

Travaux pratiques – Semestre 1

MPSI1 – Année scolaire 2025-2026



Mardi	Sujet de TP	Salle	Page
02/09	Cours		
09/09	TP – Outils numériques	R417	1
16/09	TP S0 – Outils de base au labo de physique (GBE, Oscillo et carte d'acquisition)	R417	13
23/09	TP S1 – Mesures de masses volumiques	R417	21
30/09	TP E1 – Mesures de résistances	R417	25
07/10	TP E2 – Dipôles et quadripôles	R417	31
14/10	TP E3 – Circuits d'ordre 1 en régime transitoire.	R417	37
21/10	VACANCES		
28/10	VACANCES		
04/11	TP E4 – Circuits d'ordre 2 en régime transitoire.	R417	43
11/11	Férié		
18/11	TP E5 – Permittivité du verre	R417	49
25/11	TP C1 – Dosage par étalonnage d'une solution à usage médical	R019	51
02/12	TP C2 – Suivi cinétique par spectrophotométrie	R019	55
09/12	TP M1 – Utilisation d'un accéléromètre / TP M2 – Analyse d'un mouvement (Mesure de la viscosité d'un fluide)	R417	59-67
16/12	TP M1 – Utilisation d'un accéléromètre / TP M2 – Analyse d'un mouvement (Mesure de la viscosité d'un fluide)	R417	59-67
23/12	VACANCES		
30/12	VACANCES		
06/01	TP C3 – Suivi cinétique par conductimétrie	R007	75
13/01	TP E6 – Régimes sinusoidaux forcés des circuits d'ordre 1.	R417	81
20/01	TP E7 – Résonances électriques.	R417	85
27/01	TP E8 – Filtrage	R417	91
03/02	TP E8 – Filtrage	R417	91

TP

OUTILS NUMÉRIQUES

Durée : 2h

Objectifs

- se familiariser avec Python et les environnements de travail utilisés ;
- écrire proprement du code Python.

Matériel

- Ordinateur avec Anaconda.

Matériel personnel : fichiers `file_data.csv` et `RawDataLeonard.csv` sur clé usb ; application Phyphox sur votre smartphone (installation optionnelle bien sûr).

Le programme de 2021 de MPSI a introduit explicitement l'utilisation d'outils numériques en sciences physiques. Cette utilisation se base sur le langage Python comme en Informatique Tronc Commun.

La manière d'utiliser Python, bien que commune dans le sens où l'objectif est de comprendre ce qu'on fait, est différente dans le sens où

- en ITC, l'objectif est « de poser les bases d'un enseignement cohérent d'une science informatique »,
- en Sciences Physiques, l'objectif est d'utiliser l'outil informatique, dit alors "numérique" afin de modéliser et/ou résoudre des questions de physique et chimie.

Il en résulte quelques différences à l'usage. En ITC, vous utiliserez sans doute peu de bibliothèques ; en sciences physiques, on ne s'en privera pas. En ITC, vous utiliserez des listes ; en sciences physiques, nous utiliserons quasiment que des tableaux `numpy`, ...

I Travail préparatoire – Présentation de Python

A faire avant la séance de TP

Python est un langage de programmation.

Définition Un langage de programmation est un code de communication, permettant à un être humain de dialoguer avec une machine en lui soumettant des instructions. Les instructions sont exécutées par la machine lors de l'exécution.



Il y a donc 2 étapes lors de l'utilisation de Python :

- l'**écriture** des instructions à faire par vous-même ;
- puis l'**exécution** des instructions.

1 Un langage de programmation peut être utilisé avec un IDE

Un IDE (*Integrated Development Environment* = environnement de développement intégré) aide à l'écriture de code, puis à l'exécution du code. L'IDE présenté ici est SPYDER et d'ici peu, nous utiliserons JUPYTER.

SPYDER et JUPYTER sont des logiciels gratuits qui sont regroupés dans la plateforme ANACONDA. Il est donc particulièrement judicieux d'installer ANACONDA sur votre ordinateur personnel. Une vidéo qui me semble clair et pragmatique est disponible à l'adresse <https://www.youtube.com/watch?v=kkFSuZ4IOBY>. Il s'agit de la vidéo *Installer Anaconda sur Windows Facilement [Jupyter Notebook, Python, R, DataScience...]* disponible dans Youtube du compte Numelion Tutoriels.

Manipulation 1

- Lancer Spyder après avoir lancé Anaconda ;
- Après quelques instants, une fenêtre ressemblant à la figure TP1 s'affiche.

Cette fenêtre s'organise en 3 parties :

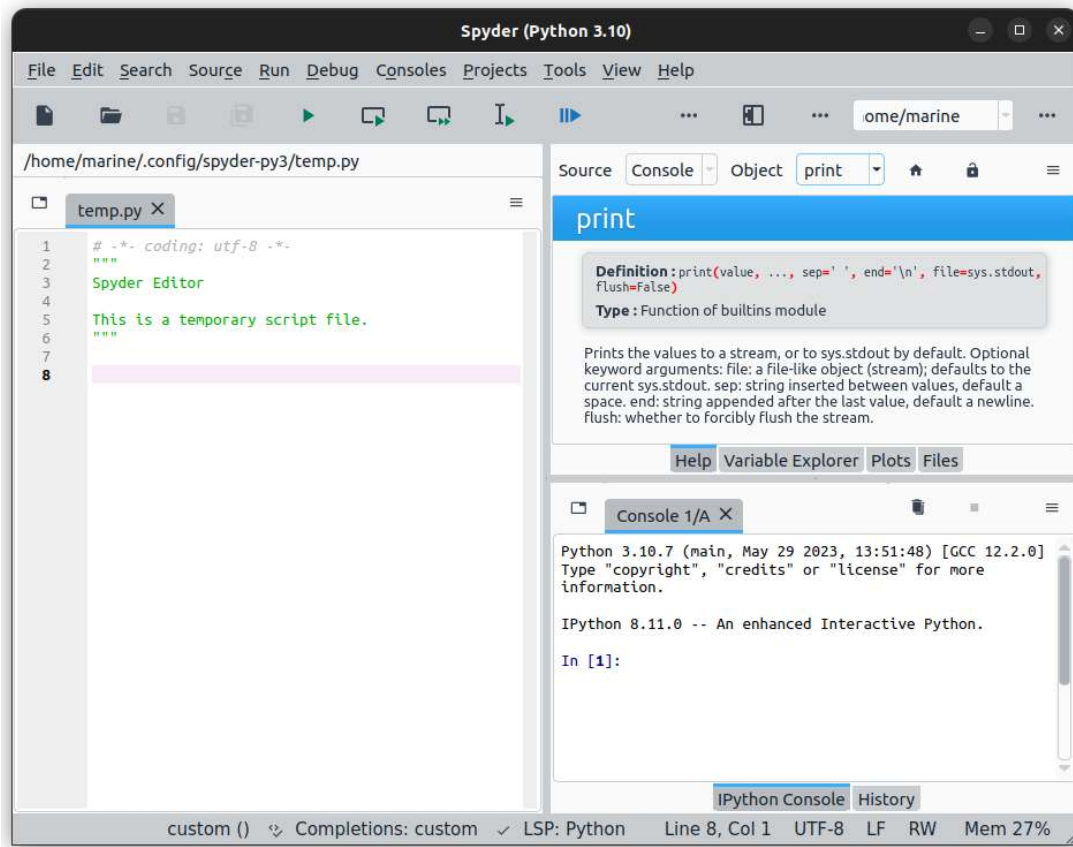


FIGURE TP1 – Fenêtre Spyder.

- En bas à droite** se trouve la *console (shell)*. Dans cette partie, on exécute le code. On peut aussi écrire quelques instructions simples. Nous y reviendrons par la suite ;
- A gauche**, se trouve l'*éditeur de scripts (editor)*. Dans cette partie, on écrit le code, surtout quand il est long et/ou qu'on souhaite l'utiliser plusieurs fois ;
- En haut à droite**, se trouve l'aide interactive, ... Sur la figure donnée, j'ai écrit "print" dans cette aide. On peut aussi y afficher l'explorateur de fichiers, y visionner l'historique ...

⚠ Une bonne pratique

Dans le cadre du TP, vous allez écrire dans l'éditeur un fichier qui, par défaut, se nomme *temp* comme temporaire. Vous enregistrerez ce fichier sous le nom *date_Nom1Nom2_TPPython* dans un dossier MPSI1, dossier enfant du dossier Documents. Vous remarquerez que l'extension de ce fichier est *.py*.

Vous vous enverrez ce fichier par mail en fin de séance ou vous l'enregistrerez sur votre propre clé USB (nom et prénom à indiquer dessus).

Ne comptez pas sur le lycée pour sauvegarder vos documents !

2 Un langage de programmation sert à calculer

Dans la partie *console*, vous voyez que la dernière ligne écrite commence par `In [1]` : sous Windows et `>>>` sous Mac.

⚠ L'invite de commande

`In [1]` : ou `>>>` appelé *invite de commande*, *prompt* ou encore *chevrons* signifient que l'ordinateur attend que vous lui demandiez quelque chose en Python.

Vos premières instructions.

Manipulation 2

- Dans la console, saisissez `3*2`. On ordonne à l'ordinateur d'exécuter l'instruction Python en tapant « Entrée » à la fin de la ligne dans la *console* ;
- Faire de même pour les instructions suivantes : `3+2`, `3-2`, `3**2`, `2**3`, `83/9`, `83\9`, `83//9`, `83%9` ;
- En déduire la signification des opérateurs.

↖ Si vous faites flèche vers le haut ou flèche vers le bas, vous pouvez retrouver directement vos dernières instructions saisies. Cela vous évite de tout récrire à chaque fois...

↖ De la même façon, si vous tapez par exemple `3` PUIS flèche haut ou bas, vous allez encore faire apparaître les dernières instructions saisies mais SI ELLES COMMENCENT PAR `3`. Et cela marche avec autant de caractères que l'on veut (essayez avec `3*` par exemple).

3 Un langage de programmation a aussi des bibliothèques

Python est-il si fort en calcul ?

Manipulation 3

- Saisir et exécuter `cos(90)` ;
- Que se passe-t-il ? Prenez bien le temps de lire le message en rouge ;
- Qu'est-ce que cela signifie ?

Toutes les instructions ne font pas partie du Python « de base ». Quand on a besoin de s'en servir (bien sûr que Python connaît les fonctions trigonométriques), on fait appel à des *bibliothèques* supplémentaires.

En sciences physiques, une des bibliothèques qu'on utilise (tout le temps) est la bibliothèque *numpy*.

Manipulation 4

- Saisir `import numpy as np`, puis `np.cos(90)` ;

4 Un langage de programmation manipule des variables

Les variables manipulées possèdent bien évidemment chacune leur propre nom, et sont typées.

Manipulation 5

- Saisir `a=1` puis saisir `a` ;
- Que se passe-t-il ?
- Tapez `a+3`, puis `a` ;
- Conclure sur cette suite d'instructions ;
- Que se passe-t-il si vous saisissez `b+2` ? Pourquoi ?

⚠ *L'instruction d'affectation*

L'opération `=` n'est donc pas une égalité au sens mathématique du terme. Cela correspond à une affectation. Très souvent dans les livres, on trouve plutôt $a \leftarrow 1$ pour signifier "a reçoit 1".

Manipulation 6

On corse un peu !

- Essayez `a=a+3` puis saisissez `a` ;
- Saisissez encore `a=a+3`, puis `a` ;
- Pourquoi la même instruction ne donne-t-elle pas le même résultat ?

- Saisissez `a+=7`, puis `a` ;
- Que s'est-il passé ?
- Même chose pour `a-=3`, `a*=-2`.

Python peut manipuler différents types de variables : des entiers, des réels,



Les types de base (ou presque)

Les variables en Python ont comme type de base :

`int`, `float`, `bool`, `string` et `list`.

`int` pour nombre entier,

`float` pour nombre réel,

`bool` pour booléen (vrai ou faux),

`string` pour chaîne de caractères,

`list` pour liste.

auquel on rajoutera le type

`array` de la bibliothèque `numpy`

`array` pour tableau

Manipulation 7

- Dans la console, utiliser `type()` pour vérifier les types de quelques valeurs : `2`, `-3.2`, `2-3.1`, `a==2`, `“Je m’appelle Groot”`, `[3,1,2]`, `[2,“hello”`, `a==2]`.
- Dans l’éditeur, après avoir défini la variable `tab` avec l’instruction, `tab=np.zeros(4)`, demander à l’ordinateur de vous afficher sur l’écran cette variable `tab` et son type.

5 Les fonctions

On peut créer un script qui créera une fonction, c’est-à-dire une instruction utilisable depuis la console et demandant éventuellement un ou plusieurs paramètres d’entrée. On n’a alors plus besoin d’éditer à chaque fois le script. Pour créer une fonction, il faut utiliser la commande `def` selon la syntaxe :

`def nom_de_la_fonction (les variables de la fonction séparées par une virgule) :`

Les deux points à la fin sont **FONDAMENTAUX** : l’instruction ne sera pas comprise par l’ordinateur si vous les oubliez. L’oubli de ces deux points est d’ailleurs une des erreurs les plus courantes en Python. Vous allez constater qu’une fois tapé “entrée” après les deux points, la suite des instructions va être mise en retrait à droite, on dit qu’elles sont indentées. L’idée est alors que tout ce qui sera indenté dans la suite sera le corps de la fonction, la fin de celle-ci correspondant à la fin de ce retrait. C’est une des caractéristiques de Python : l’indentation des fonctions et, on le verra, de nombreuses autres commandes, là où certains langages utilisent des accolades ou des parenthèses par exemple pour dire ce qui délimite la fonction.

On souhaite programmer la relation suivante $y = 2x - 3$.

Manipulation 8

- Programmez la fonction f qui à x associe $2x - 3$. Dans l’éditeur, saisissez alors :

```
def f(x) :
    y=2*x-3
```

- Lancer l’exécution.

Rien ne s’affiche dans la console après exécution. Vous avez créé une nouvelle commande, `f`, qui attend un paramètre pour fonctionner. Elle est disponible **COMME UNE NOUVELLE COMMANDE** dans la console.

Manipulation 9

- Dans la console, saisir alors `f(0)` ;
- Quelle valeur devrait avoir la valeur `y` ? Pour vérifier votre réponse taper `print(y)` ;
- Quelle est l'erreur alors obtenue ?

Cette erreur provient du fait que la variable `y` a été calculée dans une fonction. La valeur de `y` est donc locale à la fonction et uniquement à la fonction. Pour récupérer la valeur de `y` et la stocker en mémoire pour l'utiliser, il faut le préciser à l'aide de la commande `return`.

Manipulation 10

- Corriger alors votre code de la façon suivante :

```
def f(x) :
    y=2*x-3
    return y
```

```
a=f(0)
```

- Exécuter votre code.

On constate que le code est composé de deux parties :

- La première correspond à la **définition** de la fonction f , il s'agit d'une fonction ;
- La seconde correspond à la commande $a = f(0)$, il s'agit du programme principal, appelée **appel de la fonction**.

Manipulation 11

- Lancez l'exécution et affichez la valeur de la variable `a`. Le résultat vous semble-il cohérent ?

Remarque : la commande `return` interrompt la fonction, ce qui veut dire qu'une fois renvoyée la valeur désirée, le reste de la fonction n'est pas parcouru. Par exemple taper `print("programme avant return")` juste avant la ligne `return` et la commande `print("programme après return")` juste après. Lancer l'exécution, vous constaterez que la ligne "programme après return" ne s'affiche jamais.

Manipulation 12

- Calculez `f(f(f(0)))` ;
- Essayez de comprendre le mécanisme de ce calcul.



Les fonctions ont pour écriture

```
def nom_de_la_fontion(argument1,argument2,...) :
    instruction 1
    ...
    instruction n
    return sortie1,sortie2,...
```

6 Un script a besoin d'être lisible

Un code a besoin d'être lisible et rapidement, d'abord à vous (dans une semaine, un mois, un an et demi ...), ensuite à vos professeurs et surtout à tout ceux avec lequel vous voudriez le partager (par exemple, votre binôme de TIPE ou même le jury de TIPE).

Pour cela, on dispose de deux outils, les **commentaires** et l'**ordre d'écriture** des instructions.

6.1 Les commentaires

Les commentaires

peuvent s'écrire

- sur une seule ligne à la suite du symbole #,
- sur plusieurs lignes entre les 2 symboles /* et */.

Manipulation 13

- Commenter votre script précédent.

6.2 L'ordre d'écriture

```

1 #Modules =====
2 import numpy as np
3 import matplotlib.pyplot as plt
4
5 #Parametres =====
6 #physiques -----
7 E=2.
8 T=2.
9 #numerique -----
10 N=1000
11
12 #Fonctions =====
13 def fct_e(t,T) :
14     return (-np.sign(t%T-T/2)*(t%T-T/2)+T/4)*4*1./T
15
16 def euler(tf,s0) :
17     tab_t,Dt=np.linspace(0,tf,N+1,retstep=True)
18     tab_s=np.zeros(N+1)
19     tab_e=np.zeros(N+1)
20     tab_s[0]=s0
21     for k in range(N) :
22         tab_e[k]=fct_e(tab_t[k],T)
23         tab_s[k+1]=tab_s[k]+Dt*(tab_e[k]-tab_s[k])
24     tab_e[-1]=fct_e(tab_t[-1],T)
25     return tab_t, tab_s, tab_e
26
27 #Corps principal =====
28 #Calculs -----
29 data_timeT2,data iT2,data_eT2=euler(10*T,0,-1/3)
30
31 #Traces -----
32 fig, axs = plt.subplots(1,figsize=(9,9))
33 axs.plot(data_timeT2, data iT2,'r-')
34 axs.plot(data_timeT2, data_eT2,'b-')
35 axs.title.set_text('pour $T=2\\tau$')
36 plt.show()

```

FIGURE TP2 – Exemple d'un code Python

Architecture d'un script

L'ordre d'un script est toujours plus ou moins le même.

Les **bibliothèques** sont importées sur les premières lignes ;

Les **paramètres** qualifiés aussi de variables globales sont ensuite écrits – on distingue les paramètres physiques des paramètres numériques ;

Les **fonctions** sont définies sur les lignes suivantes après avoir laissé une ou deux lignes blanches juste après l'importation des bibliothèques ;

Le **corps principal** finit le script après 1 ou 2 lignes blanches. C'est ce corps principal qui doit être lu pour savoir ce que le code "fait".

Manipulation 14

Les fonctions mathématiques nécessaires seront chargées grâce à la bibliothèque `numpy`. Dans le cadre du TP, on prendra $\mu = 0$ et $\sigma = 1$. Libre à vous de les définir en tant qu'arguments de la fonction ou non !

- Écrire, puis exécuter un code Python qui affiche la fonction gaussienne centrée en $x = 1, 2$ puis 5 . Pour rappel, on nomme ici la fonction gaussienne la fonction qui à x associe :

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$$

II Dessins

En Python, les graphes et les dessins de manière plus générales sont des objets. Le code minimal pour tracer un graphe comporte donc 3 lignes

- on crée l'objet *figure* avec des axes,
- on trace les données,
- on demande l'affichage.

A ces trois lignes, on peut en ajouter afin de rajouter ou modifier les objets figures et axes pour rajouter des titres, le nom des axes ...

Tracé d'un graphe en Python

Les tracés en Python se font à l'aide de la bibliothèque `matplotlib.pyplot` importé grâce à la commande `import matplotlib.pyplot as plt`.

```

1 import matplotlib.pyplot as plt
2
3 data_x = ...
4 data_y = ...
5 fig, ax = plt.subplots(1, figsize=(/*largeur*/, /*hauteur*/))
6 ax.plot(data_x, data_y)
7 plt.show()

```

Nous aurons donc besoin de stocker les données à dessiner dans des tableaux Python, souvent 1d.

1 prérequis : les tableaux Python


Manipulation 15

Taper les commandes suivantes, puis déterminer ce qu'elles font, vérifier ensuite en tapant dans l'aide de Spyder.

- `T = np.array([5,2,8,17,6,14])`
- `T1 = np.arange(15)`
- `T2 = np.arange(0.9,8.1,0.5)`
- `T3 = np.linspace(0,1/4,16)`
- `T4 = np.zeros(10)`
- `T5 = np.ones(7)`
- `T6 = np.empty(8)`

Pour accéder aux éléments, on écrit `tab[i]` où `i` est l'indice de position de l'élément, sachant qu'en Python, les indices de position commencent à 0 (et non 1)

- Accéder au 1er élément de `T`, au troisième élément de `T3`, au dernier élément de `T5`.
- Taper `T1[-1]`. Conclure.

 **Création d'un tableau**

`np.arange(min,max,Δ)` permet de créer un tableau de valeurs régulièrement espacées par l'intervalle Δ commençant à la valeur `min` (inclus) et étant forcément strictement inférieures à la valeur `max` (qui est donc exclue des valeurs du tableau).

`np.linspace(min,max,N)` permet de créer un tableau de `N` valeurs régulièrement espacées commençant en `min` (qui appartient donc au tableau) et finissant en `max` (qui est donc aussi inclus dans le tableau).

`np.zeros(N)` permet de créer un tableau de `N` valeurs nulles.

2 Traçons des fonctions

Manipulation 16

Grâce à Python, tracer une courbe représentative de la fonction qui à x associe $\cos(x)$

Je vous propose le code suivant

```
1 import numpy as np
2 import matplotlib.pyplot as plt
3
4 data_t=np.linspace(0,2*np.pi,101)
5 data_x=np.cos(data_t)
6 data_y=np.sin(data_t)
7
8 fig,ax=plt.subplots(3,figsize=(9,6))
9 ax[0].plot(data_t,data_x,'r+')
10 ax[1].plot(data_t,data_y,'b+')
11 ax[2].plot(data_x,data_y,'gx')
12 plt.show()
```

Manipulation 17

- Après avoir recopié et exécuté le code précédent, expliquer ce que vous observez.
- Tracer les fonctions qui, à x , associent \sqrt{x} , x et x^2 sur un même graphe.

- Tracer une ellipse d'axe (Ox) et (Oy) de demi grand axe 5 et de demi petit axe 2.
- Tracer une courbe en forme de spirale.

3 Traçons des données

Il peut arriver qu'on enregistre des données, par exemple avec Latis-Pro, avec Phyphox ... alors, il est possible de les enregistrer sous le format csv (comma-separated values), voir fr.wikipedia.org/wiki/Comma-separated_values Il est alors possible sans tout retaper de stocker ces données sous la forme de tableaux numpy afin de les tracer, de calculer l'énergie cinétique, ...

