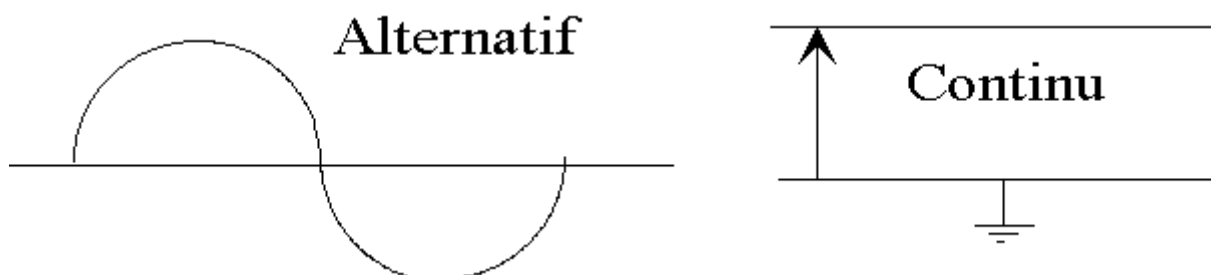


ELECTRICITE

Une tension peut être continue ou alternative suivant la forme du signal électrique par rapport à une tension de référence (la masse).



Le **réseau électrique** en Europe est de 230 Volts alternatif en monophasé (2 fils) avec une tolérance généralement de 10 %. Sur le réseaux électrique de transport (avant d'arriver à votre maison), il est généralement en mode triphasé 230 V (3 fils) ou 380 V (4 fils) et en haute tension (parfois supérieure à 1200 KV pour les longues distances) pour relier les différents centrales électriques. La tension alternative est la tension moyenne du réseau en continu. On peut considérer qu'un redressement "parfait" du 230 volts alternatifs, sans pertes de puissance dans le montage de redressement, du 230 V continu.

Les montages électroniques sont alimentés suivant diverses tensions continues. La conversion d'une tension alternative en tension continue se fait par un montage électronique que l'on désigne par le terme "alimentation". A part en deuxième année avec les alimentations à découpage et [onduleurs - UPS](#), le cours hardware ne reprend que des tensions continues de faibles voltage (inférieures à 24 Volts) et de faible puissance.

2. Courant continu

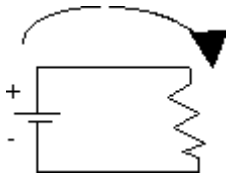
2.1. Introduction

La tension électrique (aussi appelée voltage par anglicisme) continue est linéaire par rapport à une tension de référence (la masse), 0 Volts. Cette tension peut être positive ou négative selon le montage à alimenter. Dans le cas d'une tension positive, le courant passe de la borne + vers la masse et l'inverse pour une tension négative. Un montage électrique (et donc électronique) nécessite donc 2 points de connexion, un plus et un moins.

En courant continu, l'électronique est divisée en montages passifs et actifs.

- Un **montage passif** utilise des résistances, selfs et condensateurs qui n'influencent que la forme du signal. Il n'y a pas non plus d'amplification.
- Un **montage actif** utilise des transistors (regroupés en nombre dans les circuits intégrés). Une tension sur un point d'un montage (par exemple sur la base d'un transistor) va interagir sur l'ensemble des tensions du montage

2.2. Montage passif et formules en courant continu.



Notre schéma électrique est constitué d'alimentation continue en série avec une résistance. L'alimentation est caractérisée par la tension qu'elle peut délivrer, sa résistance interne et l'intensité de courant maximum. La résistance, représentée sur le schéma par une denture, est exprimée en ohm, c'est finalement sa force de retenue du courant électrique, et la puissance maximum qu'elle peut dissiper sous forme de chaleur (donc sans brûler).

La formule de base en électricité est la **loi d'ohm**: $I=V/R$

I: intensité du courant, elle est exprimée en ampères

V: la tension en volt

R: la résistance (en ohm). En courant alternatif, on parle d'[impédance](#)

Par cette formule, plus la tension augmente, plus le courant augmente proportionnellement. Par contre, si la valeur de la résistance augmente, le courant diminue de manière linéaire.

