

# Des modèles pour enseigner l'électrodynamique

- Modèle « animiste » des grains d'électricité transporteurs d'énergie
- Modèle circulatoire hydraulique, dit « modèle des grisés »
- Modèle de la corde freinée

Ce dossier comprend la description des modèles, un résumé théorique à propos de la loi d'Ohm et de la loi de Joule, des exemples d'application du modèle des grisés pour « expliquer » ce qui se passe dans des situations qui peuvent sembler paradoxales, des indications concernant les mesures du courant et de la tension dans un circuit électrique (ampèremètre et voltmètre), des documents à compléter par les élèves et des solutions.

Les propositions contenues dans ce dossier sont en accord avec les exigences suivantes du PER :

- MSN 35 (Modéliser des phénomènes naturels, techniques, sociaux ou des situations mathématiques)
- MSN 36 Analyser des phénomènes naturels, et des technologies à l'aide de démarches caractéristiques des sciences expérimentales

Le modèle « animiste » et le modèle des grisés ont été pratiqués dans une séquence d'enseignement décrite dans les chapitres 2 à 4 de l'ouvrage « *Des idées pour enseigner les sciences et les mathématiques* » (à disposition dans la BDRP). La version augmentée, présentée ici, du modèle des grisés a été pratiquée avec de nombreuses classes du 3<sup>ème</sup> cycle (élèves de 13 à 15ans).

## Plan du document

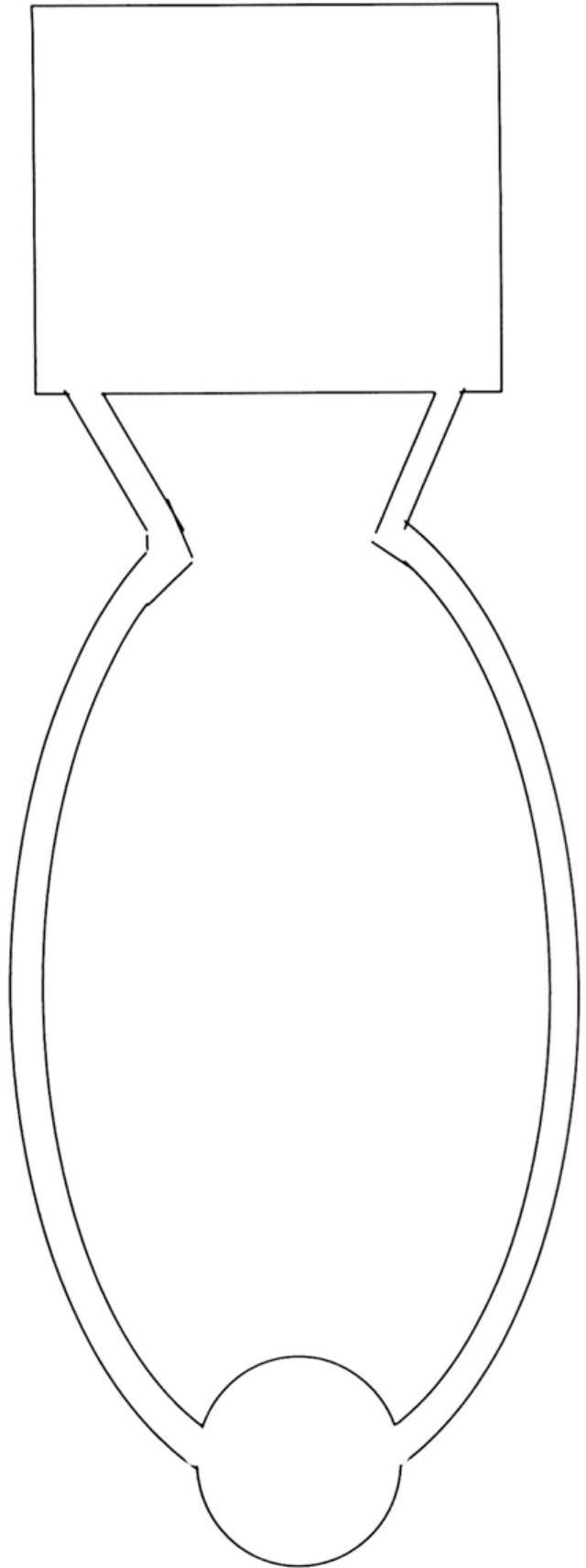
N° de bas de page	Contenu
2	Recherche de conceptions <i>Ajoute au dessin ce qui te semble expliquer pourquoi la lampe est allumée</i>
3	Introduction : modéliser pour rendre visible ce qui ne l'est pas
4 - 5	Première approche de l'électrodynamique – Un modèle « animiste »
6	Présentation du modèle des grisés
	Les règles du modèle des grisés (syntaxe)
7	Résumé d'électricité – La loi d'Ohm et la loi de Joule présentées à l'aide du modèle <i>Ce résumé peut être remis aux élèves à l'issue d'une phase de conceptualisation conduite au moyen de situations-problèmes avec les élèves.</i>
8 - 10	Le modèle des grisés pour comprendre ce qui se passe dans des situations qui peuvent heurter l'intuition (les préconceptions)
11 - 12	Modèle hydraulique du circuit électrique – Tableau de comparaison
13 - 14	Une variante du modèle des grisés – Modèle de la corde freinée
15	Mesure du courant et de la tension dans un circuit électrique Comparaison avec les mesures de débit et de pression dans un circuit hydraulique
16 - 20	Feuilles à compléter pour travailler avec les élèves <i>(avec, en fin de document, certaines annexes du chapitre 2 de l'ouvrage « Des idées pour enseigner les sciences et les mathématiques »)</i>
21 - 23	Application du modèle des grisés dans diverses configurations de circuits
24	Des situations observables qui échappent au modèle

Ajoute au dessin ce qui te semble expliquer pourquoi la lampe est allumée

photographie



Dessin



Pile

Fils électriques

Lampe

## Modéliser pour rendre « visible » ce qui ne l'est pas

La difficulté, quand on enseigne les bases de l'électrodynamique, c'est que le courant et la tension électrique ne sont pas directement visibles et qu'il peut être dangereux de vouloir les « sentir » (sinon sentir sur la langue la tension d'une pile au moyen d'électrodes). Ces grandeurs physiques ne sont perceptibles (et mesurables) que par leurs effets. Pour pallier à cette difficulté, on trouve dans la littérature didactique de nombreuses propositions d'analogie : petit train pour le courant, chariots sur un plan incliné avec différence de potentiel, cycle de l'eau avec dénivellation, etc.

Les analogies proposées dans ce document ont été développées au point qu'elle puissent fonctionner comme **modèles** permettant de raisonner et de prévoir ce qui va se passer dans des montages impliquant un générateur (pile, dynamo ou alimentation de laboratoire) et des récepteurs (lampes ou simples résistances).

### Première approche de l'électrodynamique - Un modèle « animiste »

Il s'agit de proposer aux élèves une représentation du courant électrique dans laquelle ils sont eux-mêmes des « grains d'électricité » circulant dans des circuits électriques dessinés au sol. Dans un tel modèle « animiste », les grains d'électricité sont institués comme les transporteurs de l'énergie mais ne sont pas en eux-mêmes l'énergie. Ils sont caractérisés par un potentiel (exprimé en volts) et ont la propriété de transporter une énergie proportionnelle à ce potentiel.

Un tel modèle permet déjà de comprendre ce qui se passe lorsqu'on raccorde deux lampes identiques à une pile aussi bien dans le cas des lampes montées série que dans le cas des lampes montées en parallèle. Au préalable, les élèves ont réalisé et fait fonctionner les montages comportant une pile, des lampes et des cordons électriques.



Dans l'illustration ci-dessus, il y a des élèves observateurs et des élèves acteurs. Ces derniers, après discussion, ont mis au point une « chorégraphie » qui rend compte de ce qui est observable dans le cas de deux lampes montées en série, à savoir qu'elles brillent également mais faiblement. Les « grains d'électricité » reçoivent, en passant dans la pile, « un billet énergie »\*. Ils transportent cette énergie qu'ils vont partager pour en donner la moitié à la première lampe rencontrée et l'autre moitié à la seconde lampe. Ils continuent leur chemin, dépourvus d'énergie et retournent à la pile pour entamer un nouveau circuit. Le partage en deux de l'énergie explique la faiblesse de l'éclat des lampes observée dans le montage.

Une autre chorégraphie permet d'exprimer ce qui se passe avec deux lampes montées en parallèle. Dans ce cas, les deux lampes brillent normalement. Les grains d'électricité doivent circuler par paire dans la pile, recevoir chacun une dose complète d'énergie et se séparer pour transmettre cette énergie l'un à la première lampe du circuit et l'autre à la seconde lampe. Cela exige de la pile qu'elle distribue les billets d'énergie à un rythme deux fois plus élevé que si elle alimentait une seule lampe et qu'ainsi elle s' « use » plus vite.

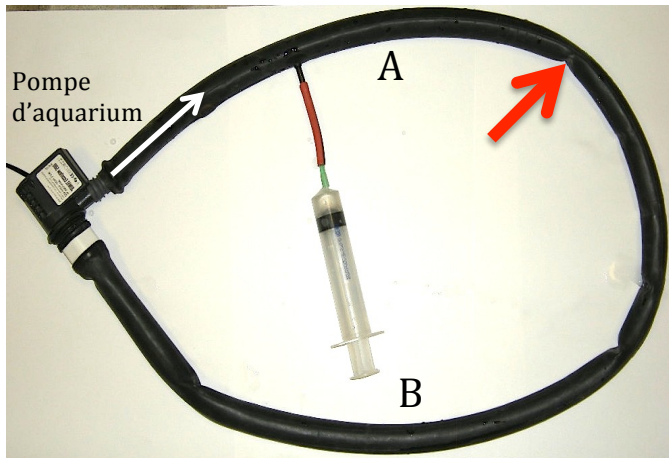
\* Les billets énergie sont donnés tout faits par l'enseignante et participent d'un « germe de modèle »

Pour plus de détails sur ces activités, voir les chapitres 2 à 4 de l'ouvrage « Des idées pour enseigner les sciences et les mathématiques »)

## Présentation du modèle des grisés

Le fondement matériel de ce modèle est un circuit réalisé avec des tuyaux (les conducteurs) et une pompe (le générateur).

**Modèle physique**



Cette photo montre un circuit constitué d'une chambre à air remplie d'eau et d'une pompe d'aquarium\*.

Le remplissage a été fait dans un bassin plein d'eau. La seringue, branchée sur la valve, permet d'ajuster la quantité d'eau pour obtenir une pression optimum, ni trop grande, ni trop faible.

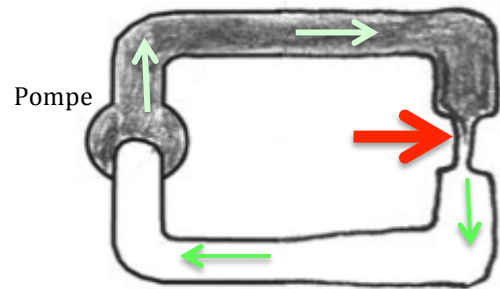
Lorsque la pompe tourne, l'eau circule dans le sens indiqué par la flèche blanche. La pression, que l'on évalue en appuyant la main sur la chambre à air, est uniforme dans le circuit.

Si, maintenant, on écrase quelque peu la chambre à air (par exemple à l'endroit indiqué par la flèche rouge), on crée une résistance au passage de l'eau et on constate que la pression avant l'étranglement (tronçon A) est plus haute que la pression après l'étranglement (tronçon B).

