

Les bases de l'électronique

Une version PDF de ce document [existe](#).

Une version Markdown peut être lu avec les équations avec le logiciel gratuit [Typora](#).

Les bases de l'électronique

- Prélude

- Les bases

- Commentaires généraux

- Règles (très) générales

- Les composantes

 - Les résistances

 - Les condensateurs

 - Les inductances

- Les sources

 - Les sources et appareils réels

 - Les équivalences

- Les circuits

 - Le diviseur de potentiel

 - Les filtres passifs

- Pieces

 - Apparence

 - Lire des feuilles de spécifications

 - Achat

- Lien entre électromagnétisme et circuits

Prélude

On ne s'en sort pas: la connaissance de l'électronique est essentielle pour accomplir les moindres tâches en optique: photodétection, numérisation, contrôle d'appareils, interface microprocesseur, gestion USB, etc... Il y a deux façons d'aborder ce domaine: 1) en devenant opérationnel ou 2) en comprenant ¹. S'il y avait un seul conseil que je donnerais: les circuits, aussi complexes soient-ils, se séparent toujours en petits blocs fonctionnels. Savoir reconnaître les blocs représente 90% de la bataille. J'espère avec ce document faire le premier aspect (vous rendre opérationnel) et avec un peu de chance, le deuxième (vous aider à comprendre).

La meilleure façon d'apprendre l'électronique, c'est d'en faire, d'être mauvais, et de s'améliorer. Pour citer Dave Grohl, c'est comme la musique :

"When I think about kids watching a TV show like American Idol or The Voice, then they think, 'Oh, OK, that's how you become a musician, you stand in line for eight [...] hours with 800 people at a convention center and... then you sing your heart out for someone and then they tell you it's not [...] good enough.' Can you imagine?" he implores. "It's destroying the next generation of musicians! Musicians should go to a yard sale and buy an old [...] drum set and get in their garage and just suck. And get their friends to come in and they'll suck, too. And then they'll [...] start playing and they'll have the best time they've ever had in their lives and then all of a sudden they'll become Nirvana. Because that's exactly what happened with Nirvana. Just a bunch of guys that had some shitty old instruments and they got together and started playing some noisy-ass shit, and they became the biggest band in the world. That can happen again! You don't need a [...] computer or the internet or The Voice or American Idol." - Dave Grohl

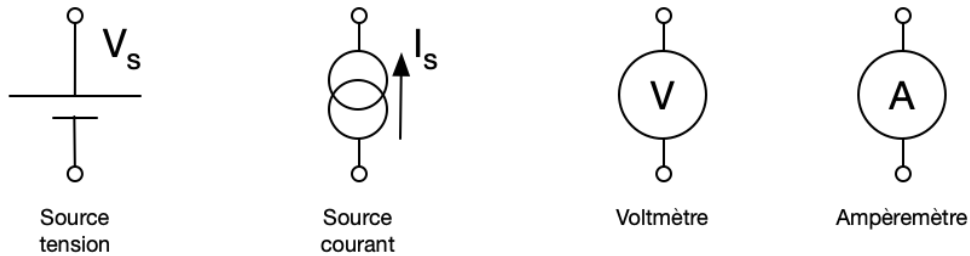
Donc pour apprendre, il faut en faire. Il faut lire, bien sûr, mais il faut en faire. Expérimenter peut se faire pour apprendre de façon intelligente:

1. Briser un fil, brûler une résistance, écraser un condensateur, brancher un transistor à l'envers, péter un chip à 10\$ fait partie de l'apprentissage. Ce n'est pas grave: c'est quelques dollars. Voir 2.
2. Brancher 100V dans un oscilloscope de 3000\$ et le péter, mettre ses mains ou sa langue sur 1200V et finir à l'hôpital, brûler une puce à 200\$ qui a un temps de livraison de 8 semaines, faire sauter le microcontrôleur d'un laser

commercial, fait partie de la liste des choses qui font que les gens se font mettre dehors. Apprenez la différence avec 1.

Bon apprentissage.

Les bases



1. Une source de tension idéale donne une différence de potentiel constante entre ses bornes, quelle que soit la résistance connectée entre ses bornes.
2. Une source de courant idéale donne un courant constant quelle que soit la résistance connectée entre ses bornes.
3. Un voltmètre idéal a une résistance "infinie" et mesure la différence de potentiel entre ses bornes sans prendre de courant.
4. Un ampèremètre idéal a une résistance nulle et mesure le courant qui passe entre ses bornes sans perte de potentiel.

