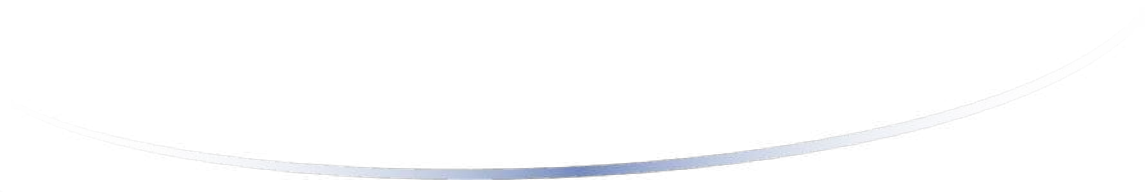




Notions d'électricité et d'électronique adaptées à l'informaticien industriel



Hainaut Patrick 2025



But de cette présentation

- Nos ordinateurs sont constitués de circuits électroniques
- L'informaticien industriel est aussi amené à travailler sur des circuits électroniques comme des projets microcontrôleurs, des capteurs, des circuits de led, de la régulation de moteurs, de la robotique, ...
- Le tout est alimenté à partir de batteries ou du secteur 230V

Introduction

- L'électricité et l'électronique sont partout et on ne saurait plus s'en passer
- Notre quotidien regorge d'appareils alimentés électriquement
- Mais on ne peut pas alimenter n'importe quoi n'importe comment et il faut pouvoir choisir sa source d'alimentation en toute connaissance de cause
- Et pour concevoir des circuits électroniques, il est nécessaire de connaître les différents composants à notre disposition

Qu'est-ce que l'électricité ?

- C'est une forme d'énergie invisible, dont on voit les manifestations, qui peut être transformée en d'autres formes d'énergie comme la lumière et la chaleur
- L'électricité est produite lorsqu'on force les électrons des atomes à se déplacer d'un atome à l'autre
- Généralement, on fait tourner une turbine (via eau, vapeur, vent, ...) reliée à un alternateur qui va faire tourner un aimant autour duquel se trouve une bobine de cuivre, ce qui entraîne un déplacement d'électrons dans la bobine et donc une production d'électricité

Qu'est-ce que la tension ?

- la tension électrique représente la force qui pousse les électrons à se déplacer à travers un circuit électrique
- Lorsqu'il y a une différence de potentiel électrique entre deux points d'un circuit, cette différence crée une tension qui agit comme une force motrice pour les électrons

- **U** (la tension) est mesurée en volts (**V**)

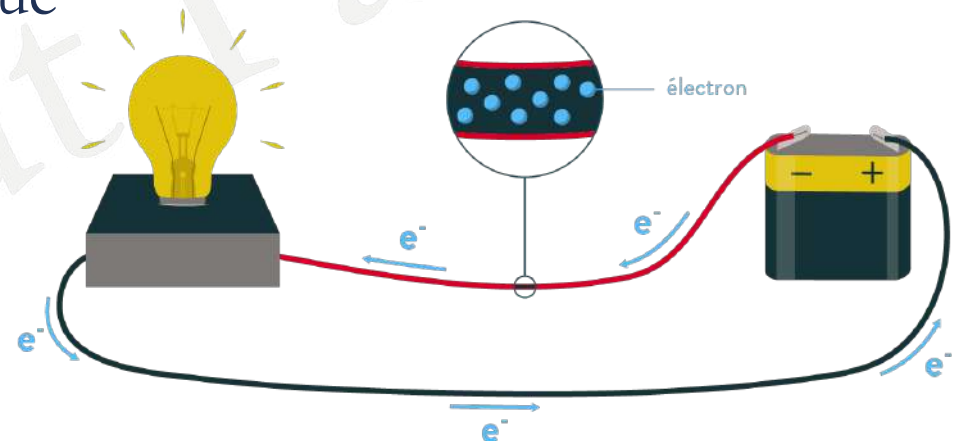


- Dans un circuit hydraulique, cela correspond à la pression qui pousse l'eau à travers les tuyaux
- La tension se mesure avec un voltmètre

Qu'est-ce que le courant ?

- Le « courant électrique » correspond au **déplacement d'électrons** à l'intérieur d'un conducteur
- Lorsqu'une différence de potentiel est appliquée aux extrémités du conducteur, elle provoque le déplacement de ces électrons, ce que l'on appelle courant électrique

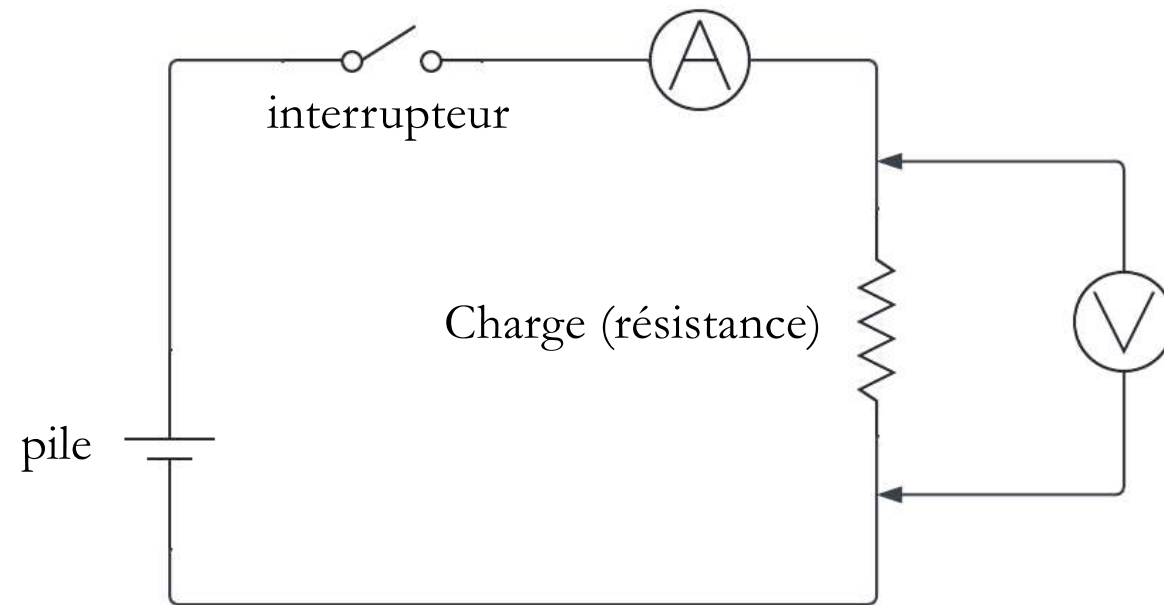
- **I** (le courant) s'exprime en Ampères (**A**).



- Cela correspond au débit dans un circuit hydraulique
- Le courant se mesure avec un ampèremètre

Qu'est-ce que le courant ?

- Contrairement au voltmètre, l'ampèremètre doit se placer dans le circuit pour faire sa mesure
- On doit interrompre le circuit et y insérer l'ampèremètre



La résistance électrique

- Une résistance est un conducteur électrique qui s'oppose au passage du courant électrique sous une tension électrique donnée
- Une résistance électrique provoque donc une diminution de l'intensité du courant électrique, ce qui veut dire que plus la résistance dans un circuit augmente et plus l'intensité du courant diminue
- La valeur de **R** (la résistance) est donnée en Ohm (Ω)
- La valeur de la résistance se mesure avec un ohmmètre

La loi d'Ohm

- C'est en 1827 que Georg Ohm, un professeur allemand, a établi ses lois relatives à la résistance électrique des conducteurs.
- La **résistance** électrique d'un conducteur : c'est la difficulté générée par ce conducteur au passage du courant électrique.

$$R = \frac{U}{I} \text{ et donc } U = R.I \text{ et } I = \frac{U}{R}$$

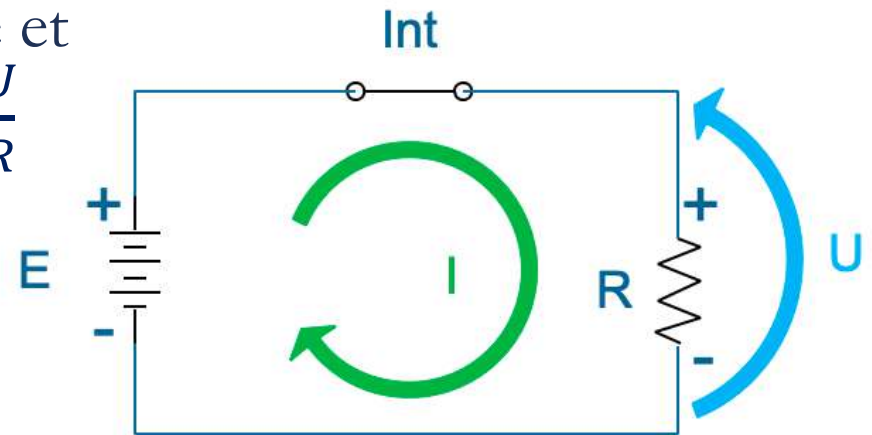
Loi d'Ohm

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

- De cette relation, on peut déduire que si $R=0 \rightarrow I=\infty$
- Ca veut dire que si on court-circuite les deux phases d'un circuit (les deux fils d'alimentation), on provoquera la destruction de l'alimentation et/ou des fils d'alimentation
- C'est pour cela que les circuits électriques sont protégés par des disjoncteurs
- On protégera aussi nos montages électroniques par des fusibles

