
Physique pour les chimistes - Notions d'électricité

- H-Prépa, *Électronique 2*, PCSI-PTSI.
- Journeaux, *Travaux pratiques de physique*, de Boeck Université.
- Quaranta, *Dictionnaire de physique expérimentale*, tome 3 (Electronique).
- Duffait*, *Expériences d'électronique*, Bréal (les premiers chapitres)

L'objectif de ce TP est de vous familiariser avec les instruments de base de l'électronique (multimètre, oscilloscope, générateur basses fréquences, carte d'acquisition avec un ordinateur) et avec le matériel utilisé (câbles coaxiaux, dipôles, etc.). La lecture du premier chapitre du H-Prépa est fortement recommandée pour les notions de base sur le fonctionnement des multimètres et des oscilloscopes.

I) Multimètres

Un multimètre est un appareil combinant un ohmmètre (mesure d'une résistance), un voltmètre (mesure d'une tension, *i.e.* différence de potentiel entre deux points) et un ampèremètre (mesure de l'intensité d'un courant). Vous travaillerez habituellement avec les Metrix MX 579. Sur ce modèle de multimètres le choix de la fonction utilisée se fait en enfonçant une des touches de gauche. Pour le fonctionnement en voltmètre et ampèremètre vous avez aussi le choix entre un fonctionnement en continu ou en alternatif (pour des signaux dépendant périodiquement du temps). La série de touches sur la droite permet de choisir le calibre de mesure. Il faut toujours choisir un calibre plus grand que la grandeur à mesurer pour ne pas endommager l'appareil, et le plus petit possible (en respectant la première condition) pour avoir une meilleure précision (nombre de chiffres utiles sur l'affichage). Le multimètre se branche entre sa borne noire et une des trois bornes rouges selon la fonction utilisée.

1) Utilisation en ohmmètre

Un ohmmètre s'utilise toujours sur des appareils ou des dipôles passifs débranchés, tant pour des raisons de sécurité qu'à cause du fonctionnement de la mesure : l'ohmmètre débite un courant constant imposé par le calibre choisi et mesure la tension à ses bornes avec un voltmètre interne.

Commencer par mesurer la valeur d'une résistance sur support et comparer à la valeur annoncée ; se familiariser sur cet exemple avec l'utilisation des calibres.

Les "boîtes AOIP" noires sont des résistances ajustables, qui comportent trois bornes. **Vérifiez que la résistance entre les deux bornes diagonales est constante quand on tourne la molette, et trouvez les deux bornes entre lesquelles se trouve la résistance lue sur la molette (consulter le schéma sur le côté des boîtes). Entraînez-vous aussi à utiliser les boîtes à décades de résistances ajustables.**

Vous aurez souvent à utiliser des câbles coaxiaux (noirs) au cours des manipulations d'électronique. Au contraire des câbles habituels, les coaxiaux contiennent deux fils électriques indépendants. À leur extrémité se trouvent des fiches "bananes" ou "BNC", il y a donc des câbles banane-banane, BNC-BNC et banane-BNC. **À l'aide d'un ohmmètre repérez les bornes qui sont connectées entre elles aux extrémités de ces différents types de câbles.**

2) Utilisation en voltmètre

Un voltmètre permet de mesurer la différence de potentiel entre deux points, il s'utilise donc en dérivation par rapport au circuit à étudier. **Comme première utilisation vous pouvez mesurer la tension aux bornes d'une alimentation stabilisée continue selon le schéma suivant, vous placerez donc le voltmètre en mode continu et ferez attention à toujours utiliser un calibre adapté à la tension mesurée. Dans le doute commencez avec le plus grand calibre disponible et diminuez-le progressivement. Faites varier la tension de l'alimentation (selon le modèle le réglage se fait par**

un potentiomètre ou avec des molettes. Pour avoir une source de tension il faut placer le réglage "intensité" au maximum et ne jouer que sur le réglage "tension").