Commentaires généraux

1. Loi de Kirchhoff: La perte de tension à travers une résistance est donnée par le courant qui passe à travers celle-ci multiplié par la résistance $V = RI$. On va souvent parler de la baisse, la perte ou même la *drop* en tension dans une résistance.
2. Le courant qui passe dans un circuit est donné par la tension aux bornes de ce circuit divisée par la résistance totale du circuit $I = V/R_t$
3. La puissance dissipée par un élément est $P = VI$, avec V la tension à ses bornes et I le courant qui passe à travers.
4. **On mesure des tensions. On travaille en Volts.** La raison pourquoi on travaille en tension plutôt qu'en courant est qu'une mesure en parallèle d'une tension n'affecte pas le système et est égale à la mesure qui nous intéresse. Si on mesurait des courants en parallèle, on devrait faire un calcul pour

obtenir le courant du système à partir de notre mesure (car les courants se séparent selon les résistances). Si on le mesurait en série on devrait l'inclure dans le circuit, ce qui n'est vraiment pas souvent possible. Les deux options ne sont pas très pratiques: on travaille en tension.

5. Si on retourne vraiment à la base de l'électromagnétisme, une différence de potentiel entre deux points (i.e. un gradient) nous dit qu'il y a un champ électrique entre ces deux points ($\nabla V \propto E$). Donc lorsque je mets une différence de potentiel entre deux points, les charges sont accélérées (i.e. il y a du courant).
6. Puisque les circuits sont assez souvent linéaires, on décomposera toujours en fréquences le courant et les tensions, et c'est pour ça que les impédances imaginaires et réelles (ci-dessous) deviennent utiles. On parle de DC pour les fréquences 0 Hz et AC pour les autres. Ne pas confondre la *fréquence* f (en Hz) et la *fréquence radiale* $\omega = 2\pi f$ (en rad·Hz). Personne n'utilise la fréquence radiale: on parle toujours en fréquence f , en Hertz.
7. Les résistances, capacités et inductances sont regroupés sous le terme général *impédance*, qui est une résistance complexe valide pour une fréquence donnée.

Règles (très) générales

- **Tension**

1. Une tension moyenne dans un circuit simple est de l'ordre du Volt.
2. Voltage est un anglicisme, même si tout le monde le dit.
3. Une tension d'alimentation dans un circuit analogique est typiquement $\pm 12V$ ou $\pm 15V$.
4. Un circuit logique de type TTL (i.e. *Transistor-to-Transistor-Logic*) fonctionne avec 0 V et 5 V comme signaux.
5. Mesurer 1 Volt est facile. Mesure 1 mV est difficile. Mesure 10 V est très facile.
6. Un bruit typique dans les circuits de Monsieur-tout-monde est de l'ordre de quelques mVs.
7. 1 électron qui est accéléré par 1 volt aura une énergie de 1 eV (l'électron-volt) à la fin. Oui, c'est de là que ça vient et c'est pratique.

1. 1 eV est $1.6 \times 10^{-19} J$

- **Courant**

1. Un courant moyen est de l'ordre de 10 à 100 μA
2. Un très petit courant est en pA.
3. Un courant très important est 1A

- **Résistance**

1. Une résistance ralentit les électrons et dissipe l'énergie que les électrons obtiennent de la tension.
2. Une résistance moyenne est de 10 k Ω .
3. Une petite résistance résiduelle est de l'ordre de 1 à 10 Ω ou moins
4. Une grande résistance d'entrée est de l'ordre de 1 à 10 M Ω .
5. L'impédance d'une résistance est simplement R
6. On parle de **résistance de charge** pour désigner toute résistance à travers laquelle une source se décharge. Il s'agit d'un terme vraiment général. On va dire: "*La charge pour la source de tension est de 50 Ω* ".
7. Les résistances en série s'additionnent pour donner la résistance totale $R_t = R_1 + R_2$
8. En parallèle, on additionnent les inverses $R_t^{-1} = R_1^{-1} + R_2^{-1}$. Si ça vous surprend, c'est très simple: l'inverse de la résistance s'appelle la conductance. Si j'ai deux "conduits" en parallèle, la "conductance" totale est la somme des deux, comme avec des tuyaux d'eau.