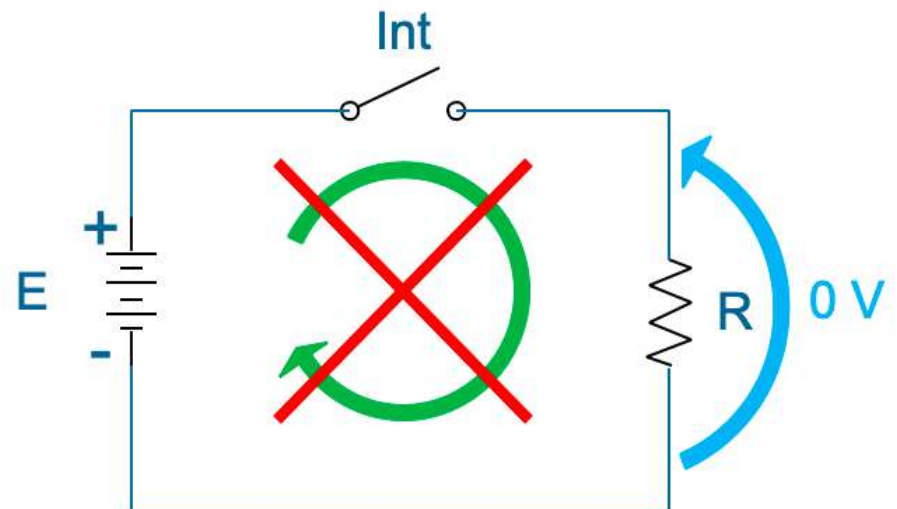
Loi d'Ohm

- Soit un circuit simple comportant une alimentation continue E (pile, adaptateur secteur, ...) un interrupteur fermé Int , et une résistance R
- La tension aux bornes de la résistance U est égale à la tension d'alimentation $E \rightarrow U=E$
- Un courant circule dans la résistance et il se calcule selon la loi d'Ohm: $I = \frac{U}{R}$
- Donc, si $E=9V$ et $R=18\Omega$
 $I = \frac{9}{18} = 0,5A$
- La tension s'exprime en volts, le courant en ampères et la résistance en ohms
- Quelle est la valeur de la résistance aux bornes de l'interrupteur ?



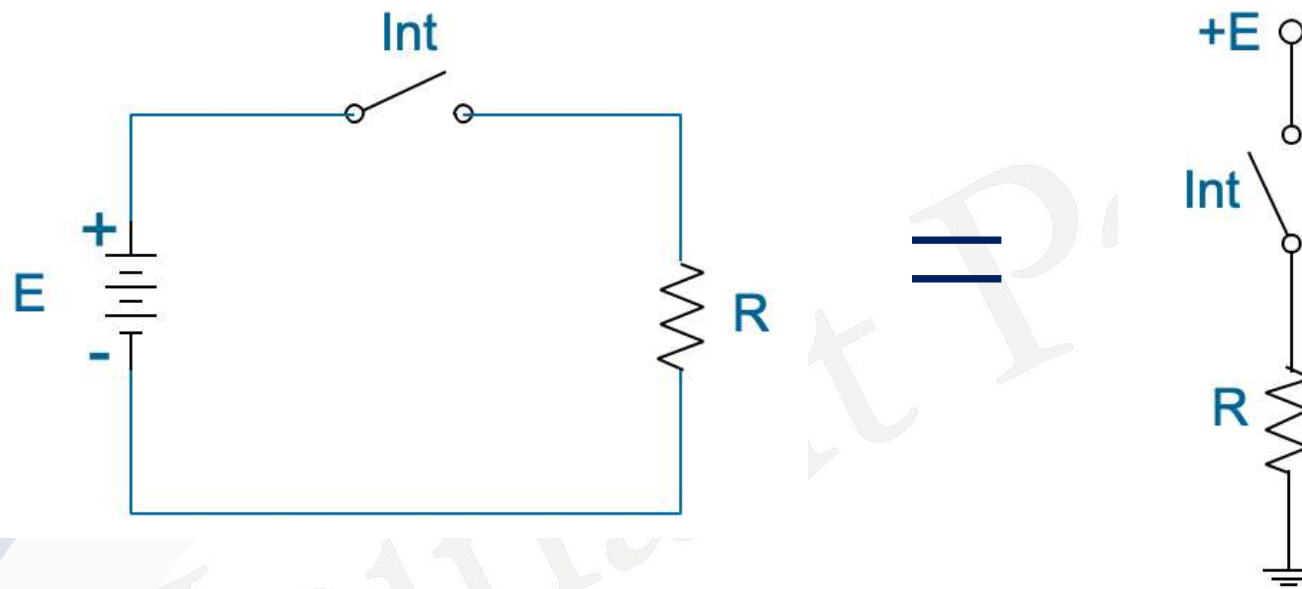
Loi d'Ohm

- Si on ouvre l'interrupteur, le circuit est ouvert et il n'y a plus de courant dans ce circuit
- La tension aux bornes de la résistance est égale à 0V ($U=R.I$ avec $I=0$)
- Toute la tension E se retrouve aux bornes de l'interrupteur
- Quelle est la valeur de la résistance aux bornes de l'interrupteur ?

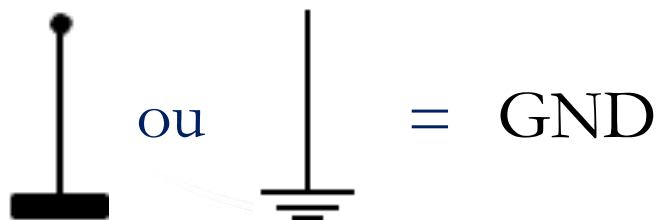


Loi d'Ohm

- On peut dessiner différemment le circuit précédent:



- La borne négative de l'alimentation est mise à la masse (GND, 0V)



Loi d'Ohm: tension continue

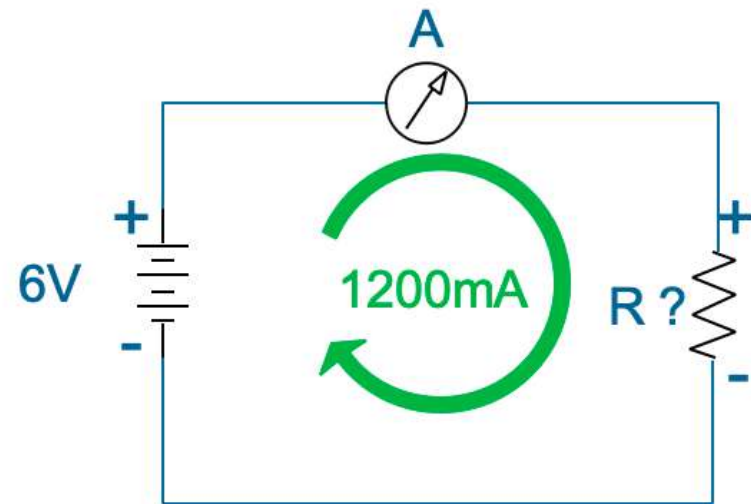
- Une tension continue est une tension qui ne varie pas dans le temps
- La plupart des appareils électriques sont alimentés en continu avec une tension d'alimentation bien déterminée (généralement indiquée)



- La valeur de cette tension doit être respectée !
- Ne branchez pas une alimentation de 12V DC sur un appareil prévu pour du 6V DC ! (DC pour Direct Current)

La loi d'Ohm : Exercice 1

- Soit une alimentation de 6 V connectée à une charge
- L'ampèremètre indique 1200 mA
- Quel est la résistance de charge ?



Données

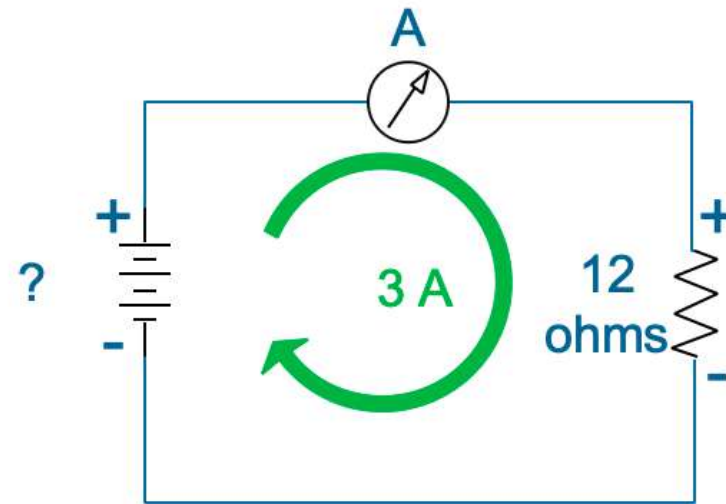
$I = 1200 \text{ mA} = 1,2 \text{ A}$
 $U = 6 \text{ V}$
 $R = ?$

Solution

$$R = \frac{U}{I} = \frac{6}{1,2} = 5 \Omega$$

La loi d'Ohm : Exercices

Nous avons relié une résistance de $12\ \Omega$ à une batterie dont la tension nous est inconnue. Nous mesurons dans le circuit un courant de $3\ \text{A}$. Quelle est la tension fournie par la batterie?



Données

$$R = 12\ \Omega$$

$$I = 3\ \text{A}$$

$$U = ?$$

Solution

$$U = R.I = 12.3 = 36\ \text{V}$$

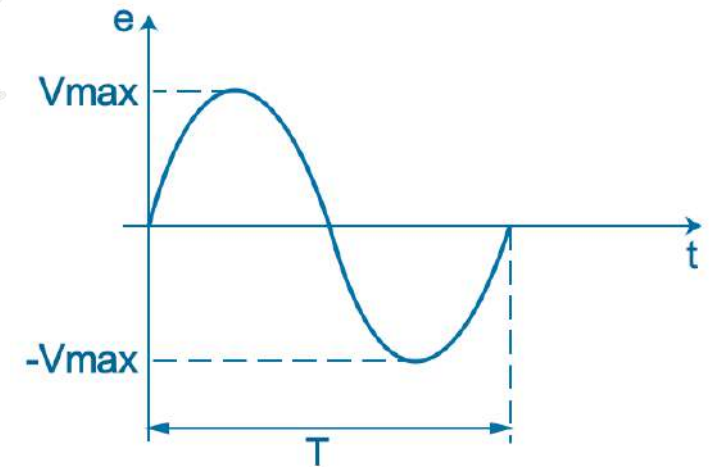
La loi d'Ohm : Exercices

Une machine à laver consomme 2000 Watts. La résistance de cette machine est de $26,45 \Omega$. Combien d'Ampères seront nécessaires à son bon fonctionnement sous 230 V ?