Dans le circuit électrique, la différence de pression va devenir la différence de potentiel ou tension appliquée à la résistance.

\*La pompe est ici une pompe de la marque JUWEL que l'on trouve (2014) au rayon animalerie de certaines grandes surfaces ou sur Internet (prendre le modèle JUWEL 1'000 car le modèle 500 n'est pas assez puissant). Il faut trouver des bouchons perforés pour raccorder la pompe à la chambre à air. D'autres modèles de pompe d'aquarium peuvent faire l'affaire. Plus la pompe est puissante plus l'effet est convaincant. Attention : ne pas choisir une pompe d'immersion sur laquelle on ne peut pas brancher un tuyau pour l'entrée de l'eau.

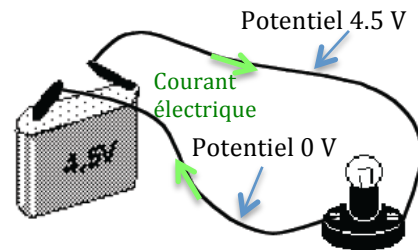
**Modèle symbolique**



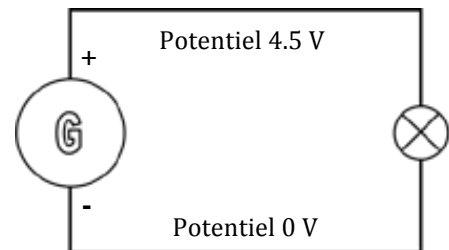
Ce dessin représente le circuit hydraulique quelque peu stylisé. L'étranglement est mis en évidence. La couleur gris foncé code la pression élevée régnant dans le tuyau. La couleur blanche code la pression basse que l'on peut ici considérer comme nulle (valeur de référence). Les flèches vertes codent le débit ou courant (qui est le même partout). La vitesse du fluide n'est pas prise en compte.

Ce dessin du circuit hydraulique **fonctionne comme modèle** pour un circuit électrique dans lequel, par exemple, la pompe est une pile et l'étranglement une lampe.

**Champ empirique (objets du réel)**



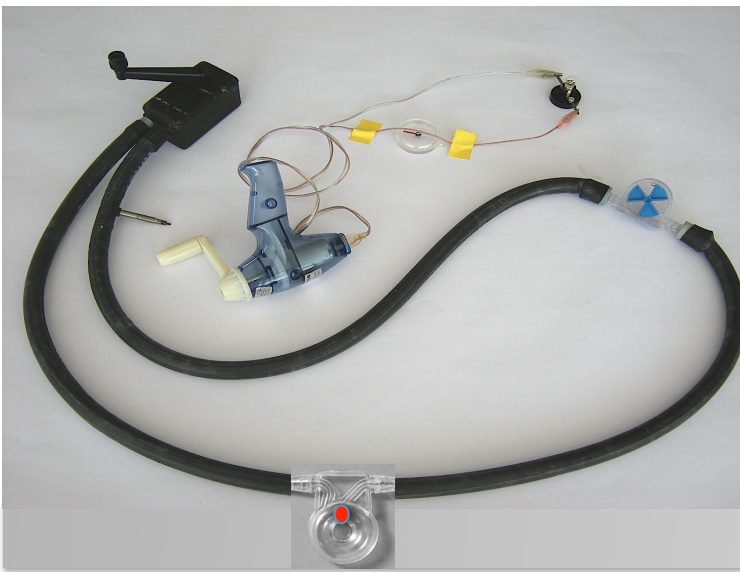
Le schéma ci-dessous représente le même circuit avec des symboles standardisés, mais il ne fonctionne pas à lui seul comme modèle



Dans certaines limites, ce modèle, dit "modèle des grisés", est opératoire et permet de prévoir le comportement des éléments d'un circuit. D'abord utilisé avec de jeunes élèves de 10 à 11 ans, il était limité : les récepteurs étaient des lampes de tension nominale 3.5 V, toutes identiques. Dans ce modèle, seules les tensions étaient représentées. Les courants existaient en filigrane comme débit d'un fluide et avaient été représentés par le déplacement des « grains d'électricité » (élèves se déplaçant sur des circuits dessinés au sol dans le modèle « animiste »).

### Variante (en supplément)

Une autre manière d'aborder la modélisation du circuit électrique consiste à mettre en parallèle un circuit hydraulique dont le fluide (eau) circule grâce à une pompe manuelle et un circuit électrique dont le générateur est une dynamo à manivelle.



Sur cette photo, le circuit électrique comporte une lampe qui brille lorsque l'on tourne la manivelle de la génératrice (dynamo fournissant du courant continu). La boussole placée le long du fil dévie lorsque le courant passe et sert donc d'indicateur pour ce courant. Le circuit hydraulique, rempli d'eau, comporte une pompe à manivelle et deux indicateurs de flux, l'un à ailettes, l'autre à bille\*. Par analogie, l'un des deux peut représenter la lampe du circuit électrique tandis que l'autre peut correspondre à la boussole (indicateur de débit).

*Il est bon que les élèves développent eux-mêmes la comparaison des deux circuits.*

#### Note à propos du matériel

La génératrice électrique à manivelle photographiée ici est un produit PASCO (USA) distribué en Suisse par la maison AWYCO sous le nom de « Mini Generator ». Pour un prix bien plus modique, on peut acheter la « lampe écologique » de la maison JEULIN (illustration ci-contre) sur laquelle on peut également brancher des fils. Le revendeur (2014) est J.-P. Lehmann à Morges (Solutions pédagogiques SOPE).

La pompe manuelle (illustration ci-contre) est une « pompe à carburant » pour modélistes que l'on trouve chez Conrad (achat par Internet).

\* Les indicateurs de débit se vendent sous les appellations « Détecteur de flux » ou « Détecteur d'écoulement ». On les trouve chez SEMADENI (achat par Internet). Chez le même fournisseur, on trouve aussi du tuyau transparent polyvalent (PVC  $\varnothing$  6x9 mm) et des réducteur (TPX  $\varnothing$  5-7/3-5 mm) qui permettent de réaliser le circuit de manière plus simple qu'avec une chambre à air.



### Pour aller plus loin...

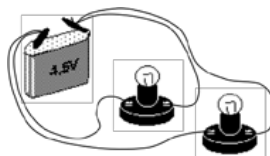
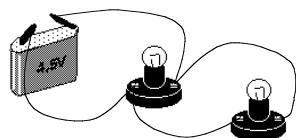
Avec des élèves plus avancés (de 14 à 16 ans), le modèle des grisés a été étendu à des circuits comprenant des récepteurs (ohmiques) de différentes résistances et des diodes semi-conductrices. Les courants ont été codés au moyen de flèches d'épaisseurs variables ou comportant des queues dont le nombre exprime l'intensité.

Cette extension du modèle est abordée à la fin du chapitre 2 de l'ouvrage cité plus haut.

## Les règles du modèle des grisés (syntaxe)

Symboles pour les objets		Code	Règles du modèle	
	Conducteur = "tuyau"	B1	Un circuit électrique se représente au moyen des symboles et conventions ci-contre.	
	Portion de tuyau sous pression (tension) élevée	B2	<p><b>La pression (la tension) dans un tuyau conducteur se représente par un grisé d'autant plus foncé que la pression est grande (pression = grisé). On laisse blanc un tuyau qui est à la pression zéro (en principe, pression à l'entrée de la pompe) !</b></p> <p>Un générateur en état de marche entretient une différence de pression (DDP) entre sa borne d'entrée et sa borne de sortie. Par convention, la borne - (moins) est la borne d'entrée qui est à la pression zéro. La borne + (plus) est la borne de sortie, elle est à la pression haute (celle que l'on peut mesurer avec un voltmètre entre les deux bornes).</p> <p><b>Lorsqu'on parcourt un circuit fermé, la pression (le grisé) ne varie jamais le long d'un tuyau tant qu'il n'y a pas d'étranglement. Dans un circuit ouvert (sans courant), le seul endroit où une DDP est possible est aux bornes du générateur, de l'interrupteur ou de la diode.</b></p> <p>Une lampe brille d'autant plus fortement que la DDP à ses bornes est grande. Elle brille normalement si cette DDP est celle pour laquelle elle est conçue. Une DDP nulle implique une lampe éteinte.</p>	
	Portion de tuyau sous pression (tension) moyenne	B3		
	Portion de tuyau sous pression (tension) nulle	B4		
	Générateur (pile, dynamo ou transformateur)	B5		
	Récepteur avec différence de pression (si c'est une lampe, elle brille)			
	Trois récepteurs sans différence de pression (DDP nulle) et donc non parcourus par un courant (lampes éteintes)	Série S	S	
		Courant C	C1	Le courant se représente par des flèches. Le nombre de queues ou l'épaisseur des flèches indique l'intensité.
			C2	Le courant se partage entre les embranchements et se conserve.
			C3	Pour des récepteurs identiques, celui qui a la plus forte DDP est celui qui est parcouru par le plus grand courant.
	Diode (valve) laissant passer le courant	Diode D	D	Tournée dans un sens, la diode laisse passer un courant qui va du pôle + du générateur au pôle - ; elle ne produit alors pas de chute de pression ; il n'y a pas de DDP entre ses bornes. Si elle est branchée dans l'autre sens, elle ne laisse pas passer le courant (elle se comporte comme un interrupteur ouvert).
	Diode (valve) bloquant le passage du courant			

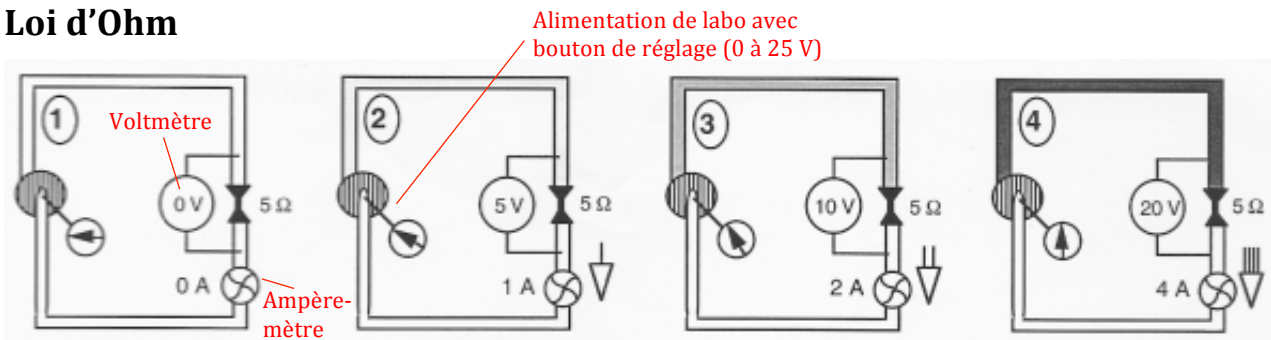
### Remarque sur la topologie des circuits



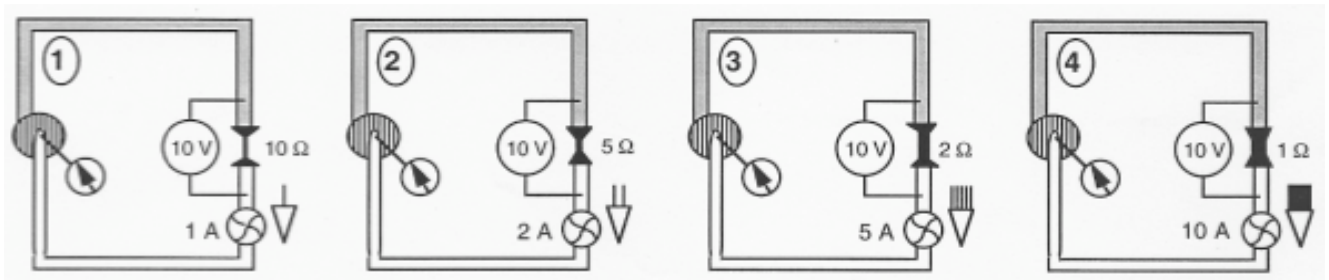
Ces deux manières de monter le circuit reviennent au même pour le fonctionnement des lampes. La modélisation est la même pour les deux.