- **Condensateur** (ou capaciteur)

1. Un condensateur est un réservoir qui peut accumuler des charges.
2. On mesure sa valeur (capacité) en Farads. Une capacité moyenne est environ 1 μF
3. Un condensateur ne laisse pas passer le courant continu. Son impédance diminue avec l'augmentation de la fréquence d'oscillation du courant ou de la tension.
4. L'impédance d'un condensateur est $\frac{1}{j2\pi fC}$. On voit que si $f = 0$, alors l'impédance est infinie: le courant continu ne passe pas dans un condensateur.
5. Les capacités résiduelles de connecteurs sont de l'ordre de quelques pF.
6. Un câble "standard" a une capacité de 30 pF/m

- **Inductance**

1. On travaille très peu avec les inductances. Peu de circuits utilisent les inductances, sauf les transformateurs.
2. On mesure l'inductance L en Henry.
3. Une inductance s'oppose au courant qui varie vite, et pas du tout au courant qui n'oscille pas. Son impédance augmente donc avec l'augmentation de la fréquence d'oscillation du courant ou de la tension.
4. L'impédance d'une inductance est $j2\pi fL$. On voit que si $f = \infty$, alors l'impédance est infinie: le courant AC à haute fréquence ne passe pas dans un inducteur.

- **Batterie**

1. Une batterie de maison AA contient une charge de 2000 mA-h (milli-ampère \times heure), c'est-à-dire qu'elle peut fournir 2000 mA pendant une heure, ou 100 mA pendant 20 heures.
2. Dans un circuit à batterie, on tentera toujours de limiter le courant pour préserver la vie de la batterie.

- **Breadboard**

1. Une plaque blanche pour travailler s'appelle un *breadboard* ou parfois *practice board*.
2. On peut mettre les composantes directement dessus sans soudure.
- 3.

Les composantes

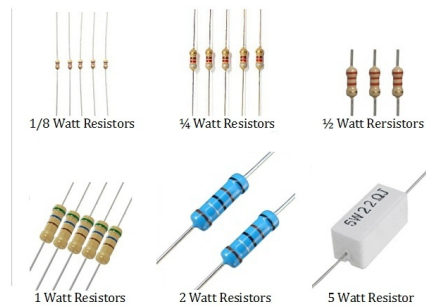
Les résistances

À la base de plusieurs circuits, il y a les résistances.

1. Elles ont des **valeurs standards** qui semblent bizarres (10, 12, 15, ... 82, etc...), mais il y a une raison: les valeurs par décade (entre 10 et 100, entre 100 et 1000, etc...) sont séparées de façon égales sur une échelle logarithmique, et toute combinaison de 2 résistances peut être à moins de 10% de n'importe quelle valeur désirée. Il existe plusieurs groupes: E12, E24, E48, E96 et E192 qui respectivement permettent une précision de 10% , 5%,

2%, 1% et 0.5%. De plus, il y a des valeurs standards de 10Ω , 100Ω , $1k\Omega$, $10k\Omega$, $100k\Omega$ et $1M\Omega$ parce que des fois, dans la vie, on aime les chiffres ronds.

2. Elles peuvent être faites pour **dissiper la puissance** un peu, moyen, beaucoup, ou énormément. Les plus fréquentes en laboratoires sont de 0.5W. Plus elles sont grosses, plus elles dissipent beaucoup de puissance. 1W c'est quand même beaucoup: cela permet de chauffer votre doigt de 1° en 1 seconde. Si vous mettez votre doigt sur une résistance, ça risque d'être chaud.



3. Il existe des résistances variables appelées *potentiomètres*. Certaines peuvent se mettre directement sur un *breadboard* (souvent ils sont bleus), d'autres se mettent sur des panneaux de contrôles et ils ont un bouton gradateur. Avec un bouton ou avec un tournevis, on ajuste la valeur de la résistance.



4. Les résistances sont simplement des mauvais conducteurs, avec des obstacles en différentes concentrations pour obtenir une résistance désirée. Ainsi, au niveau microscopique, les charges accélèrent jusqu'à ce qu'elles entre en collision, recommencent à accélérer, etc... Au niveau macroscopique (i.e. intégré sur un temps de μs par exemple), elles semblent avoir une vitesse moyenne constante.

