

# Sujets de TPs

# d'instrumentation

# de 1<sup>ère</sup> année

2024/2025

---

*Marie Poirier-Quinot*    *Kevin Dupraz*    *Guillaume Agnus*    *Alexis Brenes*    *Philippe Lecoer*

marie.poirier-quinot@universite-paris-saclay.fr    kevin.dupraz@universite-paris-saclay.fr    guillaume.agnus@universite-paris-saclay.fr    alexis.brenes@universite-paris-saclay.fr    philippe.lecoeur@universite-paris-saclay.fr



# Table des matières

<b>Table des matières</b>	<b>ii</b>
<b>Table des figures</b>	<b>vii</b>
<b>Conseils de rédaction</b>	<b>1</b>
0.1 Composition du compte rendu . . . . .	1
0.1.1 Introduction au compte rendu . . . . .	1
0.1.2 Présentation d'une manipulation (à réitérer autant de fois que nécessaire)	2
0.1.3 Conclusion . . . . .	3
0.2 Conseils à la rédaction du compte rendu . . . . .	3
0.3 Adopter une démarche scientifique pour écrire un bon compte-rendu . . . . .	4
<b>Grille d'évaluation</b>	<b>5</b>
<b>1 Caractérisation de composants électroniques de base</b>	<b>7</b>
1.1 Objectifs Pédagogiques . . . . .	7
1.2 Mesure de la réponse d'une alimentation . . . . .	8
1.2.1 Montage expérimental . . . . .	8
1.2.2 Mode opératoire . . . . .	9
1.2.3 Analyse des résultats . . . . .	9
1.3 Mesure de la réponse d'une résistance . . . . .	9
1.3.1 Analyse des résultats . . . . .	10
1.4 Des petites boites . . . . .	10
1.5 Conclusion . . . . .	11
<b>2 Du régime transitoire vers le régime variable</b>	<b>13</b>
2.1 Objectifs . . . . .	13
2.2 Étude d'un composant : le condensateur . . . . .	13
2.2.1 Observations préliminaires . . . . .	13
2.2.2 Théorie - A préparer à la maison . . . . .	14
2.2.3 Mesure du temps de montée . . . . .	15
2.2.3.1 protocole expérimental . . . . .	15
2.2.3.2 Analyse des résultats . . . . .	16
2.2.4 Conclusion . . . . .	16
2.3 Pour aller plus loin : Un peu d'observation . . . . .	16
2.4 conclusion . . . . .	17

<b>3</b>	<b>Le régime variable</b>	<b>19</b>
3.1	Objectifs . . . . .	19
3.2	Caractérisation d'un montage en régime variable . . . . .	19
3.2.1	Introduction . . . . .	19
3.2.2	Expérimentation . . . . .	20
3.2.3	Analyse des résultats . . . . .	20
3.2.4	Conclusion . . . . .	21
3.3	Quelques notions de sélectivité . . . . .	21
3.4	Conclusion . . . . .	21
<b>4</b>	<b>À vous de jouer !</b>	<b>23</b>
4.1	Objectifs . . . . .	23
4.2	Étude théorique . . . . .	23
4.3	Étude expérimentale . . . . .	24
4.4	Analyse des résultats . . . . .	24
4.5	Conclusion . . . . .	24
<b>A</b>	<b>Utilisation du multimètre de type HAMEG</b>	<b>27</b>
A.0.1	Mode voltmètre . . . . .	27
A.0.2	Mode ampèremètre . . . . .	29
A.0.3	Mode ohmmètre . . . . .	29
<b>B</b>	<b>Utilisation du multimètre de type KEYSIGHT</b>	<b>31</b>
B.0.1	Mode voltmètre . . . . .	32
B.0.2	Mode ampèremètre . . . . .	32
B.0.3	Mode ohmmètre . . . . .	33
<b>C</b>	<b>Utilisation du voltmètre analogique</b>	<b>35</b>
<b>D</b>	<b>Code couleurs des résistances</b>	<b>37</b>
<b>E</b>	<b>Utilisation du Générateur de Basses Fréquences (GBF) de type HAMEG</b>	<b>39</b>
<b>F</b>	<b>Utilisation du Générateur de Basses Fréquences (GBF) de type KEYSIGHT</b>	<b>43</b>
<b>G</b>	<b>Utilisation d'un oscilloscope</b>	<b>47</b>
G.0.1	Afficher une tension périodique . . . . .	47
	L'amplitude (axe vertical) : . . . . .	47
	La base de temps (axe horizontal) : . . . . .	48
	La synchronisation ( <i>trigger</i> ) : . . . . .	48
	Autoset : . . . . .	49
G.0.2	Effectuer des mesures . . . . .	49
G.0.3	Transformée de Fourier . . . . .	49
G.0.4	Autres fonctions . . . . .	50

---

<b>H</b>	<b>Utilisation d'un oscilloscope</b>	<b>51</b>
H.0.1	Afficher une tension périodique . . . . .	51
	L'amplitude (axe vertical) : . . . . .	51
	La base de temps (axe horizontal) : . . . . .	53
	La synchronisation ( <i>trigger</i> ) : . . . . .	53
	Autoset : . . . . .	53
H.0.2	Effectuer des mesures . . . . .	54
H.0.3	Transformée de Fourier . . . . .	54
H.0.4	Autres fonctions . . . . .	54
<b>I</b>	<b>TL081</b>	<b>55</b>
<b>J</b>	<b>Incertitudes et propagation d'erreurs</b>	<b>59</b>
J.1	Notation d'une grandeur physique avec son incertitude - Chiffres significatifs . .	59
J.2	Les erreurs de mesure . . . . .	60
J.3	Propagation des erreurs de mesure et des incertitudes . . . . .	62
J.3.1	la formule générale . . . . .	62
J.4	Incertitudes sur les paramètres d'un modèle d'affinement . . . . .	65



# Table des figures

1.1	Alimentation disponible en salle de TP : (a) Alimentation 0-15V ou (b) Picoscope.	8
1.2	Schéma de montage électrique pour la caractérisation d'une résistance.	10
1.3	(a) Schéma d'un circuit complexe à simplifier. (b) Circuit simplifié.	11
2.1	Schéma du premier circuit à étudier.	14
2.2	Schéma d'une charge de condensateur.	14
2.3	Schéma des deux montages à répartir entre les 2 binômes, avec $C = 1 \text{ nF}$ et $R = 100 \text{ k}\Omega$ .	15
2.4	Schéma du second circuit à étudier.	17
3.1	Schéma des deux montages à répartir entre les 2 binômes, avec $C = 1 \text{ nF}$ et $R = 100 \text{ k}\Omega$ .	20
3.2	Schéma des deux montages à caractériser à répartir entre 2 binômes.	21
4.1	Montages à AOP.	24
A.1	Image du multimètre numérique.	28
A.2	Schéma de branchement d'un voltmètre.	28
A.3	Schéma de branchement d'un ampèremètre.	29
B.1	Image du multimètre numérique.	31
B.2	Schéma de branchement d'un voltmètre.	32
B.3	Schéma de branchement d'un ampèremètre.	33
C.1	Photo du voltmètre analogique.	35
D.1	Code couleurs et lecture de la valeur d'une résistance.	37
E.1	Image du GBF.	39
E.2	Exemple de signal en sortie du GBF. Y est représenté par un signal sinusoïdal d'amplitude crête à crête de 6 V avec un offset de 5 V et de période de 10 s (fréquence égale à 0.1 Hz).	40
E.3	Exemple de signal en sortie du GBF. Y est représenté par un signal carré d'amplitude crête à crête de 6 V avec un offset de -2 V et de période $T$ de 10 s (fréquence égale à 0.1 Hz). Le rapport cyclique $\alpha = \frac{\tau}{T}$ et de 30% (0.3).	41
F.1	Image du GBF.	44

---

F.2	Exemple de signal en sortie du GBF. Y est représenté par un signal sinusoïdal d'amplitude crête à crête de 6 V avec un offset de 5 V et de période de 10 s (fréquence égale à 0.1 Hz). . . . .	45
F.3	Exemple de signal en sortie du GBF. Y est représenté par un signal carré d'amplitude crête à crête de 6 V avec un offset de -2 V et de période $T$ de 10 s (fréquence égale à 0.1 Hz). Le rapport cyclique $\alpha = \frac{\tau}{T}$ et de 30% (0.3). . . . .	45
G.1	Oscilloscope numérique . . . . .	48
H.1	Oscilloscope numérique . . . . .	52
J.1	Représentation schématique de la fidélité (ou précision), justesse et exactitude en métrologie. . . . .	60

# Conseils pour la rédaction de vos comptes-rendus

Le but d'un compte rendu de travaux pratiques est de présenter les différentes étapes d'une démarche expérimentale, qui permet de répondre intégralement ou en partie à un problème scientifique posé. Le compte rendu est un document de communication scientifique, qui sera lu et devra être compris par d'autres personnes. Ce court chapitre regroupe quelques conseils pour vous aider à le rédiger.

## 0.1 Composition du compte rendu

Le compte rendu s'ouvre par une introduction, présente chacune des manipulations effectuées ainsi que les résultats obtenus, et se termine par une conclusion.

### 0.1.1 Introduction au compte rendu

L'introduction doit comprendre les éléments suivants:

1. Contexte (2 ou 3 lignes).  
Exemple: "Dans un référentiel supposé galiléen, la dynamique d'un point matériel est régie par trois lois fondamentales dites lois de Newton : (1) xxx, (2) xxx, (3) xxx."
2. Objectif du TP (1 ou 2 phrases).  
Exemple: "Dans ce travail, nous cherchons à vérifier expérimentalement la première loi de Newton."
3. Description très succincte de l'approche expérimentale envisagée.  
Exemple: "Pour ce faire, nous étudierons le mouvement d'un mobile préparé de sorte qu'il ne subisse aucune force."

### 0.1.2 Présentation d'une manipulation (à réitérer autant de fois que nécessaire)

Chaque manipulation peut donner lieu à la présentation des éléments suivants (les sous-parties 1. et 2. peuvent être inversées) :

1. Présentation du modèle théorique.

Si votre expérience doit être comparée à un modèle théorique, rappelez :

- les relations attendues entre les différentes grandeurs physiques d'après le modèle théorique.
- les hypothèses importantes.

2. Présentation de la manipulation

- Objectif de l'expérience
- Présentation des conditions expérimentales :
  - Schéma de l'expérience ou référence à une figure de l'énoncé
  - Introduction des notations utilisées, sur le schéma ou dans le texte.  
Exemple :  $v_1$  désigne la vitesse du mobile au point de mesure 1.
- Justification des conditions expérimentales en lien avec les hypothèses du modèle. Expliquez en quoi les caractéristiques, les réglages et les conditions d'utilisation du montage expérimental permettent de se placer dans le cadre des hypothèses du modèle.
- Présentation succincte des mesures et des analyses envisagées.

3. Observations ou mesures

- Identification des grandeurs : paramètres contrôlés et grandeurs mesurées.
- Description de la méthode de mesure.
- Description de la méthode d'évaluation des incertitudes de mesure.
- Report des résultats bruts<sup>1</sup> dans un tableau ou dans un graphique incluant les incertitudes de mesure.

4. Exploitation des mesures

- Calcul des grandeurs physiques pertinentes et de leurs incertitudes à partir des grandeurs mesurées.
  - Indiquez les formules utilisées sous forme littérale, puis faites l'application numérique.
  - Présentation des grandeurs physiques calculées avec leurs incertitudes et le bon nombre de chiffres significatifs.  
Exemple :  $X = 32.56 \pm 0.02$  mm.
- Comparaison au modèle, éventuellement à l'aide d'un graphique. Discussion qualitative, puis quantitative.
- Conclusion en rapport avec l'objectif énoncé en début de partie.

---

1. Par résultats bruts, on entend les valeurs de toutes les grandeurs mesurées, avant traitement des données.

### 0.1.3 Conclusion

La conclusion se déroule en deux temps :

- Résumé de la démarche expérimentale, des résultats obtenus et de l'interprétation de ceux-ci.
- Avis personnel concernant les expériences réalisées, la démarche scientifique et ses limites, les possibilités d'expériences complémentaires et d'applications.

## 0.2 Conseils à la rédaction du compte rendu

**Indiquez votre nom sur le compte-rendu**, ainsi que celui de votre binôme le cas échéant.

**Votre texte doit être clair, court et précis.** Structurez votre texte en paragraphes, chaque paragraphe correspondant à une idée. Privilégiez les phrases simples et courtes. Dès que possible, utilisez tableaux, graphes et schémas. Ceux-ci permettent de présenter une grande quantité d'informations sur peu d'espace, et offrent une vue globale sur un montage ou un ensemble de données expérimentales.

**Détachez votre texte de l'énoncé.** Si l'énoncé comporte des questions, ne vous contentez pas d'y répondre l'une après l'autre. Rédigez votre texte dans un tout cohérent qui s'enchaîne de manière fluide. Ne recopiez pas ce qui est déjà écrit par ailleurs, et privilégiez une référence en bonne et due forme (« d'après le protocole page 10 du guide, . . . »).

**Les commentaires subjectifs sont à proscrire.** Évitez les phrases telles que « Cette mesure est bizarre », ou bien «  $n = 1.2$ , ceci semble assez faible ». Utilisez plutôt du vocabulaire précis comme « Cette mesure s'écarte de la tendance observée à partir des autres mesures. Il s'agit d'un point aberrant dont l'origine pourrait être... » ou «  $n = 1.2$ , ce qui est 20% plus faible que la grandeur prédite par le modèle ou que la valeur tabulée. . . ».

**Mettez en valeur les éléments importants de votre compte-rendu.** Vous pouvez par exemple encadrer les relations importantes, souligner vos résultats majeurs, dégager les parties importantes via l'usage de couleurs, puces, chiffres. . .

**Un langage correct, une bonne orthographe ainsi qu'une écriture aérée et lisible** seront toujours un plus.

Les **figures et les tableaux** doivent être numérotés puis appelés et commentés dans le texte. Sinon, cela signifie qu'ils ne sont pas nécessaires au raisonnement scientifique... Accompagnez ceux-ci d'une légende.

Sous le tableau 1, une légende : « Tableau 1 : Temps de passage du mobile sous chacune des quatre cellules photoélectriques ». Dans le texte : « Les données brutes du temps de passage du mobile pour chaque cellule sont données dans le Tableau 1. »

Sur les **graphiques**, écrivez ce qui est porté en x et en y avec les unités. Choisissez les échelles de sorte que votre courbe occupe le maximum d'espace disponible. S'il y a plusieurs courbes, indiquez dans une légende la correspondance entre les symboles et les grandeurs physiques représentées. Les graphiques sont des figures. Ils doivent être numérotés puis appelés et commentés dans le texte.

Sous le graphique 1, une légende : « Graphique 1 : Vitesse du mobile en fonction de sa position ». Dans le texte : « Sur le graphique 1, on a tracé la vitesse du mobile en fonction de sa position. On observe une courbe qui croît de plus en plus vite avec la position. »

Dans les **tableaux**, chaque ligne et/ou colonne comporte la quantité portée dans le tableau et son unité.

Dans les **équations ou formules**, tous les paramètres doivent être bien définis dans le texte.

Vos **mesures et résultats** doivent toujours être accompagnés de leurs incertitudes et écrits avec le bon nombre de chiffres significatifs. N'oubliez pas les unités. Donnez toujours les formules littérales qui ont permis de calculer grandeurs physiques et incertitudes.

### 0.3 Adopter une démarche scientifique pour écrire un bon compte-rendu

Lors du processus d'expérimentation, les pièges sont nombreux : matériel défectueux, erreurs de mesure, erreurs de calcul des grandeurs physiques et de leurs incertitudes... **Adoptez un regard critique**, demandez-vous à chaque étape de votre démarche si vos résultats ont un sens, s'ils sont cohérents avec ce qu'on peut attendre.

**La présentation des mesures brutes et des conditions de mesure est une étape incontournable du travail d'un expérimentateur.** Si l'interprétation des mesures s'avère fautive, il doit être possible de reprendre les données brutes et d'élaborer un meilleur raisonnement. Par ailleurs, en indiquant de façon claire et détaillée votre protocole de mesure, vous permettez à une personne à l'autre bout du monde de reproduire et d'éprouver vos résultats.