Manipulation 18

- Enregistrer le fichier `file_data.csv` que vous avez sur clé USB ainsi que le fichier `RawDataLeonard.csv` dans le répertoire `Documents/MPSI1` de l'ordinateur de travail.
- Pour cette partie, nous allons utiliser Python d'une autre manière avec Jupyter qui est un environnement plus fluide dans le sens où les graphes s'affichent juste après le code et dans le sens où on peut mélanger texte explicatif et code.
 - Pour cela, recherche *Anaconda Navigator* dans la liste des programmes de l'ordinateur. Cliquez dessus pour lancer ce programme. Une fenêtre telle que la figure TP3 s'ouvre.
 - Cliquez sur *Launch* juste en dessous de Jupyter Notebook. Dans un explorateur internet, une fenêtre s'ouvre avec une adresse du type `localhost:8888` où il est indiqué Jupyter et l'arborescence du répertoire courant.
 - Cliquez en haut à droite sur *New* puis sur *Python3*.
 - Une nouvel onglet dans l'explorateur Internet s'ouvre, enregistrer le fichier dans le répertoire `Documents/MPSI1` sous le nom `date_Nom1Nom2_TPPython_Notebook`. L'extension de ce fichier est `.ipynb`.
- Dans la première cellule du Notebook, importer les bibliothèques `numpy` et `matplotlib.pyplot`. Je souhaite aussi que vous importiez la bibliothèque `pandas` pour lire les fichiers `.csv`. L'alias conventionnellement utilisé pour la bibliothèque `pandas` est `pd`.
- Ensuite, vous pouvez lire les données d'un fichier csv à l'aide de la commande

```
1 data=pd.read_csv('nom du fichier',sep='\t')
```

Dans la variable `data`, stocker les données du fichier `file_data.csv`

Dans la commande présentée, j'ai ajouté l'option `sep='\t'` car j'aime bien séparer les colonnes par une tabulation. `sep='\t'` signifie que le séparateur de colonne est une tabulation. `sep=','` signifie que le séparateur de colonne est une virgule, ... Attention pour noter les nombres décimaux, la convention anglo-saxonne est utilisée pour Python, ie qu'entre la partie entière et la partie décimale se trouve un point et non une virgule.

- Afficher la variable `data`, puis son type.
- Pour stocker une seule colonne dans un tableau, la commande est

```
1 tab_x = np.asarray(data['x'])
```

A l'intérieur des crochets, se trouve la chaîne de caractères qui se trouve être la première cellule de la colonne du fichier `.csv`.

Stokez ainsi les deux colonnes dans deux tableaux différents.

- Tracer la colonne `y` en fonction de la colonne `x`.
Vérifier la cohérence de votre tracé en ouvrant le fichier `.csv`.
- Tracer alors l'accélération selon l'axe (Ox) en fonction du temps, l'accélération selon l'axe (Oy) en fonction du temps puis l'accélération selon l'axe (Oy) en fonction de l'accélération selon l'axe (Ox).
- Si vous voulez, vous pouvez faire votre propre mesure de l'accélération de votre téléphone avec l'application Phyphox à installer gratuitement sur votre téléphone. Lancer l'expérience *Accélération avec g*. Une fois l'expérience finie, cliquez sur les 3 points en haut à droite de l'écran, puis cliquez sur *Exporter les mesures*, choisir le format *CSV (Tabulator, decimal point)*. Partager le fichier par mail, récupérer ce fichier sur l'ordinateur de travail, enregistrer le dans le répertoire `Documents/MPSI1`, puis vous pouvez tracer les données.

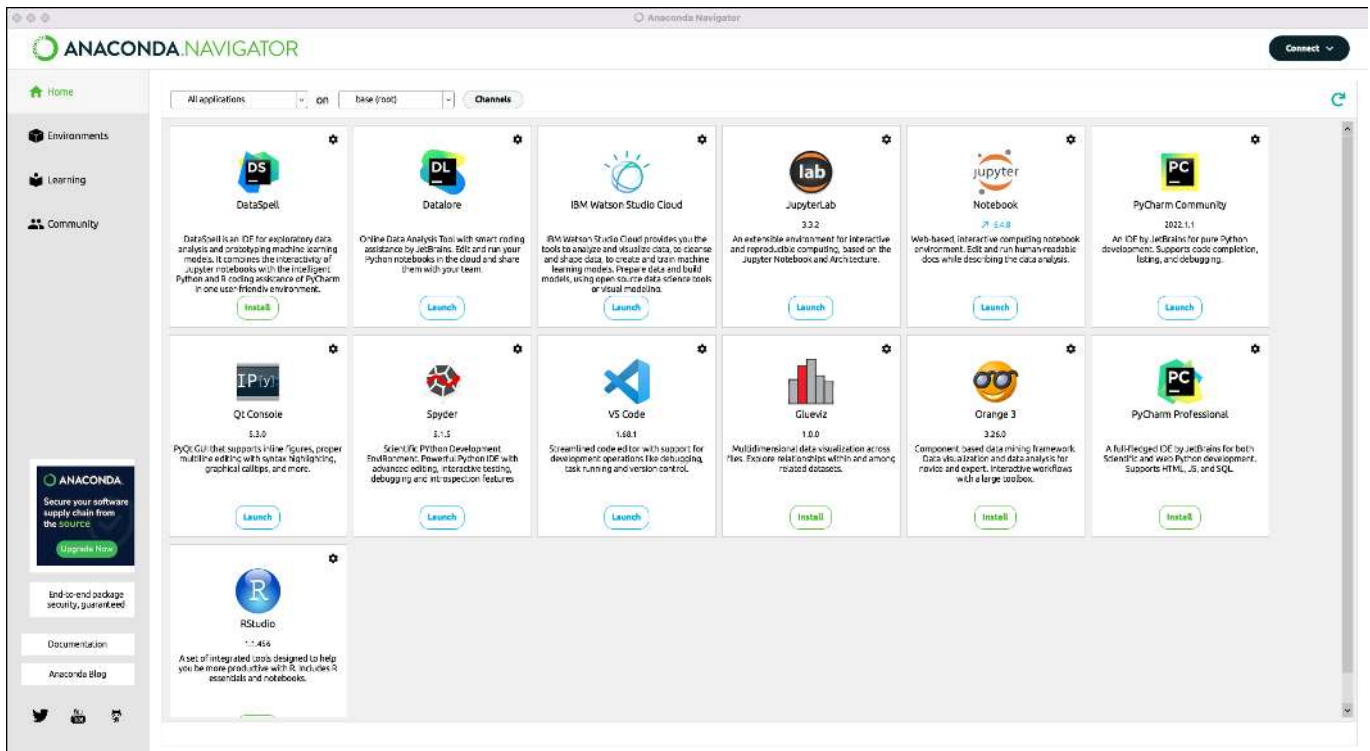


FIGURE TP3 – Fenêtre d'Anaconda.

III Générations de nombres aléatoires

1 Création

Manipulation 19

Dans la console de Spyder, taper plusieurs fois la commande `np.random.randint(10)` tout en comptant le nombre d'occurrences de chaque valeur obtenue. Vous pouvez faire un tableau.
Conclure.

En anglais, *random* signifie *aléatoire*. Le module `random` de la bibliothèque `numpy` est consacré à la génération de nombres aléatoires. Le fait d'écrire `np.random` avant toute fonction du module peut sembler un peu fastidieux. Il est possible de charger le module par la commande

```
from numpy import random as rd
```

Manipulation 20

Taper plusieurs fois de suite les instructions et conclure alors sur leur rôle. Vérifier avec l'aide.

- `rd.rand()` – on comptera aussi le nombre d'occurrences dans chaque intervalle entier $[0, 1[$, $[1, 2[$, ... ,
- `rd.randn()` – on comptera aussi le nombre d'occurrences dans chaque intervalle entier $[0, 1[$, $[1, 2[$, ... ,
- `rd.uniform(10,20,100)` – on comptera également le nombre d'occurrences dans chaque intervalle entier $[10, 11[$, $[11, 12[$, ... ,
- `rd.normal(15,2,100)` – on comptera également le nombre d'occurrences dans chaque intervalle entier $[10, 11[$, $[11, 12[$, ... ,

⚠ Création d'une distribution de nombres aléatoires

from numpy import random as rd

rd.uniform(min,max,N) permet de créer un tableau de N valeurs aléatoires uniformément distribuées entre \min et \max .

rd.normal(m,u,N) permet de créer un tableau de N valeurs aléatoires distribuées normalement de valeur moyenne m et d'écart-type u .

Cela devient tout de même un peu *** de tout compter à la main!!!

2 prérequis : la boucle for

Je vous propose le code suivant

```
1 for k in range(10) :
2     print("Hello: k=",k)
```

Manipulation 21

- Taper le code précédent dans l'éditeur puis l'exécuter. Conclure quant à l'utilité de cette boucle `for`.
- Après avoir tapé `data_u=rd.uniform(10,20,100)`,
 - utiliser une boucle `for` pour compter le nombre d'occurrences de valeurs dans le tableau comprises entre 10 inclus et 11 exclus, comprises entre 11 et 12, etc;
 - rajouter dans la boucle `for` les calculs de la moyenne et de l'écart type des 100 valeurs obtenues grâce à `data_u=rd.uniform(10,20,100)`
 - utiliser le paragraphe précédent pour tracer ce nombre d'occurrences en fonction de la valeur moyenne de l'intervalle (par exemple, 10,5 est la moitié de l'intervalle `[10; 11[`);
 - commenter l'allure du graphe.
 - recommencer en remplaçant


```
data_u=rd.uniform(10,20,100)
par data_u=rd.uniform(10,20,N)
```

 puis en tapant précédemment `N=int(1e3)`, puis `N=int(1e4)`.
- Refaire les étapes précédentes avec `data_u=rd.normal(15,2,N)`.

3 Histogrammes

Definition Précédemment, vous avez tracé le nombre d'occurrences des valeurs en fonction de l'intervalle à laquelle elles appartiennent, cela permet d'avoir une représentation graphique des répartitions des valeurs : cela se nomme un *histogramme*.

Si ce nombre d'occurrences est divisé par le nombre total d'occurrences, on obtient la fréquence de chaque intervalle ou si on raisonne en terme de statistique, la probabilité qu'une valeur appartenant à un intervalle apparaisse.

C'est un chouia fastidieux si pour chaque série de nombres aléatoires, le nombre d'occurrences doit faire appel à une boucle `for`, surtout si on s'est trompé dans les intervalles, tout doit être recommencé 😞.

⚠ La commande `plt.hist()`

La commande `plt.hist(tab,bins)` ou `ax.hist(tab,bins)` permet de tracer l'histogramme du tableau 1d selon les intervalles précisés dans la variable `bins`.

Si `bins` est un entier n , l'histogramme est tracé en découpant l'intervalle total entre le minimum et le maximum de `tab` en n intervalles égaux.

Si `bins` est une liste de réels ou d'entiers, l'histogramme prend comme limites des intervalles les valeurs de la liste.

Si `bins='auto'`, alors Python gère de manière autonome les intervalles.

Manipulation 22

- Grâce à la commande `ax.hist()`, tracer à nouveau les deux histogrammes de l'activité précédente.
- Tracer l'historgramme de `rd.uniform(10,20,8)` avec 10 intervalles. Commenter et conclure.

TP S0

OUTILS DE BASE AU LABO DE PHYSIQUE : GBF, OSCILLO ET CARTE D'ACQUISITION

Durée : 2h

Objectifs

- liés au phénomène physique**
- Comprendre les influences de la discrétisation d'un signal continu.
 - Choisir de façon cohérente la fréquence d'échantillonnage et la durée totale d'acquisition.
 - Élaborer un protocole permettant de déterminer le nombre de bits d'une conversion A/N.
 - Observer et quantifier la variabilité d'une mesure.

- liés à la technique expérimentale**
- Utiliser un GBF, un oscilloscope et une carte d'acquisition.
 - Maîtriser le menu "trigger" d'un oscilloscope.


 **Matériel**

GBF, oscilloscope, carte d'acquisition SYSAM, ordinateur avec LATISPRO et Jupyter.

I Le Générateur basse fréquence (GBF)

Un générateur basse fréquence est un appareil électrique actif, c'est à dire qui fournit de l'énergie au reste du circuit qui lui est branché. C'est une **source de tension**, qui impose donc la valeur de tension électrique à ses bornes.

Les tensions sont périodiques.

 A l'aide du GBF, l'expérimentateur impose un potentiel dont il impose

- ↪ la forme du signal,
signal sinusoïdal, signal créneau ou signal rectangulaire, signal triangulaire
- ↪ la fréquence du signal,
- ↪ l'amplitude du signal en réglant
l'amplitude crête à crête du signal dite aussi amplitude pic à pic,
- ↪ la valeur moyenne du signal, aussi appelé offset ou composante continue.

Le signal est délivré entre les deux bornes de la sortie BNC *Output* située sur la façade de l'appareil, et n'est active que lorsque le bouton *Output* est lui-même allumé.

On rappelle qu'une tension sinusoïdale peut s'écrire

$$u(t) = U_0 \cos(\omega t + \varphi).$$

- U_0 est l'amplitude du signal (la valeur maximale atteinte par $u(t)$ au cours du temps) ;
- $U_{\text{eff}} = U_0 / \sqrt{2}$ est la tension efficace de u ;
- ω est la pulsation du signal, qui s'exprime à partir de la fréquence f (en Hz) : $\omega = 2\pi f$ ou en fonction de sa période T : $f = 1/T$ soit $\omega = \frac{2\pi}{T}$;
- φ est la phase à l'origine des temps ou phase initiale.

1. Représenter schématiquement une courbe sinusoïdale et les paramètres définis ci-dessus.

Manipulation 1 Prise en main du GBF

- Repérer sur le GBF les touches permettant de régler le type de signal. Chacun affiche un menu permettant de régler les paramètres du signal.

- On veut un signal sinusoïdal, une fréquence proche (mais différente) de 1,5 kHz, une amplitude de 5 V_{pp}, et un Offset de 0 V_{DC}. Faites les réglages nécessaires.
- En alternant entre les réglages High-Level/Low-Level et Ampl/Offset, que pouvez-vous émettre comme hypothèse concernant ce que représente l'amplitude crête-à-crête, paramètre utilisé par le GBF, par rapport à l'amplitude définie ci-dessus ?
- On veut un signal triangulaire, de fréquence 100 Hz, d'amplitude 2 V et de valeur moyenne 1 V. Faites les réglages nécessaires.
- Après avoir précisé quel signal vous vouliez, faites les réglages nécessaires.

2. Schématiser le GBF et indiquer les différents réglages.

Remarque. Le lycée possède différents types de GBF, les réglages sont néanmoins toujours les mêmes, seuls l'emplacement des boutons peut varier d'un modèle à l'autre.

II L'oscilloscope

L'oscilloscope est un **appareil de mesure** de potentiels électrique. Par des mesures très rapides et régulières de tension, il permet de représenter point par point sur un écran l'évolution de la tension mesurée au cours du temps. La durée que représente une largeur d'écran est souvent très courte par rapport à la durée d'une expérience, ce qui permet un affichage fréquent, et donc une impression d'affichage en continu de la tension, pour peu qu'elle soit périodique.

Un oscilloscope permet d'afficher simultanément plusieurs potentiels.

L'expérimentateur a, pour afficher les tensions (ordonnées) en fonction du temps (abscisse), à régler

- ☞ l'axe des abscisses en choisissant son origine et son échelle,
- ☞ les axes des ordonnées en choisissant chaque potentiel (nommé aussi voie ou channel) son origine et son échelle.

Les mesures de tension étant rapides et régulières, si l'on souhaite que les points s'affichant sur l'écran de l'oscilloscope s'affichent au même endroit et donc que le signal paraisse stable, on doit

synchroniser


les affichages réguliers et fréquents de la tension. Les signaux étant périodiques, si un point entre deux affichages est identiques, le reste du signal l'est aussi. L'expérimentateur doit donc choisir ce point en réglant

- ☞ à quelle voie appartient ce point, autrement dit la source de la synchronisation,
- ☞ la valeur de la tension de ce point, le niveau de la synchronisation,
- ☞ si la valeur du potentiel croît ou décroît en ce point de référence.

Pour information, *trigger* signifie *déclencher*.

L'oscilloscope numérique que nous utilisons possède de nombreux outils de mesure automatiques par l'intermédiaire du menu *Mesures*, mais il est important de comprendre le principe de ces mesures. Aussi, nous nous servons souvent des *Courseurs* (barres horizontales ou verticales selon le réglage) pour faire les mesures.

Le bouton de réglage automatique *Autoset* sera également à éviter en toutes circonstances, pour les mêmes raisons.

 *Les réglages de l'oscilloscope* sont

- pour l'axe **horizontal**, l'origine (petit bouton) et l'échelle temporelles ;
- pour les axes **verticaux**, les 2 origines et les deux échelles des potentiels ;
- pour stabiliser l'affichage, dans le menu **trigger**, on choisit la source du déclenchement de l'affichage, le niveau (**level**) du déclenchement (bouton tournant) de l'apparition du signal sur l'écran et si le signal croît ou décroît.

Un schéma d'un oscilloscope quelconque est représenté sur la figure TP S0.1. Vous remarquerez que l'écran d'un oscilloscope fait toujours 10 carreaux de large sur 8 de haut.

3. Vous souhaitez visualiser sur l'oscilloscope un potentiel sinusoïdal de fréquence 1 kHz et d'amplitude 2 V.

(a) Quelle est la durée totale que vous souhaitez visualiser sur l'oscilloscope ?

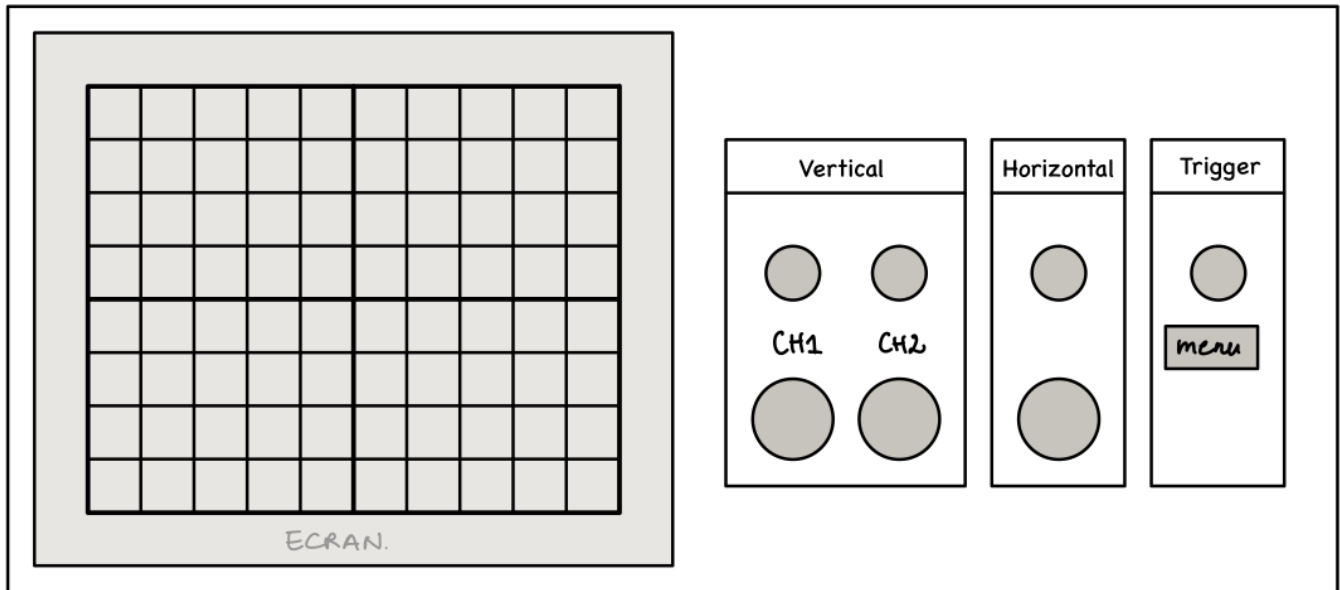


FIGURE TP S0.1 – Schéma d'un oscilloscope quelconque.

- (b) En déduire la durée d'un carreau horizontal, dit aussi sensibilité horizontale, vitesse de balayage et calibre horizontal.
- (c) Quelle est la différence entre le maximum et le minimum du potentiel à visualiser ?
- (d) En déduire combien de volts un carreau vertical doit représenter, dit aussi calibre vertical.

⚠ Avant de visualiser un potentiel à l'oscilloscope on se posera comme question

- la durée τ typique du signal, on pourra commencer la visualisation avec comme calibre horizontal $\tau/10$;
- le potentiel V_{typ} typique du signal, on pourra commencer la visualisation avec comme calibre vertical V_{typ}/n où n est compris entre 1 et 8.

Manipulation 2 Prise en main de l'oscilloscope

- Connecter le générateur basse fréquence (GBF) à l'entrée CH1 de l'oscilloscope imposant une tension sinusoïdale de 1 kHz, d'amplitude 2 V et de valeur moyenne nulle.
- Adapter les paramètres d'affichage de l'oscilloscope pour que s'affiche sur l'écran une période du signal, occupant un maximum de place.
- Modifier le *Level* (Niveau) du panneau *TRIGGER* (Déclenchement) et observer le signal lorsque la flèche dépasse le maximum ou le minimum du signal.
- En choisissant plusieurs signaux délivrés par le GBF, on s'entraînera à obtenir des traces stables.

4. Schématiser l'oscilloscope et indiquer les différents réglages.

III Conversion analogique / numérique

Une grandeur physique à mesurer peut être de nature diverse : onde de pression sonore, onde électromagnétique, température, position, ... Cette grandeur physique est très souvent convertie en signal électrique avant d'être traitée. C'est le rôle du *capteur*.

Le signal est alors une tension électrique fonction du temps. Elle est l'image des variations temporelles de la grandeur physique mesurée. Ce type de signal est appelé *signal analogique*, c'est un signal qui varie continûment dans le temps, et c'est une mesure analogue à la source.