La puissance représente l'énergie dissipée sous forme de chaleur (chauffage électrique, résistance) ou utilisée (moteur). La **puissance (P)**, exprimée en Watt, est donnée par la formule: $P=V^2/R$ ou $P=I^2 * R$ ou $P=I * V$

Utilisons comme source d'énergie une batterie de 12 V comme exemple, si la résistance est de 10 ohm, le courant qui traverse la résistance est de $I=12/10 = 1,2$ ampère. La puissance minimum que la résistance est de $P=14,4$ Watt. C'est similaire avec des tensions alternatives (réseau électrique). Un fusible de 16 A en 230 V permet donc une charge maximum: $16*230= 3680$ Watts. Ceci est théorique puisqu'en alternatif, elle dépend aussi du type de charge (résistive, capacitive ou selfique) qui provoque un déphasage entre la tension et le courant suivant le type de charge. En deuxième année, nous verrons que l'on parle aussi de **VA** (Volt Ampère)

pour les onduleurs (UPS). Dans ce cas, pour passer des Watts au VA, on utilise une formule générale (indicative): $1 \text{ Watt} \times 1,6 = \text{VA}$.

Une alimentation d'ordinateur de 500 Watt (alternatif en 230 Volts) doit être raccordé sur le tableau électrique avec un fusible d'un peu plus de 2 ampères. Cette alimentation produit différentes tensions électriques: 46 A en 5 Volts, 18 A en 12V , 1 Ampère en -5 V et -1 Ampère en -12 V . La différence de la puissance entre celle absorbée sur le réseau électrique et celle restituée dans le montage électronique est dissipée sous forme de chaleur dans l'électronique de l'alimentation. Le rendement est le rapport entre celle consommée et celle restituée.

Pour les fusibles de protection, la valeur de courant accepté doit être un peu supérieur, les montages électroniques (et alimentations électriques) consomment souvent nettement plus au démarrage avant de se stabiliser. Ceci est lié à la charge des condensateurs avant que le montage ne puisse effectivement démarrer. Deux types de fusibles électroniques sont proposés: des fusibles rapides (qui coupent directement au moindre dépassement) et des lents (qui acceptent des courants supérieurs à la valeur nominale pendant un faible laps de temps). Pour les montages électroniques, **remplacez toujours un fusible par son équivalent en type et en courant maximum, suivant les valeurs préconisées par le fabricant de l'appareil**. En dernier, un fusible ne brûle pas tout seul. Avant de le remplacer, vérifiez les dégâts possibles sur la carte (traces de brûlures sur les circuits, voire complètement détruits par exemple). La technique "bricolage" qui remplace directement un fusible détruit "pour voir" est dangereuse et peut provoquer des incendies directement dans l'appareil.

Le courant (**avec une charge résistive en série!**) se mesure avec un ampèremètre. La tension (continue ou alternative) se mesure avec un voltmètre. Ces deux fonctions, avec d'autres suivant les appareils, sont rassemblés dans un appareil de mesure que l'on appelle multimètre.

2.3. Les selfs

Une self est constituée d'un seul bobinage sur un noyau en ferrite et se place **en série** sur le montage. Dans le cas d'un courant continu, elle est sans effet. Par contre, pour des tensions continues variables, la self va lisser les variations de tensions. En électronique, les **charges selfiques** sont presque uniquement utilisées dans les alimentations, pour réduire les variations de tensions en fonction de la consommation du montage, et lisser les perturbations dues aux parasites.

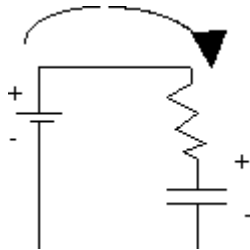
Dans un montage alternatif, les selfs vont lisser les signaux parasites présents sur le réseau.



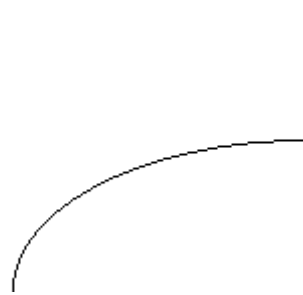
2.4. Le condensateur.