Les condensateurs

1. Les condensateurs sont souvent utilisés car ils accumulent des charges: ils servent dans les filtres passifs et aussi comme réservoirs de charges près des puces (*chips*). Quand on voit un condensateur dans un circuit on pense "ralentir, basses fréquences, accumulation de charges". On ne pense pas à "vitesse, hautes fréquences".
2. Le circuit le plus simple avec un condensateur est un condensateur C branché directement sur une batterie en série avec une résistance R . Le condensateur se chargera jusqu'à ce qu'il soit plein. Cela prendra RC secondes.
3. Les condensateurs ont une **capacitance** donnée. Ils viennent aussi en valeurs standards comme les résistances. Plus un condensateur est gros, plus il a une capacitance élevée.



4. Les condensateurs ont une **tension maximale** qu'ils peuvent accepter à leur bornes. 16V, 35V, etc...
5. Les condensateurs cylindriques ont souvent une **polarité**: on doit brancher le côté positif sur le potentiel plus élevé. Les condensateurs de type *pastilles* n'ont pas de polarité.
6. Si un condensateur brûle, on le change. Souvent, c'est visible car on voit l'électrolyte (espèce de caramel brun) sur le dessus ou il a simplement l'air brûlé. Si ça vient juste d'arriver, ça sent encore le brûlé. Ça coûte 10¢. On le change pour un condensateur de même valeur.

Les inductances

Le petit aimant enroulé autour des câbles de télé, câbles USB ou autres, joue le rôle d'une inductance pour empêcher les très hautes fréquences de passer dans le fil (souvent du bruit ou dans le cas des télévisions, un "power surge" après une panne de courant qui peut briser la télé).



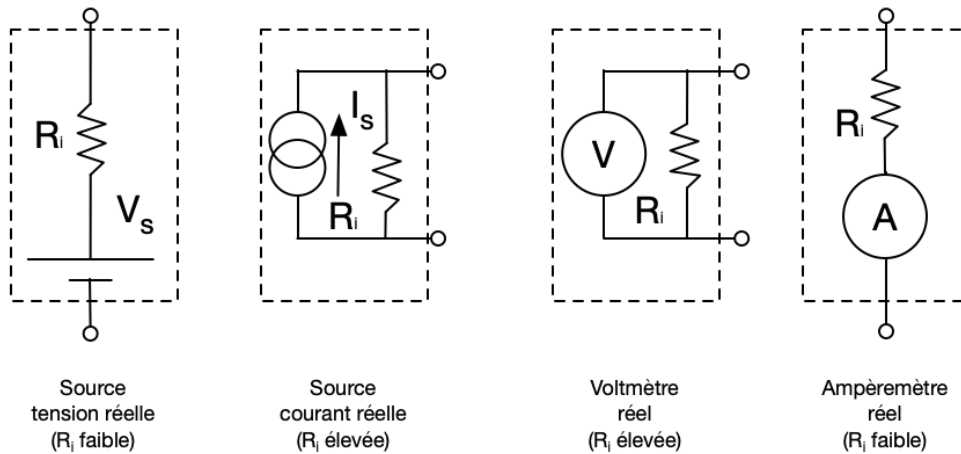
Sinon, j'ai utilisé une inductance une fois dans un circuit. Je ne me rappelle plus ce que j'ai fait. Je pense que c'était au siècle précédent. Les inductances, ça ne sert pas vraiment.

Les sources

Les sources et appareils réels

Les appareils réels ont des impédances internes qui ne sont pas nulles, ni infinies. **C'est assez important pour les sources de tension et de courant:** on doit souvent savoir. C'est d'importance mineure pour les voltmètres et les ampèremètres car c'est suffisamment "assez petit" ou "assez gros".

- Il n'y a pas vraiment de règles pour les résistances internes des sources: quand on s'en préoccupe, il faut la mesurer (ou lire les spécifications).
- Un voltmètre a une résistance typiquement de $1\text{M}\Omega$ ou $10\text{M}\Omega$. Un voltmètre est utilisée **très souvent** parce qu'on le met en parallèle dans le circuit, donc c'est facile. Un oscilloscope est un voltmètre avec résolution temporelle.
- Un ampèremètre a une résistance typiquement de moins de 100Ω , mais j'ai déjà vu $1\text{k}\Omega$. On utilise **rarement** un ampèremètre parce qu'on doit le mettre en série dans le circuit pour l'utiliser, et c'est souvent impossible. À la place, on met un voltmètre en parallèle sur une résistance connue, et on fait le calcul savant: $I = V/R$ pour avoir le courant et c'est 100% équivalent tout en étant 1530% plus simple.



