



**Guide de  
Travaux Pratiques et Projets d'Electronique**  
octobre 2001

**P1-P2-I'1(Deug-Spé)**



# Sommaire

	<b>page</b>
<b>Introduction</b>	6
<b>I) Caractéristiques d'un signal électrique</b>	7
<b>I.1) Types de signaux</b>	7
a) Signal sinusoïdal	7
b) Signal carré de rapport cyclique 1/2	8
c) Signal carré de rapport cyclique ajustable	8
d) Signal logique	8
e) Signal triangulaire	9
f) Signal en dents de scie	9
g) Signal aléatoire	9
<b>I.2) Paramètres des signaux</b>	10
a) Temps de montée-Temps de descente	10
b) Valeur efficace d'un signal	10
c) Valeur moyenne d'un signal	11
<b>I.3) Effets électromagnétiques</b>	11
a) Electronique et électromagnétisme	11
b) Perturbations électromagnétiques	12
c) Décharges électrostatiques	13
<b>II) Utilisation du matériel d'expérimentation d'électronique</b>	14
<b>II.1) Caractéristiques des appareils</b>	14
a) Calibre	14
b) Résolution	14
c) Bande passante	15
d) Entrée flottante	15
<b>II.2) L'oscilloscope</b>	15
a) Rôle de l'oscilloscope	15
b) Principe de l'oscilloscope	16
c) Synchronisation de l'affichage sur le signal	18
d) Commutateur alternatif-continu	21
e) Modes d'affichage bi-courbes	23
f) Les sondes pour oscilloscope	24

g) Mesures à l'oscilloscope	25
h) Informations complémentaires	31
<b>II.3) Les voltmètres et ampèremètres</b>	<b>31</b>
a) Voltmètres alternatifs	32
b) Liaison entre les appareils et les points de mesure	33
c) Erreurs de mesure	34
d) Mesures fréquentielles	36
<b>II.4) Le générateur de fonctions</b>	<b>38</b>
<b>II.5) Impédance interne des appareils</b>	<b>38</b>
a) Générateurs équivalents de Thévenin et de Norton	38
b) Générateur de tension-Générateur de courant	41
c) Généralisation aux quadripôles : mesure d'impédances d'entrée et de sortie	43
<b>III) Matériel, logiciels et composants électroniques utilisés</b>	<b>45</b>
<b>III.1) Appareils utilisés</b>	<b>45</b>
a) Appareils de mesure	45
b) Générateur de fonctions	46
c) Alimentation stabilisée	46
d) Ordinateur PC	46
<b>III.2) Plaquettes d'essai</b>	<b>46</b>
a) Plaquette à contacts	46
b) Plaque à wrapper	48
c) Circuit imprimé	48
<b>III.3) Simulateurs logiciels de circuits électroniques</b>	<b>49</b>
<b>III.4) Composants</b>	<b>49</b>
a) Résistances	49
b) Condensateurs	52
c) Bobines	54
d) Diodes	54
e) Transistors	55
f) Circuits intégrés	56
g) Autres composants utilisés	56

<b>III.5) Terre et masse</b>	57
<b>IV) Les TP et Projets d'électronique</b>	58
<b>IV.1) L'approche "projet"</b>	58
<b>IV.2) Dépannage des montages</b>	58
a) Cause possibles de pannes	59
b) Méthode de dépannage	61
<b>IV.3) Page Web élec.</b>	61
<b>IV.4) Modalités de déroulement</b>	62
a) Volume horaire annuel	62
b) Objectif des TP-Projets d'électronique	62
c) Déroulement des séances	62
d) Prêt de matériel	65
e) Evaluation des TP-Projets	66
<b>Conclusion</b>	70
<b>Références bibliographiques</b>	70
<b>Annexes</b>	
<b>A. Guide de rédaction du rapport de projet d'électronique</b>	71
<b>B. Guide d'utilisation de Pspice</b>	74

## Introduction

L'objectif de ce document est de rassembler un grand nombre d'informations et de conseils utiles aux Travaux Pratiques et Projets d'électronique du cycle préparatoire de l'EFREI, destinées aux élèves de P1, P2 et I'1. Vous y trouverez entre autres une **description du fonctionnement des appareils de mesure** utilisés, de leur utilisation, des **principaux composants** qu'on utilisera, des **modalités de déroulement** des TP-projets, des informations utiles pour le **dépannage des montages**, etc.

Il est recommandé de lire ce document en début d'année, avant d'aborder les séances.

Si tout ne paraît pas clair à chaque lecture (parce que certaines notions n'ont pas encore été abordées en cours/TD, ou parce qu'une explication ne vous semble pas très claire), il est néanmoins important de mémoriser quelles informations s'y trouvent, et où elles se trouvent. Ainsi, le jour ou vous vous interrogerez sur un aspect d'une expérimentation électronique, vous pourrez vous souvenir avoir déjà vu cet aspect traité dans ce document, et une simple recherche vous permettra de retrouver l'information souhaitée. Les questions sur l'utilisation de tel ou tel appareil ne doivent être formulées aux enseignants de TP-projets d'électronique qu'une fois que vous êtes sûrs que la réponse ne se trouve pas dans ce document, ou bien qu'elle s'y trouve mais qu'elle vous paraît ambiguë.

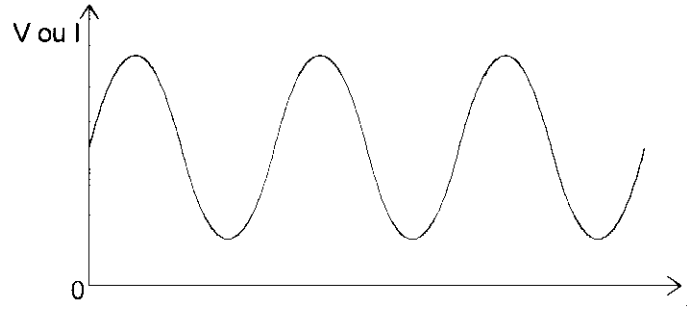
Au terme des 2 années du cycle préparatoire, le contenu de ce document devra être connu parfaitement. Des interrogations de TP-projets auront lieu régulièrement tout au long de l'année. Elles porteront sur les notions abordées lors des séances précédentes.

Ce guide est susceptible d'être modifié et complété régulièrement, au fil des besoins pouvant apparaître lors des séances de TP-projets. N'hésitez pas à demander aux enseignants la version mise à jour.

Malgré le soin apporté à sa rédaction, il peut encore comporter quelques erreurs. Pour chaque erreur, le premier étudiant l'ayant décelé sera crédité d'un point-équivalent TP (pondération correspondant à une séance de TP).

## I) Caractéristiques d'un signal électrique

Un signal désigne un courant ou une tension alternatifs. Il peut être composé d'une partie alternative et d'une partie continue (cette dernière est appelée "composante continue" ; on utilise également les mots "décalage" ou "offset").



Exemple de signal alternatif superposé à un signal continu

Les relations données dans ce qui suit le sont pour des tensions, mais elles sont également valables pour des courants.

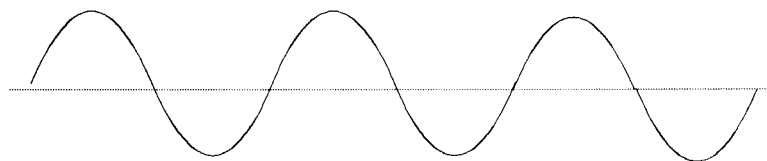
### I.1) Types de signaux

Les signaux les plus utilisés en expérimentation électronique possèdent différentes formes simples. En même temps que la forme, c'est le contenu en composantes harmoniques qui varie d'un signal à l'autre (se reporter au cours/TD sur la décomposition d'un signal périodique en série de Fourier).

Les formes de signaux les plus couramment utilisées en expérimentation électronique sont les suivantes (aucun de ces signaux ne comporte de composante continue, c'est à dire qu'ils sont tous centrés sur 0V) :

#### a) Signal sinusoïdal

Ce signal ne comporte pas de composantes harmoniques ; il ne comporte que la composante dite fondamentale (ou plus simplement, par abus de langage : "le fondamental").



Le signal sinusoïdal possède une importance fondamentale (c'est le cas de le dire !) en électronique et en traitement du signal : en effet d'après la démonstration de Fourier, tout signal périodique peut être décomposé en une série (somme) de signaux sinusoïdaux ("composantes harmoniques", ou plus simplement "harmoniques"), de fréquences multiples de celle du signal décomposé.

Les seuls paramètres d'un signal sinusoïdal sont : son **amplitude**, sa **fréquence** et sa

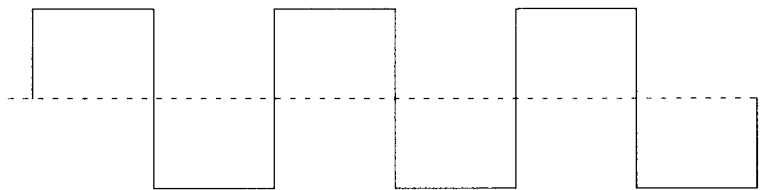
**phase** (c'est à dire son décalage par rapport à une origine du temps).

### b) Signal carré de rapport cyclique 1/2

Le rapport cyclique est un terme utilisé dans le cas d'un signal ne comportant que deux états, un état haut et un état bas (dans lequel le passage d'un état à l'autre se fait quasi-instantanément). Il exprime le rapport de la durée pendant laquelle le signal est à l'état haut, sur la période :

$$\delta = \frac{t_1}{T}$$

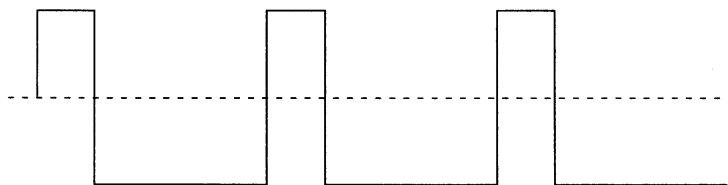
où  $t_1$  est le temps de l'état haut et  $T$  la période. Ce rapport peut varier de 0 à 1.



On appelle le passage d'un état à l'autre "front". Il y a 2 types de fronts : le front montant et le front descendant.

### c) Signal carré de rapport cyclique ajustable

On parle également de signal rectangulaire. Quand le rapport cyclique est très faible on parle plutôt de "signal impulsionnel".



En électronique numérique, les signaux sont composés de "0" et de "1". Le "0" correspond à 0 Volt et le "1" à une tension pouvant aller de 3V à 18V, selon la technologie de circuits intégrés utilisée. Plus ces derniers seront rapides (c'est à dire plus les fronts montants et descendants seront raides) et plus ils pourront fonctionner à fréquence élevée.

### d) Signal logique

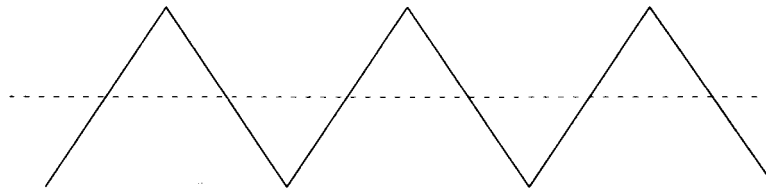
Un signal logique est un signal carré, ou plus généralement rectangulaire, mais dont les 2 niveaux sont appelés 0 et 1, qu'on appelle niveaux logiques. Le niveau 0 correspond en général à une tension de 0V, et le niveau 1 à une valeur fixe de quelques volts. Cette valeur dépend de la technologie de circuits intégrés employée. Dans la plupart des cas on utilisera 5V.

Plus les fronts d'un signal logique sont raides (c'est à dire moins la transition dure

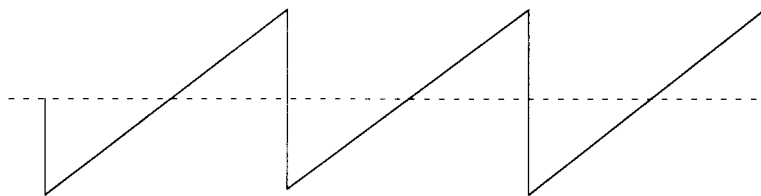


longtemps), plus le montage qui génère ou utilise ce signal pourra fonctionner à des fréquences élevées. En effet si les fronts ne sont pas assez raides, à haute fréquence le signal n'aura pas le temps de s'établir à l'un des 2 niveaux correspondants à 0 et à 1.

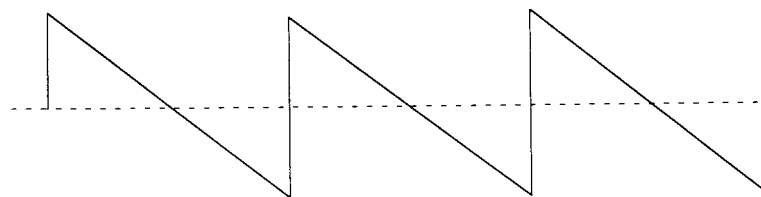
**e) Signal triangulaire**



**f) Signal en dents de scie**



à flancs positifs

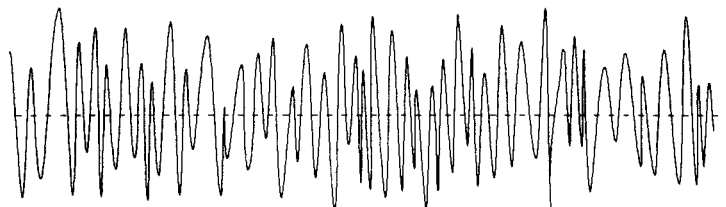


à flancs négatifs

**f) Signal aléatoire**

Tous les autres signaux décrits ci-dessus sont périodiques, et représentés sur les schémas avec la même période. Un signal aléatoire n'est pas périodique.

On parle de *bruit blanc* lorsque le signal aléatoire contient toutes les fréquences possibles, et de *bruit coloré* quand il contient seulement une bande de fréquences donnée



## I.2) Paramètres des signaux

### a) Temps de montée-temps de descente

Les temps de montée et de descente sont définis pour les signaux passant de façon instantanée d'une valeur à l'autre. Ils ne sont donc définis que pour les signaux carrés (et notamment pour les signaux logiques).

Le temps de montée est défini principalement pour caractériser les signaux carrés ou impulsionnels, et notamment les signaux logiques (qui ne comportent que deux valeurs possibles de tension : un niveau bas et un niveau haut).

Dans un signal à 2 niveaux donc, le temps de montée est défini comme étant le temps que met le signal pour passer de 10% à 90% de la valeur supérieure, à partir de la valeur inférieure. De la même façon, le temps de descente est le temps que met le signal pour passer de 10% à 90% de la valeur inférieure, à partir de la valeur supérieure. Pour la mesure expérimentale des temps de montée et de descente voir plus loin le paragraphe "Mesure à l'oscilloscope".

Les temps de montée et de descente sont des paramètres très importants dans le cas des signaux logiques : plus ils seront faibles et plus le circuit logique qui les génère pourra fonctionner à fréquence élevée ; c'est souvent ce qui est recherché avec ce type de circuits électroniques. Si les fronts ne sont pas raides, l'utilisation des montages sera limitée en haute fréquence, puisqu'au delà d'une certaine fréquence, le signal n'aura plus le temps de passer du niveau haut au niveau bas et réciproquement.

### b) Valeur efficace d'un signal

Par définition, la valeur efficace d'un signal est égale à la tension continue qui dissiperait la même puissance dans une résistance (par effet Joule).

La valeur efficace d'une tension alternative  $v(t)$  à valeur moyenne non-nulle est définie par :

$$V_{eff} = \sqrt{V_{moy}^2 + V_{eff(alt)}^2}$$

où  $V_{moy}$  est la valeur moyenne de la tension et  $V_{eff}$  la valeur efficace de sa partie alternative. La valeur efficace de la partie alternative est définie par :

$$V_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) \cdot dt}$$

On parle de valeur efficace Root Mean Square (RMS), littéralement "racine carrée de la moyenne du carré".

Pour mesurer la valeur efficace d'un signal à valeur moyenne non-nulle il faut donc effectuer 2 mesures successives (voir paragraphe sur la mesure de tensions à l'aide d'un voltmètre).

Dans le cas d'un signal sinusoïdal, la relation entre la valeur efficace et la valeur maximale (ou amplitude)  $V_m$  est :

$$V_m = \sqrt{2} \cdot V_{eff}$$

### c) Valeur moyenne d'un signal

Elle est définie par :

$$V_{moy} = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) \cdot dt$$

Un signal à valeur moyenne non-nulle peut être considéré, d'un point de vue électronique comme composé d'un signal à valeur moyenne nulle et d'une composante continue. Cependant en général, l'expression "composante continue" désigne une composante fixe ajoutée au signal (et indépendante de ce dernier), alors que la valeur moyenne dépend du signal (et notamment, peut varier selon la durée sur laquelle est calculée la moyenne).

## I.3) Effets électromagnétiques

Certains composants électroniques passifs utilisent des phénomènes électromagnétiques (champ électrostatique créé dans un condensateur, champ magnétique créé par une bobine...). Les mêmes phénomènes électromagnétique sont parfois indésirables dans un circuit électronique et peuvent perturber son fonctionnement. Il faut également faire attention aux décharges électrostatiques, qui peuvent détruire certains composants.

### a) Electronique et électromagnétisme

Les phénomènes électriques et les phénomènes magnétiques sont liés ; l'action d'un condensateur et l'action d'une bobine dans un circuit électronique possèdent de nombreuses similarités : leur impédance dépend de la fréquence (quand la fréquence augmente l'impédance de la bobine augmente alors que celle du condensateur diminue) ; sur le plan de la théorie des nombres complexes, l'impédance de ces deux composants est imaginaire pur (mais pas purement imaginaire...).

*La force électromagnétique est avec nous*

La force électromagnétique est l'une des 4 forces présentes dans l'Univers. Les trois autres forces sont : la force gravitationnelle, qui agit à l'échelle des planètes, des étoiles et des galaxies, la force nucléaire forte, qui unit entre elles les particules élémentaires composant le noyau des atomes, et la force nucléaire faible qui n'engendre pas de structures stables.

La force électromagnétique, en permettant l'attraction entre des charges de signes opposés, est à l'origine de la constitution des atomes, puis des molécules par association d'atomes, puis enfin des organismes vivants par association de molécules.

*Le champ électromagnétique*

Un *champ magnétique* est créé par un courant circulant dans un conducteur ; un *champ électrique* est créé par une tension existant entre deux conducteurs. Les équations de Maxwell relient ces deux champs : ceux-ci ne sont en fait que deux manifestations d'un même phénomène : le *champ électromagnétique*. Quand les deux composantes du champ

électromagnétique (champ magnétique et champ électrique) sont constantes, ils sont indépendants l'un de l'autre, mais quand ils sont variables ils sont dépendant (on dit également couplés) et sont orthogonaux entre eux (se reporter au cours d'électro-magnétisme).

Dans un circuit électronique, quand on s'intéresse à l'une des deux composantes (par exemple, pour exploiter une onde radio-électrique), l'autre composante est également présente.

## b) Perturbations électromagnétiques

### *Causes*

Les causes de perturbations électromagnétiques sont multiples, mais selon l'endroit où on se trouve seules certaines seront vraiment gênantes. Dans le cadre des TP-projets, les principales perturbations seront :

- le *champ magnétique* rayonné par les transformateurs se trouvant dans chacun des appareils utilisés ; ce champ magnétique est variable et sa fréquence est celle du secteur : 50Hz ;
- le *champ magnétique* rayonné par les déviateurs des tubes cathodiques (oscilloscope, moniteur d'ordinateur...) ; la fréquence de ce champ sera celle de la fréquence des images ou des lignes ;
- les *ondes radioélectriques* (=champs électriques) émises par les émetteurs radio, d'autant plus puissantes que l'émetteur sera proche, et que les signaux sur lesquels on travaille sont de faible amplitude ;

Un champ magnétique peut également être créé par les fils du montage étudié eux-mêmes, puisque tout conducteur parcouru par un courant crée un champ magnétique autour de lui.

Enfin, la différence de potentiel entre un conducteur et son environnement, ou entre deux conducteurs, génère autour de lui (resp. d'eux) un champ électrique.

### *Effets*

#### *Effets capacitifs :*

- Si dans un circuit il existe deux conducteurs parallèles, ils forment un condensateur (dont la capacité sera proportionnelle à leur longueur, à la distance qui les sépare...) ; s'ils sont placés dans un champ électrique variable, une d.d.p. va apparaître entre eux.
- Si un conducteur seul est placé dans un champ électrique variable, il va y naître un courant même si une des extrémités est en l'air : c'est l'*effet d'antenne*, utilisé pour réceptionner les ondes radioélectriques.
- Si ce champ électrique est généré par le montage lui-même, les phénomènes cités ci-dessus sont appelés *diaphonie capacitive*.

#### *Effets inductifs :*

- Un champ magnétique variable traversant une boucle crée une d.d.p. aux bornes de cette boucle.
- Si ce champ magnétique est généré par le montage lui-même, le phénomène est appelé *diaphonie inductive*.

La tension et le courant créés par les phénomènes de diaphonie inductive et capacitive

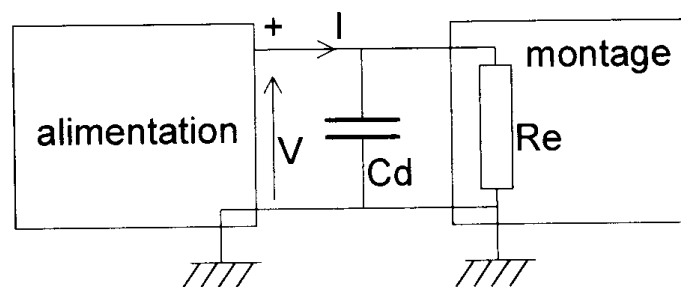
(respectivement) augmentent lorsque la fréquence du champ magnétique et du champ électrique (resp.) augmente.

### Remèdes

Un champ magnétique décroît très rapidement avec la distance : la loi de décroissance est en  $1/d^3$ , où  $d$  est la distance entre la source et le point de mesure. Pour éliminer les **effets inductifs**, il suffit donc souvent d'éloigner la source de perturbation pour rendre cette dernière négligeable. Il convient également d'éviter les boucles dans la mesure du possible, ou tout du moins de minimiser leur surface.

Les **effets capacitifs** seront réduits en évitant de trop rapprocher les conducteurs entre eux et de les disposer en parallèle. Quand ceci n'est pas possible, comme dans le cas de l'utilisation d'une plaquette à contacts (qui est composée de pistes de cuivre plus ou moins longues disposées en parallèle), il faut prendre en compte les capacités existant entre elles (capacités parasites) dans les calculs. La capacité existant entre deux pistes adjacentes de 5 contacts dans les plaquettes utilisées en TP-projets est de l'ordre de 2 à 3 pF. Sur certaines plaquettes, les pistes adjacentes destinées à l'alimentation comportent 25 contacts ; elles verront donc naître entre elles une capacité 5 fois plus grande.

Les fils d'alimentations constituent des antennes qui vont réceptionner des ondes radioélectriques. Un moyen d'atténuer cette réception parasite est d'utiliser des **capacités de découplage** : le montage que l'on souhaite alimenter est équivalent, vu de l'alimentation, à une résistance (sa résistance d'entrée), puisqu'une tension donnée lui est appliquée en alimentation, et qu'il consomme un courant donné. Un condensateur ajouté en parallèle au montage va court-circuiter les composantes à haute fréquence du courant. La valeur du condensateur à employer dépend des fréquences à éliminer : en général le découplage de la tension d'alimentation est réalisé avec des capacités les plus grandes possible (d'où l'utilisation de condensateurs de forte capacité et volumineux dans les modules d'alimentation). Même si l'alimentation est découplée au niveau de son point d'arrivée sur le montage, il peut être utile, selon le cas, de découpler tous les circuits intégrés d'un montage (par un condensateur connecté le plus près possible des fils d'alimentation de chaque circuit), car tous les fils conducteurs du montage constituent des antennes. Une valeur couramment employée est la centaine de nano-farads.



Découplage d'alimentation d'un montage

### c) Décharges électrostatiques

Tout corps conducteur isolé par rapport à son environnement, comme le corps humain ou un véhicule, se **charge** entre autres par frottement avec l'air. Ce corps conducteur, une fois

chargé, peut se décharger dans un autre corps conducteur par simple contact, même si ce dernier est isolé de la masse. L'énergie libérée lors de la décharge est négligeable à l'échelle humaine, mais peut être très grande pour un montage électronique : le courant généré par le contact peut **détruire** certains composants actifs. C'est pourquoi, avant de manipuler une carte électronique, il faut toucher un objet conducteur massif dans lequel la décharge pourra se faire (par exemple, l'armature métallique des paillasses, qui est reliée à la Terre).