## Résumé d'électricité

### Loi d'Ohm



Circuit hydraulique: plus la pression est forte, plus le débit obtenu est grand (résistance inchangée)  
 Circuit électrique: plus la tension est élevée, plus le courant débité est grand (résistance inchangée)

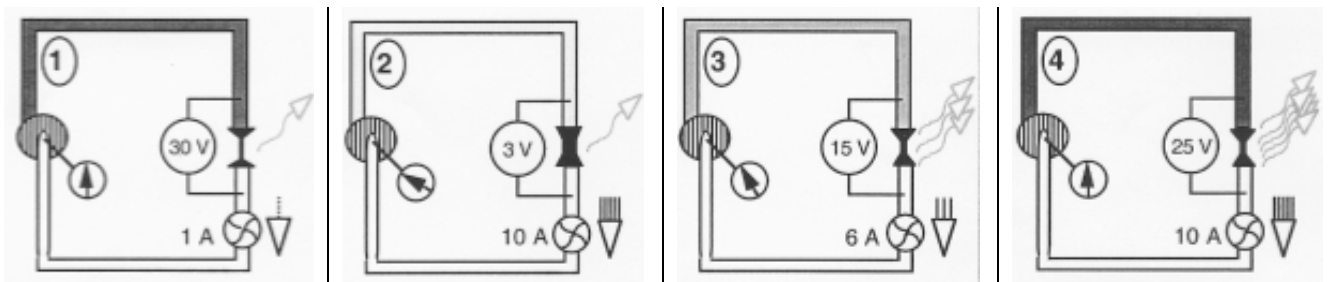


Circuit hydraulique: plus la résistance est faible, plus le débit obtenu est grand (pression inchangée)  
 Circuit électrique: plus la résistance est faible, plus le courant débité est grand (tension inchangée)

Le courant **I** (en ampères) est donné par le quotient de la tension **U** (en volts) par la résistance **R** (en ohms)

$$\text{Formule : } I = U / R$$

### Loi de Joule



Grande résistance.  
 Même avec un générateur donnant une forte tension, le courant est faible.  
 Puissance faible :  
 $30 \text{ V} \cdot 1 \text{ A} = 30 \text{ W}$

Petite résistance.  
 Courant très grand déjà avec une faible tension.  
 Puissance faible :  
 $3 \text{ V} \cdot 10 \text{ A} = 30 \text{ W}$

Résistance moyenne.  
 On peut avoir un courant moyen avec une tension moyenne.  
 Puissance forte :  
 $15 \text{ V} \cdot 6 \text{ A} = 90 \text{ W}$

Cas du générateur capable de débiter un grand courant avec une grande tension.  
 Puissance très forte :  
 $25 \text{ V} \cdot 10 \text{ A} = 250 \text{ W}$

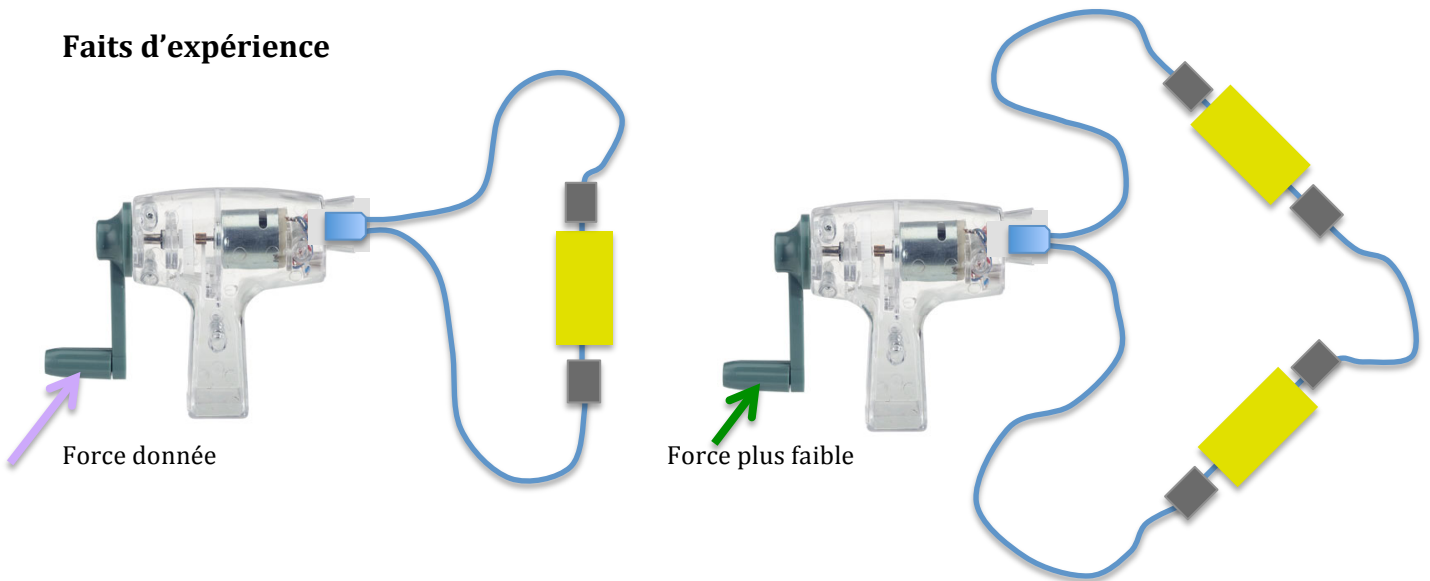
La puissance **P** (en watts) est donnée par le produit de la tension **U** (en volts) par le courant **I** (en ampères)

$$\text{Formule : } P = U \cdot I$$

Note : On peut réaliser ces montages. Utiliser une alimentation de labo assez puissante et des fils résistants en Ni-Cr ou en Cu-Ni de longueurs et sections différentes, enroulés en spirales et immergés dans de l'eau.

## Le modèle des grisés pour comprendre ce qui se passe dans des situations qui peuvent heurter l'intuition (les préconceptions)

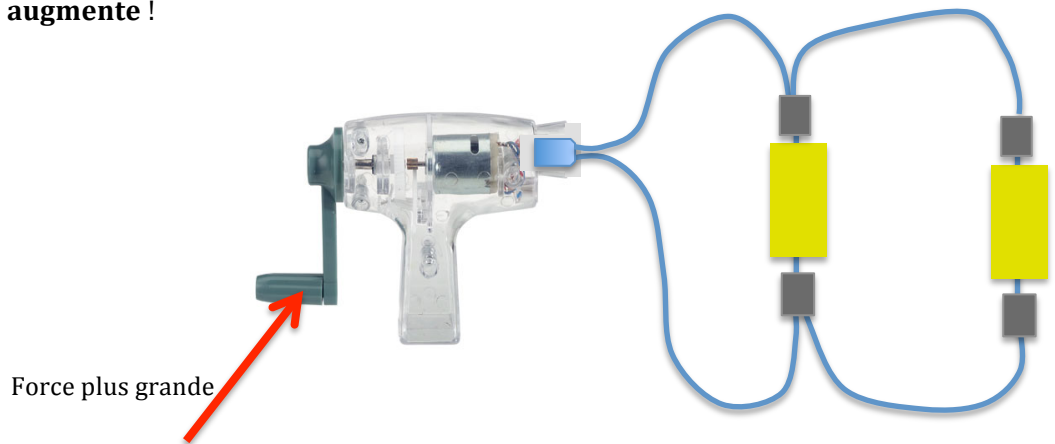
### Faits d'expérience



Lorsque l'on branche une résistance électrique sur une génératrice à main, on ressent une certaine « résistance mécanique » pour faire tourner la manivelle.

Si l'on place deux résistances en série ou si l'on remplace la résistance par une autre dont le nombre d'ohms est plus grand, alors la manivelle est plus **facile** à tourner !

Si on branche la génératrice sur deux résistances montées en parallèle, la résistance électrique diminue parce que le courant peut passer par deux chemins, mais la « résistance mécanique » ressentie pour faire tourner la manivelle **augmente** !



**En résumé, plus la résistance électrique est grande plus la manivelle est facile à tourner.**

**Ce qui est sous-entendu dans cette constatation, c'est que l'on tourne la manivelle à la même vitesse dans chaque cas.**

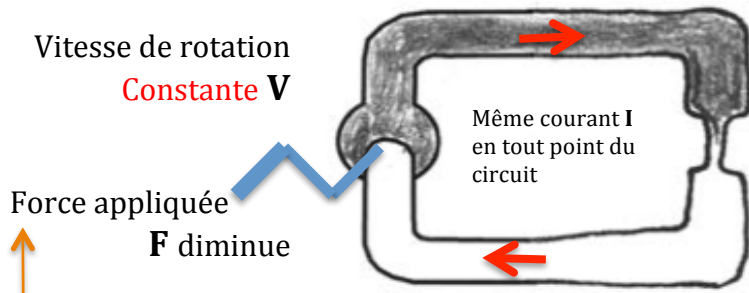
Si on remplace les résistances par des lampes (identiques), on s'aperçoit que pour une vitesse de rotation donnée, les lampes placées en série brillent chacune moins fort qu'une seule lampe tandis que, placées en parallèle, elles éclairent à peu près normalement. Ainsi, en série la puissance fournie est relativement petite tandis qu'en parallèle, la puissance fournie est plus grande.

Cela suggère que la force à appliquer à la manivelle (toujours pour une vitesse constante) est proportionnelle à la puissance de dissipation (au moins en première approximation).



Ce qui se passe peut être décrit de manière plus formelle au moyen du « modèle des grisés » :

La tension **U** aux bornes de la génératrice dépend de sa vitesse de rotation **V**



En vertu de la loi d'Ohm  $I = U/R$ . Avec **U** constante, Si **R** augmente, alors **I** diminue

En mécanique, la puissance est le produit de la force <b>F</b> par la vitesse <b>V</b>	En électricité, la puissance est le produit de la tension <b>U</b> par le courant <b>I</b>
--	--

Puissance mécanique  $P_{méc} = F \cdot V$  <->  $P_{élec} = U \cdot I$  Puissance électrique

$V_{cte}$  =====>  $U_{cte}$

En vertu de la loi de Joule,  $P_{élec} = U \cdot I$  donc...