Source de tension réelle: pour avoir la résistance interne d'une source de tension, c'est très simple:

1. On mesure la tension avec un voltmètre dans le **circuit ouvert**, c'est-à-dire sans courant, en connectant directement le voltmètre aux bornes de la source. Puisque le voltmètre a une résistance très élevée, il n'y a pas de courant et donc aucune perte de potentiel à travers la résistance interne, et on mesure directement V_s .
2. Ensuite, on **ferme le circuit** avec une *résistance de charge* R_c (pour que du courant passe) qu'on espère être proche de la résistance interne. On mesure la tension aux bornes de la résistance de charge. On l'appellera V_c , pour "tension aux bornes de la résistance de charge". La tension mesurée V_c sera plus faible que la tension V_s car la résistance interne sera responsable d'une baisse de tension égale à $V_i = R_i I$ puisque maintenant, il y a du courant qui passe dans le circuit, contrairement à (1) où il n'y en avait pas.
3. Puisque l'on sait V_c et R_c , on peut calculer **le courant** qui passe dans la résistance de charge, et donc dans le circuit, avec $I = V_c / R_c$.
4. Puisque la tension appliquée est V_s , et qu'une perte de tension de V_c est mesurée à travers la résistance, on sait que la **perte de tension** dans la résistance interne est $V_i = V_s - V_c$ car la boucle doit passer de V_c à 0V.
5. On sait la perte de tension dans la résistance interne et on sait le courant, donc la résistance interne est simplement $R_i = R_c (V_s - V_c) / V_c$.

1. Si la résistance de charge qu'on a prise est beaucoup plus grande que la résistance interne, alors $V_s \approx V_c$ et ce sera difficile d'obtenir une valeur raisonnable car on aura $\approx 0/V_c$. On essaie d'avoir une résistance environ égale à ce qu'on attend. On commence d'habitude avec une valeur plus grande que faible pour éviter de demander trop de courant (i.e. faire un court-circuit) et sauter le fusible de l'appareil. Un fusible coute 10¢: ce n'est pas grave, mais c'est plate.

Les équivalences

Donc il y a des sources de *courants* et des sources de *tension*. Vous vous demandez sûrement:

Oui mais ce qui sort d'une batterie, c'est un courant **et** une tension! Qu'est-ce que je suis supposé(e) dire: c'est une source de courant ou de tension!? Je peux passer de tension à courant ou courant à tension comme je veux avec $V = RI$! Donc, c'est quoi l'affaire?!

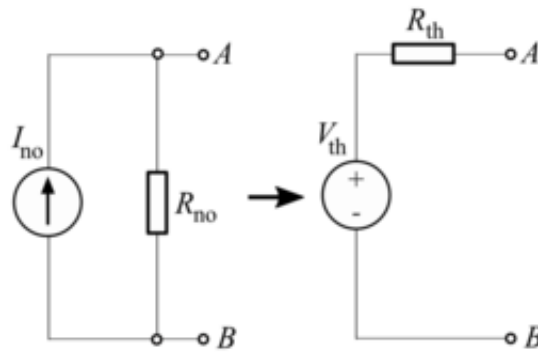
La différence est extrêmement simple: une source de puissance (i.e. un bloc d'alimentation) avec une résistance interne très faible se comportera comme une source de tension parce que toute résistance de charge connectée sera dominante par rapport à la résistance interne, et la perte de tension aux bornes de la résistance de charge sera la tension de la source (et sera donc toujours la même). Au contraire, une source avec une résistance interne très élevée se comportera comme une source de courant car la résistance de charge sera négligeable par rapport à la résistance interne et le courant sera dicté par la résistance interne (et sera donc toujours le même).