## II) Utilisation du matériel d'expérimentation électronique

Les appareils nécessaires à l'expérimentation électronique sont les suivants :

- Un *oscilloscope*, pour mesurer des fréquences, des déphasages, des tensions crête-à-crête ;
- Un *voltmètre* capable de mesurer des tensions continues et des valeurs efficaces de tensions alternatives. Très souvent la mesure d'un courant peut se ramener à la mesure d'une tension. Cela évite notamment d'avoir à ouvrir une branche du circuit pour y insérer l'ampèremètre. L'*ampèremètre*, permet néanmoins de mesurer directement un courant continu et/ou efficace directement ;
- Un *générateur de fonctions*, dont l'objectif est de générer différentes formes de tensions alternatives possibles.

### II.1) Caractéristiques des appareils

#### a) Calibre

Le calibre correspond à la déviation pleine échelle d'un l'appareil, quel que soit le type d'affichage (numérique ou analogique à aiguille). Par exemple, pour un voltmètre positionné sur le calibre 100 volts, la pleine déviation de l'aiguille est obtenue lorsqu'une tension de 100 volts est appliquée à l'entrée du voltmètre. Le terme "calibre" n'est pas utilisable lorsque des indications du type "Volts/division" ou "Volts/cm" sont portées sur la face avant de l'appareil (c'est la cas des oscilloscopes par exemple), car la quantité indiquée ne donne pas la déviation pleine échelle mais pour 1 division ou 1 cm. Les termes "sensibilité" ou "facteur de déviation" doivent être utilisés dans ce cas. Néanmoins le terme "calibre" est souvent utilisé dans ces derniers cas par abus de langage, et permet de comprendre de quoi on parle.

#### b) Résolution

La résolution d'un appareil de mesure est l'inverse du nombre de valeurs différentes qu'il peut afficher. Par exemple, un voltmètre à affichage numérique possédant 3 chiffres peut afficher 1000 valeurs différentes : de 000 à 999. Sa résolution est donc de  $1/1000=0,001$ . Dans le cas d'un appareil analogique à aiguille, la résolution n'est limitée que par les incertitudes de lecture.

### **c) Bande passante**

Chaque appareil de mesure possède une bande passante déterminée. La bande passante, comme son nom l'indique en partie, définit la bande (ou plage) des fréquences pour lesquelles l'appareil donne une mesure valide. En dehors de cette bande, la valeur indiquée par l'appareil n'est plus bonne. Lors d'une mesure, il est donc important de vérifier que la fréquence du signal que l'on souhaite mesurer est bien située à l'intérieur de la bande passante.

La bande passante peut être un critère de choix lorsque l'on dispose de 2 appareils capables a priori d'effectuer une mesure donnée ; il peut arriver qu'en fait un seul des deux possède une bande passante permettant de donner la valeur exacte.

En électronique, on utilise souvent la notion de bande passante à  $-3\text{dB}$  : cela représente une atténuation de 30% d'un signal (voir paragraphe "Les voltmètres et ampèremètres : Mesures fréquentielles"). Cette proportion est trop importante pour une bonne caractérisation de la bande passante d'un appareil de mesure. C'est pourquoi en général on définit une bande passante à quelques % (exemple : bande passante à 5%).

### **d) Entrée flottante**

Un appareil est dit "à entrée flottante" lorsque ses deux bornes d'entrées sont isolées du châssis contenant l'appareil. Dans ce cas 3 bornes apparaissent sur la face avant : l'une reliée au châssis et marquée GND (pour ground), l'autre marquée - (ou "Low") reliée au zéro électrique des circuits internes de l'appareil, et l'autre marquée + (ou "High") destinée à recevoir une tension supérieure à celle de l'entrée -. Un des intérêts des appareils à entrée flottante est de pouvoir mesurer une différence de potentiel entre deux points quelconques d'un circuit, et pas uniquement entre un point et la masse.

Un ampèremètre est forcément à entrée flottante, puisqu'il est destiné à être inséré en série dans un circuit.

## **II.2) L'oscilloscope**

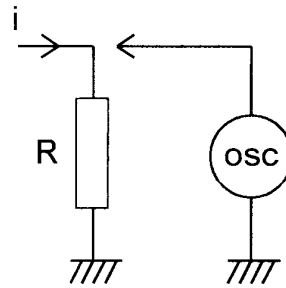
### **a) Rôle de l'oscilloscope**

Le rôle de l'oscilloscope est de visualiser des tensions alternatives (en général périodiques), et plus accessoirement des tensions continues. Il permet également d'effectuer des mesures (fréquence, amplitude, phase, temps de montée...), mais sa précision reste limitée.

La forme d'un courant peut également être visualisée : si la branche dans laquelle ce courant circule contient une résistance reliée à la masse, il suffit de visualiser la tension aux bornes de cette résistance : la tension est proportionnelle au courant (loi d'ohm) et donc aura la même forme. Si la valeur de la résistance est connue, les valeurs minimale et maximale du courant peuvent être déduites des valeurs minimale et maximale de la tension.

Dans le cas où aucune résistance n'est reliée à la masse dans la branche étudiée, mais est reliée à des points de potentiels non-nuls, la mesure peut être effectuée si l'oscilloscope est bi-courbes et possède la fonction d'addition point par point des 2 courbes, ainsi que la fonction d'inversion (qui sera appliquée à l'une des 2 courbes). En effet par ce moyen on pourra

visualiser  $v_R = v_1 - v_2$ , où  $v_R$  est la tension aux bornes de la résistance  $R$ ,  $v_1$  et  $v_2$  les tensions des 2 bornes de  $R$  par rapport à la masse.



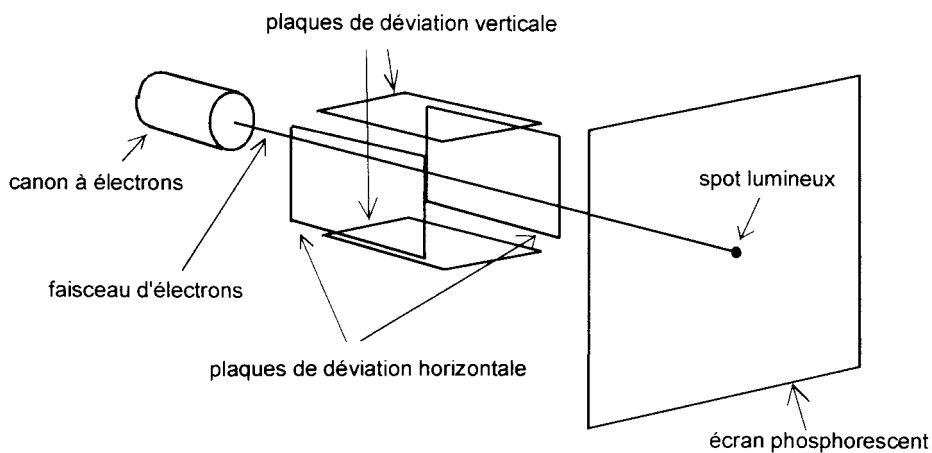
Visualisation d'un courant à l'oscilloscope

## b) Principe de l'oscilloscope

Le principe de l'oscilloscope est l'émission d'un faisceau d'électrons (par un canon à électrons) dans un tube sous vide d'air (tube cathodique), et bombardant un écran couvert d'un revêtement phosphorescent, donnant ainsi naissance à un *point (ou spot) lumineux*, donc visible.

Le faisceau est dévié par 2 paires de plaques :

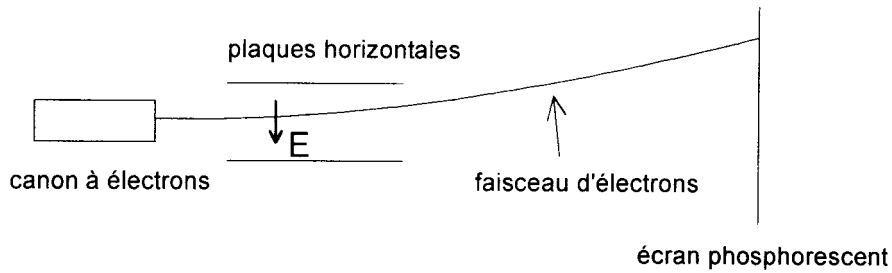
- 2 plaques de *déviaton horizontale*, parallèles et disposées verticalement ;
- 2 plaques de *déviaton verticale*, parallèles et disposées horizontalement.



Constitution interne (simplifiée) de l'oscilloscope

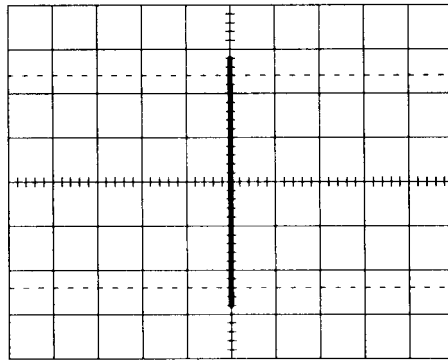
Le fait d'appliquer une différence de potentiel (d.d.p., ou tension) entre 2 plaques parallèles va créer un champ électrostatique entre elles, qui va dévier le faisceau d'électrons (déviaton verticale pour les plaques horizontales, et déviaton horizontale pour les plaques verticales). Lorsqu'une d.d.p. est appliquée entre 2 plaques parallèles, le faisceau est dévié d'un angle proportionnel à cette d.d.p. (voir cours de physique de terminale). Si la d.d.p. est alternative, le spot effectuera des déplacements au rythme des alternances de cette tension. En l'absence de d.d.p. aux bornes des plaques, le faisceau n'est pas dévié et il donne naissance à un spot lumineux immobile.





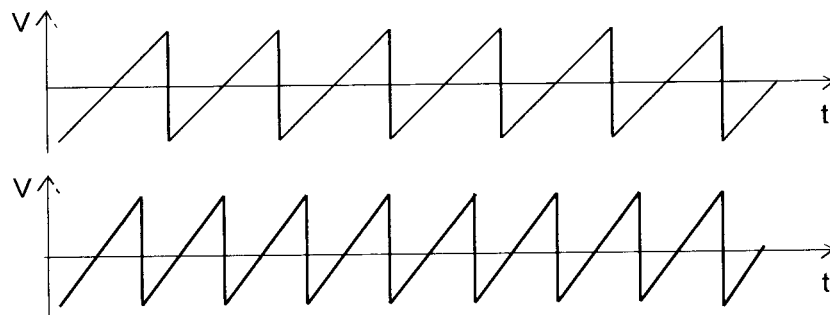
Principe de la déviation du faisceau d'électrons d'un oscilloscope (exemple de la déviation verticale)

Supposons maintenant qu'une tension à observer, par exemple une tension sinusoïdale, soit appliquée aux plaques de déviation verticale (plaques horizontales), le faisceau se déplacerait alors verticalement en suivant les variations de la tension, mais la forme du signal ne serait pas visible : seul un trait vertical apparaîtrait à l'écran, ou un point balayant l'écran de haut en bas, selon la fréquence du signal.



Forme observée à l'écran si aucune tension n'était appliquée aux plaques verticales (uniquement à fréquence suffisamment élevée pour provoquer la persistance rétinienne).

Pour que le signal soit visible, il faut que le spot se déplace dans le même temps d'un bord vertical à l'autre de l'écran (de la gauche vers la droite dans la pratique), plus ou moins rapidement selon la fréquence du signal à observer, puis effectue un retour quasi-immédiat à son point de départ. Pour obtenir ce résultat, la tension à appliquer sur les plaques de déviation horizontale (plaques verticales) est un signal en dents de scie, c'est à dire possédant la forme suivante :



Signal en dents de scie générant le déplacement horizontal, chaque dent constitue une variation linéaire du signal en fonction du temps. Deux vitesses différentes de balayages sont représentées.

En réalité la forme n'est pas tout à fait celle de dents de scie : il existe un temps mort avant le départ de chaque montée de la tension, permettant au module générant ce signal de se ré-initialiser (voir ci-dessous). La partie montante du signal est appelée *rampe linéaire* (ou plus simplement *rampe*). Le signal lui-même est appelé *base de temps*, car c'est lui qui génère le balayage horizontal, représentant l'axe temporel.

Pour des fréquences de balayage supérieures à quelques dizaines de Hertz, le déplacement du spot n'est plus visible, et seul un trait horizontal (appelé *trace*) apparaît. Ce phénomène de perception est dû à la persistance rétinienne (l'image rétinienne persiste quelques milli-secondes quand elle disparaît).

La fréquence du signal en dents de scie est liée à celle du signal à visualiser (en général on ne cherche à voir à l'écran que quelques périodes du signal). Cette fréquence est réglable à l'aide du commutateur du calibre temporel de l'oscilloscope.

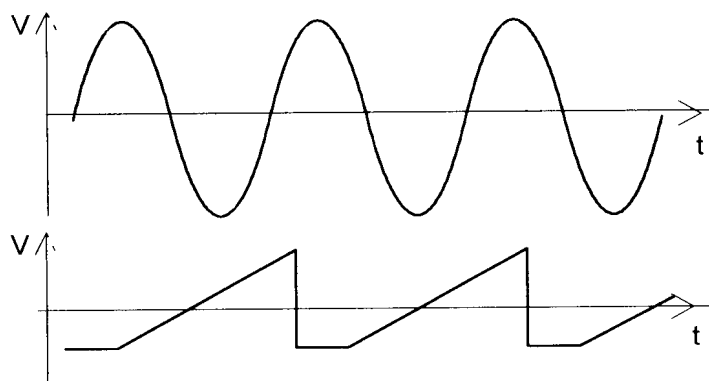
On parle de "balayage" de l'écran, mais rigoureusement ça n'en est pas vraiment un, en comparaison de l'écran de télévision, où le spot balaye vraiment tout l'écran, de haut en bas et de gauche à droite.

Pour résumer, un signal en dents de scie (généré par les circuits internes de l'oscilloscope) est appliqué aux plaques de déviation horizontale, et le signal à visualiser est appliqué aux plaques de déviation verticale.

### c) Synchronisation de l'affichage sur le signal

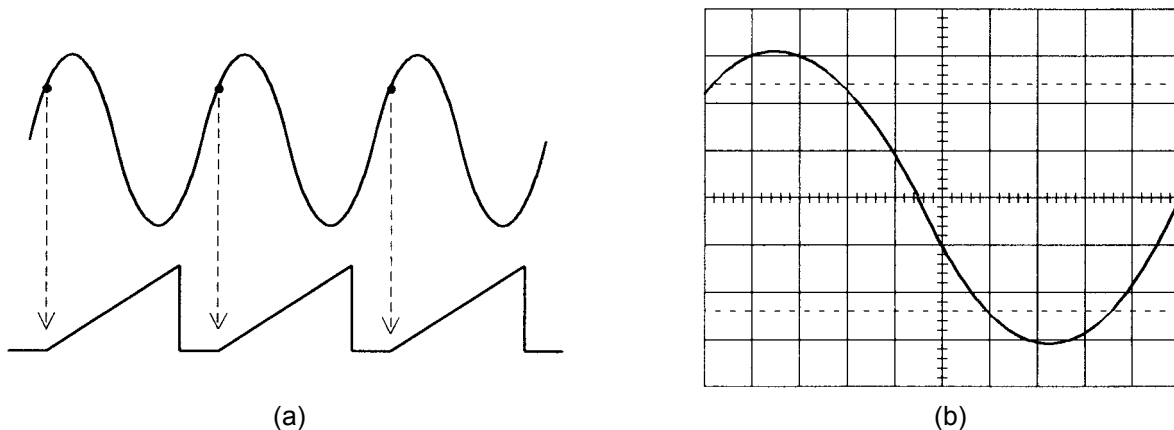
#### *Principe*

S'il n'y a aucun lien entre le signal en dents de scie, généré par les circuits internes de l'oscilloscope, et le signal à visualiser, externe à l'oscilloscope, l'affichage ne pourra pas être stable. En effet, à chaque parcours de l'écran par le spot, une partie du signal sera visualisée, mais cette partie commencera à des endroits différents de la période à chaque passage : le résultat sera un affichage instable, la forme de la tension ne sera pas visible et aucune mesure ne pourra être effectuée.



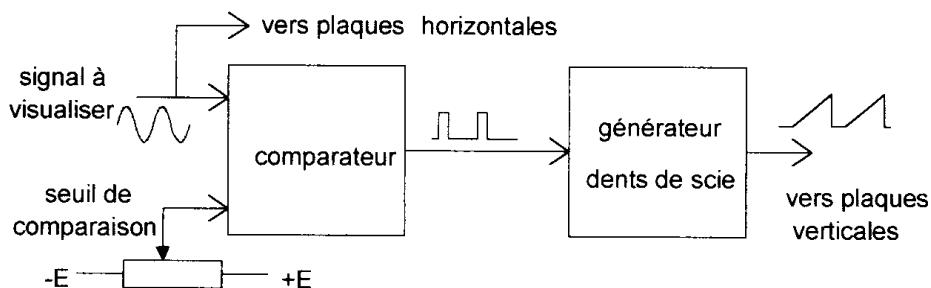
Base de temps non-synchronisée sur le signal à visualiser :  
chaque rampe commence à un endroit différent de la période

Pour que l'affichage apparaisse stable, il faut que le signal en dents de scie soit synchronisé sur le signal à visualiser, c'est à dire que chaque rampe commence au même endroit de la période du signal à visualiser.



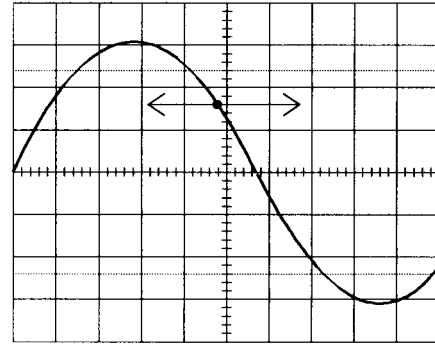
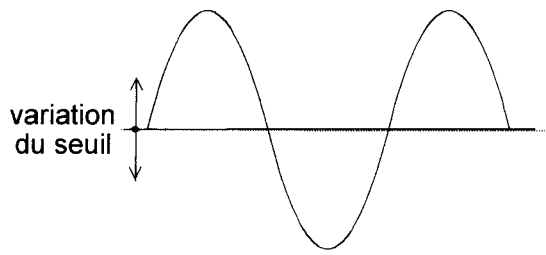
(a) Synchronisation de la base de temps sur le signal à visualiser : chaque rampe commence au même endroit de la période ; (b) L'affichage correspondant est stable

Une manière simple de synchroniser la base de temps sur le signal à visualiser est de déclencher chaque rampe lorsque le signal atteint un certain seuil, fixe. Cette fonction est réalisée par un comparateur, dont la sortie, initialement au niveau logique zéro (par exemple), passe à 1 lorsque le signal passe au dessus du seuil. Ce signal logique commande un générateur de tension en dents de scie, c'est à dire que chaque rampe commence au moment du front montant du signal déclencheur. Chaque rampe se termine quand le spot est arrivé au bord droit de l'écran, c'est à dire quand la rampe a atteint une certaine valeur fixe (un autre comparateur peut alors être utilisé, pour commander la remise à zéro du signal en dents de scie).



Obtention du signal de synchronisation à l'aide d'un comparateur

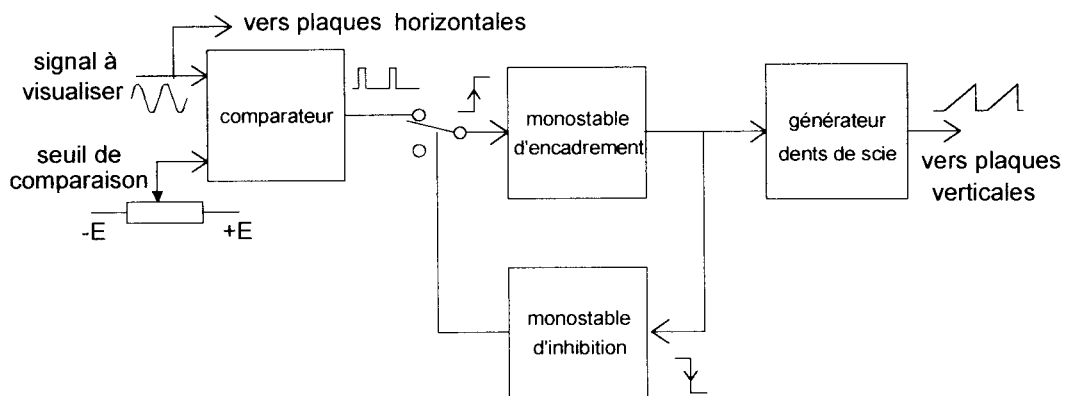
En faisant varier de manière continue le seuil de comparaison du comparateur représenté sur la figure ci-dessus, entre une valeur positive (+E) et une valeur négative (-E), on verra à l'écran la partie du signal visualisé se déplacer vers la gauche ou vers la droite. C'est ce qui se passe quand on fait tourner le bouton LEVEL de l'oscilloscope (cas du modèle Hameg HM305).



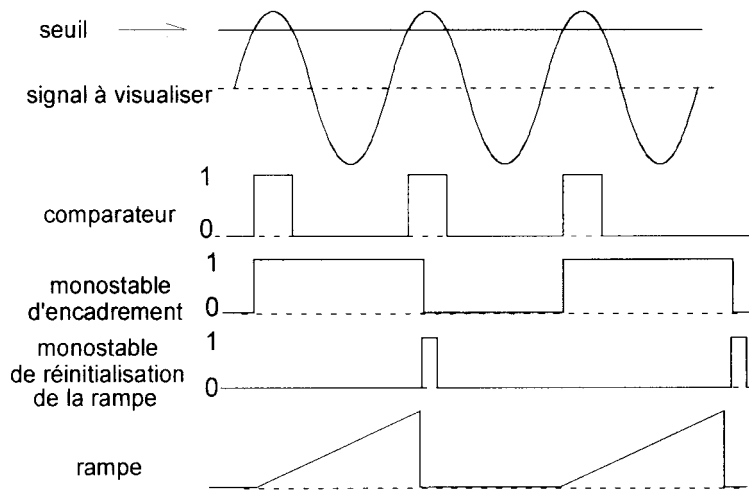
Modification de la commande de niveau (LEVEL) et effet sur l'affichage

*Exemple de réalisation de générateur de base de temps*

La base de temps peut être générée par les modules électroniques suivants : un comparateur, 2 monostables (\*), et un générateur de rampes proprement dit.



Constitution interne d'un générateur de rampes



Principaux signaux en sortie des différents modules

- le *comparateur* compare le signal à visualiser avec une tension de seuil fixe ajustable par la commande "level" de l'oscilloscope ;
- un *monostable d'encadrement* déclenche la génération des rampes et détermine leur durée (d'où son nom) ; la rampe doit en effet s'arrêter lorsque l'extrémité droite de l'écran est atteint ; il est déclenché par le front montant de la sortie du comparateur ;
- le *générateur de rampes*, basé par exemple sur la charge d'un condensateur à courant constant ; chaque rampe s'arrête lorsque le spot a atteint l'extrémité droite de l'écran (c'est à dire dans le cas présent, lorsque l'impulsion délivrée par le monostable d'encadrement se termine) ;
- un *monostable de ré-initialisation* (également appelé monostable de "hold-off") permet de fixer un temps mort pendant lequel le monostable d'encadrement ne peut pas se re-déclencher, de façon à permettre au générateur de rampe de se ré-initialiser ; il est déclenché par le front descendant du monostable d'encadrement. Un circuit monostable, ou plus simplement "monostable", est un circuit électronique délivrant une impulsion logique dont la durée dépend en général de la valeur des composants d'un circuit R,C, lorsqu'il est déclenché par une entrée logique (sur un front, montant ou descendant).

### *Modes de synchronisation*

Il existe deux modes de synchronisation de l'affichage : le mode *automatique* (ou *relaxé*, noté AT) et le mode *manuel* (ou *normal*, ou encore *déclenché*, noté NORM.). Dans ces deux modes, les rampes de la base de temps sont déclenchées par le signal. Le bouton rotatif LEVEL permet alors d'ajuster le seuil pour lequel le déclenchement a lieu. Cependant, dans le mode automatique, un système force ce seuil à rester compris entre les valeurs minimale et maximale du signal, ainsi le déclenchement a toujours lieu, alors que ça n'est pas le cas dans le mode manuel.

Certains oscilloscopes possèdent également une entrée de *synchronisation extérieure* (TRIG. IN), sur laquelle doit être appliqué un signal logique synchronisé avec le signal à visualiser, pour que l'affichage de ce dernier apparaisse stable. Dans ce cas la base de temps est déclenchée par un signal extérieur.

En mode d'affichage bi-courbes, il existe également un bouton permettant une synchronisation sur l'une ou l'autre des deux courbes (ALT), *alternativement* à chaque balayage. Pour observer la phase correcte entre deux signaux appliqués sur les deux voies, ce bouton doit être en position inactive.