Le **condensateur** peut être vu en électronique comme un réservoir d'énergie. Plusieurs condensateurs sont mis en parallèles (entre le + et la masse) sur l'alimentation du montage électronique, lissant (régulant) les variations de tensions entre ses bornes, absorbant l'énergie lors d'une hausse de tension et renvoyant l'énergie en cas de baisse. Un condensateur peut-être polarisé (cas des condensateurs électrolytiques) ou non selon la technologie. Pour les condensateurs polarisés, les bornes + et - doivent être respectés en fonction de l'alimentation.



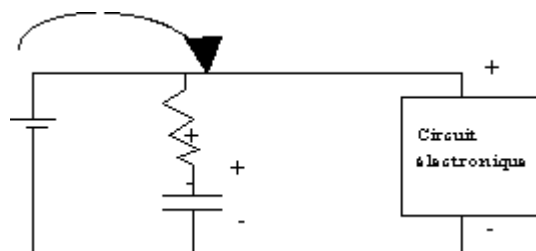
Test d'un condensateur



Variation de tension en fonction du temps.

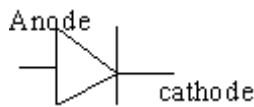
A l'allumage, le condensateur se charge à travers la résistance jusqu'à ce que la tension à ses bornes soit identique à celle de l'alimentation. La consommation est importante au début et va se réduire avec la charge. Une fois le condensateur au même niveau que l'alimentation, le courant tombe à zéro.

En général, la résistance est enlevée du montage pour augmenter la vitesse de réaction. L'alimentation va d'abord alimenter le circuit électronique et le condensateur pour arriver à une tension identique aux bornes du condensateur et du circuit électronique. En cas de sur-consommation du circuit, la tension va diminuer à ses bornes et le condensateur va réinjecter de l'énergie pour conserver une tension stable.



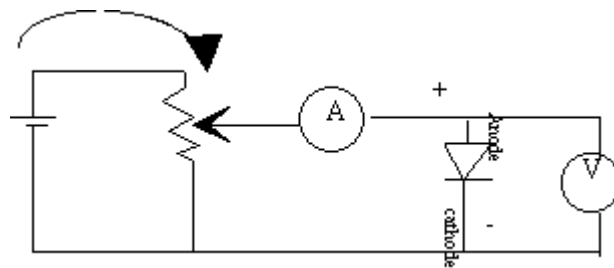
La connexion reliant le + de l'alimentation au + du circuit est un fil ou une piste de cuivre et donc une résistance qui va dissiper de la puissance, principalement lors du passage de courants importants. Plus un montage consomme de courant, plus les fils d'alimentations doivent être de section importante (2,5 carré est le minimum pour les installations électriques dans les habitations, 3,5 pour quelques appareils comme les machines à laver, fours électriques). La résistance d'un fil électrique est inversement proportionnelle à son diamètre.

3. La diode



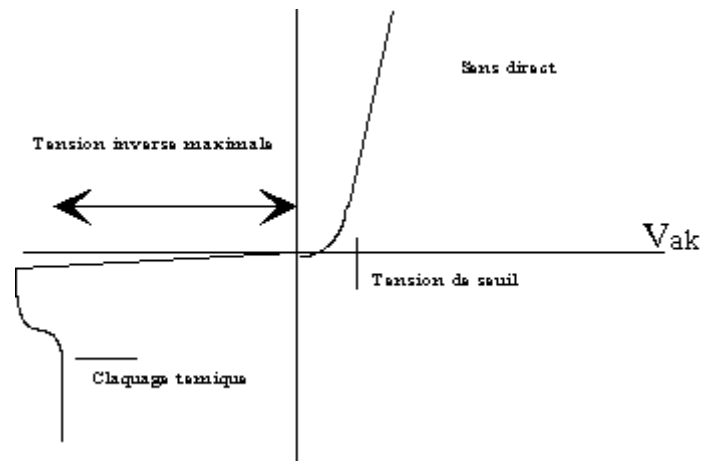
Le composant de base de l'électronique numérique est la diode. Elle est constituée de deux zones de germanium ou de Silicium polarisées appelées anode et cathode.

Dans le sens passant, le courant passe entre l'anode et la cathode. Par contre, connectée en inverse, le courant est bloqué. Le montage ci-dessous permet de mesurer ces caractéristiques en sens passant ou inverse (en retournant la diode). Les caractéristiques du courant en fonction de la tension sont représentées dans le graphique en dessous. Dans notre montage, nous utilisons une résistance variable (appelée souvent potentiomètre) permettant d'augmenter ou de diminuer la tension entre l'anode et la cathode.