Au début des études en Physique, les expériences servent souvent à vérifier la validité de modèles théoriques bien établis. Aux frontières de la recherche, les expériences peuvent aussi apporter

des données qu'il convient de reproduire avec une modélisation physique adéquate. Dans les deux cas, la **détermination des barres d'erreur et des incertitudes est indispensable**, car elle fixe la précision à laquelle l'accord théorie-expérience doit être vérifié.

En tant que jeune étudiant(e) en Sciences, vous devez dès à présent exiger **l'intégrité scientifique pour vous-même et pour vos collègues**. Lors de vos TPs, ne cherchez pas à « modifier » vos résultats s'ils ne paraissent pas cohérents. Discutez plutôt les problèmes potentiels (montage, méthode de mesure, validité des différentes hypothèses. . .) que vous avez pu rencontrer. Si vous constatez des erreurs dans vos mesures, il est important de le souligner. Soyez conscients que l'équipe enseignante valorise au moins autant votre logique et votre démarche scientifique que vos résultats.

Si vous copiez du texte ou que vous utilisez d'autres données que les vôtres, **citez vos sources**. Sinon, on peut considérer cela comme du plagiat.

## Grille d'évaluation des comptes-rendus de TP

	Absent/inacceptable	Insuffisant	Satisfaisant	Excellent	Note Max
<b>Forme générale, structure du compte-rendu</b>	Incompréhensible ou illisible CR peu structuré	Clarté <b>ou</b> orthographe qui laisse à désirer Figures non numérotées <b>ou</b> figures non appelées dans le texte	Compte rendu clair <b>et</b> sans trop de fautes d'orthographe CR structuré <b>et</b> figures numérotées <b>et</b> appelées dans le texte	<b>Satisfaisant</b> + effort particulier de clarté et d'illustration	<b>1.5</b>
<b>Introduction</b>	Pas d'introduction	Introduction peu claire <b>ou</b> qui ne présente que la problématique <b>ou</b> le contenu du TP	Introduction claire qui présente la problématique <b>et</b> le contenu du TP	<b>Satisfaisant</b> + commentaires sur le contexte	<b>1.5</b>
<b>Modèle et équations</b>	Pas d'introduction du modèle et des équations pertinentes	Absence des principes physiques <b>ou</b> des hypothèses sous-tendant le modèle <b>ou</b> notations non introduits	Principes physiques <b>et</b> hypothèses sous-tendant le modèle clairement exposés <b>et</b> notations introduites	<b>Satisfaisant</b> + commentaires pertinents sur les modèles alternatifs ou les limites du modèle	<b>1.5</b>
<b>Protocole expérimental</b>	Pas de protocole	Protocole peu clair ou incomplet (matériel, méthodes de mesure, schéma)	Protocole clair et complet	<b>Satisfaisant</b> + discussions des limites du protocole et améliorations potentielles	<b>1.5</b>
<b>Observations/mesures</b> (y compris qualité des mesures effectuées et soin à l'expérimentation)	Pas de données brutes ou observations	Les données brutes sont de mauvaise qualité <b>ou</b> trop peu nombreuses <b>ou</b> mal présentées	Les données brutes sont de bonne qualité <b>et</b> clairement présentées	<b>Satisfaisant</b> + données remarquables en qualité ou quantité et pertinentes	<b>1.5</b>
<b>Incertitudes et chiffres significatifs</b>	Pas d'incertitudes	Incertitudes sur les paramètres mesurés/calculés mais pas de description de la méthode de détermination	Incertitudes sur les paramètres mesurés/calculés <b>et</b> description de la méthode de détermination	<b>Satisfaisant</b> + propositions pour diminuer les incertitudes	<b>1.5</b>
<b>Graphiques</b>	Pas de graphiques	Pas d'axes <b>ou</b> pas de légende <b>ou</b> graphiques illisibles	graphiques clairs <b>et</b> légendés <b>et</b> avec des axes <b>et</b> des unités	<b>Satisfaisant</b> + ajouts d'éléments pour illustrer l'exploitation des données	<b>1.5</b>
<b>Interprétation, comparaison théorie/expérience</b>	Pas d'interprétation ni de comparaison théorie/expérience	Interprétation partielle <b>ou</b> peu claire des observations, comparaison exclusivement qualitative ou quantitative entre modèle et expérience	Interprétation des phénomènes <b>et</b> explications qualitatives, comparaison qualitative <b>et</b> quantitative entre modèle et expérience	<b>Satisfaisant</b> + les conclusions replacent les résultats obtenus dans un contexte plus général, un regard critique est porté sur les données expérimentales.	<b>3</b>
<b>Conclusion</b>	Pas de conclusion	Conclusion peu claire	Conclusion claire qui résume les résultats	<b>Satisfaisant</b> + perspectives et remarques sur l'utilisation des méthodes en dehors du TP	<b>1.5</b>

**15**

**NB:**

Chaque séance est notée sur 20 points.

15 points permettent d'évaluer la qualité de vos mesures, de leur interprétation et la rédaction de votre compte-rendu. 5 points permettent d'évaluer votre préparation du TP (lecture du polycopié), votre attitude pendant la séance (écoute et respect des consignes), votre ponctualité, le rangement des paillasse en fin de séance, et enfin l'aboutissement du travail d'analyse des données et de rédaction du compte-rendu.

# TP 1

## Caractérisation de composants électroniques de base

### 1.1 Objectifs Pédagogiques

- Analyse d'un circuit - prédiction des valeurs de  $U, I$  et  $R$  en n'importe quel point.
- conception d'un montage
- réalisation d'un montage à base d'alimentation stabilisée, de générateur basse fréquence et de résistances
- utilisation d'instruments de mesure : voltmètre, ampèremètre, ohmètre
- caractéristique Courant/Tension des éléments de base : alimentation stabilisée, générateur, résistance
- mesure de la tension à vide et du courant de court-circuit
- déterminer la résistance équivalente d'un circuit

Allez voir votre cours au chapitre : **Régime continu.**

Lors de ce TP nous allons étudier la réponse électrique de différents composants que nous utiliserons au cours de l'année. Pour commencer nous étudierons la source de tension mise à notre disposition, puis un composant de base : la résistance. Afin de mener à bien cette étude nous nous familiariserons avec un instrument de mesures essentiel en électronique : le multimètre.

Le matériel à disposition est composé de résistances, d'une alimentation (voir figure 1.1), de câbles coaxiaux, de câbles bananes, et de multimètres numériques.

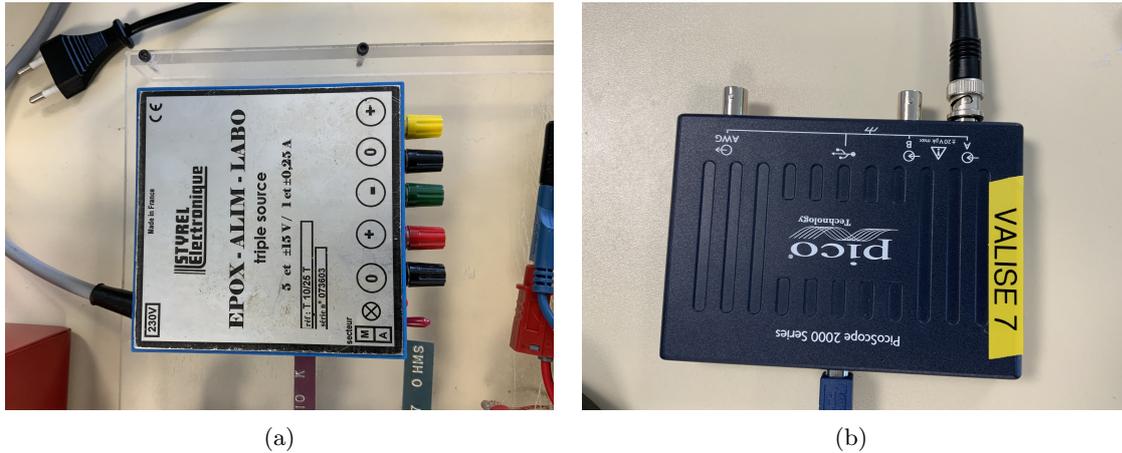


FIGURE 1.1 – Alimentation disponible en salle de TP : (a) Alimentation 0-15V ou (b) Picoscope.

## 1.2 Mesure de la réponse d'une alimentation

Nous souhaitons caractériser notre source de tension afin d'en connaître ses limites. La source de tension est une source continue donc **indépendante du temps**. Les seuls paramètres intéressants sont donc :

- la tension ( $U$ ),
- le courant ( $I$ )

délivrés par cette source. L'objectif de cette partie est de tracer la caractéristique  $I = f(U)$  de la source.

### 1.2.1 Montage expérimental

Nous avons besoin de mesurer le courant  $I$  en fonction de la tension  $U$  délivrée par le générateur. Cette mesure est effectuée par un ampèremètre (fonction disponible sur le multimètre). Pour mesurer  $U$  nous utiliserons un voltmètre.

- Proposez un montage électrique permettant de mesurer plusieurs points (différentes valeurs de  $I$ ) de la courbe caractéristique de cette source. Vous ferez un schéma du montage sur lequel apparaîtront les appareils de mesures: ampèremètre et voltmètre, ainsi que la source à caractériser.
- Calculez pour chaque valeur de  $R$  de  $4\text{ M}\Omega$  à  $1\ \Omega$  les valeurs de  $U$  et  $I$  attendues. En fonction de  $I$  trouvé, quelle est la valeur de  $R$  minimum acceptée par votre boîte à décade ? Pour une valeur de  $R$  donnée sur quel calibre devez vous mettre l'ampèremètre ?

### 1.2.2 Mode opératoire

Une fois le montage électrique réalisé et validé par l'enseignant, réalisez une dizaine de mesures (de  $I$  et  $U$ ). Estimez vos incertitudes (précision) sur la mesure (principalement celles des instruments).

**Attention**, pour chaque nouvelle mesure, i.e pour chaque modification de valeur de résistances, débranchez la boîte à décades afin d'éviter de détériorer l'ampèremètre ( $i > i_{calibre}$  pour des valeurs de résistances trop faibles).

Pour cette expérience, attention aux résistances dont la valeur est inférieure à  $100 \Omega$ . Comment faire pour éviter la surchauffe pour ces points à fort courant ? Pensez au pont diviseur de courant.

**BONUS:** Que se passe t'il quand  $R$  devient suffisamment petit. Réfléchissez à l'évolution du courant circulant dans votre circuit. On vous rappelle que la chaleur dissipée est proportionnelle à la puissance  $P$  consommée, i.e.  $P = RI^2$ .

### 1.2.3 Analyse des résultats

Tracez la courbe  $I = f(U)$  (ou  $U = f(I)$ ) obtenue.

Que pouvez vous en déduire sur les caractéristiques du générateur ?

Voici quelques pistes pour vous aider à répondre à cette question :

- quelles sont les tendances observées de la courbe ?
- Par quel type de source peut être considéré ce générateur ( source de tension idéale, source de courant idéal... ) ?
- si non, donnez la plage de fonctionnement du générateur dans laquelle il peut être considéré idéal.

## 1.3 Mesure de la réponse d'une résistance

Nous voulons à présent étudier la réponse d'une résistance (composant de base de l'électronique). Pour cela nous allons également tracer la courbe caractéristique  $I = f(U)$  de ce composant. Le schéma de montage est donné dans la figure 1.2 (exemple de résistance 10 kOhms).

- Pour la résistance variable nous allons utiliser le boîtiers de résistance variable (boîte à décades) disponible dans la salle ou les potentiomètres. Vous verrez en cours que le montage source de tension-résistance est un montage souvent utilisé (générateur de Thévenin). Quel est l'intérêt de la résistance variable ?
- Mesurer la valeur de la résistance étudiée à l'aide d'un Ohmmètre.

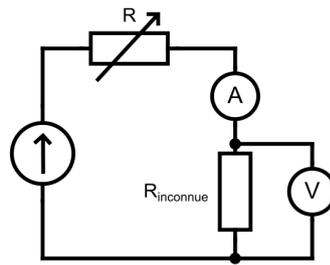


FIGURE 1.2 – Schéma de montage électrique pour la caractérisation d'une résistance.

### 1.3.1 Analyse des résultats

Procédez aux mesures une fois le montage vérifié et validé par l'enseignant, et faites l'analyse des résultats comme précédemment (cf. section 1.2.3).

- Que pouvez vous conclure sur la précision de la valeur de la résistance (comparez la valeur que vous avez trouvée, celle mesurée à l'Ohmmètre et celle donnée par le constructeur) ?
- Soyez critique sur la précision de chacune des valeurs (cela signifie faire le calcul des incertitudes sur les 3 valeurs obtenues !). Retrouve-t-on toujours la même valeur de résistance après plusieurs mesures ? Evaluer l'incertitude en faisant plusieurs mesures. Vous pouvez aussi vous référer en complément à la tolérance disponible à partir du code couleur.

## 1.4 Des petites boites

Nous allons maintenant simplifier un schéma électronique (composé de résistances) et vérifier que le circuit simplifié est bien équivalent au circuit complet.

Simplifiez le circuit donné sur la figure 1.3(a) en utilisant le générateur et deux résistances  $R_{eq1}$  et  $R_{eq2}$ , puis uniquement un générateur de tension  $E_{eq}$  en série avec une résistance  $R_{eq}$ . Ne touchez pas à la résistance de charge  $RC$  entre  $A$  et  $B$ , elle représente l'appareil alimenté par le circuit (un moteur, un PC, un téléphone, bref ce que vous voulez). Les résistances mises en jeu sont :

- $E = 1 \text{ V}$
- $R1 = 100 \Omega$ ,
- $R2 = 18 \text{ k}\Omega$ ,
- $R3 = 22 \text{ k}\Omega$ ,
- $R4 = 4.7 \text{ k}\Omega$ ,
- $R5 = 2.2 \text{ k}\Omega$ ,
- $RC = 10 \text{ k}\Omega$

Pour l'alimentation vous disposez d'alimentation continue sur vos tables ou de générateur de fonction dont vous pouvez utiliser un offset pour générer une composante de tension continue.

**Pour vous aider :** on a une résistance  $Req1$  équivalente aux 3 résistances  $R1$ ,  $R2$  et  $R3$  et une seconde  $Req2$  équivalente aux résistances  $R4$  et  $R5$ .

Quelles sont les valeurs de ces deux résistances équivalentes ( $Req1$  et  $Req2$ ) ?

Quelle est l'hypothèse qui vous permet de brancher le voltmètre et le multimètre sans que les propriétés (les valeurs) du montage ne soient altérées ?

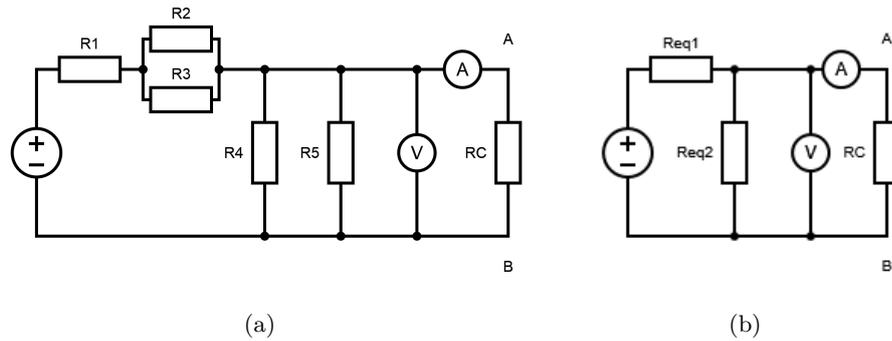


FIGURE 1.3 – (a) Schéma d'un circuit complexe à simplifier. (b) Circuit simplifié.

Faites les deux montages donnés sur la figure 1.3.

Que valent la tension et l'intensité mesurées dans les deux montages ? Pouvez vous dire (aux erreurs près) que ces deux montages sont équivalents au niveau de  $RC$  ?