### **d) Commutateur alternatif-continu**

Le commutateur alternatif-continu porte la mention AC-DC :

AC signifie *Alternating Current* (correspond à courant alternatif)

DC signifie *Direct Current* (correspond à courant continu)

0, GD ou GND, signifient respectivement 0V et Ground (pour masse : celle de l'oscilloscope).

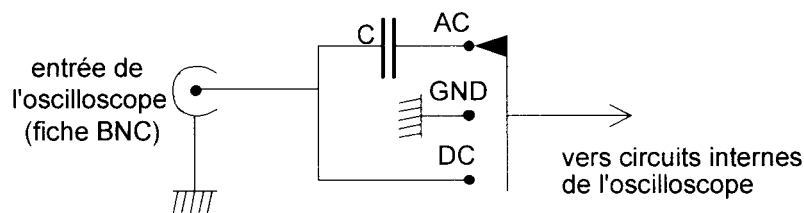
En position 0 (ou GND), l'entrée de l'oscilloscope est mise à la masse. Le spot lumineux

effectue alors un déplacement horizontal ; seul un trait horizontal est visible à l'écran : cette position permet de régler la trace au centre de l'écran, et donc d'y faire correspondre la référence des potentiels (0V) pour faciliter les mesures qui seront effectuées en présence des tensions d'entrée à visualiser, en utilisant le repère quadrillé dessiné sur l'écran (également appelé *graticule*).

En position AC, seule la partie alternative de la tension est visualisée. Si la tension d'entrée à visualiser est composée d'une tension alternative superposée à une tension continue (ou "composante continue"), cette dernière sera éliminée de l'affichage. Le signal visualisé ne correspond au signal réel que si celui-ci ne comporte pas de composante continue et possède une valeur moyenne nulle. Pour visualiser le signal réel, la position DC doit être utilisée. Le signal parvient aux circuits internes de l'oscilloscope sans subir de modification.

La fonction AC-DC est indispensable dans les cas où la composante continue est grande devant la composante alternative : le fait d'augmenter le calibre des amplitudes aurait pour conséquence de faire sortir la trace de l'écran. En position AC, le signal restera au centre de l'écran quelle que soit la grandeur continue et le calibre des amplitudes pourra être augmenté sans faire sortir la trace de l'écran.

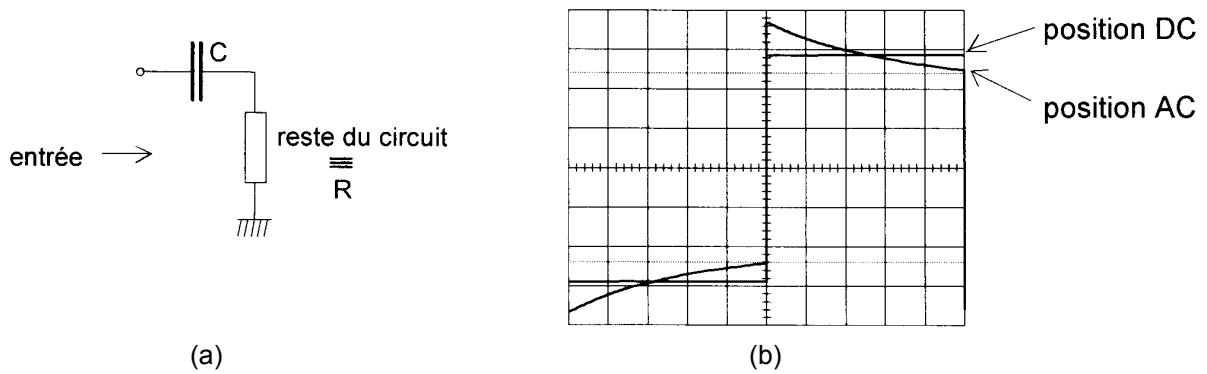
La fonction AC est obtenue électroniquement de façon très simple, à l'intérieur de l'oscilloscope : un condensateur est ajouté en série dans le circuit acheminant le signal vers les circuits internes de l'oscilloscope. La propriété d'un condensateur disposé de cette façon dans un circuit électronique est de bloquer la composante continue et de ne laisser passer que la composante alternative. On l'appelle condensateur de liaison. Pour simplifier, on considère ce condensateur comme un circuit ouvert pour les courants continus, et comme un court-circuit pour les courants alternatifs.



Circuit interne du commutateur AC/DC de l'oscilloscope

Explication : les autres circuits internes de l'oscilloscope situés à droite du condensateur sur la figure ci-dessus, sont équivalents à une résistance. Celle-ci constitue avec le condensateur un filtre passe-haut : le courant continu, assimilable à une basse fréquence, ne passe pas, alors que le courant alternatif, au delà d'une certaine fréquence, passe.

En fait réellement, les signaux de basses fréquences (quelques hertz) seront déformés : en effet le condensateur ne sera pour ceux-ci ni un circuit ouvert ni un court-circuit, mais formera avec la résistance d'entrée de l'oscilloscope un filtre passe-bas dont la fréquence de coupure sera proche de la fréquence du signal affiché.



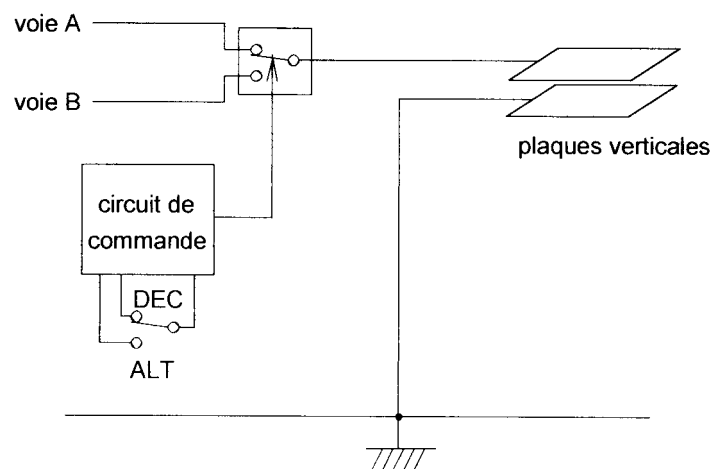
(a) Schéma équivalent de l'oscilloscope en position AC : il s'agit d'un filtre RC passe-haut  
 (b) Conséquence sur l'affichage d'un signal à basse fréquence (quelques dizaines de Hz)

### e) Modes d'affichage bi-courbes

Sur la plupart des oscilloscopes, il existe 2 modes d'affichage : le mode *découpé* (indiqué CHOP pour "chopped") et le mode *alterné* (ALT pour "alternate"). Les principes en sont simples :

- *mode alterné* : les deux signaux appliqués sur les deux voies sont affichés alternativement, c'est à dire l'un après l'autre ;
- *mode découpé* : durant un balayage de l'écran l'affichage passe de très nombreuses fois d'une voie à l'autre.

Le choix d'un mode d'affichage bi-courbes dépend du confort de visualisation : aux basses fréquences le mode alterné peut devenir gênant car chacun des deux signaux d'entrée n'est pas visualisé un balayage sur deux, c'est à dire pendant une durée supérieure à celle de la persistance rétinienne. A de telles fréquences, on préférera en général le mode découpé. Dans le mode découpé, c'est avec des signaux de fréquences proches de celle de la commutation (=passage d'une voie à l'autre) que le découpage pourra être visible et les signaux seront alors vus comme hachurés, avec des parties manquantes, ce qui constituera cependant une gêne limitée.



Commutateur d'affichage en mode alterné ou en mode découpé

Du point de vue de la réalisation électronique de cette fonction, le même commutateur (circuit de commande sur la figure ci-dessous) peut être utilisé dans les deux cas ; simplement dans le mode découpé la commutation se fait à fréquence beaucoup plus grande que dans le mode alterné.

### f) Les sondes pour oscilloscope

Le rôle des *sondes* est de prélever un signal et de l'acheminer jusqu'à l'oscilloscope.

Outre le fait d'utiliser un câble blindé, les sondes utilisées en TP/projets possèdent un commutateur à 2 positions :  $\times 1$  et  $\times 10$  :

*Position  $\times 1$  :*

- le signal est acheminé sans modification ;
- la résistance vue de l'extrémité de la sonde est égale à la résistance d'entrée de l'oscilloscope, soit  $1\text{M}\Omega$  ;
- la capacité vue des mêmes points est égale à la capacité d'entrée de l'oscilloscope, ajoutée à la capacité du câble de liaison ; son ordre de grandeur est la centaine de pF.

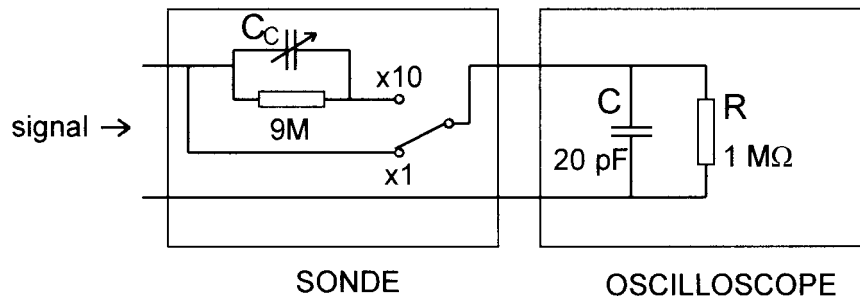
*Position  $\times 10$  :*

La sonde ajoute dans le circuit véhiculant le signal une résistance de  $9\text{M}\Omega$  qui constitue, avec la résistance d'entrée de l'oscilloscope, un pont diviseur de tension de rapport  $1/10$ . La résistance vue de l'entrée de la sonde est donc égale à  $10\text{M}\Omega$ . Une des conséquences de la présence de cette résistance dans le circuit est que l'amplitude du signal parvenant à l'entrée de l'oscilloscope se trouve fortement atténué : il est égal à  $1/10$  de l'amplitude du signal présent en entrée de la sonde. Cela n'est pas trop gênant dans la mesure où il suffit de changer le facteur de déviation verticale pour compenser. Par contre il ne faut pas oublier de prendre en compte ce facteur 10 dans la mesure !

*Attention* : il faut bien distinguer 2 choses : la figure ci-dessous représente la constitution **physique** d'une sonde, c'est à dire que la résistance et la capacité représentées sont des composants montés dans la sonde, alors que dans le cas de l'oscilloscope il s'agit de **résistance et capacité équivalentes**, c'est à dire parasites. Pour être complet, il faut prendre en compte également la capacité parasite de la sonde (dans les 2 positions  $\times 1$  et  $\times 10$ ), qui vient en parallèle avec la capacité de l'oscilloscope (de l'ordre de la centaine de pF).

La capacité réglable possède une valeur faible (quelques pF), et du fait qu'elle se trouve en série avec la capacité d'entrée de l'oscilloscope (cette dernière étant elle-même en parallèle avec la capacité parasite de la sonde), la somme des 2 capacités va être inférieure à la plus petite d'entre elles (2 capacités en série sont équivalentes à 2 résistances en parallèle !). Ainsi la capacité vue des 2 bornes d'entrée de la sonde sera inférieure à la capacité parasite de l'ensemble sonde+oscilloscope, d'où une déformation moindre du signal dans les hautes fréquences.



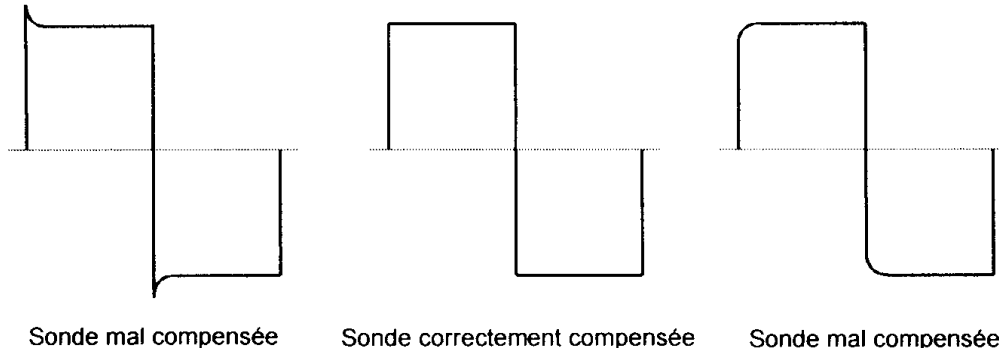


Constitution interne d'une sonde et schéma équivalent de l'oscilloscope

Une capacité est ajoutée en parallèle à la résistance. La capacité d'entrée d'un oscilloscope étant différente d'un appareil à l'autre, cette capacité, dite de compensation, est ajustable (au moyen d'une petite vis située sur la sonde). Par ce réglage, la division capacitive reçoit le même rapport de division que le diviseur de tension résistif.

Le réglage de la compensation de la sonde s'effectue de la manière suivante : on injecte un signal carré de fréquence comprise entre 100Hz et 1kHz à l'entrée de la sonde, et on ajuste la capacité de compensation de façon à obtenir sur l'écran l'affichage le meilleur possible du signal carré injecté.

Pour de nombreux oscilloscopes, un signal carré généré de façon interne est disponible sur la face-avant. Par exemple, l'oscilloscope Hameg HM305 fournit une tension carrée de 0,2V d'amplitude, pour sondes atténuatrices 10:1. Pour plus de précisions sur la procédure à suivre on se reportera à la documentation technique de cet appareil.



Compensation de l'influence de la sonde par visualisation d'un signal carré

*Remarque* : La sonde décrite ci-dessus est une sonde passive, c'est à dire ne comportant que des composants passifs. Il existe également des sondes actives, utilisant généralement un transistor à effet de champ en entrée, permettant d'obtenir une résistance d'entrée très grande (de l'ordre de 100 MΩ). En contrepartie, l'amplitude maximale admissible du signal injecté en entrée de la sonde est limitée à quelques Volts.

### g) Mesures à l'oscilloscope

L'intérêt principal de l'oscilloscope est de permettre la visualisation de la forme des tensions alternatives. Il permet de mesurer différents paramètres (tensions continues, valeurs de crête et fréquences de tensions alternatives, déphasages entre 2 tensions...), mais ces

mesures sont moins précises que celles qui seraient obtenues à l'aide d'appareils spécialisés dans la mesure d'un seul paramètre. Quand le choix est permis il vaut mieux utiliser ces derniers : pour une tension continue un voltmètre continu, pour une valeur efficace un voltmètre alternatif, et pour une fréquence un fréquencemètre.

Avant d'effectuer une mesure à l'aide d'un oscilloscope, il est nécessaire de repérer au préalable le "zéro-Volt" en positionnant le commutateur AC-0-DC sur 0 ou en déconnectant l'entrée de l'oscilloscope.

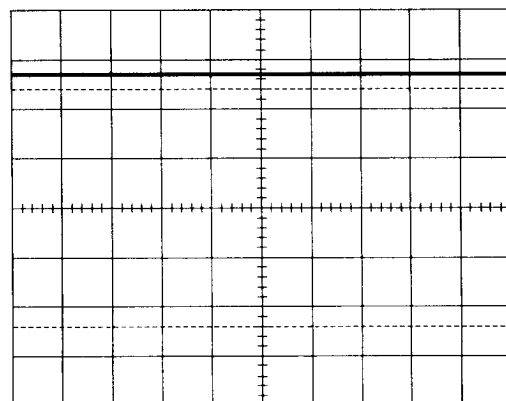
Du fait de l'incertitude due à la mesure visuelle à l'écran, il faut toujours utiliser les calibres les plus grands permettant la mesure (c'est à dire contenant au moins une période du signal lorsqu'on mesure une fréquence, et ne faisant pas sortir la crête du signal hors de l'écran lors de la mesure de celle-ci). L'incertitude de lecture de la position de la trace sera plus faible proportionnellement au calibre.

### Mesure d'une tension continue

Une fois le zéro-Volt réglé, le commutateur AC-0-DC doit être mis sur DC. Il suffit alors de multiplier le nombre de divisions correspondant au déplacement vertical de la trace, par le facteur de déviation (calibre Volt/div). **Il faut également s'assurer au préalable que les boutons rotatifs de décalibration sont bien positionnés en butée (à droite).**

*Exemple*

$$V = 2,7 \text{ div} \times V/\text{div}$$



### Mesure d'une tension de crête ou crête-à-crête

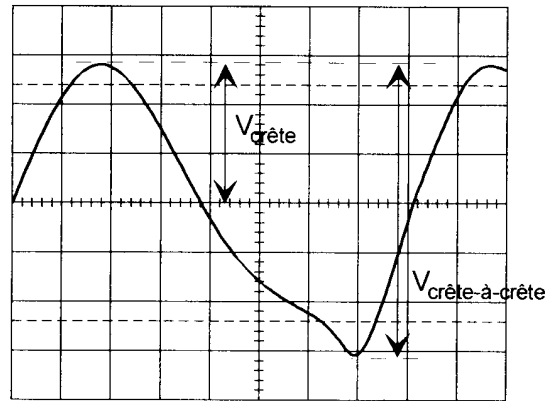
La crête est la valeur maximale de la tension. "Crête-à-crête" signifie "somme des valeurs absolues de la crête positive et de la crête négative".

Le principe de la mesure est le même que pour la tension continue.

### Exemple

$$V_{\text{crête positive}} = 2,8 \text{ div} \times V/\text{div}$$

$$V_{\text{crête-à-crête}} = (2,8 + 3,1) \text{ div} \times V/\text{div}$$

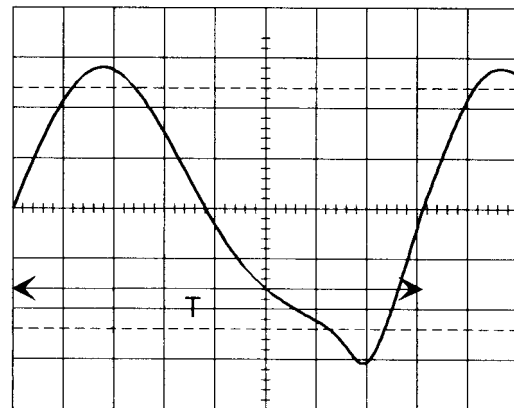


### Mesure d'une période (et d'une fréquence)

Pour un signal triangulaire, la mesure de la période peut s'effectuer de sommet à sommet. Pour un signal aux sommets arrondis tel qu'une sinusoïde, il ne faut pas mesurer la période de sommet à sommet mais plutôt autour du zéro. Pour un signal rectangulaire, la mesure est effectuée de front à front.

### Exemple

$$T = 8,15 \text{ div} \times \text{durée}/\text{div}$$



Lorsque la fréquence d'un signal carré est élevée, ce dernier peut apparaître avec une forme plus tout à fait carrée mais avec des angles arrondis. Dans ce cas on ne peut plus effectuer la mesure de front à front. La mesure doit alors être faite entre les instants où le signal passe deux fois successivement à la moyenne des niveaux haut et bas (c'est à dire là où la vitesse de variation est la plus grande).

Ce qui est valable pour la mesure de la période d'un signal carré le reste pour la mesure de la durée d'une impulsion.

### Mesure d'un temps de montée ou de descente

Le *temps de montée* ou *de descente* est défini pour un signal faisant apparaître 2 plateaux. Ainsi on ne parle pas de temps de montée ou de descente d'un signal sinusoïdal ou triangulaire. Le temps de montée est défini comme étant le temps mis par le signal pour passer de 10% à 90% de la différence entre les deux plateaux (0% correspond au plateau bas et 100% au plateau haut). L'écran de l'oscilloscope possède des repères permettant cette mesure : il suffit de placer les plateaux bas et haut respectivement sur les repères 0% et 100%, au moyen du réglage de la position verticale (Y-POS) pour le réglage du 0%, et du commutateur de

calibre vertical pour le réglage du 100% ; il est également nécessaire de jouer sur le bouton rotatif de décalibration. Cette décalibration n'est pas gênante puisque le paramètre que l'on cherche à mesurer est une durée.

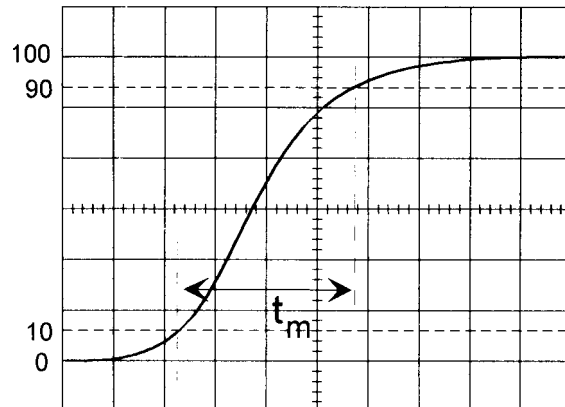
Une fois ces réglages verticaux effectués, la mesure de la durée recherchée est effectuée entre les repères 10% et 90%. Il pourra être nécessaire de modifier la position horizontale (X-POS) de la trace pour amener l'instant où le signal passe par 10% (par exemple) sur un repère vertical de l'écran, ceci pour faciliter la mesure.

*Exemples*

*Signal présentant 2 plateaux bien définis*

Temps de montée :

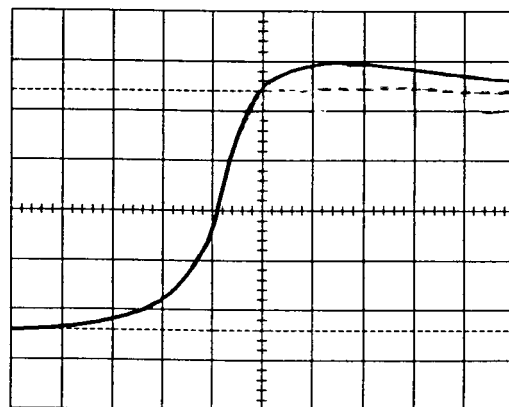
$T_m = 3,3 \text{ div} \times \text{s/div}$



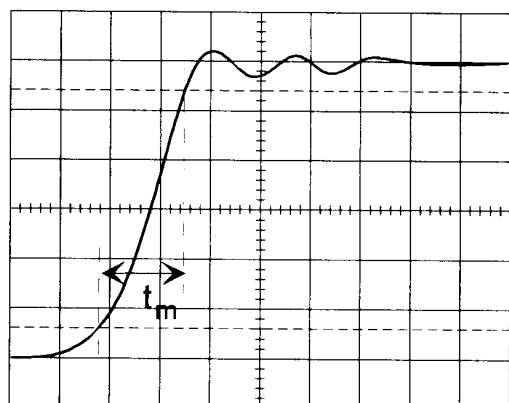
L'un des plateaux du signal, ou les deux, peuvent présenter des irrégularités : s'il existe un dépassement de la valeur du plateau à son début, ou une oscillation, le réglage du 100% s'effectue quand même sur le plateau ; si le plateau n'est pas constant mais présente une déclivité, le 100% est réglé sur la valeur maximale (voir figures ci-dessous).

La relation entre le temps de montée et la constante de temps  $\tau = R.C$  d'un circuit (R, C) est définie par :  $t_m = 2,2\tau$ .

*Signal avec plateau présentant une déclivité*



*Signal avec sur-oscillation*



## Mesure d'un déphasage

La *phase* (ou *déphasage*, s'il s'agit du même signal ayant subi une translation temporelle) entre deux signaux représente un angle, exprimé en degrés ( $^{\circ}$ ) ou en radians (rad).

Pour mesurer une phase les 2 signaux doivent être visualisés simultanément sur les deux voies de l'oscilloscope (oscilloscope bi-courbe). En effet si ces 2 signaux sont visualisés un seul à la fois, successivement, l'affichage sera synchronisé sur le signal injecté, et sera complètement indépendant de l'affichage de l'autre signal. Par contre si les 2 signaux sont visualisés simultanément, l'affichage sera synchronisé sur l'un des deux, et l'autre sera visualisé avec la phase correcte par rapport au premier.

Il existe deux méthodes principales pour la mesure d'un déphasage entre deux signaux : la première en mode temporel (mode usuel), et la seconde en mode X-Y (figures de Lissajoux).

En mode X-Y, la base de temps n'est plus générée : un premier signal est appliqué sur l'une des 2 entrées, un deuxième signal sur l'autre.

Quelle que soit la méthode, la précision sera meilleure si la (ou les) trace(s) coupe(nt) l'axe horizontal central avec un angle proche de  $90^{\circ}$  (ce qui correspond à des vitesses de variation très grandes). Il convient donc d'utiliser les facteurs de déviations les plus grands possible permettant la mesure.