En **sens passant**, le courant augmente d'abord exponentiellement avec la tension d'alimentation jusqu'à une tension de seuil (ceci est mesuré par le voltmètre connecté en parallèle). A partir de cette tension, le courant augmente linéairement avec la tension aux bornes de la diode.

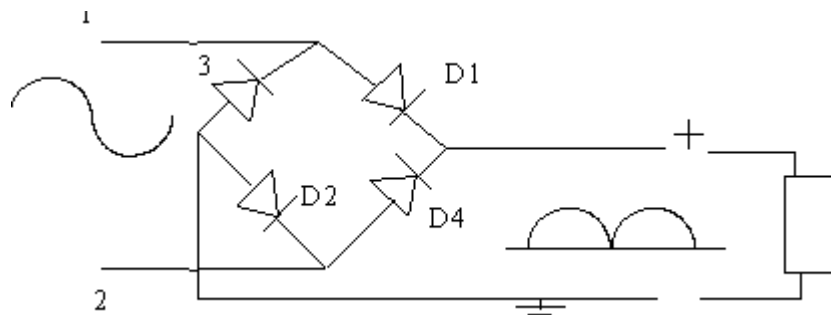
En **sens bloquant**, la diode bloque le courant jusqu'à la tension maximale (spécifique à chaque modèle de diode). Ensuite, la diode laisse passer tout le courant. Ce dépassement n'est pas destructif, mais la diode en court-circuit va claquer selon le terme employé en électronique (brûler) avec la dissipation thermique engendrée.



Ces caractéristiques varient en fonction du type de diode (Germanium pour les faibles puissances, Silicium pour les puissances supérieures), de sa puissance maximum, de la température et du type de diode utilisé.

4. Application, circuit de redressement alternatif

Un pont redresseur (appelé **pont de Graetz**) est une des utilisation typique des diode. Il est utilisé pour convertir une tension alternative (celle du réseau électrique) en tension continue (alimentation interne des appareils électroniques).



Lorsque la tension alternative est positive (celle du point 1 est supérieure à celle du point 2), le courant de 1 vers 2 à travers la diode D1 (D3 et D4 sont bloquantes). Alimentant le montage électronique, il revient au point 2 en passant par la diode d2. Dans le cas inverse (tension négative), le courant passe de la borne 2 vers la borne 1 en passant par D4, alimente le circuit puis revient en traversant la diode D3.

La tension à la sortie du montage électronique **n'est pas continue**, elle est seulement redressée. La partie suivante est constituée de condensateurs en parallèle, selfs en série, circuits électroniques de lissage, ... Dans la majorité des appareils informatiques, ce type d'alimentation n'est plus utilisé, remplacé par des "alimentations à découpage", avec un meilleur rapport puissance transmise par rapport à la puissance

consommée sur le réseau électrique. Nous les verrons en deuxième année avec le fonctionnement des UPS et [équipements de protections électriques](#).

5. LED



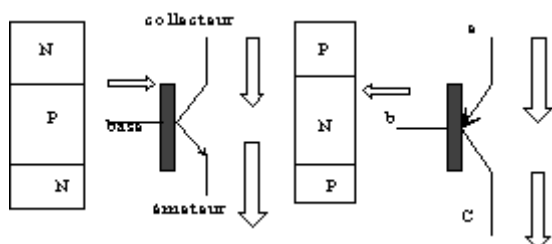
La LED est une diode qui émet de la lumière lorsqu'elle est alimentée dans le sens passant suivant une couleur spécifique à la technologie (rouge, verte, jaune, ...). Elle bloque dans le sens inverse comme une diode standard mais avec une faible tension de seuil et un faible courant autorisé. Elles ne sont jamais utilisées en redressement.

Les LED sont connectées sur les faces avant des ordinateurs pour indiquer l'allumage (le plus souvent verte) et les accès disques durs (généralement rouge ou orange).

Si une LED ne s'allume pas, elle est soit défectueuse (plutôt rare en informatique informatique), soit le sens est inversé sur le connecteur de la carte mère.