Données	Solution
$R = 26,45 \Omega$ $U = 230 \text{ V}$ $I = ?$	$I = \frac{U}{R} = \frac{230}{26,45} = 8,7 \text{ A}$

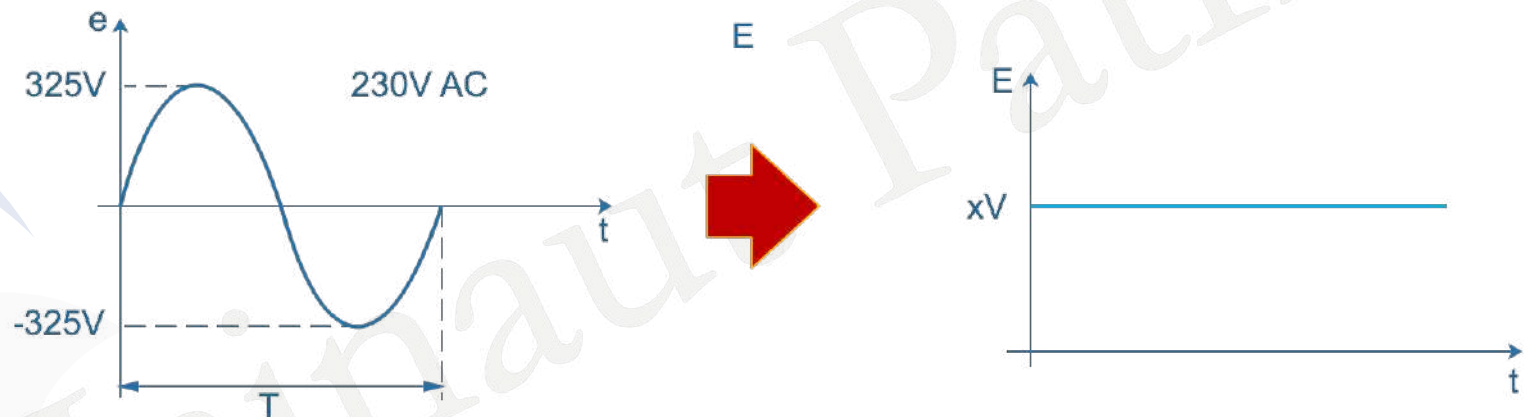
Tension alternative

- Une tension alternative est une tension qui varie dans le temps, souvent en suivant une sinusoïde, on parle alors de signal sinusoïdal
- Exemple: la tension secteur de 230V sinusoïdal, 230V étant la tension moyenne ($V_{\max} = \sqrt{2} \times V_{\text{moy}}$)
- La période T est le temps que met le signal alternatif pour parcourir la sinusoïde
- T est l'inverse de la fréquence: $f = \frac{1}{T}$
- La tension secteur à une fréquence de 50Hz (en Europe car aux USA, la tension secteur est de 110V 60Hz)



Redressement

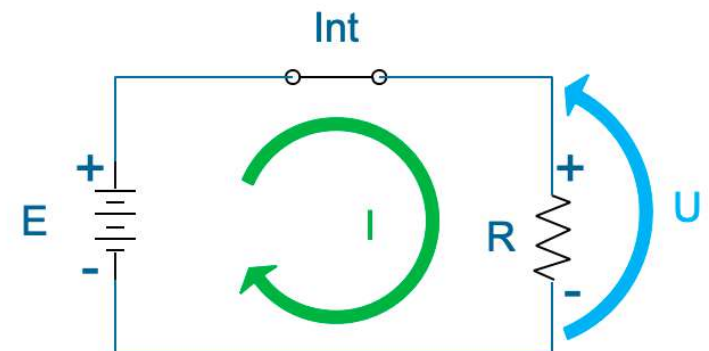
- On peut abaisser la tension secteur grâce à un transformateur abaisseur de tension
- Si on redresse et si on filtre cette tension, on obtient une tension continue



- C'est comme ça que fonctionne les adaptateurs secteur qui ont une tension d'entrée de 230V AC (AC pour Alternative Current) et qui fournissent une tension de sortie de xV DC (x étant la valeur de la tension de sortie, 5V par exemple)

Sens du courant

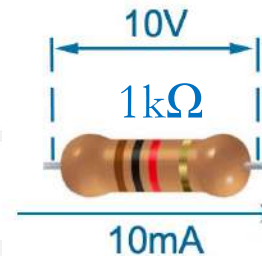
- Le courant électrique est comme un débit d'eau dans une tuyauterie, si le robinet est fermé (ce qui correspond à un interrupteur ouvert), l'eau ne circule pas et le débit d'eau est égal à 0
- Si on ouvre le robinet (ce qui correspond à un interrupteur fermé), l'eau coule et il y a un débit d'eau dans la tuyauterie
- Le sens conventionnel du courant électrique va du + vers le –
- Ce courant est en fait un courant d'électrons et va donc du – au +, mais cela ne change rien aux principes de fonctionnement, et pour ne pas changer tous les manuels, on a gardé le sens conventionnel



Notion de puissance

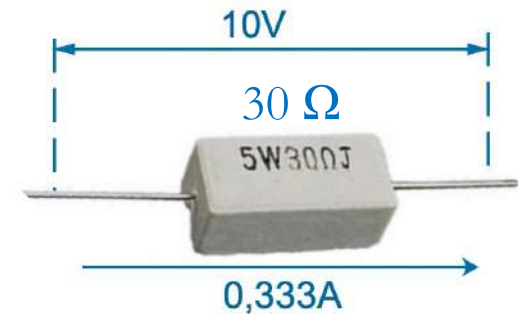
- Un courant traversant un composant génère de la chaleur et consomme une certaine puissance
- On la calcule avec la formule: **$P=U.I$** avec P la puissance en watts

- La résistance de gauche est traversée par un courant de $\frac{10}{1000} = 0,01A$



Sa puissance de dissipation de la chaleur doit être d'au moins $10.0,01=0,1W$

- La résistance de droite est traversée par un courant de $\frac{10}{30} = 0,33A$
Sa puissance doit être d'au moins $10.0,33=3,3W$



Notion de résistivité

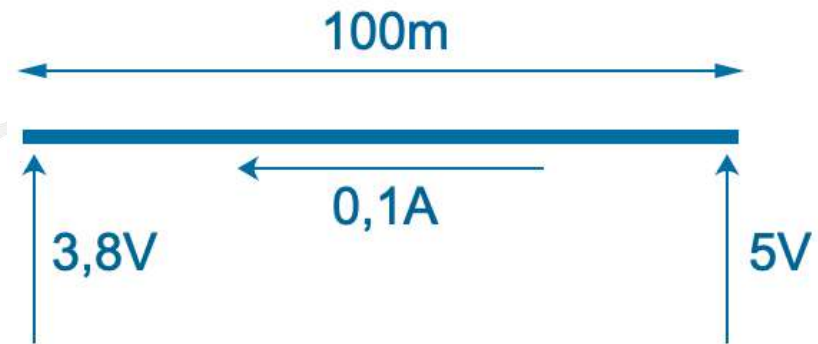
- Chaque matériau possède une résistivité
- Plus elle est faible, plus le matériau est conducteur d'électricité
- La cuivre possède une résistivité de plus ou moins $0,018 \Omega$
- On peut calculer, avec la loi de Pouillet, la résistance au bout d'une certaine longueur

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S} = \frac{0,018 \cdot 100}{0,15} = 12 \Omega$$

Avec ρ la résistivité,
 l la longueur en m,
 S la section en mm^2

Notion de résistivité

- Ca veut dire qu'au bout de 100 m, on a une perte de signal en fonction du courant traversant le conducteur
- Si on a un courant de 0,1A, la chute de tension au bout de 100 m sera de $0,1 \cdot 12 = 1,2V$



- Remarque: c'est pour cela qu'un câble réseau aura une longueur maximum de 100 m avant revalidation (par un switch par ex.)

Transport de l'électricité

- La relation $P=U.I$ nous indique que pour une même puissance, on peut augmenter la tension et diminuer le courant
- Or, la section d'un câble électrique est directement proportionnelle à l'intensité du courant électrique
- On va donc augmenter la tension et diminuer le courant pour employer des câbles de plus petite section
- Le fait de diminuer le courant va provoquer beaucoup moins de pertes par effet joule (sous forme de chaleur dans les câbles)