On peut prendre un circuit d'une source de tension avec une résistance et la changer en circuit avec une source de courant équivalente, ce qui s'appelle l'équivalent de Norton:

$$R_{Th} = R_{No}$$

$$V_{Th} = I_{No} R_{No}$$

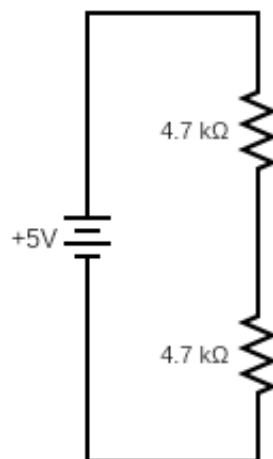
$$I_{No} = \frac{V_{Th}}{R_{Th}}$$



Les circuits

Le diviseur de potentiel

Si j'ai une source de tension V_o avec une résistance R_c à ses bornes, j'aurai une baisse de potentiel de V_o à travers la résistance (car le courant est $I = V_o/R_c$). Si on met deux résistances égales, on aura $V_o/2$ à travers chacune. De façon générale, si on prend R_1 et R_2 , on aura un courant $I = V_o/(R_1 + R_2)$, et une baisse de potentiel à travers R_1 de $V_o R_1/(R_1 + R_2)$ et de $V_o R_2/(R_1 + R_2)$ à travers R_2 .



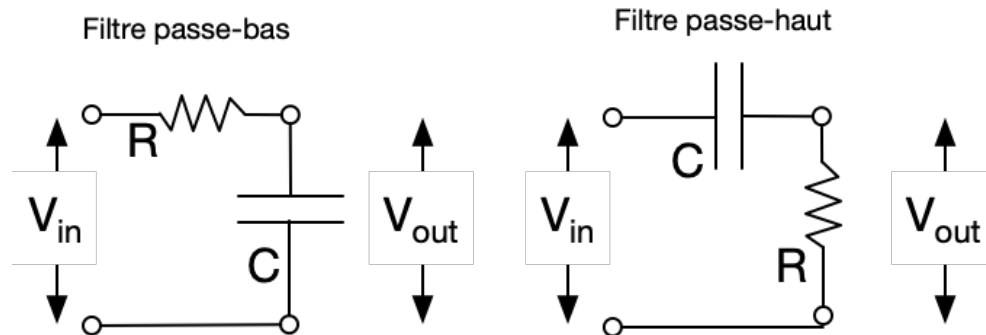
- On appelle ce petit circuit un diviseur de potentiel (ou *voltage divider* en

anglais).

- Typiquement on prendrait la tension à la connexion entre les deux résistances et la mise à la terre.
- C'est une façon rapide de réduire la tension d'entrée ou de sortie d'un circuit, par exemple pour accommoder nos besoins. On gaspille une partie de la puissance qui se dissipe dans la résistance qu'on utilise pas, mais c'est très utile et très fréquent. Dans un circuit à batterie, on n'essaierait d'éviter à l'entrée, mais dans un circuit avec un bloc d'alimentation, c'est tout a fait acceptable (même s'il existe d'autres méthodes pour obtenir les tensions voulues de façon plus efficace).

Les filtres passifs

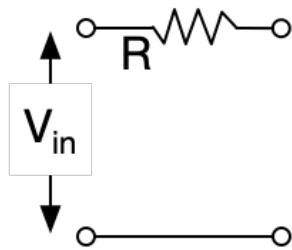
Un filtre RC est un filtre passif (i.e., il n'y a pas de batterie) est composé d'une résistance R et d'un condensateur C qui permet de filtrer soit les hautes fréquences ou les basses fréquences. Un filtre RC a un temps caractéristique de $\tau = RC$ en secondes. On peut dire que la fréquence de coupure où l'atténuation est de 50% est $f_c = \frac{1}{2\pi RC}$.



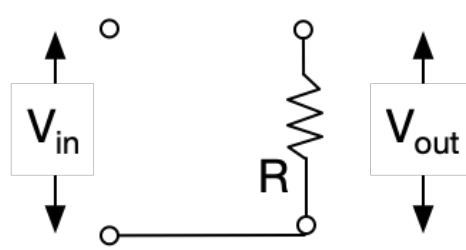
Le filtre passif est très utile et très fréquent: on le reconnaît dans plusieurs circuits pour enlever le bruit (filtre passe-bas, souvent appelé simplement filtre AC) ou pour enlever la composante de tension constante (filtre passe-haut, souvent appelé filtre DC).

