles neuves, ou presque, à droite par exemple, et des piles à tester à gauche. En comparant l'intensité lumineuse, on voit si les piles à tester sont assez bonnes.</p>  <p><b>Ne surtout pas activer les deux interrupteurs en même temps. Pourquoi ?</b></p> <p>Regardez la polarité des piles ! Si les deux interrupteurs sont fermés, on a un magnifique court-circuit. Rien ne s'allume, mais les piles chauffent et sont détruites en quelques secondes.</p> <p>Ce qu'il faut faire, c'est avoir les deux « moins » ensemble. Le câblage est plus compliqué avec notre jeu. Si l'une des piles est plate, et que l'on active les deux interrupteurs simultanément, on voit que la lampe baisse, car la bonne pile doit aussi donner du courant à la mauvaise.</p>  <p>Question : que se passe-t-il si on teste un accu, avec des piles de l'autre côté. L'accu ne donne que 2.4V, comme une mauvaise pile. La lampe sera moins lumineuse. Il faut comparer avec un bon accu !</p>	<p>Une pile fonctionne grâce à un processus chimique qui génère une tension donnée. Mais le courant doit passer dans la pile, et il y a une certaine résistance interne. La tension va donc baisser quand un circuit externe consomme du courant.</p>  <p>Ce qui caractérise une pile, en plus de sa tension et résistance interne, c'est sa capacité, exprimée en ampère-heure (Ah) ou milliampère-heure (mAh). Une pile marquée 800mAh peut donner 80mA pendant 10 heures (avec une tension qui varie un peu). Mais elle ne donnera pas 800mA pendant 1 heure, ou 8A pendant 6 minutes, à cause de la résistance interne.</p> <p>La capacité ne dépend pas de la tension. Si on met des piles en série, la capacité reste la même.</p> <p>Si on met deux piles en parallèle, on double la capacité; dans la pratique, on évite de mettre des piles en parallèle à cause des différences de résistance interne et de capacité. C'est plus simple de mettre des piles plus grosses !</p>

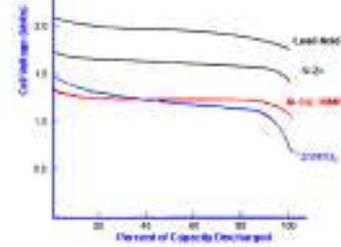
## Expérience 7 : mise en parallèle

<i>Jouons</i>	<i>Ce que sait l'ingénieur</i>
<p>Connectons la lampe et la LED en parallèle.</p> 	<p>Combien peut-on demander à une pile ? Une pile est caractérisée par sa tension, qui en fait baisse lentement pendant la décharge. Si on représente la tension en fonction du temps, pour une résistance de charge donnée, on voit que la tension neuve diminue rapidement, mais il y a ensuite un plateau où la tension diminue faiblement avant la chute finale. Il faut éviter de décharger complètement un accu, car cela l'abîme.</p>



Les deux éléments ont la même tension et s'allument comme si chacun était branché tout seul.  
En fait pas tout à fait, car en demandant plus de courant à la pile, la tension disponible diminue.

La tension « nominale », le 1.5V des piles, correspond au plateau.



Une pile presque plate récupère un peu si on ne l'utilise pas. Elle peut donner l'impression d'être assez bonne quand on réenclenche, mais cela ne dure pas !

## Expérience 8 : soucoupe volante

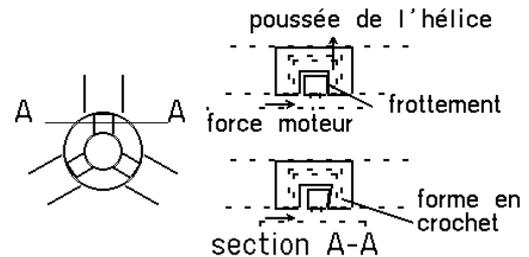
*Jouons*

Posons l'hélice en place et activons le moteur. Surprise !  
Est-ce que cela vole plus haut avec les deux piles en parallèle ou en série ?