Transport de l'électricité

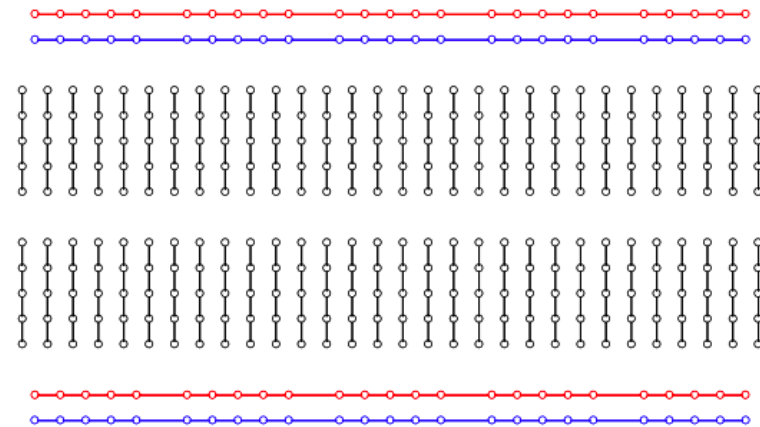
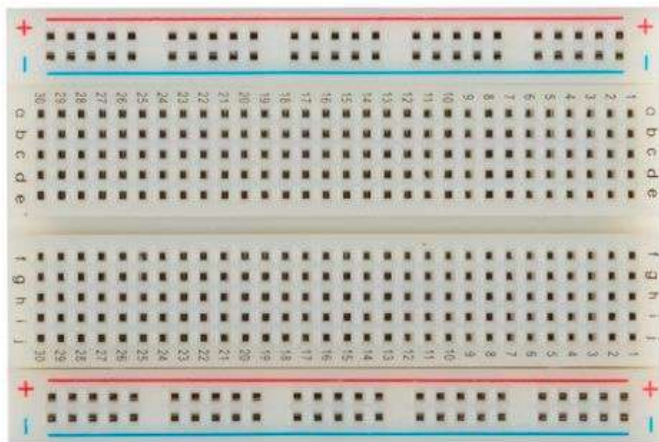
- On va transporter facilement l'énergie électrique, sur de longues distances, grâce à des lignes haute tension (entre 63.000 et 90.000 volts) et très haute tension (entre 225.000 et 40.000 volts)
- A proximité des habitations, des dispositifs abaisseurs de tension ramèneront la tension à une valeur de 230V pour le monophasé et de 400V pour le triphasé
- Jusque dans les années 1980, les valeurs étaient de 220V et 380V, en Belgique, puis la communauté européenne a demandé une harmonisation dans toute l'Europe

Transport de l'électricité

- Reste à savoir pourquoi on transporte du courant alternatif plutôt que du courant continu, alors que tout ce qu'on emploie quotidiennement utilise du courant continu
- Plusieurs raisons:
 - À la fin du XIXe siècle, les générateurs de courant alternatif (comme ceux inventés par Nikola Tesla) étaient plus faciles à construire et à entretenir que les générateurs de courant continu
 - Les moteurs à courant alternatif étaient aussi plus robustes et simples pour les applications industrielles
 - Le courant alternatif peut être facilement transformé en hautes et basses tensions grâce à des transformateurs.
 - Le courant continu ne pouvait pas, historiquement, être transformé de manière aussi simple en haute tension, ce qui causait de grosses pertes sur de longues distances.

Quelques composants: le breadboard

- Le breadboard (littéralement; la planche à pain) est une plaquette d'expérimentation avec des connexions préétablies, dans laquelle on peut insérer les composants
- Vous voyez sur la figure de droite comment les connexions sont établies au sein du breadboard (sur les breadboards plus petits, les lignes horizontales sont absentes)



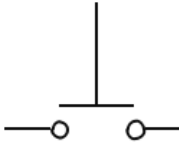
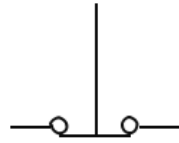
Quelques composants: l'interrupteur

- Un interrupteur (int) peut prendre deux états permanents:

- ouvert: le courant ne passe pas 
- fermé: le courant passe 



- Un bouton poussoir (BP) peut prendre deux états, dont un temporaire:

- BP normalement ouverts (NO) 
- BP normalement fermés (NF) 

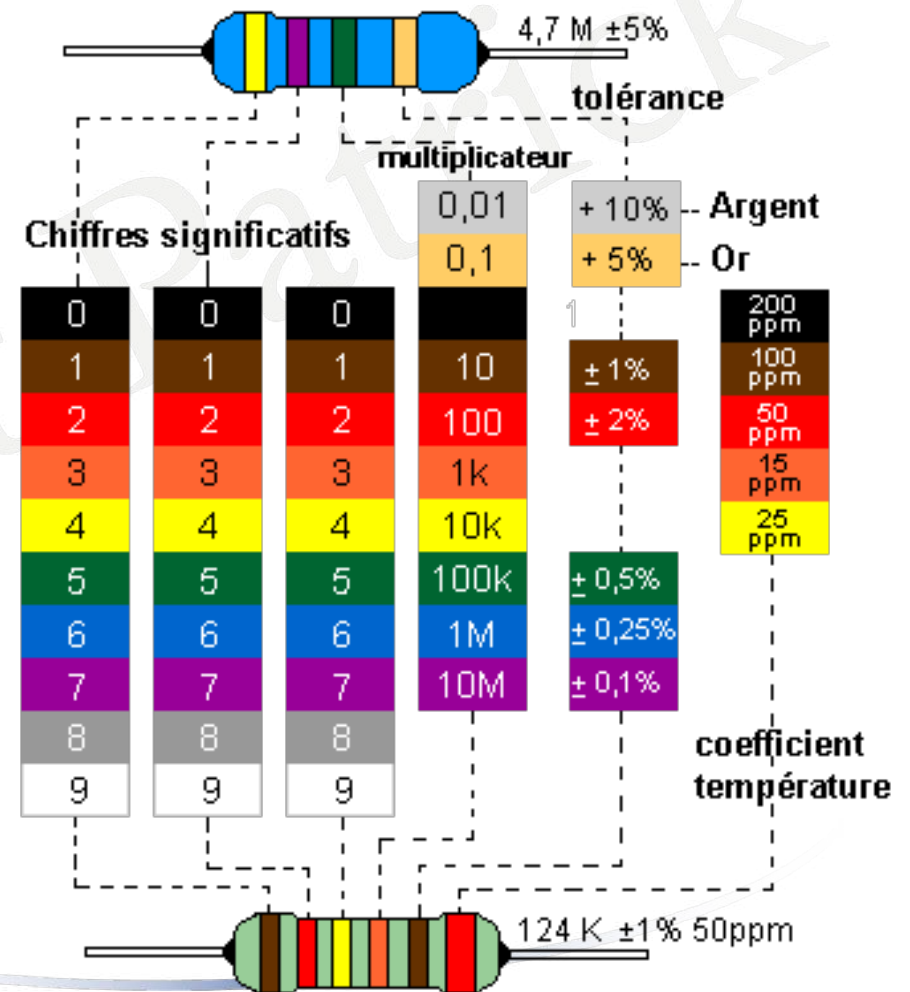


Quelques composants: la résistance

- La résistance permet de limiter le courant et/ou la tension



- Un code couleur permet de retrouver sa valeur
- Les résistances utilisées dans le cadre de ce cours, sont des résistances d'1/4 ou 1/2W



Quelques composants: la résistance

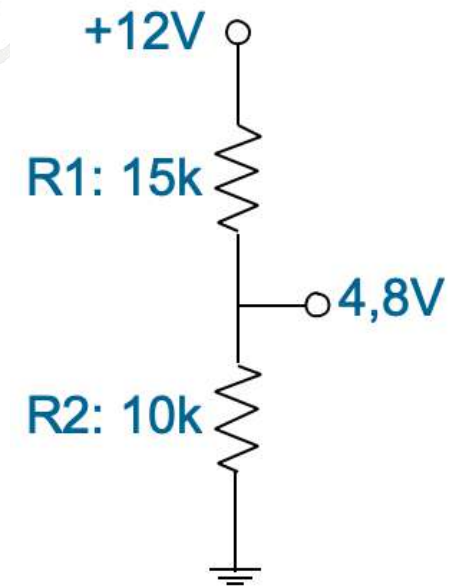
- Les valeurs des résistances sont standardisées, la série E12 est la plus courante
- C'est aussi valable pour les multiples; en E12, on trouvera des résistances de 1,2k Ω et de 1,5 k Ω mais pas 1,4 k Ω par exemple

Série								
E12	E24	E48	E12	E24	E48	E12	E24	E48
10%	5%	2%	10%	5%	2%	10%	5%	2%
10	10	10	22	22	22,6	47	47	46,4
		10,5			23,7			48,7
	11	11			24,9		51	51,1
		11,5			26,1			53,6
12	12	12,1	27	27	27,4	56	56	56,2
		12,7			28,7			59
	13	13,3			30,1		62	61,9
		14			31,6			64,9
15	15	14,7	33	33	33,2	68	68	68,1
		15,4			34,8			71,5
	16	16,2		35	36,5		75	75
		16,9			38,3			78,7
		17,8		39	40,2			82,5
18	18	18,7		43	42,2	82	82	86,6
		19,6			44,2			90,9
	20	20,5					91	95,3
		21,5						

Application: le diviseur de tension

- Si on veut alimenter une charge et qu'on possède une source d'alimentation d'une tension trop élevée, on peut utiliser un diviseur de tension

- $$V_{\text{out}} = \frac{V_{\text{in}} \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{12 \cdot 10}{15 + 10} = 4,8\text{V}$$

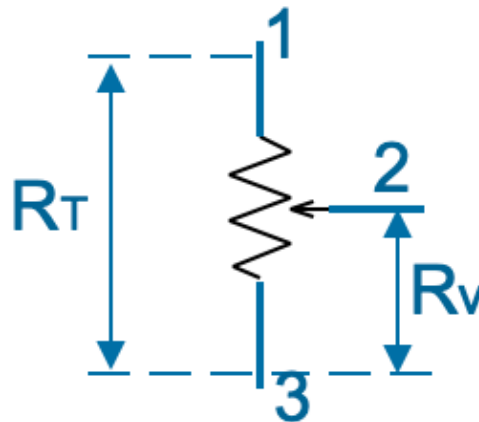


Quelques composants: le potentiomètre

- Le potentiomètre est une résistance variable



- Entre les bornes 1 et 3, on a la valeur totale de la résistance
- Entre les bornes 2 et 3, on a une valeur (R_V) qui varie entre 0 et R_T