Numériser un tel signal consiste à le remplacer par un ensemble dénombrable de valeurs numériques grâce à un *convertisseur analogique/numérique* (CAN) qui traduit le signal en une séquence de nombres binaires. Dans notre cas, la carte SYSAM sert de convertisseur; le signal numérisé est exploité avec le logiciel LatisPRO. Dans le cas d'un signal de durée finie, on passe d'un ensemble non dénombrable de valeurs à un ensemble fini.

La carte Sysam avec le logiciel Latis-Pro nous sert alors d'oscilloscope numérique.

L'opération de numérisation (voir la figure TP S0.2) correspond à la succession de deux étapes :

L'échantillonnage, qui permet de prélever un ensemble de valeurs prises à des instants discrets, régulièrement espacés d'un temps appelé *période d'échantillonnage* T_e . Les valeurs prélevées sont appelées *échantillons*.

La quantification, qui consiste à découper l'axe vertical régulièrement en un nombre de valeurs fixées. On choisit alors pour chaque échantillon la valeur la plus proche de la valeur mesurée.

La plus petite variation de tension analogique que peut repérer un convertisseur est appelée *résolution de la quantification*.

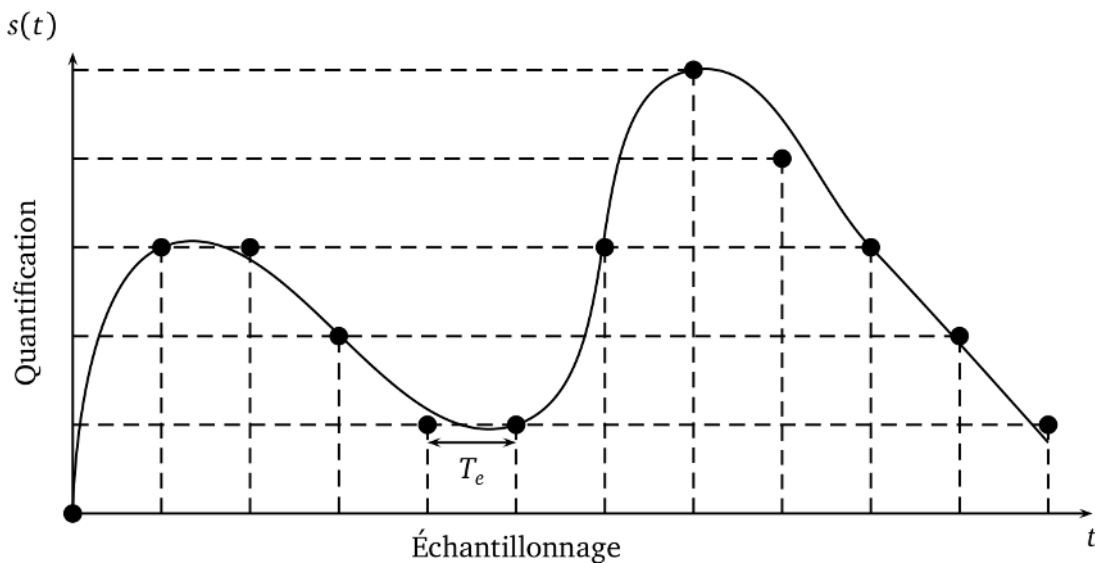


FIGURE TP S0.2 – Schéma illustrant la conversion numérique d'un signal analogique.

Dans le cadre de ce TP, nous utilisons directement le GBF pour obtenir un signal électrique analogique, ie un signal variant continûment.

Détermination du nombre de bits d'une conversion analogique numérique

La plus petite variation de tension analogique que peut repérer un convertisseur est appelée *résolution de la quantification*. Le *pas de quantification* est alors l'écart entre deux valeurs discrètes limites de l'amplitude.

Ce pas de quantification dépend de deux paramètres.



- Tout d'abord, il dépend du calibre C utilisé pour mesurer le signal analogique. Par exemple, sous Latis-Pro, on peut régler un calibre C de 10 V ou 200 mV. Ceci signifie que Latis-Pro peut mesurer un potentiel compris en $-C$ et C , soit entre -10 V et 10 V dans le premier cas, et entre -200 mV et 200 mV dans le second cas.
- Ensuite, il dépend de la résolution de la quantification s'exprimant en bits. Une résolution de n bits signifie 2^n valeurs pour décrire l'amplitude crête à crête maximale du calibre, soit encore $2^n - 1$ pas.

Le pas de quantification est donc $2C/(2^n - 1)$.

Manipulation 3 Le pas de quantification de la carte Sysam

Afin de déterminer le pas de quantification :

- Brancher le GBF à la carte SYSAM aux entrées EA0 et EA1.
- Générer un signal triangulaire de fréquence 1 kHz et d'amplitude 10 mV.
- Lancer LatisPro, tapez sur Echap.


- Dans le menu de gauche, cliquer sur  pour ouvrir le mode paramétrage des acquisitions.
- Dans ce menu de gauche, dans la fenêtre “Entrées Analogiques”, sélectionner les voies EA0 et EA1, par un clic droit sur chaque entrée, régler le calibre de l’acquisition de EA0 sur ± 10 V et celui de EA1 sur $\pm 0,2$ V.
- Dans la fenêtre “Acquisition”, les modes “périodique” et “permanent” doivent être désélectionnés. Saisir “2000” dans “Points”, puis “2 ms” dans “Total”. En cliquant sur “Te”, vérifier que $1 \mu s$ s’affiche effectivement. Dans la fenêtre “Déclenchement”, sélectionner “Aucune” dans Source.
- Lancer un enregistrement en cliquant sur  dans la barre d’outils du haut. Observer les signaux.

5. En comparant les deux courbes, mesurer le pas de quantification du calibre 10 V.
6. En déduire le nombre de bits pour le calibre ± 10 V.
7. Proposer un protocole permettant de mesurer le nombre de bits du calibre $\pm 0,2$ V.
8. Commenter.

Dans le mode d’emploi de Latis Pro, il est indiqué “Convertisseurs analogique-numérique 12 bits (4096 points)”. Vous pouvez à la calculatrice calculer 2^{12} .

IV La variabilité des mesures

Manipulation 4 Observation de la variabilité d’une mesure

- Garder les branchements du GBF à la carte SYSAM aux entrées EA0 et EA1 avec les mêmes réglages que précédemment.
- Générer un signal continue de 100 mV.
- Dans la fenêtre “Acquisition”, les modes “périodique” et “permanent” doivent toujours être désélectionnés. Saisir “5000” dans “Points”, puis “1 s” dans “Total”. En cliquant sur “Te”, vérifier que $200 \mu s$ s’affiche effectivement. Dans la fenêtre “Déclenchement”, sélectionner “Aucune” dans Source.
- Lancer un enregistrement en cliquant sur  dans la barre d’outils du haut. Observer les signaux.
- A l’aide du menu Fichier→Exportation, exporter ces dernières séries de données enregistrées dans un fichier au format csv.
- A l’aide du TP précédent, tracer les deux histogrammes de ces deux séries de données à l’aide de Python sous Jupyter.

On rappelle que la commande

```
ax.hist(data, bins=nb, range=(np.min(data)-0.5, np.max(data)+0.5))
```

permet de tracer les données du tableau `data` en `nb` intervalles équitables compris entre `np.min(data)-0.5` et `np.max(data)+0.5`.

La grandeur physique est caractérisée alors par sa valeur moyenne et une mesure de sa variabilité qu’on choisit comme étant l’écart-type.

- Mesurer ces deux grandeurs, la valeur moyenne et l’écart type pour chaque série de données.
- Ajouter alors sur la représentation Python des histogrammes la fonction normale $f(x) = \exp(-(x - \mu)^2 / (2\sigma^2)) / \sqrt{2\pi\sigma^2}$ avec μ la valeur moyenne mesurée, et σ l’écart type mesuré.

Dans le tracé de l’histogramme, on rajoutera l’option `density=True` alors ce n’est plus le nombre d’occurrences qui s’affiche mais il s’agit de la fréquence d’occurrences, ie le nombre d’occurrences de l’intervalle divisée par le nombre total de valeurs (autrement dit la taille du tableau `data`).

On pourra poser

```
data_abs=np.linspace(mu-5*sigma, mu+5*sigma, 1001)
```

9. Commenter vos observations.

V L'analyse spectrale

Une opération courante en physique est la transformée de Fourier d'un signal. On dit qu'on effectue une analyse spectrale

du signal.

Pour l'instant, en représentant le signal en fonction du temps, on dit qu'on en a une représentation temporelle.

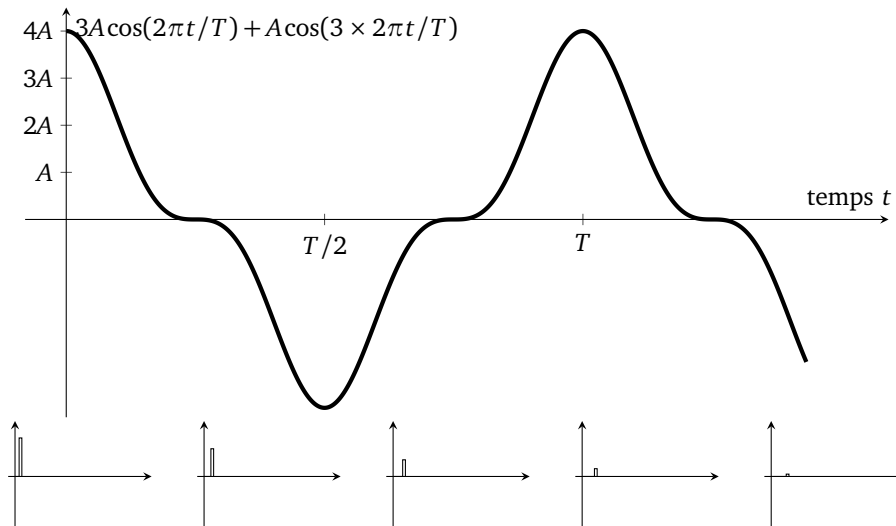


FIGURE TP S0.3 – Représentation temporelle du signal physique

Pour avoir une représentation fréquentielle d'un signal, on ne voit pas le signal comme la somme de signaux instantanées ayant lieu à chaque instant mais comme la somme de signaux sinusoïdaux de fréquence bien définie.

Par exemple, ici, cela donne

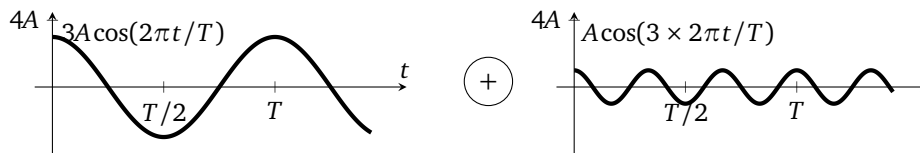
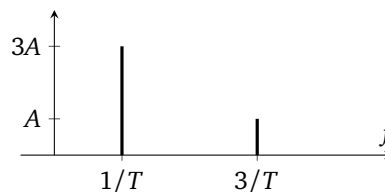


FIGURE TP S0.4 – Représentation fréquentielle du signal physique

Une fois que cette représentation est décidée, il ne reste donc qu'à préciser les fréquences et les amplitudes correspondantes (et les phases initiales correspondantes) pour retrouver le signal physique.

Ainsi, quand la représentation temporelle nous informe de combien est le signal à chaque instant, la représentation fréquentielle nous indique quelle sinusoïde à telle fréquence est présente dans le signal "total".

On représente donc la transformée de Fourier de l'exemple par



Ainsi, la représentation fréquentielle d'un signal permet de le modéliser pour t allant de $-\infty$ à $+\infty$ pour tout t . Or numériquement,

- la durée d'acquisition est finie,
- le nombre de points lors de la durée d'acquisition est finie.

1 Influence de la durée d'acquisition

L'analyse de Fourier disponible dans le logiciel Latispro est basée sur l'algorithme de *Transformée de Fourier Rapide* (appelé FFT pour Fast Fourier Transform) : à partir d'un signal $s(t)$ numérisé comprenant N échantillons pris tous les T_e sur une fenêtre de largeur temporelle totale $\Delta t = NT_e$, le logiciel calcule numériquement les amplitudes du spectre de Fourier. La FFT réplique le signal qu'on lui fournit comme un motif élémentaire d'un signal infiniment périodique.

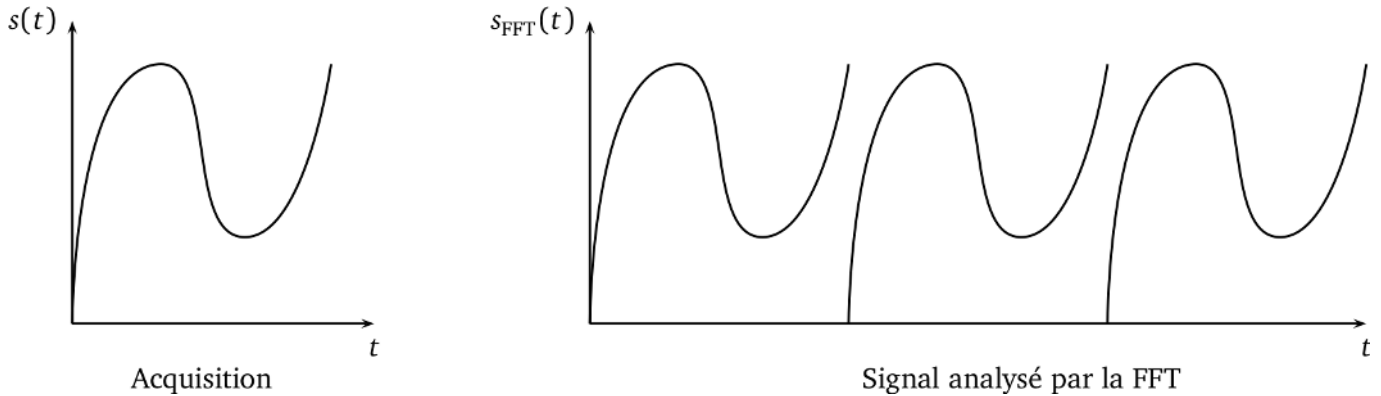


FIGURE TP S0.5 – Illustration de la durée d'acquisition sur la FFT d'un signal

Dans le cas d'un signal non périodique, le logiciel considère l'ensemble des données de la fenêtre d'échantillonnage. Dans le cas d'un signal périodique, le logiciel restreint les données analysées à un multiple de la période automatiquement déterminée par LATISPRO (on a donc intérêt à considérer une mesure comprenant au moins une période).

Manipulation 5 Influence de la durée d'acquisition sur la FFT d'un signal

- Brancher la sortie Output 50 Ω du GBF à la carte SYSAM sur l'entrée EA1. Générer avec le GBF un signal sinusoïdal de fréquence 1,5 kHz et d'amplitude 5 V.
- Faire un enregistrement de la sortie du GBF avec 5000 points et une durée totale de 2 ms.
- Dans la barre de menu, sélectionner Traitements, puis Calculs spécifiques, où l'on choisira l'outil Analyse de Fourier.
Faire glisser, dans le champ Courbe, la courbe EA1 puis lancer le calcul. Une nouvelle fenêtre apparaît avec le spectre de Fourier. On remarque que le logiciel grise la partie du signal coupée lors de l'analyse.
- À l'aide des options de la FFT, il est possible de modifier manuellement la partie du signal analysé. Choisir une partie du signal non multiple de la période.
- Réaliser une nouvelle acquisition en modifiant le temps total de manière à ne faire apparaître qu'une partie de la période du signal. Effectuer la FFT.

10. Noter vos observations et remarques. En particulier, on pourra essayer d'expliquer les fréquences mesurées.

2 Influence du nombre de points

Manipulation 6 Influence du nombre de points sur la FFT d'un signal

- Réaliser une nouvelle acquisition du signal sinusoïdal en diminuant le nombre de points d'acquisition (on effectuera les opérations suivantes pour 50 points puis 100 points d'acquisition), puis effectuer la FFT.
- Le nombre de points a une influence sur toutes les opérations qu'on peut effectuer sur les signaux, comme la dérivation par exemple.
Faire un enregistrement avec 10 000 points et une durée totale de 2 ms. Puis, Effectuer le calcul de la dérivée.
- Choisir un nombre de points pertinent permettant une bonne analyse spectrale et par exemple un calcul de dérivée pas trop bruité.

11. Que remarque-t-on si on diminue trop fortement de nombre de points ?

Pour effectuer une bonne analyse spectrale, il faut donc faire un compromis sur le nombre de points suffisamment élevé pour effectuer une bonne analyse spectrale, mais pas trop pour que le logiciel puisse effectuer des calculs.

3 Exemples

Manipulation 7 Exemples de FFT

Analyse spectrale d'un signal carré

- Générer un signal carré de fréquence 5 kHz et d'amplitude 9 V.
- Effectuer l'analyse spectrale de ce signal en choisissant des paramètres d'acquisition pertinents.
- À l'aide de l'outil *Réticule*, mesurer les amplitudes des signaux présents dans le spectre de Fourier et représenter à l'aide du tableur de LATISPRO la courbe donnant les amplitudes en fonction de $1/f$.

Analyse spectrale d'un signal triangulaire

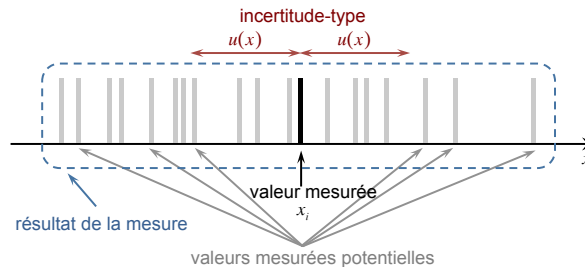
- Générer un signal triangulaire de fréquence 15 kHz, d'amplitude 9 V.
- Effectuer l'analyse spectrale de ce signal.
- À l'aide de l'outil *Réticule*, mesurer les amplitudes des signaux présents dans le spectre de Fourier et représenter à l'aide du tableur de LATISPRO la courbe donnant les amplitudes en fonction de $1/f^2$.

TP S1

MESURES DE MASSE VOLUMIQUE

Durée : 2h

Le résultat du mesurage est un **ensemble de valeurs numériques raisonnablement attribuables** à la grandeur d'intérêt :



- ▷ la **valeur mesurée** est une valeur particulière de cet ensemble
- ▷ l'**incertitude** est une indication de la dispersion de cet ensemble
- ▷ l'**incertitude-type** est une incertitude évaluée à l'aide d'un écart-type.

Objectifs

L'objectif de ce TP d'introduction est d'établir des méthodes permettant à chacun de gérer sereinement une estimation des incertitudes en fonction des situations rencontrées.

Nous prendrons comme support expérimental la détermination de la masse volumique ρ de corps supposés homogènes, ce qui nous permet de relier la masse volumique d'un corps à la masse m et au volume V d'un échantillon de ce corps selon l'équation :

$$\rho = \frac{m}{V}$$

On adoptera les notations suivantes : lors de la mesure d'une grandeur X , on notera x_i la valeur du i -ème mesurage de X et $u(x_i)$ l'incertitude-type associée. Le résultat obtenu pour le i -ème mesurage s'écrira donc de la manière suivante :

$$X = x_i \pm u(x_i)$$

🔧 *Matériel*

- | | |
|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> un bloc de bois parallélépipédique ; | <input type="checkbox"/> de la ficelle ; |
| <input type="checkbox"/> une balance et sa documentation technique ; | <input type="checkbox"/> quelques écrous ; |
| <input type="checkbox"/> une règle, un pied à coulisse et un mètre ruban ; | <input type="checkbox"/> une éprouvette graduée. |

I Mesure de la masse volumique du bois

Manipulation 1 Masse volumique du bois.

- Proposer un protocole pour mesurer la masse volumique du bois.
- Réaliser le protocole.
- Noter dans votre cahier les valeurs obtenue pour les différentes grandeurs mesurées et pour la valeur calculée de la masse volumique.
- Inscire la valeur de la masse volumique obtenue (en g.cm^{-3}) sur le tableau de la salle
- Une fois les 12 valeurs de votre demi-groupe notées, créer un fichier en .csv et l'enregistrer dans un dossier nommé TPS1 dans les documents de l'ordinateur de bureau.
- Ecrire un programme Python permettant de :
 - Charger les données dans un tableau numpy nommé `tab_rho`.
 - Tracer l'histogramme des valeurs de masses volumiques obtenues.

* * *
 PARTICIPER À LA DISCUSSION SUR LES INCERTITUDES DE TYPE A
 NOTER LES INFORMATIONS IMPORTANTES DANS VOTRE CAHIER DE TP
 * * *

1. Noter le résultat de la mesure de la masse volumique, ainsi que son incertitude-type.

II Incertitudes sur une mesure individuelle

1 Incertitude-type sur une mesure directe

* * *
 PARTICIPER À LA DISCUSSION SUR LES INCERTITUDES DE TYPE B
 NOTER LES INFORMATIONS IMPORTANTES DANS VOTRE CAHIER DE TP
 * * *

2. A l'aide de la notice de la balance, estimer l'incertitude-type sur votre mesure de masse.
3. Estimer l'incertitude-type sur vos trois mesures de longueurs.

2 Composition d'incertitudes

* * *
 PARTICIPER À LA DISCUSSION SUR LA COMPOSITION D'INCERTITUDES
 NOTER LES INFORMATIONS IMPORTANTES DANS VOTRE CAHIER DE TP
 * * *

4. Estimer l'incertitude-type sur la masse volumique.
5. Noter le résultat de la mesure de la masse volumique, ainsi que son incertitude-type.

3 Méthode de Monte Carlo pour composer des incertitudes

On souhaite vérifier le résultat obtenu aux paragraphes précédents en utilisant une simulation numérique. Pour cela, on synthétise numériquement des observations fictives correspondant aux mesures de masse et de longueurs. On travaille ensuite sur ces observations, pour estimer la valeur mesurée de la masse volumique et l'écart-type.

Manipulation 2 *Experience in silico*

- Ecrire un programme Python permettant de :
 1. Construire un tableau, nommé `m_simu`, contenant $N = 10$ millions de valeurs de masse, tirées aléatoirement selon une loi **uniforme**, comprises entre $m - \Delta m$ et $m + \Delta m$.
 2. Faire de même avec les trois longueurs en nommant les tableaux `a_simu`, `b_simu` et `c_simu`.
 3. Calculer, dans un tableau nommé `rho_simu`, pour chaque quadruplet (m, a, b, c) ainsi construit la valeur de ρ correspondante par la relation

$$\rho = \frac{m}{a \times b \times c}$$

- Tracer l'histogramme des 10 millions de valeurs de masses volumiques ainsi simulées.

