

PRÉSENTATION DES T.P

La Physique et la Chimie sont des sciences expérimentales. Les T.P sont donc essentiels dans la formation d'un ingénieur ou d'un chercheur car ils sont souvent les seuls moments où l'étudiant peut expérimenter lors de ses études scientifiques dans le secondaire et le supérieur (en classes préparatoires, les T.I.P.E sont un autre cadre privilégié, plus libre, pour l'expérimentation). Les T.P sont fortement présents en termes de capacités exigibles dans le programme de la filière PSI (certaines **capacités** expérimentales **exigibles** sont explicitement mentionnées ; quand c'est le cas, elles sont indiquées en *italique*), mais aussi en termes de connaissances puisque des blocs entiers du programme sont traités exclusivement lors des séances de travaux pratiques. Aux oraux des concours, l'évaluation est systématique pour X-ENS (T.P de Physique) et à Centrale (5/6 des admissibles sont évalués sur un T.P de Physique, 1/6 sur un T.P de Chimie), alors qu'un étudiant sur 2 admissibles sur le concours Mines-Ponts sera confronté à un T.P de Physique (l'autre moitié des candidats à un T.P de S2I).

Leur but est :

- de savoir élaborer et mettre en œuvre des protocoles expérimentaux. À ce titre, leurs énoncés peuvent être relativement ouverts, et certaines démarches laissées à l'initiative de l'étudiant ;
- de connaître et savoir utiliser un certain nombre de dispositifs courants, mais aussi savoir s'informer rapidement sur le fonctionnement de matériel spécifique ;
- de prédire et/ou interpréter les résultats obtenus grâce aux connaissances théoriques ;
- d'acquérir certaines connaissances et capacités prévues dans le programme. Un certain nombre de documents sont proposés à cet effet ;
- de gérer le temps disponible (souvent seulement 2h) pour organiser la réflexion, proposer et mettre en place un protocole, exploiter les résultats et les interpréter, tirer des conclusions, et rédiger un compte-rendu soigné.

Tout cela n'est possible que si le T.P est très bien préparé avant la séance. Il faut pour cela lire l'énoncé et répondre aux questions théoriques durant les jours précédant le T.P.

Un compte-rendu sera systématiquement rédigé par l'un des membres du binôme, avant le T.P pour les parties théoriques, et pendant le T.P pour la partie expérimentale et l'exploitation, en changeant de rédacteur à chaque T.P. Certains groupes tirés au sort remettront au professeur leur compte-rendu à l'issue de la séance. Une note de T.P fortement coefficientée sanctionnera la qualité de l'investissement des étudiants.

Conseils concernant les comptes-rendus de T.P de concours :

Présentation générale

Faire une présentation générale de votre étude (sans recopier littéralement le texte), un plan ainsi qu'une conclusion. Numéroter les pages.

Insérer les courbes, tableaux, graphiques dans le texte, et les numéroter afin d'y faire référence.

Présentation des résultats

Avant de donner des résultats, indiquer la valeur des mesures expérimentales ayant conduit à ce résultat. Accompagner les mesures et les résultats d'une incertitude-type que l'on pourra souvent évaluer rapidement avec un peu de bon sens, une source d'incertitude étant souvent prépondérante devant les autres.

Indiquer toujours les **unités**.

Indiquer avec précision les conditions d'expérimentation (schéma de principe, valeurs).

Les courbes, graphique et tableaux doivent être **commentés**, ils ne suffisent pas à eux-mêmes.

Sur les graphiques, indiquer **titre, échelles et unités**.

Analyse des résultats

Analyser, critiquer, valider les résultats expérimentaux lorsque cela est possible, par des considérations théoriques éventuellement simples (valeurs asymptotiques, allure...) et des simulations.

Ne pas vouloir à tout prix que des résultats issus de méthodes différentes soient identiques, mais s'il y a des différences, tenter de donner des explications.

On peut rajouter pour les comptes-rendus pendant l'année : **noter toutes les remarques pratiques et observations utiles** (par exemple, il est bon de noter comment a été résolue une difficulté liée à une méthode de mesure ou à un appareil pour ne pas perdre du temps lors des T.P suivants).

INCERTITUDES DE MESURES

Ce document résume la démarche (volontairement simplifiée) à adopter pour déterminer des incertitudes lors des T.P des concours. Cette démarche est présentée sous formes de règles.