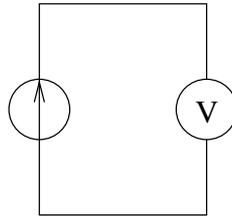


FIG. 1 – Première utilisation d'un voltmètre

Calculer théoriquement la tension aux bornes d'une des résistances en fonction de R_1 , R_2 et de la tension d'alimentation dans le circuit suivant :

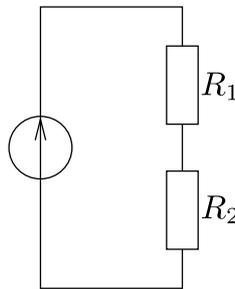


FIG. 2 – Pont diviseur de tension

Vérifiez expérimentalement vos prédictions (et la loi d'additivité des tensions en série). Choisissez les valeurs des résistances et de la tension d'alimentation de manière à ce que le courant passant dans les résistances ne dépasse pas le courant maximum qu'elles peuvent supporter.

3) Utilisation en ampèremètre – Mesure de caractéristiques

Un ampèremètre sert à mesurer le courant circulant dans un circuit, il se branche donc en série dans la branche où l'on veut mesurer l'intensité.

La caractéristique d'un dipôle D est la courbe de la tension à ses bornes en fonction de l'intensité du courant qui le traverse. Pour la mesurer on doit donc utiliser simultanément deux multimètres, un comme voltmètre et l'autre comme ampèremètre. *A priori* les deux montages de la figure 3 sont possibles.

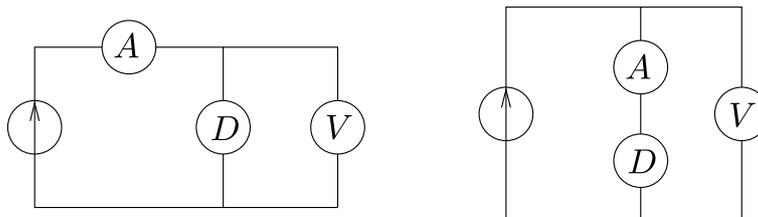


FIG. 3 – Montages courte et longue dérivation

Celui de gauche est dit "courte dérivation", celui de droite "longue dérivation". Si les multimètres étaient parfaits les deux montages seraient équivalents. En pratique ils ont des défauts par rapport au cas idéal : un voltmètre est parcouru par un faible courant (sa résistance d'entrée n'est pas infinie) et il existe une faible tension aux bornes d'un ampèremètre (sa résistance d'entrée n'est pas nulle). En général les défauts du voltmètre sont moins importants que ceux de l'ampèremètre (la résistance d'entrée du MX579 en voltmètre est de $10\text{ M}\Omega$), donc à moins de vouloir étudier des dipôles extrêmement résistifs on utilisera le montage "courte dérivation". Pour mesurer la caractéristique d'un dipôle il faut prendre une série de points, en mesurant à chaque fois tension et intensité et en modifiant la tension de l'alimentation entre chaque point. Commencez toujours par une tension très faible, et vérifiez que vous n'excédez pas les tensions et intensités maximales supportées par le dipôle.

Mesurer ainsi les caractéristiques :

- **d'une résistance, afin de vérifier la loi d'Ohm ;**
- **d'une petite ampoule. La caractéristique n'est pas linéaire, en effet selon le point de fonctionnement la température du filament change, et en conséquence sa résistance est modifiée ;**
- **d'une diode. Ce dipôle n'est pas symétrique, il faut donc le retourner pour avoir les deux parties de sa caractéristique (sens passant/bloqué).**

II) Oscilloscope et générateur basses fréquences

1) Générateur basse fréquence

Un générateur basses fréquences (dit GBF, Metrix GX239 ou sa version plus perfectionnée GX240) est un appareil qui fournit une tension variant de manière périodique au cours du temps. On peut choisir :

- la fréquence, avec les touches à enfoncer pour choisir la gamme, et le potentiomètre pour le réglage plus précis ;
- la forme du signal, sinusoïdal, triangulaire ou en créneaux, avec les boutons en haut à droite ;
- l'amplitude du signal (bouton *LEVEL*) et une éventuelle valeur non nulle de sa moyenne (*DC OFFSET*, enfoncer le potentiomètre pour annuler le décalage).

Le signal de sortie se récupère sur la prise BNC marquée *OUTPUT* ; faire attention à ne pas confondre avec la sortie *OUTPUT TTL*, qui fournit un créneau d'amplitude fixe à la même fréquence (ce qui peut être utile dans certains montages compliqués pour synchroniser un oscilloscope, mais *a priori* superflu dans la plupart des expériences simples).