On peut visualiser les filtres pour les basses (DC) et hautes (AC) fréquences pour voir le fonctionnement. Les basses fréquences ne passent pas dans un condensateur (le circuit est ouvert), et les hautes fréquences voient un fil conducteur (le circuit est fermé):

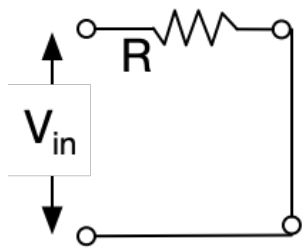
Filtre passe-bas
(vu par DC)



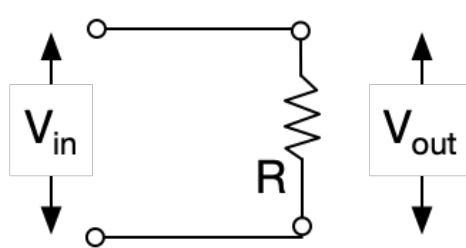
Filtre passe-haut
(vu par DC)



Filtre passe-bas
(vu par AC)





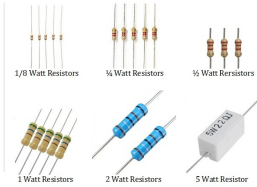



Filtre passe-haut
(vu par AC)



Pieces

Apparence

Description	Apparence
Multimètre	
Câbles BNC ou coaxial	
Prises alligators	
Prises bananes	
Résistances pour différentes dissipation de puissance	
Condensateurs	

Lire des feuilles de spécifications

Les blocs d'alimentation ont une tension de sortie (DC ou AC). AC veut toujours dire 60 Hz au Canada et Etats-Unis, et 50 Hz partout ailleurs dans le monde. Ils sont "capables" de fournir un certain courant maximal (donc une puissance maximale). Par exemple le LDS12B, 12 Vdc, 250 mA veut dire 3W maximum donc c'est une bloc pour petit électronique (détecteurs par exemple). À l'extrême, KCH601, 15VDC et 10A, donc 150W maximum est bon pour des moteurs ou des lasers.

Notez qu'on ne sait pas la résistance interne (appelé *output impedance*) car elle est faible (c'est une source de tension après tout).

On doit évidemment choisir le bon connecteur parce qu'un branchement simple, c'est pratique. On doit se renseigner sur les différents connecteurs, c'est facile de se tromper.

Thorlabs offers a variety of power supplies with output voltages ranging from 5 VDC to 15 VDC.

Power Supply Compatibility												
Item #	LDS5 LDS5-EC	CPS1	DS5	LDS9 LDS9-EC	DS12	LDS12B	DS15	KPS101	TPS101	TPS002	KCH301	KCH601
Output Voltage	5 VDC			9 VDC	12 VDC	±12 VDC	15 VDC		5 VDC	±15 VDC / 5 VDC	15 VDC	
Maximum Current	330 mA	2 A		220 mA	4 A	250 mA	1.3 A	2.4 A	2.0 A	4 A	10 A	
Connector Type	2.5 mm Phono Plug	2.5 mm Phono Plug & USB	USB Type-A Female	2.5 mm Phono Plug	M8 Connector	LUMBERG RSMV3 Male Connector (3 Pins)	Mini-XLR	Female DC, 3.5 mm OD		8-Pin Mini Din Plug (2 Places)	26 Way 1.27 mm Pitch, ERNI Connector (6 Places)	
Compatible Products	CPS Laser Modules		DXM20AF, LCC2415-VIS/(M), Any Product Requiring 5 V Power via USB	OEM Laser Diode Drivers	PTC1 (PTC1/M)	PDA and PDB Amplified Photodetectors, DET Biased Detectors, PMM Photomultiplier Modules, APD Avalanche Photodetectors, and ESACs	Nanosecond Pulsed Laser Systems	KBD101, KDC101, KIM101, KLS635, KLS1550, KSC101, KST101, LEDD11, and TIA60	TTC001 and MTDEVAL ^b	KPZ101, KNA-VIS, KNA-IR, KPA101, and KSG101	All K-Cubes™ and T-Cubes™	

a. For powering the [LD1255R](#) Laser Diode Driver, we also offer the [LD1255-SUPPLY](#) bundle that includes the LDS12B power supply and a cable to connect the power supply to the driver.