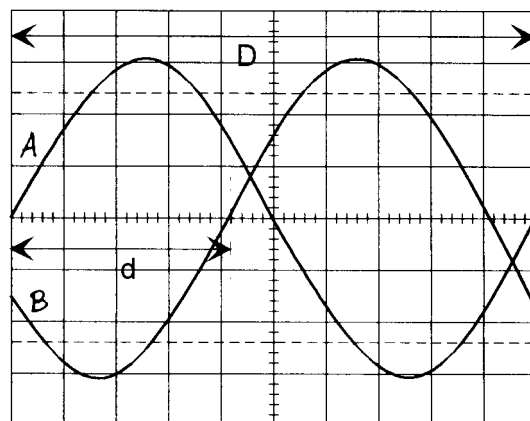
### *1<sup>ère</sup> méthode : mode temporel*

La vitesse de balayage est réglée pour étaler une période complète sur toute la largeur de l'écran en s'aidant du bouton rotatif de décalibration (la période des signaux ne pourra donc pas être mesurée, ce qui ne représente pas un problème puisque c'est une phase entre deux signaux que l'on cherche à mesurer). Une fois ce réglage effectué, puisque la largeur de l'écran (soit 10 divisions) correspond à une période, soit à un angle de  $360^{\circ}$ , le repère horizontal de l'écran correspond à  $36^{\circ}$  par division. Il suffit de mesurer le nombre de divisions que représente la phase entre les deux signaux considérés à un même endroit de la période, et de multiplier ce nombre par 36 pour connaître la phase en  $^{\circ}$ .

### *Exemple*

$$\varphi = 36 \times 4,2 = 151,2^{\circ}$$

(B en retard sur A)



Pour améliorer encore la précision, on peut étaler non pas la période sur la largeur de l'écran, mais la demi-période ; chaque division correspond alors à un angle de  $18^{\circ}$ .

Plus généralement, si on ne veut pas utiliser toute la largeur de l'écran, il faut effectuer 2 mesures : la phase et la période, en nombre de divisions horizontales. La formule donnant la phase est alors la suivante :

$$\varphi(^{\circ})=360d/D$$

2<sup>e</sup> méthode : mode X-Y

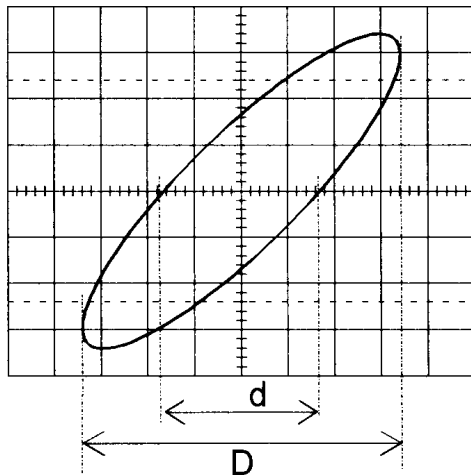
En l'absence de signaux, le spot est immobile au centre de l'écran (il faut éviter de le laisser longtemps dans cette position, car le revêtement phosphorescent de l'écran peut s'user prématurément).

Le fait d'injecter deux signaux de même forme, même fréquence, même amplitude sur les deux voies de l'oscilloscope mais de phases différentes, provoque l'affichage d'une ellipse plus ou moins allongée.

La phase entre les deux signaux est définie par :

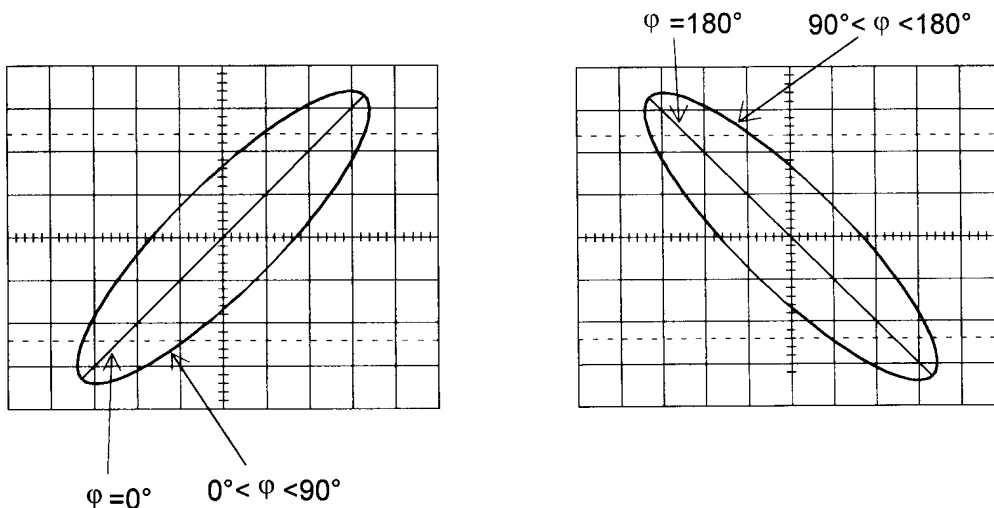
$$\varphi = \arcsin d/D$$

La mesure de  $d$  et de  $D$  peut s'effectuer de la même façon en Y, la relation donnant la phase reste valable.



Mesure d'une phase en mode d'affichage XY

Si les facteurs de déviations sont identiques en X et en Y, les cas particuliers de l'ellipse sont : une droite pour  $\varphi = 0^{\circ}$  ou  $180^{\circ}$ , un cercle pour  $\varphi = 90^{\circ}$ .



Cette méthode ne permet pas de savoir quel est le signal en avance sur l'autre. Pour savoir cela il faut retourner au mode temporel.

### *Mesure différentielle*

L'oscilloscope n'étant pas à entrée flottante, pour visualiser la tension aux bornes d'un dipôle dont aucune des bornes n'est reliée à la masse, il faut utiliser les deux voies et la fonction d'addition, l'une des deux entrées étant inversée. On réalise une mesure différentielle, c'est à dire de la différence de deux signaux, puisque l'un des deux signaux est inversé avant d'être additionné.

#### **f) Informations complémentaires :**

- Certains oscilloscopes sont dotés d'une fonction de *mémorisation*. Celle-ci s'avère utile dans deux cas :
  - 1) lorsque le signal n'est pas strictement périodique et donc que l'affichage n'est pas stable en mode normal ;
  - 2) lorsque la fréquence du signal est très faible (qq Hertz) : dans ce cas il faut diminuer la vitesse de balayage de l'écran, mais la persistance rétinienne ne sera plus suffisamment grande pour que l'on perçoive à l'écran une trace continue et non le déplacement du spot. La fonction de mémorisation de l'oscilloscope permet de pallier à la persistance rétinienne dont les limites sont atteintes (la mémorisation est numérique : la tension (analogique) est convertie en des valeurs numériques).
- Le signal est *amplifié* avant d'être appliqué aux plaques de déviation verticale. Le rapport d'amplification est réglable d'une valeur très inférieure à 1 (donc un gain très négatif) à une valeur très supérieure à 1 (gain positif), pour pouvoir visualiser des tensions d'amplitudes très différentes. Ce gain est réglable par le commutateur de calibre vertical (associé à son bouton rotatif de décalibration).
- Le tube cathodique est recouvert d'un métal constituant un écran électromagnétique ("on parle également de blindage").

### **II.3) Les voltmètres et ampèremètres**

L'impédance interne des appareils de mesure est étudiée de façon à ce que la perturbation qu'ils apportent inévitablement au fonctionnement du circuit (et donc à la mesure) soit la plus petite possible.

Un *voltmètre* est inséré dans un circuit, en *dérivation* (ou *parallèle*). Son impédance interne doit être la plus grande possible, pour que le courant qui y est dévié soit le plus faible possible.

Un *ampèremètre* est inséré dans la branche du circuit dans laquelle on souhaite mesurer le courant (donc en *série*). Son impédance doit être la plus faible possible, pour que le courant soit le moins freiné possible par lui.

## a) Voltmètres alternatifs

Les voltmètres alternatifs indiquent tous la valeur efficace de la tension, mais suivant le principe de fonctionnement, la valeur efficace affichée est valable pour toutes les formes de signaux ou seulement pour les signaux sinusoïdaux.

Il existe deux grand types de voltmètres alternatifs : les *voltmètres à redresseur* et les *voltmètres donnant la valeur efficace vraie* (True RMS : voir paragraphe sur les signaux).

### *Voltmètres à redresseur*

Ce type de voltmètre redresse la tension d'entrée par l'intermédiaire d'un pont de diodes (se reporter au cours/TD sur le redressement), puis mesure la valeur moyenne de la tension redressée. La valeur mesurée est ensuite multipliée par un coefficient. Comme le rapport de la valeur efficace sur la valeur moyenne  $V_{\text{eff}}/V_{\text{moy}}$  dépend de la forme de la tension, ces voltmètres étalonnés pour des tensions sinusoïdales ne donnent d'indication valable que pour ces dernières. Pour les autres formes de tensions, il est nécessaire d'apporter un coefficient de correction (qui peut être connu par calcul).

### *Voltmètres donnant la valeur efficace vraie (True RMS)*

Ces voltmètres indiquent la valeur efficace d'un signal quelle que soit sa forme. Deux principes sont employés :

- par calcul,
  - par système thermique.
- 
- par calcul

Un circuit électronique effectue le calcul de la tension efficace et délivre une tension ou un courant continus proportionnels. Le calcul est effectué de façon analogique (à l'aide de composants actifs tels que des transistors et des amplificateurs opérationnels).

- par système thermique

Les voltmètres utilisant un système thermique utilisent la définition d'une valeur efficace. La tension à mesurer est convertie en chaleur par l'intermédiaire d'une résistance de valeur connue qui chauffe un élément thermosensible. Un deuxième élément thermosensible parcouru par un courant continu se met à la même température que celle du premier ; le courant parcourant le deuxième est donc égal au courant parcourant le premier, qui peut alors être connu.

### *Mesure d'une valeur efficace*

En position "continu" (DC), lorsque l'on injecte une tension alternative à laquelle est superposée une tension continue à l'entrée du voltmètre, celui-ci indique la valeur de la composante continue ou de la valeur moyenne du signal si celle-ci est non-nulle.

En position "alternatif" (AC) et avec la même tension, le voltmètre indiquera la valeur



efficace de la composante alternative.

Pour connaître la valeur efficace d'un signal comportant une composante continue et une composante alternative, il faut donc effectuer 2 mesures (voir paragraphe : caractéristiques d'un signal électrique).

### *Mesure d'un gain*

Certains voltmètres possèdent, en plus de leur échelle linéaire, une échelle en décibels, facilitant la mesure et le calcul d'un gain. Le gain entre deux tensions  $v_1$  et  $v_2$  est en effet défini par  $G=20\log(v_2/v_1)$ . Si l'on prend  $v_1=1V$ , le calcul se résume à la mesure de  $v_2$  et au calcul de  $20\log(v_2)$ . L'échelle en décibel évite justement d'effectuer ce calcul.

## **b) Liaisons entre les appareils et les points de mesure**

### *Liaison des masses*

D'une manière générale, la masse de tous les appareils utilisés (oscilloscope, voltmètre, générateur de fonctions, alimentation, etc) doivent être reliées à la masse du circuit étudié. On parle alors de "masse commune".

Pour éviter que le circuit des masses ne constitue une boucle fermée (dans laquelle pourrait circuler un courant par induction électro-magnétique, voir ci-dessous), il faut utiliser une configuration en étoile, dans laquelle toutes les masses convergent en un même point du circuit étudié.

### *Câbles blindés*

Le rôle des câbles blindés est de protéger les montages contre deux phénomènes électromagnétiques parasites :

- **l'induction électromagnétique** : les deux fils nécessaires pour acheminer un signal du montage vers un appareil de mesure quelconque constituent une boucle fermée. Un courant peut y circuler par le phénomène d'induction électromagnétique qui fait naître un courant dans une boucle électrique lorsque celle-ci est placée dans un champ magnétique (voir également le paragraphe sur les perturbations électromagnétiques). Le fait d'accoler les 2 conducteurs ensemble permet de réduire cette boucle au minimum (c'est le cas entre autre des câbles blindés).
- **l'effet d'antenne** : un courant peut prendre naissance dans tout conducteur même ouvert par effet d'antenne, lorsqu'il est placé dans un champ électrique. Or les ondes radioélectriques constituent de tels champs et sont présentes quasiment partout. Ples câbles blindés sont constitués de 2 conducteurs, dont l'un est une gaine métallique qui entoure l'autre. Cette gaine se trouve reliée au châssis des appareils, et joue le rôle de cage de Faraday pour l'autre conducteur, c'est à dire que les courants parasites générés sont court-circuités à la masse avant d'avoir pu atteindre le 2<sup>e</sup> conducteur.

Les appareils de mesure que l'on utilise en TP-projets sont à entrée non-flottante, c'est à

dire que l'une des deux bornes doit être reliée à la masse du montage. Lorsqu'on lui raccorde un câble, la gaine métallique de ce dernier se trouve connectée à la masse de l'appareil.

L'emploi des câbles blindés est d'autant plus nécessaire que les signaux à mesurer ont une amplitude faible et que l'impédance vue entre les points de mesure est élevée (en effet, plus l'impédance sera élevée et plus les signaux auront des amplitudes faibles).

### *Câble coaxial*

Lorsqu'une ligne de transmission véhicule des signaux à hautes fréquences (par exemple un signal vidéo), ou comportant des composantes à hautes fréquences (signal carré, impulsions à temps de montée et de descente très faibles...), la longueur de la ligne peut devenir non-négligeable devant la longueur d'onde du signal. Il peut alors apparaître un régime d'ondes stationnaires, combinaison de l'onde incidente et de l'onde se réfléchissant à l'extrémité de la ligne. Pour éviter ce phénomène, le ligne doit être adaptée, c'est à dire que la ligne doit être refermée sur une impédance égale à la sienne. Pour cela on utilise un câble coaxial, qui non seulement est blindé mais en plus possède une impédance bien déterminée. De plus à ses extrémités se trouve une terminaison d'impédance égale à  $50\Omega$ .

La plupart des générateurs de signaux BF (basses fréquences) possèdent une résistance de sortie égale à  $50\Omega$ .

La capacité interne d'un câble coaxial est plus grande que celle d'un câble blindé simple, et par conséquent le premier ne doit pas être utilisé pour relier le point de mesure à l'appareil de mesure : la capacité du câble s'ajouterait à celle de l'appareil (puisqu'elle viendrait en parallèle avec), et par conséquent les mesures à fréquences élevées serait faussée. En effet, ces capacités constituent un filtre passe-bas dont la fréquence de coupure est inférieure à celle qui serait obtenue avec l'appareil seul.

Dans le cadre des TP-projets, on n'utilisera qu'un seul câble coaxial BNC-BNC (les 2 extrémités sont de type BNC), permettant de visualiser directement, sur l'oscilloscope ou le voltmètre à aiguille, le signal issu du générateur de fonctions. Si ce signal doit être parallèlement injecté au circuit étudié, la dérivation sera réalisée au moyen d'une fiche BNC de dérivation encore appelée "T de dérivation".

## **c) Erreurs de mesure**

Une mesure est toujours entachée d'une certaine erreur, due à plusieurs causes :

- à l'**énergie absorbée** par l'appareil de mesure (erreur systématique);
- à l'**appareil de mesure**, qui utilise des techniques électroniques plus ou moins complexes et plus ou moins coûteuses ;
- à l'opérateur, qui peut commettre une **erreur de lecture**.

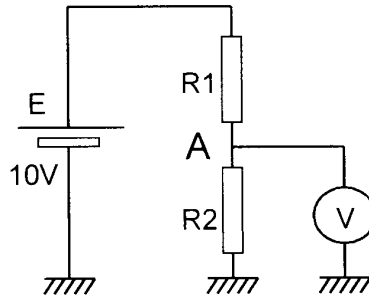
On distingue donc trois types d'erreurs, liées respectivement aux trois causes d'erreurs citées ci-dessus : les erreurs *systémiques*, les erreurs *instrumentales* et les erreurs *de lecture*. La présence de "bruit", parasites d'origine électrique peut également être une source d'erreur.

### *Erreur systématique*

L'erreur systématique commise par un voltmètre par exemple, sera d'autant plus faible que le courant  $y$  pénétrant sera faible devant le courant circulant dans la branche du circuit sur

laquelle la mesure est effectuée. Le courant pénétrant dans le voltmètre sera d'autant plus faible que sa résistance d'entrée sera grande devant les résistances du montage.

*Exemple* : soit à mesurer la tension au point A (par rapport à la masse), dans la figure ci-dessous. Théoriquement, cette tension est égale à  $E/2$  si  $R1=R2$ , soit 5 V (les 2 résistances constituent un pont diviseur de tension de rapport 1/2). Cependant, selon la valeur de ces 2 résistances, l'influence du voltmètre (qui constitue une perturbation de la mesure) sera différente.



Pour le calcul le voltmètre peut être remplacé par une résistance équivalente à sa résistance d'entrée  $R_e$ . Considérons que celle-ci vaut  $10\text{ M}\Omega$  ;

### 1<sup>er</sup> cas

Si  $R1=R2=1\text{ k}\Omega$ , la résistance entre A et la masse n'est plus  $R2$  mais  $R2//R_e$ , soit

$$\frac{R2 \cdot R_e}{R2 + R_e} = \frac{1\text{ k}\Omega \cdot 10\text{ M}\Omega}{1\text{ k}\Omega + 10\text{ M}\Omega} = 999,9\Omega,$$

le courant passant dans  $R1$  est  $I = \frac{E}{R1 + R2//R_e} = \frac{10\text{ V}}{1\text{ k}\Omega + 999,9\Omega} = 5,00025\text{ mA}$

(en général on ne conserve jamais plus de trois chiffres après la virgule ; ici on le fait uniquement pour quantifier l'influence de la résistance d'entrée du voltmètre sur la mesure) ; la tension effectivement mesurée est alors :

$$V = I \times 999,9\Omega = 5,00025\text{ mA} \times 999,9\Omega = 4,999\text{ V}$$

L'erreur est la différence entre la tension du point A en l'absence du voltmètre et la valeur mesurée au voltmètre (si on suppose toutes les autres erreurs nulles) :

$$5\text{ V} - 4,99975\text{ V} = 0,25\text{ mV} ;$$

il s'agit d'une erreur absolue.

Le rapport de cette erreur et de la valeur de la tension théorique constitue l'erreur relative :

$$0,25\text{ mV} / 5\text{ V} = 0,05 \times 10^{-3}, \text{ soit } 0,005\%$$

L'erreur de mesure est ici tout à fait négligeable.

### 2<sup>e</sup> cas

Si  $R1=R2=100\text{ k}\Omega$ , on a :

$$R2 // R_e = \frac{R2 \times R_e}{R2 + R_e} = \frac{100\text{ k}\Omega \times 10\text{ M}\Omega}{100\text{ k}\Omega + 10\text{ M}\Omega} = 99009,9\Omega$$

soit un courant dans R1 :  $I = \frac{E}{R1+R2//R_e} = \frac{10V}{100k\Omega+99009,9\Omega} = 50,02487\mu A$

la tension effectivement mesurée alors :

$$V = I \times 99009,9\Omega = 50,02487\mu A \times 99009,9\Omega = 4,953V$$

l'erreur absolue est  $5V - 4,953V = 0,047V$

et l'erreur relative  $0,047V/5V = 9,4 \times 10^{-3}$ , soit  $0,94\% \approx 1\%$

L'erreur de mesure est d'environ 1% et donc n'est plus tout à fait négligeable. Elle est encore moins négligeable pour les résistances plus élevées.

### *Erreur instrumentale*

Cette erreur est en général indiquée par le constructeur de l'appareil. Elle est donnée pour la pleine échelle.

### *Erreur de lecture*

L'erreur de lecture est imputable à l'opérateur qui peut situer la position de l'aiguille par rapport au cadran de manière imparfaite. Cette erreur sera d'autant plus grande que la déviation de l'aiguille par rapport à la position correspondant à l'absence de signal, sera faible. C'est pourquoi il faut toujours utiliser le calibre permettant la **déviati on maximale** de l'aiguille.

La principale erreur de mesure est une **erreur de parallaxe** : l'axe du regard n'est pas exactement orthogonal au cadran. Pour remédier à ces erreurs, une petite bande réfléchissante existe la plupart du temps sur les appareils à cadran : il faut effectuer la mesure avec un œil (l'autre étant fermé), et il faut se placer de telle façon que l'aiguille se superpose à sa réflexion dans ce petit miroir.

L'emploi d'afficheurs numériques élimine cette cause d'erreurs.

## **d) Mesures fréquentielles**

### *Mesure d'une fréquence de coupure à -3dB*

Une notion très répandue en électronique est la *bande passante à -3dB*. La bande passante à -3dB d'un quadripôle est la plage des fréquences pour lesquelles le fonctionnement du quadripôle est le même (si l'amplitude de la tension d'entrée est constante). Les limites supérieure et inférieure de la bande passante correspondent à une multiplication de la tension de sortie par 0,7, par rapport à la sortie fournie pour une fréquence située dans la bande passante. Le gain entre 2 tensions  $v_1$  et  $v_2$  est en effet défini par  $G = 20 \log(v_2/v_1)$ , et la bande passante à -3dB est une notion très répandue en électronique. Une chute du gain de 3dB correspond à une chute de tension représentant une multiplication par 0,7, car :

$$20 \log(v_2/v_1) = -3 \quad \Leftrightarrow \quad \log(v_2/v_1) = -3/20 \quad \Leftrightarrow \quad v_2/v_1 = 10^{-3/20} = 0,7.$$

Une chute du gain de 3dB correspond donc à une atténuation de 30% du signal.

Les *fréquences de coupure* sont les deux fréquences correspondant à la chute de gain de 3dB. Dans le cas d'un filtre passe-bas ou passe-haut, il n'existe qu'une seule fréquence de coupure.

### Principe de la mesure

Pour relever la bande passante d'un quadripôle, on procède de la manière suivante :

- on fixe une valeur de la tension d'entrée  $v_e$ ,
- on fait varier la fréquence de  $v_e$ ,
- pour un certain nombre de valeurs de la fréquence, on relève l'amplitude de la tension de sortie  $v_s$ ,
- pour chaque valeur de  $v_s$  on calcule le gain défini par  $20\log(v_s/v_e)$ ,
- on représente cette mesure sur une feuille de papier semi-logarithmique (échelle linéaire pour le gain, échelle logarithmique pour la fréquence).

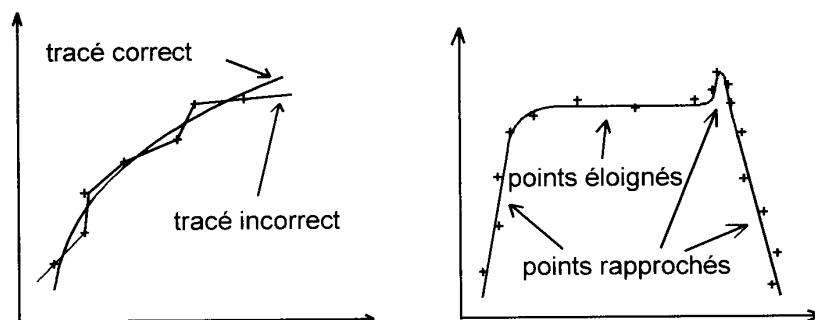
Cette manipulation peut être réalisée de façon automatique, si l'on dispose d'un analyseur de spectre (utilisé également pour visualiser l'amplitude des composantes harmoniques d'un signal périodique).

Une autre méthode consiste à simuler le circuit étudié sur un simulateur logiciel : les simulateurs les plus complets possèdent un outil d'analyse fréquentielle.

### Tracé des courbes

Compte tenu des erreurs possible sur chaque point relevé, la courbe décrite par ces points ne doit pas être tracée en les reliant entre eux, mais de telle sorte que les points se répartissent équitablement de part et d'autre de la courbe.

De plus, il n'est pas nécessaire de prendre des points régulièrement espacés sur l'axe des abscisses : là où la courbe varie peu ou pas du tout (là où les ordonnées varient peu par rapports aux abscisses), les points peuvent être espacés (du point de vue de leur abscisse) ; par contre, aux endroits où la courbe varie beaucoup, les points doivent être rapprochés.



Exemple de tracé d'une courbe

## II. 4) Le générateur de fonctions

Par "fonctions" on entend tensions variant en fonction du temps, autrement dit tensions alternatives.

Un générateur de fonctions se doit de générer les principaux signaux de base utilisés en expérimentation électronique (voir paragraphe sur les caractéristiques d'un signal électrique), à savoir :

- tension sinusoïdale,
- tension carrée
- tension triangulaire

Les appareils plus complets fourniront également une tension rectangulaire à rapport cyclique ajustable, ainsi qu'une tension en dents de scie.

Un générateur de fonctions doit être capable de délivrer un signal pour une plage de fréquences la plus large possible ; on parle également de "bande passante". Il possède un réglage d'amplitude des tensions, et peut ajouter une composante continue, ajustable également, à ces tensions alternatives.