Règle 1 : Il faut accompagner d'une incertitude-type $u(X)$ le résultat x_0 d'une mesure de la grandeur X . Ceci est nécessaire par exemple pour comparer avec un résultat théorique : si ce dernier n'est pas dans l'intervalle $[x_0 - 2u(X), x_0 + 2u(X)]$, on peut suspecter que la mesure est fautive, ou qu'il y a une erreur systématique, ou que l'incertitude a été sous-évaluée, ou bien encore que le modèle physique n'est pas adaptée (phénomènes pas pris en compte, ...).

Remarque : l'écart relatif entre x_0 et la valeur $x_{\text{théorique}}$ ne présente aucun intérêt ! On doit comparer $|x_0 - x_{\text{théorique}}|$ à $2u(X)$, pas à $x_{\text{théorique}}$.

1. INCERTITUDE SUR UNE MESURE UNIQUE (TYPE B)

Règle 2 : On choisit de donner des incertitudes-type (et pas élargies) avec deux chiffres significatifs.

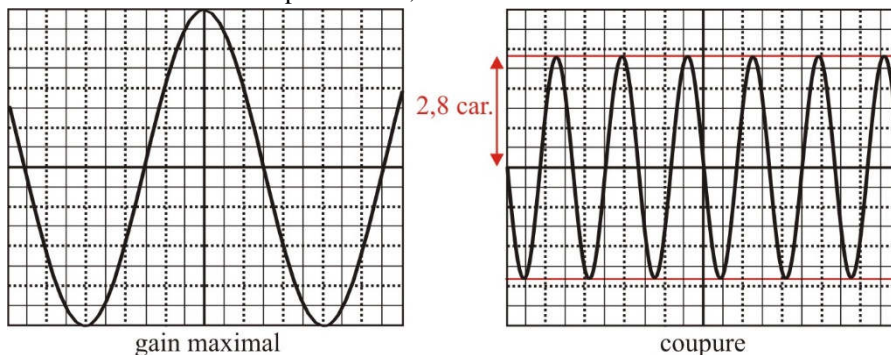
Règle 3 : Le bon sens doit prévaloir : souvent il y a une source principale d'incertitudes, quelle est-elle ?

Règle 4 : Dans les cas où on dispose des incertitudes « constructeur » (valeur de résistance déduite des codes de couleurs, boîtes de résistances, de capacités, affichage numérique, ...), on applique $u(X) = \frac{\Delta_{\text{constructeur}}}{\sqrt{3}}$.

Dans les autres cas, on détermine une plage de valeurs $[x_{\min}, x_{\max}]$ correspondant aux critères recherchés. On prend alors $x_0 = \frac{x_{\max} + x_{\min}}{2}$ et $u(X) = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{2\sqrt{3}}$.

Exemple 1

On cherche une fréquence de coupure à 3dB à l'oscilloscope. On se met en mode AC et on vérifie soigneusement que le signal sinusoïdal à l'écran tangente les bords supérieurs de l'écran quand il est maximal. On joue alors sur la fréquence du G.B.F pour que le signal tangente des curseurs horizontaux placés à $\pm 2,8$ carreaux.



Hors d'un intervalle $[f_{\min}, f_{\max}]$, on est capable d'affirmer que l'amplitude du signal est trop grande (le signal dépasse les curseurs) ou trop petite.

La valeur proposée vaut alors $f_c = \frac{f_{\max} + f_{\min}}{2}$ et son incertitude type : $u(f) = \frac{f_{\max} - f_{\min}}{2\sqrt{3}}$. Cette incertitude prédomine devant celle due au G.B.F (on peut régler très finement la fréquence du signal envoyé), ou celle due à l'épaisseur du signal (que l'on règle au minimum en gardant un bon confort visuel).

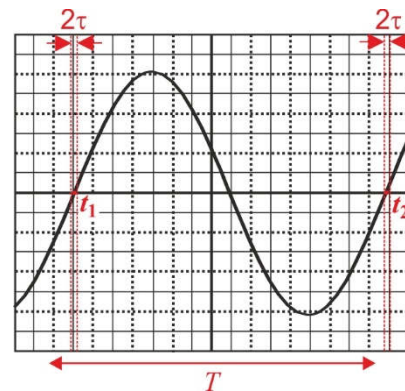
Exemple 2

On cherche à mesurer la période d'un signal sinusoïdal. On choisit de placer des curseurs temporels (verticaux) en deux points où le signal s'annule, séparés par une période. On se met en mode AC et on vérifie soigneusement que le signal sinusoïdal est symétrique (toute présence de décalage vertical induisant une erreur systématique). On choisit un calibre tel que la période du signal occupe le plus de place horizontalement à l'écran (ou bien on mesure plusieurs périodes). L'incertitude est le plus souvent

due au fait que les curseurs ne se déplacent pas continûment mais « sautent » de τ d'une position à une autre. La valeur proposée de T est celle $T = t_2 - t_1$ (écart entre les deux curseurs) avec $u(t_2) = u(t_1) = \frac{\tau}{\sqrt{3}}$.