*Ce que sait l'ingénieur*

En parallèle, la résistance interne est diminuée, mais il faut que les piles soient à la même tension. En série, la tension en charge (lorsqu'un circuit consomme du courant) n'est pas tout-à-fait doublée et la puissance théorique sur le moteur devrait quadrupler. L'hélice fait en général un petit vol, car elle décolle dès qu'elle a assez de vitesse pour se porter.



Le frottement de la croix d'entraînement explique ce comportement : tant que le moteur accélère, la croix pousse sur l'hélice et ce frottement aide à maintenir l'hélice en place, jusqu'à ce que la force verticale soit suffisante pour compenser à la fois le poids et le frottement.

Si on modifie, avec une lime fine ou un scalpel de modéliste, l'hélice et la croix pour que cela croche mieux (voir le dessin), on est surpris de voir l'hélice partir au plafond.

## Expérience 9 : contact reed (prononcer *riid*)

*Jouons*

Un contact reed est actionné par un aimant. Le contact est étanche, la fiabilité (mauvais contacts) et la durée de vie sont augmentées.



A noter que l'aimant doit être bien orienté.

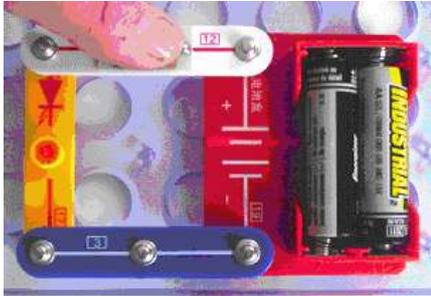
*Ce que sait l'ingénieur*

Les deux lamelles d'un contact reed sont magnétiques (mais pas aimantées). Elles de rapprochent dans un champ magnétique. Pour éviter l'oxydation des contacts, un gaz inerte remplit la capsule.



Si on bobine du fil autour de la capsule, le courant dans la bobine génère un champ magnétique qui ferme le contact : on a construit un relais.

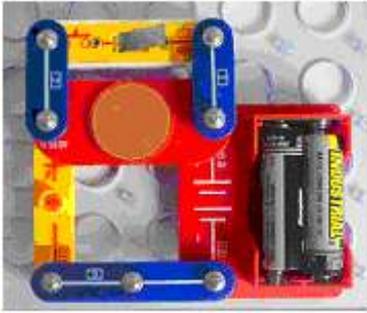
## Expérience 10 : contact humide

<i>Jouons</i>	<i>Ce que sait l'ingénieur</i>
<p>Le circuit en forme de peigne a une résistance très très grande à sec. Si on touche avec un doigt humide (et un peu salé) cette résistance diminue, et il faut bien mouiller le doigt avec la langue pour allumer un peu la LED.</p> 	<p>Les contacts humides ne sont pas utilisés dans les interfaces homme-machine, car ils dépendent trop de la peau et de l'humidité ambiante.</p>

## Expérience 11 : photocapteur

<i>Jouons</i>	<i>Ce que sait l'ingénieur</i>
<p>Le photocapteur a une résistance qui diminue si on l'éclaire. Il faut éclairer avec une lampe de poche pour que la résistance baisse assez pour que l'on voie la LED s'allumer.</p> 	<p>Les photocapteurs dépendent de l'éclairage et conviennent rarement pour commander directement une machine.</p> <p>On les rencontre dans de nombreux lampadaires et lampes solaires qui s'allument automatiquement à la tombée de la nuit.</p>