**Pour aller plus loin :** Calculer les valeurs de paramètres du circuit  $E_{eq}$  et  $R_{eq}$  d'un montage équivalent à un générateur de Thévenin. Réaliser le montage si vous avez le matériel nécessaire. Mesurer à nouveau la tension et l'intensité aux bornes de  $RC$ , et vérifier l'équivalence de ce nouveau circuit avec les deux autres.

## 1.5 Conclusion

Faites une conclusion générale sur vos mesures et leurs analyses.

Comparez la caractéristique courant-tension d'un générateur et celle d'un dipôle passif (la résistance). Tracez les deux sur le même schéma et trouvez le point de fonctionnement.



## TP 2

# Du régime transitoire vers le régime variable

### 2.1 Objectifs

Lors de ce TP nous allons voir la notion de régime transitoire :

- au travers de l’observation qualitative du fonctionnement d’un circuit composé d’un condensateur, de diodes et de résistances (dont le rôle est de limiter le courant).
- par l’étude de la tension aux bornes d’un condensateur soumis à une unique variation discontinue de tension (signal d’entrée = un signal créneau).
- et par l’observation de la tension aux bornes de ce condensateur soumis à un signal créneau de fréquence variable.

Allez voir votre cours au chapitre : **Régime transitoire.**

### 2.2 Étude d’un composant : le condensateur

#### 2.2.1 Observations préliminaires

Observez le montage présenté dans la figure 2.1. Le symbole  $\overrightarrow{\text{D}}$  représente une diode électroluminescente (DEL ou LED en anglais). Ce composant ne laisse passer le courant que dans un sens (repéré par l’orientation du triangle) et produit de la lumière en réponse. Le symbole  $\overline{\text{C}}$  représente un condensateur, qui est le composant que nous allons étudier ici. Si vous n’avez pas la bonne valeur de capacité pour le condensateur, prenez en un avec la valeur la plus proche possible.

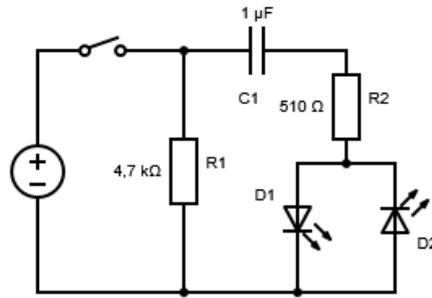


FIGURE 2.1 – Schéma du premier circuit à étudier.

**Un condensateur peut avoir une polarité à respecter ; une borne + et une borne -, tout comme les LED.**

Une fois le montage réalisé par l'enseignant, décrivez ce que vous observez lorsqu'on ferme l'interrupteur. Décrivez à nouveau ce que vous observez lorsqu'on rouvre l'interrupteur (**sans chercher à expliquer**). Vous pouvez prendre une tension de 15 V pour mieux observer l'illumination des diodes au lieu de 5 V.

### 2.2.2 Théorie - A préparer à la maison

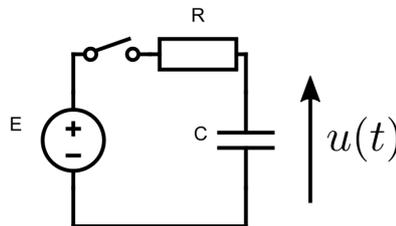


FIGURE 2.2 – Schéma d'une charge de condensateur.

En se basant sur le schéma de la figure 2.2, résolvez l'équation différentielle

$$E = RC \frac{du(t)}{dt} + u(t)$$

où  $R$  est la résistance et  $E$  la tension délivrée par le générateur.

**Attention :** il y a deux solutions qui dépendent des conditions aux limites étudiées (initiales et finales). Différents cas sont possibles. Pour rappel si décharge : 1/ on ferme le circuit avec  $E$  et  $q(t=0)=0$  (on est déchargé), 2/ on ferme le circuit avec  $E=0$  V et  $q(t=0)=EC$  (on est chargé).

- Exprimer le **temps de montée**  $t_m$  (temps mis au signal pour passer de 10% à 90% de sa valeur maximale) en fonction de  $\tau$ .
- Exprimer le **temps de descente**  $t_d$  (temps mis au signal pour passer de 90% à 10% de sa valeur maximale) en fonction de  $\tau$ .

### 2.2.3 Mesure du temps de montée

Pour cette partie, mettez-vous par groupe de 2 binômes et répartissez-vous les deux montages de la figure 2.3.

#### 2.2.3.1 protocole expérimental

On souhaite à présent mesurer le **temps de montée**  $t_m$  et le **temps de descente**  $t_d$  calculés précédemment.

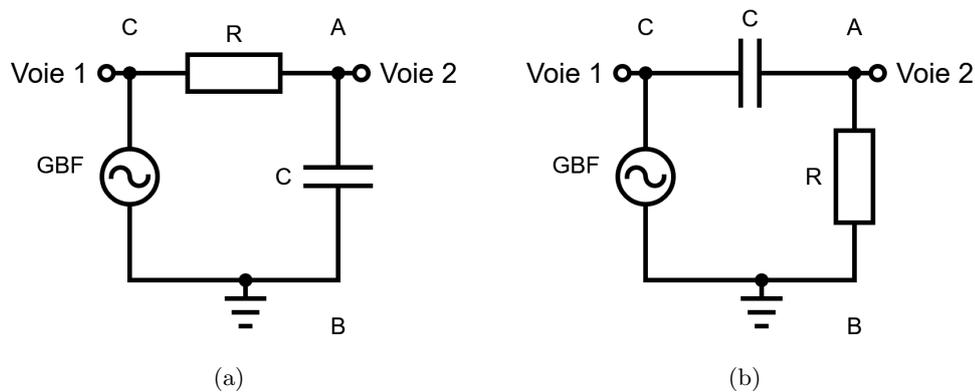


FIGURE 2.3 – Schéma des deux montages à répartir entre les 2 binômes, avec  $C = 1 \text{ nF}$  et  $R = 100 \text{ k}\Omega$ .

Lisez la documentation du GBF et de l'oscilloscope en annexe. Puis réalisez le montage.

Valeurs des composants :

- $C = 1 \text{ nF}$
- $R = 100 \text{ k}\Omega$
- GBF = créneaux entre 0 V et 10 V (ou 1 V si vous êtes avec un PICOSCOPE).
- Voie 1 et Voie 2 = Voies de l'oscilloscope pour visualiser le signal du GBF et celui du composants étudiés (condensateur ou résistance)

*Si vous n'avez pas les bonnes valeurs des composants, prenez celui avec la valeur la plus proche possible.*

Le créneau est choisi afin de modéliser le comportement d'un interrupteur. Nous allons générer des créneaux avec un rapport cyclique de 50% (durée équivalente entre l'état haut et l'état bas). Une tension de 0 V représentera un fil et une tension de 10 V (ou 1 V) une source de tension de cette valeur. Réglez la fréquence du GBF afin que chaque niveau (état haut et état bas) du signal durent au moins  $10\tau$ .

Une fois le montage réalisé :

- Visualiser le signal du GBF et réglez le en fonction des indications précédentes

- Mesurez la valeur de la tension maximale
- Mesurez à l'aide de l'oscilloscope le temps de montée  $t_m$
- Mesurez à l'aide de l'oscilloscope le temps de descente  $t_d$
- Sont-ils identiques ?

Remarque : Pour les mesures avec les curseurs, se placer dans le mode "fine" au lieu de "coarse", qui permettent d'ajuster le faisceau sur l'écran de l'oscilloscope. Evaluer toujours les incertitudes en faisant plusieurs mesures (en tension et en temps).

### 2.2.3.2 Analyse des résultats

Calculez la tension de la voie 2 ( $U_{AB}$ ) en fonction du temps lorsque la tension du GBF est à 0 V et lorsqu'elle est à 10 V (ou 1 V selon votre cas).

- Quelle est la valeur de la tension maximale ? Est elle compatible avec ce que vous avez mesuré ?  
À votre avis d'où vient la différence entre l'amplitude maximale théorique du signal et celle que vous mesurez ?  
**Pour vous aider :** que représentent la voie 1 et la voie 2, qu'est ce qu'il y a derrière ?
- Calculez la constante de temps (que l'on appelle aussi temps caractéristique)  $\tau = RC$ .  
À quoi correspond ce temps (pour la valeur de l'amplitude du signal) ?
- Exprimez le temps de montée  $t_m$  en fonction de  $\tau$ .  
Estimez vos incertitudes et comparez vos résultats avec la valeur théorique de la constante de temps  $\tau = RC$ .

### 2.2.4 Conclusion

Récupérez les résultats de l'autre binôme. Comparez les deux montages. Qu'ont ils en commun ? Auriez-vous pu prédire les résultats de l'autre binôme avec vos mesures ?

À votre avis (ou observez) que se passerait t'il si l'on augmente la fréquence ? Pour vous aider, considérez les deux cas extrêmes pour la période  $T$  du signal du GBF :  $T \ll \tau$  et  $T \gg \tau$ . N'oubliez pas de représenter la forme des signaux.

## 2.3 Pour aller plus loin : Un peu d'observation

Réalisez le schéma électrique de la figure 2.4. Le symbole  $\}$  représente une bobine ou inductance (en anglais « self » ou « coil »), qui est un composant de base de l'électronique que vous étudierez en TD. L'inductance s'exprime en Henry ( H ).

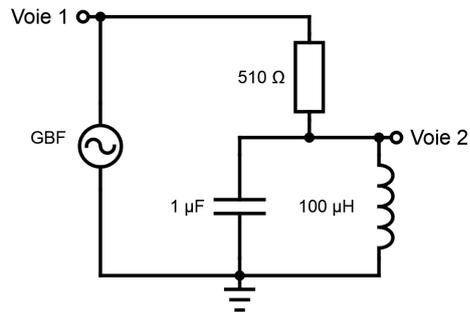


FIGURE 2.4 – Schéma du second circuit à étudier.

Une fois le montage vérifié par l'enseignant, réglez le GBF comme précédemment (même signal, même fréquence). Détaillez vos observations, faites des mesures complémentaires si besoin. De quelle fonction se rapproche le signal observé sur la voie 2 de l'oscilloscope ? Pensez à faire des schémas, des photos, etc.

## 2.4 conclusion

Concluez sur les résultats obtenus. D'après vous à quoi peut servir un condensateur en électronique ?



# TP 3

## Le régime variable

### 3.1 Objectifs

Ce TP est consacré à l'étude de différents systèmes électroniques en régime variable (ou forcé). Nous nous intéresserons particulièrement à la réponse du système au signal d'entrée.

- Introduction des régimes variables et étude du régime permanent
- Mesure de tension et de déphasage
- Représentation de la *fonction de transfert* en module et en phase en fonction de la fréquence

Allez voir votre cours au chapitre : **Représentation des Signaux / Outils Mathématiques.**

### 3.2 Caractérisation d'un montage en régime variable

#### 3.2.1 Introduction

Nous allons caractériser le montage vu au TP2 en régime variable permanent (i.e. sans chercher à observer le régime transitoire). Vous aviez remarqué qu'il s'agit d'un montage où les grandeurs (tension, courant) dépendent du temps. Nous allons donc étudier la réponse de ce système non pas à une tension constante mais pour une tension variable dans le temps.

Nous allons choisir ici la fonction sinus :  $v(t) = \frac{A_{pp}}{2} \sin(\omega t + \phi_0) = A_{max} \sin(\omega t + \phi_0)$ , la fonction de base à partir de laquelle on peut décrire l'ensemble des signaux quasi périodiques (cf. cours).

### 3.2.2 Expérimentation

Voici les deux circuits à étudier.

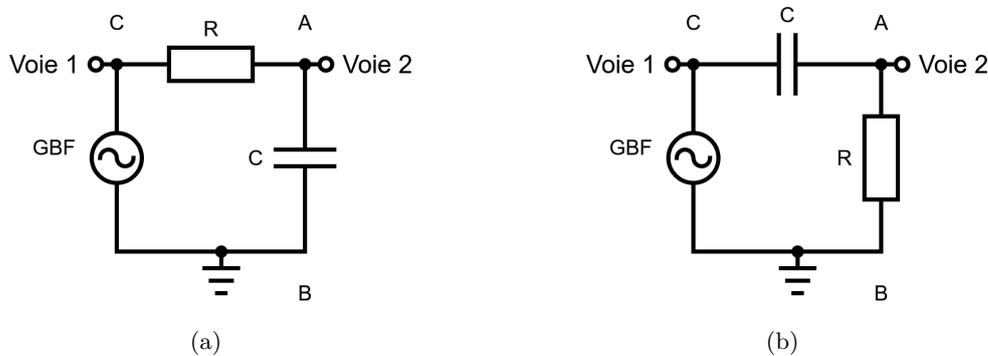


FIGURE 3.1 – Schéma des deux montages à répartir entre les 2 binômes, avec  $C = 1 \text{ nF}$  et  $R = 100 \text{ k}\Omega$ .

Pour caractériser le montage, nous allons comparer l'amplitude  $A_{GBF}$  et la phase  $\phi_{GBF}$  du signal généré par le GBF avec celles mesurées en sorties du système  $A_{AB}$  et  $\phi_{AB}$  entre les points A et B. Cette mesure peut être faite de différentes manières. Ici nous allons utiliser un oscilloscope pour visualiser les deux signaux (GBF et sortie du système). Mettez-vous par groupe de 2 binômes et répartissez-vous les deux montages de la figure 3.1. Assurez-vous de prendre les mêmes valeurs de  $R$  et  $C$ .

1. Pour une valeur d'amplitude  $A_{GBF}$  (que vous aurez fixée), changez rapidement la fréquence du signal sinusoïdal (entre environ 10 Hz et 1 MHz) et observez comment  $A_{AB}$  évolue. Commentez vos observations.
2. De ces observations définissez la plage de fréquences pour laquelle  $A_{AB}$  évolue et pour une dizaine de fréquences choisies dans cette plage :
  - Mesurez l'amplitude du signal généré par le GBF ( $A_{GBF}$ )
  - Mesurez l'amplitude en sortie du montage ( $A_{AB}$ ).
  - Mesurez la différence de phase ( $\Delta\phi = \phi_{GBF} - \phi_{AB}$ ) entre les deux signaux (cf. cours).

### 3.2.3 Analyse des résultats

- Calculez le rapport  $G = \frac{A_{AB}}{A_{GBF}}$  pour chacune de vos mesures.
- Tracez  $G$  et  $\Delta\phi$  en fonction de la fréquence en échelle logarithmique et comparez ce tracé avec celui en échelle linéaire. Quel est l'avantage d'utiliser une échelle logarithmique ?
- Comparez les deux montages dont vous aurez représenté les fonctions de transfert en gain et en phase sur le même graphique.

### 3.2.4 Conclusion

Présentez vos résultats ainsi que ceux de l'autre montage. Comparez avec les valeurs théoriques attendues. Quelles sont les caractéristiques de ces deux circuits (Gain en dB en basses et hautes fréquences, le déphasage, les pentes, les similitudes et différences) ?

Comment auriez-vous pu anticiper les résultats du second montage sans avoir à réaliser la mesure ?

Que pouvez-vous conclure sur ce type de montage (décrire physiquement la fonction de ces deux montages) ?

## 3.3 Quelques notions de sélectivité

Pour aller un peu plus loin, maintenant que vous êtes au point sur le montage, caractérisez les montages de la figure 3.2 de la même manière que précédemment.