En composant les incertitudes on obtient $u(T) = \frac{\tau\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$

On procède de même pour les mesures de tension crête à crête, mais éventuellement, pour un signal bruité, c'est son épaisseur qui peut déterminer l'incertitude, et non plus l'incertitude sur la position d'un curseur.



Règle 5 : Présentation des résultats. Pour l'estimation de la grandeur mesurée, on prendra comme dernier chiffre significatif, celui de même position que le deuxième chiffre de l'incertitude-type.

2. MESURE INDIRECTE : PROPAGATION DES INCERTITUDES

Règle 6 : Si la grandeur X n'est pas directement accessible par la mesure mais liée par la relation $X = f(X_1, X_2)$ à des mesures de deux grandeurs indépendantes X_1 et X_2 dont les valeurs mesurées sont x_1 (avec une incertitude-type $u(X_1)$) et x_2 (avec une incertitude-type $u(X_2)$), on a $x = f(x_1, x_2)$ et une incertitude-type :

$$u(X) = \sqrt{u^2(X_1) \left(\frac{\partial f}{\partial X_1}(x_1, x_2) \right)^2 + u^2(X_2) \left(\frac{\partial f}{\partial X_2}(x_1, x_2) \right)^2}$$

Par exemple dans les cas simples : $X = X_1 \pm X_2 \Rightarrow u(X) = \sqrt{(u(X_1))^2 + (u(X_2))^2}$

$$X = X_1^\alpha X_2^\beta \Rightarrow u(X) = x \sqrt{\alpha^2 \left(\frac{u(X_1)}{x_1} \right)^2 + \beta^2 \left(\frac{u(X_2)}{x_2} \right)^2}$$

Exemple 1

On a déterminé la période $T = 2,07$ ms avec $u(T) = 0,13$ ms. On en déduit la fréquence $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2,07 \cdot 10^{-3}} = 483$ Hz et son

incertitude : $df = -\frac{1}{T^2} dT \Rightarrow u(f) = \frac{1}{T^2} u(T) = \frac{0,13 \cdot 10^{-3}}{(2,07 \cdot 10^{-3})^2} = 30$ Hz.

Exemple 2

On cherche à mesurer l'indice n du verre en utilisant la loi de Descartes de la réfraction $\sin i = n \sin t$. L'incertitude-type sur les mesures d'angle est $\frac{1^\circ}{\sqrt{3}} = 0,010$ rad. Deux mesures donnent : (a) $i = 20,00^\circ$ et $t = 13,50^\circ$; (b) $i = 40,00^\circ$ et $t = 23,00^\circ$.

On a $n = \frac{\sin i}{\sin t} \Rightarrow \ln(n) = \ln(\sin i) - \ln(\sin t)$ qui donne en différenciant :

$\frac{dn}{n} = \frac{\cos i}{\sin i} di - \frac{\cos t}{\sin t} dt$ (la différentielle logarithmique évite souvent des calculs fastidieux de dérivées partielles) d'où :

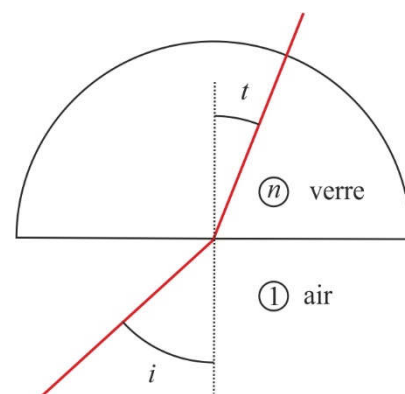
$$\frac{u(n)}{n} = \sqrt{u^2(i) \left(\frac{\cos i}{\sin i} \right)^2 + u^2(t) \left(\frac{\cos t}{\sin t} \right)^2} = u(i) \sqrt{\frac{1}{\tan^2 i} + \frac{1}{\tan^2 t}} \text{ puisque } u(t) = u(i), \text{ à}$$

convertir en radian pour l'application numérique qui donne :

	n	$u(n)$	$u(n) / n$
(a)	1,46	0,066	4,5%
(b)	1,65	0,043	2,6%

On constate que l'incertitude relative sur n décroît avec les angles : la mesure (b) est plus précise.

Règle 7 : Éviter de proposer une moyenne lorsque l'on dispose de plusieurs mesures de la même grandeur avec des incertitudes-type différentes : celles de plus petites incertitudes-type devraient être plus fortement pondérées...