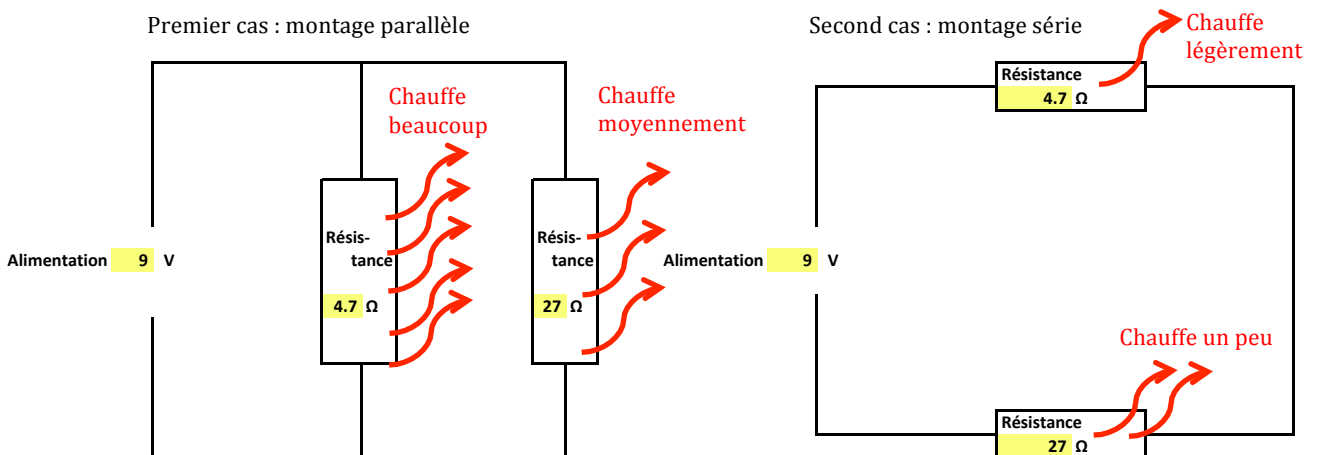
$F$  diminue <==  $P_{méc}$  diminue <==  $P_{élec}$  diminue <==  $I$  diminue

$P_{méc}$  et  $P_{élec}$  corrélées

### D'autres faits d'expérience

On raccorde sur une alimentation de laboratoire dont la tension de sortie est **fixée**, deux résistances dont les nombres d'ohms sont assez différents (une grande et une petite résistance), par exemple  $27 \Omega$  et  $4.7 \Omega$ .  
 Dans un premier cas les deux résistances sont montées en parallèle  
 Dans un second cas les deux résistances sont montées en série.

On constate au bout d'un certain temps que dans le montage en parallèle, la plus petite résistance chauffe plus que la plus grande tandis que c'est l'inverse dans le montage en série.

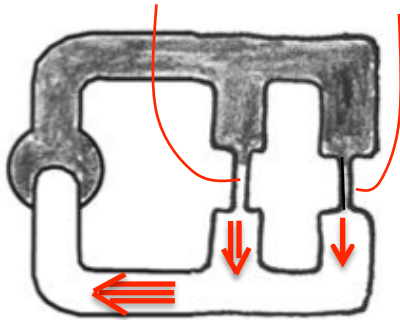


**Pourquoi, en parallèle, c'est la plus petite résistance qui chauffe le plus alors qu'en série, c'est la plus grande ?**

Le « modèle des grisés » permet de répondre à la question.

Faible résistance, grand courant

Grande résistance, petit courant



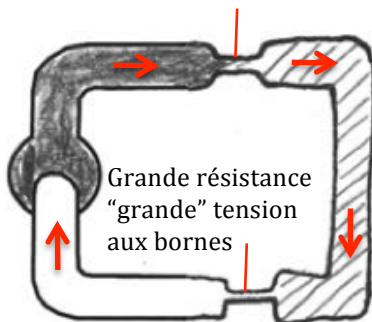
Mêmes **U**  
pour les  
deux  
résistances

Petite **R** => grand **I**  
=> **U • I** grand  
=> forte puissance  
=> fort échauffement

Courants **I**  
différents

Grande **R** => petit **I**  
=> **U • I** petit  
=> faible puissance  
=> faible échauffement

Faible résistance, "petite" tension aux bornes



Même **I**  
dans les  
deux  
résistances

Petite **R** => petite **U** (=  $U_p$ )  
=>  **$U_p • I$**  petit  
=> faible puissance  
=> faible échauffement

Tensions **U**  
différentes

Grande **R** => grande **U** (=  $U_g$ )  
=>  **$U_g • I$**  grand  
=> forte puissance  
=> fort échauffement

**Remarque**

Si la tension appliquée au moyen de l'alimentation est la même dans les deux montages, les puissances sont plus grande dans le montage en parallèle que dans celui en série.

Avec les valeurs indiquées dans les schémas ci-dessus, c'est à dire des résistances de 4.7 Ω et 27 Ω \* et une tension appliquée de 9 V, on a les puissances **P** dissipées suivantes :

**En parallèle**

- Résistance de 4.7 Ω :  $I = U / R = 9 \text{ V} / 4.7 \text{ } \Omega = 1.91 \text{ A}$        $P = U • I = 9 \text{ V} • 1.91 \text{ A} = 17.2 \text{ W}$
- Résistance de 27 Ω :  $I = U / R = 9 \text{ V} / 27 \text{ } \Omega = 0.33 \text{ A}$        $P = U • I = 9 \text{ V} • 0.33 \text{ A} = 3.0 \text{ W}$

**En série**

Le courant constant est de  $I = U / R$  où R est la somme des résistances rencontrées dans le circuit  $I = 9 \text{ V} / (4.7 \text{ } \Omega + 27 \text{ } \Omega) = 0.284 \text{ A}$

- Résistance de 4.7 Ω : Tension aux bornes  $U_p = R • I = 4.7 \text{ } \Omega • 0.284 \text{ A} = 1.33 \text{ V}$   
 $P = U_p • I = 1.33 \text{ V} • 0.284 \text{ A} = 0,38 \text{ W}$
- Résistance de 27 Ω : Tension aux bornes  $U_g = R • I = 27 \text{ } \Omega • 0.284 \text{ A} = 7.66 \text{ V}$   
 $P = U_g • I = 7,66 \text{ V} • 0.284 \text{ A} = 2,17 \text{ W}$

\* Valeurs standards commercialisées pour des résistances dissipatives

## Modèle hydraulique du circuit électrique - Tableau de comparaison (liens sémantiques)

*Suggestion : produire une illustration pour chaque case du tableau*

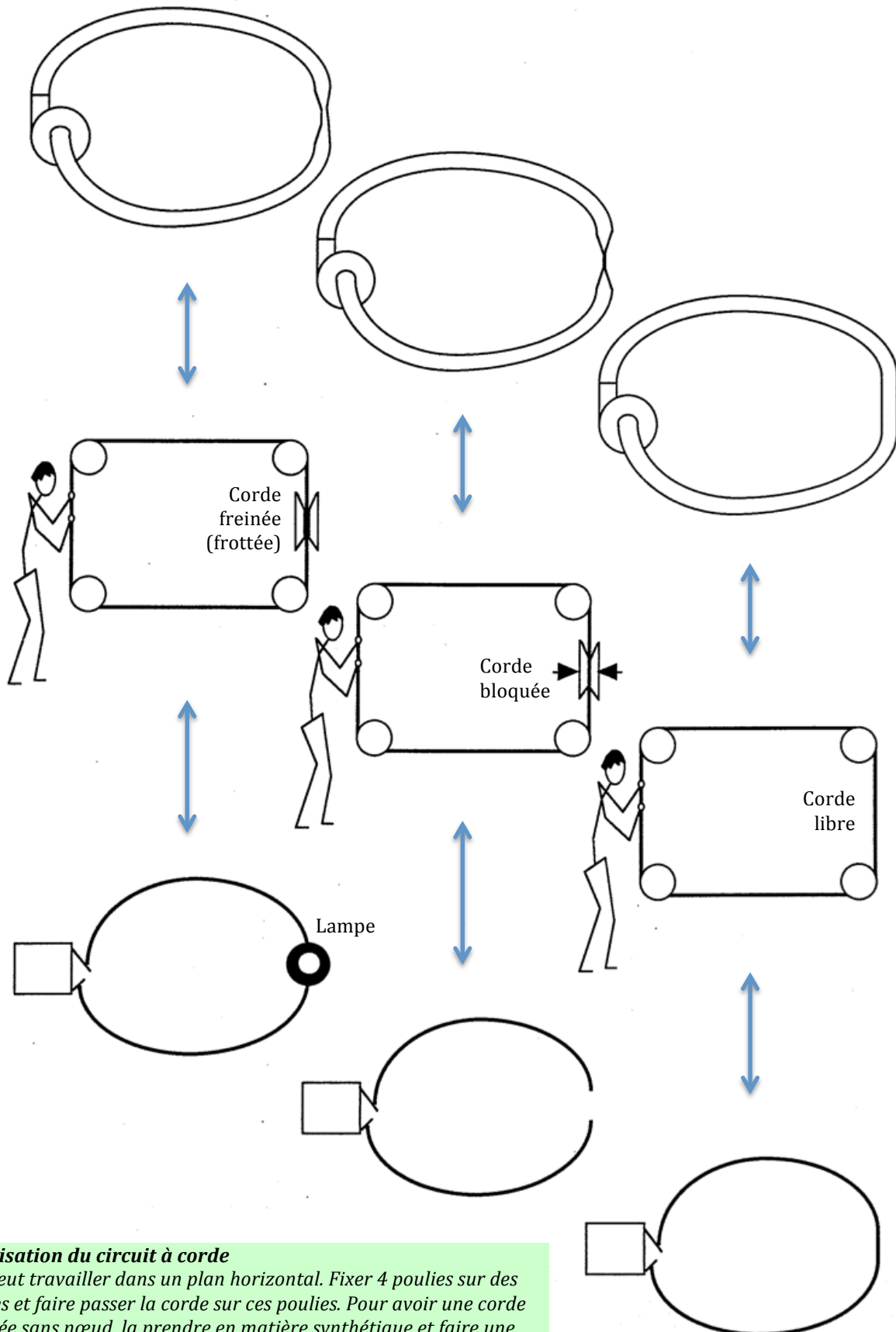
Le circuit hydraulique	Le circuit électrique
<p>La pompe (d'aquarium par exemple) aspire l'eau du circuit par son orifice d'entrée et la refoule dans le circuit par son orifice de sortie.</p> <p>Son rôle est de faire circuler le plus de molécules d'eau possibles (le plus grand courant d'eau, le plus grand débit) en maintenant autant que possible la différence de pression entre l'entrée et la sortie.</p> <p>Quand on demande toujours plus de débit à la pompe, cette pression reste d'abord assez constante mais elle chute quand le courant devient trop grand (par exemple si on met la pompe en court-circuit).</p>	<p>La pile électrique aspire les électrons du circuit par sa borne d'entrée (pôle <math>\oplus</math>) et les refoule dans le circuit par sa borne de sortie (pôle <math>\ominus</math>).</p> <p>Son rôle est de faire circuler le plus d'électrons possibles (le plus grand courant électrique, le plus grand débit) en maintenant autant que possible la différence de pression entre l'entrée et la sortie (la tension entre ses deux bornes).</p> <p>Quand on demande toujours plus de débit à la pile, cette tension reste d'abord assez constante mais elle chute quand le courant devient trop grand (par exemple si on met la pile en court-circuit).</p> <p>Ceci est aussi vrai pour tout générateur électrique comme une dynamo, une batterie, le réseau électrique (les génératrices de ce réseau).</p>
<p>Cela ne se fait en principe pas, mais on peut imaginer une pompe alternative qui donnerait un mouvement de va-et-vient à l'eau.</p>	<p>Il faut préciser que beaucoup de circuits électriques sont à courant alternatif. Leur générateur donne aux électrons un mouvement de va-et-vient rapide car leur polarité <math>\oplus/\ominus</math> s'inverse sans périodiquement. Le réseau électrique a une polarité qui s'inverse 100 fois par seconde. On dit que sa fréquence est de 50 hertz (50 aller et retour des électrons par seconde).</p> <p>Voir à ce propos le document « Courant alternatif théorie » à disposition dans la BDRP.</p>
<p>Ce qui fait que la pompe débite un courant plus ou moins grand, c'est la résistance plus ou moins faible du circuit.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Le pontage de l'entrée et de la sortie de la pompe donne la résistance minimale : l'eau n'est pratiquement pas freinée dans sa circulation.</li> <li>• Lorsqu'on <b>ferme un robinet</b> ou une vanne ou si l'on écrase la conduite, la résistance au passage de l'eau devient infinie. L'eau ne peut plus circuler.</li> <li>• Lorsque l'eau circule en faisant fonctionner un appareil, une turbine par exemple, cela fait tourner ses pales et libère de l'énergie. Cette énergie provient de la pompe qui fait circuler l'eau. La turbine offre une certaine résistance au passage de l'eau.</li> </ul>	<p>Ce qui fait que la pile débite un courant plus ou moins grand, c'est la résistance plus ou moins faible du circuit.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Quand on relie les deux bornes de sortie d'un générateur, on fait un court-circuit. La résistance au passage du courant est minimale : les électrons ne sont pratiquement pas freinés dans leur circulation.</li> <li>• Lorsqu'on fait une coupure dans le circuit, par exemple si on <b>ouvre un interrupteur</b>, la résistance au passage du courant devient infinie: les électrons ne peuvent pas circuler du tout.</li> <li>• Lorsque des électrons circulent dans un appareil, une lampe par exemple, ils produisent un échauffement du filament. Celui-ci devient lumineux. De l'énergie est libérée qui provient du générateur (la pile par ex.) . La lampe offre une certaine résistance au passage du courant.</li> </ul>