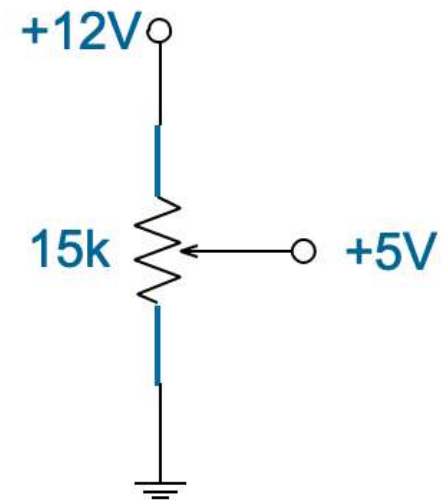


Application: le diviseur de tension

- On améliore notre pont diviseur précédent en faisant un pont diviseur variable où l'on pourra ajuster la résistance variable pour avoir tout juste 5V en sortie
- La partie de la résistance au-dessus du curseur est R_1 et celle en-dessous du curseur est R_2 , la résistance totale R_T valant $R_1 + R_2$
- En transformant la formule précédente, on peut calculer R_2 (et R_1)

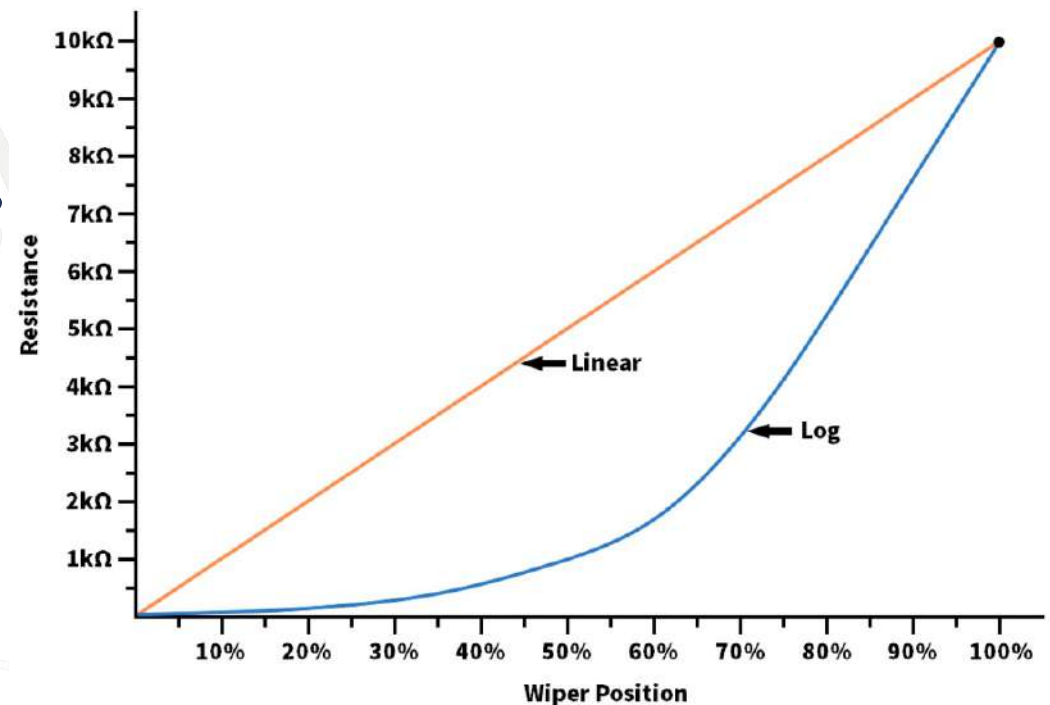
$$R_2 = \frac{V_{out} \cdot (R_1 + R_2)}{V_{in}} = \frac{5 \cdot 15}{12} = 6,25\text{k}\Omega$$

- On peut avec ce genre de montage contrôler une intensité lumineuse ou la vitesse d'un petit moteur DC



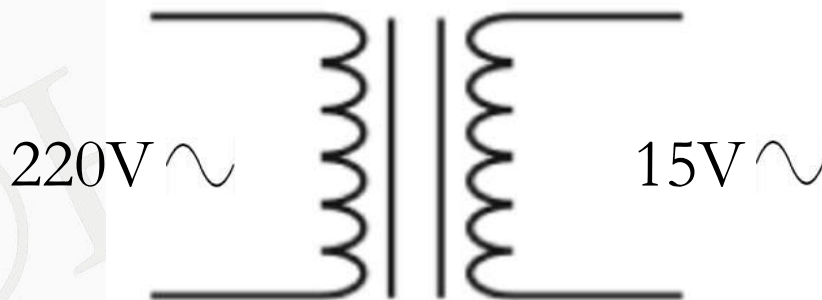
Le potentiomètre: remarque

- Il existe des potentiomètres linéaires et logarithmiques
- Les potentiomètres logarithmiques sont utilisés pour l'audio car l'oreille humaine a un comportement logarithmique
- Si on veut pouvoir doser le son correctement (sans une augmentation trop forte pour peu de mouvement au niveau du potentiomètre), on est obligé d'utiliser ce genre de potentiomètre
- Application: bouton de volume d'un ampli



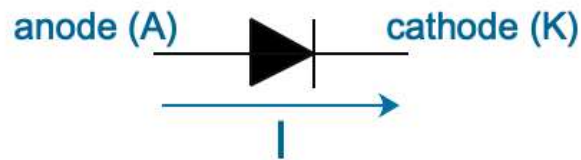
Quelques composants: le transformateur

- Le transformateur de tension est un composant qui va modifier la valeur de la tension alternative
- Généralement, on abaisse la tension alternative au primaire (exemple: la tension secteur 230V) à une valeur donnée au secondaire
- Exemple: transformateur 230V AC/15V AC

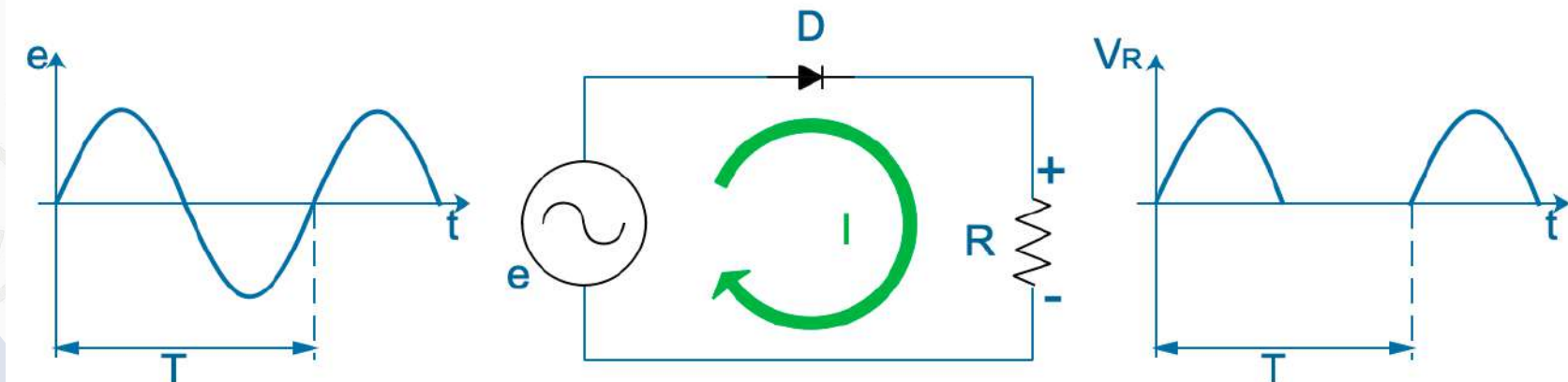


Quelques composants: la diode

- La diode est un composant semi-conducteur qui laisse passer le courant dans un seul sens
- On la retrouve dans les circuits de redressement et de protection

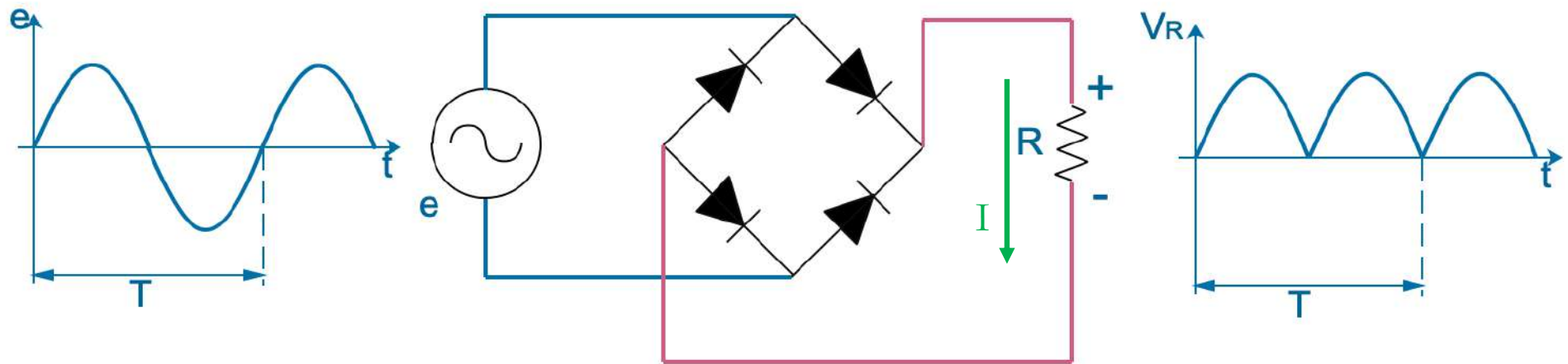


- Exemple d'utilisation pour le redressement simple alternance:



Application: redressement double alternance

- Si on utilise un pont de diodes, on peut redresser les deux alternances
- Quelque soit l'alternance, le courant circule toujours dans le même sens dans la résistance