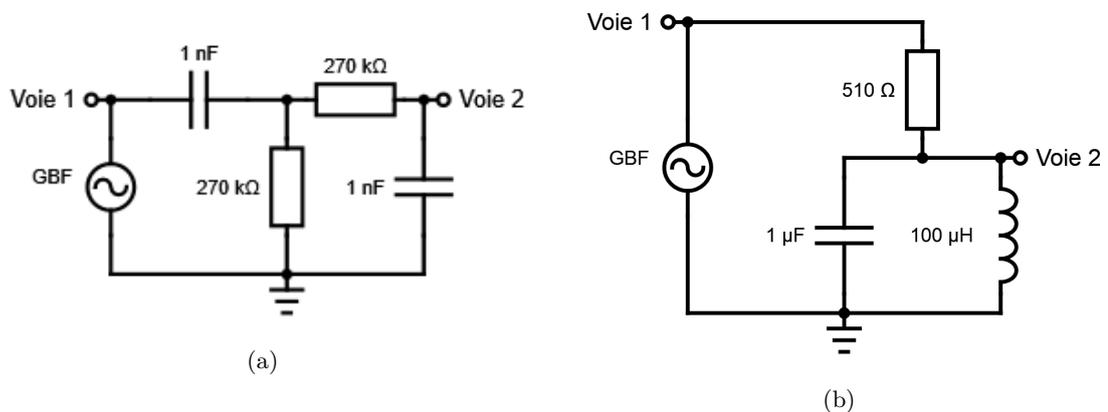


FIGURE 3.2 – Schéma des deux montages à caractériser à répartir entre 2 binômes.

Présentez vos résultats et concluez sur les similitudes et différences de ces deux montages. Auriez-vous pu prédire la réponse du système de la figure 3.2(a) uniquement avec celles des deux systèmes de la section 3.2 ?

## 3.4 Conclusion

Ecrivez une conclusion générale sur vos mesures et leurs analyses, si les résultats sont en bon accord avec les valeurs théoriquement attendues. Discutez des différents types de filtres que vous avez étudiés au cours de ces expérimentations.



## TP 4

# À vous de jouer !

### 4.1 Objectifs

Nous allons à présent étudier les Amplificateurs OPérationnels (AOP) parfaits. Ce sont les composants actifs de bases en électronique. Plus particulièrement nous allons voir quelques montages (systèmes) simples mettant en jeux ce composant.

Allez voir votre cours au chapitre : **Amplificateurs Opérationnels / Filtres Actifs.**

### 4.2 Étude théorique

Les quatre montages que nous allons étudier au cours de ce TP sont représentés sur la figure 4.1.

Avec l'aide du cours, dans quel régime les AOP sont ils utilisés ? Calculez théoriquement la relation liant la sortie  $V_s$  à l'entrée  $V_e$  (ou aux entrées  $V_{e1}$  et  $V_{e2}$  pour le schéma de la figure 4.1(d)), dans chacun des 4 cas précédents.

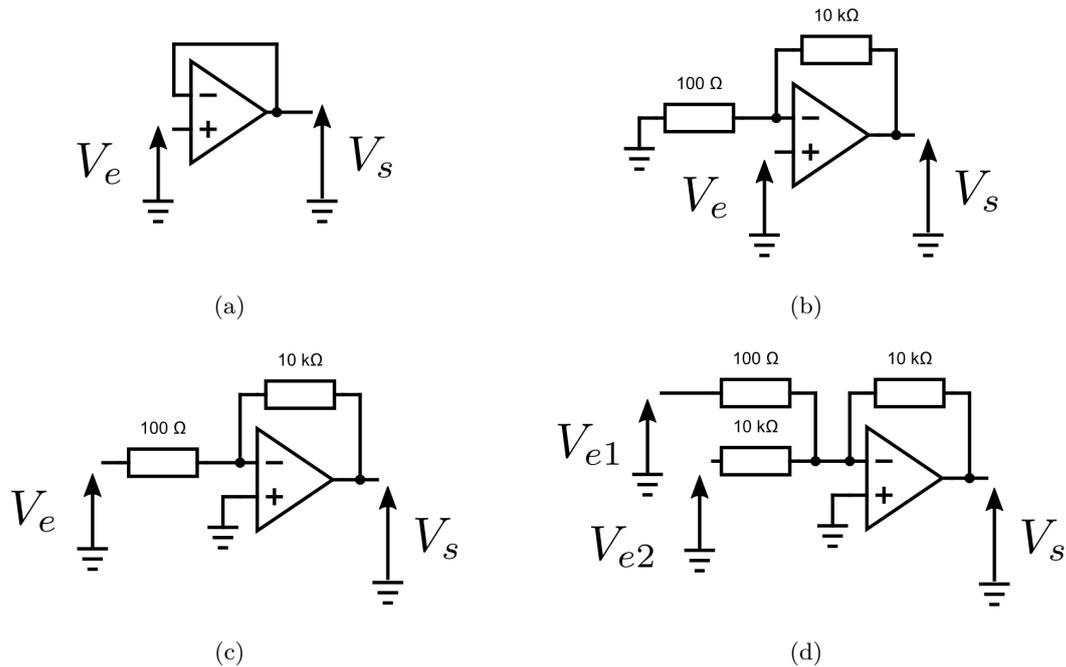


FIGURE 4.1 – Montages à AOP.

### 4.3 Étude expérimentale

Pour chacun des montages, proposez une expérience permettant de vérifier la relation entre la sortie  $V_s$  et l'entrée  $V_e$  (ou les entrées) que vous venez de calculer. Faites le montage et procédez aux mesures nécessaires afin de répondre à la question de la partie *Analyse des résultats*. Faites attention aux incertitudes (qu'il faudra calculer également). Une partie de la *datasheet* de l'amplificateur opérationnel (TL081) que nous allons utiliser se trouve en annexe (consultez la pour connaître les branchements).

### 4.4 Analyse des résultats

Dans quelle plage de  $V_e$  (ou les entrées  $V_{e1}$  et  $V_{e2}$ ) en amplitude et en fréquence la théorie est vérifiée ?

### 4.5 Conclusion

Pour chacun des montages concluez sur l'adéquation entre la relation trouvée théoriquement et expérimentalement (attention aux incertitudes). À quoi peuvent servir chacun des montages

(proposez une application pour chacun) ? Connaissez-vous d'autre type de montage à base d'AOP ?



## Annexes A

# Utilisation du multimètre de type HAMEG

Le multimètre est un instrument de mesure très souvent utilisé en électronique. Il permet de faire les vérifications de base d'un montage électrique ou de ses composants, entre autres :

- la mesure de l'intensité circulant entre deux points (ampèremètre),
- la mesure de la différence de potentiel entre deux points (voltmètre),
- la mesure de la résistance d'un composant ou entre deux points (ohmmètre),
- la mesure de la continuité électrique.

Pour faire correctement les mesures il est nécessaire de sélectionner le bon mode et de faire les bons branchements. Le multimètre numérique à votre disposition est représenté sur la figure [A.1](#). Nous allons détailler les trois principaux modes : le mode voltmètre, le mode ampèremètre et le mode ohmmètre.

### A.0.1 Mode voltmètre

Ce mode est accessible en sélectionnant la fonction « V ». Dans ce mode le multimètre mesure la différence de potentiels entre sa borne **COMMON** (borne en noire sur la figure [A.1](#)) et sa borne **V/kΩ** (borne en rouge sur la figure [A.1](#)). Il affiche donc la tension  $V_{\mathbf{V}/\mathbf{k}\Omega} - V_{\mathbf{COMMON}}$ .

Votre œil exercé aura sûrement remarqué qu'un sous-mode existe : le mode alternatif (repéré par le symbole « AC ») présent dans les modes. Il permet de mesurer l'amplitude crête à crête d'une tension alternative. Nous resterons sur le mode relatif aux tensions continues repéré par le symbole « DC » (le bouton doit être enfoncé).

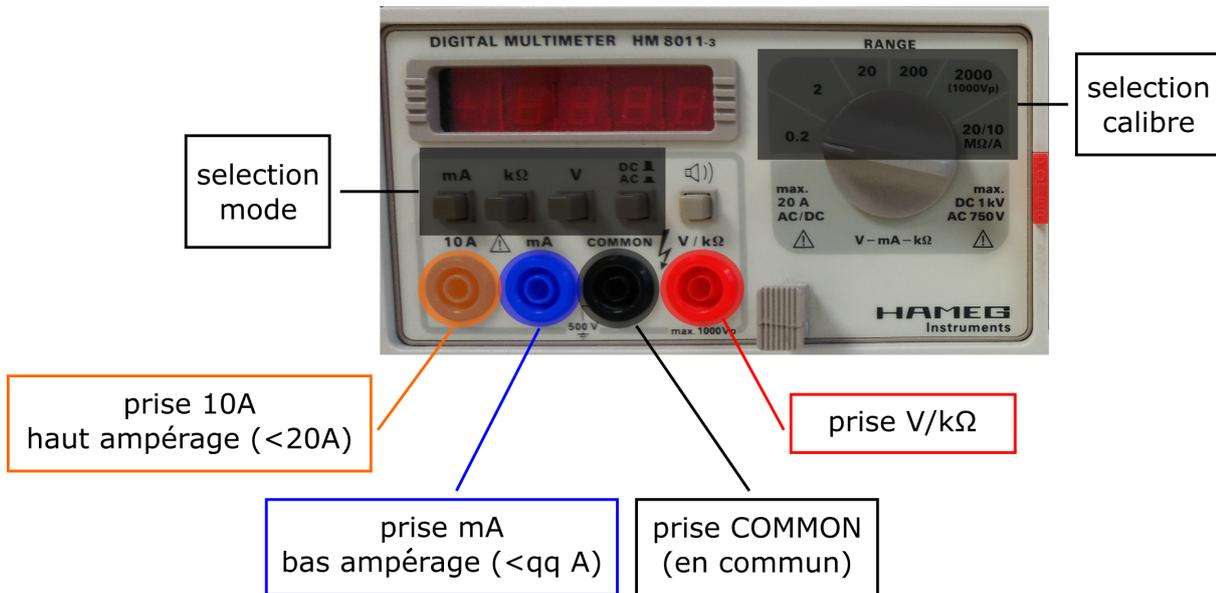


FIGURE A.1 – Image du multimètre numérique.

## Attention :

Si l'ordre de grandeur de la tension mesurée n'est pas connu, on commence toujours par sélectionner le plus grand calibre. Puis on ajuste ensuite le calibre suivant ce qui est mesuré.

Le branchement du multimètre en mode voltmètre se fait toujours en dérivation (en parallèle). La figure A.2 montre comment brancher le voltmètre pour mesurer la tension entre les bornes du composant « comp. » (points A et B).

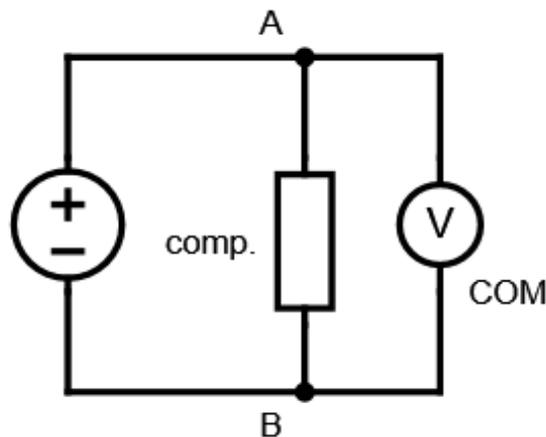


FIGURE A.2 – Schéma de branchement d'un voltmètre.

### A.0.2 Mode ampèremètre

Ce mode est accessible en sélectionnant la fonction « mA ». Dans ce mode le multimètre mesure l'intensité du courant circulant entre sa borne **COMMON** (borne en noire sur la figure A.1) et sa borne **mA** (borne en bleu sur la figure A.1) pour les faibles courants ( $< 100\text{ mA}$ ), ou entre sa borne **COMMON** et sa borne **10A** (borne en jaune sur la figure A.1) pour les forts courants. Le courant affiché est le courant qui circule dans le sens de la borne **mA** (ou **10A**) à la borne **COMMON**.

Comme précédemment deux sous-modes sont disponibles : le mode alternatif (repéré par le symbole « AC ») et le mode continu (repéré par le symbole « DC »).

Le branchement du multimètre en mode ampèremètre se fait toujours en série. La figure A.3 montre comment brancher l'ampèremètre pour mesurer le courant circulant dans la branche AB.

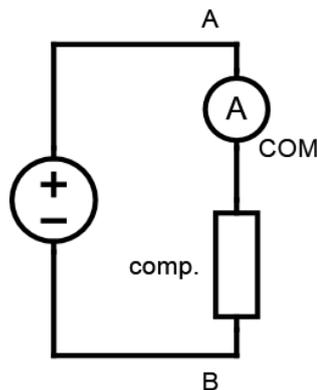


FIGURE A.3 – Schéma de branchement d'un ampèremètre.

### A.0.3 Mode ohmmètre

Ce mode est accessible en sélectionnant la fonction « k $\Omega$  ». Dans ce mode le multimètre mesure la résistance électrique entre sa borne **COMMON** (borne en noire sur la figure A.1) et sa borne **V/k $\Omega$**  (borne en rouge sur la figure A.1). Un sous-mode existe qui permet de vérifier la continuité électrique entre ces deux bornes. Il est accessible avec la touche .

## Attention :

La mesure d'une résistance se fait toujours en « circuit ouvert », c'est-à-dire sans alimentation électrique.

**Toutes les sources de courants doivent être éteintes.**

Le branchement du multimètre en mode ohmmètre se fait en dérivation comme pour le mode voltmètre (cf. section [A.0.1](#)).

## Annexes B

# Utilisation du multimètre de type KEYSIGHT

Le multimètre est un instrument de mesure très souvent utilisé en électronique. Il permet de faire les vérifications de base d'un montage électrique ou de ses composants, entre autres :

- la mesure de l'intensité circulant entre deux points (ampèremètre),
- la mesure de la différence de potentiel entre deux points (voltmètre),
- la mesure de la résistance d'un composant ou entre deux points (ohmmètre),
- la mesure de la continuité électrique.

Pour faire correctement les mesures il est nécessaire de sélectionner le bon mode et de faire les bons branchements. Le multimètre numérique à votre disposition est représenté sur la figure B.1. Nous allons détailler les trois principaux modes : le mode voltmètre, le mode ampèremètre et le mode ohmmètre.

Présentation succincte du panneau avant



Légende	Description
1	Écran WVGA de 7 pouces

Légende	Description
2	Interrupteur [ON/OFF]
3	Port USB – Permet de recharger un périphérique de stockage USB à l'instrument <b>REMARQUE</b> Le modèle EDU34450A prend en charge les clés USB ayant les spécifications suivantes : USB 2.0, format FAT32, jusqu'à 32 Go. Nous recommandons d'utiliser un périphérique flash SanDisk Cruzer Blade pour le port USB du panneau avant.
4	Bouton [Back] <b>REMARQUE</b> Maintenez le bouton [Back] enfoncé pendant plus de 3 secondes avec un clé USB externe connectée afin de capturer automatiquement l'écran de l'instrument. L'image capturée sera enregistrée sur la clé USB connectée.
5	Touches de fonction du menu
6	Bouton [Enter] et touches fléchées
7	Boutons de mesure
8	Boutons primaire : [Display], [Acquire], [Run/Stop], [Store/Recall] et [Null] Boutons Secondaire : 2nd (affichage secondaire), Probe Hold, Utility et Math
9	Boutons [-], Range, and [+]
10	Bouton [Shift]   Local

FIGURE B.1 – Image du multimètre numérique.

### B.0.1 Mode voltmètre

Ce mode est accessible en sélectionnant la fonction « V ». Dans ce mode le multimètre mesure la différence de potentiels entre sa borne **COMMON** (borne en noire sur la figure B.1) et sa borne **V/kΩ** (borne en rouge sur la figure B.1). Il affiche donc la tension  $V_{V/k\Omega} - V_{COMMON}$ .

Votre œil exercé aura sûrement remarqué qu'un sous-mode existe : le mode alternatif (repéré par le symbole « AC ») présent dans les modes. Il permet de mesurer l'amplitude crête à crête d'une tension alternative. Nous resterons sur le mode relatif aux tensions continues repéré par le symbole « DC » (le bouton doit être enfoncé).

#### Attention :

Si l'ordre de grandeur de la tension mesurée n'est pas connu, on commence toujours par sélectionner le plus grand calibre. Puis on ajuste ensuite le calibre suivant ce qui est mesuré.

Le branchement du multimètre en mode voltmètre se fait toujours en dérivation (en parallèle). La figure B.2 montre comment brancher le voltmètre pour mesurer la tension entre les bornes du composant « comp. » (points A et B).