<p>Le courant ou débit d'eau se mesure.</p> <p>Unité: le litre par seconde, symbole <b>L/s</b> ou <b>L s<sup>-1</sup></b> (le <b>ℓ</b> minuscule est également admis pour le litre)</p> <p>L'appareil de mesure est le débitmètre. Le débitmètre est traversé par le courant qu'il mesure. Il doit avoir une très faible résistance, il ne doit pas freiner le courant qu'il mesure.</p>	<p>Le courant électrique se mesure.</p> <p>Unité : l'ampère, symbole <b>A</b></p> <p>L'appareil de mesure est l'ampèremètre. L'ampèremètre est traversé par le courant qu'il mesure. Il doit avoir une très faible résistance, il ne doit pas freiner le courant qu'il mesure.</p>
<p>La pression d'eau se mesure.</p> <p>Unité: le bar, symbole <b>bar</b></p> <p>L'appareil de mesure est le manomètre.</p> <p>Le manomètre ne fait que comparer la pression entre deux points (le plus souvent entre un point du circuit et l'atmosphère). Il n'est pas traversé par un courant.</p>	<p>La tension électrique se mesure.</p> <p>Unité : le volt, symbole <b>V</b></p> <p>L'appareil de mesure est le voltmètre.</p> <p>Le voltmètre ne fait que comparer la pression (ou tension) entre ses deux bornes. Il n'est pas traversé par un courant (sinon par un courant presque insignifiant). Il doit donc avoir une très grande résistance.</p>
<p>La résistance hydraulique pourrait se mesurer d'après le débit obtenu dans cette résistance pour une différence de pression donnée.</p> <p>Dans l'assortiment du commerce courant, il n'existe pas d'appareil qui mesure directement une résistance hydraulique.</p>	<p>La résistance électrique se mesure.</p> <p>Unité : l'ohm, symbole <b>Ω</b></p> <p>L'appareil de mesure est l'ohmmètre.</p> <p>Une pile, incluse à l'appareil, donne une certaine tension aux bornes de l'ohmmètre et fait circuler un très léger courant dans la résistance à mesurer. L'intensité de ce courant est traduite en ohms. Plus le courant est grand, plus le nombre d'ohms est faible. l'ohmmètre doit donc avoir une très grande résistance.</p>
<p>On dit que deux éléments d'un circuit hydraulique sont placés en série lorsque l'eau les traverse l'un après l'autre.</p> <p>L'eau ne se perd pas en route et ne se fabrique pas dans le circuit donc le courant est le même dans deux éléments placés en série.</p>	<p>On dit que deux éléments d'un circuit électrique sont placés en série lorsque le courant électrique (les électrons) les traversent l'un après l'autre.</p> <p>Les électrons ne se perdent pas en route et ne sont pas produits dans le circuit donc le courant est le même dans deux éléments placés en série.</p>
<p>On dit que deux éléments d'un circuit hydraulique sont placés en parallèle lorsque leurs orifices d'entrée sont en communication et que leurs orifices de sortie sont également en communication. L'eau se partage, une partie passant dans un des éléments et l'autre partie passant dans l'autre élément.</p> <p>Comme les orifices d'entrée sont reliés entre eux et que les orifices de sortie sont également reliés entre eux, la différence de pression est la même entre les orifices d'entrée et de sortie de chacun des deux éléments.</p>	<p>On dit que deux éléments d'un circuit électrique sont placés en parallèle lorsque leurs bornes d'entrée sont reliées entre elles et que leurs bornes de sortie sont également reliées entre elles. Le courant (les électrons) se partage(nt), une partie passant dans un des éléments et l'autre partie passant dans l'autre élément.</p> <p>Comme les bornes d'entrée sont reliées entre elles et que les bornes de sortie sont également reliées entre elles, la tension électrique est la même aux bornes de chaque élément.</p>

## Une variante du modèle des grisés : le modèle de la corde freinée

Mettre des grisés et des flèches dans les circuits hydrauliques et commenter les dessins

Circuit hydraulique, circuit à corde, circuit électrique



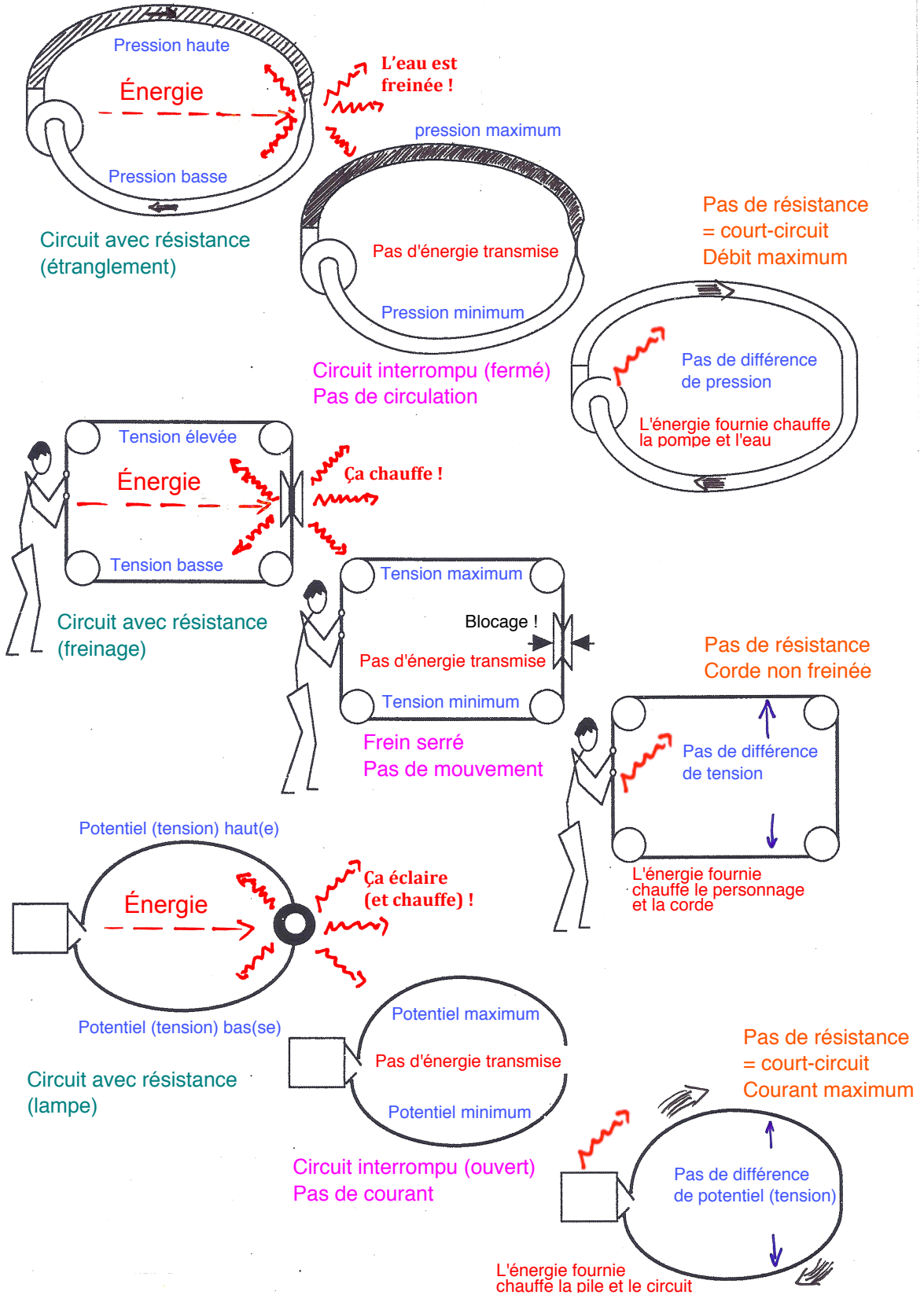
### Réalisation du circuit à corde

On peut travailler dans un plan horizontal. Fixer 4 poulies sur des tables et faire passer la corde sur ces poulies. Pour avoir une corde fermée sans nœud, la prendre en matière synthétique et faire une soudure à chaud et/ou la raccorder avec une agrafe en fil de fer. Le frein peut être un gant épais ou un chiffon tenu à la main.

# Une variante du modèle des grisés : le modèle de la corde freinée

Dessins complétés et commentés

Circuit hydraulique, circuit à corde, circuit électrique



## Mesure du courant et de la tension dans un circuit électrique Comparaison avec les mesures de débit et de pression dans un circuit hydraulique

Le courant ou débit d'un fluide se mesure en litres par seconde, symbole  $L/s$  ou  $L s^{-1}$

(le  $l$  minuscule est également admis pour le litre)

L'appareil de mesure est le débitmètre. Le débitmètre est traversé par le courant qu'il mesure. Il doit avoir une très faible résistance, il ne doit pas freiner le courant du fluide qu'il mesure.

La pression du fluide se mesure en bars, symbole **bar**

L'appareil de mesure est le manomètre.

Le manomètre ne fait que comparer la pression entre deux points (le plus souvent entre un point du circuit et l'atmosphère). Il n'est pas traversé par un courant.

Le courant électrique se mesure en ampères, symbole **A**

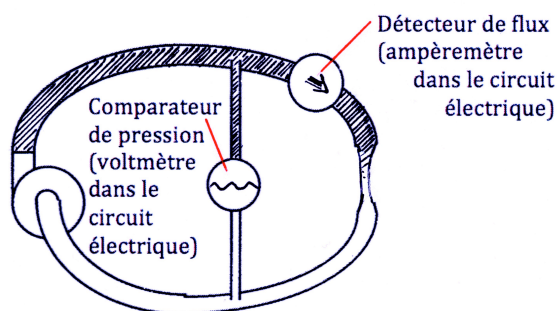
L'appareil de mesure est l'ampèremètre. L'ampèremètre est traversé par le courant qu'il mesure. Il doit avoir une très faible résistance, il ne doit pas freiner le courant électrique qu'il mesure.