Suite à la simulation Monte Carlo des N valeurs de masse volumique :

- ▷ La **valeur du mesurage** de la masse volumique est donnée par la **valeur moyenne** des N masses volumiques simulées
- ▷ L'**incertitude-type** sur la masse volumique est donnée par l'**écart-type** de la distribution des masses volumiques simulées.

6. Déterminer le résultat du mesurage de la masse volumique ainsi que son incertitude-type.
7. Noter le résultat de la mesure de la masse volumique, ainsi que son incertitude-type.

4 Comparaison de mesures

Pour comparer deux mesures entre elles, il faut un critère quantitatif pour indiquer si les mesures sont compatibles ou non. On utilise pour cela l'écart-normalisé, aussi appelé *z-score* :

- ▷ Comparaison d'une valeur tabulée μ_{ref} et d'une valeur mesurée m d'incertitude-type $u(m)$:

$$z = \frac{|m - \mu_{ref}|}{u(m)}$$

- ▷ Comparaison de valeurs mesurées : m_1 , d'incertitude-type $u(m_1)$ et m_2 d'incertitude-type $u(m_2)$:

$$z = \frac{|m_1 - m_2|}{\sqrt{u(m_1)^2 + u(m_2)^2}}$$

Par convention , on dit que les mesures et valeurs tabulées sont compatibles si $z < 2$.

8. Les différentes mesures de la masse volumique du bois sont-elles compatibles entre elles ?

III A vous de jouer! - Mesure de la masse volumique d'un métal

Dans cette dernière partie, c'est en autonomie que le travail devra être réalisé. L'objectif est de déterminer la masse volumique des écrous présents sur la paillasse à l'aide de la liste de matériel fournie.

Manipulation 3 *Masse volumique des écrous*

- Proposer et mettre en œuvre un protocole expérimental permettant la mesure la plus précise de la masse volumique des écrous. On attend que la démarche expérimentale soit correctement décrite et que les résultats (et leurs incertitudes!) soient justifiés et discutés.

TP E1

MESURE DE RÉSISTANCES.

Durée : 2h

Objectifs

liés au phénomène physique • Mesurer la caractéristique d'une résistance.

- Visualiser la caractéristique d'un capteur à l'aide d'un oscilloscope numérique.

liés à la technique expérimentale

- Utiliser les outils de base du laboratoire de physique : le multimètre, l'oscilloscope et le GBF.
- Gérer, dans un circuit électronique, les contraintes liées à la liaison entre les masses.

 **Matériel**

- GBF, oscilloscope,
- voltmètre, ampèremètre,
- résistance de $1\text{ k}\Omega \times 3$, plaque support pour les résistances,
- boîtes AOIP $10\ \Omega$, $100\ \Omega$, $1\text{ k}\Omega$, $10\text{ k}\Omega$.

I La masse, les tensions et potentiels

1 Mise en évidence de l'influence de la masse

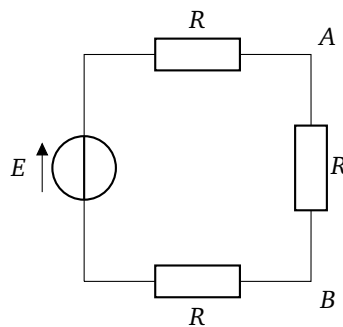


FIGURE TP E1.1 – Schéma du montage à réaliser pour montrer l'influence de la masse.

Dans le circuit de la figure TP E1.1,

- le GBF délivre une tension continue de 3 V,
- les résistances R valent toutes $1\text{ k}\Omega$.

1. Déterminer la valeur attendue pour l'amplitude U_{AB} .

Manipulation 1 Observation de l'influence de la masse.

- Réaliser le montage de la figure TP E1.1.

Le GBF peut être utilisé comme source de tension continue : appuyer sur le bouton Waveforms → Page 2/2 → DC.

- Mesurer U_{AB} à l'aide d'un voltmètre tout en mesurant la tension aux bornes du GBF avec la voie 1 de l'oscilloscope (on contrôle toujours le signal d'entrée).
- Laisser brancher la voie 1 de l'oscilloscope aux bornes du GBF (on contrôle toujours le signal d'entrée!) puis brancher la voie 2 de l'oscilloscope entre les A et B dans le but de mesurer U_{AB} tout en laissant le voltmètre branché.

2. Sur votre compte-rendu, recopier le schéma. Rajoutez la voie 1 de l'oscilloscope et le voltmètre. Commenter la première mesure.
3. Sur votre compte-rendu, recopier le schéma, rajoutez les voies 1 et 2 de l'oscilloscope et le voltmètre. Précisez en quoi la deuxième mesure est surprenante.
4. Expliquez enfin en quoi la deuxième mesure dû à l'ajout de la deuxième voie de l'oscilloscope était prévisible.


2 La masse/la terre




FIGURE TP E1.2 – Schémas de a) la masse et de b) la terre.

Dans un circuit électrique et dans l'ARQS, le potentiel électrique est défini à une constante près, qui n'apparaît pas dans les expressions de tensions (puisque l'on prend la différence de deux potentiels). Ainsi, choisir cette constante revient à fixer le potentiel d'un point comme étant le potentiel nul. On appelle alors ce point *la masse* du circuit.

Expérimentalement, la masse est très souvent imposée par les dipôles actifs ou les appareils de mesure branchés au secteur (comme un oscilloscope ou un GBF). S'il contient trois bornes (une femelle et deux mâles), le cordon d'alimentation relie en effet l'appareil à *la terre* par un fil direct, imposant ainsi que tous les appareils alimentés par un tel cordon ont le même potentiel de référence, celui du sol. Pour les appareils utilisant des fiches BNC, ce câble (et la terre, donc) est ainsi relié à la fiche noire des câbles BNC branchés sur l'appareil. Lorsqu'on branche deux telles fiches dans un circuit, il est important qu'elles soient branchées au même endroit, sans quoi leur présence provoquerait le court-circuit d'une partie du montage.

 **La masse**
dessinée sur un circuit électrique signifie que ce fil électrique est relié par d'autres fils électriques (en général, ceux du secteur) aux autres masses des autres circuits.
Ainsi, même si ces fils (du secteur) ne sont pas représentés, on peut si on ne fait pas attention aux masses, déclencher des courts-circuits non désirés, ce qui revient à faire passer des courants élevés dans des dipôles qui peuvent brûler lorsque ces courants élevés les traversent.

3 Voltmètre et oscilloscope

 **Le voltmètre et l'oscilloscope**
sont deux appareils de mesure qui affichent des grandeurs physiques homogènes à des Volts. Cependant,
le voltmètre mesure effectivement des tensions.
Il n'est relié électriquement à aucun point du secteur. Son énergie électrique provient d'une pile.
l'oscilloscope mesure quant à lui des potentiels.
Il est relié électriquement au secteur et à donc le potentiel de ses bornes noires fixé égal à 0.

4 Voltmètre en mode DC et AC

Dans le circuit de la figure TP E1.3,

- le GBF délivre une tension continue de 2 V,
- les résistances R valent toutes 1 k Ω .

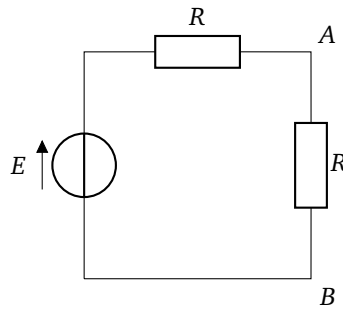


FIGURE TP E1.3 – Schéma du montage à réaliser pour comprendre l’affichage du voltmètre.

Manipulation 2 Mesures avec le voltmètre

- Réaliser le montage de la figure TP E1.3.
- Mesurer U_{AB} à l’aide d’un voltmètre en mode DC (ou \rightarrow) signifiant *direct current* ainsi que sur la voie 2 de l’oscilloscope tout en mesurant la tension aux bornes du GBF avec la voie 1 de l’oscilloscope (on contrôle toujours le signal d’entrée).
- Sans changer le circuit, modifiez le signal généré par le GBF,
 - forme sinusoïdale
 - fréquence 1 kHz,
 - amplitude 2 V, ie amplitude crête à crête de 4 V,
 - offset 0.

Observez ce qui est mesuré par le voltmètre et l’oscilloscope.

- Modifiez la valeur moyenne, ie l’offset imposé par le GBF. Prenez par exemple les offsets successifs 1 V, -2 V, 3 V. Observez à chaque fois ce qui est affiché sur l’oscilloscope et le voltmètre.
- Revenir à un offset de 0. Modifiez maintenant le réglage du voltmètre pour que le voltmètre affiche la tension en mode AC (ou \sim) signifiant *alternative current*.
Relever pour différentes valeurs d’amplitude (par exemple 2 V, 4 V et 6 V) ce qu’affiche le voltmètre.

5. Dédurre des expériences précédentes ce qu’affiche le voltmètre en mode DC.
6. Vérifier que les mesures effectuées et écrites sur votre compte-rendu sont cohérentes avec le fait que le voltmètre en mode AC affiche la valeur efficace de la tension mesurée.
Ainsi, ici comme $u_{AB} = U_s \cos(\omega t + \varphi_s)$, le voltmètre affiche

$$\sqrt{\langle u_s(t)^2 \rangle} = \frac{U_s}{\sqrt{2}}.$$

II Mesures de résistances**1 Mesure à l’ohmmètre**

Une mesure à l’ohmmètre s’effectue en dehors de tout circuit.

Manipulation 3 Mesure à l’ohmmètre de R_0

Mesurer la résistance R_0 d’une résistance annoncée être à 1 k Ω (meilleure estimation et incertitude-type) à l’aide d’un ohmmètre.
On pourra se reporter à la notice du multimètre pour évaluer une partie des incertitudes.

7. Reportez sur votre compte-rendu le schéma et les mesures de l’expérience.

2 Tracé de la caractéristique d'une résistance

On considère le montage de la figure TP E1.4 dans lequel la résistance vaut $R_0 = 1 \text{ k}\Omega$.

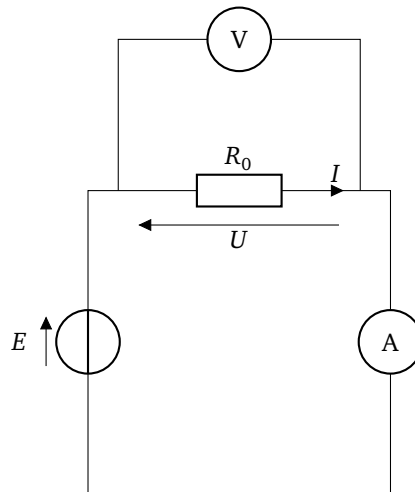


FIGURE TP E1.4 – Montage à réaliser afin de tracer la caractéristique de la résistance R_0 .

8. Rappeler ce qu'est la caractéristique d'un dipôle, puis le tracé de la caractéristique de la résistance.
9. Dans quel sens doivent être branchés le voltmètre et l'ampèremètre ? Reproduire le schéma en précisant les positions des bornes des deux appareils dans le circuit.

Manipulation 4 Tracé de la caractéristique et mesure de R_0

- **⚠** Régler le voltmètre en mode voltmètre et l'ampèremètre en mode ampèremètre.
Les résistances équivalentes n'étant pas du tout du même ordre de grandeur, il y a un risque d'une intensité trop élevée du courant circulant dans l'ampèremètre ce qui le "casserait".
- Réaliser le montage en utilisant le GBF comme source de tension. On pourra l'utiliser comme source continue en utilisant Waveforms \rightarrow Page 2/2 \rightarrow DC. Indiquer une tension de 0.
- **⚠** Faites vérifier votre montage.
- Relever les valeurs de l'intensité I du courant et de la tension U dans un tableau sur votre compte-rendu et avec un tableur-grapheur, en prenant plusieurs valeurs pour la tension E délivrée par le générateur entre, -10 V et 10 V.
- **⚠** Veillez à enregistrer régulièrement votre travail.
- On pensera à estimer les incertitudes sur I et U . On pourra se reporter aux notices des multimètres. Reporter ces deux valeurs dans une troisième et quatrième colonne du tableau.
- A l'aide du tableur, tracer la caractéristique de la résistance. En effet, si à chaque mesure n , le point M_n de coordonnées (I_n, U_n) est associé à la résistance alors $U_n = R_0 I_n$. Ces différents points M_n s'alignent alors sur une droite affine de pente R_0 et passant par l'origine lorsqu'on trace U en fonction de I .
- Mesurer la résistance R_0 .
 - Pour chaque mesure n , estimer $R_{0,n}$.
 - En déduire la mesure de \bar{R}_0 en estimant son incertitude $u_A(R_0)$ (incertitude sur une mesure) à l'aide d'une évaluation de type A. Les fonctions du tableur, de python ou de votre calculatrice peuvent être utilisées.
 - Pour une seule mesure n_0 , estimer en plus l'évaluation de type B de l'incertitude à l'aide des formules simples du cours.

10. Après avoir recopié le schéma de l'expérience et recopié vos mesures, coller sur votre compte-rendu les deux graphes :
 - U_n en fonction de I_n ,
 - U_n/I_n en fonction de n .
11. Comparer la pente de la régression linéaire effectuée et la mesure de R_0 . Conclure.

12. Sur votre second graphe, U_n/I_n en fonction de n , rajoutez les trois horizontales, \bar{R}_0 , $\bar{R}_0 + u_A(R_0)$ et $\bar{R}_0 - u_A(R_0)$. Ajoutez également le segment vertical entre les points de coordonnées $(n_0, R_{0,n_0} + u_B(R_{0,n_0}))$ et $(n_0, R_{0,n_0} - u_B(R_{0,n_0}))$. Commenter.
13. On rappelle qu'une mesure est cohérente si son écart normalisé est inférieur à 2. Les mesures effectuées sont-elles cohérentes ? Une justification graphique est attendue.

3 Les boîtiers AOIP permettent d'obtenir des résistances variables

Vous disposez sur votre paillasse d'un certain nombre de boîtiers de résistances. Ces boîtiers sont souvent appelés "boîtiers AOIP" du nom de l'entreprise qui les fabrique.

Un schéma de ces boîtiers AOIP est présenté sur la figure TP E1.5.

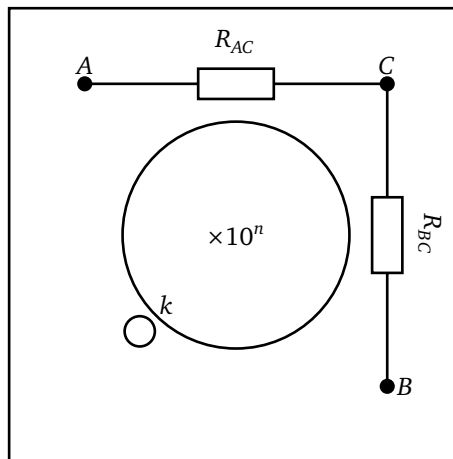


FIGURE TP E1.5 – Schéma d'un boîtier AOIP

Les boîtiers AOIP fonctionnent de la manière suivante.

L'entier n est fixé pour un boîtier, c'est-à-dire que vous avez sur votre table des boîtiers $\times 10$, $\times 100$, $\times 1000$, $\times 10000$.

Le chiffre k est le chiffre situé en face du repère (en bas à droite sur la figure TP E1.5) et peut être modifié en tournant la molette. Alors

$$R_{AC} = k \times 10^n \Omega \quad R_{BC} = (11 - k) \times 10^n \Omega \quad \text{et} \quad R_{AB} = R_{AC} + R_{BC} = 11 \times 10^n \Omega$$

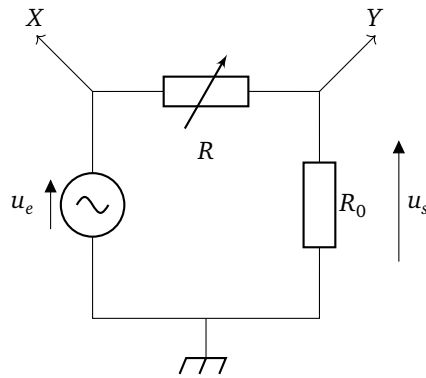
Manipulation 5 Manipulation des boîtes AOIP

- Choisir un boîtier et une valeur de k quelconques. Mesurer à l'ohmmètre chacune des trois résistances R_{AC} , R_{BC} et R_{AB} . Il n'est pas demandé ici une évaluation de la variabilité des résistances.
- Vous disposez par ailleurs sur la paillasse de barrettes métalliques qui permettent de connecter électriquement les différents boîtiers. Réaliser les branchements appropriés pour obtenir une résistance de $R = 2590 \Omega$. Vérifier votre branchement en vérifiant à l'ohmmètre.

4 Mesure de R_0 grâce à un pont diviseur de tension.

Dans le montage de la figure TP E1.6,

- le GBF délivre une tension sinusoïdale de fréquence 100 Hz et d'amplitude 3 V,
- la résistance R est une boîte de résistances à décades pouvant varier de 10 à 100 k Ω ,
- la résistance R_0 vaut environ 1 k Ω ,
- X et Y sont les entrées d'un oscilloscope que l'on supposera sans influence sur le montage.

FIGURE TP E1.6 – Schéma du montage à réaliser pour mesurer la résistance R_0 .

14. Montrer que l'amplitude U_s de la tension $u_s(t)$ suit la loi

$$U_s = \frac{R_0}{R + R_0} U_e$$

où U_e est l'amplitude de la tension $u_e(t)$.

15. Montrer que le rapport $R/(U_e/U_s - 1)$ est une constante dans le sens où elle est indépendante de R . Exprimer cette constante.
16. Montrer que lorsque $U_s = U_e/2$ la résistance R vaut R_0 .

Manipulation 6 Mesure de R_0 grâce à un pont diviseur de tension.

- Réaliser le montage de la figure TP E1.6.
- Mesurer U_s pour différentes valeurs de R . Vous obtenez pour chaque expérience indiquée de $n = 1$ à $n = \dots$ différentes valeurs $U_{s,n}$ pour différentes valeurs de R notées R_n .
- En agissant sur R , trouver la valeur $R = R_2$ qui permet d'obtenir à l'écran de l'oscilloscope $U_s = U_e/2$.

17. Tracer à l'aide de Regressi le rapport $x_n = R_n/(U_e/U_{s,n} - 1)$ en fonction de n , le numéro de l'expérience. Ces mesures expérimentales confirment-elles la réponse de la question 15 ?
18. En déduire une estimation de R_0 ainsi que l'incertitude sur cette estimation. Comparer les évaluations de type A et B de l'incertitude $u(R_0)$ sur R_0 .
19. Grâce à la mesure de R_2 , en déduire une nouvelle estimation de R_0 que l'on comparera à celle obtenue à la question précédente. On rappelle qu'une mesure est constituée d'une évaluation de la grandeur physique ainsi que de l'évaluation de sa variabilité.

5 Bilan

Vous avez mesuré 4 fois la même résistance.

- Grâce à l'ohmmètre, vous avez obtenu $R_{0,\text{ohm}}$ et $u(R_{0,\text{ohm}})$.
 - Grâce au tracé de la caractéristique, vous avez obtenu $R_{0,\text{car}}$ et $u(R_{0,\text{car}})$.
 - Grâce au pont diviseur de tension, vous avez obtenu $R_{0,\text{pdt}}$ et $u(R_{0,\text{pdt}})$.
 - Grâce à la mesure de R_2 , vous avez obtenu $R_{0,2}$ et $u(R_{0,2})$.
20. Récapituler dans un tableau les différentes méthodes, les estimations de R_0 ainsi que sa variabilité, et un quatrième colonne pour qualifier la méthode de "lente" ou "rapide" selon le temps de la manipulation.
21. Sur un même graphe Python, tracer les 4 lois normales

$$f(\tilde{R}_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}u(R_0)} \exp\left(-\frac{(\tilde{R}_0 - R_0)^2}{2u(R_0)^2}\right)$$

22. En déduire graphiquement si les 4 mesures sont compatibles.

TP E2

DIPÔLES ET QUADRIPÔLES.

Durée : 2h

Objectifs

liés au phénomène physique

- Mesurer la caractéristique de dipôles.
- Mesurer des résistances d'entrée et de sortie.

liés à la technique expérimentale

- Utiliser les outils de base du laboratoire de physique : le multimètre, l'oscilloscope et le GBF.
- Gérer, dans un circuit électronique, les contraintes liées à la liaison entre les masses.
- Utiliser l'oscilloscope en mode XY.

 **Matériel**

- GBF, oscilloscope,
 - voltmètre, ampèremètre,
 - transformateur,
 - 2 résistances $1\text{ k}\Omega$ et $2\text{ k}\Omega$, plaque support pour ces 2 résistances,
 - boîtiers AOIP $1\ \Omega$, $10\ \Omega$, $100\ \Omega$, $1\text{ k}\Omega$, $10\text{ k}\Omega$, $100\text{ k}\Omega$, $1\text{ M}\Omega$.
 - photodiode, avec la polarisation indiquée,
 - une source de lumière avec tirage et à intensité lumineuse variable (alim. bleue),
 - luxmètre avec support.
- Paillasse prof : notices papier complète des GBF et oscilloscope.

I Le GBF

Nous commençons par étudier la caractéristique de la source de tension, en mesurant les valeurs de courant et tension à l'aide de 2 multimètres. Cependant, pour aller de point en point le long de la caractéristique, il ne nous sera pas possible ici de faire varier E , car cela modifierait la caractéristique de la source. Nous allons à la place modifier la valeur de la résistance R alimentée par le GBF.

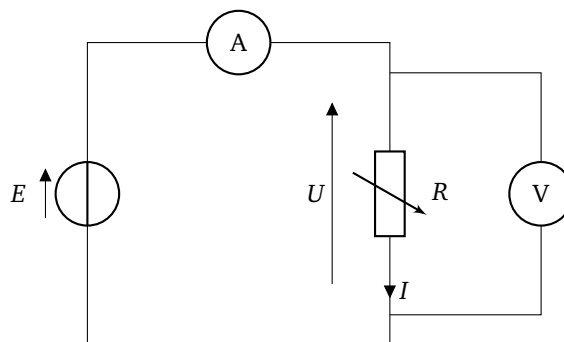


FIGURE TP E2.1 – Montage à réaliser afin de tracer la caractéristique du GBF.