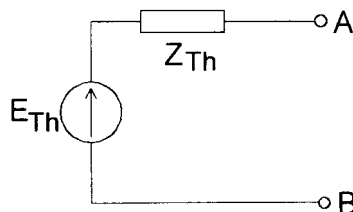
## II.5) Impédance interne des appareils

### a) Générateurs équivalents de Thévenin et de Norton

#### Générateur équivalent de Thévenin

Tout dipôle peut être modélisé par un générateur équivalent possédant une force électromotrice (f.é.m.)  $E_{Th}$  (qui peut être continue ou alternative) en série avec une impédance interne  $Z_{Th}$  :

- la f.é.m. est égale à la tension qui existe entre les deux bornes du dipôle à vide (sans charge) ;
- l'impédance interne est égale à l'impédance du dipôle (vue entre ses deux bornes) lorsque les sources indépendantes sont éteintes (seules les sources dépendantes, également appelées "commandées", doivent subsister).

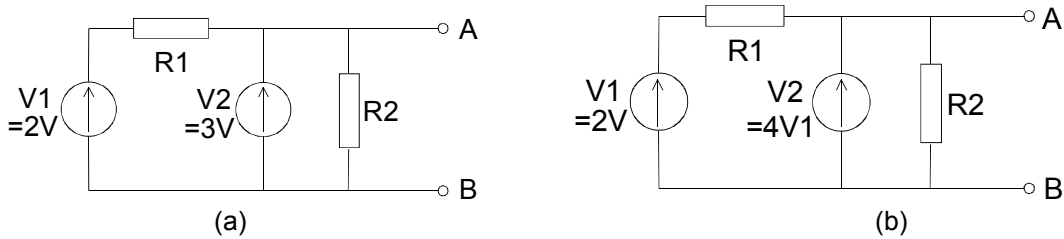


*Remarque* : dans le cas général, il s'agit d'une impédance complexe, pouvant comporter un terme résistif (partie réelle), un terme capacitif et/ou un terme inductif (partie imaginaire), mais souvent cette impédance se limite à une résistance ; elle est alors notée  $R_{Th}$ .

"Eteindre" une source signifie :

- dans le cas d'une *source de tension* : la remplacer par un **court-circuit**, donc la retirer ;
- dans le cas d'une *source de courant* : la remplacer par un **circuit ouvert**, c'est à dire un fil.

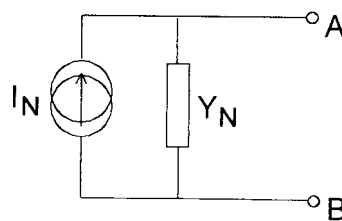
*Exemple* : dans la figure (a) suivante, les deux sources de tension sont indépendantes ; dans le figure (b),  $V_2$  est dépendante de (ou commandée par)  $V_1$  et doit donc subsister dans le calcul de  $V_1$ .



### Générateur équivalent de Norton

Tout dipôle peut être modélisé par un générateur équivalent possédant un générateur de courant  $I_N$  en série avec une admittance interne  $Y_N$  :

- le courant  $I_N$  est le courant de court-circuit, qui circulerait entre les deux bornes du dipôle lorsque celles-ci seraient reliées par un fil ;
- l'admittance interne est l'inverse de l'impédance du dipôle lorsque les sources sont éteintes (comme dans le cas du générateur de Thévenin).



*Remarque 1* : dans le cas général, il s'agit d'une admittance complexe, mais souvent cette admittance se limite à une conductance (réelle pure), l'inverse d'une résistance :  $Y_N = 1/R_{Th}$ .

*Remarque 2* : dans ce qui suit on ne considérera que le cas d'une impédance réelle pure :

$$Z_{Th} = R_{Th}$$

$$Y_N = 1/R_{Th}$$

### Equivalence Thévenin-Norton

Il est possible de passer d'un modèle à l'autre, en utilisant les relations suivantes :

$$I_N = \frac{E_{Th}}{R_{Th}} \quad \text{et} \quad R_N = \frac{1}{R_{Th}}$$

Les déterminations des générateurs de Thévenin et de Norton dans le cas théorique et dans le cas pratique sont un peu différentes. Ce qui suit décrit les deux cas.

## *Détermination théorique*

### Détermination de $E_{Th}$

$E_{Th}$  est la tension entre les deux bornes du dipôle **à vide**. On utilise l'équivalence Thévenin-Norton pour remplacer des parties du circuit étudié par un modèle équivalent de Thévenin ou de Norton selon le cas, chaque remplacement permettant de faire des regroupements et des simplifications (par exemple, deux résistances en série vont être remplacées par une seule dont la valeur est la somme des deux ; c'est également le cas pour deux générateurs de tension). Par ces simplifications successives on arrive ainsi au résultat final, dans lequel ne figure plus qu'un générateur de tension en série avec une résistance (cas du générateur de Thévenin).

Les outils utilisés lors de ces simplifications sont en général le théorème de superposition (quand il y a plusieurs générateurs son emploi s'impose) et la règle du pont diviseur de tension.

### Détermination de $R_{Th}$

On éteint les générateurs, et calcul l'impédance équivalente par des regroupements d'impédances en série ou parallèle seon le cas.

## *Détermination pratique*

Ce qui suit ne concerne que le cas d'une impédance équivalente de Thévenin ou de Norton réduite à une résistance  $R_{Th}$ .

### Détermination de $E_{Th}$

La tension à vide se mesure à l'aide d'un voltmètre. En effet celui-ci possède une résistance interne très grande, qui peut dans un grand nombre de cas être considérée comme infinie (et donc être équivalent à avoir une sortie du générateur en l'air).

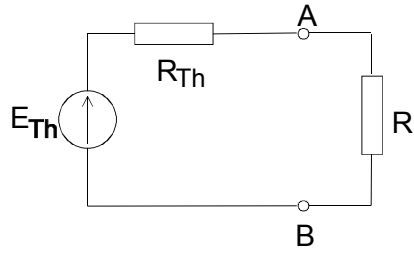
### Détermination de $R_{Th}$

En pratique on ne peut pas toujours éteindre les générateurs (dans le cas d'un générateur de fonctions par exemple). Il existe alors deux méthodes :

- 1ère méthode : Mesure d'une tension

On connecte une résistance de charge (de valeur connue) en sortie du dipôle, et on mesure la tension à ses bornes. On applique ensuite la règle du pont diviseur de tension. La seule inconnue de la relation est alors  $R_{Th}$ .

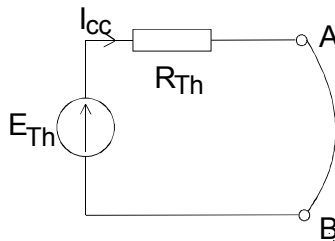




- 2<sup>e</sup> méthode : Mesure du courant de court-circuit

Lorsque l'on court-circuite la sortie du dipôle, le courant circulant entre ses deux bornes est le courant de court-circuit, égal au courant de Norton :  $I_N = I_{cc} = E_{Th}/R_{Th}$ . Ayant mesuré auparavant la tension à vide (égale à  $E_{Th}$ ), et une fois le courant de court-circuit mesuré, on en déduit  $R_{Th}$ .

Pour mesurer le courant de court-circuit il suffit de connecter l'ampèremètre en sortie du dipôle : cela correspond à peu près à un court-circuit, puisque la résistance interne de l'ampèremètre est très faible).



## b) Générateur de tension-Générateur de courant

Un générateur équivalent de Thévenin ou de Norton peut constituer un générateur de tension ou un générateur de courant, selon la valeur de sa résistance interne. Un générateur de tension fournit sur sa sortie une tension qui reste constante quelle que soit la valeur de la charge qui y est connectée. Un générateur de courant fournit un courant constant quelle que soit la charge dans laquelle il débite.

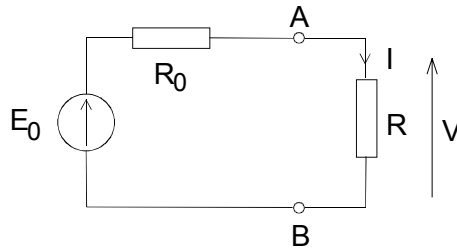
Par exemple, un générateur de fonctions est un générateur de tension. Son impédance de sortie est en effet très faible (celui utilisé en TP-projets possède une résistance de sortie égale à  $50\Omega$ ).

Considérons le générateur de la figure ci-dessous, dont la sortie est connectée à une charge  $R$ . La règle du pont diviseur de tension donne la tension aux bornes de cette charge :

$$V = \frac{R}{R + R_0} E_0 \quad (1)$$

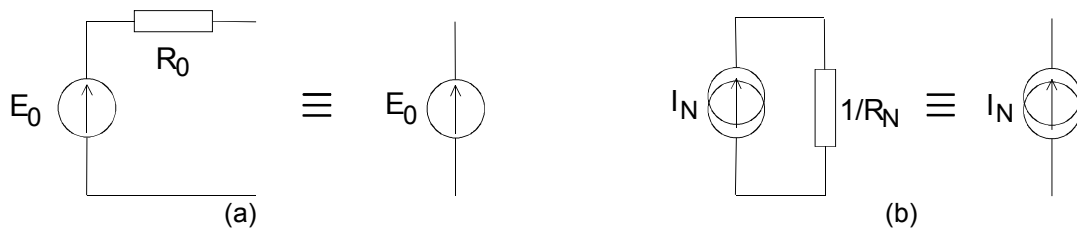
Le courant circulant dans cette charge est égal à :

$$I = \frac{E_0}{R + R_0} \quad (2)$$



Considérons les 2 cas suivants :

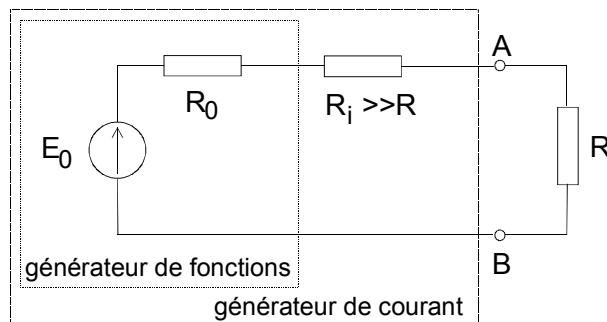
- $R \gg R_0$ , alors  $R_0 + R \approx R$ , ce qui entraîne  $V \approx E_0$  (d'après (1)). Cela signifie que la tension est indépendante de la charge, ce qui est la définition d'un générateur de tension. Mais cette propriété ne sera vraie que pour les résistances de charge très supérieures à la résistance interne du générateur, et ne sera plus vraie pour les résistances de charge de faibles valeurs ;
- $R \ll R_0$ , alors  $R_0 + R \approx R_0$ , ce qui entraîne  $I \approx E_0/R_0$ . Ainsi le courant est indépendant de la charge, et le générateur est un générateur de courant. Cette propriété est vraie tant que l'approximation  $R \ll R_0$  reste bonne.



(a) Si  $R_0$  est négligeable par rapport à la résistance de charge, le générateur est équivalent à un générateur de tension ;

(b) Si  $R_0$  est très grande par rapport à la résistance de charge, la conductance du générateur équivalent de Norton  $1/R_{Th}$  est très faible et le générateur est équivalent à un générateur de courant.

Concrètement, un générateur de courant alternatif peut être réalisé à l'aide du générateur de fonctions (qui est un générateur de tension) dont on dispose. Il suffit de lui connecter en série une résistance de forte valeur. Cependant, le fait d'augmenter indéfiniment cette résistance diminuera d'autant le courant fourni. Le courant désiré limitera donc la valeur supérieure de cette résistance.



Réalisation d'un générateur de courant à partir d'un générateur de fonctions.

## c) Généralisation aux quadripôles : mesure d'impédances d'entrée et de sortie

### Mesure de l'impédance interne d'un générateur

La mesure de la résistance interne d'un générateur est équivalente à mesurer la résistance d'un générateur équivalent de Thévenin, dont deux méthodes existent, décrites plus haut.

La méthode consistant à mesurer le courant de court-circuit n'est pas toujours applicable. Par exemple, la résistance de sortie d'un amplificateur HIFI est de l'ordre de  $0,1\Omega$ . Mettre sa sortie en court-circuit risquerait de détruire l'amplificateur de puissance qu'il contient, si ce dernier ne comporte pas de protection. De plus, la résistance interne de l'ampèremètre, même si elle est faible, ne serait plus négligeable devant la résistance de sortie de l'amplificateur et fausserait fortement la mesure. Dans cet exemple, la méthode consistant à mesurer la tension aux bornes d'une résistance de charge est plus indiquée.

### *Choix de la résistance de charge*

Pour l'application de la méthode consistant à mesurer la tension aux bornes d'une résistance de charge (connectée en sortie du générateur duquel on veut mesurer la résistance interne), se pose le choix de la valeur de cette résistance.

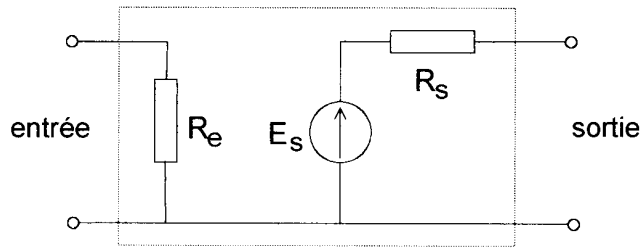
Cette résistance doit être du même ordre de grandeur que la résistance interne, c'est à dire que la tension mesurée à ses bornes doit être de l'ordre de la moitié de la tension à vide délivrée par le générateur. En effet si la résistance de charge est égale à la résistance interne, le pont diviseur de tension qu'elles forment sera de rapport  $1/2$ .

### *Influence de la résistance d'entrée du voltmètre*

Le voltmètre utilisé pour mesurer la tension nécessaire dans cette méthode, peut selon le cas perturber la mesure. Ce serait le cas si la résistance de sortie du générateur (que l'on cherche à mesurer) était très grande, c'est à dire de l'ordre de la résistance interne du voltmètre. Dans ce cas il faut connaître cette dernière (elle est indiquée sur l'appareil, ou sur sa notice), et à la limite l'utiliser comme résistance de charge : la règle du pont diviseur de tension est appliquée et la seule inconnue reste la résistance interne du générateur recherchée.

### Mesure d'une impédance d'entrée

On considère ici le cas plus général que celui du générateur étudié ci-dessus. Un système électronique peut très souvent être considéré comme un quadripôle, possédant deux bornes d'entrée et deux bornes de sortie. La plupart du temps l'entrée et la sortie possèdent une borne commune : la masse.



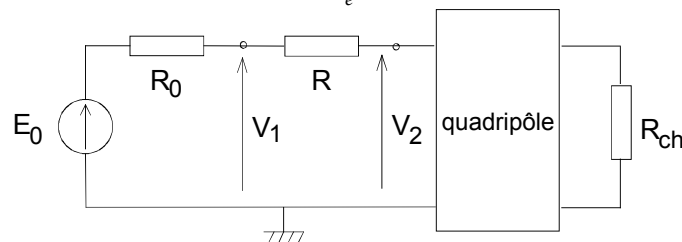
Shéma équivalent d'un quadripôle

Du point de vue de son entrée un quadripôle est équivalent à une résistance : sa résistance d'entrée. Du point de vue de sa sortie il est équivalent à un générateur de Thévenin.

**Pour mesurer l'impédance d'entrée d'un quadripôle, celui-ci doit être chargé**, c'est à dire qu'une charge doit être connectée sur sa sortie.

Le principe de la mesure est le suivant : on place en série dans l'entrée une résistance  $R$ , qui crée avec la résistance  $R_e$  un pont diviseur de tension (voir figure ci-dessous). En mesurant les potentiels aux deux bornes de cette résistance par rapport à la masse, et en utilisant la règle du pont diviseur de tension, on peut en déduire la valeur de la résistance d'entrée :

$$V_2 = \frac{R_e}{R_e + R} V_1$$



Si la résistance d'entrée  $R_e$  est faible ( $<$  quelques  $k\Omega$ ) et  $R \gg R_e$ , le générateur de tension en série avec la résistance  $R$  constituent un générateur de courant. Une fois la valeur du courant  $I$  délivré par ce générateur connue, la mesure de  $R_e$  se réduit à la mesure de la seule tension  $V_2$ , puisque  $V_2 = R_e \cdot I$ .

### Mesure d'une impédance de sortie

Les méthodes étudiées pour la mesure de l'impédance interne d'un générateur sont applicables à la mesure de l'impédance de sortie d'un quadripôle. Mais pour que les deux méthodes décrites plus haut soient applicables, il est nécessaire d'appliquer en entrée du quadripôle une tension afin qu'il puisse débiter un courant en sortie, et qu'il possède une tension à vide.

### III) Matériel, logiciels et composants électroniques utilisés

#### III.1) Appareils utilisés

Lorsque plusieurs appareils semblent a priori être utilisés pour une même mesure, le premier critère de choix est la bande passante de l'appareil : il faut s'assurer que la fréquence du signal à mesurer se trouve à l'intérieur de cette plage.

Pour une mesure d'amplitude ou de valeur efficace (les deux étant liés par un facteur  $\sqrt{2}$ ), entre un oscilloscope et un voltmètre, on choisira plutôt le dernier, qui fournit une mesure plus précise que le premier.

Les appareils utilisés lors des séances de TP-projets d'électronique sont les suivants :

##### a) Appareils de mesure :

- oscilloscope

Le modèle utilisé est le Hameg HM305. Toutes ses fonctions seront utilisées en P1/P2/I1, sauf la fonction de mémorisation numérique (STOR-MODE-HOLD...) et la sélection de déclenchement (AC-DC-LF-TV).

- voltmètre/ampèremètre continu/alternatif et ohmètre

Toutes ces fonctions sont réunies sur le modèle utilisé : Hameg HM8011-3. Un commutateur permet le réglage du calibre. La valeur indiquée pour chaque position correspond à la valeur maximale pouvant être affichée. Il faut toujours utiliser le calibre minimal : par exemple, pour afficher la valeur mesurée 1,9V, le calibre 2V donnera plus de précision que le calibre 20V.

- voltmètre alternatif à aiguille

Le modèle utilisé est le Philips PM2554. Sa bande passante est comprise entre 2Hz et 12MHz. Il s'agit d'un voltmètre à redresseur, qui ne donnera donc la valeur efficace correcte que pour une tension sinusoïdale (voir paragraphe traitant de cet aspect).

Il possède une échelle linéaire et une échelle en décibels.

Sa bande passante est beaucoup plus large que celle du voltmètre numérique Hameg.

- ampèremètre continu

Un ampèremètre continu est également disponible. Son avantage est de posséder une bande passante plus large que celle de l'ampèremètre numérique Hameg.

## **b) Générateur de fonctions**

Le générateur de fonctions utilisé dans nos TP-Projets d'électronique est le modèle Hameg HM8030-5. Il possède une sortie principale sur laquelle sont délivrés les différentes tensions, ainsi qu'une sortie délivrant un signal carré TTL (c'est à dire un signal logique, correspondant aux niveaux logiques "0" et "1". Cette dernière est destinée à la synchronisation extérieure de l'affichage de l'oscilloscope (voir paragraphe sur les modes de synchronisation de l'affichage de l'oscilloscope). Il possède également une fonction de modulation (qui permet de moduler la fréquence de la tension de sortie en fonction du temps) qui ne sera pas utilisée dans le cadre des TP-projets.

## **c) Alimentation stabilisée**

L'alimentation stabilisée utilisée est le modèle Hameg HM7062. Il peut délivrer deux tensions symétriques allant jusqu'à 32,5V (en valeur absolue), soit une d.d.p. maximale de 65V.

Ce modèle possède 2 boutons de mise en service : un bouton principal mettant l'appareil en route et permettant d'effectuer les réglages des tensions en s'aidant des afficheurs. Mais la tension n'est appliquée aux bornes de sortie que si un deuxième bouton est enfoncé, et un voyant rouge allumé. Il faut donc s'assurer que les deux boutons sont enfoncés avant de chercher toute autre cause possible de non-fonctionnement d'un montage.

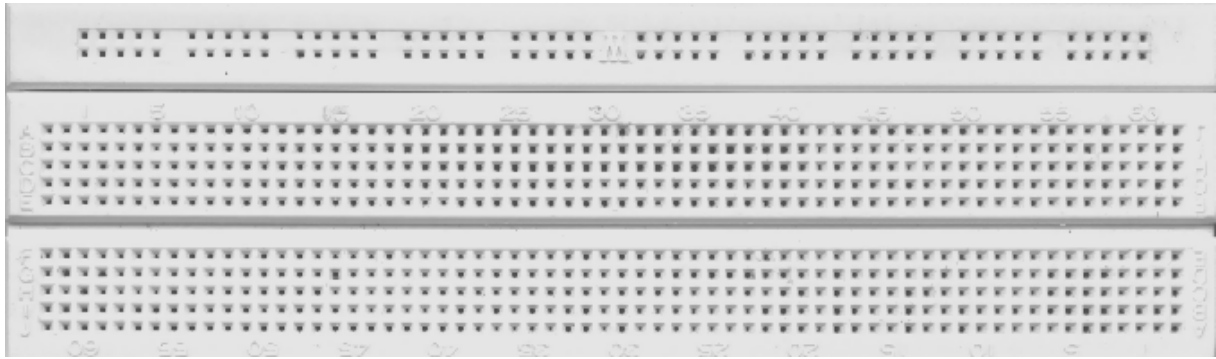
## **d) Ordinateur PC**

Ces ordinateurs sont destinés en priorité aux simulations de circuits électroniques, à la consultation de la page web élec. interne et d'informations extérieures par accès à Internet, et à la rédaction des rapports de projets d'électronique.

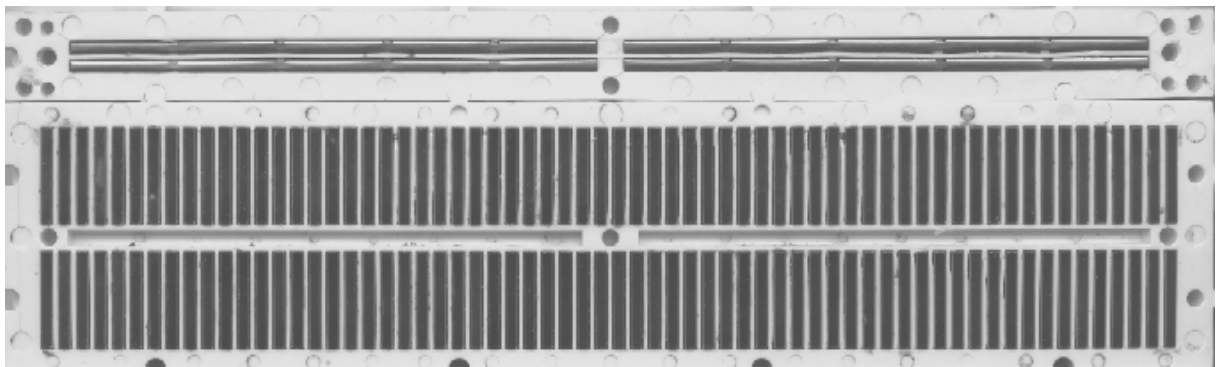
# **III.2) Plaquettes d'essai**

## **a) Plaquette à contacts**

Pour les TP et projets d'électronique nous utiliserons des *plaquettes à contacts*. Comme leur nom l'indique, elles possèdent un grand nombre de contacts, permettant l'insertion des pattes des composants, ainsi que l'extrémité de petits fils dénudés. Chaque trou de la plaquette correspond à un contact.



(a)



(b)

Plaquette à contacts recto(a)-verso(b)

La figure ci-dessus représente le recto et le verso d'une plaquette. Normalement les contacts ne sont pas apparents, une épaisseur de mousse étant collée sur le verso. Nous l'avons décollée pour comprendre comment ces contacts sont disposés.

On voit donc que les contacts sont organisés en lignes et en colonnes :

- 2 ensembles principaux de colonnes de 5 contacts adjacents (lorsque la plaquette est disposée dans le sens horizontal comme sur la figure) ;
- en 2 grandes lignes à un bord horizontal de la plaquette. Ces lignes sont identiques aux autres (elles sont simplement plus longues), mais elles sont généralement destinées à recevoir les tensions continues d'alimentation des montages réalisés : une ligne pour la masse, une pour la source positive. Lorsque l'on a besoin également d'une source négative, par exemple lorsque le circuit comporte des amplificateurs opérationnels, on peut utiliser une piste à 5 contacts comme piste d'alimentation.

Il est important de noter que les pistes d'alimentation ne font pas toute la longueur de la plaquette ; elles sont en fait au nombre de 4. Comme cela n'est pas apparent au recto de la plaquette, il faut bien penser à les relier entre elles deux-à-deux (dans le sens de la longueur) pour que l'alimentation coure le long de la plaquette.