La tension électrique se mesure en volts, symbole **V**

L'appareil de mesure est le voltmètre.

Le voltmètre ne fait que comparer la pression (ou tension) entre ses deux bornes. Il n'est pas traversé par un courant (sinon par un courant presque insignifiant). Il doit donc avoir une très grande résistance.

Schéma d'un circuit hydraulique avec mesure du débit et mesure de la différence de pression.



Ci-dessous, l'exemple d'un circuit avec une pile et une lampe. Le montage est fait selon la variante de schéma présentée ci-contre. L'ampèremètre mesure un courant de 0.21 A tandis que le voltmètre mesure une tension de 4.24 V

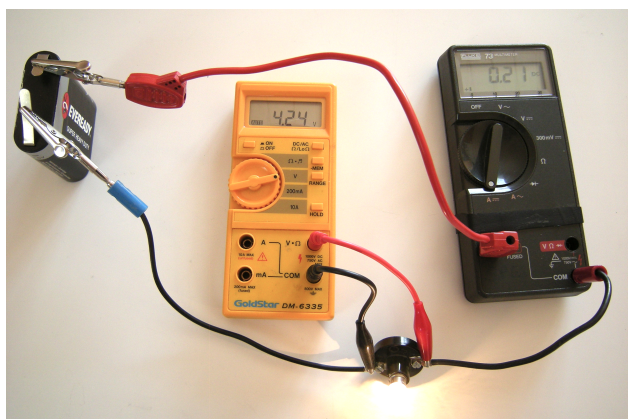
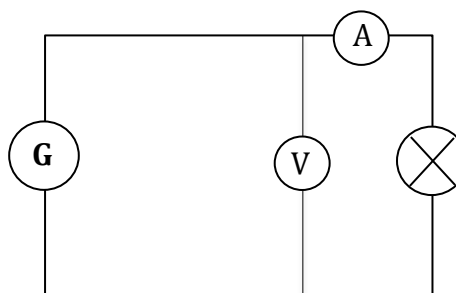
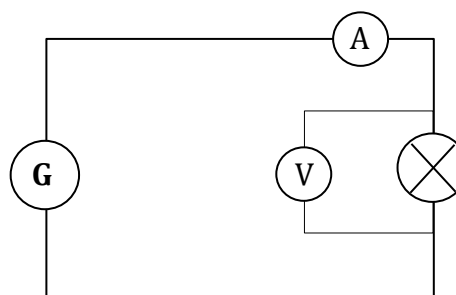


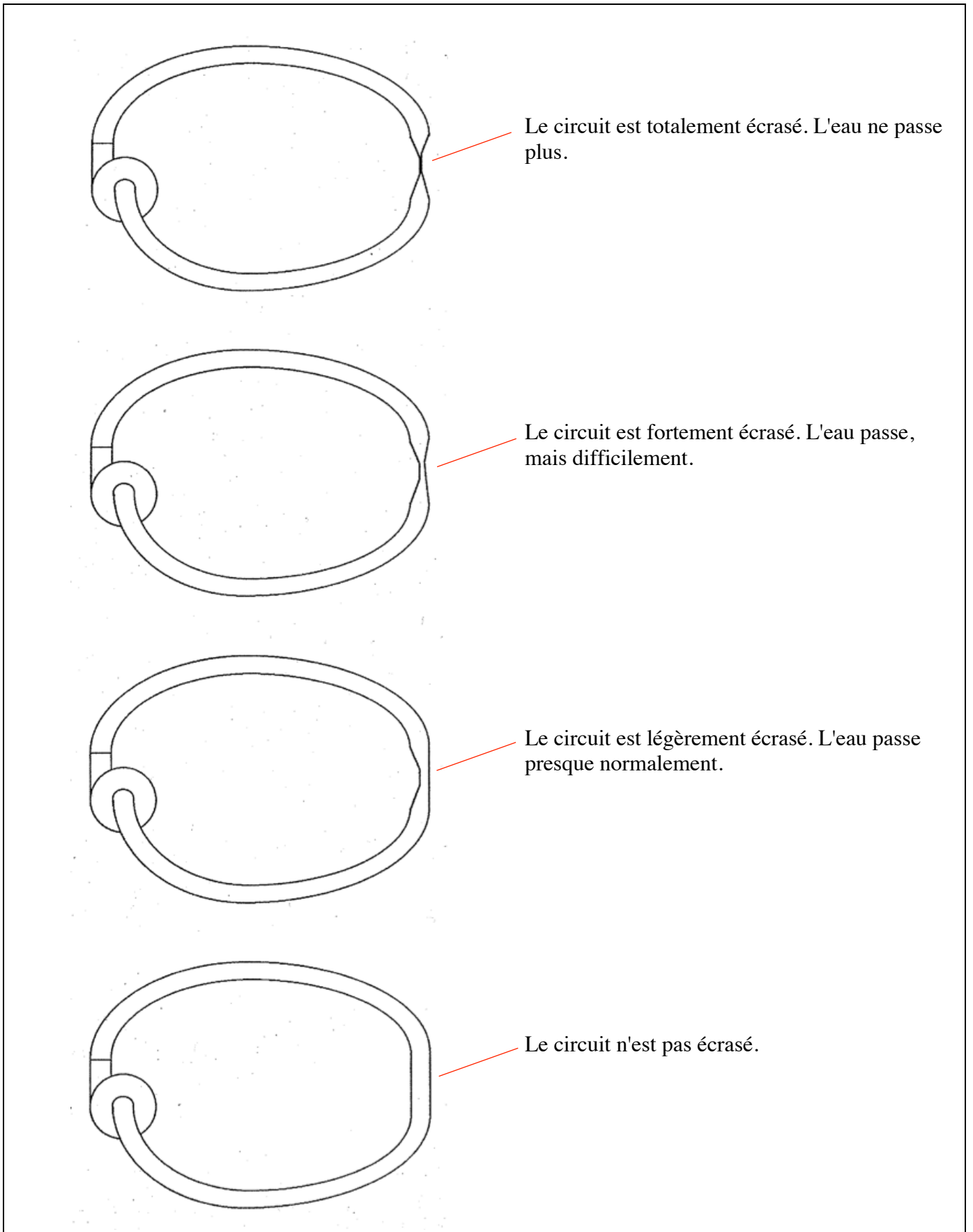
Schéma d'un circuit électrique avec mesure du débit (courant) au moyen d'un ampèremètre et mesure de la différence de pression (tension) aux bornes de la lampe au moyen d'un voltmètre.



Ci-dessous, variante du circuit électrique donnant les mêmes mesures (les effets des appareils de mesure sur le comportement du circuit étant négligeables).



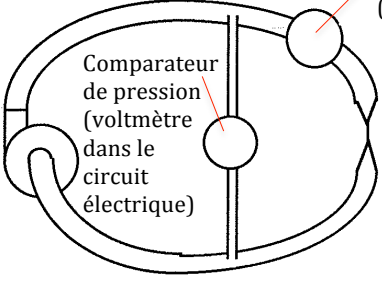
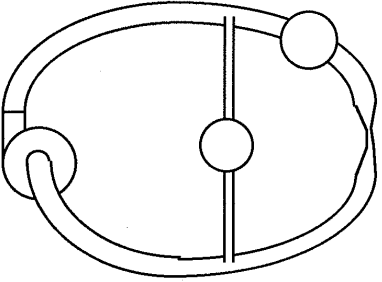
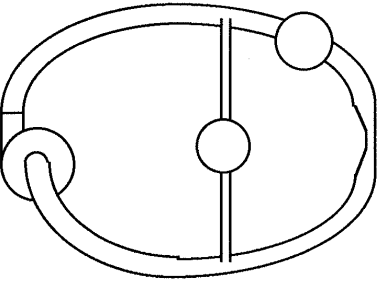
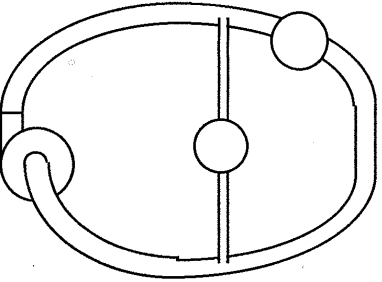
Compléter les dessins par des grisés qui expriment la pression dans le circuit hydraulique.



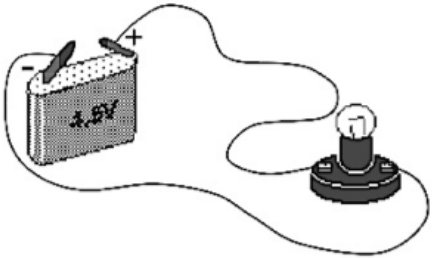
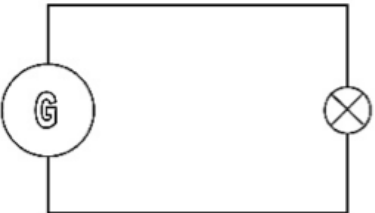
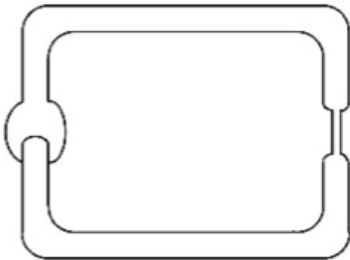
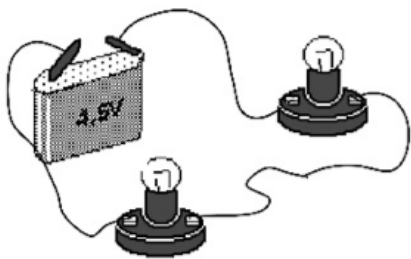
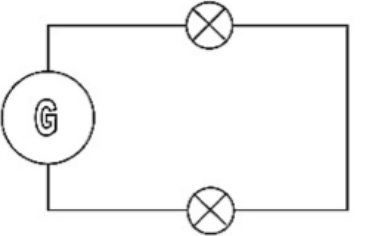
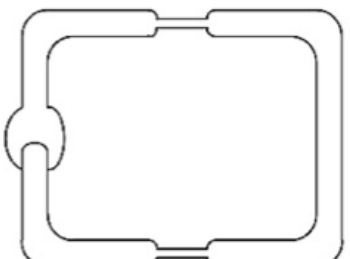
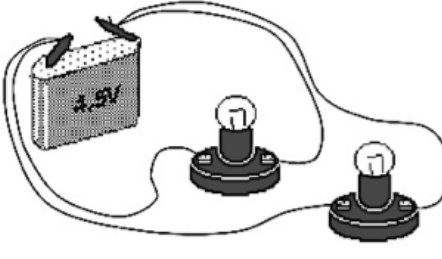
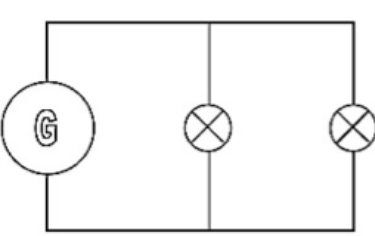
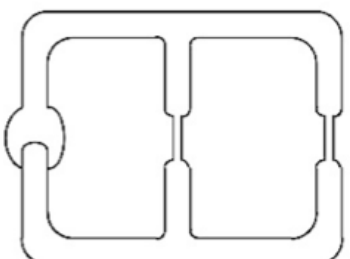
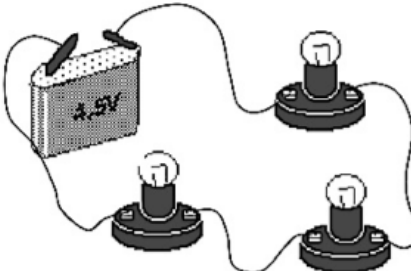
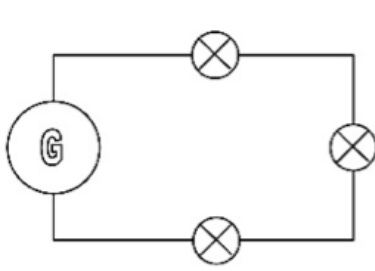
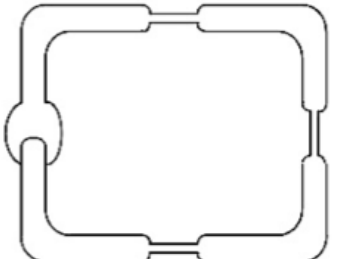


Compléter les dessins par des grisés qui expriment la pression dans le circuit hydraulique.  
 Dessiner les schémas des circuits électriques. Chaque schéma comprend un ampèremètre et un voltmètre

Les 4 cas présentés ci-dessous se distinguent par le pincement plus ou moins marqué du circuit hydraulique.