1. Quelle est l'intensité maximale supportée par le GBF ?
2. Quelle est l'intensité maximale supportée par l'ampèremètre ?
3. Quelle est l'intensité maximale supportée par les boîtes AOIP sachant qu'on va utiliser les boîtes AOIP $\times 10$ et $\times 100$?
4. Conclure. Quelle est l'intensité maximale I_{\max} circulant dans le circuit ? En déduire quelle résistance minimale R_{\min} imposer avec les boîtiers AOIP avec $E = 2\text{ V}$.

Manipulation 1 Tracé de la caractéristique d'un GBF

- Effectuer le montage de la figure TP E2.1 en imposant une force électromotrice continue pour le GBF égale à $E = 2 \text{ V}$.
Pour rappel, le GBF peut être utilisé comme source continue en utilisant les boutons Waveforms → Page 2/2 → DC.
- Faire varier R entre R_{\min} et 500Ω et mesurer I et U . Enregistrer les valeurs dans le tableur et tracer la caractéristique $U = f(I)$ en même temps au bout de 3-4 points de mesure.
- Compléter avec quelques mesures pour $R < R_{\min}$ tout en surveillant que $I < I_{\max}$.
- Faire une régression linéaire des mesures. Commenter.

- La source peut en réalité être modélisée par l'association en série d'une source parfaite aux bornes de laquelle la tension est toujours E , et d'une résistance r , dite *résistance interne* ou *résistance de sortie*. Montrer que la tension U s'exprime comme $U = E - rI$, puis déterminer E et r à l'aide des mesures effectuées. Commenter.
- Comparer entre les groupes les valeurs de r .
- Pour quelle valeur de R , $U = E/2$? En déduire une manière plus rapide de mesurer des résistances de sortie.
- Lorsque $U > (E/2)$, $R < r$ ou $R > r$? Était-ce prévisible? Pour mesurer r , faut-il alors diminuer ou augmenter R ?
- Lorsque $U < (E/2)$, $R < r$ ou $R > r$? Était-ce prévisible? Pour mesurer r , faut-il alors diminuer ou augmenter R ?

II Résistances d'entrée des appareils de mesure en TP**1 Résistance d'entrée d'un oscilloscope**

Afin de simplifier les calculs, on considère que l'oscilloscope présente à ses bornes d'entrée une résistance dite "d'entrée" R_e (ou encore "impédance d'entrée").

1.1 Influence de la résistance d'entrée d'un oscilloscope

On tient compte de l'influence de l'oscilloscope sur le montage précédent.

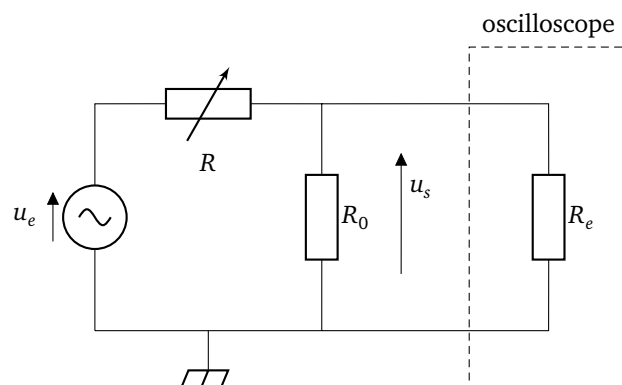


FIGURE TP E2.2 – Modélisation de l'oscilloscope lors d'une mesure de potentiel.

- Montrer que l'amplitude de la tension $u_s(t)$ vaut alors

$$U_s = \frac{1}{1 + R\left(\frac{1}{R_0} + \frac{1}{R_e}\right)} U_e$$

- Pourquoi, lorsque $R_e \geq 1000R_0$, l'influence de l'oscilloscope peut-elle être négligée?

1.2 Mesure de la résistance d'entrée d'un oscilloscope

On considère le montage suivant où on branche l'oscilloscope en série dans le montage.

⚠ Ce branchement n'est utile que pour cette expérience où l'objectif est de mesurer R_e . Dans tous les autres cas, il faut bien sûr mettre l'oscilloscope en dérivation.

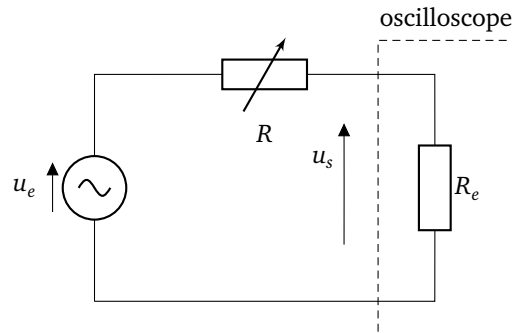


FIGURE TP E2.3 – Schéma du montage à réaliser pour mesurer la résistance d'entrée de l'oscilloscope.

- Le GBF délivre une tension sinusoïdale de fréquence $f \simeq 1000$ Hz et d'amplitude $U_e = 6$ V.
 - R est la résistance d'un ensemble de boîtiers AOIP.
 - L'oscilloscope affiche la tension $u_s(t)$ d'amplitude U_s qu'il détecte sur l'entrée X .
12. Quelle valeur doit-on affecter à R pour mesurer à l'écran de l'oscilloscope l'amplitude U_e (qui est aussi U_s) ?
 13. Quelle valeur doit-on affecter à R pour mesurer à l'écran de l'oscilloscope l'amplitude $U_s = U_e/2$?
 14. Si $U_e/U_s > 2$, pour tendre vers $U_e/U_s = 2$, doit-on augmenter ou diminuer R ? Même question si $U_e/U_s < 2$.

Manipulation 2 Mesure de la résistance d'entrée de l'oscilloscope.

- Réaliser le montage de la figure TP E2.3 et expliquer comment l'oscilloscope permet de mesurer U_e ; effectuer cette mesure et s'assurer que $U_e = 6$ V.
- Déterminer expérimentalement la valeur de R pour laquelle $U_e/U_s = 2$ et en déduire une estimation de R_e .

15. Compte tenu de la valeur trouvée pour R_e , discuter la légitimité de l'hypothèse de l'innocuité de l'oscilloscope lorsqu'il est branché en parallèle à une résistance de $1 \text{ k}\Omega$.

2 Résistances internes du multimètre

Manipulation 3 Résistances d'entrée des multimètres.

Proposer et mettre en oeuvre un protocole permettant de déterminer la résistance interne du multimètre en mode voltmètre et ampèremètre.

On rappelle qu'une mesure expérimentale est obligatoirement accompagnée de l'estimation de l'incertitude.

Pour l'ampèremètre, on mesurera plutôt une valeur maximale de la résistance d'entrée.

⚠ On fera aussi particulièrement attention à ne pas dépasser l'intensité maximale supportée par l'ampèremètre.

16. En déduire selon la valeur de la résistance R quel montage doit-on réaliser parmi les deux montages suivants, montage longue dérivation et montage courte dérivation.

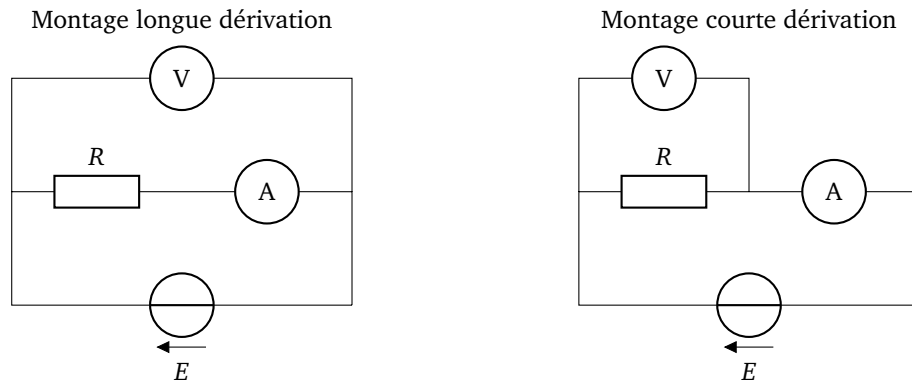


FIGURE TP E2.4 – Schémas des montages longue et courte dérivation.

III Étude d'un quadripôle

Manipulation 4 Résistances d'entrée des multimètres.

- A l'aide de la plaque support et des deux résistances de $1\text{ k}\Omega$ et $2\text{ k}\Omega$, réaliser un quadripôle pont diviseur de tension.
- A l'aide du GBF et des boîtes AOIP, mesurer sa résistance d'entrée.
- A l'aide du GBF et des boîtes AOIP, mesurer sa résistance de sortie.

17. Après avoir recopié les deux schémas des deux expériences ainsi que les mesures, discuter des résultats. Sont-ils cohérents avec les résultats théoriques ?

IV Tracé d'une caractéristique à l'oscilloscope

1 Quelques rappels sur l'oscilloscope

Manipulation 5 Manipulation de l'oscilloscope

Choisir, sur le GBF, une tension triangulaire de fréquence de 5 kHz d'amplitude 3 V et de valeur moyenne -0.5 V . Observer le signal à l'oscilloscope.

18. Schématiser l'oscilloscope et indiquer les différents réglages.

2 Photodiode

Le nouveau composant P est une photodiode dont la caractéristique courant-tension dépend de la lumière qu'il reçoit. On observera sa caractéristique courant-tension sur l'oscilloscope à l'aide du montage suivant.

Le montage est constitué des éléments suivants.

- Le GBF délivre une tension sinusoïdale de fréquence 200 Hz et d'amplitude $U_e = 2\text{ V}$.
- La résistance R vaut environ $1\text{ k}\Omega$.
- \mathcal{T} est un transformateur d'isolement. Il permet d'obtenir aux bornes CD (appelé secondaire) une tension proportionnelle à celle appliquée aux bornes AB (appelé primaire) dans le cas où on travaille avec des signaux sinusoïdaux, la partie du circuit reliée à CD n'est plus alors reliée à la masse du GBF situé dans le circuit primaire. On peut alors placer celle de l'oscilloscope où on veut, soit ici entre la diode et la résistance. Il sera vu plus tard dans l'année qu'un transformateur coupe la composante continue. On n'utilisera donc pas un transformateur avec des signaux créneaux dont l'allure en sortie du secondaire sera fortement déformée par le transformateur.

⚠ Lorsqu'un GBF alimente un transformateur, on fera bien attention à régler
le GBF avec un signal PÉRIODIQUE d'offset nul,

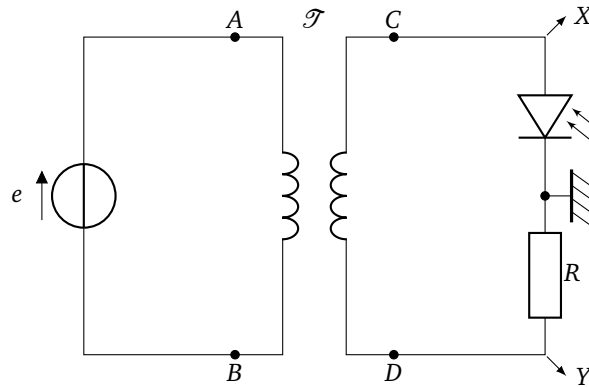


FIGURE TP E2.5 – Montage avec la photodiode P

ie on ne mettra surtout pas de fem continue, car alors le transformateur court-circuite le GBF qui délivrera alors une très grande intensité et en sera abimé. D'une part, on ne souhaite pas causer d'incendie, d'autre part, ce GBF coûte à l'heure actuelle 475€.

Manipulation 6 Caractéristique de la photodiode

- Réaliser le montage en remplaçant la photodiode par une résistance variable avec $R = 1\text{ k}\Omega$ et observer les signaux à l'oscilloscope.
- Passer, sur l'oscilloscope, en mode XY.
- Faites varier R en observant l'oscilloscope. Changer les échelles verticales et horizontale de l'oscilloscope.
- Remplacer alors après avoir mis en pause le GBF la résistance variable par la photodiode, puis réenclencher le GBF. Observer l'écran de l'oscilloscope.

19. Qu'est-ce que le mode XY de l'oscilloscope ? En déduire pourquoi on vous demande de l'utiliser et ce que vous observez alors sur l'oscilloscope.
20. Que se passe-t-il lorsqu'on empêche la photodiode de recevoir de la lumière ? Lorsqu'on l'éclaire avec une lampe ?
21. Expliquer le choix des quatre composants formant le montage.

Utilisation de la photodiode comme capteur On cherche à observer que l'intensité inverse I_p , ie l'intensité du courant traversant lorsque sa tension à ses bornes V_x est négative, est proportionnelle à l'intensité du flux lumineux \mathcal{P} : $I_p = k\mathcal{P}$.

On peut moduler le flux lumineux reçu par la photodiode de la part d'une lampe de bureau, en éloignant plus ou moins la lampe du capteur.

Manipulation 7 La photodiode, un capteur de luminosité.

- Vérifier que $I_p = 0$ si $\mathcal{P} = 0$.
- Mesurer ainsi, pour au moins 3 distances lampe-photodiode différentes, les valeurs de l'intensité électrique I_p délivrée par la photodiode. On effectue les mesures de I_p à l'aide des curseurs de l'oscilloscope.
- Remplacer à chaque configuration la photodiode par un luxmètre à la même position, et placer la lampe aux mêmes distances que précédemment. Pour chaque flux lumineux, mesurer son intensité \mathcal{P} .
- Regrouper les mesures dans un tableur et vérifier par une régression linéaire que $I_p \propto \text{flux lumineux}$.

3 Mode XY de l'oscilloscope

Manipulation 8 Manipulation du mode XY de l'oscilloscope

- Proposer un protocole permettant d'observer un cercle en mode XY sur l'oscilloscope. Le mettre alors en oeuvre.
On pourra bien sûr utiliser les deux sorties du GBE.
- Poursuivre les observations en modifiant le déphasage de la voie 2 avec la voie 1, puis en modifiant la fréquence. Commenter.

TP E3

CIRCUITS D'ORDRE 1 EN RÉGIME TRANSITOIRE.

Durée : 2h

Objectifs

liés au phénomène physique

- Réaliser l'acquisition d'un régime transitoire du premier ordre.

liés à la technique expérimentale

- Utiliser l'oscilloscope.
- Utiliser LATIS PRO.
- Gérer, dans un circuit électronique, les contraintes liées à la **masse**.
- Réaliser des circuits électriques lisibles.
- Estimer des incertitudes.

Matériel

- GBF, oscilloscope, 1 multimètre, interface Sysam ;
 - 1 boîte de résistances à décade ;
 - 1 boîte de condensateurs à décade ou 3 condensateurs (10 nF, 100 nF, 1 µF)+plaque de connexion blanche ;
 - 1 bobine variable (max 1,1 H et $r = 10\Omega$),
 - 1 interrupteur 2 voies.
- A prendre et à ranger en début et fin de séance : 3 {câbles BNC-banane ou adaptateurs BNC-banane}.

Le TP suivant concerne l'étude expérimentale des régimes transitoires des circuits du premier ordre avec deux outils différents : l'oscilloscope et Latis Pro.

I Etude préalable théorique des circuits réalisées en TP

1 Charge d'un condensateur

1.1 Etude à l'oscilloscope

On étudie le montage de la figure TP E3.1

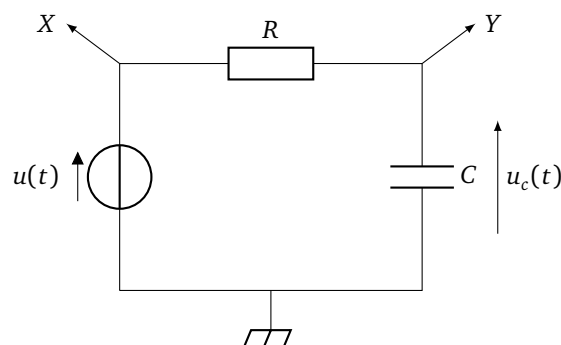


FIGURE TP E3.1 – Schéma du montage permettant l'étude de la charge du condensateur C à l'oscilloscope.

Soit $u(t)$ une fonction du temps de la forme suivante (tension en créneaux) :

$$\begin{cases} u(t) = E & \text{pour } 0 < t < \frac{T}{2} \\ u(t) = -E & \text{pour } \frac{T}{2} < t < T \end{cases} \quad (\text{TP E3.1})$$

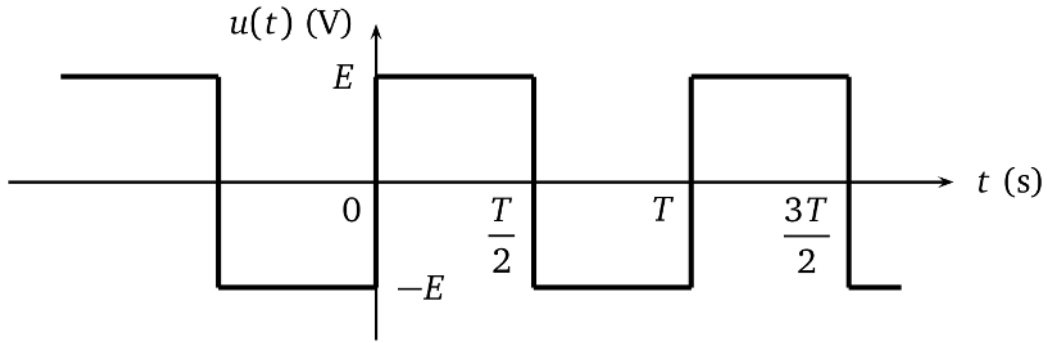


FIGURE TP E3.2 – Représentation de $u(t)$.

dont la représentation graphique est sur la figure TP E3.2.

$T = 1/f$ est la période de u , dite « période de pilotage ».

1. Si on appelle $u_c(0) = U_0$ montrer que pour $0 < t < T/2$ on a

$$u_c(t) = E + (U_0 - E) \exp(-t/\tau) \quad \text{avec} \quad \tau = RC.$$

2. En déduire que $i(t) = [(E - U_0)/R] \exp(-t/\tau)$

3. On s'intéresse à présent au régime permanent pour lequel u_c et i sont périodiques (et symétriques).

(a) Dans le cas où $\tau \ll T$ que valent alors u_c et i quand $t = T/2$? Que vaut U_0 ? Donner l'allure de u_c et i . Montrer que u_c s'annule en $t_0 = \tau \ln 2$.

(b) Dans le cas où $\tau \gg T$, justifier que dans l'équation différentielle vérifiée par u_c , on puisse négliger u_c devant $\tau \frac{du_c}{dt}$. Montrer alors que $U_0 = -ET/(4\tau)$ et en déduire que U_0 est petit devant E . Donner l'allure de u_c et i .

1.2 Etude à l'ordinateur (Latis-Pro)

Le circuit est représenté sur la figure TP E3.3.

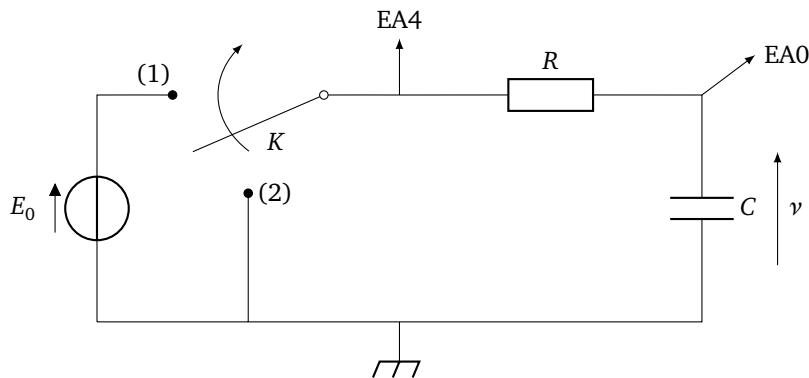


FIGURE TP E3.3 – Schéma du montage permettant l'étude de la charge du condensateur grâce à Latis Pro.

Sur la figure TP E3.3, lorsque l'interrupteur K est en position (1), u prend la valeur $u = E_0$ (le condensateur se charge), tandis qu'en position (2), l'interrupteur K permet la décharge du condensateur ($u = 0$). Enfin lorsque l'interrupteur est ouvert (c'est-à-dire ni sur la position (1) ni sur la position (2)), on observe une décharge particulière du condensateur, qui nous permet d'obtenir la valeur de sa résistance interne, ou résistance de fuite.

4. Détermination de $v(t)$.

(a) Montrer que la tension $v(t)$ satisfait à l'équation différentielle :

$$\frac{dv}{dt} + \frac{v}{\tau} = \frac{E_0}{\tau}$$

où τ est un paramètre constant que l'on exprimera en fonction de R et C .

- (b) Le mode opératoire utilisé permet de fixer les conditions initiales (la date $t = 0$ sera celle de basculement de l'interrupteur). Retrouver ainsi $v(t = 0^+)$.
- (c) Résoudre littéralement cette équation différentielle.
5. Détermination du produit RC .
- (a) Méthode de l'antécédent.
Soit t_1 la date pour laquelle $v(t_1) = v_{\max}/2$. Démontrer que $t_1 = RC \ln 2$.
- (b) Méthode de la tangente.
A partir de l'expression littérale de $v(t)$, déduire dans l'expression de la tangente (Δ) à la courbe $t \mapsto v(t)$ en $t = 0 : y = at + b$ les expressions littérales des coefficients a et b en fonction de E_0 et τ .
- (c) Régression linéaire.
Déterminer la régression linéaire qui permettrait, via la mesure de la pente, de mesurer τ .

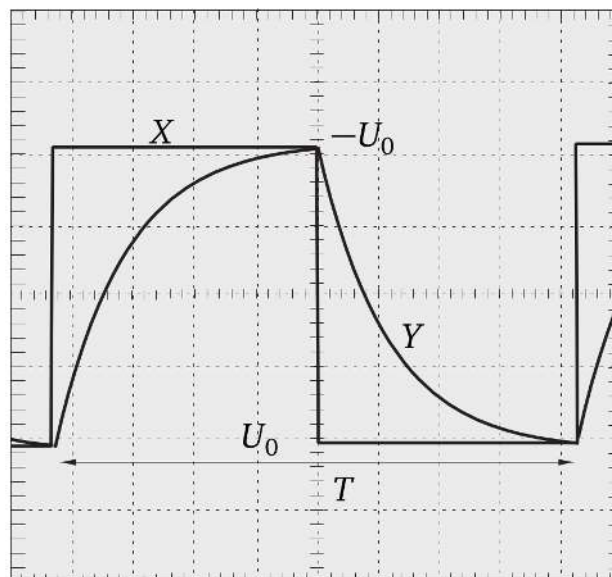
2 Circuit RL

6. Proposer un protocole afin de mesurer l'inductance L et la résistance interne r de la bobine qui se trouve sur cette paillasse.
- Pour cela, vous disposez du matériel devant vous :
- GBF, Oscilloscope ou Latis Pro,
 - résistance variable.
- Vous pouvez vous inspirer de la partie précédente (même avoir l'impression de la recopier!). La seule contrainte est que vous ne pouvez utiliser qu'un ou des circuits d'ordre 1.