## *Conseils et recommandations d'utilisation*

- les circuits intégrés ne peuvent être connectés qu'à cheval sur la rainure centrale ;
- plus la disposition des composants câblés est proche de celle du schéma théorique, plus le repérage des différentes connexions et des différents signaux est facile ;
- il faut éviter d'écartier les broches des transistors et des résistances variables. Ces composants sont fragiles et leurs pattes ne supportent qu'un nombre limité de pliages ;
- les fils de connexion, une fois leur emplacement définitif déterminé, seront préférablement plaqués contre la plaquette, afin d'éviter de se trouver arrachés lors du transport et de diminuer le risque de faux contacts (ce point pourra être pris en compte dans la notation, lors de la validation finale de la maquette) ;
- les pattes des composants peuvent être raccourcis si cela réduit leur encombrement, mais uniquement de façon limitée, de manière à pouvoir être ré-utilisés dans d'autres montages.

### **b) Plaque à wrapper**

Le wrapping consiste à enrouler les extrémités de fils dénudés autour des broches des composants, par utilisation d'un outil spécialisé dans cette opération.

Pour la connexion des circuits intégrés, des supports spéciaux sont utilisés.

Par rapport aux plaquettes à contacts, cette technique de câblage permet l'intégration d'un nombre supérieur de composants, mais une fois les fils enroulés, les modifications de connexions sont plus fastidieuses.

Ce manque de souplesse ne permet pas de réaliser rapidement un grand nombre de tests, et ne facilite pas le dépannage. Pour ces raisons nous n'avons pas choisi de les utiliser dans le cadre des TP-projets d'électronique.

### **c) Circuit imprimé**

Dans les appareils électronique du commerce, les composants sont soudés sur une plaquette d'un matériau dur (en général de la résine époxy), et leurs différentes broches sont reliées entre elles par des pistes de cuivre dessinées sur la plaquette, et des soudures.

Il est possible de réaliser soi-même des circuits imprimés, moyennant du matériel spécialisé. On utilise une plaquette d'époxy sur laquelle est collé une couche très fine de cuivre, elle-même recouverte d'une couche de matière photo-sensible. Un appareil de photo-gravure permet d'imprimer (sous une forme invisible à l'oeil nu) sur la couche photo-sensible le dessin des pistes du circuit à réaliser, représenté au préalable à l'aide d'une encre noire très dense sur une feuille de papier calque. Une deuxième étape de révélation permet de faire apparaître le dessin des pistes. La dernière étape consiste à projeter sur la plaquette (côté cuivre) un produit corrosif (perchlorure de fer) destiné à dissoudre le cuivre en dehors des pistes. Il reste alors à percer les trous destinés à laisser passer les pattes des composants du côté non cuivré au côté cuivré, puis à souder celles-ci sur les pistes, côté cuivre. L'étape de photo-gravure peut être remplacée par le collage de transferts représentant les pistes et des pastilles rondes directement sur le cuivre. Lors de la projection du perchlore de fer, le cuivre n'est alors attaqué qu'aux endroits où ne sont pas collés les transferts.



### III.3) Simulateurs logiciels de circuits électroniques

Le laboratoire d'électronique est équipé d'ordinateurs PC destinés de façon prioritaire à la simulation de circuits électroniques. Ces ordinateurs sont montés en réseau et les logiciels sont chargés depuis un serveur.

Le principal simulateur utilisé est Pspice.

Les fichiers d'installation de ce simulateur, ainsi que des versions de démonstration d'autres simulateurs, sont disponibles sur la page web élec. (voir paragraphe "page web élec.").

En annexe est donné un petit guide d'utilisation de Pspice.

### III.4) Composants

Les composants utilisés en TP-projets d'électronique sont les principaux composants existant. Ils se divisent en composants passifs et composants actifs :

Composants passifs :

- résistances
- condensateurs
- bobines

Composants actifs (nécessitent un apport d'énergie)

- diodes
- transistors
- circuits intégrés :
  - analogiques (principalement amplificateur opérationnel ici)
  - logiques (fonctions logiques élémentaires)

#### a) Résistances

Le mot "résistance" désignait en fait à l'origine l'action du composant sur le courant (comme "inductance" pour les bobines et "capacité" pour les condensateurs). Par abus de langage il désigne maintenant également le composant lui-même (appelé à l'origine "résistor").

Les premières résistances étaient composées de bakélite agglomérée (de couleur brunâtre). Celles-ci ont été progressivement remplacées par des résistances à couche, composées d'un bâtonnet de stéatite ou de porcelaine sur lequel est déposée une couche de **carbone** pur.

Il existe plusieurs **séries** de résistances, caractérisées par des tolérances différentes sur leur valeur réelle. Cette tolérance est une incertitude sur la valeur réelle d'une résistance, par rapport à leur valeur théorique (indiquée dessus).

*Exemple* : une résistance de  $10\text{k}\Omega$  à 5% pourra être en fait comprise entre  $10\text{k}\Omega - 5\% = 9500\Omega$  et  $10\text{k}\Omega + 5\% = 10500\Omega$ .

Plus la tolérance est faible plus le nombre de valeurs possible est grand. Le nom de la série indique le nombre de valeurs différentes existant, pour une décade (exemple : série E24 : 24 valeurs différentes, de 100 à 1000 non compris) ; toutes ces valeurs peuvent être multipliées par un multiple de 10.

Série E3 : 3 valeurs différentes pour 1 décade

100-220-470

Série E6 : 6 valeurs différentes pour 1 décade

100-150-220-330-470-680

Série E12 : 12 valeurs différentes pour 1 décade

100-120-150-180-220-270-330-390-470-  
560-680-820

Série E24 : tolérance 5% ; 24 valeurs différentes pour 1 décade

100-110-120-130-150-160-180-200-220-  
240-270-300-330-360-390-430-470-510-  
560-620-680-750-820-910

Série E96 : tolérance 1% ; 96 valeurs différentes pour 1 décade

100-102-105-107-110-113-115-118-121-  
124-127-130-133-137-140-143-147-150-  
154-158-162-165-169-174-178-182-187-  
191-196-200-205-210-215-221-226-232-  
237-243-249-255-261-267-274-280-287-  
294-301-309-316-324-332-340-348-357-  
365-374-383-392-402-412-422-432-442-  
453-464-475-487-499-511-523-536-549-  
562-576-590-604-619-634-649-665-681-  
698-715-732-750-768-787-806-825-845-  
866-887-909-931-953-976

Les résistances disponibles pour les TP/projets sont celles de la série E24.

La valeur théorique d'une résistance est indiquée dessus, au moyen de bagues de couleurs différentes, selon un code de couleurs :

#### *Code des couleurs*

0 : Noir	5 : Vert
1 : Marron	6 : Bleu
2 : Rouge	7 : Violet
3 : Orange	8 : Gris
4 : Jaune	9 : Blanc

Pour la troisième bague, le chiffre représente le nombre de zéro du coefficient multiplicateur.

*Exemple* : jaune-violet-rouge-or :  $47 \times 10^2 \Omega = 4,7 \text{ k}\Omega$  à 5% près.

Un moyen mnémotechnique pour se remémorer cette séquence est de se souvenir de la phrase suivante, dans laquelle la première lettre de chaque mot correspond à la première lettre d'une couleur :

"Ne Mangez Rien Ou Jeunez Voilà Bien Votre Grande Bêtise"

Libre à vous de trouver une phrase ayant plus de sens ! Les meilleures seront publiées dans une prochaine version.

En fait il existe 2 codes différents, selon la tolérance de la valeur de résistance :

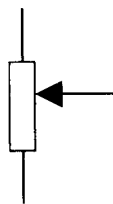
- code pour la série E24, 4 bagues : 2 bagues donnant un nombre à 2 chiffres + 1 bague donnant l'exposant de 10 constituant un coefficient multiplicateur + une bague or ou argent indiquant la tolérance (or : 5% ; argent : 10%)
- code pour la série E96, 5 ou 6 bagues ; même principe mais le nombre est indiqué par 3 bagues ; par conséquent l'exposant de 10 (4<sup>e</sup> bague) est inférieur de 1 par rapport à celui du code à 4 bagues ; la tolérance de 1% est indiquée par une 5<sup>e</sup> bague, de couleur marron ; une 6<sup>e</sup> bague éventuelle indique le coefficient de température.

*Exemple* : jaune-violet-noir-marron-marron :  $470 \times 10^1 \Omega = 4,7 \text{ k}\Omega$  à 1% près.

Enfin, les résistances peuvent se présenter sous des dimensions plus ou moins importantes. Leur dimension dépend de leur **puissance** exprimée en watts (W) : plus la dimension est grande et plus la résistance peut dissiper une chaleur importante. Les résistances utilisées dans les montages électroniques dans lesquels les tensions sont de l'ordre de quelques volts, et les courants de l'ordre de quelques mA, sont généralement des résistances 1/4 ou 1/2 W.

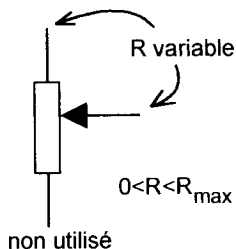
### Résistances variables

Une *résistance variable* (ou *ajustable*) comporte 3 broches : 2 correspondent aux deux bornes d'une résistance fixe, la 3<sup>e</sup> correspond à une borne en contact avec le matériau résistif, pouvant se déplacer d'une extrémité à l'autre (d'une borne à l'autre). Ce composant peut être utilisé en résistance variable proprement dite, ou en *potentiomètre*.

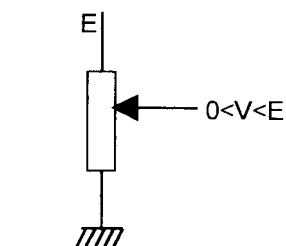
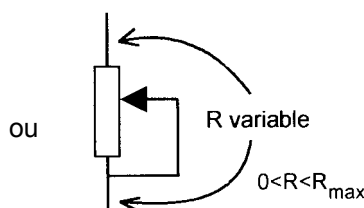


Symbole

Brochage et schéma interne



Utilisation en résistance variable  
 $R_{\max}$  est la valeur de la résistance fixe  
 (valeur indiquée sur le composant)



Utilisation en potentiomètre

Il existe des potentiomètres rotatifs et des potentiomètres linéaires (comme ceux que l'on trouve sur les tables de mixage).

La loi de variation de la résistance en fonction de la position du curseur peut être linéaire (la lettre A, pour arithmétique, est alors indiquée sur le composant) ou logarithmique (lettre L).

*Remarque* : il existe des résistances qui varient en fonction d'une caractéristique de l'environnement. C'est le cas de la résistance à *CTN* (Coefficient de Température Négatif), dont la résistance augmente quand la température environnante diminue ; il existe également des résistances *photo-électriques*, dont la résistance diminue lorsqu'elle est éclairée.

## b) Condensateurs

Un *condensateur* est constitué par deux surfaces (appelées également armatures ou plaques) métalliques placées en regard (c'est à dire parallèles et sans contact). La propriété d'un condensateur est d'**emmagasiner des charges électriques** de signes opposés sur ces deux surfaces.

Les surfaces en regard sont séparées par un **matériau diélectrique**, qui peut être de différentes natures : mica, film plastique, céramique...

L'**unité de mesure** de la capacité d'un condensateur est le farad (symbole "F"), mais les unités courantes sont des sous-multiples du farad : pico-farad ( $=10^{-12}$ F, symbol "pF"), nano-farad ( $=10^{-9}$ F, symbol "nF"), et micro-farad ( $=10^{-6}$ F, symbol "μF"). La valeur de capacité d'un condensateur est directement liée à la nature du diélectrique, la surface et la nature des armatures en regard, et la distance les séparant.

Les condensateurs sont réalisés selon différentes technologies, différences qui portent essentiellement sur la nature du diélectrique. Ceci explique la grande variabilité existant dans la forme et la taille d'un condensateur à l'autre : ils se présentent sous la forme de disques, plaquettes, perles, tubes, etc.

Les condensateurs pré-cités ne sont pas **polarisés**, dans la mesure où le sens de leur branchement dans un circuit est indifférent. Par contre, il existe des condensateurs électrochimiques, qui eux sont polarisés : ils comportent un pôle positif et un pôle négatif, et par conséquent il doit être tenu compte de leur sens de branchement. Les condensateurs électrochimiques possèdent une borne négative et une borne positive, les deux pôles étant repérés soit par les symboles "+" et "-", soit par une flèche ou une bague noire indiquant le pôle "-". Les deux bornes de ces condensateurs peuvent être côte-à-côte (sorties radiales) ou sur des côtés opposés (sorties axiales). Quand on connecte un condensateur entre 2 points dans un montage, le pôle + doit se trouver au point qui possède le potentiel continu le plus grand.

Les valeurs des capacités des condensateurs électrochimiques sont en général  $\geq 1 \mu\text{F}$ . Il existe également des condensateurs électrochimiques au tantale, se présentant le plus souvent sous forme d'une perle, d'un encombrement inférieur aux condensateurs électrochimiques "classiques" (pour une même capacité et une même tension maximale d'utilisation) ; par contre leur prix de revient est plus élevé.

Chaque condensateur possède une **tension de service**, qui représente la valeur maximale

qu'il peut admettre à ses bornes. Pour un besoin donné, une tension de service supérieure à la tension maximale réellement appliquée aux bornes du condensateur conviendra parfaitement ; cependant l'encombrement du condensateur utilisé sera plus grand. Si la tension appliquée aux bornes du condensateur est beaucoup plus grande que la tension de service, il y a risque d'éclatement.

Le **marquage** de la valeur de la capacité est différent selon le constructeur et selon la technologie.

- *Marquage en clair* :

Ex. : "10  $\mu$ F 20V" : capacité de 10  $\mu$ F, tension maximale admissible à ses bornes : 20V

- *Marquage en clair avec la valeur indiquée en pF ( $10^{-12}$ F) ou nF ( $10^{-9}$ F)*

Ex. : ".33" ou "n33" indiquent une capacité de 0.33 nF

- *Marquage en clair de la capacité avec indication de la tolérance* sur cette valeur (selon le code de tolérance décrit ci-dessous)

Ex. : "47 nK" indique 47 nF avec tolérance de 10%

- *Marquage au moyen de 3 chiffres* : les 2 premiers correspondent à une valeur, le 3<sup>e</sup> est un coefficient multiplicateur, sous la forme d'une puissance de 10.

Ex. : "151" indique une capacité de  $15 \times 10^1 = 150$  pF

- *Marquage par code de couleurs* (le même que pour les résistances). L'unité de base est alors le pico-farad.

Les valeurs de capacités possibles sont normalisées, et sont les mêmes que pour les résistances. Cependant le nombre de valeurs possibles est différent selon la gamme de valeurs :

- Pour les valeurs < 1 nF : série E12

- Pour les valeurs > 1 nF : série E6.

Code de tolérance :

C= $\pm 0,25$ pF	J= $\pm 5\%$
D= $\pm 0,5$ pF	K= $\pm 10\%$
F= $\pm 1\%$	M= $\pm 20\%$
G= $\pm 2\%$	Z=-20+80%

*Condensateurs variables*

Il existe des *condensateurs variables* (ou *ajustables*), sur lesquels une petite vis permet de faire varier la surface des plaques en regard. En modifiant cette surface, on modifie également la capacité. Le diélectrique peut être l'air ou un matériau comme le mica, qui permet d'atteindre des dimensions plus petites, cependant au détriment de la qualité.

Ces condensateurs sont utilisés notamment dans les postes de réception radio, pour faire varier la fréquence du signal reçu. La valeur de la capacité maximale est en général comprise entre 4 et 500 pF.

### c) Bobines

Une bobine est composée en général d'un grand nombre de **spires** de fil de cuivre recouvert d'une pellicule de vernis, entouré autour d'un support isolant.

Une bobine est caractérisée par son inductance : cette dernière est proportionnelle au nombre de spires, à leur diamètre, et à la longueur de la bobine. Fatalement, elle possède également une résistance, puisque tout conducteur possède une résistance plus ou moins grande. Plus le fil de cuivre utilisé aura une section importante, et plus cette résistance sera faible.

Le fait de placer un bâtonnet de ferrite à l'intérieur d'une bobine permet d'en augmenter l'inductance.

### d) Diodes

Les *diodes* sont des composants actifs (par opposition aux composants passifs que représentent les résistances, les bobines et les condensateurs), constituées de germanium ou de silicium, des matériaux semi-conducteurs (les semi-conducteurs sont des matériaux qui ne sont ni conducteurs ni isolants). Le germanium est de plus en plus délaissé au profit du silicium. Une diode est réalisée par la réunion (ou jonction) d'un élément de type "N" avec un autre élément de type "P".

Les diodes au silicium possèdent une tension de seuil (la tension à partir de laquelle elles conduisent le courant) de l'ordre de 0,6 V. Les diodes à jonction doivent être polarisées en direct, c'est à dire que l'anode doit être à un potentiel supérieur à celui de la cathode (de 0,6 V environ) pour que le courant y circule.

Sur le composant, la cathode est généralement repérée par une bague noire.

#### *Diodes Zener*

Les diodes Zener sont utilisées en polarisation inverse. Dans une diode Zener, l'anode doit être à un potentiel inférieur à celui de la cathode ; la différence de potentiel minimale pour que la diode soit passante peut être différente d'un composant à l'autre : il existe de nombreuses valeurs pour cette d.d.p., appelée "tension Zener". Cette caractéristique est utilisée principalement pour la régulation de tension.

#### *Diodes électro-luminescentes (DEL)*

Les diodes électro-luminescentes permettent de réaliser des témoins lumineux à faible consommation : elles émettent de l'énergie lumineuse lorsqu'elles sont parcourues par un courant. Elles sont également appelées LED, pour "Light-Emitting Diode". Elles sont composées d'arsénure de gallium ou de phosphore de gallium : selon le matériau employé, on peut obtenir une émission rouge, verte ou jaune.

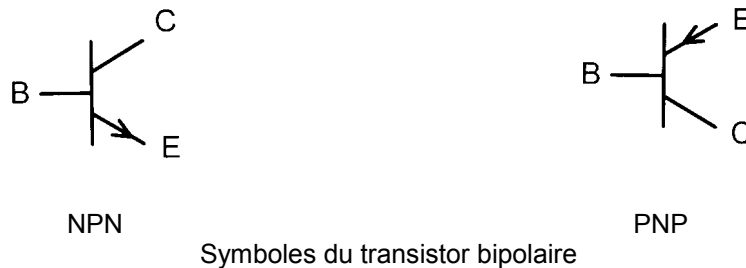
## e) Transistors

Un *transistor* est un composant actif constitué par trois couches de silicium, alternativement de type "N" et "P" : il existe des transistors dits "NPN" et d'autres dits "PNP". Les transistors sont des tripôles : ils possèdent donc 3 bornes. La couche centrale s'appelle généralement la "base", les deux autres le "collecteur" et l'"émetteur".

Dans les transistors de type NPN, le courant circule du collecteur vers l'émetteur (sens conventionnel) ; dans les transistors de type PNP, il circule de l'émetteur vers le collecteur. Le sens du courant est symbolisé par le sens d'une flèche placée au niveau de l'émetteur.

Les fabricants encapsulent leurs transistors dans des boîtiers de différents types, en métal ou en résine époxy. Ces boîtiers sont de différentes formes et différentes tailles selon qu'il s'agit de transistors faibles signaux ou de transistors de puissance. Les fiches techniques publiées par les constructeurs indiquent le brochage des transistors.

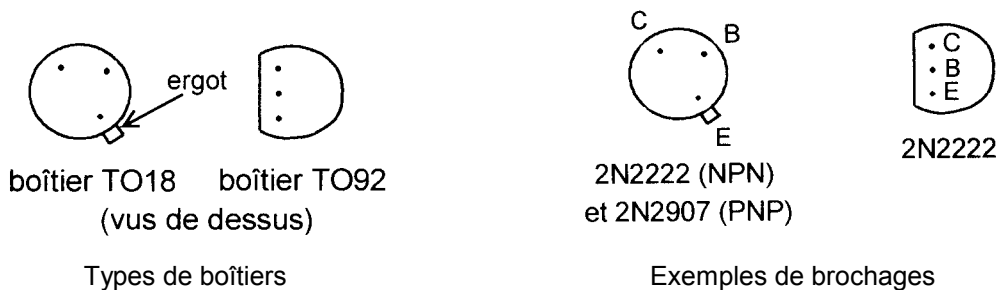
Du fait de la multiplicité des fabricants, un transistor admet la plupart du temps de nombreux équivalents.



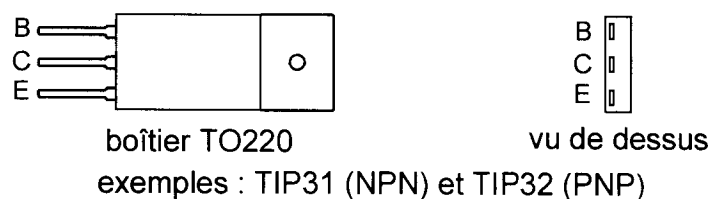
Les transistors décrits ci-dessus sont appelés *transistors bipolaires*. On rencontre également des *transistors à effet de champ* (TEC, ou FET pour Field Effect Transistor), possédant trois électrodes comme les transistors bipolaires : la grille "G" ou porte, le drain "D" correspondant au collecteur et la source "S" à l'émetteur. Les transistors à effet de champ présentent une fragilité aux champs électrostatiques plus grande que les transistors bipolaires.

Ci-dessous sont donnés quelques exemples de brochages des transistors les plus utilisés en TP/projets :

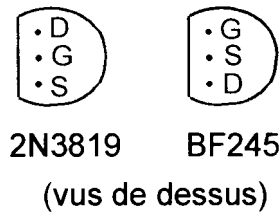
*Transistors bipolaires :*



*Transistors bipolaires de puissance :*



*Transistors à effet de champ :*



## f) Circuits intégrés

Les techniques d'intégration ont évolué progressivement depuis l'apparition des premiers transistors, pour aboutir entre autres aux micro-processeurs ultra-rapides et les mémoires de plusieurs méga-octets que l'on connaît aujourd'hui. On peut séparer les *circuits-intégrés* existant en deux groupes : les *circuits analogiques* et les *circuits logiques*. Les premiers utilisent des transistors en régime linéaire et les seconds des transistors en régime de commutation (tout-ou-rien, bloqué-saturé).

Les circuits-intégrés utilisés en TP/projets comportent 8, 14 ou 16 broches. L'écartement entre les broches est normalisé : le pas (l'espace entre deux broches adjacentes) est égal à 2,54mm.

## g) Autres composants utilisés

*Haut-parleur*

Un *haut-parleur* permet de transformer signaux électriques en signaux audibles, c'est à dire en variations de la pression de l'air. Il comporte une membrane de papier en forme de cône fixée par son bord extérieur sur un bâti. Le bord central du cône est fixé à une bobine mobile pouvant se déplacer le long d'un axe central solidaire du bâti. Lorsqu'une tension alternative est appliquée aux borne de la bobine mobile, celle-ci se déplace au même rythme que le signal, générant des vibrations de l'air audibles.

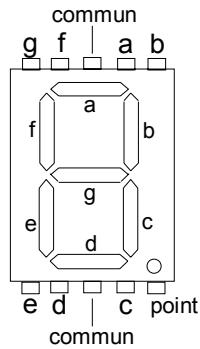
Un haut-parleur se caractérise entre autres par sa bande passante, c'est à dire la bande de fréquences pour lesquelles la membrane peut vibrer. Elle se caractérise également par son impédance interne, généralement égale à  $8 \Omega$  (qui représente une valeur moyenne en fonction de la fréquence, puisque l'impédance d'une bobine dépend de la fréquence).

*Afficheur 7 segments*

Un afficheur 7 segments est composés de petits segments permettant d'afficher les 10 chiffres de 0 à 9. Souvent ils comportent également un point, pour symboliser la virgule lorsque l'on en utilise plusieurs.

Chaque segment est constitué par une diode électroluminescente (DEL). Il existe des afficheurs à cathodes communes, et d'autres à anodes communes. Ceux que l'on utilise en TP-projets sont à cathodes communes. Ils se présentent de la manière suivante :





La broche "commun" doit être reliée à la masse (celle du bas suffit). L'afficheur ne doit pas être connecté directement en sortie des circuits intégrés, mais au moyen de résistances de quelques centaines d'ohms. En effet on ne peut pas appliquer directement 5V aux bornes d'une diode, sous peine de la détruire. Cependant, dans le cas où cette tension de 5V serait celle présente en sortie d'un circuit intégré, les DEL pourraient survivre à l'opération car le courant que peuvent fournir ces circuits est souvent limité à des valeurs supportables par les DEL. Néanmoins il faut réduire ce courant à des valeurs adéquates, au moyen de résistances. Une résistance doit être utilisée pour chaque segment.