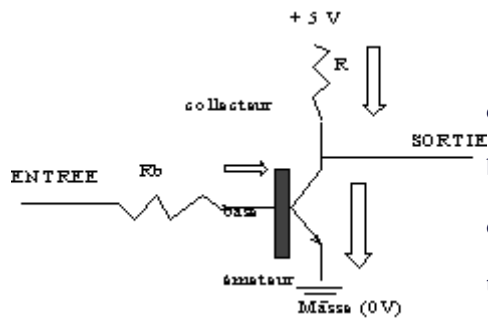
6 Le transistor

Un transistor est constitué de 3 tranches de silicium ou de germanium polarisées. Dans le cas des transistors bipolaires, les PNP et NPN sont séparés suivant la polarisation des 3 tranches (schémas ci dessous). Ils sont remplacés en informatique par des transistors utilisant la technologie MOS et ses variantes qui sont moins rapides mais consomment également moins. Le BicMos est le plus rapide avec une faible consommation mais avec un faible niveau d'intégration en circuits électroniques.



La base sert de contrôle du montage. La tension d'alimentation est appliquée au collecteur, la masse du montage à l'émetteur.

Si on applique une faible tension sur la base d'un transistor NPN, la zone P est se charge permettant au courant de traverser le transistor du collecteur vers l'émetteur (donc de relier le collecteur à la masse). Pour les transistors PnP, en mettant la base à la masse, on permet le passage du courant, mettant ainsi le collecteur à la masse (0 volts). Le passage du courant varie en fonction des tensions sur la base, c'est d'ailleurs la principale utilisation en électronique analogique, l'amplification de tensions.



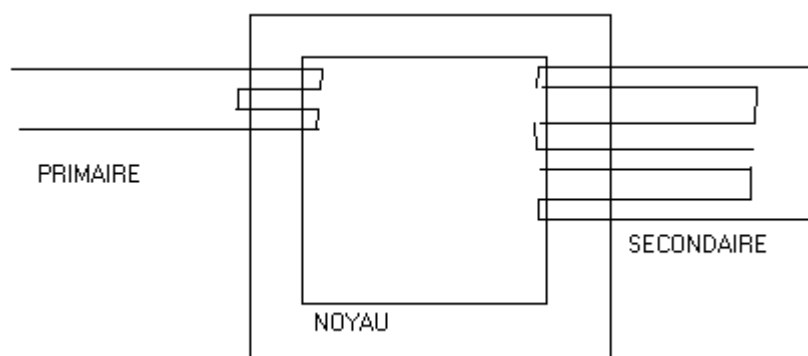
En électronique numérique, les transistors sont utilisés comme interrupteurs. En appliquant une tension de 0,5 volts sur la base du montage ci-contre, on permet le passage du courant et ainsi de mettre la sortie à 0 Volts (presque, il y a toujours une petite tension résiduelle). C'est un montage inverseur de tension entre l'entrée et la sortie. Ce schémas représente les entrées (ou sorties)

des circuits TTL de type 74LS (suivant l'endroit où le montage est inséré).

Le collecteur est relié au 5V de l'alimentation en passant par une résistance. Si aucune tension n'est appliquée à la base, le transistor est bloquant, la sortie est reliée au 5 Volts. Par contre, si nous appliquons sur la base une tension de 5V (en passant par une résistance, le transistor laisse passer le courant entre le collecteur et l'émetteur, ce qui donne en sortie une tension de 0 volts (en fait 0,5 volts, la tension de seuil du transistor comme pour les diodes). Ce montage est donc inverseur.

7. Transformateur

Un transformateur est constitué de fils enroulés sur deux cotés d'un noyau en ferrite en forme de carré. On parle de primaire (l'entrée) et de secondaire (la sortie). il doit être alimenté en alternatif, les tensions continues sont inopérantes. Il n'y a qu'un seul bobinage en entrée. Par contre, on peut utiliser plusieurs bobinages en sorties pour obtenir différentes tensions. La tension de sortie est un rapport entre le nombre de boucles en entrées et en sorties.



Il est utilisé avant un circuit de redressement par diodes comme dans le schémas ci-dessus pour diviser la tension d'entrée du primaire (230 V alternatif) et permettre une tension utilisable au secondaire avant redressement (30 volts alternatif maximum) par un pont de diodes.