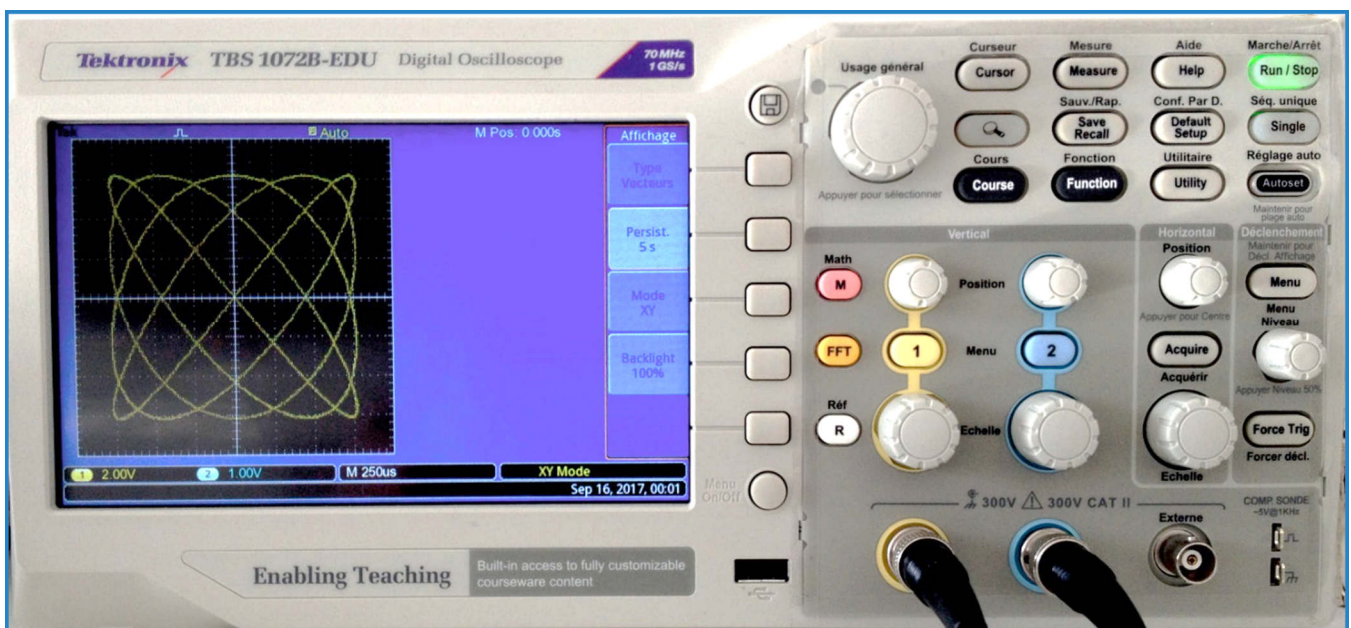


FONCTIONNEMENT DE L'OSCILLOSCOPE

L'oscilloscope est l'instrument indispensable pour l'étude des signaux électriques. Il permet de faire des mesures d'amplitude, de durées caractéristiques (période, retard, temps de montée...), et donc de fréquence, de déphasage...

Il présente également l'avantage par rapport aux multimètres de **visualiser** la forme des signaux. C'est pour cette raison qu'il doit toujours être utilisé, même s'il ne sert pas à faire des mesures. On ne peut pas par exemple détecter qu'un signal est saturé ou distordu avec un voltmètre : **l'oscilloscope est « l'œil » de l'électricien / électronicien.**

Les oscilloscopes analogiques ou numériques présentent tous les mêmes fonctions de base. Maîtriser ces fonctions sur un oscilloscope donné permet de s'adapter très vite à un autre type d'appareil. On décrit ici les principales fonctions de l'oscilloscope numérique de la gamme **TEKTRONIX TBS 1000** dont voici la façade :



La documentation est disponible sur internet, sur le site, dans les salles de T.P.

On navigue dans les menus déroulants en tournant le bouton rotatif **Usage général**, on valide un choix en appuyant sur ce même bouton.