## Expérience 12 : capteur piezo-résistif

<i>Jouons</i>	<i>Ce que sait l'ingénieur</i>
<p>Le capteur piezo est encore plus inhabituel. Si on tapote dessus, la résistance diminue et dans l'obscurité, on peut voir que la LED s'allume brièvement.</p>  <p>Le poussoir a une action qui fait que cela fonctionne mieux après avoir court-circuité le capteur.</p>	<p>Le fabricant ne dit pas quel est le type de capteur utilisé. Le rôle du poussoir s'explique probablement par un effet condensateur : le capteur piezo est déchargé lorsque l'on enfonce le poussoir.</p> <p>Certains écrans tactiles détectent la position du doigt sur l'écran au moyen de deux capteurs piezo qui écoutent le léger son produit par le doigt sur la surface.</p> <p>Pour les écrans tactiles bien adaptés aux écrans portables, plusieurs technologies de capteurs ont été développées, voir par exemple l'article dans Wikipédia : <a href="http://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89cran_tactile">http://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89cran_tactile</a> ou, plus complet, en anglais : <a href="http://en.wikipedia.org/wiki/Touchscreen">http://en.wikipedia.org/wiki/Touchscreen</a></p>

## Les modules 21 22 23

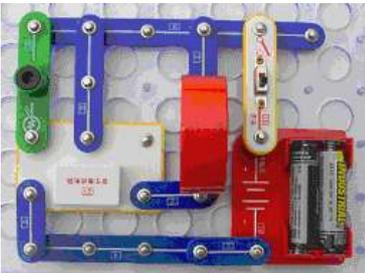
Le jeu contient des modules qui génèrent des bruits et qui ont des entrées sensibles à des faibles courants. Ils contiennent des circuits que l'on trouve dans des peluches et autres gadgets qui font du bruit quand on les touche ou qu'on les mouille. C'est amusant, mais pas très intéressant parce que l'on ne comprend pas ce qui se passe dans le circuit électronique caché dans le module.

## Expérience 13 : Module 21 « Happy birthday »

### Jouons



Essayez les différents capteurs pour déclencher la mélodie.



Avec le capteur de lumière, vous pouvez vous faire réveiller au lever du soleil par la mélodie. Mettez le montage vers la fenêtre.

**Aïe, le module va rester enclenché toute la nuit et ça va vider les piles ?**

Quand il joue, le courant est de 80mA. En attente, il n'est que de 0.4mA. En 24h, la consommation sera de 10mAh, un centième de la capacité d'une pile neuve.

Quand on enclenche, le module joue et s'arrête.

En appuyant sur le bouton poussoir, il rejoue mais s'arrête dès que l'on relâche.

Si le poussoir est mis de l'autre côté, sur le contact libre de la photo, l'action est mémorisée dans le circuit et il faut écouter jusqu'à la fin.

Le son est trop fort, il faut le diminuer en mettant une résistance en série. Le seule qui convient est celle qui est intégrée dans la LED.

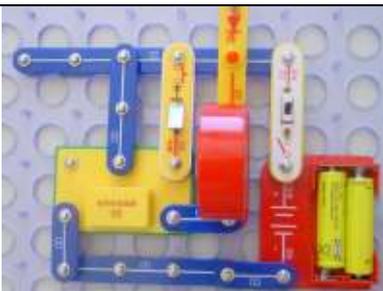


Si c'est encore trop fort, remplacez le haut-parleur par le moteur !

Si, si, et ce n'est pas surprenant. Le moteur a une bobine qui attire des pièces métalliques, elles vont donc vibrer. Mais comme un moteur est plutôt étudié pour être silencieux, il faut un peu tendre l'oreille.

## Expérience 14 : Module 22 « »

### Jouons



Un peu le même circuit que le 21, mais avec des sirènes différentes selon que l'on mette le poussoir à droite ou à gauche.

## Expérience 13 : Module 23 « »

### Jouons



Maintenant on a des bruits horribles, qui changent quand on agit sur le poussoir ou l'interrupteur.

On peut mettre les différents capteurs et voir comment cela réagit à la lumière, à l'humidité et aux chocs.

Dans la brochure en chinois, il y a de nombreux exemples de montages. Ne soyez pas déçus si vous ne pouvez pas lire les explications en chinois : elles sont toujours du type « pressez sur le poussoir, vous voyez la lampe clignoter ».