Circuits hydrauliques	Schémas
<p>1</p>  <p>Comparateur de pression (voltmètre dans le circuit électrique)</p> <p>Détecteur de flux (ampèremètre dans le circuit électrique)</p>	
<p>2</p> 	
<p>3</p> 	
<p>4</p> 	

Consignes : complète les modèles de circuits à eau en grisant plus ou moins les tuyaux en fonction du nombre de volts (pression) disponibles. Plus il y a de volts et plus le gris est foncé. Quand il n'y a plus de volts le tuyau reste blanc.

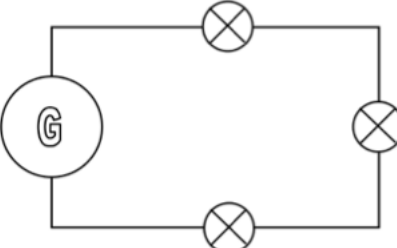
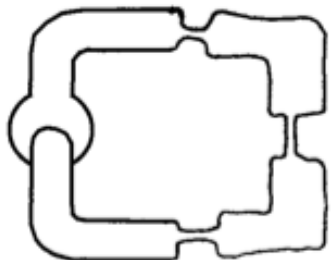
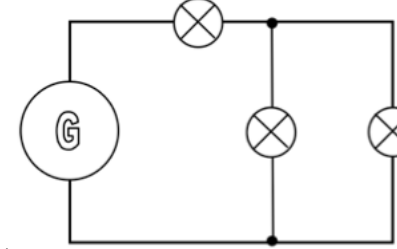
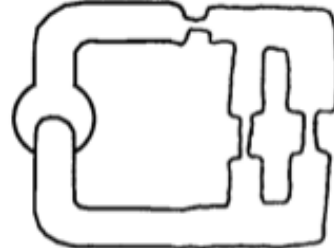
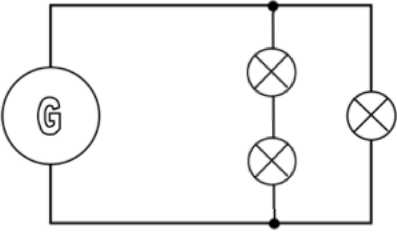
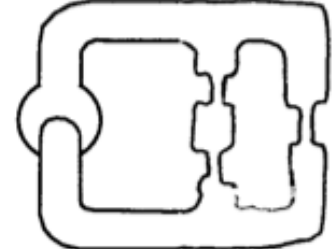
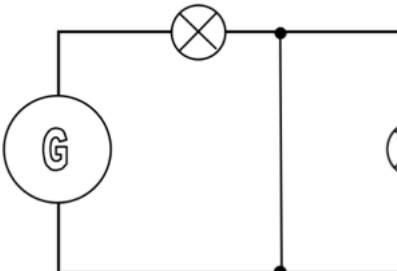
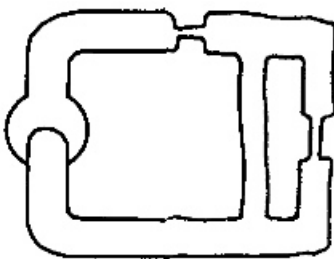
Dessin	Schéma	Modélisation/ Circuit à eau
		
		
		
		

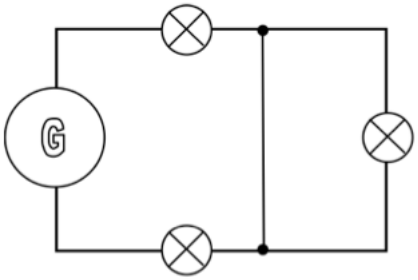
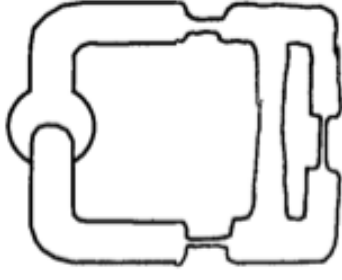
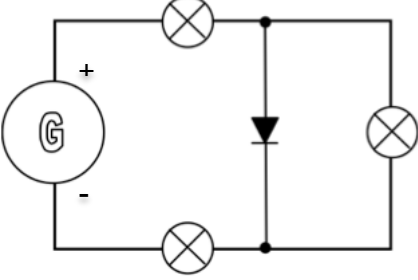
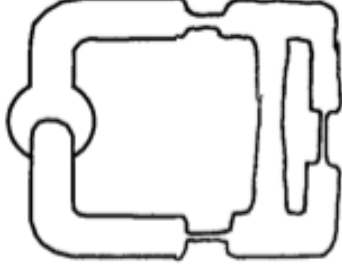
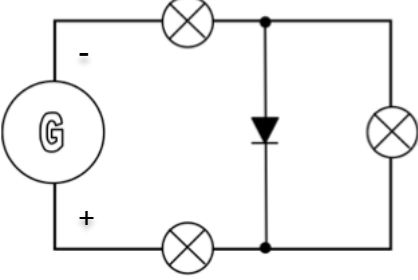
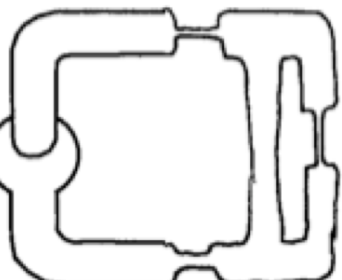
## Schémas électriques et schémas hydrauliques

Les numéros des circuits ci-dessous correspondent à ceux qui sont donnés dans les pages « Application du modèle des grisés dans diverses configurations de circuits ».

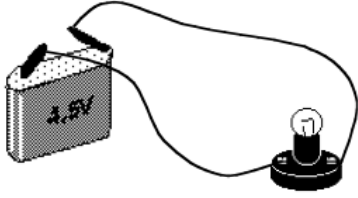
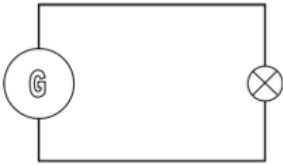
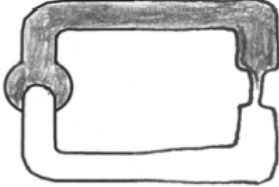
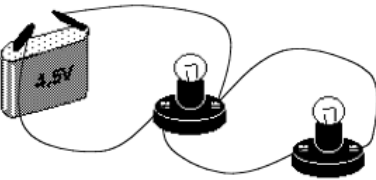
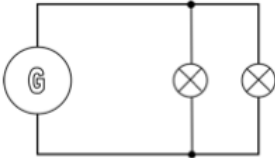
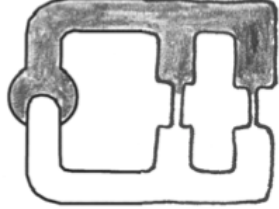
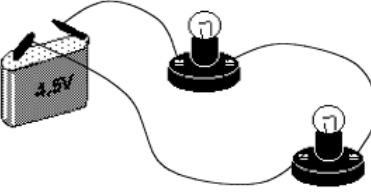
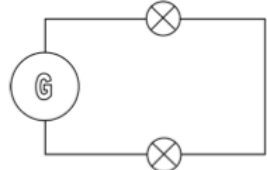
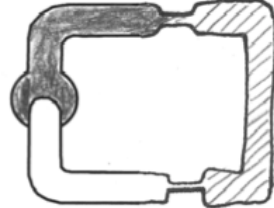
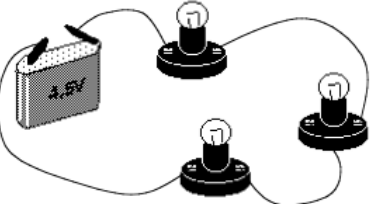
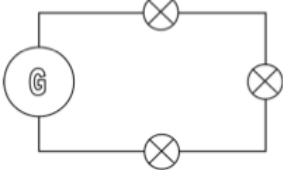
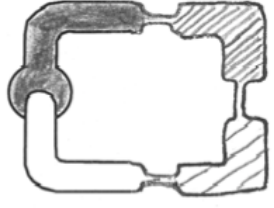
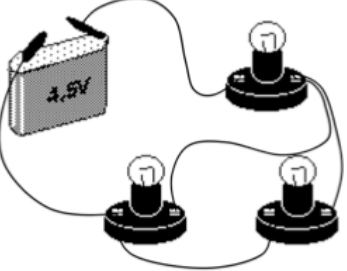
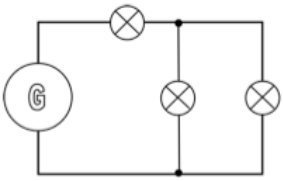
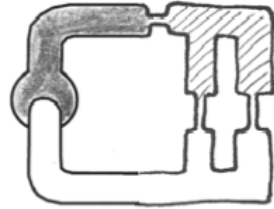
Dans chacun des montages donnés, les ampoules sont identiques et prévues pour éclairer normalement lorsqu'on les branche seules sur une pile (le générateur G)

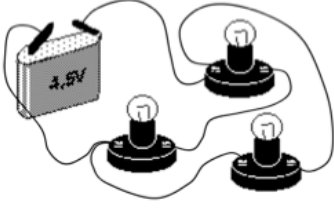
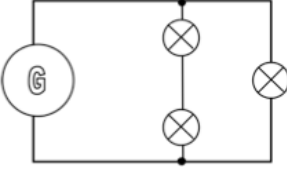
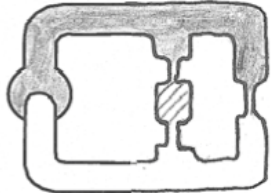
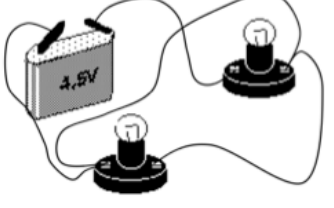
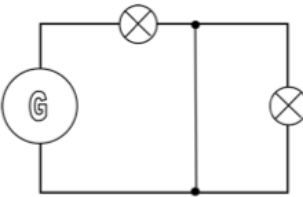
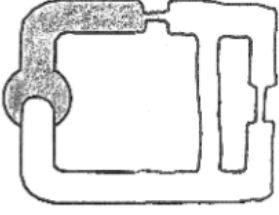
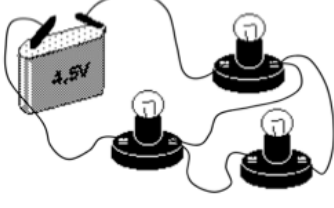
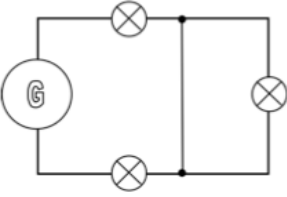
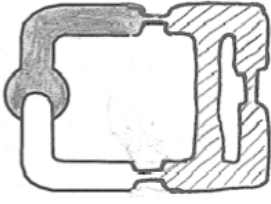
- Placer les grisés dans les schémas hydrauliques
- Décrire comment les ampoules brillent (ampoules supposées toutes identiques)