2) Oscilloscope numérique

L'oscilloscope est un appareil permettant la visualisation d'un signal électrique. Sa version analogique a laissé place à des appareils numériques utilisés dans tous les lycées :

- les voies d'entrées sont numérisées à l'aide de convertisseurs analogique-numérique. Cette opération permet un traitement du signal plus riche dans les modes avancés de l'oscilloscope ;
- l'affichage est réalisé à l'aide d'un écran LCD (donc numérique).

L'oscilloscope numérique dispose aussi d'outils d'estimation des caractéristiques d'un signal plus précis qu'une estimation visuelle (mais moins que des outils dédiés à cette tâche) ainsi que de curseurs qui peuvent servir de guide.

Voici une description succincte des différents boutons pertinents. En cas de doute, se référer à la notice de l'oscilloscope (ou à un enseignant) :

– En haut à gauche, le bouton de temps permet de changer la base de temps. – En bas, les boutons de voies permettent de modifier la base de tension. Une pression sur ce bouton permet de passer à un réglage plus fin (par cran de 10 mV), une deuxième pression ramène au réglage grossier. – En dessous ou à côté des boutons de réglage de bases (temps et tension), un plus petit bouton permet de décaler le signal, horizontalement et/ou verticalement. Une simple pression sur ce bouton ramène le décalage à zéro (ça peut être utile...). – En haut à droite, le bouton single permet de faire un seul passage à l'écran (après déclenchement, voir infra) qui est ensuite figé. Le bouton Run/Stop permet de figer l'écran instantanément, que le spot ait fini son passage ou non. – Au milieu à gauche : la partie trigger (déclenchement). Elle permet de dire à l'oscilloscope comment il doit détecter le signal : faut-il se synchroniser sur la voie 1 ou la voie 2, ou une voie externe ? Par ailleurs, on peut y régler le niveau de déclenchement du spot (par exemple pour faire un single) : la mesure sera déclenchée en front montant, descendant, ou autre. – Au milieu, les curseurs de mesures : on peut faire des opérations mathématiques (addition, multiplication, FFT, ...), mais également placer des curseurs, demander à l'oscilloscope de mesurer une amplitude, une fréquence, un rapport cyclique... – Enfin, pour observer en mode XY (voie 1 en abscisse, voie 2 en ordonnée), utiliser la touche Horiz en haut à gauche.

En cas de panique (vous ne savez pas comment régler l'oscillo pour voir votre signal propre), l'utilisation de la touche "Auto Scale" est rarement pertinente... En effet, l'oscillo va alors décaler et zoomer de manière imprévisible sur les signaux, et s'il ne trouve rien d'autre que du bruit, vous afficherez des signaux en mV à l'échelle de la nanoseconde (ce qui est bien sûr du bruit). Mieux vaut alors vérifier son montage et s'assurer que le problème vient bien de l'oscillo et pas d'un problème de branchement...

Prenez le temps de vous familiariser avec l'oscilloscope en envoyant à ses entrées différents signaux : sinus, créneau, pulses, ... et essayer de les acquérir du mieux possible, de les traiter.

En observant un signal sinusoïdal sur un oscillateur numérique, observez la discrétisation du signal due au traitement du convertisseur analogique-numérique (ADC). En particulier, vous essaieriez d'estimer :

- la fréquence d'échantillonnage ;
- le pas de tension d'échantillonnage pour un calibre donné ;
- le nombre de bits du convertisseur analogique-numérique.

Vous comparerez vos résultats avec les données figurant dans la notice correspondante à votre appareil.

III) Problèmes de masse : IMPORTANT

Les cordons d'alimentation secteur de certains appareils possèdent parfois deux bornes (multi-mètres par exemple), parfois trois (GBF et oscilloscopes). Dans ce dernier cas la prise de terre est normalement reliée au point de masse du circuit. **Vérifier avec un ohmmètre, sur un GBF et un oscilloscope débranchés du secteur, qu'en effet leur fiche de terre est connectée aux masses (point extérieur) de toutes les fiches BNC sur leur façade.**

Il est crucial de se rappeler que dans un montage utilisant à la fois un GBF et un oscilloscope certains points du circuit sont implicitement reliés par la terre. On ne peut donc pas mesurer n'importe quelle tension dans le circuit, au risque d'en court-circuiter une partie.