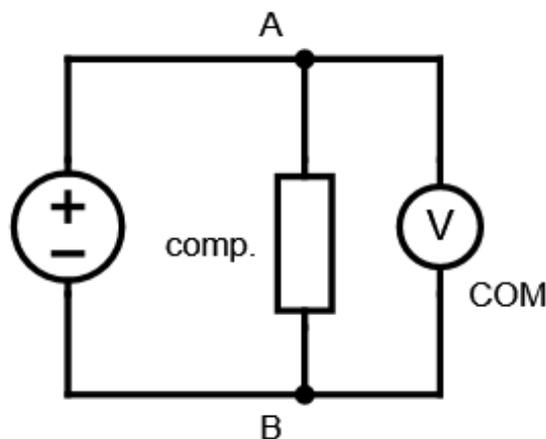


FIGURE B.2 – Schéma de branchement d'un voltmètre.

### B.0.2 Mode ampèremètre

Ce mode est accessible en sélectionnant la fonction « mA ». Dans ce mode le multimètre mesure l'intensité du courant circulant entre sa borne **COMMON** (borne en noire sur la figure B.1) et sa borne **mA** (borne en bleu sur la figure B.1) pour les faibles courants ( $< \text{qq A}$ ), ou entre sa

borne **COMMON** et sa borne **10A** (borne en jaune sur la figure B.1) pour les forts courants. Le courant affiché est le courant qui circule dans le sens de la borne **mA** (ou **10A**) à la borne **COMMON**.

Comme précédemment deux sous-modes sont disponibles : le mode alternatif (repéré par le symbole « AC ») et le mode continu (repéré par le symbole « DC »).

Le branchement du multimètre en mode ampèremètre se fait toujours en série. La figure B.3 montre comment brancher l'ampèremètre pour mesurer le courant circulant dans la branche AB.

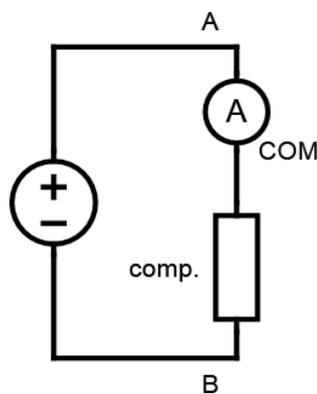


FIGURE B.3 – Schéma de branchement d'un ampèremètre.

### B.0.3 Mode ohmmètre

Ce mode est accessible en sélectionnant la fonction «  $k\Omega$  ». Dans ce mode le multimètre mesure la résistance électrique entre sa borne **COMMON** (borne en noire sur la figure B.1) et sa borne **V/k $\Omega$**  (borne en rouge sur la figure B.1). Un sous-mode existe qui permet de vérifier la continuité électrique entre ces deux bornes. Il est accessible avec la touche .

## Attention :

La mesure d'une résistance se fait toujours en « circuit ouvert », c'est-à-dire sans alimentation électrique.

**Toutes les sources de courants doivent être éteintes.**

Le branchement du multimètre en mode ohmmètre se fait en dérivation comme pour le mode voltmètre (cf. section B.0.1).



## Annexes C

# Utilisation du voltmètre analogique

Vous avez à votre disposition, en plus du multimètre numérique, un voltmètre préhistorique : un voltmètre analogique qui fonctionne avec une aiguille. Une image de cet instrument du siècle dernier est donné sur la figure C.1. Sur cet instrument nous n'utiliserons que la borne **COM** (en bleu sur la figure C.1) et la borne de basse tension  $< 300\text{ V}$  (en rouge sur la figure C.1).



FIGURE C.1 – Photo du voltmètre analogique.

Pour lire sur cette antiquité il suffit de regarder où est l'aiguille en fonction du calibre choisi. Le calibre sélectionné donne la tension pleine plage (tension lorsque l'aiguille se trouve en bout de plage). Utilisez l'une des deux graduations (une en base 100 et l'autre en base 30) en fonction du calibre que vous avez choisi.

## Annexes D

# Code couleurs des résistances

Sur le type de résistance que vous allez utiliser cette année, plusieurs anneaux de couleurs sont présents. Ces anneaux représentent un code qui permet de connaître la valeur de la résistance. Ce code vous est donné sur la figure D.1.

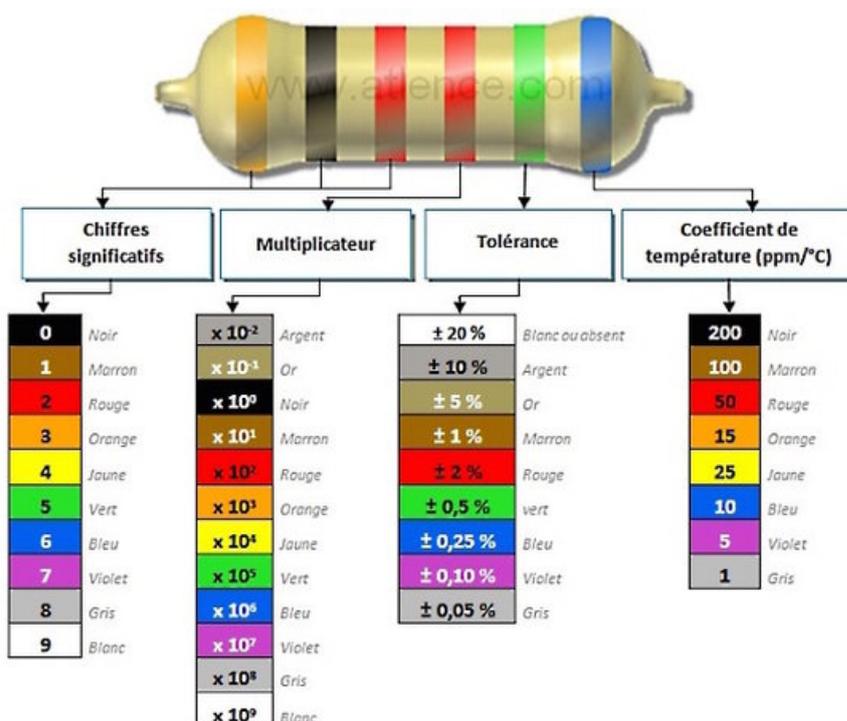


FIGURE D.1 – Code couleurs et lecture de la valeur d’une résistance.

## Astuce :

Pour mémoriser ce code deux phrases mnémotechniques existent : « Ne Manger Rien Ou Je Vous Brûle Votre Grande Barbe » ou « Ne Mangez Rien Ou Jeûnez Voilà Bien Votre Grande Bêtise ».

La place des mots dans la phrase indique le chiffre correspondant à la couleur de l'anneau.

- N : noir (0),
- M : marron (1),
- R : rouge (2),
- O : orange (3),
- J : jaune (4),
- V : vert (5),
- B : bleu (6),
- V : violet (7),
- G : gris (8),
- B : blanc (9).

## Annexes E

# Utilisation du Générateur de Basses Fréquences (GBF) de type HAMEG

Le générateur basses fréquences à votre disposition (cf. figure E.1) vous permet de générer différents types de signaux.

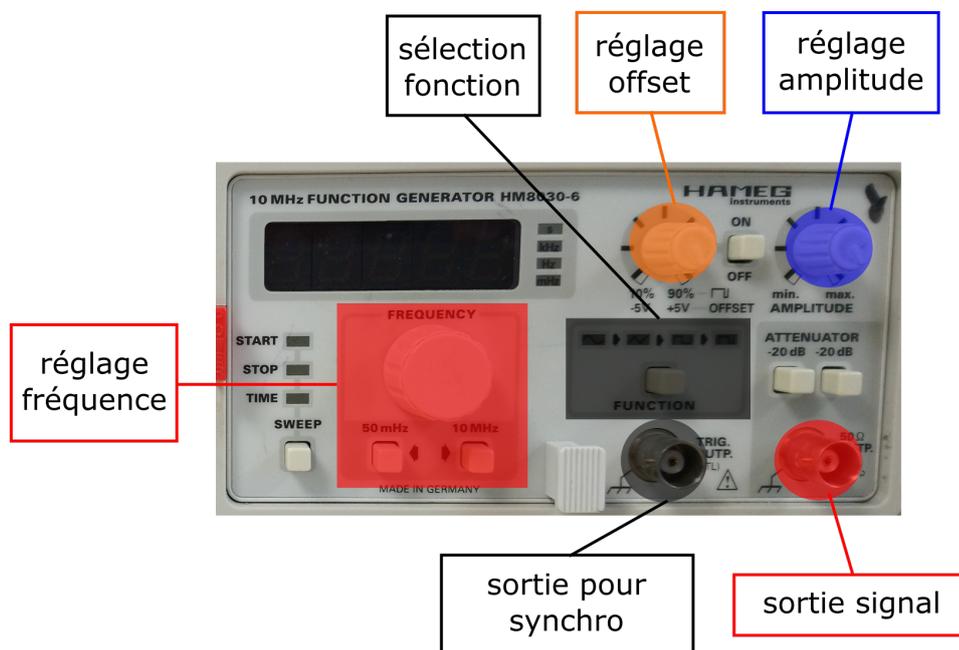


FIGURE E.1 – Image du GBF.

Vous pouvez choisir parmi 4 formes de signal différentes :

1. sinusoïdale,
2. triangulaire,
3. rectangulaire de rapport cyclique 50% ,

4. rectangulaire de rapport cyclique variable.

Ce choix se fait par le biais du bouton de sélection de fonction (rectangle noir sur la figure E.1).

Pour chaque forme vous pouvez ajuster :

- l'amplitude (bouton bleu de la figure E.1),
- la fréquence (rectangle rouge de la figure E.1),
- l'offset pour les 3 premiers modes et le rapport cyclique pour le 4ème (bouton orange de la figure E.1).

Le rapport cyclique  $\alpha$  d'un signal rectangulaire est défini comme le rapport entre le temps  $\tau$  à l'état haut dans une période et la période  $T$  du signal :  $\alpha = \frac{\tau}{T}$ .

La figure E.2 représente un exemple de signal sinusoïdal que le GBF peut générer. Les principaux paramètres y sont représentés : amplitude, offset, période.

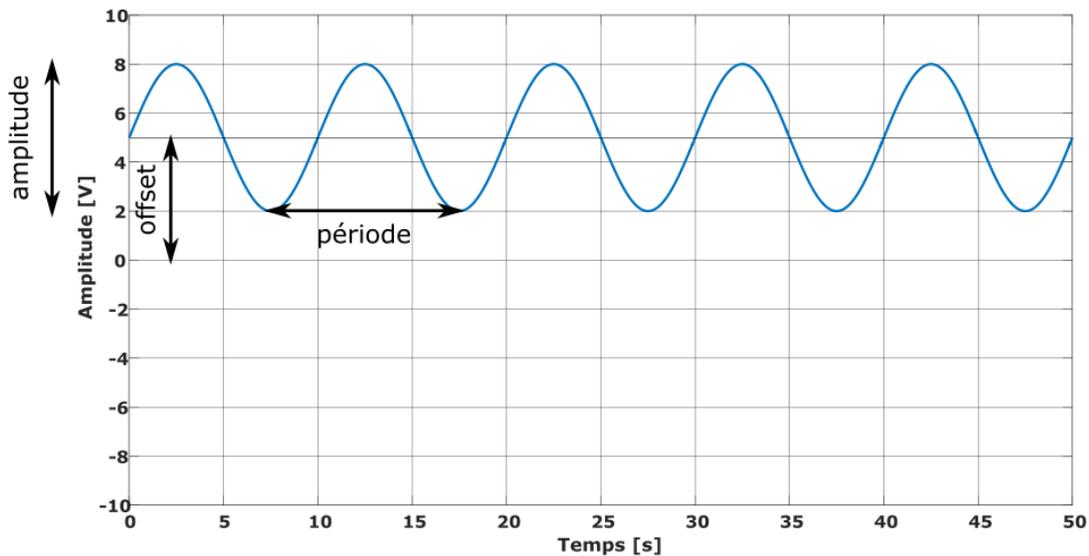


FIGURE E.2 – Exemple de signal en sortie du GBF. Y est représenté par un signal sinusoïdal d'amplitude crête à crête de 6 V avec un offset de 5 V et de période de 10 s (fréquence égale à 0.1 Hz).

Un autre exemple est représenté sur la figure E.3. C'est un signal carré (créneaux) dont les principaux paramètres sont donnés : amplitude, offset, période, rapport cyclique.

Sur le GBF il existe deux sorties, une sortie pour la synchronisation (signal TTL à la fréquence du signal généré) repérée en noire sur la figure E.1 et une sortie pour le signal généré repérée en rouge sur la figure E.1.

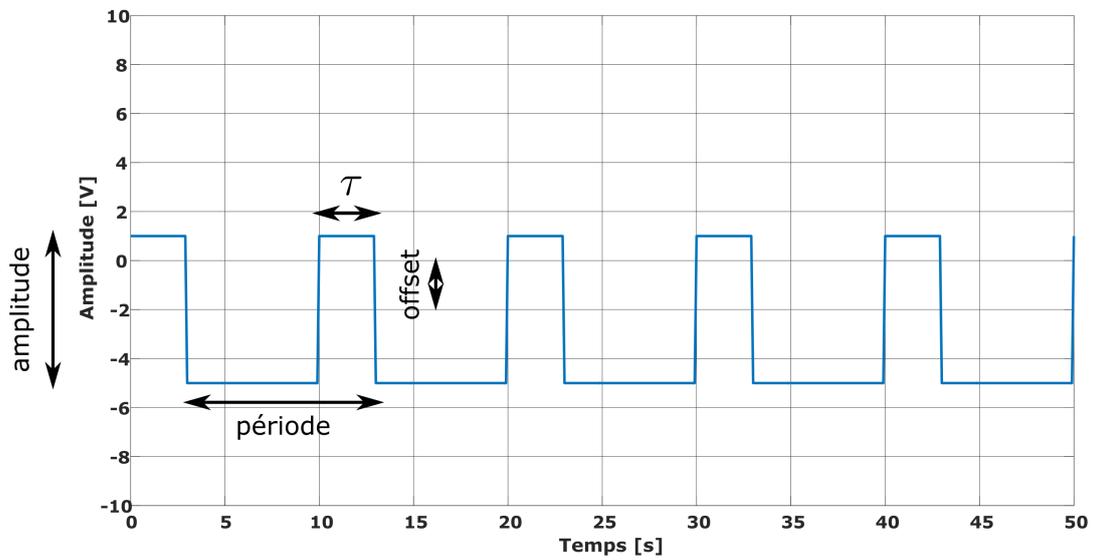


FIGURE E.3 – Exemple de signal en sortie du GBF. Y est représenté par un signal carré d’amplitude crête à crête de 6 V avec un offset de  $-2$  V et de période  $T$  de 10 s (fréquence égale à 0.1 Hz). Le rapport cyclique  $\alpha = \frac{T}{T}$  et de 30% (0.3).

## Attention :

Vérifiez toujours le signal issu du GBF à l’oscilloscope avant de l’envoyer sur un circuit électronique.



## Annexes F

# Utilisation du Générateur de Basses Fréquences (GBF) de type KEYSIGHT

Le générateur basses fréquences à votre disposition (cf. figure F.1) vous permet de générer différents types de signaux.

Vous pouvez choisir parmi 4 formes de signal différentes :

1. sinusoïdale,
2. triangulaire,
3. rectangulaire de rapport cyclique 50% ,
4. rectangulaire de rapport cyclique variable.

Ce choix se fait par le biais du bouton de sélection de fonction (rectangle noir sur la figure F.1).

Pour chaque forme vous pouvez ajuster :

- l'amplitude (rectangle rouge de la figure F.1),
- la fréquence (rectangle rouge de la figure F.1),
- l'offset pour les 3 premiers modes et le rapport cyclique pour le 4ème (rectangle rouge de la figure F.1).

Le rapport cyclique  $\alpha$  d'un signal rectangulaire est défini comme le rapport entre le temps  $\tau$  à l'état haut dans une période et la période  $T$  du signal :  $\alpha = \frac{\tau}{T}$ .

La figure F.2 représente un exemple de signal sinusoïdal que le GBF peut générer. Les principaux paramètres y sont représentés : amplitude, offset, période.