II Charge d'un condensateur. Étude à l'oscilloscope de la réponse en tension.

Manipulation 1 Étude de la charge de C grâce à l'oscilloscope.

- Réaliser le montage de la figure TP E3.1 avec les composants suivants.
 - R est une résistance de $1 \text{ k}\Omega$.
 - C est un condensateur de 100 nF .
 - Le GBF délivre une tension rectangulaire, de fréquence voisine de 1000 Hz et de valeur moyenne nulle.
 - Les entrées X et Y d'un oscilloscope numérique sont branchées afin de mesurer les tensions u et u_C , aux bornes respectives du GBF et de C .
- Après avoir centré les signaux, visualiser, à l'écran de l'oscilloscope, les signaux X et Y .
- Régler l'oscilloscope afin de n'observer qu'une période comme ci-dessous.



- Mesurer de deux manières différentes la valeur de τ . Evaluer une incertitude sur les deux, $u(\tau)$, après avoir réfléchi à son origine.

7. Noter les calibres de l'oscilloscope et expliquez-les.
8. Commenter la fréquence du GBF par rapport à une constante de temps caractéristique du circuit.
9. Illustrer vos mesures du temps caractéristique par deux schémas. Comparer les mesures à la valeur obtenue par le calcul de $\tau = RC$.

Manipulation 2 Influence de la période T .

- Faire maintenant varier, soit T à $\tau = RC$ constant, soit τ à T constant.
- Essayer d'autres formes de signaux d'entrée $u(t)$, tels que le signal triangulaire et le signal sinusoïdal.

10. Représenter et qualifier les courbes $u(t)$ et $u_C(t)$ quand $\tau \gg T$.
11. On dit dans ce cas que le circuit est intégrateur. Est-ce bien le cas? Pourquoi?
12. Tracer vos observations pour les autres formes du signal d'entrée $u(t)$, puis commenter les.

III Acquisition à l'ordinateur par signal de déclenchement

Manipulation 3 Acquisition des données

- Réaliser le montage de la figure TP E3.3 où
 - E_0 est la source de tension continue, de force électromotrice $E_0 = 5$ V de la carte Sysam ;
 - K est un interrupteur va-et-vient ;
 - R est une résistance de 1 k Ω ;
 - C est un condensateur de capacité $C = 1$ μ F.
 - EA0, EA4 et la masse sont reliés à l'interface, connectée à un ordinateur pourvu du logiciel LATIS PRO.
- Les données expérimentales seront traitées numériquement par le logiciel LATIS PRO. Configurer le logiciel de la manière suivante.
 - Le menu *Acquisition* sera activé sur (*Acquisition Temporelle*), le Mode *permanent* sera désactivé, le nombre de points sur 500 et le total sur 10 ms ;
 - le menu *Déclenchement* indiquera la *Source* : EA4 (c'est le passage de $u = 0$ à $u = E_0$, qui lancera l'acquisition), le *Sens* : croissant (le déclenchement se produira lors de la phase de croissance de u), le *Seuil* : 5 V, le *Pré-Trig* : 25%.
- Lancer l'acquisition, l'ordinateur attend le signal de déclenchement EA4 pour démarrer l'acquisition. Basculer alors l'interrupteur K en position (1) ; les courbes EA4 et EA0, correspondant respectivement aux tensions $u(t)$ et $v(t)$, doivent apparaître simultanément dans la Fenêtre n° 1.
Si tel n'était pas le cas (ou si les courbes obtenues n'étaient pas satisfaisantes), on recommencera l'acquisition. On pourra essayer également de "faire" l'interrupteur "à la main".

1 Traitement des données

Dans cette partie, on travaillera directement avec les signaux relevés par l'ordinateur.

- Pour éviter de surcharger la Fenêtre n° 1, ouvrir quatre fenêtres à l'aide de la commande Fenêtres de la barre de menu. Cette même commande permet d'organiser ces fenêtres en mosaïque. Basculer dans la Fenêtre n° 2 la courbe EA0 (l'icône représentant une sinusoïde dresse la liste des courbes que l'on peut représenter en faisant glisser, avec la souris, le nom de la courbe dans la fenêtre choisie).
13. Détermination de $v(t)$. Calculer numériquement les valeurs numériques des données intervenant dans l'expression littérales de $v(t)$.

14. Détermination du produit RC .

- (a) À l'aide du réticule, déterminer v_{\max} puis trouver, en déplaçant le réticule, la date t_1 pour laquelle $v(t_1) = v_{\max}/2$.
- (b) Dédire, par cette méthode, une estimation numérique du produit RC . Il n'est pas demandé d'évaluer l'incertitude.

Conclure quant à la compatibilité avec les valeurs choisies pour R et C .

15. Méthode de la tangente. Déterminer les constantes a et b à l'aide de LATIS PRO. Comparer ces valeurs à celles de l'équation ci-dessus. En déduire τ . Il n'est pas demandé d'évaluer l'incertitude.
16. Régression linéaire. A l'aide d'une régression linéaire, mesurer τ et une évaluation de son incertitude après avoir réfléchi à son origine.

2 Détermination de la résistance de fuite du condensateur

Un condensateur ne garde pas éternellement sa charge car en fonction de sa composition, une perte infime se produit, la fuite de la charge d'un condensateur isolé se modélise par une résistance parallèle R_F aux bornes du condensateur.

Manipulation 4 Mesure de la résistance de fuite de C .

- En choisissant judicieusement les paramètres d'acquisition, observer la décharge du condensateur dans la résistance de fuite. Cela se produit lorsqu'on laisse après une charge l'interrupteur, ni sur la position (1), ni sur la position (2).

17. Noter vos réglages, expliquez les et notez vos observations.
18. En déterminant le produit $R_F C$ associé à cette décharge, déterminer R_F . Il n'est pas demandé d'évaluer l'incertitude sur R_F .

IV Circuit RL

Manipulation 5 Mesure de L .

- Mettre en oeuvre le protocole proposé lors de votre travail préparatoire.

19. Rédigez le compte-rendu associé.

Que la manipulation soit faite ou pas, on indiquera bien au minimum le schéma, les réglages du GBF et les réglages de l'oscilloscope.

On pensera bien à estimer les incertitudes sur L et r .

V Recapitulatif des objectifs

1 Objectifs liés aux phénomènes physiques

	O	N
Réaliser l'acquisition d'un régime transitoire du premier ordre.		
J'ai observé la tension aux bornes d'un condensateur en charge et en décharge.		
J'ai mesuré par la méthode de l'antécédent au moins un temps de relaxation.		
J'ai mesuré par la méthode de la tangente à l'origine au moins un temps de relaxation.		
J'ai mesuré à l'aide d'une régression linéaire un temps de relaxation.		
J'ai observé l'influence de la période d'un signal rectangulaire sur l'allure de la tension aux bornes du condensateur.		
Je sais comment obtenir un signal triangulaire à partir d'un signal rectangulaire.		

2 Objectifs liés à la technique expérimentale

	O	N
Utiliser l'oscilloscope.		
J'ai branché convenablement l'oscilloscope.		
J'ai anticipé l'échelle verticale utilisée.		
J'ai anticipé la vitesse de balayage utilisée.		
J'ai observé l'évolution temporelle des signaux physiques.		
J'ai utilisé les boutons de l'encadré "Trigger" afin d'obtenir des signaux stables.		
Utiliser LATIS PRO.		
J'ai branché convenablement la carte Sysam.		
J'ai réglé le menu Acquisition.		
Je suis capable d'expliquer les réglages du menu Acquisition.		
J'ai réglé le menu Déclenchement.		
Je suis capable d'expliquer les relations entre le menu Déclenchement et les courbes qui s'affichent.		
J'ai obtenu des grandeurs physiques à partir des données acquises (dérivées, ...)		
J'affiche les ordonnées et les abscisses qui me conviennent (régression linéaire).		
Gérer, dans un circuit électronique, les contraintes liées à la masse . Réaliser des circuits électriques lisibles.		
Il est aisé d'associer un schéma électrique à sa réalisation.		
Les couleurs des fils électriques ont été convenablement choisies.		
Les fils noirs correspondent à la masse et se situent en bas du circuit.		
Les fils électriques sont démêlés.		
Les fils noirs sont séparés des fils de couleur.		
Estimer des incertitudes.		
L'estimation d'une incertitude est systématiquement précédée d'une réflexion sur les origines de cette incertitude.		
Les sources principales d'incertitude se distinguent des sources négligeables d'incertitude.		
Les formules de propagation des erreurs sont justes et lisibles.		

TP E4

CIRCUITS D'ORDRE 2 EN RÉGIME TRANSITOIRE.

Durée : 2h

Objectifs

liés au phénomène physique • Réaliser l'acquisition d'un régime transitoire d'un système linéaire du deuxième ordre.

- Analyser ses caractéristiques.

liés à la technique expérimentale • Utiliser l'oscilloscope.

- Utiliser Latis Pro.
- Gérer, dans un circuit électronique, les contraintes liées à la **masse**.
- Réaliser des circuits électriques lisibles.
- Estimer des incertitudes.

 **Matériel**

- GBF, oscilloscope, interface SYSAM ;
 - 1 multimètre ;
 - 1 boîte à décades de résistances ou ensemble de boîtes AOIP ;
 - 1 boîte à décades de capacités ;
 - 1 boîte à décades d'inductances ;
 - 1 transformateur d'isolement ;
 - sur la paillasse professeur : quelques LCR-mètres.
- A prendre et à ranger en début et fin de séance : 3 {câbles BNC-banane ou adaptateurs BNC-banane}.

Le TP suivant ressemble au TP précédent. La différence est l'ordre des circuits étudiés. Il concerne l'étude expérimentale des régimes transitoires des circuits du second ordre avec deux outils différents

- l'oscilloscope,
- et Latis Pro.

I Etude préalable théorique du circuit RLC série

1 Etude à l'oscilloscope

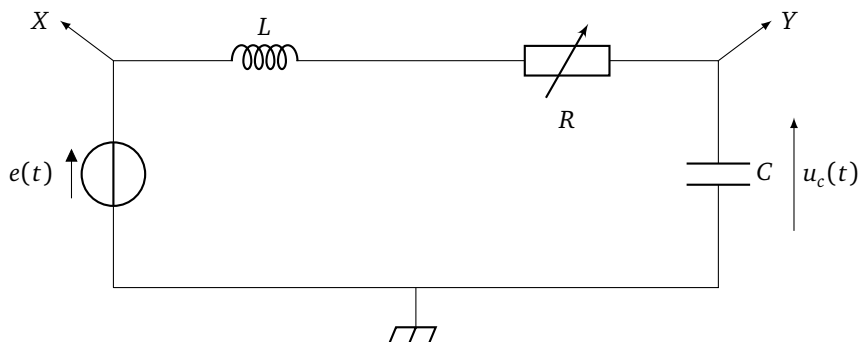


FIGURE TP E4.1 – Schéma du montage de l'étude à l'oscilloscope. $e(t)$ est une tension créneau oscillante entre 0 et E de période T_{GBF} choisie telle que $T_{\text{GBF}}/2 > 5 \times$ temps de relaxation.

- On atteint le régime critique lorsque $Q = 1/2$. Quelle est alors l'expression de la résistance critique $R_{c,th}$ en fonction de L et C ?
Faire l'application numérique avec $L = 100$ mH et $C = 10$ nF
- Proposer un protocole incluant un transformateur afin de pouvoir visualiser à l'oscilloscope u_C et i simultanément.

2 Etude à l'ordinateur

Le montage est celui de la figure TP E4.2.

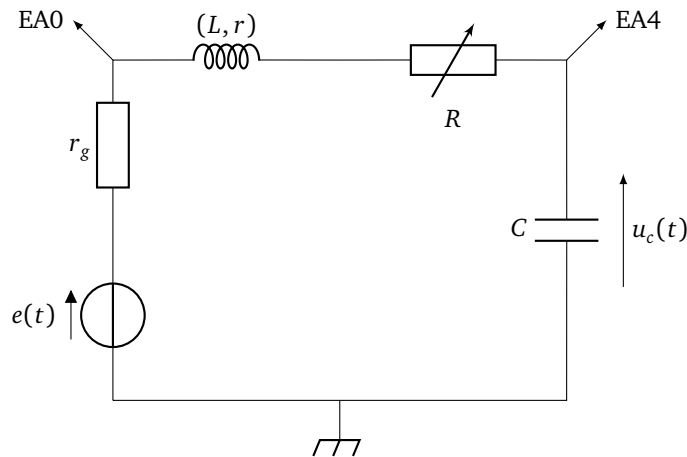


FIGURE TP E4.2 – Schéma du montage de l'étude à l'ordinateur.

- Montrer que les tensions $u_C(t)$ et $e(t)$ sont liées par l'équation différentielle :

$$\frac{d^2 u_C}{dt^2} + \frac{\omega_0}{Q} \frac{du_C}{dt} + \omega_0^2 u_C = \omega_0^2 e$$

où l'on explicitera les paramètres ω_0 et Q en fonction de L , C , R , r_g et r .

- Montrer dans le cadre du régime pseudo-périodique en régime libre avec $Q \gg 1$ que le décrement logarithmique δ et Q sont liés par la relation

$$\delta = \ln \left[\frac{u_C(t)}{u_C(t+T)} \right] \simeq \frac{\pi}{Q}$$

où T est la pseudo-période.

Indiquer la définition de δ lors de la réponse indicielle. Généraliser la définition de δ .

3 Aspects énergétiques

- En régime libre et dans le régime pseudo-périodique, établir l'équation horaire de l'énergie \mathcal{E}_C stockée dans le condensateur.
- En régime libre et dans le régime pseudo-périodique, établir l'équation horaire de l'énergie \mathcal{E}_L stockée dans la bobine.
- En déduire l'expression en fonction du temps de l'énergie totale \mathcal{E}_{tot} stockée dans le circuit électrique. En déduire l'expression de

$$\frac{\Delta \mathcal{E}_{tot}}{\mathcal{E}_{tot}} = \frac{\mathcal{E}_{tot}(t) - \mathcal{E}_{tot}(t+T)}{\mathcal{E}_{tot}(t)}$$

où T est la pseudo-période.

- Proposer un protocole utilisant le logiciel LAVIS-PRO et **sans** transformateur permettant de tracer les trois énergies \mathcal{E}_C , \mathcal{E}_L et \mathcal{E}_{tot} en fonction du temps.
- En déduire une manière de mesurer le temps de relaxation $1/\lambda$.

II Étude à l'oscilloscope du circuit RLC série

1 Observation d'un régime pseudo-périodique

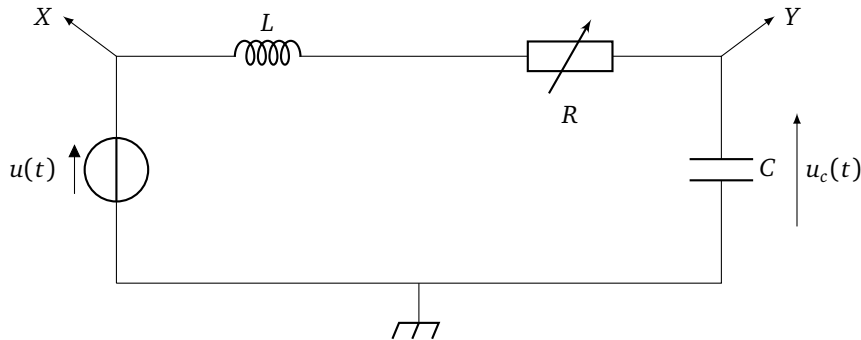


FIGURE TP E4.3 – Montage à réaliser pour l'étude du RLC série à l'oscilloscope.

Manipulation 1 Montage du RLC série

- Réaliser le montage de la figure TP E4.3.
- Le GBF délivre un signal rectangulaire de fréquence voisine de $f_{\text{GBF}} = 400 \text{ Hz}$.
- L désigne une bobine d'inductance $\simeq 100 \text{ mH}$.
- C est un condensateur de capacité 10 nF .
- R est une boîte de résistances à décades à laquelle on affecte une valeur initiale nulle ;
- X et Y sont les entrées de l'oscilloscope numérique, assurant les mesures de u et u_C , aux bornes respectives du GBF et de C .

10. Quel type de régime observe-t-on à l'écran ? Comment interpréter l'existence d'un amortissement alors que la boîte à décades est réglée sur $R = 0$?
11. Est-on dans le cas où $T_{\text{GBF}} > 5 \times$ temps de relaxation ? Commenter alors l'aspect de la courbe.
Modifier si nécessaire f_{GBF} de manière à être dans le cas où $T_{\text{GBF}}/2 > 2 \times \tau$ avec τ le temps de relaxation du circuit.
12. Mesurer, sur cette courbe, la valeur de la pseudo période T du signal amorti grâce au curseurs verticaux et évaluer l'incertitude sur T , $u(T)$, après avoir réfléchi à son origine.
13. Mesurer sur cette courbe, la valeur du décrétement logarithmique δ (et $u(\delta)$ par une simulation Monte-Carlo) en utilisant les curseurs horizontaux. En déduire la valeur de Q et $u(Q)$ par une simulation Monte-Carlo.
14. Comparer Q au nombre d'oscillations N visibles. Commenter.
15. Des valeurs de T et Q , en déduire une estimation de ω_0 et de son incertitude $u(\omega_0)$ par une simulation Monte-Carlo. Comparer à la valeur théorique.
16. Des valeurs de C , ω_0 et Q , en déduire la valeur de R . Commenter.
On pourra vérifier la valeur de C avec le LCR-mètre disponible sur les paillasses du devant.

Manipulation 1 Suite du montage du RLC série

Mettre en oeuvre le protocole de la question 2 en modifiant le montage pour observer l'intensité i et la tension u_C en fonction du temps.

17. Recopier l'allure des deux courbes obtenues. Commenter.

2 Influence du facteur de qualité

Manipulation 1 Suite du montage du RLC série

Modifier la valeur de la résistance variable R jusqu'à observer, sur l'écran de l'oscilloscope, un signal apériodique.

18. En déduire $R_{c,exp}$, ainsi qu'une évaluation de l'incertitude $u(R_{c,exp})$ après avoir réfléchi à son origine.
19. Comparer les valeurs théoriques $R_{c,th}$ et expérimentales $R_{c,exp}$.
Que constate-t-on? Interpréter la différence entre les deux valeurs $R_{c,th}$ et $R_{c,exp}$.

III Acquisition en mode permanent à l'ordinateur

1 Étude expérimentale, régime pseudo-périodique

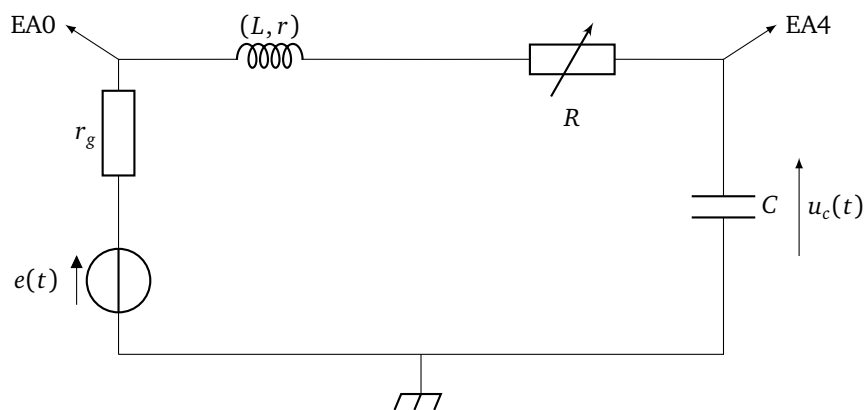


FIGURE TP E4.4 – Schéma du montage à réaliser pour étudier le RLC série à l'aide de Latis-Pro.

Manipulation 2 RLC série, étude à l'aide de Latis-Pro

Matériel

- Réaliser le montage de la figure TP E4.4.
- Le GBF, de résistance interne r_g , délivre une tension $e(t)$ rectangulaire, de fréquence $f_{GBF} = 100$ Hz et d'amplitude E_0 . L'amplitude de E_0 sera, au cours de la manipulation, adaptée aux limites opérationnelles de la carte d'acquisition.
- La résistance R est celle d'une boîte de résistances à décades.
- La bobine présente une inductance $L \simeq 100$ mH et une résistance r .
- C est un condensateur de capacité $C = 10$ nF.
- EA0 et EA4 sont les entrées analogiques de l'interface, connectée à un ordinateur équipé de Latis Pro.

Latis Pro, le régler de la manière suivante (Dans cette partie, l'étude du circuit sera menée en imposant $R = 0$.)

- *Acquisition temporelle* avec, pour options : Normal ; Points = 500 ; Total = 5 ms ; $T_e = 5 \mu s$; Mode permanent activé.
- *Déclenchement* : Source=EA0 ; Sens = Descendant ; Seuil = 0 V ; Pré-trig = 25%.

Après avoir mis en marche le GBF, qui délivre un signal rectangulaire d'amplitude E_0 , procéder à l'acquisition du signal. On réglera E_0 de manière à obtenir, pour $u_C(t)$, la plus grande amplitude qui ne sature pas la carte d'acquisition.

Lorsque les signaux EA0 et EA4 conviennent, faire cesser l'acquisition en appuyant sur la touche Échap du clavier de l'ordinateur.

- À l'aide du réticule, donner la valeur numérique de E_0 .
- Soit T la pseudo-période du signal $u_C(t)$ et $\omega = 2\pi/T$ sa pseudo-pulsation.
Déterminer, à l'aide du réticule, la valeur numérique de T , puis en déduire la valeur numérique de ω .

- Déterminer une valeur du décrétement logarithmique δ en choisissant la date $t > 0$ qui correspond au premier maximum de $u_C(t)$, puis $u_C(t + T)$.