### *Régulateur de tension*

Le rôle d'un régulateur de tension est de fournir une tension régulée, c'est à dire stable et de valeur précise. Par exemple, le 7805 fournit une tension continue de 5V, quand on lui applique en entrée une tension continue par exemple égale à 9V.

Il se présente sous la forme d'un composant à 3 broches dont les fonctions sont les suivantes :

- broche d'**entrée** sur laquelle doit être appliquée une tension d'entrée comprise entre deux limites acceptables par le composant (indiquées sur sa fiche technique) ;
- broche de **sortie** sur laquelle est présente la tension régulée ;
- broche pour la **masse** commune à l'entrée et à la sortie

### *Relais*

Un *relais* permet d'actionner un contact à l'aide d'une commande électrique. Il comporte un électro-aimant constitué d'un noyau de fer doux et d'une bobine de fil de cuivre entouré autour. En regard de cet électro-aimant se trouve un contact électrique dont une partie mobile est attirée par l'électro-aimant lorsque celui-ci est parcouru par un courant. Le contact peut ainsi être ouvert ou fermé, selon que la bobine est excitée ou non. Plusieurs contacts peuvent ainsi être actionnés simultanément.

## **III.5) Terre et masse**

Deux notions apparaissent fréquemment en électricité, et a fortiori en électronique : la masse et la terre.

La **masse** est la référence des potentiels d'un bloc d'alimentation, d'un appareil

d'expérimentation ou d'un circuit électronique : c'est le "zéro-Volt". La **terre** sous-entend "le potentiel de la terre", c'est à dire celui du sol sur lequel on se tient, des objets qui y sont posés au moyen de supports non-isolants, et celui auquel notre corps se trouve si nos semelles ne sont pas trop isolantes non plus. En général, la masse est reliée à la terre, pour une raison très simple : si le zéro-Volt d'un montage n'est pas au potentiel de la terre, tout contact entre cette référence (le 0V) et un objet relié à la terre (entre autres le corps humain) constituera un court-circuit entre les deux, parcouru par un courant plus ou moins important (selon la différence de potentiel et la résistance du contact). Plus la différence de potentiel entre la terre et la masse est grande, plus le danger est important. La plupart des appareils modernes ont leur masse reliée à la terre, par l'intermédiaire de la borne mâle des prises du secteur.

## IV) Les TP et projets d'électronique

Les modalités décrites dans ce qui suit concernent l'année académique 2001-2002. Elles pourront varier d'une année à l'autre.

### IV.1) L'approche "projets"

Le fait d'aborder la pratique de l'électronique sous forme de petits projets permet de travailler sur des **applications vraiment concrètes** pouvant s'avérer motivantes, même pour des élèves ne se destinant pas à travailler dans l'électronique plus tard.

Un inconvénient de cette approche est que les élèves ne parviennent généralement **pas tous au résultat final**. Ceci est tout à fait normal : arriver au résultat final se traduit par une note de 20/20 sur la note "montage", et il est logique que tous les élèves n'aient pas cette note. C'est vrai qu'il est frustrant pour n'importe qui de travailler 3 ou 5 séances (plus le travail en dehors des séances) sur un montage pour le démonter au final en 5 mn, sans avoir vu fonctionner l'application complète. Mais **c'est l'approche "projets" qui veut ça**, et il faut se satisfaire du positif, c'est à dire des parties qui fonctionnent, et regarder les démonstrations de fonctionnement des élèves qui eux sont parvenus au résultat final.

Il est donc important de garder à l'esprit cet aspect des choses, pour ne pas avoir de déception si tout ne fonctionne pas, car on peut terminer un projet avec une note tout à fait correcte sans avoir fait fonctionner l'application finale.

### IV.2) Dépannage des montages

Le dépannage d'un montage fait **partie intégrante de la phase de développement**. Il est très rare qu'un montage fonctionne du premier coup. Il ne faut surtout pas se décourager quand ça n'est pas le cas. L'auteur du livre "Un coup ça marche, un coup ça marche pas !" (référence à la fin du guide) fait part de son expérience en matière de dépannage et montre qu'avec de la méthode il est toujours possible de localiser une panne et d'y remédier.

Quand vous câblez un montage électronique, plus le nombre de composants est important et plus le risque de pannes est grand. Ca n'est qu'une affaire de probabilités ! Mais ces pannes ne sont pas l'apanage des montages électroniques. En informatique, lorsque l'on tape des

lignes de code à partir d'un algorithme écrit sur papier, il est très rare que le programme fonctionne du premier coup.

### a) Cause possibles de pannes

Les principales causes de pannes possibles sont les suivantes :

- Défaut d'alimentation

Une porte logique, un montage amplificateur à transistor ou un amplificateur opérationnel nécessitent un apport d'énergie pour que leur fonctionnement corresponde à celui qui est étudié en théorie. Cet énergie est apportée par un circuit d'alimentation. Dans le cas des TP-projets d'électronique, on utilise un bloc d'alimentation indépendant situé sur les paillasses.

Par exemple, quand un circuit intégré ne semble pas fonctionner correctement, posez-vous d'abord la question : "Est-ce que ce circuit est bien alimenté?". Pour répondre à cette question, il n'est pas suffisant de regarder si la tension l'alimentation est bien présente sur la ligne que vous avez réservée pour cela, et de constater qu'un fil relie cette ligne à la patte d'alimentation de votre circuit intégré. Non, il faut vérifier que la tension d'alimentation est bien présente sur la patte d'alimentation de votre circuit intégré.

Cette vérification d'alimentation correcte comporte bien sûr la vérification que la patte GND (pour GrouND) ou Vss du circuit intégré est bien à la masse de l'ensemble du montage, c'est à dire au 0V de l'alimentation !

- Faux contacts

Les faux contacts sont des contacts qui paraissent bons mais en fait ne le sont pas. Ils peuvent se situer à différents endroits :

- **fils coupés**  à l'intérieur de leur gaine isolante : en effet, à force d'être manipulés, au bout d'un moment ils cassent.
- **plaquette défectueuse**  : à force d'être manipulées et transportées (dans des conditions plus ou moins bonnes), la partie autocollante qui maintient les contacts des plaquettes peut se détacher ; les contacts s'écartent alors et s'enfoncent, et les fils ne se trouvent plus coincés par eux.

Pour localiser les éventuels faux contacts et y remédier, il faut suivre les signaux depuis leur point de départ jusqu'à leur point d'arrivée. Par exemple, quand un signal sort d'un module amplificateur à amplificateur opérationnel pour entrer dans un circuit logique, il faut suivre le cheminement du signal de la patte du circuit intégré comportant l'amplificateur opérationnel, jusqu'à la patte du circuit intégré logique.

- Composant défectueux

Voici quelques pistes pouvant vous aider à détecter un composant défectueux :

*-circuits intégrés* : une fois que vous avez vérifié qu'un circuit intégré est bien alimenté et que le ou les signaux d'entrée sont corrects, alors vous pouvez en tester un autre à la place. Certains binômes n'ont parfois pas de chance et tombent à nouveau sur un composant

défectueux (parfois même une troisième fois !). Il faut bien être conscient que certains de circuits intégrés que vous aurez auront déjà servi. Là encore c'est une affaire de probabilités.

-résistances : lorsqu'une résistance est défectueuse, en général c'est qu'un courant trop important l'a parcouru ; elle est alors noircie.

En cas de doute sur la valeur d'une résistance (couleurs mal définies, oubli du code des couleurs), il suffit de mesurer sa valeur à l'ohm-mètre. On utilise alors le calibre le plus petit permettant la mesure, pour avoir une précision maximale. Pour cette mesure il est indispensable de déconnecter la résistance du circuit dans lequel elle pourrait se trouver.

-condensateurs : un condensateur peut éclater si la tension appliquée à ses bornes dépasse la valeur de tension indiquée dessus, ou dans le cas d'un condensateur polarisé s'il est polarisé en inverse. Dans ce cas la question de fonctionnement ou non à son propos ne se pose même plus. Parfois il existe une protection, sous la forme d'un petit trou servant de soupape de sécurité, laissant s'échapper une substance gazeuse.

- diodes : il doit être clair pour vous que si vous connectez directement une diode simple par exemple sur le 5V (par rapport à la masse) sa jonction va claquer. En effet, il suffit de regarder la forme de sa relation courant-tension pour voir que 5V correspond à un courant tendant vers l'infini. Pour les mêmes raisons que la diode simple, une diode électroluminescente (LED) soumise au même traitement sera d'abord très lumineuse, puis s'éteindra à tout jamais. Pour tester une LED, il faut la polariser, c'est à dire utiliser une tension l'alimentation et une résistance, cette dernière étant calculée de manière à ajuster le courant à une valeur optimale pour la LED (de 5 mA à 25 mA selon le modèle). La tension présente aux bornes de la LED quand elle est en fonctionnement est de l'ordre de 2V. La procédure de test dans le cas d'une diode simple est similaire. Les diodes au silicium possèdent une tension de seuil égale à 0,6V ; on doit donc retrouver cette tension quand la diode est polarisée.

L'oscilloscope utilisé en TP/projets possède une fonction de test des diodes ("COMP TESTER"). Pour les détails de la mesure on se reportera à la notice de l'appareil.

-transistors : quand un transistor fonctionne, il existe une tension égale à 0,6V entre son émetteur et sa base. Pour le tester isolément du montage, on peut utiliser un montage amplificateur (par exemple émetteur commun) et vérifier qu'il y a bien amplification.

L'oscilloscope permet également de tester les transistors (voir ci-dessus).

-amplificateurs opérationnels : Il faut d'abord alimenter l'amplificateur opérationnel, c'est à dire par une source positive et une source négative, de valeurs symétriques par rapport à 0. On réalise ensuite un montage suiveur, c'est à dire qu'on relie l'entrée inverseuse (-) à la sortie, et on effectue deux tests : un test du régime statique et un test du régime dynamique :

- *test du régime statique* : l'entrée non-inverseuse est reliée à la masse ; la sortie doit donc être égale à la tension d'offset, qui ne doit pas dépasser quelques millivolts.

- *test du régime dynamique* : on injecte un signal quelconque (d'amplitude raisonnable) en entrée (entrée non-inverseuse) ; on doit pouvoir observer le même signal en sortie.

- Circuits logiques : Le circuit intégré étant alimenté (par une seule source positive), pour les fonctions simples (AND, NAND, OR, NOR, XOR,...) il suffit de vérifier la table de vérité, sachant que le niveau logique 0 correspondra à 0V et le niveau 1 à la tension d'alimentation.

## **b) Méthodes de dépannage**

La méthode de dépannage d'un montage électronique la plus adaptée est également la plus intuitive. La plupart des montages comportent des chaînes de traitement, dans laquelle un signal d'entrée est progressivement traité, ceci jusqu'à la sortie. Cette chaîne est en fait constituée de quadripôles connectés en cascade (c'est à dire que la sortie de chacun est connectée à l'entrée d'un autre). L'approche intuitive est de commencer à tester le montage par le commencement, c'est à dire par la premier étage de traitement. Puis de **progresser** vers la sortie pour déterminer à quel endroit de la chaîne réside le problème.

Les montages sont également en général **modulaires**, c'est à dire composés de blocs (que met en évidence le schéma fonctionnel du montage). Il faut donc prévoir de tester chaque bloc séparément du reste du montage. Cela se limite la plupart du temps à déconnecter le fil d'entrée et le fil de sortie. On utilise alors un générateur de fonctions pour avoir un signal d'entrée bien connu, et dont on peut ajuster les paramètres (amplitude, fréquence...) à son gré.

## **IV.3) Page web élec.**

Nous avons mis en place une page web destinée entre autres à faciliter aux élèves l'accès à certaines informations. Il s'agit d'une première version ; elle est sujette à amélioration permanente.

On y trouve pour l'instant :

- les fiches techniques des principaux composants utilisés lors des projets, au format .pdf
- des programmes de simulation téléchargeables en freeware, shareware ou version démo
- des liens vers des sites de fabricants de composants

des liens vers des sites variés traitant de l'électronique

## IV.4) Modalités de déroulement

### a) Volume horaire annuel

Les volumes horaires consacrés aux TP-projets d'électronique sont :

- P1, P2 : 80 heures dont 60 encadrées
- I'1 : 56 heures dont 44 encadrées
- P'2 : 3 séances d'initiation de 2 heures chacune

Les heures encadrées correspondent aux séances à dates et horaires fixes effectuées en présence de 2 enseignants. Les heures non encadrées correspondent au travail personnel en dehors de ces séances. L'objectif de ces heures non encadrées est de vous permettre de **développer une certaine autonomie**.

Le travail effectué lors des séances n'est pas suffisant pour terminer complètement un projet. Il est important de penser à l'avance à ce travail non-encadré et prévoir des créneaux horaires, pour ne pas être pris au dépourvu en fin de projet. Penser à ce travail à l'avance, c'est également récupérer le plus d'informations possibles lors des séances encadrées, et profiter au maximum de la présence des enseignants.

### b) Objectifs des TP-Projets d'électronique

Un des objectifs des TP-projets d'électronique de P1-P2-I'1 est d'aborder l'**électronique par la pratique**. Cette approche est complémentaire avec l'approche abordée lors des cours et des Travaux Dirigés (TD). En cours et TD, on étudie des notions théoriques, puis quelques exemples d'applications pratiques. En TP-projets, on met au point un montage, et on utilise les notions théoriques dont on a besoin pour un développement et un résultat optimal.

Certaines notions sont même parfois abordées en TP avant d'être abordées en cours et TD, comme les compteurs dans le cas du télémètre à ultra-sons en P2. Mais à chaque fois que cette situation se présente, les informations théoriques utiles vous sont données.

Le fait d'aborder une notion nouvelle par la pratique permet souvent une meilleure assimilation lorsque les aspects théoriques de cette même notion sont abordés par la suite. Cela permet de rattacher une notion théorique avec quelque chose de concret.

Un autre objectif des TP-projets d'électronique est de donner une première approche de la production industrielle. Le coût de production (c'est à dire le prix de revient de la production d'un très grand nombre d'exemplaires de ces montages) des montages mis au point dans le cadre de ces projets, constitue une contrainte à respecter. Cette dernière impose par exemple d'éviter d'utiliser des résistances ajustables : elles coûtent plus cher que les résistances fixes, et elles nécessitent un réglage par un opérateur en fin de chaîne de fabrication, ce qui augmente encore plus leur prix de revient. Il en est de même pour tout élément ajustable.

### c) Déroulement des séances

#### Discipline et respect du travail des autres

Un minimum de discipline est nécessaire lors des séances de TP-projets. L'objectif

principal d'une telle discipline est de créer des conditions de travail propices à la concentration des étudiants, leur permettant de profiter le mieux possible des 4 heures que durent les séances, pour effectuer tout le travail demandé. Il est fait appel au bon sens de chacun sur le volume sonore à adopter lors des discussions ayant lieu à l'intérieur de chaque binôme, et a fortiori à l'extérieur, pour ce respect élémentaire. De plus, les déplacements d'une paillasse à l'autre devront rester exceptionnels.

### Séances de prise en main des appareils

Les premières séances ont pour but de se familiariser avec les appareils et les méthodes de mesure électronique.

### Composants nécessaires à une séance de TP ou à un projet

Les composants passifs standards (résistances et condensateurs) sont en accès libre dans la salle de Travaux Pratiques. Ils sont en quantité limitée, vous êtes donc priés de ne prendre que le nombre de composants dont vous avez vraiment besoin. Lorsqu'un tiroir est vide, il faut le signaler aux enseignants pour que ceux-ci le réapprovisionnent à partir du stock auquel ils ont accès (situé dans un placard de la salle). L'accès à ce placard est réservé aux enseignants. Il existe dans l'école des stocks plus importants, mais ceux-ci sont à accès réservé au responsable des TP et à la personne chargée de la maintenance des laboratoires. Le stock accessible aux enseignants est réapprovisionné dès que le besoin s'en fait sentir.

Pour les composants plus spécifiques (composants actifs : transistors, circuits intégrés...), ils sont distribués au début des séances. Lorsque les montages comportent des parties pour lesquelles la solution retenue est laissée au libre choix des élèves, les composants spécifiques supplémentaires nécessaires doivent être demandés aux enseignants.

### Présentation orale et prise de notes

En général, chaque séance de TP ou de projet commence par une présentation orale faite par un enseignant, d'environ 30 mn. Cette présentation est destinée à donner des **explications** et des **informations complémentaires** à l'énoncé écrit du sujet, sur la séance du jour.

L'assistance à ces présentations est obligatoire. De plus, il est très important de savoir prendre des notes correctement. L'occasion se présentera constamment lors de votre vie d'étudiant mais aussi lors de votre vie professionnelle, où il sera **indispensable de prendre des notes**. Pour cette raison, ainsi que pour vous aider dans l'avancement des projets, il vous est demandé de prendre systématiquement des notes lors des présentations orales.

Prendre des notes, c'est exploiter la manière dont la mémoire fonctionne. Pour mémoriser une information nouvelle, il est souvent nécessaire de l'apprendre plusieurs fois. Dans le cas d'informations données oralement, seule la prise de notes peut permettre l'assimilation de la totalité de ces informations, même si chacune d'entre elles semble mémorisée sur le moment.

### Pause

Une pause de 15mn est autorisée à la mi-séance. En dehors de cette pause, il est possible

de sortir de la salle mais il faut demander la permission aux enseignants.

### Documents et rappels théoriques

Des rappels théoriques sont parfois fournis en accompagnement des sujets de TP/Projets, quand cela peut s'avérer utile pour la séance du jour. Ces informations théoriques peuvent même porter sur des notions n'ayant pas encore été abordées ni en cours ni en Travaux Dirigés.

### Association en binômes

Le travail s'effectue en binôme. Les binômes doivent rester figés pour toute la durée d'un projet (sauf en cas de situation exceptionnelle). Il est possible de changer de binôme d'un projet à l'autre, mais avec l'accord des enseignants.

### Méthodes de travail

- *Cahier de laboratoire*

Il est fortement conseillé aux élèves de se constituer un cahier de laboratoire.

L'expression "cahier de laboratoire" est utilisé pour désigner les différentes notes, schémas et autres calculs effectués tout au long de la réalisation d'un montage (même en version brouillon, du moment que c'est lisible facilement) dans le cadre d'un projet. Même s'il ne s'agit pas vraiment d'un cahier, cette expression désigne un classement chronologique des notes prises, pour permettre de les retrouver facilement. Une telle **compilation de notes** est indispensable, pour relever les informations qui ne figureraient pas dans les documentations fournies, les calculs ayant permis de déterminer les éléments du montage (valeurs de résistances, capacités, résultats des mesures des modules étudiés séparément, ...). Il peut permettre de ne pas commettre deux fois les mêmes erreurs. En effet, il est bien connu que pour progresser, le plus important n'est pas de ne pas commettre d'erreurs, mais c'est de chercher à ne pas reproduire celle que l'on a faites.

Cette prise de notes peut constituer en outre une ébauche de rapport, permettant un gain de temps sur la rédaction de ce dernier ; elle est donc gage d'efficacité.

En résumé, le but du cahier de laboratoire est de permettre un travail plus efficace, c'est à dire dans lequel le temps disponible pour la réalisation d'un montage est géré de manière optimale.

- *Travail d'équipe*

L'association en binômes doit permettre aux étudiants de mettre en place un travail d'équipe, avec une répartition des tâches apte à favoriser l'efficacité (c'est à dire permettant d'obtenir les résultats recherchés dans le temps imparti, voire plus rapidement). Les sujets de TP-projets sont élaborés de façon à inciter une telle répartition des tâches au sein d'un binôme. La quantité de travail qu'ils comportent correspond à la participation **active** des deux



membres du binôme. Mais travailler en équipe ne signifie pas se cantonner à une unique partie du travail : même si chaque élève peut à un moment ou à un autre se **spécialiser** dans une partie donnée de l'expérimentation, il doit se tenir **informé** du travail de son collègue, et être capable de reproduire une expérimentation, ou expliquer un résultat théorique qu'il n'a pas lui-même effectué. Pour favoriser cette méthode de travail, l'évaluation du travail effectué par les étudiants sera individualisée, mais portera indifféremment sur tous les aspects du montage.

Un autre phénomène peut se produire lorsqu'il y a une différence importante de niveau initial entre les étudiants d'un même binôme (différence due à un cursus pré-EFREI différent, à une différence de motivation pour l'électronique, etc), qui peut apparaître lorsque l'étudiant le plus avancé est très actif, et l'autre moins : il s'agit d'un "décrochage", qui fait que la différence de niveau initiale s'accroît. Pour éviter ce phénomène, l'étudiant de niveau le plus avancé doit chercher à être pédagogue envers son collègue, et ce dernier doit augmenter sa participation et faire l'effort de suivre au plus près le travail du premier.

Le travail en équipe n'a d'intérêt ici que s'il permet d'atténuer des différences de niveaux initiales, et lorsque l'élève possédant le niveau initial supérieur "tire vers le haut" le niveau moyen du binôme. Il est de même dans le cas d'une équipe en général. Le fait d'avoir dans son équipe un élève plus avancé dans la matière concernée doit être perçu comme une chance, et exploité.

#### **d) Prêt de matériel**

Pour les projets (qui s'étalent sur plusieurs séances), le petit matériel d'expérimentation est prêté à chaque binôme. L'objectif est de vous permettre de pouvoir utiliser les appareils du laboratoire d'électronique en dehors des séances de TP/projets.

Ce matériel est composé de :

- 2 sondes
- plaquettes d'essai à contacts ; 2 en P1 ; 3 en P2 et I'1
- 1 pince coupante
- 1 pince plate
- 1 pince à dénuder
- 1 petit tourne-vis
- 3 fiches banane à pince arrière (permettant de bloquer des petits fils)
- un câble BNC-crocodile

Ce matériel doit être restitué par les élèves de P2 et P1 en fin d'année (mi-juin) et par les élèves de I'1 à la fin de leurs TP (mi-décembre).

Pour être sûr de ne rien perdre ni rien oublier, il est important de noter cette liste sur une feuille. Ce matériel devra être restitué dans son état d'origine.

Nous vous conseillons de trouver une boîte de rangement adéquate pour ce matériel. D'une part elle vous permettra de le protéger et de le restituer dans de bonnes conditions en fin d'année ; d'autre part elle diminuera les risques d'apparition de faux contacts dans le montage après le transport. Le plastique à bulles est une bonne solution pour atténuer les chocs lors du transport.

Nous ne pouvons pas tester entièrement le matériel d'une année sur l'autre. Dans le cas où

un élément serait défectueux, il vous sera remplacé sur simple demande auprès de vos enseignants.

### e) Evaluation des TP-projets

L'évaluation des étudiants est effectuée par les enseignants ayant encadré leur groupe. Ceci concerne la correction des comptes-rendus de TP et de projets, des rapports de projets, et la validation des montages.

- **Comptes-rendus de travaux pratiques et de projets**

Les réponses apportées aux questions des compte-rendus de TP et projets doivent être **claires** et **concises**. En moyenne 2 ou 3 phrases permettent en général de répondre complètement à chaque question. Il faut éviter le hors-sujet, car celui-ci n'apporterait pas de points supplémentaires et constituerait donc une perte de temps. La rédaction doit être soignée, sur copies doubles, et au stylo. Ces différents aspects du compte-rendu seront pris en compte, dans une limite de quelques points, dans la notation du compte-rendu. Les **fautes d'orthographe** entreront également dans la notation lorsqu'elles seront trop nombreuses.

Les comptes-rendus sont ramassés à la fin de chaque séance.

La **recopie** d'une réponse à une question sur un autre compte-rendu sera **sanctionnée**. La détection de la recopie s'effectue de plusieurs façons :

- lors de la correction, la détection d'une réponse identique (dans sa rédaction) sur les comptes-rendus de binômes différents ne sera pas validée, c'est à dire sera considérée comme fautive et des points seront retirés ;
- pendant la séance, l'enseignant contrôle la rédaction des compte-rendus, et demande régulièrement qu'une manipulation soit refaite devant lui. Si les deux étudiants du binôme ne sont pas capables de reproduire cette manipulation, la réponse à la question n'est pas validée. L'objectif de cette vérification n'est pas uniquement de décourager la tricherie, il est également de favoriser la communication au sein d'un même binôme, de façon à ce qu'un étudiant ayant compris une manipulation fasse profiter son collègue de cette connaissance acquise.

- **Validation des projets**

Ce qu'on appelle "validation" des projets est la vérification du fonctionnement de la maquette par un enseignant et la notation, en fonction d'un barème. Cette vérification est effectuée tout au long du déroulement du projet : elle comporte des validations partielles et une validation finale.

Les **validations partielles** ont pour objectif de vous apprendre à fixer des objectifs partiels lors de la conduite d'un projet. En effet, le temps passe toujours trop vite, et même semble s'accélérer en fin de projet. Dans tout projet, il est important de bien gérer le temps, en fixant un échéancier à l'avance et en s'efforçant de le respecter. Les validations partielles ont pour but de vous aider à vous organiser, et d'augmenter vos chances de parvenir à une maquette opérationnelle lors de la validation finale.