Un autre exemple est représenté sur la figure F.3. C'est un signal carré (créneaux) dont les principaux paramètres sont donnés : amplitude, offset, période, rapport cyclique.

Sur le GBF il existe deux sorties, une sortie pour la synchronisation (signal TTL à la fréquence du signal généré) repérée en noire sur la figure F.1 et une sortie pour le signal généré repérée en rouge sur la figure F.1.

**Intuitive front panel**



Label	Description
1	7-inch WVGA display
2	Function keys
3	Soft keys
4	Numeric keypad
5	Knob and cursor arrows
6	Output connectors, set up, and on / off buttons
7	Sync / trigger output connector
8	External triggering / gate / FSK / burst connector
9	CAL connector
10	USB port
11	Power switch

FIGURE F.1 – Image du GBF.

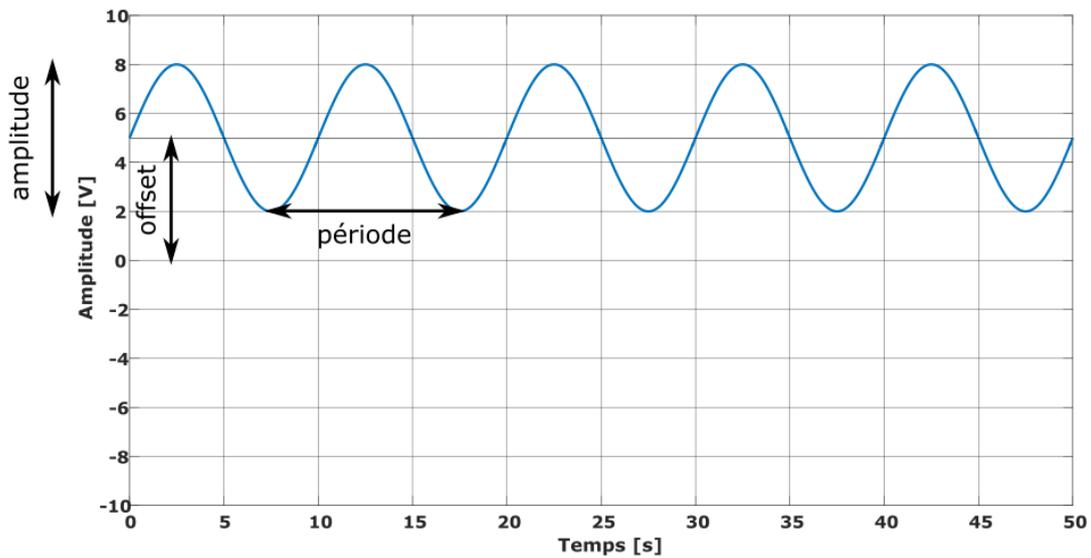


FIGURE F.2 – Exemple de signal en sortie du GBF. Y est représenté par un signal sinusoïdal d’amplitude crête à crête de 6 V avec un offset de 5 V et de période de 10 s (fréquence égale à 0.1 Hz).

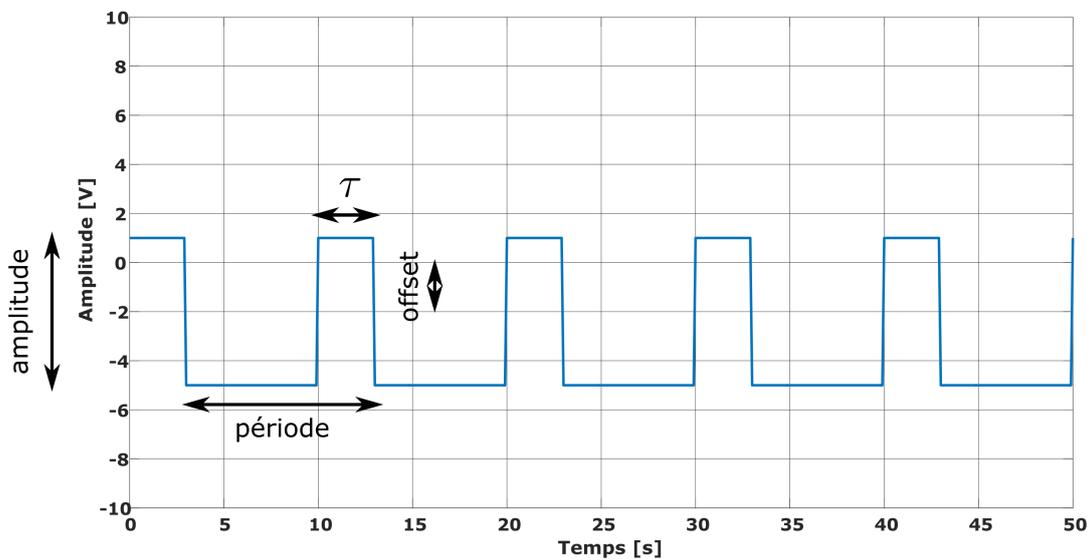


FIGURE F.3 – Exemple de signal en sortie du GBF. Y est représenté par un signal carré d’amplitude crête à crête de 6 V avec un offset de  $-2$  V et de période  $T$  de 10 s (fréquence égale à 0.1 Hz). Le rapport cyclique  $\alpha = \frac{\tau}{T}$  et de 30% (0.3).

**Attention :**

Vérifiez toujours le signal issu du GBF à l'oscilloscope avant de l'envoyer sur un circuit électronique.

## Annexes G

# Utilisation d'un oscilloscope

*(annexe D du fascicule de TP de physique expérimentale L2S3 Phys 210, année 2017-2018)*

Un oscilloscope est un instrument de mesure servant à visualiser des tensions électriques variables. Les oscilloscopes utilisés en TP possèdent également des fonctions de mesure et de transformation du signal.

La façade d'un oscilloscope est divisée en plusieurs parties (voir la figure G.1) :

- en rouge : le réglage des axes horizontal (base de temps) et vertical (amplitude),
- en vert : la synchronisation (ou « trigger »),
- en bleu : des menus permettant d'afficher des curseurs ou de demander des mesures à l'appareil,
- en jaune : des boutons pour naviguer dans les menus navigation.

L'écran de l'oscilloscope est quant à lui divisé en deux : à gauche l'écran qui représente les tensions reçues par l'oscilloscope, à droite les menus.

### G.0.1 Afficher une tension périodique

L'utilisation la plus simple d'un oscilloscope consiste à afficher une tension périodique. Pour cela il faut jouer sur les deux premières zones.

#### L'amplitude (axe vertical) :

- En utilisant le bouton **position** correspondant à CH1 ou CH2 selon la voie où le signal est connecté, on s'assure que l'origine, indiquée par la flèche numérotée à droite de la trace, est à l'intérieur de l'écran.
- En utilisant le bouton **Volt/Div**, on règle le nombre de Volt par carreau, affiché en bas à gauche. Il doit être assez grand pour voir le signal, et assez petit pour ne pas dépasser

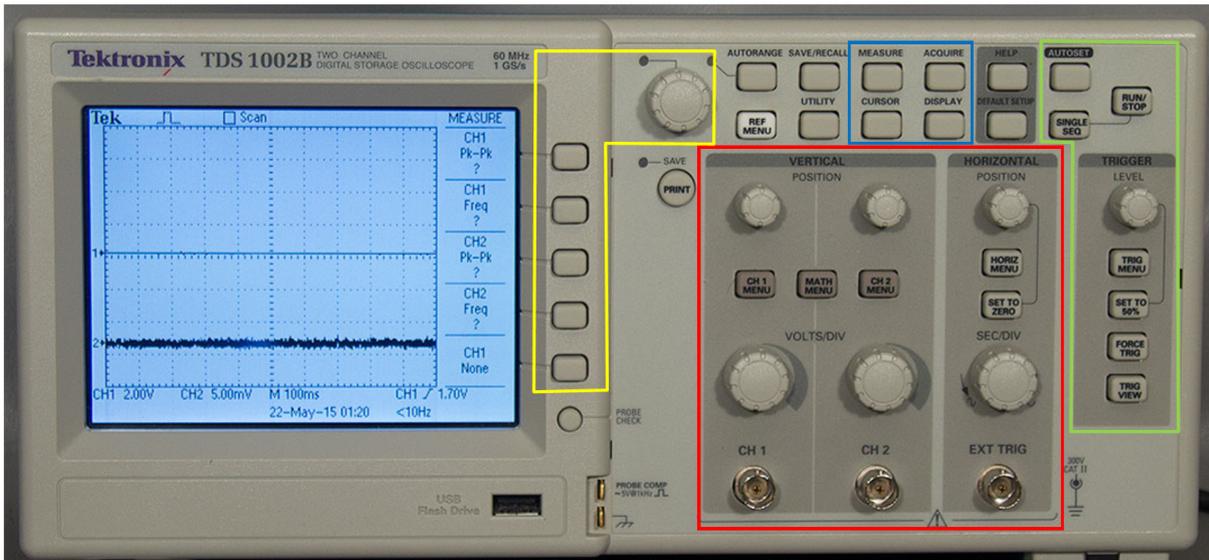


FIGURE G.1 – Oscilloscope numérique

hors de l'écran. Le réglage optimal consiste à afficher le signal sur toute la hauteur de l'écran sans dépasser.

- Le bouton **CH1 Menu** (ou CH2) permet d'accéder au mode d'affichage de la trace. Celui-ci doit être en DC (affiche tout le signal) et non AC (affiche seulement les composantes au dessus de 100 Hz).

#### La base de temps (axe horizontal) :

- En utilisant le bouton **position** de l'axe des temps, on s'assure que l'origine des temps, indiquée par la flèche en haut est située à l'intérieur de l'écran. En général on la positionne au milieu ou à gauche.
- En utilisant le bouton **Sec/Div**, on règle le nombre de secondes par carreau, affiché en bas au milieu. Il doit permettre d'afficher une ou deux périodes du signal. S'il est trop grand, on voit beaucoup de périodes, et s'il est trop petit on voit seulement une portion d'une période.

**La synchronisation (*trigger*) :** La synchronisation permet d'afficher une trace stable à l'écran. Sans elle, le signal défile indéfiniment. Pour synchroniser le signal avec l'affichage, il faut donner un point de repère à l'oscilloscope : c'est le rôle du déclenchement (*trigger*). En général, le déclenchement se fait selon un front montant : on définit un certain niveau (en Volt), indiqué par une flèche à gauche de l'écran, et le déclenchement advient lorsque la tension passe par ce niveau avec une dérivée positive. À chaque déclenchement, l'oscilloscope affiche une trace d'amplitude et de temps définis par les réglages des axes.

- 
- En utilisant le bouton **Level**, on règle le niveau du déclenchement, il faut que le signal croise le niveau indiqué par la flèche pour que le déclenchement ait lieu !
  - Le bouton **Trig menu** permet de changer le signal pris en compte pour le déclenchement (CH1, CH2, ou le signal branché sur Ext Trig) et le type de déclenchement. En mode normal, l'écran se fige si le déclenchement ne fonctionne pas. En mode auto, la trace défile si le déclenchement ne fonctionne pas. Le mode auto est en général préférable car il permet de repérer plus facilement les problèmes.
  - Le bouton **Run/Stop** permet de mettre en pause l'oscilloscope sur la dernière trace affichée.
  - Le bouton **Single seq** permet de d'afficher seulement la première trace déclenchée.

**Autoset :** Ce bouton permet de demander à l'oscilloscope un réglage automatique de l'amplitude, de la base de temps et du déclenchement). S'il est très pratique pour afficher rapidement des signaux simples, il n'est cependant pas magique, et ne résoudra pas vos problèmes de branchement... La touche Autoset peut être une importante source d'erreur, car il affichera toujours quelque chose, mais pas toujours ce que vous cherchez à observer. Il a également souvent tendance à passer en mode AC.

## G.0.2 Effectuer des mesures

Il y a trois manières d'effectuer des mesures à l'oscilloscope : compter les carreaux, utiliser les curseurs et utiliser la fonction mesure de l'oscilloscope.

**Curseurs :** il sont accessibles *via* le bouton **Cursor**. Les boutons de navigation permettent d'ajuster leur type (amplitude ou temps) et leur position. L'oscilloscope affiche la position des deux curseurs et l'écart entre les deux, nommé Delta ( $\Delta$ ).

**Mesures automatique :** accessibles par le bouton **Measure** et les boutons de navigation. Il est possible de demander de nombreuses mesures à l'oscilloscope : amplitude, période, fréquence... La précision de l'oscilloscope dépend de la qualité de la trace affichée : une mesure d'amplitude crête à crête sera plus précise si le signal occupe tout l'écran, par exemple. Il faut également prêter attention au nombre de chiffres significatifs affichés par l'oscilloscope.

## G.0.3 Transformée de Fourier

Le bouton **Math menu** permet de réaliser des opérations mathématiques sur les voies, dont la transformée de Fourier (par l'algorithme FFT). Cette opération permet d'extraire les composantes fréquentielles d'un signal périodique. Lorsque le mode FFT est activé, les axes affichés à l'écran changent :

- l'axe horizontal devient l'axe des fréquences ; le bouton Sec/Div permet alors de régler le nombre de Hertz par carreau
- l'axe vertical devient un axe d'amplitude en échelle logarithmique ; l'amplitude des composantes fréquentielles est alors exprimée en dB<sup>1</sup>.

Les modes curseurs et mesure peuvent également s'utiliser en transformée de Fourier.

#### G.0.4 Autres fonctions

Les boutons **Acquire** et **Display** donnent accès à d'autres fonctionnalités, comme l'utilisation d'une moyenne sur les traces acquises ou du mode X-Y (figures de Lissajous).

---

1. Une amplitude en décibel est définie comme  $U_{dB} = 20 \log_{10}(\frac{U}{U_0})$  ou  $U_0$  est une amplitude de référence.

## Annexes H

# Utilisation d'un oscilloscope

*(annexe D du fascicule de TP de physique expérimentale L2S3 Phys 210, année 2017-2018)  
mis à jour le 28-01-2024*

Un oscilloscope est un instrument de mesure servant à visualiser des tensions électriques variables. Les oscilloscopes utilisés en TP possèdent également des fonctions de mesure et de transformation du signal.

La façade d'un oscilloscope est divisée en plusieurs parties (voir la figure [H.1](#)) :

- en rouge : le réglage des axes horizontal (base de temps) et vertical (amplitude),
- en vert : la synchronisation (ou « trigger »),
- en bleu : des menus permettant d'afficher des curseurs ou de demander des mesures à l'appareil,
- en jaune : des boutons pour naviguer dans les menus navigation.

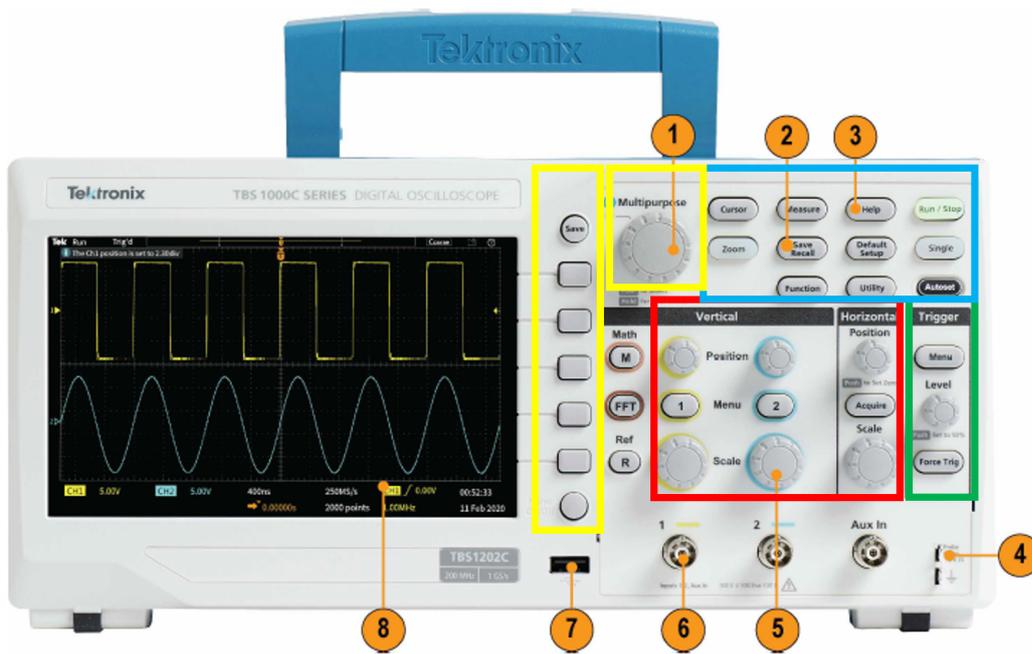
L'écran de l'oscilloscope est quant à lui divisé en deux : à gauche l'écran qui représente les tensions reçues par l'oscilloscope, à droite les menus.