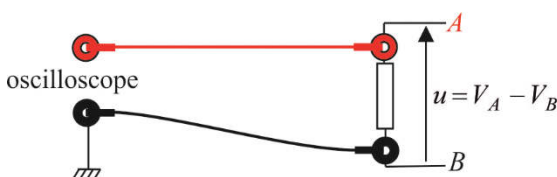
1. DÉVIATION VERTICALE

1.1 Principe

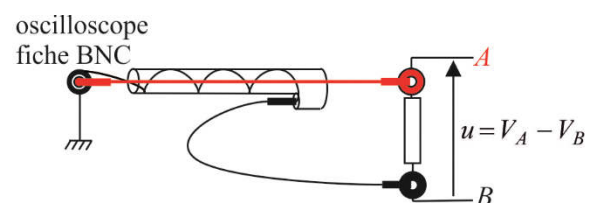
L'oscilloscope effectue la numérisation de deux tensions, puis les affiche sur un écran LCD. Le signal défile de gauche à droite et est par défaut régulièrement rafraîchi.

1.2 Branchements

On peut visualiser une tension $u_{AB} = V_A - V_B$ à l'aide de deux fils ou d'un câble coaxial :

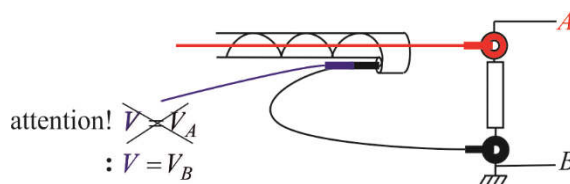


Mesure de tension avec deux fils



Mesure de tension avec un câble coaxial

Dans le cas d'un câble coaxial, **il faut éviter l'erreur classique consistant à connecter un fil à la masse alors que l'on pense le connecter au point A.**



Pour éviter ce genre d'erreurs :

Réaliser d'abord le circuit, puis brancher les instruments de mesure, et enfin l'oscilloscope.

1.3 Déviation verticale de l'oscilloscope

Sensibilité verticale : la position verticale $v(t)$ des pixels jaunes (pour la voie 1) ou bleus (pour la voie 2) est liée à la tension u appliquée à l'entrée de l'oscilloscope par la relation affine $v(t) = \alpha u(t) + \beta$. α est un facteur réglable (sensibilité verticale en volts/division, réglable avec le bouton rotatif **Vertical, Echelle**).

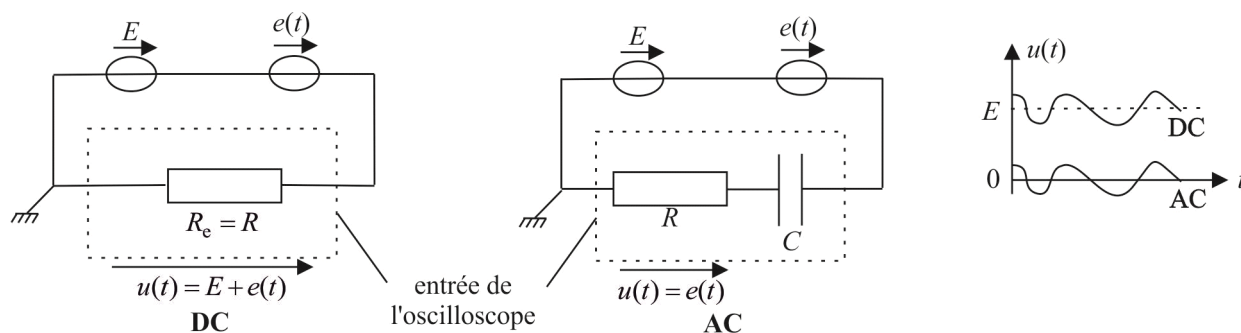
Les indications de sensibilité verticale apparaissent à l'écran pour chaque voie (exemple : 1 200 mV, ce qui correspond à 200 mV par division).

Réglage de 0 : β est une tension réglable permettant de déplacer verticalement un signal. Lorsqu'un signal nul est appliqué à l'oscilloscope, on peut en jouant sur β placer par exemple le faisceau au centre de l'écran grâce au bouton rotatif **Vertical, Position**. Une indication en V apparaît à l'écran pour indiquer de quelle quantité les courbes sont décalées.

Décalibration : on peut être amené dans certains cas à décalibrer la déviation verticale de la voie 1 ou 2 en appuyant sur le bouton de menu de la voie correspondante (**1** ou **2**), puis en sélectionnant sur **Volts/div** dans le menu déroulant et en faisant le choix **Fin** au lieu de **Gros**.

1.4 Rôle des modes AC/DC

Principe des modes AC et DC : En mode DC, l'oscilloscope est équivalent en entrée à un conducteur ohmique de résistance R de l'ordre de $1\text{ M}\Omega$. En mode AC, l'entrée de l'oscilloscope est équivalente à une association série RC (avec C de l'ordre de $0,1\text{ }\mu\text{F}$) réalisant un filtre **passé-haut dont la fréquence de coupure est de l'ordre de 10 Hz**. C'est cette tension filtrée qui est affichée. Ainsi, dans le cas d'un signal contenant un « offset » (valeur moyenne non nulle) E , on n'observe que la partie fluctuante $e(t)$ de ce signal en mode AC (le mode AC « coupe » la composante continue).