Dans le montage (a) ci-dessous, la masse est fixée à une des bornes du GBF. Cela peut poser problème pour mesurer par exemple la tension aux bornes du boîtier AOIP : si l'on branche naïvement les deux bornes à un oscilloscope, le condensateur sera court-circuité (puisque le GBF et l'oscilloscope sont reliés par leurs carcasses). Plusieurs solutions sont possibles :

- Mesurer une autre tension. Dans notre cas, on pourrait se satisfaire de la mesure de la tension du condensateur, et en déduire celle de la résistance (avec la touche Math d'un oscilloscope numérique par exemple) (montage a) ;
- Utiliser un oscilloscope différentiel (montage b) ;
- Utiliser un transformateur d'isolement (montage c). On privilégiera cette méthode à l'agrégation de chimie.

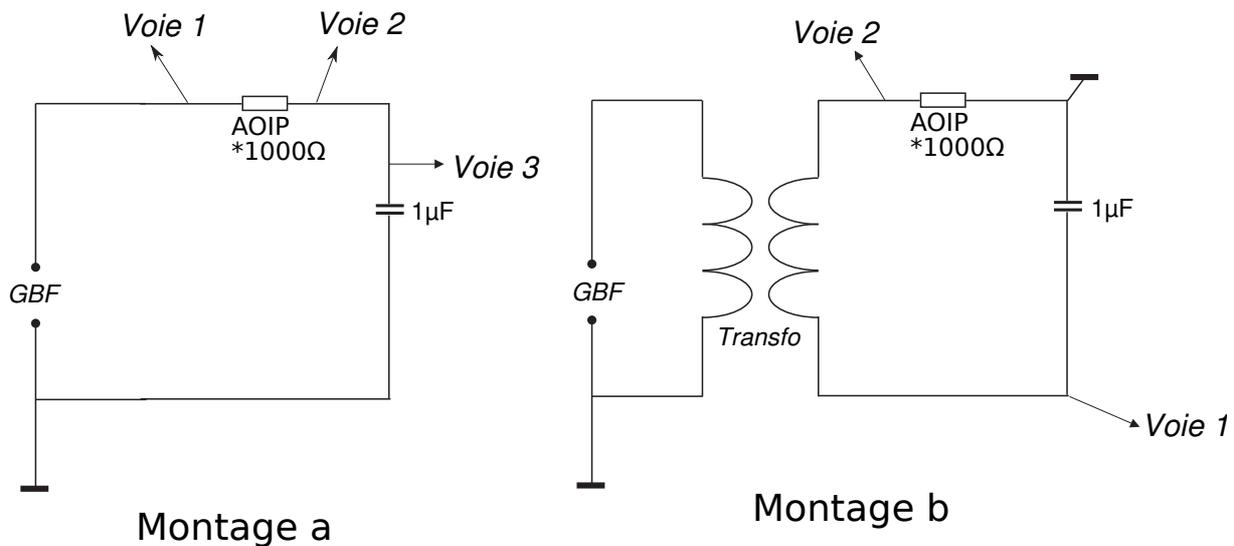


FIG. 4 – Mesure à l'oscilloscope et problème de masse

IV) Sécurité électrique

Présenter sur un tableau magnétique la maquette de sécurité électrique (voir manuel afférent). Utiliser un alternostat 0-55V que vous aurez réglé d'après les consignes de la notice pour que le disjoncteur fourni fonctionne correctement.

V) Acquisition d'un signal sur l'ordinateur

L'ordinateur est une alternative à l'oscilloscope pour l'étude des phénomènes électriques dépendant du temps. Vous disposez de cartes d'interface SYSAM-SP5 contrôlées par le logiciel Latis Pro. Elles peuvent mesurer jusqu'à huit tensions simultanément. Le logiciel permet ensuite de traiter et d'analyser les signaux acquis, en leur appliquant des opérations mathématiques ou en les ajustant à un modèle théorique. L'intérêt principal de l'ordinateur par rapport à l'oscilloscope est, outre ces capacités de traitement des données, la possibilité d'étudier des phénomènes transitoires (non-périodiques), comme par exemple la décharge d'un condensateur à travers une résistance. Seuls les oscilloscopes

numériques à mémoire peuvent enregistrer un phénomène qui se produit une seule fois, pas les oscilloscopes analogiques. Nous étudierons ces phénomènes transitoires dans le TP électronique de série 2.