20. Noter vos mesures (il n'est pas demandé d'évaluer les incertitudes) et observations.
21. En déduire la valeur du facteur de qualité Q .
Cette valeur est-elle compatible avec l'existence du régime pseudo-périodique ?
22. Donner une estimation numérique de ω_0 .
23. Étant donné que $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ et compte tenu des valeurs choisies pour L et C , montrer que la valeur numérique trouvée précédemment pour ω_0 est compatible avec celles de L et C .
24. Sachant que $Q = L\omega_0/(R + r + r_g)$ ou $r = L\omega_0/Q - R - r_g$, estimer r à partir des valeurs numériques imposées à R et L , des valeurs numériques trouvées précédemment pour ω_0 et Q en supposant $r_g = 50 \Omega$.

2 Tracés des énergies

Manipulation 3 Évolution temporelle des énergies

- Mettre en oeuvre le protocole de la question 8 pour en utilisant les outils de Latis-Pro, tracer en régime pseudo-périodique et en régime libre les énergies stockées dans le condensateur \mathcal{E}_C et la bobine \mathcal{E}_L , puis l'énergie totale \mathcal{E}_{tot} stockée dans le circuit.
- En utilisant la représentation logarithmique pour l'axe des ordonnées, mesurer le temps de relaxation $1/\lambda$.
- Modifier la valeur de la résistance R afin de se placer en régime aperiodique.
- Modifier le paramétrage de l'acquisition de la manière suivante.
 - Les Entrées analogiques demeurent EA0 et EA4.
 - L'option *Ajouter des courbes* est activée.
 - Les autres paramètres d'acquisition sont inchangés.
- Lancer l'acquisition du signal (on rappelle que l'activation du Mode permanent permet de visualiser les signaux $u_C(t)$ et $e(t)$ de la même manière qu'avec un oscilloscope). De nouvelles courbes apparaissent dans la Fenêtre n° 1, appelées EA0{2} et EA4{2}, ainsi que dans la liste des courbes disponibles. Pour ne pas surcharger cette fenêtre, en retirer les courbes EA0{2} et EA4{2}, puis faire glisser ces courbes dans la Fenêtre n° 2.
- Le régime aperiodique est visualisé par la courbe EA4{2}.
- Tracer alors les différentes énergies en fonction du temps et de même déterminer un éventuel temps de relaxation. Commenter.

IV Recapitulatif des objectifs

1 Objectifs liés aux phénomènes physiques

O N

Réaliser l'acquisition d'un régime transitoire du deuxième ordre.

J'ai observé un signal physique temporel en régime pseudo-périodique.

J'ai observé un signal physique temporel en régime aperiodique.

J'ai réalisé la relation entre l'allure des signaux physiques et le facteur de qualité.

Je sais comment modifier le facteur de qualité.

J'ai mesuré en régime pseudo-périodique la pseudo-période.

2 Objectifs liés à la technique expérimentale

	O	N
Utiliser l'oscilloscope.		
J'ai branché convenablement l'oscilloscope.		
J'ai anticipé l'échelle verticale utilisée.		
J'ai anticipé la vitesse de balayage utilisée.		
J'ai observé l'évolution temporelle des signaux physiques.		
J'ai utilisé les boutons de l'encadré "Trigger" afin d'obtenir des signaux stables.		
J'ai utilisé le mode XY de l'oscilloscope.		
Utiliser LATIS PRO.		
J'ai branché convenablement la carte Sysam.		
J'ai réglé le menu Acquisition.		
Je suis capable d'expliquer les réglages du menu Acquisition.		
J'ai réglé le menu Déclenchement.		
Je suis capable d'expliquer les relations entre le menu Déclenchement et les courbes qui s'affichent.		
J'ai obtenu des grandeurs physiques à partir des données acquises (dérivées, ...)		
J'affiche les ordonnées et les abscisses qui me conviennent (régression linéaire, ...).		
Gérer, dans un circuit électronique, les contraintes liées à la masse . Réaliser des circuits électriques lisibles.		
Il est aisé d'associer un schéma électrique à sa réalisation.		
Les couleurs des fils électriques ont été convenablement choisies.		
Les fils noirs correspondent à la masse et se situent en bas du circuit.		
Les fils électriques sont démêlés.		
Je suis capable d'utiliser un transformateur si nécessaire.		
Estimer des incertitudes.		
L'estimation d'une incertitude est systématiquement précédée d'une réflexion sur les origines de cette incertitude.		
Les sources principales d'incertitude se distinguent des sources négligeables d'incertitude.		
Les formules de propagation des erreurs sont justes et lisibles.		

TP E5

DÉTERMINATION DE LA PERMITTIVITÉ RELATIVE DU VERRE

Durée : 2h

Objectifs

liés au phénomène physique • Réinvestir le chapitre sur les circuits linéaires.

liés à la technique expérimentale • Élaborer un protocole.

- Utiliser les outils de base du laboratoire de physique : le multimètre, l'oscilloscope et le GBF.
- Gérer, dans un circuit électronique, les contraintes liées à la liaison entre les **masses**.

🔧 Matériel

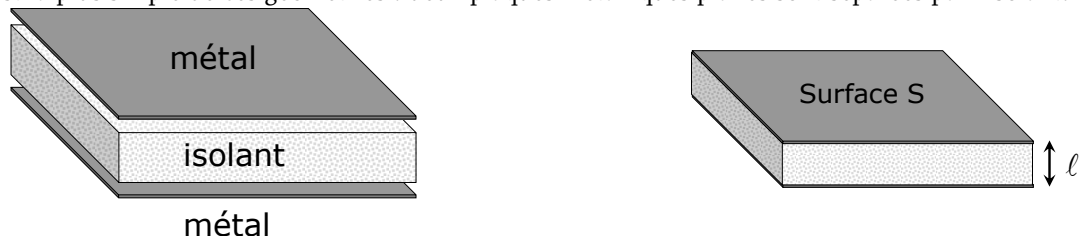
- | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> une boîte à décades de résistance ; <input type="checkbox"/> un GBF + câbles BNC ; <input type="checkbox"/> un oscilloscope ; <input type="checkbox"/> une plaque de verre ; <input type="checkbox"/> deux cartons recouverts de papier aluminium ; <input type="checkbox"/> deux élastiques ; | <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> deux pinces crocos ; <input type="checkbox"/> deux fils fins de connexions dénudés sur quelques cm ; <input type="checkbox"/> un pied à coulisse ; <input type="checkbox"/> un réglet métallique ; <input type="checkbox"/> jeu de masses. |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

I Introduction

Un condensateur est un composant électronique ou électrique élémentaire, constitué de deux armatures conductrices séparées par un isolant. Soumis à une tension U , un condensateur accumule sur chacune de ses armatures des charges opposées $Q = CU$. La grandeur C , appelée capacité du condensateur dépend de ses caractéristiques géométriques ainsi que de la nature de l'isolant utilisé.

L'assemblage armature métallique-isolant-armature métallique peut être réalisé avec différents types de géométries.

Le condensateur plan est la plus simple de ces géométries : deux plaques métalliques planes sont séparées par l'isolant.



La capacité C d'un condensateur plan s'exprime en fonction de la surface S des armatures en regard et de l'épaisseur ℓ de l'isolant. L'expression de la capacité du condensateur peut être établie lorsque le modèle utilisé néglige les effets de bords, c'est-à-dire que l'on assimile les armatures à des plans infinis :

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{S}{\ell}$$

La grandeur ϵ_0 est une constante physique appelée permittivité diélectrique du vide ; ϵ_r est une grandeur adimensionnée appelée **permittivité relative du milieu**. Le tableau TP E5.1 fournit la permittivité relative de différents milieux.

Air	1	Paraffine	2,2	Porcelaine	5-6	Papier	2	Polyester	3,3
Bakélite	5	PVC	5	Polystyrène	2,4	Carton	4	Polyéthylène	2,25
Caoutchouc	4	Plexiglas	3,3	Polypropylène	2,2	Téflon	2,1	Verre	5-7

TABLE TP E5.1 – Quelques permittivités relatives. La permittivité diélectrique du vide est $\epsilon_0 = 10^{-9}/(36\pi) \text{ F m}^{-1}$

Manipulation 1 Mesure de la permittivité relative du verre.

- Élaborer un protocole afin de mesurer la permittivité relative du verre.

👉 APPELER VOTRE PROFESSEUR POUR PRÉSENTER ORALEMENT VOTRE PROTOCOLE

- Mettre en œuvre le protocole proposé.
- Estimer l'incertitude sur la valeur de ϵ_r par simulation Monte Carlo.



Attention!

Prenez soin de bien plaquer les armatures avec les élastiques.

1. Rédiger votre compte-rendu. Les éléments suivants devront y être présents.

- Des schémas légendés décrivant votre montage et vos réglages ;
- Une résumé succinct du protocole ;
- Une impression de l'écran de l'oscilloscope avec la position des curseurs.
- Les valeurs des différentes grandeurs mesurées, avec une explication succincte de l'estimation des incertitudes ;
- Le résultat de la mesure de la permittivité relative du verre, exprimé sous la forme

$$\epsilon_r = \text{XXXXX} \pm \text{YYYYY} ,$$

l'estimation de l'incertitude sur la mesure devant être réalisée par la méthode de Monte Carlo.

- La comparaison de votre valeur avec les informations du texte.

Influence de l'entrée DC de l'oscilloscope L'entrée DC de l'oscilloscope peut-être modélisée comme l'association en parallèle d'une résistance R_{osc} et d'un condensateur de capacité C_{osc} .

- Repérez sur l'oscilloscope les valeurs de R_{osc} et C_{osc} .
- La présence de l'oscilloscope perturbe-t-elle la mesure de ϵ_r ?
- Le cas échéant, déterminer la valeur modifiée de ϵ_r . Commenter.

Manipulation 2 Influence de la pression

Modifier la pression sur les armatures du condensateur. Quelle(s) modification(s) observez-vous ?

- Noter vos observations et proposer une explication.
- Quelle application peut-on trouver à cette propriété ?

TP C1

DOSAGE PAR ÉTALONNAGE D'UNE SOLUTION À USAGE MÉDICAL

Durée : 2h

Ce TP aborde le dosage par étalonnage d'une espèce colorée par spectrophotométrie.

Objectifs

liés au phénomène chimique • Déterminer une concentration en construisant et en utilisant une courbe d'étalonnage.

liés à la technique expérimentale • Mesurer une absorbance.

- Prévention des risques chimiques : adopter une attitude adaptée au travail en laboratoire ; relever les indications sur le risque associé au prélèvement et au mélange des produits chimiques ; développer une attitude autonome dans la prévention des risques.
- Impact environnemental : adapter le mode d'élimination d'un espèce chimique ou d'un mélange en fonction de sa toxicité.

⚠ Remplir la cuve du spectrophotomètre jusqu'au trait sous la flèche.



← limite de remplissage

🔧 **Matériel**

verrerie une burette graduée de 25 mL, 2 fioles jaugées de 25 mL avec des bouchons, 4 béchers de 50 mL ;

solutions une solution de diiode I_2 à $c_{I_2} = 8 \cdot 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ dans l'iodure de potassium KI à $0,5 \text{ mol L}^{-1}$, une solution de bétadine 2000 fois diluée, une solution d'iodure de potassium (KI) à $c_{KI} = 0,5 \text{ mol L}^{-1}$ pour les blancs.

autres 2 pipettes pasteur en plastique, un spectrophotomètre et 1 cuve, notice du spectrophotomètre, une pissette d'eau distillée.

Rinçage ou pas ? Pour ce TP, une pièce de verrerie ou la cuve

- si elles sont sèches seront considérées comme propres et n'auront pas d'être rincées ;
- si elles sont humides, elles auront par contre besoin d'être rincées
 - ☞ pour les béchers et la cuve, avec la solution à mettre dedans ;
 - ☞ pour les fioles jaugées, avec la solution de KI ;
 - ☞ pour la burette, la question ne se pose normalement pas, si besoin avec la solution de S_0 .

La Bétadine® est un antiseptique dermatologique. Son principe actif est le diiode I_2 qui élimine les micro-organismes ou inactive les virus par son action oxydante. Le diiode est une espèce colorée, de couleur jaune. Le but de cette partie est de contrôler la qualité d'une solution de Bétadine®, par une méthode de dosage par étalonnage.

Données physico-chimiques pour le diiode

limite de détection $C_{L_D} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$

limite de quantification $C_{L_Q} = 3 \cdot 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$

limite du domaine de linéarité $C_{lin} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$.



 Document : Extrait d'une étiquette de solution de Bétadine®

Substance active povidone iodée à 10% en masse

Excipients glycérol, macrogoléther laurique, phosphate disodique dihydraté, acide citrique monohydraté, hydroxyde de sodium, eau purifiée.

Densité $d = 1,01$

Masse molaire $M(\text{povidone iodée}) = 2362,8 \text{ g mol}^{-1}$.

 Définitions – Limite de détection et Limite de quantification

Lorsqu'on réalise une analyse, il peut être intéressant de connaître la plus petite valeur pour laquelle le signal relevé est différent du blanc. Cette caractéristique s'appelle *Limite de Détection* (notée L_D).

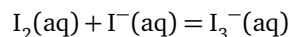
La limite de détection est donc la plus petite concentration pouvant être détectée mais non quantifiée dans les conditions expérimentales décrites de la méthode. Le blanc est la valeur résiduelle mesurée en l'absence d'espèce chimique.

À partir de la limite de détection, on est donc sûr, de la présence de l'espèce analysée (analyse). Ce n'est qu'à partir de la *Limite de Quantification* (notée L_Q) que l'on peut connaître la concentration de la substance avec une confiance acceptable.

La limite de quantification est la plus petite concentration pouvant être quantifiée avec une confiance acceptable dans les conditions expérimentales décrites de la méthode.


I Courbe d'étalonnage

En présence d'ions iodures en solution aqueuse, le diiode s'associe avec ces ions pour former l'ion triiodure I_3^- (ce qui explique la grande solubilité du diiode dans les solutions d'ions iodures, alors qu'il est très peu soluble dans l'eau pure) selon la réaction



C'est cet ion I_3^- qui est responsable de la couleur jaune de la solution. On dispose d'une solution de diiode à $c_0 = 8.10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ dans KI à $0,5 \text{ mol L}^{-1}$. On note S_0 cette solution.

Manipulation 1 Tracé du spectre d'absorption de la solution de diiode

- Prélever 15 mL de KI à 0,5 mol/L pour faire le blanc dans cette première partie à l'aide du bécher n° 1 de 50 mL.
- Après avoir allumé le spectrophotomètre et avoir laissé le démarrage se faire ( Ne pas ouvrir le spectrophotomètre tant que les réglages lors du démarrage s'effectue), remplir à l'aide d'une pipette pasteur la cuve^a du spectrophotomètre avec la solution de KI et suivre les instructions de la notice (présente sur la paillasse) afin d'effectuer le blanc entre 330 nm et 400 nm par pas de 2 nm.
- Prélever de la solution S_0 dans le bécher n° 2 de 50 mL.
- A l'aide de la seconde pipette pasteur, rincer puis remplir la cuve (la même que précédemment) du spectrophotomètre avec la solution S_0 .
Les solutions à jeter seront regroupées dans le verre à pieds disponible sur la paillasse, puis mis dans le bidon prévu à cet effet en fin de séance, placé sous la hotte devant à droite de la salle.
- À l'aide toujours de la notice du spectrophotomètre, réaliser le spectre de la solution (S_0) entre 335 nm et 400 nm (pas de 2 nm).
Avant toute mesure, penser à laver avec quelques gouttes la cuve avec la solution dont on veut mesurer l'absorbance.
- Imprimer le spectre d'absorption.

^a. Faites attention, les cuves peuvent avoir deux faces striées, prévues pour être manipulées, et deux faces planes traversées par le faisceau laser, et qui ne doivent donc pas être touchées avec les doigts.

1. Schématiser l'expérience des solutions à la cuve.

2. Choisir une longueur d'onde dans la gamme où l'absorption est maximale et expliquer ce choix : $\lambda = ?$.

On fera travailler le spectrophotomètre à cette longueur d'onde dans toute la suite du TP

Solution	(S ₀)	(S ₁)	(S ₂)	(S ₃)	(S ₄)
c(I ₂) en molL ⁻¹	8,0.10 ⁻⁵	6,4.10 ⁻⁵	4,8.10 ⁻⁵	3,2.10 ⁻⁵	1,6.10 ⁻⁵
Facteur de dilution					
Volume versé					
Absorbance					
Δ					

TABLE TP C1.1

3. **Dilutions.** Compte tenu de la verrerie disponible, et des documents d'introduction, justifier la gamme de cinq dilutions (S₀) à (S₄) appropriées pour réaliser la courbe d'étalonnage de l'absorbance d'une solution aqueuse de diiode dans KI en fonction de sa concentration.

4. Après avoir recopié le tableau TP C1.1, remplir les deux premières lignes.

Manipulation 2 Réalisation de la courbe d'étalonnage

- Réaliser avec précision à l'aide d'une burette graduée contenant S₀ les 2 solutions étalons S₁ et S₄ dans les deux fioles jaugées à votre disposition.
 - Pour cela, remplir de solution S₀ la burette, enlever l'excédent de S₀ afin de faire le 0 en mettant sous la burette le bécher n° 3 de 50 mL.
 - Mettre 20 mL dans la première fiole, 5 mL dans la seconde.
 - Remplir chaque fiole jusqu'au trait de jauge en deux fois avec la solution de KI en secouant entre les deux fois et en utilisant la pipette pasteur la seconde fois.
- Mesurer l'absorbance des solutions étalons, et compléter le tableau précédent.
La mesure de l'absorbance se fera toujours dans la même cuve.
On pensera à estimer la précision de la mesure de chaque absorbance.
- Réitérer après avoir rincé les deux fioles jaugées avec la solution de KI afin de réaliser les solutions étalons S₂ et S₃.

5. Après avoir tracé l'absorbance en fonction de la concentration, déduire des mesures précédentes la valeur du coefficient d'extinction molaire du diiode dans KI à la longueur d'onde de travail.

6. Schématiser les dilutions.

II Dosage d'une solution de concentration inconnue par étalonnage

Manipulation 3 Réalisation du dosage par étalonnage

- Prélever dans le bécher n° 4 de 50 mL environ 15 mL de solution de bétadine diluée dans une solution de KI à 0,5 mol/L (solution préalablement préparée par les techniciens du laboratoire de chimie).
- Mesurer l'absorbance de la solution de bétadine diluée.
On n'oubliera pas la précision.
- Éteindre le spectrophotomètre.
- En déduire la concentration en diiode de la solution à partir de la courbe d'étalonnage.
Représenter graphiquement ce point sur votre courbe d'étalonnage.

7. Sachant que la solution de bétadine est 2000 fois diluée par rapport à la solution commerciale, calculer la concentration en diiode dans la bétadine commerciale.

8. La polyvidone iodée est un « complexe » formé par l'association d'une molécule de polyvidone et d'une molécule de diiode.

Calculer le pourcentage de masse contenu dans la bétadine. Comparer avec la notice.

Manipulation 4 *Fin de séance*

- Jeter l'ensemble des solutions dans le verre à pieds.
- Rincer les 4 béchers, les deux fioles, les deux bouchons et les 2 pipettes pasteurs à l'eau distillée. Disposer les pièces de verrerie sur l'égouttoir de la paillasse.
- Rincer la cuve du spectrophotomètre à l'eau distillée et la poser à l'envers sur le porte cuve.
- **Pour le premier groupe (fin du TP à 11h), laisser la burette tel quel ; pour le second groupe (fin 13h), rincer la burette à l'eau distillée.** Laisser la burette à sa place.
- Aller jeter les solutions du verre à pieds dans le gros bidon plastique se situant à droite de la paillasse prof sous la hotte.

Phrases H et P

Iodure de potassium (KI) non applicable

Diiodure en solution d'iodure de potassium (I_2 dans KI – solution de Lugol)



H312 — Nocif par contact cutané

H332 — Nocif par inhalation

H400 — Très toxique pour les organismes aquatiques

TP C2

SUIVI CINÉTIQUE DE L'OXYDATION DES IONS IODURE PAR LES IONS PEROXODISULFATE PAR SPECTROPHOTOMÉTRIE

Durée : 2h

Ce TP aborde un exemple de suivi cinétique par spectrophotométrie.

Objectifs

liés au phénomène chimique • Déterminer une concentration en exploitant la mesure de grandeurs physiques caractéristiques du composé.

- Mettre en oeuvre une méthode de suivi temporel. Exploiter les résultats d'un suivi temporel de concentration pour déterminer les caractéristiques cinétiques d'une réaction.

liés à la technique expérimentale • Mesurer une absorbance.

- Prévention des risques chimiques : adopter une attitude adaptée au travail en laboratoire ; relever les indications sur le risque associé au prélèvement et au mélange des produits chimiques ; développer une attitude autonome dans la prévention des risques.
- Impact environnemental : adapter le mode d'élimination d'une espèce chimique ou d'un mélange en fonction de sa toxicité.

⚠ Remplir la cuve du spectrophotomètre jusqu'au trait sous la flèche.



← limite de remplissage

🔧 Matériel

verrerie 3 béchers de 50 mL, 1 bécher de 25 mL, 1 pipette jaugée de 5 mL, 1 pipette jaugée de 15 mL, 1 pipette jaugée de 10 mL ;

solutions 35 mL de solution d'iodure de potassium à $c_{KI} = 1,3 \text{ mol L}^{-1}$ fraîchement préparée, 20 mL de solution de peroxydisulfate de sodium ($\text{S}_2\text{O}_8^{2-}, 2 \text{ Na}^+$) à $c_{\text{per}} = 3 \cdot 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$;

autres un spectrophotomètre avec notice et une cuve, une pipette pasteur, une poire, agitateur magnétique.

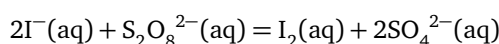
Rinçage ou pas ? Pour ce TP, une pièce de verrerie ou la cuve

- si elles sont sèches seront considérées comme propres et n'auront pas d'être rincées ;
 - si elles sont humides, elles auront par contre besoin d'être rincées
- ☞ pour les béchers, les pipettes et la cuve, avec la solution à mettre dedans.

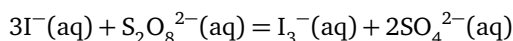
Lorsqu'on mélange une solution d'ions peroxydisulfate ($\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$) avec une solution contenant des ions iodures, la solution initialement transparente se colore progressivement en jaune-orangé. Ce changement de couleur traduit la formation de diiode dans le milieu réactionnel. On en déduit que la réaction qui se déroule est une réaction d'oxydo-réduction :

- ☼ les ions iodures I^- sont des réducteurs dans le couple redox (I_2/I^-), ils sont oxydés en diiode I_2 au cours de la réaction,
- ☼ les ions peroxydisulfate $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ est oxydant dans le couple redox ($\text{S}_2\text{O}_8^{2-}/\text{SO}_4^{2-}$), elle est réduite en ions sulfates au cours de la réaction.