### H.0.1 Afficher une tension périodique

L'utilisation la plus simple d'un oscilloscope consiste à afficher une tension périodique. Pour cela il faut jouer sur les deux premières zones.

#### L'amplitude (axe vertical) :

- En utilisant le bouton **position** correspondant à CH1 ou CH2 selon la voie où le signal est connecté, on s'assure que l'origine, indiquée par la flèche numérotée à droite de la trace, est à l'intérieur de l'écran.



TBS1000C front panel

Image Reference	Description
1	Multipurpose knob for waveform navigation, zoom, and cursors
2	Save Recall
3	HelpEverywhere®

Image Reference	Description
4	Probe Compensation
5	Dedicated control knobs per channel
6	BNC probe interface
7	USB Host port for save/recall
8	7-inch display

FIGURE H.1 – Oscilloscope numérique

- En utilisant le bouton **Volt/Div**, on règle le nombre de Volt par carreau, affiché en bas à gauche. Il doit être assez grand pour voir le signal, et assez petit pour ne pas dépasser hors de l'écran. Le réglage optimal consiste à afficher le signal sur toute la hauteur de l'écran sans dépasser.
- Le bouton **CH1 Menu** (ou CH2) permet d'accéder au mode d'affichage de la trace. Celui-ci doit être en DC (affiche tout le signal) et non AC (affiche seulement les composantes au dessus de 100 Hz).

**La base de temps (axe horizontal) :**

- En utilisant le bouton **position** de l'axe des temps, on s'assure que l'origine des temps, indiquée par la flèche en haut est située à l'intérieur de l'écran. En général on la positionne au milieu ou à gauche.
- En utilisant le bouton **Scale (équivalent à Sec/Div)**, on règle le nombre de secondes par carreau, affiché en bas au milieu. Il doit permettre d'afficher une ou deux périodes du signal. S'il est trop grand, on voit beaucoup de périodes, et s'il est trop petit on voit seulement une portion d'une période.

**La synchronisation (*trigger*) :** La synchronisation permet d'afficher une trace stable à l'écran. Sans elle, le signal défile indéfiniment. Pour synchroniser le signal avec l'affichage, il faut donner un point de repère à l'oscilloscope : c'est le rôle du déclenchement (*trigger*). En général, le déclenchement se fait selon un front montant : on définit un certain niveau (en Volt), indiqué par une flèche à gauche de l'écran, et le déclenchement advient lorsque la tension passe par ce niveau avec une dérivée positive. À chaque déclenchement, l'oscilloscope affiche une trace d'amplitude et de temps définis par les réglages des axes.

- En utilisant le bouton **Level**, on règle le niveau du déclenchement, il faut que le signal croise le niveau indiqué par la flèche pour que le déclenchement ait lieu !
- Le bouton **Trig menu** permet de changer le signal pris en compte pour le déclenchement (CH1, CH2, ou le signal branché sur Ext Trig) et le type de déclenchement. En mode normal, l'écran se fige si le déclenchement ne fonctionne pas. En mode auto, la trace défile si le déclenchement ne fonctionne pas. Le mode auto est en général préférable car il permet de repérer plus facilement les problèmes.
- Le bouton **Run/Stop** permet de mettre en pause l'oscilloscope sur la dernière trace affichée.
- Le bouton **Single** permet de d'afficher seulement la première trace déclenchée.

**Autoset :** Ce bouton permet de demander à l'oscilloscope un réglage automatique de l'amplitude, de la base de temps et du déclenchement). S'il est très pratique pour afficher rapidement

des signaux simples, il n'est cependant pas magique, et ne résoudra pas vos problèmes de branchement... La touche Autoset peut être une importante source d'erreur, car il affichera toujours quelque chose, mais pas toujours ce que vous cherchez à observer. Il a également souvent tendance à passer en mode AC.

### H.0.2 Effectuer des mesures

Il y a trois manières d'effectuer des mesures à l'oscilloscope : compter les carreaux, utiliser les curseurs et utiliser la fonction mesure de l'oscilloscope.

**Curseurs** : ils sont accessibles *via* le bouton **Cursor**. Les boutons de navigation permettent d'ajuster leur type (amplitude ou temps) et leur position. L'oscilloscope affiche la position des deux curseurs et l'écart entre les deux, nommé Delta ( $\Delta$ ).

**Mesures automatique** : accessibles par le bouton **Measure** et les boutons de navigation. Il est possible de demander de nombreuses mesures à l'oscilloscope : amplitude, période, fréquence... La précision de l'oscilloscope dépend de la qualité de la trace affichée : une mesure d'amplitude crête à crête sera plus précise si le signal occupe tout l'écran, par exemple. Il faut également prêter attention au nombre de chiffres significatifs affichés par l'oscilloscope.

### H.0.3 Transformée de Fourier

Le bouton **Math** permet de réaliser des opérations mathématiques sur les voies. Il y a un bouton FFT pour la transformée de Fourier (par l'algorithme FFT) directement intégré au-dessous du bouton Math pour l'étude des spectres. Cette opération permet d'extraire les composantes fréquentielles d'un signal périodique. Lorsque le mode FFT est activé, les axes affichés à l'écran changent :

- l'axe horizontal devient l'axe des fréquences ; le bouton Sec/Div permet alors de régler le nombre de Hertz par carreau
- l'axe vertical devient un axe d'amplitude en échelle logarithmique ; l'amplitude des composantes fréquentielles est alors exprimée en dB<sup>1</sup>.

Les modes curseurs et mesure peuvent également s'utiliser en transformée de Fourier.

### H.0.4 Autres fonctions

Les boutons **Acquire** donnent accès à d'autres fonctionnalités, comme l'utilisation d'une moyenne sur les traces acquises ou du mode X-Y (figures de Lissajous).

---

1. Une amplitude en décibel est définie comme  $U_{dB} = 20 \log_{10}(\frac{U}{U_0})$  ou  $U_0$  est une amplitude de référence.

## **Annexes I**

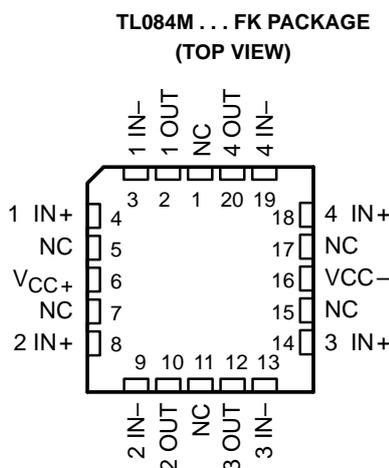
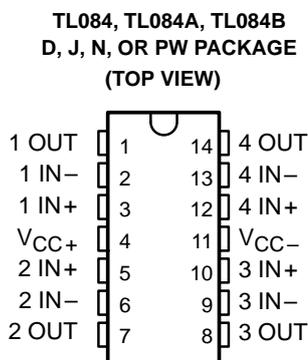
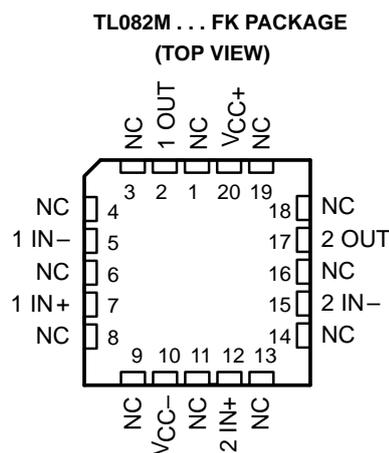
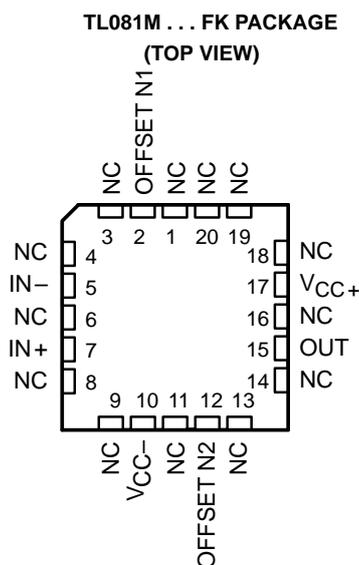
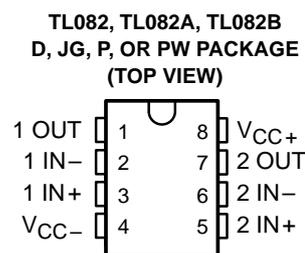
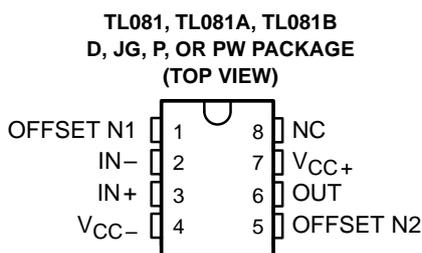
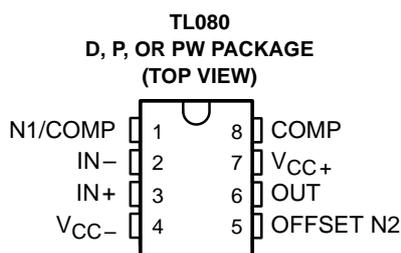
### **TL081**

# TL080, TL081, TL082, TL084, TL081A, TL082A, TL084A TL081B, TL082B, TL084B, TL082Y, TL084Y JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

SLOS081A–D2297, FEBRUARY 1977–REVISED NOVEMBER 1992

## 24 DEVICES COVER COMMERCIAL, INDUSTRIAL, AND MILITARY TEMPERATURE RANGES

- Low-Power Consumption
- Wide Common-Mode and Differential Voltage Ranges
- Low Input Bias and Offset Currents
- Output Short-Circuit Protection
- Low Total Harmonic Distortion . . . 0.003% Typ
- High Input Impedance . . . JFET-Input Stage
- Internal Frequency Compensation (Except TL080, TL080A)
- Latch-Up-Free Operation
- High Slew Rate . . . 13 V/ $\mu$ s Typ
- Common-Mode Input Voltage Range Includes  $V_{CC+}$



NC—No internal connection

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265  
POST OFFICE BOX 1443 • HOUSTON, TEXAS  
77251-1443

Copyright © 1992, Texas Instruments Incorporated  
On products compliant to MIL-STD-883, Class B, all parameters are tested unless otherwise noted. On all other products, production processing does not necessarily include testing of all parameters.

**TL080, TL081, TL082, TL084, TL081A, TL082A, TL084A  
TL081B, TL082B, TL084B**

**JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS**

SLOS081A–D2297, FEBRUARY 1977–REVISED NOVEMBER 1992

**absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)**

	TL08_C TL08_AC TL08_BC	TL08_I	TL08_M	UNIT
Supply voltage, $V_{CC+}$ (see Note 1)	18	18	18	V
Supply voltage $V_{CC-}$ (see Note 1)	–18	–18	–18	V
Differential input voltage (see Note 2)	$\pm 30$	$\pm 30$	$\pm 30$	V
Input voltage (see Notes 1 and 3)	$\pm 15$	$\pm 15$	$\pm 15$	V
Duration of output short circuit (see Note 4)	unlimited	unlimited	unlimited	
Continuous total dissipation	See Dissipation Rating Table			
Operating free-air temperature range	0 to 70	–40 to 85	–55 to 125	$^{\circ}\text{C}$
Storage temperature range	–65 to 150	–65 to 150	–65 to 150	$^{\circ}\text{C}$
Case temperature for 60 seconds	FK package		260	$^{\circ}\text{C}$
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 60 seconds	J or JG package		300	$^{\circ}\text{C}$
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds	D, N, P, or PW package	260	260	$^{\circ}\text{C}$

- NOTES: 1. All voltage values, except differential voltages, are with respect to the midpoint between  $V_{CC+}$  and  $V_{CC-}$ .  
 2. Differential voltages are at the noninverting input terminal with respect to the inverting input terminal.  
 3. The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage or 15 V, whichever is less.  
 4. The output may be shorted to ground or to either supply. Temperature and/or supply voltages must be limited to ensure that the dissipation rating is not exceeded.

**DISSIPATION RATING TABLE**

PACKAGE	$T_A \leq 25^{\circ}\text{C}$ POWER RATING	DERATING FACTOR	DERATE ABOVE $T_A$	$T_A = 70^{\circ}\text{C}$ POWER RATING	$T_A = 85^{\circ}\text{C}$ POWER RATING	$T_A = 125^{\circ}\text{C}$ POWER RATING
D (8 Pin)	680 mW	5.8 mW/ $^{\circ}\text{C}$	32 $^{\circ}\text{C}$	464 mW	377 mW	N/A
D (14 Pin)	680 mW	7.6 mW/ $^{\circ}\text{C}$	60 $^{\circ}\text{C}$	608 mW	494 mW	N/A
FK	680 mW	11.0 mW/ $^{\circ}\text{C}$	88 $^{\circ}\text{C}$	680 mW	680 mW	275 mW
J	680 mW	11.0 mW/ $^{\circ}\text{C}$	88 $^{\circ}\text{C}$	680 mW	680 mW	275 mW
JG	680 mW	8.4 mW/ $^{\circ}\text{C}$	69 $^{\circ}\text{C}$	672 mW	546 mW	210 mW
N	680 mW	9.2 mW/ $^{\circ}\text{C}$	76 $^{\circ}\text{C}$	680 mW	598 mW	N/A
P	680 mW	8.0 mW/ $^{\circ}\text{C}$	65 $^{\circ}\text{C}$	640 mW	520 mW	N/A
PW (8 Pin)	525 mW	4.2 mW/ $^{\circ}\text{C}$	25 $^{\circ}\text{C}$	336 mW	N/A	N/A
PW (14 Pin)	700 mW	5.6 mW/ $^{\circ}\text{C}$	25 $^{\circ}\text{C}$	448 mW	N/A	N/A

TL080, TL081, TL084, TL081A, TL082A, TL084A  
TL081B, TL082B, TL084B  
JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

SLOS081A-D2297, FEBRUARY 1977-REVISED NOVEMBER 1992

electrical characteristics,  $V_{CC\pm} = \pm 15\text{ V}$  (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONST		TL080C			TL081AC			TL081BC			TL081I			UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
$V_{IO}$ Input offset voltage	$V_O = 0,$ $R_S = 50\ \Omega$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	3	15	6	3	6	2	3	3	6	3	6	mV	
		$T_A = \text{full range}$		20	7.5				5				9		
$\alpha V_{IO}$ Temperature coefficient of input offset voltage	$V_O = 0,$ $T_A = \text{full range}$	$R_S = 50\ \Omega,$	18			18			18			18			$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
$I_{IO}$ Input offset current †	$V_O = 0$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	5	200	5	100	5	100	5	100	5	100	5	pA	
		$T_A = \text{full range}$		2		2		2		2		2		nA	
$I_{IB}$ Input bias current †	$V_O = 0$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	30	400	30	200	30	200	30	200	30	200	30	pA	
		$T_A = \text{full range}$		10		7		7		7		20		nA	
$V_{ICR}$ Common-mode input voltage range	$T_A = 25^\circ\text{C}$		$\pm 11$	-12 to 15	$\pm 11$	V									
$V_{OM}$ Maximum peak output voltage swing	$T_A = 25^\circ\text{C}$	$R_L = 10\ \text{k}\Omega$	$\pm 12$	$\pm 13.5$	$\pm 12$	V									
		$R_L \geq 10\ \text{k}\Omega$	$\pm 12$		$\pm 12$										
		$R_L \geq 2\ \text{k}\Omega$	$\pm 10$	$\pm 12$	$\pm 10$	$\pm 12$									
AVD Large-signal differential voltage amplification	$V_O = \pm 10\ \text{V},$ $T_A = 25^\circ\text{C}$	$R_L \geq 2\ \text{k}\Omega,$	25	200	50	200	50	200	50	200	50	200	50	V/mV	
	$V_O = \pm 10\ \text{V},$ $T_A = \text{full range}$		15		25		25		25		25		25		
$B_1$ Unity-gain bandwidth	$T_A = 25^\circ\text{C}$		3		3		3		3		3		MHz		
$f_i$ Input resistance	$T_A = 25^\circ\text{C}$		10 <sup>12</sup>		10 <sup>12</sup>		10 <sup>12</sup>		10 <sup>12</sup>		10 <sup>12</sup>		$\Omega$		
CMRR Common-mode rejection ratio	$V_{IC} = V_{ICR}\ \text{min},$ $R_S = 50\ \Omega,$ $T_A = 25^\circ\text{C}$	$V_O = 0,$	70	86	80	86	80	86	80	86	80	86	80	dB	
kSVR Supply voltage rejection ratio ( $\Delta V_{CC\pm} / \Delta V_{IO}$ )	$V_{CC} = \pm 15\ \text{V}$ to $\pm 9\ \text{V},$ $R_S = 50\ \Omega,$ No load, $T_A = 25^\circ\text{C}$	$V_O = 0,$	70	86	80	86	80	86	80	86	80	86	80	dB	
$I_{CC}$ Supply current (per amplifier)	$T_A = 25^\circ\text{C}$		1.4	2.8	1.4	2.8	1.4	2.8	1.4	2.8	1.4	2.8	1.4	mA	
$V_{O1}/V_{O2}$ Crosstalk attenuation	AVD = 100, $T_A = 25^\circ\text{C}$		120		120		120		120		120		120	dB	

† All characteristics are measured under open-loop conditions with zero common-mode voltage unless otherwise specified. Full range for  $T_A$  is  $0^\circ\text{C}$  to  $70^\circ\text{C}$  for TL08\_C, TL08\_AC, TL08\_BC and  $-40^\circ\text{C}$  to  $85^\circ\text{C}$  for TL08\_I.