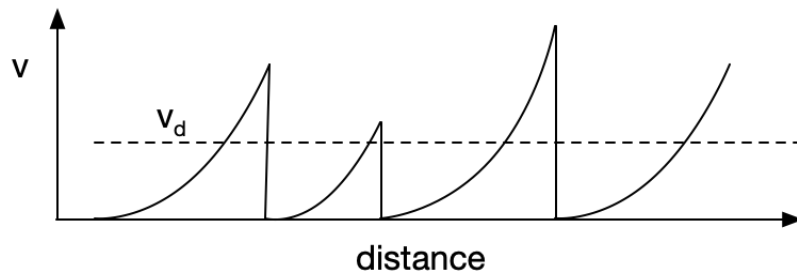
b. This previous-generation evaluation board for MTD415xE TEC drivers is no longer offered by Thorlabs.

Achat

- Au Canada, on achète des pièces chez [Digi-key](#), [Mouser](#) ou [Electrosonic](#) (dans cet ordre).
- À Québec, on achète des pièces chez [Electro-Mike](#) (composantes) et [Access Électronique](#) (l'autre côté de la rue, pour les pièces de puissance).

Lien entre électromagnétisme et circuits

- **Loi de Kirchhoff** $V = RI$. Les électrons dans les matériaux accélèrent s'il y a un champ électrique, mais ils entrent en collision avec les (très nombreux!) atomes/molécules qui forment le solide: il y en a un à tous les 1nm, donc les électrons n'ont pas vraiment beaucoup d'espace ou de temps pour accélérer. On laisse tomber les détails de la physique de l'état solide et on peut montrer que les électrons ont une vitesse moyenne (*drift velocity*) donnée par $v_d = \mu E$ où μ est la mobilité du matériel. Cette vitesse est très faible: quelques mm par seconde. Ce n'est pas la vitesse du courant: un électron qui avance en "pousse" un autre (ce sont des fermions, ils ne peuvent être deux au même endroit) et c'est cette vague-de-poussage qui se propage à la vitesse de la lumière (ou presque).



On peut montrer que la densité de courant est donnée par $J = \sigma E$ (où σ est la conductivité du matériel) et que c'est équivalent à la loi de Kirchhoff.

- **Le condensateur le plus simple**: si deux plaques conductrices parallèles (très grandes et de surfaces A) sont séparées par une distance d et ont une différence de potentiel ΔV , alors le champ électrique entre les deux est **constant** et est simplement $E = \Delta V/d$. Les plaques agissent comme un condensateur de **capacitance** $C = \epsilon A/d$. Oubliez les détails: cette approximation est suffisante pour comprendre bien des choses.
 - Toute structure où un conducteur 1 est proche d'un conducteur 2 et à différents potentiels agira comme un condensateur. À moins que ça ne soit voulu, on parlera de "capacitance résiduelle". Les câbles coaxiaux ont une capacitance de 30 pF/m car le centre (le signal) est à un potentiel alors que l'extérieur (le *shield*) est à 0V. Une connexion BNC a une capacitance résiduelle de quelques pF. (On prononce "pof" pour les experts).
 - Pour avoir plus de capacitance, on doit avoir une plus grande surface (un condensateur plus gros).

- Pour avoir une plus grande capacitance pour une surface donnée, on ajoute un diélectrique ou un électrolyte entre les plaques pour augmenter ϵ .
- Pour *réduire* la capacitance résiduelle des éléments (puisque cela ralentit les circuits), on doit diminuer la grosseurs des éléments. Plus les puces sont petites, plus elles peuvent opérer rapidement.

1. J'étais nul en électronique au bacc. Nul. Zéro. J'ai eu un déclic dans le cours Physique Expérimentale III en 1994 avec Normand Balaux (que j'aimais beaucoup même s'il était extrêmement discret). Par la suite, un stage d'été à Toronto en compagnie de l'excellent étudiant Gary Allan m'a convaincu de l'importance d'apprendre l'électronique au moins pour être opérationnel au laboratoire. Pour graduer, j'ai dû faire beaucoup d'électronique, réparer des choses, en construire des nouvelles, automatiser mes montages, etc... À force d'en faire, les automatismes de laboratoire se sont transformés en connaissances. ↩