Remarque : en réalité, en mode DC l'entrée est équivalente à une association parallèle RC' avec C' de l'ordre de 10 pF, ce qui ne change pas la nature passé-haut du filtrage en mode AC.

Sur la figure ci-dessus, si le zéro de tension correspond à l'axe des temps, un signal avec tension continue de décalage sera visualisé intégralement en mode DC, sans sa composante continue en mode AC.

Pour observer le signal réel, il faut donc se placer en mode DC.

✂ **En mode AC, tout signal dont la fréquence n'est pas très supérieure à 10 Hz est déformé** (ses harmoniques les plus bas sont affectés par le filtre passé-haut).

Occasionnellement, pour des mesures de déphasage par exemple, on peut couper une composante continue indésirable d'un signal en se plaçant en mode AC (si f grande devant 10 Hz)

Avec l'oscilloscope TEKTRONIX utilisé, le mode DC s'obtient en appuyant sur la touche de menu de la voie étudiée (par exemple **1** pour la voie 1), puis sur **Couplage** et enfin en choisissant **CC** (CA pour le mode AC).

2. DÉVIATION HORIZONTALE / SYNCHRONISATION

2.1 Balayage

Sensibilité horizontale : l'écart (en divisions) à l'écran entre deux points d'acquisition séparés par une durée T_c est réglable avec le bouton rotatif **Horizontal, Echelle**.

L'indication de sensibilité horizontale apparaît à l'écran (exemple : M 50.0 us, ce qui correspond à $50\mu\text{s}$ par division).

Translation horizontale de la courbe : le bouton rotatif **Horizontal, Position**, permet de décaler horizontalement la courbe tracée à l'écran. Une indication en s apparaît à l'écran pour indiquer de quelle quantité les courbes sont décalées.

2.2 Déclenchement / synchronisation

Pour afficher un signal, l'oscilloscope sonde le signal entrant, et le compare à une valeur donnée de tension : le niveau de déclenchement (level). Lorsque le signal passe par cette valeur (que l'on règle avec le bouton rotatif **Niveau**) dans le sens croissant (si le déclenchement est réglé en front montant), l'oscilloscope affiche la tension à l'écran. Par défaut l'instant $t = 0$ du déclenchement se trouve au centre de l'écran (une indication en s apparaît pour indiquer de combien on l'a déplacé si on a utilisé le bouton rotatif **Horizontal, Position**).

Toutes les fonctions de synchronisation sont accessibles en appuyant sur le bouton **Déclenchement, Menu** (on peut par exemple choisir de déclencher sur un front descendant).

Un nouvel affichage commence dès que l'écran est rempli et que l'oscilloscope détecte un nouveau déclenchement.

En conséquence, sauf si on ne réalise qu'une fois l'acquisition (mode « monocoup »), les signaux ne sont stables que s'ils sont périodiques.

Même avec une tension appliquée, la courbe à l'écran ne sera pas fixe (signal non synchronisé) si le niveau de déclenchement n'est jamais atteint comme on le voit sur la figure ci-contre :

Le bouton « Autoset » permet de synchroniser rapidement un signal. L'oscilloscope choisit alors la base de temps et la sensibilité verticale les plus appropriées. Les réglages précédents choisis par l'utilisateur ne sont donc pas conservés. Dans le cas où deux signaux sont visibles à l'écran, ces deux signaux sont séparés verticalement.



lors de deux passages successifs, le faisceau ne part pas du même point: signal non synchronisé

2.3 Curseurs

On peut faire apparaître des curseurs en appuyant sur le bouton **Curseur**. Selon le type de signal affiché (temporel ou fréquentiel) le menu varie et propose par exemple de mesurer une durée par rapport au centre de l'écran, ou entre deux curseurs...

3. UTILISATION EN XY ET EN DOUBLE TRACE

3.1 Mode XY

En mode XY, la voie 1 est envoyée en abscisse (X) et 2 en ordonnée (Y).

On obtient le mode XY en appuyant sur le bouton **Utilitaire**, puis sur **Affichage** dans le menu déroulant, et enfin en sélectionnant **XY** dans le menu **Mode**.

3.2 Double trace

Il suffit d'appuyer successivement sur les boutons 1 et 2 pour faire apparaître les deux voies. En appuyant de nouveau sur une de ces touches, on fait disparaître la voie en question.