‡ Input bias currents of a FET-input operational amplifier are normal junction reverse currents, which are temperature sensitive as shown in Figure 18. Pulse techniques must be used that will maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible.



## Annexes J

# Incertitudes et propagation d'erreurs

Au moment de communiquer la valeur d'une grandeur physique issue de mesures, ou lorsqu'il s'agit de la comparer à d'autres mesures ou à un modèle théorique, il est essentiel de l'accompagner d'une incertitude. Une grandeur mesurée est entachée d'une erreur de mesure. Une grandeur physique calculée à partir de grandeurs mesurées est de ce fait associée à une incertitude, estimée à partir des erreurs de mesure. Dans ce chapitre, nous revenons sur les méthodes de détermination des erreurs de mesure, et sur la détermination d'une incertitude par propagation des erreurs de mesure.

### J.1 Notation d'une grandeur physique avec son incertitude - Chiffres significatifs

La valeur d'une grandeur physique doit être donnée avec son incertitude et son unité. La notation est la suivante :

$$\text{valeur} \pm \text{incertitude} \text{ unité}$$

L'incertitude doit être arrondie au premier, voire au deuxième chiffre significatif de sa valeur :

- Dans le cas d'une incertitude valant 0.81256 par exemple, il est dérisoire de considérer les 0.01256 d'incertitude s'ajoutant aux 0.8 correspondant au premier chiffre significatif.
- Dans le cas d'une incertitude valant 0.35214, un arrondi à 0.35 peut être considéré, étant entendu que les 0.00214 d'incertitude restants sont négligeables devant 0.35

La valeur de la grandeur physique doit ensuite être simplement exprimée avec le même nombre de chiffres significatifs que son incertitude. Par exemple,  $0.55 \pm 0.02 \text{ m}$ .

## J.2 Les erreurs de mesure

Par nature, il est impossible d'effectuer des mesures rigoureusement exactes. L'estimation des erreurs de mesure occupe donc une place centrale dans le travail d'un expérimentateur : il est nécessaire de connaître les limites d'un résultat expérimental au moment de l'utiliser pour vérifier un modèle, établir une prévision...

Prenons un exemple concret. Vous souhaitez rénover le sol de votre chambre, et en prévision de l'achat de parquet vous mesurez une aire à couvrir de  $20 \pm 1 \text{ m}^2$ . Au moment de l'achat, vous allez considérer la valeur la plus grande dans l'intervalle :  $21 \text{ m}^2$ . Cela est dû au fait que vous pensez que la taille réelle de votre pièce puisse être de  $21 \text{ m}^2$  et que vous ne voulez pas vous retrouver avec un trou dans votre sol. En revanche, vous êtes sûrs que votre chambre ne fait pas  $22 \text{ m}^2$ , il est donc inutile d'acheter plus de sol qu'il n'en faut. Nous voyons ici le rôle capital des incertitudes, et l'importance pour l'expérimentateur de les déterminer sans les sous-estimer ni les surestimer.

Lors de vos manipulations, vous chercherez ainsi à obtenir des résultats précis et justes, afin de tendre vers l'exactitude. Ces concepts sont illustrés sur la figure J.1.

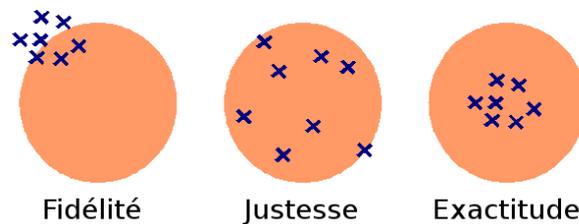


FIGURE J.1 – Représentation schématique de la fidélité (ou précision), justesse et exactitude en métrologie.

Les erreurs de mesure peuvent être classées dans deux catégories : les erreurs statistiques et les erreurs systématiques.

Les **erreurs statistiques** sont liées à la précision des instruments de mesure et aux variations des conditions expérimentales. Prenons par exemple la lecture du niveau d'eau d'une rivière sur une règle graduée. La règle est graduée en centimètres, donc la précision de l'instrument peut être considérée égale à  $\pm 0.5 \text{ cm}$ . Cependant, à cause des vagues présentes sur la rivière, l'erreur de mesure est encore supérieure : si les vagues font  $3 \text{ cm}$  crête à crête, nous estimerons réellement le niveau à  $\pm 1.75 \text{ cm}$ . En présence d'erreurs statistiques, prendre un grand nombre de mesures et considérer la moyenne des valeurs obtenues permet de réduire l'incertitude sur la valeur de la grandeur mesurée.

Les **erreurs systématiques** sont liées à une connaissance ou une maîtrise imparfaite du processus de mesure. Reprenons notre exemple du niveau d'une rivière. Si la règle a été mal posée

par rapport au lit de la rivière et que son zéro est 10 cm au dessus du lit, alors nous commettons une erreur systématique de  $-10$  cm en lisant sur cette règle. Une erreur systématique peut être due également à la manière de lire la règle (problèmes de parallaxe par exemple). **Les erreurs systématiques doivent être corrigées (si c'est possible) afin qu'il ne reste plus que les erreurs statistiques à prendre en compte.**

L'expérimentateur se doit de faire l'inventaire de toutes les sources d'erreurs possibles dans son montage expérimental, et d'en estimer les valeurs. Pour cela il faut être à la fois réaliste (ne pas dire que l'on peut lire à  $\pm 0.1$  mm sur une règle graduée en millimètres) et rigoureux (ne pas ajouter des incertitudes qui n'existent pas). Le tableau J.1 résume les différentes façons d'estimer une erreur de mesure.

Méthode	Champ d'application	Technique
Estimation directe	Vous ne faites qu'une seule mesure	<p><b>Vous êtes limité par l'instrument de mesure :</b> <math>\delta x</math> est donné par la demi-graduation, le dernier chiffre affiché, la notice de l'instrument,...</p> <p><b>Vous êtes limité par la fluctuation de la mesure ou le jugement de l'expérimentateur :</b> Vous devez estimer des valeurs <math>x_{\min}</math> et <math>x_{\max}</math> de votre mesure</p> $x = \frac{x_{\max} + x_{\min}}{2}$ $\delta x = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{2}$
Estimation semi-directe	Vous avez fait quelques mesures de la même grandeur ( $N < 10$ )	$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x^{(i)}$ $\delta \bar{x} \sim \frac{x_{\max} - x_{\min}}{2}$
Méthode statistique	Vous avez effectué un nombre statistiquement représentatif de mesures ( $N > 10$ )	<p>Vous avez effectué <math>N</math> mesures <math>x^{(i)}</math> de la variable <math>x</math></p> $\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x^{(i)}$ $\delta \bar{x} = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^N (x^{(i)} - \bar{x})^2}$

TABLE J.1 – Détermination des erreurs de mesure.

Si vous avez effectué ou calculé plusieurs fois la même mesure et son incertitude ( $x_i \pm \delta x_i$ ), alors la valeur moyenne de ces mesures et son incertitude associée sont :

$$\bar{x} = \frac{\sum \frac{x_i}{\delta x_i^2}}{\sum \frac{1}{\delta x_i^2}} \quad (\text{J.1})$$

$$\frac{1}{\delta \bar{x}^2} = \sum \frac{1}{\delta x_i^2} \quad (\text{J.2})$$

### J.3 Propagation des erreurs de mesure et des incertitudes

Très souvent, la grandeur physique que l'on cherche à évaluer n'est pas mesurée directement. Par exemple on ne mesure pas la vitesse  $v$  d'un mobile, mais son déplacement  $d$  pendant un temps  $t$ . La grandeur  $v$  peut alors être exprimée comme une fonction des quantités mesurées :  $v = \frac{d}{t}$ .

De façon générale, on mesure des grandeurs  $x_1, x_2, x_3, \dots$  auxquelles on associe une erreur de mesure ou incertitude, notées  $\delta x_1, \delta x_2, \delta x_3, \dots$ , respectivement. La grandeur  $y$  recherchée est une fonction de  $x_1, x_2, x_3, \dots$  :  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , et l'on souhaite donc estimer l'incertitude  $\delta y$ . Les trois méthodes permettant de faire cette estimation sont rappelées dans le tableau J.2.

#### J.3.1 la formule générale

Nous allons nous pencher sur la formule générale de la propagation des erreurs lors d'un calcul. C'est à ce moment là où les étudiants fuient ou baissent les bras. Mais courage vous allez voir qu'au final tout se résume à cette seule équation que voici :

$$\sigma_{f(p)}^2 = \sum_{i=1} \left( \left( \frac{\partial f(p)}{\partial p_i} \right)^2 \sigma_{p_i}^2 \right). \quad (\text{J.3})$$

Cette équation peut paraître barbare mais en réalité elle est plutôt simple si on comprend tous les termes.

Supposons que nous calculons une grandeur physique à l'aide d'une fonction  $f(p)$  qui dépend de plusieurs grandeurs  $p_i$ . Par exemple la résistance en fonction de la tension et du courant :  $f(p) = R(U, I) = U/I$ , on a  $p_1 = U$  et  $p_2 = I$ . Si ces grandeurs sont associées à des incertitudes de mesures (grandeurs mesurées), alors on a :  $U = u \pm \sigma_U$  et  $I = i \pm \sigma_I$  ( $\sigma_{p_1} = \sigma_U$  et  $\sigma_{p_2} = \sigma_I$ ).

Méthode		Champ d'application	Technique
Par encadrement		Calcul simple dans le cas des fonctions à une variable, mais parfois très long à appliquer (préférer les méthodes par dérivée).	Calculer $y_{\min}$ et $y_{\max}$ à partir de $x_{\min}$ et $x_{\max}$ en utilisant la fonction $f$ .  $y = \frac{y_{\max} + y_{\min}}{2}$ $\delta y = \frac{y_{\max} - y_{\min}}{2}$
Par dérivée	Formule générale	Les incertitudes sont aléatoires et indépendantes	$\delta y = \sqrt{\left  \frac{\partial f}{\partial x_1} \right ^2 (\delta x_1)^2 + \dots + \left  \frac{\partial f}{\partial x_n} \right ^2 (\delta x_n)^2}$
	Formule simplifiée	En pratique, pour simplifier le calcul, ou si les incertitudes ne sont pas indépendantes	$\delta y = \left  \frac{\partial f}{\partial x_1} \right  \delta x_1 + \dots + \left  \frac{\partial f}{\partial x_n} \right  \delta x_n$
	Dérivée logarithmique	<b>Uniquement</b> lorsque la fonction $f$ est une loi de puissance ou un produit, c'est-à-dire $y = kx_1^\alpha x_2^\beta \dots x_n^\gamma$ .	$\frac{\delta y}{ y } =  \alpha  \frac{\delta x_1}{ x_1 } +  \beta  \frac{\delta x_2}{ x_2 } + \dots +  \gamma  \frac{\delta x_n}{ x_n }$

TABLE J.2 – Propagation des erreurs de mesure ou des incertitudes.

On note la dérivée partielle de la fonction  $f(p)$  par rapport à la variable  $p_i$  :  $\frac{\partial f(p)}{\partial p_i}$ . Soit suivant notre exemple les deux dérivées partielles de  $R(U, I)$  sont :

$$\frac{\partial R(U, I)}{\partial U} = \frac{1}{I}, \quad (\text{J.4})$$

$$\frac{\partial R(U, I)}{\partial I} = -\frac{U}{I^2}. \quad (\text{J.5})$$

Enfin si on applique la formule, la valeur de la résistance est :

$$R = \frac{u}{i}, \quad (\text{J.6})$$

et son incertitude associée est :

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{\sigma_U^2}{i^2} + \frac{u^2 \sigma_I^2}{i^4}}. \quad (\text{J.7})$$

Vous voyez que c'est simple ! Pour vous en persuader, vous devez connaître l'incertitude associée à la moyenne de mesures  $m_i$  (où toutes les mesures ont la même incertitude  $\sigma_m$ ) :

$$\bar{m} = \frac{\sum_{i=1}^N m_i}{N}, \quad (\text{J.8})$$

$$\sigma_{\bar{m}} = \frac{\sigma_m}{\sqrt{N}}, \quad (\text{J.9})$$

appliquez la formule précédente (équation (J.3)) à la fonction  $\bar{m}$  et regardez le résultat (c'est le même non ?).

## J.4 Incertitudes sur les paramètres d'un modèle d'affinement

Vous avez présenté vos résultats sur un graphique (avec les incertitudes sous forme de barres d'erreur) et vous cherchez à comparer l'expérience avec un modèle par ajustement de vos données (la plupart du temps une régression linéaire). Les méthodes décrites dans le tableau J.3 permettent d'estimer l'incertitude sur les paramètres d'un modèle extrait par ajustement.

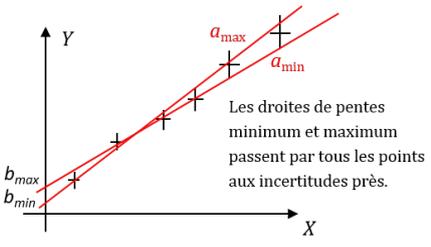
Méthode	Champ d'application	Technique
Droites de pentes extrêmes	Graphique tracé à la main et modèle de droite affine.	 <p>Les droites de pentes minimum et maximum passent par tous les points aux incertitudes près.</p> $a = \frac{a_{\max} + a_{\min}}{2} \quad \delta a = \frac{a_{\max} - a_{\min}}{2}$ $b = \frac{b_{\max} + b_{\min}}{2} \quad \delta b = \frac{b_{\max} - b_{\min}}{2}$
Utilisation d'un logiciel	Utilisation d'un logiciel de traitement de données	Si vous utilisez un logiciel de traitement de données, il peut souvent vous donner le résultat de l'ajustement des données en accompagnant les paramètres d'une incertitude que vous pouvez utiliser directement.

TABLE J.3 – Détermination des incertitudes sur les paramètres d'un modèle ajusté aux points expérimentaux.