8. Quelques règles concernant le réseau électrique.

Sans rentrer dans un cours d'électricien bâtiment, quelques règles de base en électricité.

Le tableau électrique est placé entre les lignes de votre habitation et le réseau extérieur (en passant par le compteur qui détermine la consommation). L'arrivée peut être en monophasé ou en triphasé. Dans le cas du mono, c'est en Europe du 230 Volts alternatifs (110 Volts sur le continent américain). Pour les installations en triphasé, deux tensions sont utilisées: le 230 Volts et le 380 Volts. D'autres variantes existent dans les régions reculées.

Le premier appareil à brancher dans ce tableau est un différentiel de 300 mA. Il est obligatoire et va vérifier les fuites de courant entre les différentes phases entre elles et la terre engendrés par un appareil défectueux, fuites de courants dans ces appareils (principalement dans les équipements de cuisine, salle de bain utilisant de l'eau ou humides, ... Suivant le type d'arrivée et la tension du réseau, il est spécifique. La dimension du câble jusqu'à ce différentiel est du 5 carrés, c'est une norme de dimension. A l'intérieur du tableau, les nouvelles normes imposent du 3,5 carré pour relier ce différentiel aux fusibles, et fusibles entre-eux. En sortie, vous pouvez utiliser du 2,5 pour la majorité de l'installation et du 3,5 pour toutes les parties qui consomment comme la machine à laver ou le four électrique. Si la dimension de ce câble est trop faible, la consommation sera trop importante et votre appareil ne sera pas suffisamment alimenté. Les câbles 1,5 sont maintenant interdits dans toutes les installations fixes et pas conseillés pour relier la prise à un appareil et rallonges, quelque qu'il soit.

Le 230 Volt peut directement alimenter les équipements informatiques et autres. Dans le cas de 230 Volts alternatifs, la tension (et la charge) est répartie entre les trois fils. Pour le 380 Volts, un quatrième fil (le neutre) est utilisé. La tension de 230 Vols est obtenue entre ce neutre et chaque phase (fils).

Les fusibles électriques acceptent un dépassement pendant un faible délai. Par contre, ils déclenchent lorsque le courant inférieur à celui maximum est juste en dessous pendant une durée importante. Mieux vaut répartir les équipements qui consomment trop sur différents fusibles, voire phases différentes du réseau dans le cas du triphasé.

La terre fait fonction de masse. En Europe, elle est flottante et sert uniquement de tension de référence entre les deux fils du réseau (230 volts entre les deux). Via le disjoncteur, elle permet de signaler les pertes de courant sur l'ensemble de l'installation, y compris dans les équipements. A part en Angleterre, l'arrivée du

courant utilise les deux fils de l'installation: touché un seul fils ne donne pas du 230 Volts mais bien la différence de tension entre la terre et la borne de la prise et quelques matériaux (l'eau par exemple) sont d'excellents conducteurs, d'autres comme le verre ou le caoutchouc beaucoup moins.

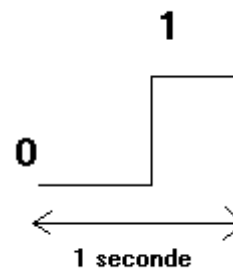
9. Terminologies et unités de mesure.

Les montages informatiques numériques (digitaux) n'utilisent pas des tensions variables, mais des états. Le signal peut prendre 2 valeurs possibles, 0 ou 1. Ces 2 valeurs possibles sont matérialisés par deux tensions, 0 et 5 Volts le plus souvent mais d'autres sont aussi utilisées comme le +12 /-12 volts dans des liaisons séries, ou des tension proches de 1,5 volts dans les processeurs actuels.

La plus petite information (1 ou 0) est appelée un **bit** (noté petit b). Pour les montages digitaux à base de processeurs, ils sont rassemblés par 8 pour former un octet (**Byte**, noté grand B en anglais). Les octets forment les données (8 bits permettent par exemple de désigner une lettre dans le code ASCII).