Le bouton **Acquisition** permet d'accéder à un menu contenant 3 modes : **Normale** (utile pour la majorité des signaux), **Déetect Crête** (pour détecter de fines impulsions) et **Moyenne** (permet de réduire le bruit aléatoire en moyennant sur un certain nombre d'acquisitions que l'on peut choisir).

3.3 Acquisition d'un signal monocoup

Lorsqu'un signal n'est pas très stable (présence de parasites par exemple), on peut le figer à l'écran en appuyant sur le bouton **Run/Stop**. On peut alors procéder à des mesures à l'aide des curseurs.

Pour des signaux transitoires rapides (comme la naissance des oscillations dans un oscillateur électronique), on ne peut pas procéder ainsi. Il faut procéder à une acquisition unique.

Pour cela, tournez les boutons **Vertical, Echelle** et **Horizontal, Echelle**, afin de choisir une durée d'acquisition et une gamme de tensions adaptées au signal étudié (il faut parfois tâtonner...).

Appuyer sur le bouton **Déclenchement, Menu** et sélectionner **Pente** puis la pente voulue pour le déclenchement.

Tourner le bouton **Niveau** pour régler le niveau de déclenchement.

Appuyer sur le bouton **Seq Unique**. L'acquisition démarrera dès que le niveau de déclenchement sera atteint avec la pente choisie.

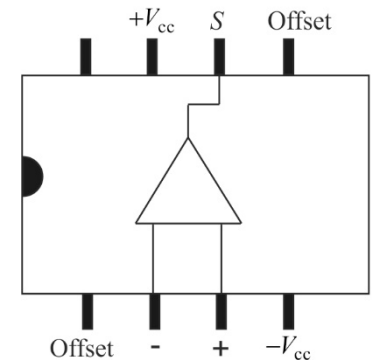
NOTICES DES A.L.I ET DES RÉSISTANCES

1. DESCRIPTION GÉNÉRALE DE L'A.L.I SF 741 OU TL 081

1.1 Brochage

L'A.L.I possède 8 bornes :

- entrée inverseuse (-) ;
- entrée non inverseuse (+) ;
- sortie S ;
- alimentation $+V_{cc} = +15\text{ V}$;
- alimentation $-V_{cc} = -15\text{ V}$;
- 2 bornes de réglage d'Offset (tension de décalage) ;
- 1 borne non connectée.



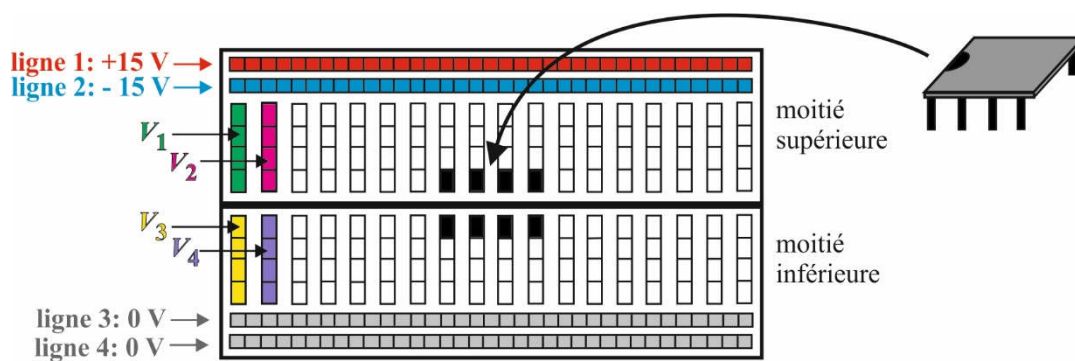
A.L.I SF 741 ou TL 081 (8 bornes)

On place l'A.L.I sur une plaquette de connexion LABDEC® se présentant comme indiqué ci-dessous.

La moitié supérieure est électriquement indépendante de la moitié inférieure. Tous les points des lignes horizontales du haut (lignes 1 et 2) et du bas (lignes 3 et 4) sont connectés (ils sont donc tous au même potentiel). Tous les points d'une colonne verticale sont connectés sur une même moitié.