La **validation finale** des projets se fait sur une durée limitée (15 mn) : lors du passage des

enseignants pour la validation, tout doit être prêt pour que les mesures soient reproduites. Il s'agit d'une démonstration, et l'accent est mis sur l'aspect "communication du travail réalisé et des résultats obtenus" à une personne extérieure, c'est à dire ne connaissant pas le montage mais possédant un niveau de connaissances suffisant pour comprendre son fonctionnement. Lors de cette démonstration, ainsi que dans la rédaction du rapport de projet, il faudra faire attention aux termes utilisés. Les abus de langage, nombreux en électronique ("capa", "condo", etc), sont pratiques pour se faire comprendre dans la phase de développement. Par contre, ils doivent être bannis lors de la démonstration (phase plus formelle). De plus, on ne peut se permettre de les utiliser que si l'on connaît les termes exacts !

### Différentes parties de la validation

La validation finale comporte les étapes suivantes :

- présentation de la maquette
- interrogation orale comprenant :
  - une présentation du montage par chacun des élèves
  - des questions
  - un contrôle du cahier de laboratoire
- remise d'un rapport

### *Présentation de la maquette*

La présentation de la maquette consiste en une démonstration ("demo") du fonctionnement des modules séparés et du fonctionnement global, c'est à dire une fois les modules interconnectés. Cette démonstration doit comprendre les mesures permettant de vérifier la conformité du montage avec le cahier des charges.

### *Interrogation orale*

Les questions porteront sur le montage et sur les documents rédigés par les enseignants, documents dont le contenu est sensé être assimilé.

### *Remise d'un rapport*

La validation comporte également la remise d'un rapport de projet. La note du rapport sera dotée d'un coefficient inférieur à 1, par rapport à la note de la validation proprement dite.

### Déroulement de la validation

- par binômes
- ordre de passage tiré au sort
- la note est mise à l'issue de la validation des résultats obtenus par le binôme. Si la maquette ne fonctionne pas totalement lors de la validation, le fonctionnement peut être amélioré jusqu'à la fin de la séance (ceci pour ne pas pénaliser les binômes pour

lesquels la validation intervient en début de séance). Il appartient alors aux binômes concernés de solliciter les enseignants dès que le fonctionnement de la maquette est amélioré, pour compléter la note.

### Note finale

La *note finale* est la moyenne des notes partielles. Le coefficient de chaque note partielle pour le calcul de la note finale peut varier d'un projet à l'autre. Une partie importante des points est affectée au fonctionnement du montage.

- **Rapport de projet**

Tout projet comporte un rapport de projet. Dans le cas des projets d'électronique, son objectif est de donner le maximum d'informations sur un minimum de place pour décrire le fonctionnement d'un montage. Un guide de rédaction de rapport est donné en annexe.

- **Interrogations écrites de TP**

Les TP et projets donnent également lieu à une ou plusieurs interrogation(s) écrite(s) de 30 mn. Celle(s)-ci porte(nt) sur le programme abordé lors des séances :

- réponses aux questions des comptes-rendus
- informations données lors des présentations orales
- documents écrits distribués dans le cadre des TP/projets
- programme abordé lors des cours/TD ayant précédé cette interrogation.

En P1 les interrogations ne seront pas forcément associées à la validation d'un projet, mais auront lieu au rythme d'**une par trimestre au minimum**.

- **Absences**

En cas d'absence **justifiée** lors de la séance de validation, l'étudiant sera convoqué par un des enseignants de TP-Projets d'électronique sous 8 jours pour passer un rattrapage de la validation.

En cas d'absence **non-justifiée**, la note d'un projet est multipliée par un coefficient inférieur à 1, selon le barème suivant :

Nombre d'absences	Projet étalé sur :				
	5 séances	4 séances	3 séances	2 séances	1 séance (TP)
0	1	1	1	1	1
1	0,8	0,75	0,67	0,5	0
2	0,6	0,5	0,33		
3	0,4	0,25	0		
4	0,2	0			
5	0				

## Participation

Le même principe de multiplication de la note finale par un coefficient  $<1$  que celui appliqué en cas d'absence(s) non-justifiée(s), est appliqué en cas de **participation trop faible** lors des séances, et en cas de **perturbation** des séances : celle-ci peut en effet avoir une influence négative sur la concentration des autres étudiants. Un étudiant ayant une participation quasi-nulle lors d'une séance verra sa note multipliée par un coefficient proche de 0 (c'est à dire proche du coefficient d'une absence non-justifiée). Attention : ça n'est pas parce que l'enseignant ne fait aucune remarque à un élève sur sa participation pendant la séance que cette opération sur la note ne sera pas appliquée.

## Conclusion

Ce guide est destiné à constituer un recueil d'informations spécifiques aux travaux pratiques. Il faut prendre le réflexe de l'amener systématiquement à chaque séance. Il est destiné à faire partir du cahier de laboratoire.

Les modalités de déroulement des TP/projets décrites dans la dernière partie de ce guide constituent une sorte de "règlement intérieur" spécifique aux TP/projets d'électronique. Ce dernier est destiné à définir clairement les conditions de travail, dans le but de les faciliter pour tout le monde. D'une manière générale, un travail sérieux et les efforts effectués seront toujours valorisés.

L'objectif des enseignants de TP-projets d'électronique est de vous rendre le plus autonome possible, au terme des 3 ou 5 années d'EFREI. Mais ils ont bien conscience que cet apprentissage ne peut être que progressif. En pratique par exemple, le déroulement des TP de P1 sont guidés de très près par des questions précises, alors qu'en P2 les informations apportées par les enseignants sont moins directives et l'étudiant possède plus de liberté pour choisir les solutions électroniques qu'il souhaite. Dans tous les cas, si des obstacles apparaissaient dans le déroulement des TP-projets (qui peut fatalement arriver dans toute entreprise, au sens large), la débrouillardise pour résoudre un problème malgré ces obstacles sera toujours valorisée.

Si vous avez des requêtes, suggestions de tout ordre concernant les TP-Projets d'électronique (proposition de sujets, suggestions d'amélioration...), il ne faut pas hésiter à les soumettre : elles seront toujours étudiées attentivement.

## Références bibliographiques

- "Le livre des gadgets électroniques", B. Fighiera, Editions Techniques et Scientifiques Françaises, 1984.
- Documents M. Fraisse (\*) :
  - « L'oscilloscope »
  - « Mesures en électronique »
  - « Travaux pratiques d'électronique »
- « Parasites et perturbations des électroniques », Tomes 1 à 4, A. Charroy, Dunod, 1992 (disponible à la médiathèque de l'EFREI).
- « Un coup ça marche, un coup ça marche pas ! », Pease R. A., Publitrone-Elector, 1998

(\*) M. Fraisse est l'ancien organisateur des TP du cycle préparatoire. Ces documents sont disponibles auprès de B. Decoux sur demande.

## Guide de Rédaction du rapport de projet électronique P1-P2-I'1

L'objectif du rapport de projet d'électronique est un peu différent de celui du compte-rendu de Travaux Pratiques. Le compte-rendu est très directif, dans la mesure où une série de questions permet de guider la rédaction. Le rapport reprend les principaux résultats des compte-rendus, sans les détailler sinon sa longueur dépasserait la limite imposée. Il s'agit donc d'un **travail de synthèse**. Sa rédaction est plus libre que celle des compte-rendus, mais elle doit néanmoins suivre quelques règles.

Le rapport de projet doit comporter un maximum d'informations, sur un minimum de place (et avec un minimum de mots), permettant de répondre aux questions suivantes :

- quel est l'objectif du projet ?
- quels sont les principes utilisés pour atteindre cet objectif ?
- quelles sont les méthodes électroniques utilisées pour réaliser ces principes ?

Quand une même information peut être décrite soit par du texte soit par un graphique, la règle « un-petit-dessin-vaut-mieux-qu'un-long-discours » est applicable !

L'objectif du rapport de synthèse est d'exposer les résultats d'une étude. Il s'adresse à des lecteurs ne connaissant pas le projet, mais possédant un niveau technique suffisant pour le comprendre (ce lecteur pourra être une autre personne, ou vous-même si vous avez l'occasion d'avoir à vous remémorer ce travail dans quelques mois ou dans quelques années). Il s'agit donc d'un exercice pédagogique dans lequel on apprend à **expliquer** des choses.

Les graphiques (ex. : relevés de caractéristiques) doivent être les plus précis possibles, assez grands, et complets (les échelles doivent figurer sur les axes, les points particuliers mis en évidence...).

Le rapport doit comporter au moins 2 schémas : un *schéma fonctionnel* (ou *schéma synoptique*) du montage et un *schéma structurel* (ou *schéma de principe*). Le schéma fonctionnel donne un aperçu de l'organisation globale du montage, celle-ci étant représentée par un ensemble de blocs (ou modules) interconnectés.

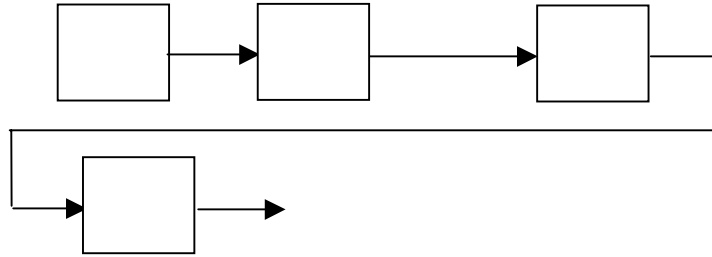
La schéma fonctionnel est la première phase d'élaboration d'un montage. Son rôle est d'aider à la compréhension du montage : il est à l'électronique ce que l'organigramme est à l'informatique.

Le schéma structurel doit se suffire à lui même : un lecteur expérimenté doit pouvoir comprendre le fonctionnement du circuit par la seule lecture de ce schéma.

### Schéma fonctionnel

Le schéma fonctionnel décompose le circuit en différents blocs, et représente les interactions entre ces blocs sous forme de flèches.

Chaque bloc ainsi défini doit pouvoir être testé indépendamment des autres. Ses entrées et ses sorties doivent être bien déterminées.



Comme nous sommes habitués à lire de la gauche vers la droite (texte bande dessinée), un schéma est beaucoup plus facile à interpréter lorsque les signaux qu'il représente se propagent de la gauche vers la droite. Lorsqu'il n'y a plus de place à droite de la page, il suffit de repartir de la gauche, en dessous, en tirant le fil de la ligne du dessus (voir figure).

### *Schéma structurel*

Le schéma structurel du circuit réalisé est le point central du rapport. Un schéma structurel représente les symboles des composants électroniques (analogiques ou logiques) du circuit. Les symboles des composants les plus communs sont normalisés (résistances, condensateurs, bobines, portes logiques élémentaires...) ; les symboles des composants intégrés moins courants sont en général indiqués par les constructeurs de ces composants dans les fiches techniques (*data sheets*, que l'on trouve dans les *data books*). Le schéma structurel doit comporter le maximum d'informations pour que ce circuit puisse être à nouveau câblé puis testé, par une autre personne que vous, ou par vous-même plus tard, le plus facilement possible. Ces différentes informations doivent cependant respecter certaines règles. Voici les principales caractéristiques de cette normalisation :

- Les composants doivent comporter un nom (ex. : R1, C2, ...)
- Ils doivent comporter un attribut (valeur de résistance, de capacité ou d'inductance...).
- Si une valeur de composant dépend des besoins de l'utilisateur, un indice doit faire référence au texte (c'est à dire qu'il faut préciser sur le schéma que cette valeur peut être connue par la lecture du texte accompagnant le schéma).

Un bon moyen de connaître certains détails en matière de normalisation utilisée pour les schémas, est d'observer des schémas dessinés avec des logiciels éditeurs de schémas comme celui de Pspice.

### **Les différentes parties du rapport**

Le rapport doit comporter les éléments suivants, de préférence dans cet ordre :

- 1- *Sommaire détaillé* (avec numéros de pages)
- 2- *Introduction-Cahier des charges* (le cahier des charges est la description des performances que le projet doit atteindre et les contraintes à respecter)
- 3- *Schéma fonctionnel* et description du montage à un niveau global (différencier les blocs qui le composent et indiquer le rôle de chacun)
- 4- *Schéma structurel* et description du fonctionnement interne de chaque bloc, au niveau des composants électroniques à partir desquels ils sont réalisés ; cette partie doit reprendre les réponses apportées aux questions des compte-rendus (sans reprendre les questions elle-mêmes)
- 5- *Dossier de test* (indiquer par exemple dans quel ordre sont testés les différents



- modules, indépendamment les uns des autres et liés les uns aux autres)
- 6- *Caractéristiques et performances* du montage (limites de fonctionnement, précision atteinte, consommation en énergie s'il s'agit d'un système portable, etc)
  - 7- *Perspectives d'évolution et d'amélioration* du montage (proposer quelques améliorations possibles et le coût supplémentaire que cela entraînerait)
  - 8- *Conclusion* (ce que ce travail vous a apporté personnellement)
  - 9- *Bibliographie* (citez les sources d'information non fournies avec le sujet que vous avez éventuellement utilisées)
  - 10- *Annexes* (si le texte du rapport comporte certains calculs ou démonstration assez longues, les mettre plutôt en annexe)

### *Remarques*

1) Ces indications sont destinées à vous aider dans la rédaction du rapport. Libre à vous d'utiliser des règles (un peu) différentes si vous jugez qu'elles facilitent la compréhension du circuit.

2) Le travail en groupe est autorisé, voire même encouragé. Mais cela ne doit pas se faire au détriment d'une certaine recherche personnelle. C'est pourquoi des similitudes trop grandes entre des rapports de différents binômes seront sanctionnées (dans les mêmes proportions pour tous les rapports similaires entre eux, qu'il s'agisse des versions originales ou des versions copiées).

## Simulation de circuits électroniques avec Pspice 6.0 -Guide d'utilisation V1.1-

### Présentation de Pspice

Pspice est un programme qui simule le fonctionnement d'un circuit électronique. Il utilise un fichier ASCII (fichier texte, avec extension ".cir") dans lequel un circuit est défini selon une syntaxe précise. Après la simulation d'un circuit, il crée un fichier de données (extension ".dat") dans lequel figurent les résultats de la simulation.

Une fois la simulation effectuée par Pspice, ce fichier de données peut être interprété par *probe*, un autre programme de visualisation graphique des résultats de la simulation.

Les versions précédentes de Pspice pour DOS comportaient un éditeur de texte permettant d'écrire et de sauvegarder le fichier au format ".cir". *Probe* permettait un affichage graphique des résultats de la simulation, en mode graphique, toujours sous DOS.

La version de Pspice utilisée pour ce TP comporte en plus un éditeur de schémas sous forme graphique (*Schematics*). Le schéma du circuit simulé peut être réalisé en quasi-totalité à l'aide de la souris. Mais ces nouvelles versions offrent toujours la possibilité de décrire les circuits en mode texte.

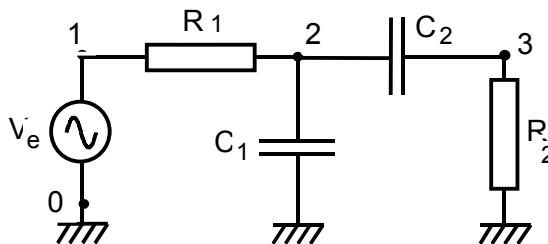
Dans ce qui suit, un circuit sera réalisé selon les deux possibilités : d'abord en *mode texte* puis en *mode graphique*.

#### 1. Description d'un circuit en mode texte

Dans le mode texte, un petit programme comportant la définition du circuit et des commandes à exécuter doit être écrit. Ce texte doit ensuite être sauvegardé au format ASCII (par exemple au moyen d'un éditeur de textes).

Chaque noeud du circuit à simuler porte un numéro. Le noeud 0 est obligatoirement la masse. Les commentaires placés en début de ligne doivent être précédés du symbole "\*" ; placés ailleurs le symbole est ";". La première ligne du fichier doit obligatoirement être constituée par un commentaire (au moins du symbole "\*")

Les commandes sont précédées d'un point (exemple : ".probe").



Le circuit de la figure ci-dessus est décrit par le petit programme suivant (il n'est pas nécessaire d'écrire les commentaires) :

```
*Etude d'un circuit RC en régime sinus
R1 1 2 10K ; résistance de 10kΩ entre les noeuds 1 et 2
C1 2 0 100P
C2 2 3 0.1U
R2 3 0 10K
Ve 1 0 AC 1V ; source alternative sinusoïdale, amplitude 1volt.
.AC DEC 20 10 1MEG; analyse fréquentielle par DECade, 20 points par décade
*de 10Hz à 1mhz.
.probe ; lancement du programme pour le tracé des courbes.
.END
```

Ce fichier ASCII peut être écrit dans n'importe quel éditeur de texte (par exemple le bloc-notes de Windows). Une fois le texte écrit, le fichier doit être sauvegardé avec l'extension ".cir".

### *Simulation*

Pour la simulation, le programme *Pspice* doit être lancé. La procédure est la suivante : à partir du gestionnaire de fichiers de Windows (groupe principal) par exemple, se déplacer dans le répertoire contenant *Pspice* et double-cliquer sur "pspice.exe". La fenêtre de *Pspice* apparaît. Charger le fichier avec l'extension ".cir" précédemment sauvegardé, à partir du menu fichier. La simulation démarre alors dès le chargement. Si le texte décrivant le circuit ne comporte pas d'erreurs, la simulation arrive à son terme et un fichier de données comportant les résultats de la simulation est créé (fichier portant le même nom que le fichier décrivant le circuit mais avec l'extension ".dat" à la place de l'extension ".cir"). Sinon elle s'arrête en cours de route et des messages d'erreur sont affichés.

### *Visualisation des résultats de simulation*

Si la simulation est arrivée à son terme, le programme de visualisation des résultats de la simulation en mode graphique *Probe* peut alors être lancé. Par exemple à partir du gestionnaire de fichiers, double-cliquer sur "probe.exe". La fenêtre de *Probe* apparaît. Le fichier créé par *Pspice* (extension ".dat") doit être chargé à partir du menu *Fichiers*. Les variables à afficher (tensions, courant, gain en tension, etc) doivent être sélectionnés à partir du menu *Trace*.

## 2. Description d'un circuit en mode graphique

### 2.1 Edition des schémas

Dans le mode graphique, un programme supplémentaire doit être utilisé : un éditeur de schémas graphique (*Schematics* ici).

Cet éditeur de schémas peut être lancé à partir du gestionnaire de fichiers : le fichier exécutable correspondant est *psched.exe*.

#### *Placement des composants*

Une fois cet éditeur lancé, les composants désirés doivent être chargés à partir des bibliothèques de composants. Les composants sont regroupés dans différentes bibliothèques selon le rôle qu'ils jouent dans un circuit. Par exemple, les résistances, condensateurs et bobines sont stockés dans la bibliothèque *analog.slb*. Les sources de tension ou de courant sont stockées dans la bibliothèque *source.slb*. Quelques composants disponibles dans le commerce peuvent être trouvés dans la bibliothèque *eval.slb*.

Pour aller chercher un de ces composants, réaliser la séquence d'opération suivante : menu *draw...*, *get new part...*, puis *browse*.

Le masse analogique se trouve dans la bibliothèque *ports.slb* ; elle est désignée par AGND.

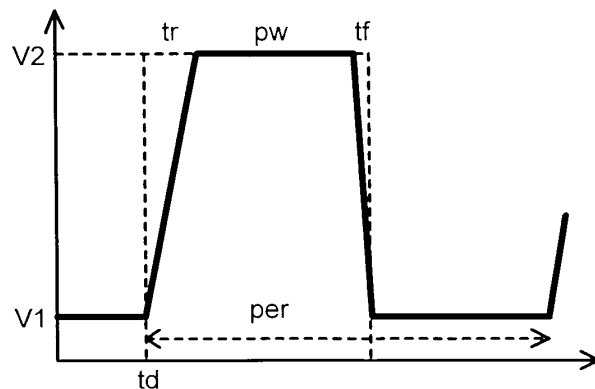
#### Définition d'une source

Les sources sont situées dans la bibliothèque *source.slb*. Chaque source comporte des attributs. Certains prennent une valeur par défaut s'il ne sont pas spécifiés, d'autres doivent être obligatoirement spécifiés. Ne pas oublier de sauvegarder chaque attribut après sa modification, par le bouton "Save attr" ou en tapant "entrée" au clavier.

- Signal sinusoïdal : VSIN
- Signal carré (ou rectangulaire) : VPULSE

Paramètres :

- V1 : niveau bas
- V2 : niveau haut
- td : retard
- tr : temps de montée
- tf : temps de descente
- pw : largeur d'impulsions
- per : période



*Remarque* : pour simuler un signal carré ou rectangulaire, il faudra choisir une valeur très faible (par rapport à la période du signal) des temps de montée et de descente, mais non-nulle

car le simulateur n'accepte pas.

## 2.2 Simulation

Une fois un circuit défini, il peut être simulé par lancement de *Pspice* (menu *Analysis*, commande *Simulate*). L'éditeur crée entre-temps le fichier contenant la description du circuit, avec l'extension ".cir".

### Sélection du type d'analyse

Différentes analyses sont autorisées par *Pspice* : entre autres l'*analyse temporelle* (ou transitoire) et l'*analyse fréquentielle*. Elles sont configurées à partir de l'option *setup* du menu *analysis*.

- *Analyse transitoire ("Transient")* : Il faut sélectionner l'instant de départ et l'instant de fin de l'analyse.

- *Analyse fréquentielle ("AC sweep")* : en général on ne fait pas varier la fréquence de manière linéaire mais logarithmique (par octave ou par décades). Il faut sélectionner les fréquences de début et de fin de l'analyse.

En plus d'entrer les paramètres en cliquant sur les boutons, il faut cocher les cases associées à ces boutons pour rendre les analyses effectives.

### Visualisation des résultats de simulation

Pour afficher les signaux voulus à partir de *probe*, il suffit de sélectionner ceux-ci à partir du menu *Trace, Add...* Pour réaliser une opération sur ces signaux et afficher le résultat de cette opération, il suffit d'écrire dans la même fenêtre, zone *Trace command*, une commande. Par exemple, pour afficher le gain entre deux tensions :

$$\text{db}(v(2)/v(1))$$

La phase peut être obtenue de la même manière par la commande :

$$\text{p}(v(2)/v(1))$$

La différence entre deux tensions peut être obtenue par :

$$V(2)-V(1) \text{ ou } V(2,1)$$

*Probe* peut être lancé directement à partir de l'éditeur de schémas par la sous-option *auto-run* de l'option *probe setup* du menu *analysis*.

### Définition des variables à visualiser à partir de l'éditeur de schéma

Plutôt que de définir les signaux à visualiser à partir de *probe*, la demande d'affichage peut être faite dès l'édition des schémas. Il suffit d'aller dans le menus *markers*, de

sélectionner la variable à visualiser et de positionner un marqueur à l'endroit voulu du circuit.

Il faut ensuite aller dans le menu *analysis*, option *probe setup*, et sélectionner une des options de visualisation des signaux pointés par les marqueurs précédemment définis.

### *Connaître des valeurs précises*

Dans *probe* il est possible de connaître la valeur précise d'un point de la courbe visualisée. Pour cela il faut utiliser un curseur, que l'on peut obtenir par l'option *cursor* du menu *tools*. L'affichage de la valeur du point de la courbe situé à l'intersection d'une ligne verticale et d'une ligne horizontale se fait alors en bas à droite de l'écran.

Si plusieurs courbes sont affichées à l'écran, on peut faire passer le curseur de l'une à l'autre en cliquant sur le nom du signal correspondant, en bas à gauche de l'écran.

### 3. Décomposition d'un signal périodique en série de Fourier

Pour réaliser la décomposition en série de Fourier d'un signal, il faut sélectionner l'option *enable Fourier* de la fenêtre permettant de configurer le régime transitoire (obtenue par l'option *setup* du menu *analysis*). Les paramètres à spécifier sont alors : la fréquence centrale (qui doit donc être celle du signal à analyser), le nombre d'harmoniques désiré, et le nom du signal à décomposer (tel qu'il apparaît dans *probe* lorsque l'on sélectionne l'option *add...* du menu *trace*).

L'analyse de Fourier est donc effectuée, mais pour visualiser le spectre de fréquence (représentant l'amplitudes des harmoniques) il faut encore sélectionner l'option *Fourier* (et spécifier des paramètres adéquats) dans le menu *plot*, option *x axis*, de *probe*.

*Remarque importante* : les raies du spectre de fréquence seront d'autant plus fines que le nombre de périodes du signal utilisé pour la décomposition en série de Fourier sera grand.