Dans la terminologie, on les regroupe le plus souvent les octets en **Kilo (noté KB ou KO)**, soit 2^{10} octets. En hardware, on utilise un kilo de 1000, en logiciels (y compris Windows), on utilise la vraie valeur qui est de 1024. 1000 (1024) donne le MB (GO), soit 2^{10} KB (2^{20} Bytes) et 1000 MB donne le Giga et 1000 GB, le tétra (2^{40})

Le signal est envoyé sur une ligne de communication (série) ou 8 et multiples (16, 32, 46, 128, ...) dans le cas des connexions parallèles. Cette ligne de communication peut être un fil, une piste sur une carte mère ou même une connexion sans fils.



La vitesse de transmission est liée à la fréquence (exprimée en **hertz**). Une fréquence de 1 hertz correspond à 1 bit par seconde, 1000 Hertz (soit un kilo) à 1000 données par secondes. L'exemple ci-contre envoie deux informations par seconde, soit une fréquence de 2 hertz. Le temps d'horloge est ici de 1/2 secondes. De nouveau, on parle de Mhz, Ghz, ...

Transmission à une vitesse de 2 hertz (hz)

Le taux de transfert est le nombre de Byte envoyés par seconde, il est lié à la vitesse en hertz d'un signal de référence (l'horloge). Il est exprimé en Bps (bytes par secondes), KBps, ... Remarquez qu'on parle ici de byte, en liaison séries (sur 1 fils en gros), on parle de bps ou plutôt suivant la terminologie de **baud (rate)**. Cette vitesse n'est pas tout à fait liée uniquement aux données puisque les connexions séries utilisent des mécanismes de contrôle des transmissions comme des bits de départs et de fin contrôle de parité, ... pour chaque octet transmis. En général, on divise ces vitesses par 10 pour obtenir les Bps.

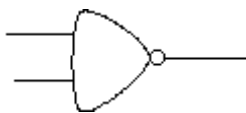
Quelques ordres de grandeurs:

- la capacité d'une disquette est de 1,44 MB, une clé USB actuelle standard est de 8 GB, soit prêt de 6000 fois supérieure. Celle d'un disque dur est (par exemple) de 320 GB, soit 40 fois supérieur.
- En transmission, un disque dur SATA2 permet des vitesses maximum (théoriques) de 300 MB/s, celle d'une ligne ADSL 2+ de 24 Mb/s en réception, soit en fait dans les 2 MB par seconde. Celle d'une connexion sans fils 802.11 G est de 54 Mb/s, soit ... un pauvre 5,4 MB par seconde.

10. Les portes logiques:

L'électronique digitale ne gère que des signaux logiques variant dans le temps (0 ou 1). Ces montages utilisent des fonctions logiques qu'on retrouve également dans certaines fonctions de logiciels comme ACCESS, Excel, ... ou en programmation. Différentes technologies sont utilisées suivant le type de transistor: la série TTL 74 et ses variantes, les séries [CMOS](#) (moins rapides mais avec une consommation électrique plus faible), ...

Pour caractériser les états de sortie de ces portes en fonction des différents signaux d'entrée possible, on parle de **table logique** avec une valeur de 0 en l'absence de tension sur la borne et de 1 en présence de tension.

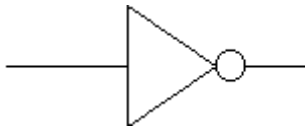


Porte NAND (Non-ET)

Entrées		Sorties
A	B	Y
0	0	1
0	1	1

1	0	1
1	1	0

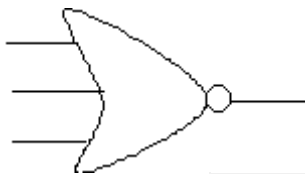
C'est la plus courante, elle correspond à une multiplication des valeurs avec le résultat inversé, par exemple $A=0$ et $B=1$, $A*B=0$, ce qui donne comme valeur inversée 1.



Porte NO (NON)

Cette porte donne la valeur inverse, soit $A=0$, la sortie = 1.

Entrée	Sortie
A	Y
0	1



1	0
---	---

Porte NOR - Non OU

La fonction OU est vrai si au moins un des signal est vrai (1). L'inverse donne VRAI si toutes les portes sont à 0, elle correspond en fait à la somme des valeurs inversée. Prenons par exemple cette porte avec 2 entrées:

Entrées			Sortie NOR
A	B	C	
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0

1	1	0	0
1	1	1	0

Les calculs logiques acceptent également les parenthèses comme dans l'exemple ci-dessous:

Comme exemple, prenons la fonction **A AND (B OR C)**:

Entrées			Sortie A and B or C
A	B	C	
0	0	0	$0 * (0+0) = 0$
0	0	1	$0 * 1 = 1$
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	$1 * (0+0) = 0$
1	0	1	$1 * (1+0) = 1$
1	1	0	1
1	1	1	1

Toutes ces portes logiques sont intégrées dans des circuits d'interface plus complexe.