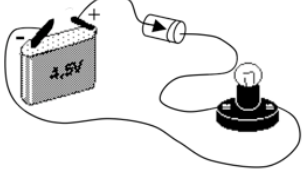
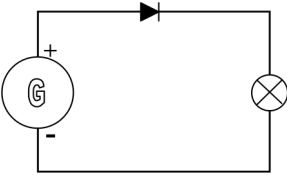
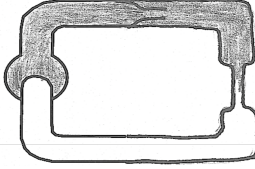
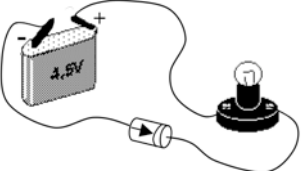
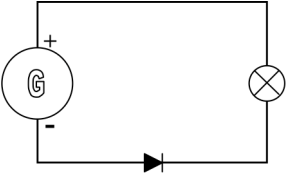
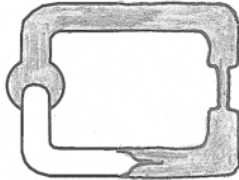
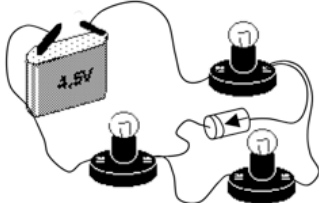
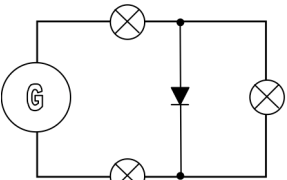
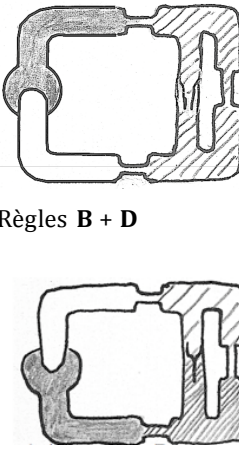
<p>4</p> 		
<p>5</p> 		
<p>6</p> 		
<p>7</p> 		

 <p>8</p>	
 <p>11 (+ en haut, - en bas)</p>	 <p>Ajouter aux dessins ci-dessus et ci-dessous ce qui peut jouer le rôle de la diode.</p>
 <p>11 (- en haut, + en bas)</p>	

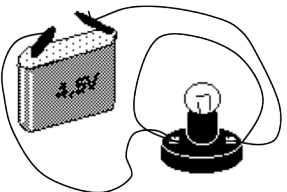
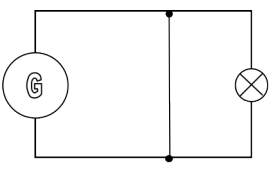
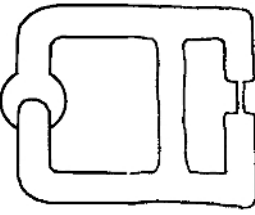
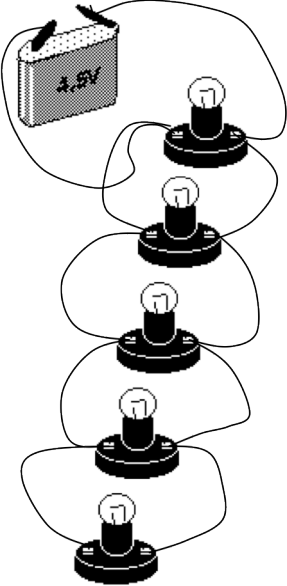
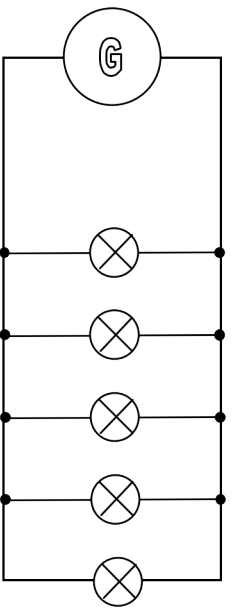
## Application du modèle des grisés dans diverses configurations de circuits

Dessin du circuit	Schéma	Modélisation	Empirisme / Syntaxe
<p>1 Montage simple</p> 		 <p>Règles <b>B</b></p>	<p>La lampe éclaire normalement.</p> <p><i>Entre l'entrée et la sortie de la lampe, il y a la même DDP qu'entre l'entrée et la sortie de la pile (la même différence de grisés).</i></p>
<p>2 Montage en parallèle</p> 		 <p>Règles <b>B</b></p>	<p>Les deux lampes éclairent normalement.</p> <p><i>Entre l'entrée et la sortie de chacune des deux lampes, il y a la même DDP qu'entre l'entrée et la sortie de la pile (la même différence de grisés).</i></p>
<p>3 Montage en série</p> 		 <p>Règles <b>B + S</b></p>	<p>Les deux lampes identiques éclairent faiblement et avec la même luminosité.</p> <p><i>Entre l'entrée et la sortie de chaque lampe, il y a une DDP qui vaut la moitié de la DDP entretenue par le générateur.</i></p>
<p>4 Montage en série</p> 		 <p>Règles <b>B + S</b></p>	<p>Les trois lampes identiques éclairent encore plus faiblement que ci-dessus (2) mais les trois avec la même intensité.</p> <p><i>Entre l'entrée et la sortie de chaque lampe, il y a une DDP qui vaut le tiers de la DDP entretenue par le générateur. Ici 1.5 volts.</i></p>
<p>5 Montage mixte</p> 		 <p>Règles <b>B + C</b></p>	<p>La lampe en série éclaire plus faiblement que normalement. Les deux lampes identiques qui sont en parallèle éclairent encore plus faiblement mais avec la même intensité toutes les deux.</p> <p><i>Le courant qui traverse la lampe en série est plus grand que le courant qui traverse chacune des lampes en parallèle. La DDP aux bornes de cette lampe est plus grande que la DDP existant aux bornes des deux autres.</i></p>

Dessin du circuit	Schéma	Modélisation	Empirisme / Syntaxe
<p><b>6 Montage mixte</b></p> 		 <p>Règles <b>B + S</b></p>	<p>Deux lampes sont branchées en série sur le générateur. Elles éclairent faiblement.  <i>Il y a une DDP de 2.25 V entre l'entrée et la sortie de chacune.</i>                  La troisième lampe est placée en parallèle sur les deux autres. Elle éclaire normalement.  <i>Il y a une DDP de 4.5 V entre l'entrée et la sortie de cette lampe.</i></p>
<p><b>7 Montage 2 lampes et court-circuit</b></p> 		 <p>Règles <b>B</b></p>	<p>Deux lampes sont branchées en série sur le générateur. L'une d'elles est court-circuitée.  <i>Il y a une DDP de 4.5 V entre l'entrée et la sortie de la première lampe et de 0 V entre l'entrée et la sortie de la seconde.</i>                  La première lampe éclaire normalement, la seconde est éteinte.</p>
<p><b>8 Montage 3 lampes et court-circuit</b></p> 		 <p>Règles <b>B</b></p>	<p>Deux lampes sont branchées en série sur le générateur. Elles éclairent faiblement.  <i>Il y a une DDP de 2.25 V entre l'entrée et la sortie de chacune.</i>                  La troisième lampe est <b>court-circuitée</b> par le fil qui relie les deux premières lampes. Elle demeure éteinte.  <i>Toute la portion de circuit comprise entre les deux lampes est à la même pression de 2.25 V.</i></p>

Circuits avec diodes			
Dessin du circuit	Schéma	Modélisation	Empirisme / Syntaxe
<p>9 Montage avec diode</p> 		 <p>Règles <b>B + D</b></p>	<p>On a placé une <b>diode</b> en série dans le circuit. La lampe s'allume normalement. Le courant ne peut passer que dans <b>un seul sens</b>.</p> <p><i>La diode n'a aucun effet sur le courant. Il n'y a pas de DDP entre son entrée et sa sortie.</i></p>
<p>10 Montage avec diode</p> 		 <p>Règles <b>B + D</b></p>	<p>Ici, la diode est placée de manière à <b>interdire le passage</b> du courant (circuit ouvert). La lampe est éteinte.</p> <p><i>La pression est de 4.5 volts jusqu'à la diode puis 0 volts entre la diode et la borne - du générateur. Il n'y a pas de DDP aux bornes de la lampe donc pas d'éclairement.</i></p>
<p>11 Même circuit que le No 8 mais avec une diode entre deux lampes</p> 		 <p>Règles <b>B + D</b></p> <p>Règles <b>B + S + D</b></p>	<p>Selon la manière dont on branche le générateur (borne + et borne -), on a :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Un circuit avec deux lampes en série. Le courant passe dans la diode et ne passe pas dans la troisième lampe qui reste éteinte. <i>On est dans la même situation que ci-dessus (8) : Toute la portion de circuit comprise entre les deux lampes est à la même pression de 2.25 V.</i></li> <li>• Un circuit avec trois lampes en série éclairant très faiblement. Le courant ne passe pas dans la diode, mais un courant identique passe dans les trois lampes. <i>Il y a une DDP de 1.5 V entre l'entrée et la sortie de chacune.</i></li> </ul>

## Des situations observables qui échappent au modèle

<p>Montage avec court-circuit</p> 		 <p>La règle B4 nous dit que l'ensemble du circuit doit être à la même pression.</p> <p>On en déduit que la lampe est éteinte, ce qui se vérifie.</p> <p>Mais la règle B3 nous renvoie à une contradiction. Quelle couleur choisir ? Tout blanc ou tout foncé ?</p> <p>Un modèle plus élaboré pourrait nous sortir de l'impasse. Ce modèle devrait introduire une résistance interne du générateur. On pourrait alors faire dire à ce modèle qu'un courant de court-circuit s'établit et que l'énergie se dissipe à l'intérieur du générateur. Ce qu'on vérifie empiriquement puisque la pile chauffe !</p>
<p>Montage avec un grand nombre de lampes en parallèle</p> 		<p>Ici, en appliquant les règles du modèle, on conclut que toutes les lampes éclairent normalement (comme si chacune était seule).</p> <p>Empiriquement, on constate que plus il y a de lampes, plus leur éclat diminue. Les lampes brillent toujours autant l'une que l'autre, mais moins fort qu'une lampe seule. En fait, la tension aux bornes de la pile décroît au fur et à mesure qu'augmente le courant débité. Il y a risque pour les élèves de confondre ce fait avec ce qui se passe dans le cas des lampes en série. Pourtant, la diminution d'éclat des lampes est ici nettement moindre.</p> <p>Là encore, un modèle incluant la résistance interne du générateur permettrait de rendre compte de ce qui s'observe. On pourrait alors faire dire à ce modèle qu'une chute de pression dans la résistance interne fait qu'aux bornes du générateur, la DDP diminue au fur et à mesure que l'on augmente le nombre de lampes. De fait, en continuant à brancher toujours plus d'ampoules en parallèle, on se rapproche d'une situation de court-circuit du générateur.</p>