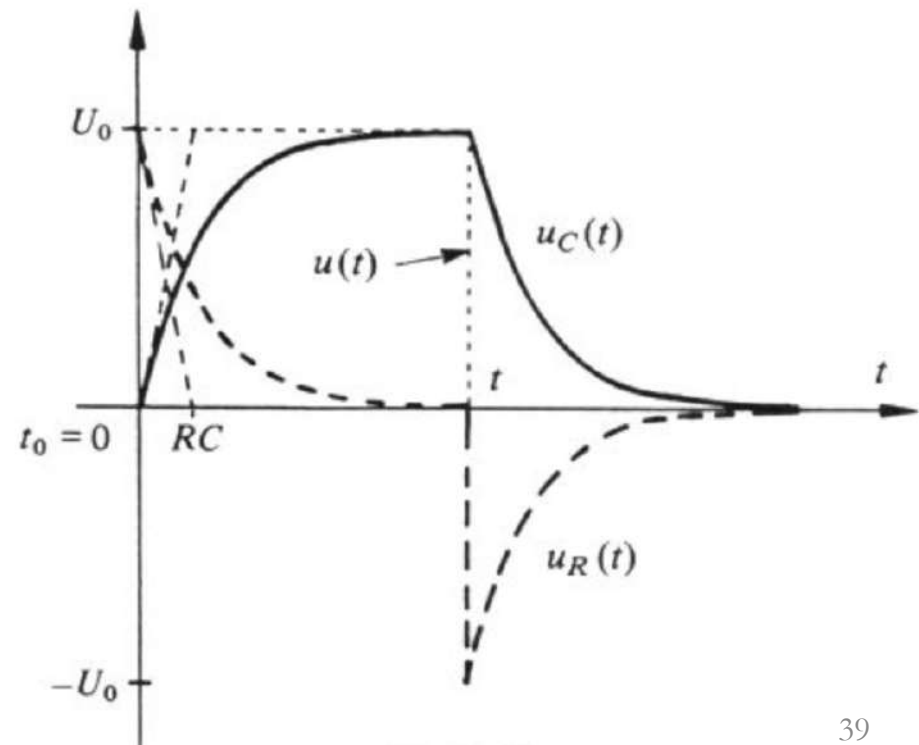
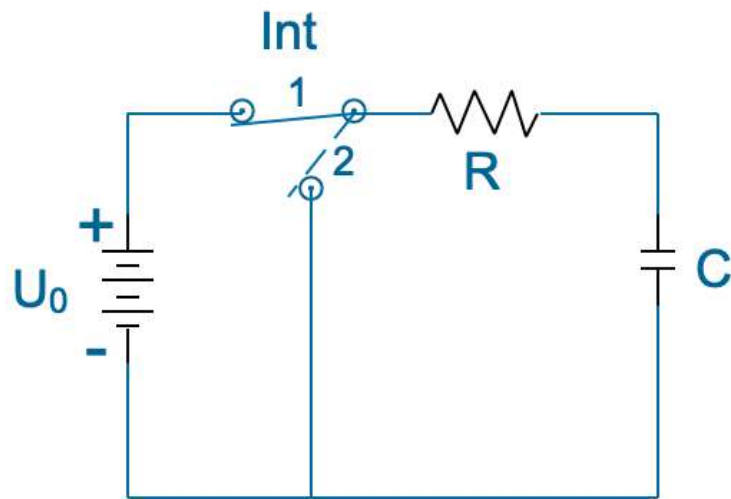
Quelques composants: le condensateur

- Le condensateur permet de stocker une charge électrique
- On l'utilise pour du filtrage ou pour séparer le continu de l'alternatif qui est bloqué par le condensateur
- La valeur d'un condensateur s'exprime en farad (F)



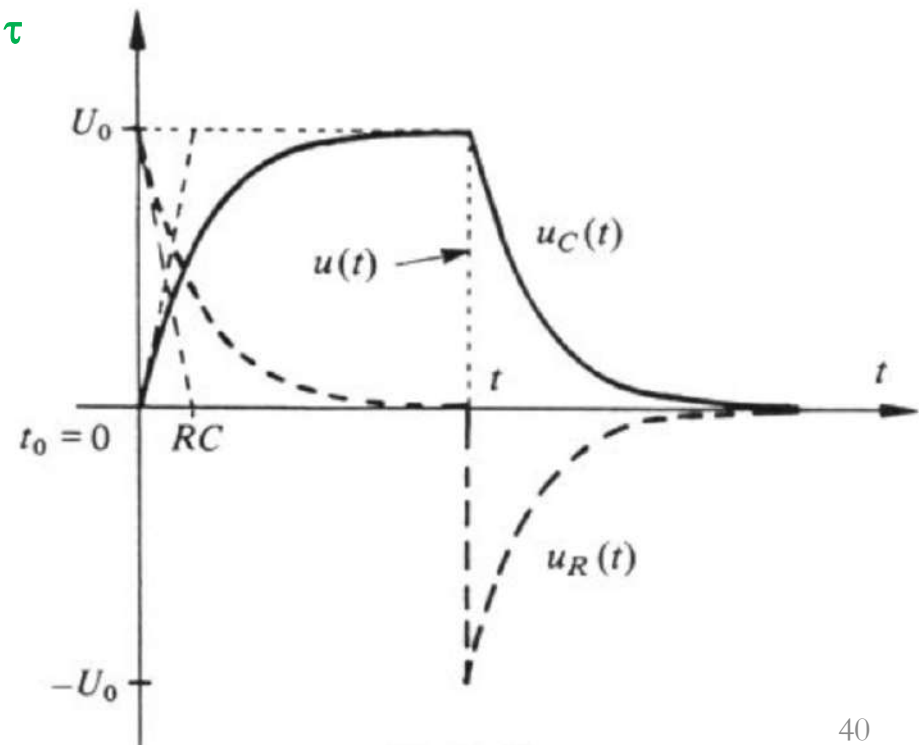
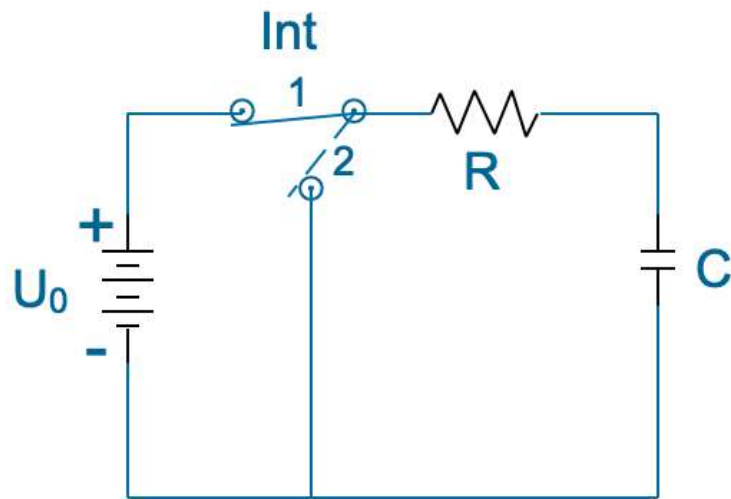
Quelques composants: le condensateur

- Pour qu'un condensateur se charge ou se décharge, il faut un certain temps
- Le graphique montre l'évolution de U_C et de U_R si on met l'interrupteur en position 1, puis en position 2



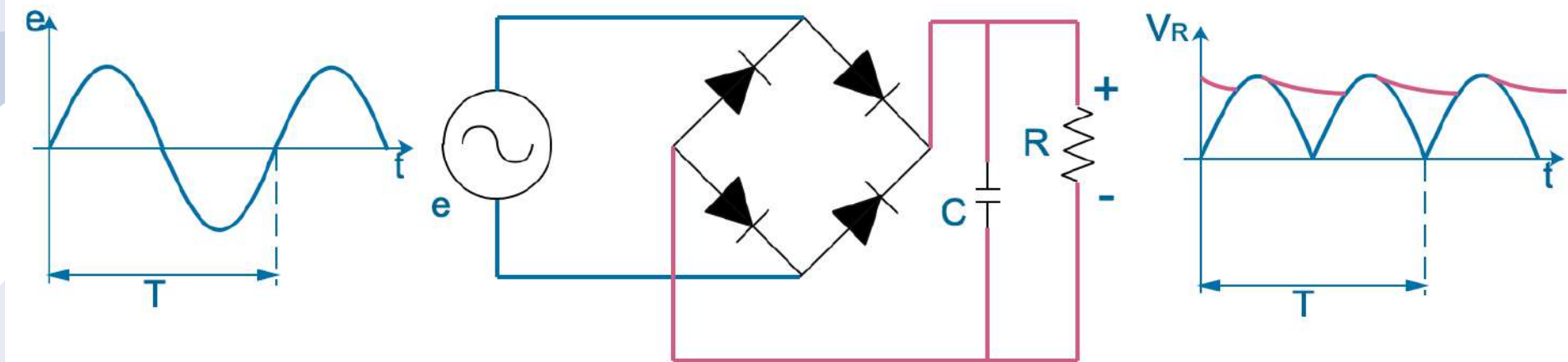
Quelques composants: le condensateur

- La constante de temps se calcule par: $\tau = R.C$
- Lors de la charge, $U_C = U_0.(1 - e^{-t/\tau})$
- Lors de la décharge, $U_C = U_0.e^{-t/\tau}$