11. Le troisième état.

Les fonctions de base ci-dessus sont complétées par 4 autres types, même si ça dépasse le cadre de cette introduction: les bascules, les buffers (mémoires tampon utilisées comme amplificateur), les multiplexeurs (envoient en sortie une valeur d'entrée dépendant de signaux de contrôles qui sélectionnent le numéro de porte et les tristates - troisième état (souvent couplés à des buffers).

Pour pouvoir partager des bus entre différents composants (notamment en DMA que nous verrons dans la suite), une porte doit être capable de déconnecter sa sortie, c'est le troisième état avec le 0 et le 1. En analysant le schéma d'une [porte TTL](#) ci-dessus, c'est facile à comprendre. Si deux sorties sont branchées sur le même circuit, chaque fois qu'un des deux est à 0, l'entrée suivante passe également à Zéro. En se coupant du montage, une sortie n'intervient plus dans le résultat.

Un multiplexeur est une sorte d'interrupteur / commutateur logique. Soit une commande avec deux entrées (A et B) et 4 entrées effectives (Y1 à Y4). Suivant les valeurs présentes sur les deux lignes de commandes, la sortie va être permise de diriger une entrée vers une sortie au choix par l'intermédiaire d'entrées de contrôle. Voici la table logique d'un circuit 1 entrée D1, 2 lignes de contrôle (A et B), 4 entrées (C1, C2, C3 et C4). Voici les valeurs obtenues en sorties suivant les différentes valeurs de contrôle:

Entrées		Sorties
A	B	
0	0	c1
0	1	C2
1	0	C3
1	1	C4

12. Notion de Calcul binaire, hexadécimal

Addition, soustraction.

1101
+ 1100
11001

Même si les électroniciens utilisent plutôt l'hexadécimal basé sur une base 16, voici une petite addition en binaire. On commence de droite à gauche:

- $1 + 0 = 1$
- $0 + 0 = 0$
- $1 + 1 = 2$, soit 0 mais avec un report de 1 à l'unité supérieur
- $1 + 1 + \text{report de } 1 = 3$, soit 1 avec un report de 1
- le report précédant qui donne 1

En hexadécimal (souvent précédés du sigle \$ ou par h), on utilise les chiffres de 0 à 9 (comme en décimal) puis les lettres en commençant par A (10), B (11), ... F (15).

	FA5
	+ 15A
	10FF

De nouveau, reprenons de droite à gauche notre addition:

- $5 + A = 5 + 10 = 15$ soit F en hexadécimal
- $A + 5 = 10 + 5 = 15$ et toujours F en \$
- $F + 1 = 15 + 1 = 16$, soit 0 + un report de 1

13. Outillage, testeurs et appareils de mesure

En électricité analogique, on utilise un multimètre qui mesure les tensions et courants en courants continus ou alternatif. Ils intègrent également une mesure des résistances et un test de diode. Malheureusement, nous ne travaillons pas en valeurs répétitives avec un plus des vitesses de changement très rapides. Le seul appareil qui pourrait être utilisé est un analyseur logique, en gros un oscilloscope qui permet de vérifier des signaux digitaux sur un nombre important d'entrées (l'oscilloscope est limité à 2).

De toute façon, sans schémas de cartes, sans composants (en plus ils sont en SMD donc collés sur la carte), ... il est impossible de réparer une carte.

Dès lors, les seuls outils à utiliser sont des **tournevis en croix et plats**, des tournevis torx pour certains ordinateurs de marque, d'une petite pince plate pour certain pontages et cavaliers et un multimètre utilisé pour vérifier quelques tensions (notamment pour les transformateurs de PC portables). Petit dernier, une clé Allen inversée au pas européen de 5 (même si l'original est une norme américaine) pour certains connecteurs externes de cartes mères ... rien de bien complexe si vous ne travaillez pas dans les réseaux.