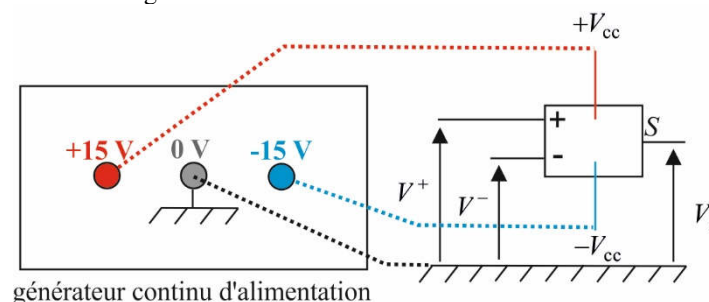
On envoie généralement l'alimentation $+V_{cc} = +15\text{ V}$ sur la ligne 1, l'alimentation $-V_{cc} = -15\text{ V}$ sur la ligne 2, et la masse sur les lignes 3 et 4 qui sont reliées entre elles. Il suffit alors pour alimenter les A.L.I de relier par un petit fil la ligne 1 à la borne $+V_{cc}$ de l'A.L.I et la ligne 2 à la borne $-V_{cc}$ de l'A.L.I.

On place l'A.L.I à cheval sur les deux moitiés.



Il faut toujours alimenter l'A.L.I en premier, avant de lui envoyer un signal, et éteindre son alimentation en dernier.

Les transistors que contiennent l'A.L.I risquent en effet d'être endommagés. On utilise un générateur d'alimentation continue délivrant $+V_{cc} = +15\text{ V}$ et $-V_{cc} = -15\text{ V}$. La référence de potentiel est la masse du générateur, reliée à la terre. C'est cette référence qui constitue la masse des montages à A.L.I :



1.2 Caractéristiques du SF 741 (E)

Le constructeur fournit les informations générales suivantes :

amplificateur opérationnel monolithique de haute performance, utilisable dans de nombreuses applications analogiques, dont les caractéristiques principales sont :

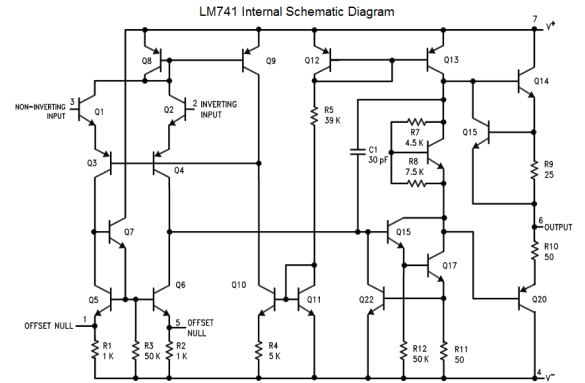
- gamme de tension élevée ;
- absence de phénomènes de verrouillage ;
- gain élevé ;
- protection contre les courts-circuits permanents en sortie ;
- compensation en fréquence interne

Ces caractéristiques permettent l'utilisation en intégrateur, sommateur, et en général toutes les applications d'amplificateurs contre réactionnés.

Le circuit de compensation interne (20dB/décade) assure une stabilité dans les utilisations en boucle fermée.

On peut donc retenir que ce composant est utile pour toutes les applications analogiques vues en cours. En revanche, un temps de commutation trop élevé (temps nécessaire pour aller en saturation) ne permet pas de l'utiliser pour transformer ou créer des signaux numériques.

Ci-contre : le schéma interne d'un 741 qui contient plus d'une vingtaine de transistors, des résistances et des capacités...



1.3 Caractéristiques du TL 081

On retrouve les mêmes caractéristiques principales que celles du 741. Ses performances sont néanmoins meilleures (temps de commutation réduit, faibles courants de polarisation...).

2. CODE DES COULEURS DES RÉSISTANCES

Les montages que l'on réalise sur les plaquettes LABDEC® contiennent des mini-composants que l'on peut directement brancher entre deux points de la plaquette. Ces composants sont par exemple des diodes, des conducteurs ohmiques, des condensateurs.

En ce qui concerne les conducteurs ohmiques, la valeur de leur résistance n'est pas indiquée sur le composant, mais codée avec des anneaux de couleur. Les trois premiers anneaux indiquent :

- x : le premier chiffre significatif ;
- y : le second chiffre significatif ;
- z : la puissance de 10 du multiplicateur.

La formule donnant la valeur de la résistance est donc :

$$R = (10x + y) \cdot 10^z \Omega$$

Le code des couleurs des trois premiers anneaux est :

noir	marron	rouge	orange	jaune	vert	bleu	violet	gris	blanc
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Le quatrième anneau indique la précision avec laquelle est donnée la valeur de la résistance (incertitude relative), avec le code des couleurs suivant :

noir	marron	rouge	or	argent
0,5%	1%	2%	5%	10%

Par exemple, (jaune, violet, orange) + marron correspond à $R = (10 \times 4 + 7) \cdot 10^2 \Omega = 4,7 \text{ k}\Omega$, à 1% près.