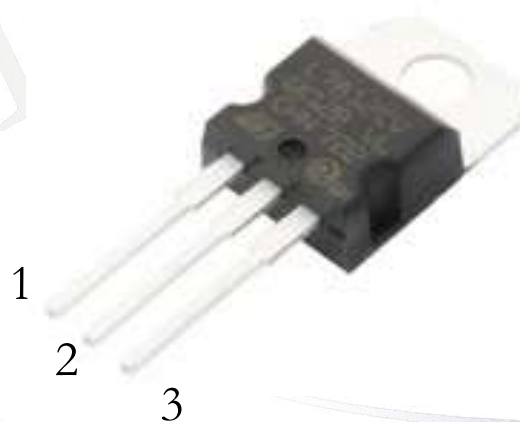
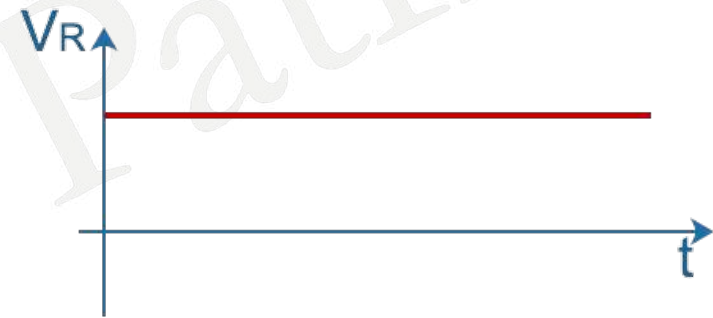
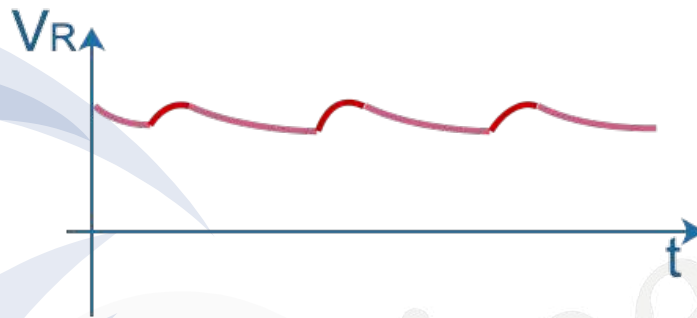
Application: redressement double alternance avec filtrage

- On peut utiliser un condensateur pour filtrer la sortie du pont de diodes et se rapprocher ainsi d'un signal continu



Quelques composants: le régulateur de tension intégré

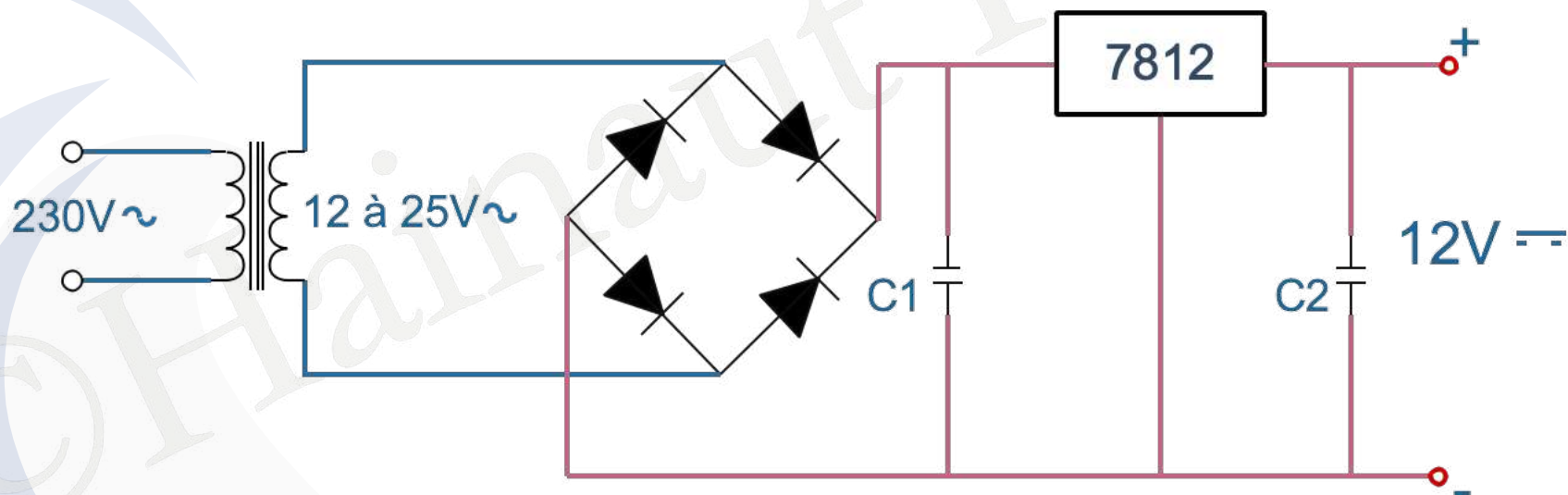
- Pour avoir une tension continue parfaite, on va utiliser un régulateur intégré de la famille 78XX avec XX la tension désirée en sortie; exemple: 7812 pour obtenir 12V



1: $+V_{in}$
2: masse (0V)
3: $+V_{out}$

Quelques composants: le régulateur de tension intégré

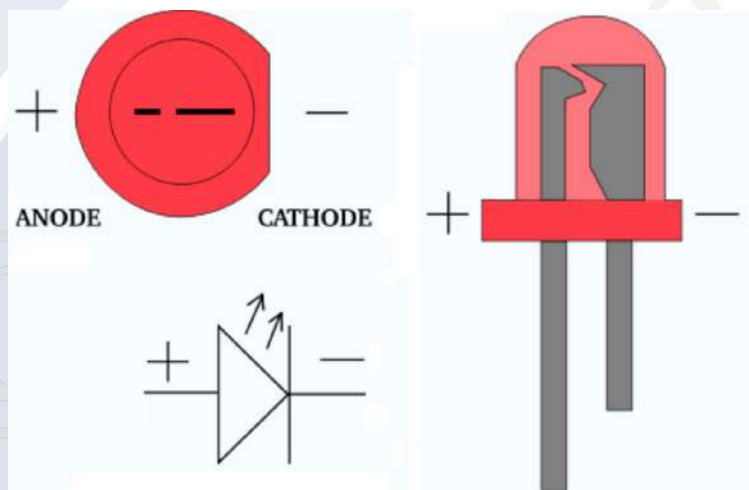
- La tension à l'entrée du régulateur doit être supérieure à la tension de sortie
- Pour un 7812, + V_{in} doit être compris entre 14,5V et 35V, ce qui donne une tension alternative entre +/- 12 et 25V (on multiplie cette tension moyenne par $\sqrt{2}$)



- Valeurs typiques pour C1: 2200 μ F et C2: 10 μ F

Quelques composants: la LED

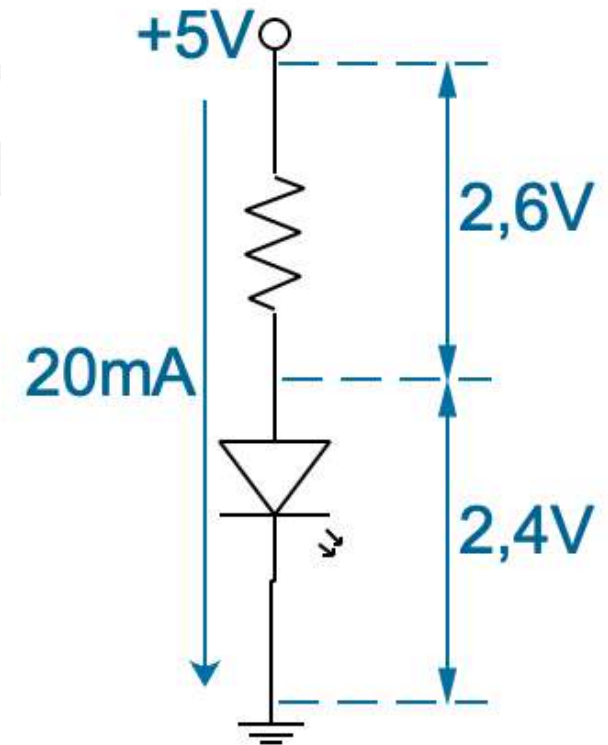
- La LED est une diode électroluminescente qui s'éclaire lorsqu'un courant la traverse
- Comme c'est une diode, on doit la brancher dans le bon sens
- Les LEDs standards acceptent un courant nominal de 20 mA
- Le tableau ci-dessous indique la tension aux bornes de la LED



Couleur	Voltage
Rouge	1,6V
Orange	2V
Jaune	2,4V
Verte	2,4V
Bleue	3V
Blanche	3,5V

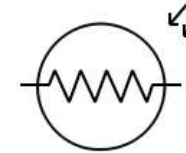
Quelques composants: la LED

- On doit donc utiliser une résistance en série avec la LED pour prendre l'excès de tension
- On considère une tension d'alimentation de 5V (valeur que l'on trouve sur une broche de sortie de l'arduino) et un courant de 20 mA dans le circuit
- On choisit une diode orange qui prend 2,4V à ses bornes
- La résistance prendra donc 2,6V à ses bornes
- Sa valeur sera de $2,6/0,02=130\ \Omega$
- On prendra la valeur du commerce la plus proche (120 ou 150 Ω)

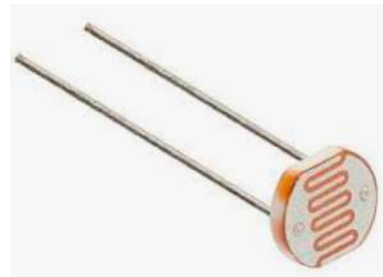


Quelques composants: la ldr

- La ldr (light dependent resistor) est une photorésistance dont la valeur change en fonction de la lumière



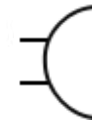
- Plus elle est éclairée, plus sa résistance diminue



- On peut s'en servir, par exemple , pour allumer une lampe lorsque le soir tombe

Quelques composants: le buzzer

- Le buzzer permet de produire du son
- Deux types:
 - Buzzer actif: il produit un son lorsqu'on l'alimente en continu
 - Buzzer passif: c'est un haut-parleur élémentaire, il faut lui fournir le signal audio à diffuser