On pourra commencer par enregistrer quelques périodes d'un signal issu d'un GBF pour se familiariser avec la carte et le logiciel.

Pour tester l'enregistrement en régime transitoire on réalisera le montage de la figure 4. Selon la position de l'interrupteur, le condensateur se charge ou décharge. Rappeler l'expression théorique de la tension aux bornes du condensateur en fonction du temps.

Remarque : Pour pouvoir observer de manière satisfaisante la décharge il faut utiliser des commutateurs "sans rebond" ou les petits interrupteurs sur plaquette, pour que le temps de passage d'une voie à l'autre soit le plus court possible. Sinon le condensateur, qui a une faible résistance de fuite, se décharge avant que l'on referme le circuit.

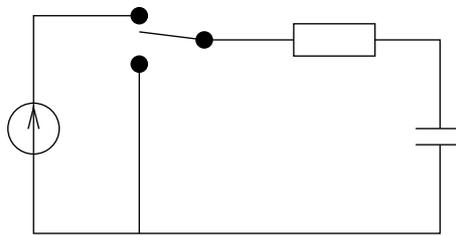


FIG. 5 – Charge et décharge d'un condensateur

1) Démarrage

Brancher le cordon d'alimentation et le câble USB sur la carte d'acquisition. Brancher le GBF à l'aide d'un cordon BNC-banane entre la masse et une des entrées, par exemple EA0, de la carte SYSAM-SP5.

Démarrer l'ordinateur. Ouvrir la session Étudiant. Si ce n'est pas déjà fait : alimenter la centrale d'acquisition SYSAM-SP5, et relier son câble USB à l'ordinateur. Ouvrir Latis Pro, à l'aide du raccourci sur le bureau ou du menu *Démarrer/Tous les programmes*. Une fenêtre s'ouvre. En haut se trouvent une première ligne avec des menus déroulants et une deuxième ligne d'icônes. La fenêtre n°1 est ouverte, elle possède des onglets en bas à gauche, permettant de basculer vers la feuille de calculs et vers le tableur. En bas à droite est indiqué le système utilisé : SYSAM-SP5 [1 E/S : 0.1 μ s] – EUROSMART doit être affiché. Si ce n'est pas le cas (affichage *Aucun système*, aller dans le menu déroulant *Matériel/Choisir système*, cliquer sur *Modifier*, choisir dans la liste SYSAM-SP5, et valider.

Remarque importante : à tout moment, vous pouvez utiliser l'aide en ligne de Latis Pro (boutons *Aide ?* ou touche F1 du clavier). Le logiciel dispose également d'une aide contextuelle : quand on positionne la souris sur un bouton, une icône, une case, une information s'affiche.

2) Paramétrage

Cliquer sur *Paramètres* dans la première ligne. Une fenêtre s'ouvre, qui permet à l'aide de différents onglets de configurer les entrées, régler l'acquisition, modifier l'affichage. Sélectionner l'onglet *Entrées*. On peut configurer les 8 entrées numérotées de 0 à 7. Ici on agit sur les entrées 0 et 1 :

- rubrique *Configuration Matérielle* : sélectionner le mode *Automatique* et le calibre (-10/+10, -5/+5, -1/+1, ou -0.2/+0.2). Il faut choisir le calibre adapté : en effet, quel que soit le calibre choisi, il est découpé en $N = 2^{12} = 4096$ niveaux (codage sur 12 bits). Si le calibre couvre une gamme de tension ΔV , la précision est donc de $\Delta V/N$. D'autre part, si on a le choix, il vaut mieux travailler avec des tensions de plusieurs volts, qui permettent souvent de rendre les bruits résiduels moins visibles.
- rubrique *Affichage* : on peut choisir le nom et l'unité de la grandeur. Pour les entrées analogiques, l'unité est bien sûr le volt, mais on peut avoir besoin des autres au cours des calculs. Cette rubrique permet aussi de choisir le style (trait, points...) et la couleur de l'affichage. Il faut aussi cocher les fenêtres dans lesquelles tracer la grandeur (ici 1).
- nous n'utiliserons pas la rubrique *Capteur*.

Répéter les étapes précédentes pour toutes les entrées actives, puis sélectionner l'onglet *Acquisition*. Le fonctionnement ressemble à celui d'un oscilloscope numérique. Choisir les réglages adaptés pour enregistrer la charge du circuit étudié :

- rubrique *Réglages* : indiquer le nombre de points à acquérir, entre 10 et 10000 ;
- rubrique *Courbes* : si on sélectionne *Remplacer*, chaque nouvelle acquisition écrase les précédentes ; avec *Ajouter*, les acquisitions successives sont sauvées sous des noms voisins ;
- rubrique *Durée*. Indiquer l'*Échantillon*, c'est-à-dire la durée entre deux points d'acquisition (entre 100 ns et 10 minutes). Il faut préciser l'unité (ns, μ s, ms, s ou min). Indiquer la durée *Totale* de l'enregistrement (au moins 20 μ s). Attention : on a la relation suivante : $Totale = Points \times Echantillon$. Les trois cases ne sont donc pas indépendantes : si on agit sur l'une des cases *Échantillon* et *Totale*, l'autre est modifiée automatiquement. Si on change les *Points*, il faut cliquer sur l'une des cases *Échantillon* ou *Totale* pour voir la modification.
- rubrique *Options* : elle est décrite dans l'aide, mais on ne s'en sert pas pour l'instant.
- rubrique *Déclenchement* : comme sur un oscilloscope, le déclenchement a lieu sur un front de tension. Il faut choisir la source, le niveau de déclenchement et le sens du front. Choisissez les paramètres pertinents pour enregistrer la charge du condensateur dans le circuit étudié.

3) Acquisition

Le système est prêt pour l'acquisition. Pour la lancer, vous pouvez utiliser le menu déroulant *Exécuter/Acquérir Signaux*, ou l'icône *Acquérir les signaux*, ou la touche F10 du clavier. Le système est alors en attente du déclenchement. Décharger le condensateur, puis le charger. L'acquisition doit avoir lieu, sinon appuyer sur la touche *Echap* et vérifier les réglages. Il peut être utile de contrôler le bon fonctionnement du circuit à l'aide d'un oscilloscope.

Remarque importante : la tension peut être irrégulière au début. Cela vient du contact fluctuant de l'interrupteur lors de son basculement : il vaut mieux le mettre juste au contact, sans chercher à l'enfoncer, ou utiliser les interrupteurs dits *sans rebond*. De plus, ce phénomène se produit avec un temps caractéristique court. On peut donc le minimiser en augmentant la durée entre deux points d'acquisition (*Échantillon*). Il faut toutefois garder suffisamment de points pour enregistrer la charge : c'est pour cela qu'on a choisi les composants pour qu'elle dure environ une seconde. Si l'on souhaite étudier des charges plus rapides, il faut procéder autrement. On peut remplacer l'interrupteur par un fil banane qu'on connecte rapidement ; avec un peu de doigté on y arrive... Une autre solution consiste à remplacer l'ensemble alimentation + interrupteur par un générateur de signaux créneaux, pour réaliser des charges et décharges successives.

4) Traitement des données et modélisation

On conseille d'exporter les données en format texte, et de les traiter sous QtiPlot. Reporter vous si besoin au poly *Mécanique* pour une introduction à QtiPlot. Tracer la courbe correspondant à la tension aux bornes du condensateur, en créant si besoin une nouvelle grandeur faisant la soustraction de deux signaux mesurés.

Ajuster la tension aux bornes du condensateur par le modèle attendu (constante moins une exponentielle décroissante). Penser à prendre en compte les incertitudes dans votre calcul.

En plus des paramètres de l'ajustement, le programme donne deux paramètres :

- un objet statistique, le coefficient de corrélation r^2
- si on a indiqué la valeur des incertitudes σ sur Y, QtiPlot indique également le χ^2/doF . Le moindre carré χ^2 est défini selon

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^P \frac{(y_i - f(x_i))^2}{\sigma_i^2}$$

où σ_i est l'incertitude de mesure sur le point i . doF est le nombre de degrés de liberté de l'ajustement. Si on a P points de mesure, et k paramètres d'ajustement, alors $doF = P - k$. L'ajustement est correct si $\chi^2/doF \simeq 1$. On parle de χ^2 réduit.