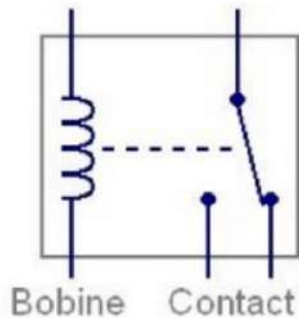


- Attention à la polarité



Quelques composants: le relais

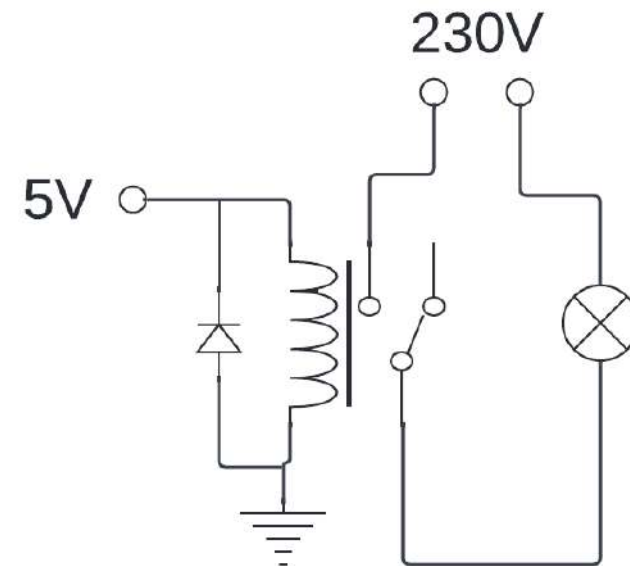
- Un relais est un bouton poussoir piloté



- Si la bobine est alimenté avec la bonne tension, le contact bascule et est maintenu tant que la tension est appliquée sur la bobine
- Il existe des relais avec différentes tensions de commande

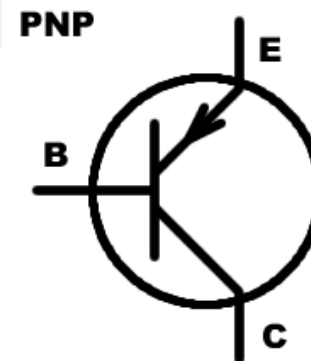
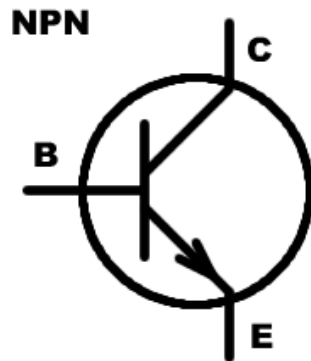
Application: lampe 220V AC piloté par du 5V DC

- On va piloter une ampoule 230V à l'aide d'un relais 5V
- Les 5V de commande peuvent provenir de la sortie d'un microcontrôleur
- Une diode de roue libre est placée pour éviter les effets de self
- On fera attention au bon isolement entre le circuit de commande et le circuit de puissance (et où l'on met les doigts) !



Quelques composants: le transistor

- Le transistor bipolaire est un semi-conducteur qui peut servir en amplification ou en commutation
- Il existe des transistors NPN et des transistors PNP



- Un petit courant entre la base (B) et l'émetteur (E) va générer un grand courant entre le collecteur (C) et l'émetteur
 $I_C = \beta I_B$ avec β le facteur d'amplification propre à chaque transistor

Quelques composants: le transistor

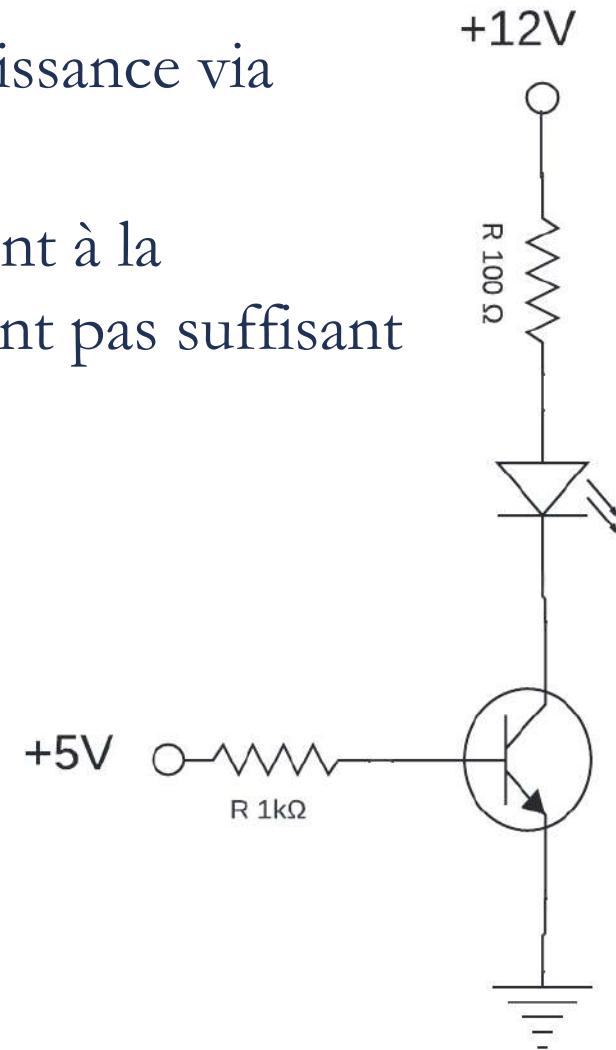
- Le transistor bipolaire est utilisé en amplification dans les amplis audio par exemple
- En informatique industrielle, nous utiliserons surtout le transistor en commutation, donc comme un interrupteur
- Cela permettra, par exemple, de piloter des led de puissance avec une sortie de microcontrôleur

Application: pilotage d'une sortie microcontrôleur

- Une sortie de microcontrôleur est généralement d'une tension de 5V et permet un courant de 20 mA maximum
- Si on veut piloter un périphérique demandant une tension et/ou un courant plus important, il faut piloter la sortie par un relais, ou un transistor
- Le transistor commute plus silencieusement et plus rapidement qu'un relais mais supportera des tensions moins élevées au niveau du circuit de puissance

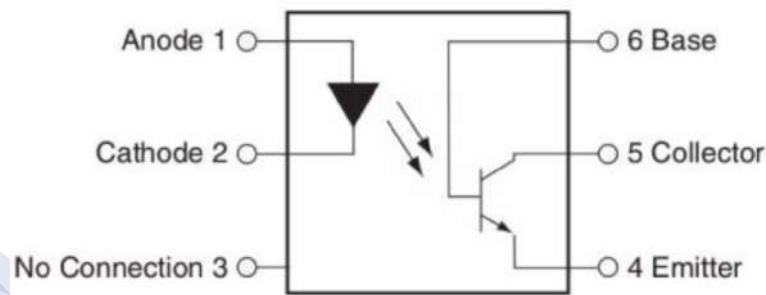
Application: pilotage d'une sortie microcontrôleur

- Dans cet exemple, on pilote une led de puissance via une sortie digitale d'un microcontrôleur
- On ne peut pas connecter la led directement à la sortie du microcontrôleur, le courant n'étant pas suffisant
- En passant par un transistor NPN, on résout le problème
- La résistance de 100 ohms sera adaptée en fonction de la led
- On branche toujours la charge au collecteur, pas à l'émetteur



Quelques composants: l'optocoupleur

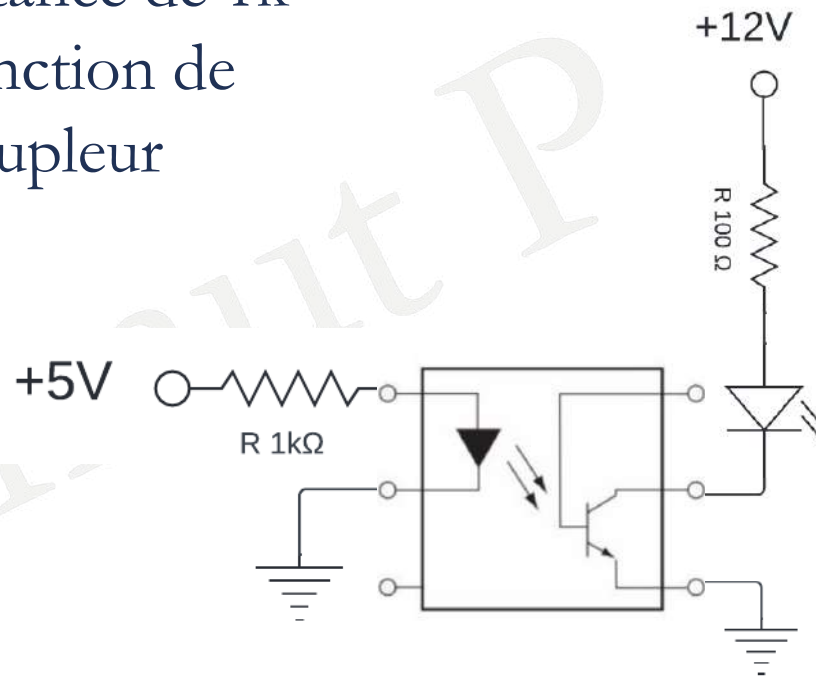
- L'optocoupleur est un phototransistor piloté par une led



- L'avantage par rapport à un transistor est l'isolement galvanique entre le circuit de commande et le circuit de puissance
- Il peut s'utiliser en lieu et place d'un transistor

Application: pilotage d'une sortie microcontrôleur

- Si on reprend le circuit précédent, on voit qu'il n'y a quasi pas de changement
- La valeur de la résistance de 1k sera à adapter en fonction de la diode de l'optocoupleur



Conclusion

- Cette présentation a permis d'aborder quelques notions essentielles en électricité et en électronique qui sont nécessaires à l'informaticien industriel
- Il y a, bien sur, encore beaucoup à dire
- Quelques compléments se trouvent dans Struct04 Arduino