Si on ne tient compte que des deux couples redox, la réaction d'oxydation des ions iodure par les ions peroxydisulfate en solution aqueuse s'écrit :



Comme on l'a vu dans le TP C1, en présence d'ions iodures en solution aqueuse, le diiode s'associe avec ces ions pour former l'ion triiodure I_3^- . La réaction d'oxydation des ions iodures peut donc s'écrire



La comparaison des potentiels standards des deux couples redox (I_2/I^-) et ($S_2O_8^{2-}/SO_4^{2-}$) permet d'affirmer que la réaction d'oxydation des ions iodures par les ions peroxydisulfates est totale (voir cours sur les équilibres redox en solution aqueuse). Expérimentalement, on constate qu'elle est cependant assez lente : il est donc possible d'étudier son déroulement par des méthodes classiques de suivi cinétique. C'est ce que nous allons faire au cours de ce TP. La réaction d'oxydation suit une loi de vitesse de la forme :

$$v = k[I^-]^\alpha[S_2O_8^{2-}]^\beta$$

Le but des expériences est de déterminer les ordres α et β , ainsi que la constante de vitesse k de la réaction. L'étude expérimentale va être conduite en utilisant une méthode physique de suivi, la méthode spectrophotométrique (UV-Visible), détaillée dans la fiche pratique du TP C1.

I Détermination de l'ordre partiel β par rapport aux ions peroxydisulfate

1 Mesures expérimentales

Manipulation 1 Premier suivi cinétique

- Allumer le spectrophotomètre.
 - ⚠ Ne pas ouvrir le spectrophotomètre tant que les réglages lors du démarrage s'effectuent.
 Si la mesure d'absorbance saturé dans la suite, cela signifie que vous avez ouvert le spectrophotomètre pendant cette phase d'autotests.
- Suivre la notice (avec mesure du blanc grâce à la solution d'iodure de potassium de concentration $1,3 \text{ mol L}^{-1}$ afin de préparer le spectrophotomètre (et le logiciel) à un suivi cinétique. Les mesures d'absorbance s'effectueront toutes les 8 secondes et sur une durée totale de 10 min.

Rappeler grâce à vos mesures du TP C1 la longueur d'onde de travail

$$\lambda_t = \quad \text{nm}$$
- Verser dans un bécher muni d'une agitation magnétique 15 mL d'iodure de potassium à l'aide de la pipette jaugée de 15 mL et ajouter rapidement 5 mL à l'aide de la pipette (voir utilisation de la propipette ou poire à la fin) de la solution de peroxydisulfate d'ammonium.
- Introduire rapidement mais sans précipitation un prélèvement du milieu réactionnel dans une cuve. L'insérer dans le spectrophotomètre et lancer le début du suivi cinétique.
- Une fois l'acquisition terminée, exporter les données dans un fichier texte et l'importer dans Regressi (voir explication à la fin si nécessaire).

- Schématiser l'expérience des solutions à la cuve.
- Vérifier en calculant les concentrations initiales que les conditions de dégénérescence sont largement satisfaites. Ré-écrire la vitesse de réaction en faisant intervenir une constante de vitesse apparente $k_{app,1}$.
- En utilisant la valeur d'absorbance à la fin de la réaction, ainsi que la concentration de réactif limitant initialement introduite, calculer et tracer en fonction du temps la concentration en diiode.
- Comparer la valeur d'extinction obtenue avec celle trouvée lors du TP C1.
- En déduire et tracer en fonction du temps la concentration en ions peroxydisulfate.

2 Étude expérimentale

6. Méthode différentielle

- (a) À l'aide de Regressi¹, calculer la vitesse de réaction en fonction du temps, puis tracer $\ln v$ en fonction de $\ln[S_2O_8^{2-}]$.

1. Grandeur/Tableau/Ajouter/Dérivée

(b) En déduire l'ordre partiel par rapport aux ions peroxodisulfates et la constante de vitesse apparente.

7. Méthode intégrale.

Vérifier par régression linéaire que l'ordre est bien celui déterminé par la méthode différentielle. En déduire la constante de vitesse apparente, comparer à la valeur mesurée par la méthode précédente.

II Détermination de l'ordre partiel α par rapport aux ions iodure

Manipulation 2 *Second suivi cinétique*

- Préparer le spectrophotomètre (et le logiciel) pour prendre un point de mesure d'absorbance à la longueur d'onde choisie à partir du spectre toutes les 8 secondes sur une durée totale de 20 min.
- Effectuer le blanc avec la solution de iodure de potassium.
- Verser dans un bécher muni d'une agitation magnétique 5 mL d'iodure de potassium à l'aide de l'éprouvette graduée, 10 mL d'eau distillée à l'aide de l'éprouvette graduée préalablement rincée et ajouter rapidement 5 mL à l'aide de la pipette de la solution de peroxodisulfate d'ammonium.
- Introduire rapidement mais sans précipitation un prélèvement du milieu réactionnel dans une cuve. L'insérer dans le spectrophotomètre et lancer le début du suivi cinétique.
- Une fois l'acquisition terminée, exporter les données dans un fichier texte et l'importer dans Regressi.

8. Schématiser l'expérience des solutions à la cuve.

9. Dans quelle condition est préparé le mélange réactionnel? Comment peut-on réécrire la vitesse de la réaction? On fera apparaître une constante de vitesse apparente $k_{app,2}$.

10. Méthode des temps de demi-réaction

- (a) Mesurer le temps demi réaction sur les deux acquisitions précédentes. En déduire les constantes de vitesse apparentes en supposant l'ordre partiel β trouvé précédemment.
- (b) À partir des résultats des deux expériences, déterminer l'ordre partiel par rapport aux ions iodure ainsi que la constante de vitesse.

Manipulation 3 *Fin de séance*

- Jeter l'ensemble des solutions dans le verre à pieds.
- Rincer les béchers, les pipettes jaugées et la pipette pasteur à l'eau distillée. Disposer les pièces de verrerie sur l'égouttoir de la paillasse si possible.
- Rincer la cuve du spectrophotomètre à l'eau distillée et la poser à l'envers sur le porte cuve.
- Aller jeter les solutions du verre à pieds dans le gros bidon plastique se situant à droite de la paillasse prof sous la hotte. Puis, rincer le verre à pieds à l'eau distillée.

Phrases H et P

Iodure de potassium (KI) non applicable


Diode en solution d'iodure de potassium (I_2 dans KI – solution de Lugol)



H312 — Nocif par contact cutané

H332 — Nocif par inhalation

H400 — Très toxique pour les organismes aquatiques

Thiosulfate de sodium ($S_2O_8^{2-}$, $2Na^+$) Irritant  Ne surtout pas mélanger avec l'acide sulfurique concentré.



TP M1

ÉTUDE DE MOUVEMENTS GRÂCE À UN ACCÉLÉROMÈTRE

Durée : 2h

Objectifs

liés au phénomène physique

- Mesurer une accélération.
- Proposer un protocole expérimental permettant d'étudier une loi force.

liés à la technique expérimentale

- Mettre en oeuvre un accéléromètre.
- Choisir de façon cohérente la fréquence d'échantillonnage et la durée totale d'une acquisition.

Matériel

- ordinateur avec Latis-Pro, Regressi et Pasco Capstone ;
- voiture miniature Capstone rouge sur son banc, module accéléromètre et capteur de force Capstone, clé USB bluetooth pour ordinateur et/ou câble usb/micro usb pour connecter la voiture à l'ordinateur ;
- jeux de ressorts avec support (potence/noix/pince) pour l'accrocher ;
- chronomètre ;

Matériel commun 3 tourne-disques avec alimentation pour faire varier la vitesse de rotation.

⚠ Ne jamais faire rouler la voiture sur un autre support que le banc : cela abîme les roues et les roulements. Ne jamais disposer la voiture sur les roues sur une table, elle pourrait rouler et tomber au sol. Penser à bien éteindre la voiture pendant l'exploitation des données pour éviter que la batterie ne s'épuise trop vite.

I Mouvement circulaire

Partie à faire en premier par 3 binômes pendant que les trois autres effectuent la seconde partie sur le ressort puis vice-versa au bout d'une heure.

L'objectif de ce TP est d'obtenir des informations sur l'accélération subie par un objet en rotation au moyen d'un accéléromètre. On utilisera ici comme objet une voiture capstone et le capteur sera l'accéléromètre que cette voiture comporte.

Manipulation 1 Prise en main du matériel.

- Lancer le logiciel PASCO Capstone (voir fiche en annexe)
- Vérifier que la voiture est bien connectée dans l'onglet « Interface Réglage » (à gauche)
- Si cela n'est pas le cas, il faut la connecter. Poser la voiture sur le banc et faire un enregistrement statique de quelques secondes.
- Tracer les accélérations selon chacun des axes en fonction du temps.

1. Décrire les courbes obtenues.
2. En déduire la grandeur mesurée par la voiture (position, vitesse, accélération, force, . . .) ainsi que son unité.
3. À l'aide des tracés précédents et/ou des tableaux des valeurs obtenues, déterminer la précision que l'on peut attendre des mesures effectuées à l'aide des accéléromètres de la voiture.
4. En répétant la prise de mesure précédente pour différentes orientations de la voiture, déterminer les directions et les orientations des axes X, Y, Z par rapport à la voiture.
5. Reproduire grossièrement et compléter la figure TP M1.1 avec le nom et l'orientation des axes.

6. Proposer un protocole afin de mesurer $a_x = 9,8 \text{ m s}^{-2}$, $a_y = 0$ et $a_z = 0$; puis $a_z = -9,8 \text{ m s}^{-2}$, $a_x = 0$ et $a_y = 0$, les mettre en oeuvre.
7. En prenant la voiture dans vos mains, régler la position de la voiture de manière à obtenir $a_x = 4,9 \text{ m s}^{-2}$, $a_y = -8,5 \text{ m s}^{-2}$ et $a_z = 0$. Observez l'angle que fait la voiture avec la verticale descendante. Cela vous paraît-il logique? A quoi peut donc servir un accéléromètre en dehors de mesurer l'accélération?

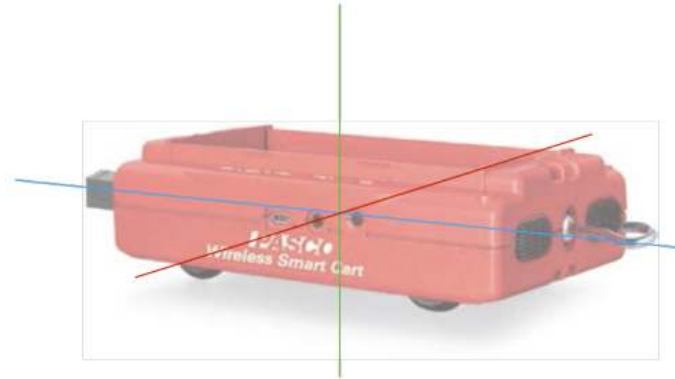


FIGURE TP M1.1

L'accéléromètre de la voiture est suffisamment petit pour être considéré comme ponctuel. Cette partie a pour but de :

- ☞ vérifier que le mouvement d'un point d'un solide en rotation uniforme autour d'un axe fixe est un mouvement circulaire et uniforme dont le centre est situé sur l'axe de rotation ;
- ☞ déterminer où est placé l'accéléromètre (A) de la voiture.

Manipulation 2 Acquisition du mouvement circulaire

- À l'aide des sangles, fixer la voiture, les roues vers le bas, sur le tourne disque.
- **Attention : si elle est mal fixée, la voiture peut être projetée et abimée si elle tombe.**
- Mesurer la distance d séparant le centre de la voiture (A) de l'axe de rotation du tourne disque aussi précisément que possible.
- Lancer le tourne disque, attendre que sa vitesse de rotation se stabilise et faire un acquisition de quelques secondes.
- Sauvegarder le fichier de mesure sous un nom qui permet de deviner la vitesse de rotation utilisée pour cet essai.
- Recommencer les deux étapes précédentes pour différentes vitesses angulaires.
- Pour une vitesse angulaire donnée, déterminer le nombre de tour par minute effectué par le tourne disque (on pourra se servir du chronomètre).

8. Vérifier que l'accélération selon la verticale est quasiment identique lors des différentes prises de mesures. À quoi correspond-elle?
9. Déterminer l'accélération moyenne selon les autres axes $a = \sqrt{\ddot{x}^2 + \ddot{z}^2}$ pour chacune des vitesses de rotation.
On pourra utiliser l'accélération résultante $a_r : a = \sqrt{a_r^2 - \ddot{y}^2}$.
Dans l'onglet Calculatrice à gauche, taper
`a=rcncar([Accélération - résultante (m/s2), ▼]2-[Accélération - y, (m/s2), ▼]2)`
10. Dresser un tableau faisant apparaître les données a et ω relevées, ainsi que leurs incertitudes.
11. À l'aide d'un tableur de votre choix, convertir ces grandeurs et les incertitudes associées en unité du système international.
12. Rappeler l'expression de l'accélération d'un point M d'un solide en rotation autour d'un axe fixe Δ en fonction de la vitesse angulaire ω de la rotation du solide autour de Δ et de la distance r séparant M de Δ .

13. À l'aide d'une régression linéaire bien choisie, vérifier que l'accélération a mesurée est bien de la forme voulue et déterminer la distance r séparant l'accéléromètre de l'axe de rotation du tourne disque.
14. Comparer d et r . Conclure.

II Mouvement oscillatoire rectiligne

Partie à faire en premier par 3 binômes pendant que les trois autres effectuent la première partie sur le mouvement circulaire puis vice-versa au bout d'une heure.

Lorsque l'accéléromètre est en translation, il suffit de déterminer le mouvement d'un de ses points pour déterminer entièrement son mouvement. Cette partie a pour but de :

- ☞ mesurer le mouvement de l'accéléromètre placé dans le capteur de force/accéléromètre blanc B lors d'un « saut à l'élastique » (on remplacera l'élastique par un ressort) ;
- ☞ déterminer s'il s'agit d'un mouvement harmonique ;
- ☞ déterminer une loi de force à partir d'une accélération.

Manipulation 3 Acquisition du mouvement rectiligne

- Réaliser un montage mécanique permettant de réaliser un saut à l'élastique. Le capteur de force/accéléromètre est fragile, il faut donc bien l'accrocher à l'aide du crochet métallique. Par ailleurs, il faut vérifier que sa position d'équilibre est loin du sol et disposer un morceau de mousse ou de papier bulle à sa verticale pour éviter qu'il n'aille toucher directement le sol en cas de problème. Vérifier également qu'il ne risque pas d'aller se fracasser sous la table lors de sa remontée.
Ainsi, parmi le jeu de ressorts à disposition, on choisira un ressort qui reste au maximal vertical pendant les oscillations et qui est allongé entre 2 cm et 5 cm grosso modo par l'accéléromètre.
- Lâcher le dispositif sans vitesse initiale d'un point différent de la position d'équilibre, puis lancer l'acquisition pendant quelques minutes.

15. En supposant le mouvement parfaitement harmonique, déterminer la raideur du ressort.
16. Lorsque l'on observe de nombreuses oscillations, quel est le phénomène observé ?
17. En mesurant l'évolution de l'amplitude des oscillations et à l'aide d'une régression linéaire, déterminer le temps de relaxation τ , puis le facteur de qualité Q de cet oscillateur.

III Annexe : Logiciel Capstone et voiture SmartCar.

Les voitures, accéléromètres et capteurs de force PASCO sont reliés à l'ordinateur par un module bluetooth ou par câble. Il convient dans un premier temps de vérifier que ce dernier est bien connecté à l'ordinateur. Les données sont analysées par le logiciel CAPSTONE qui gère l'acquisition, mais aussi la visualisation et le traitement/analyse des données.

Glisser la souris sur n'importe quel bouton permettra de comprendre la fonctionnalité de ce dernier.

1 Description des capteurs PASCO

1.1 Mobile SmartCar sans fil

Le Smart Cart sans fil peut être connecté à un périphérique sans fil ou en USB pour se connecter à un ordinateur ou une tablette avec le logiciel CAPSTONE ou SPARKVue. Via Bluetooth® (version 4.2 ou ultérieure), ou un micro-câble USB (inclus).

La Smart Cart possède un corps en ABS très résistant, un lanceur à trois positions et des roues presque sans frottement. Il comprend des capteurs intégrés qui mesurent :

- la force (± 100 N),
- la position, vitesse et accélération selon une direction à l'aide d'un codeur optique sur la roue.
- l'accélération en 3 dimensions ($\pm 16g$)



- la vitesse angulaire jusqu'à ± 245 degrés par seconde (dps) à l'aide d'un gyroscope, capable de mesurer le mouvement de rotation selon trois axes.

La Smartcar peut faire ses mesures sur ou hors d'un banc dynamique, suivre et transmettre ses données sans fil. Pour une identification facile, La Smart Cart est disponible en rouge (ME-1240) ou en bleu (ME-1241). La masse est d'environ 0,250 kilogramme (environ 250 grammes). Il a des points de fixation aux extrémités. Des Velcro® pour des collisions inélastiques sur une extrémité. Le pare-chocs magnétique, pièce jointe, et l'accessoire de crochet s'insèrent dans le trou fileté de l'autre extrémité. Le logiciel de collecte de données PASCO peut également montrer l'accélération résultante. L'encodeur sur la roue de la Smart Cart mesure le mouvement à un maximum de 3,0 mètres.

1.2 Capteur de Force, d'Accélération et de vitesse angulaire sans fil



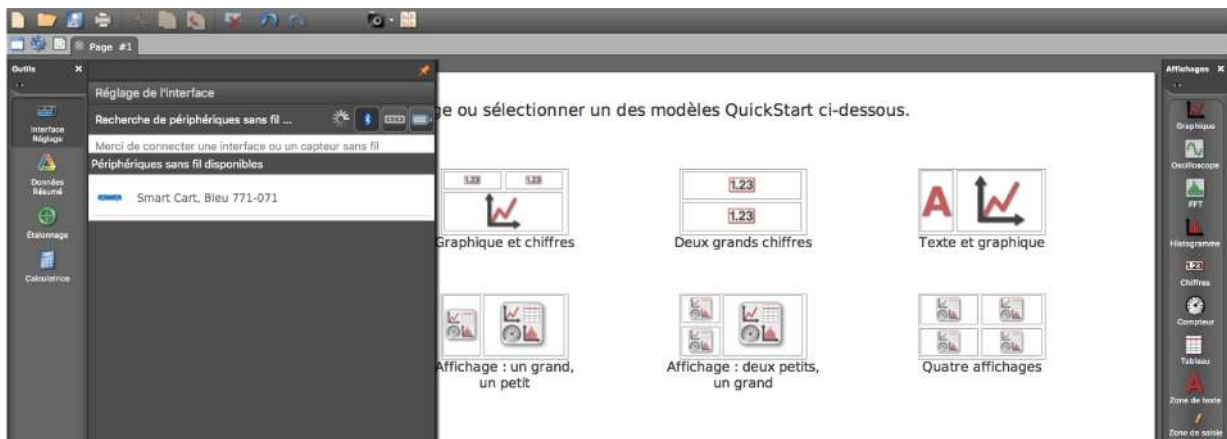
Le Capteur de Force et d'Accélération PS-3202 est capable de mesurer simultanément une force ($\pm 50\text{N}$), une Accélération sur 3 axes ($\pm 1g$) mais également une vitesse angulaire sur 3 axes.

Les mesures sont transmises par Bluetooth® ou USB. Le capteur fonctionne en se connectant directement aux logiciels (CAPSTONE ou SPARKvue). Le capteur fonctionne sur batterie.

2 Mise en route et connexion à l'accéléromètre

- Lancer le logiciel PASCO Capstone et allumer la voiture. Le voyant bluetooth doit clignoter.

- Dans l'onglet « Interface Réglage », cliquer sur Smart Cart pour connecter la voiture. Cliquer de nouveau sur « Interface Réglage » pour fermer cet onglet.



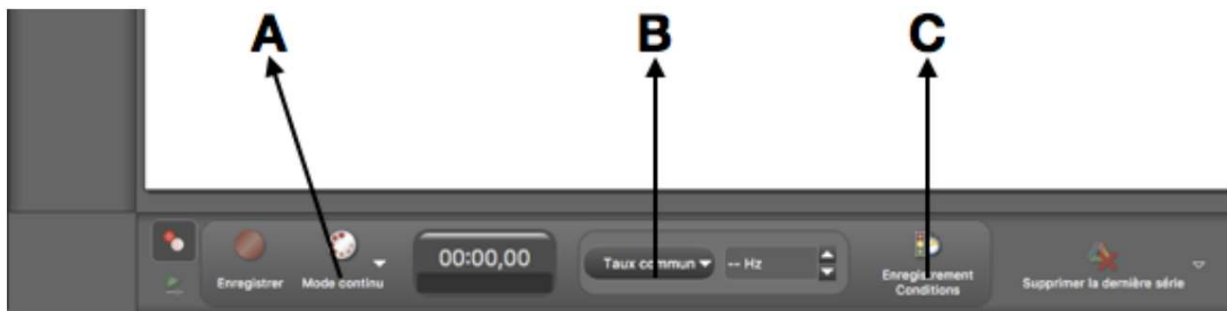
3 Réglage de l'acquisition

On peut choisir entre les trois modes d'acquisition.

Mode continu (A) L'acquisition est déclenchée pour une certaine durée. On peut régler la fréquence d'échantillonnage pour chaque capteur (B)¹. On peut choisir une consigne de déclenchement sur une grandeur mesurée ou sur un autre critère (C).

Mode retenir sur commande correspond au mode pas-à-pas de Latis Pro. On prévisualise les données et on peut retenir la valeur de chaque capteur pour différents paramètres extérieurs. On peut aussi créer une nouvelle donnée utilisateur pour entrer une grandeur non mesurée par l'appareil. Par exemple, lors de l'étude de la loi de force magnétique, on peut rentrer la valeur de l'angle θ entre l'horizontale et le banc, ainsi que la distance d d'équilibre entre la voiture et l'aimant. La voiture retiendra sur commande les valeurs mesurées par les capteurs pour chaque valeur de d et θ .

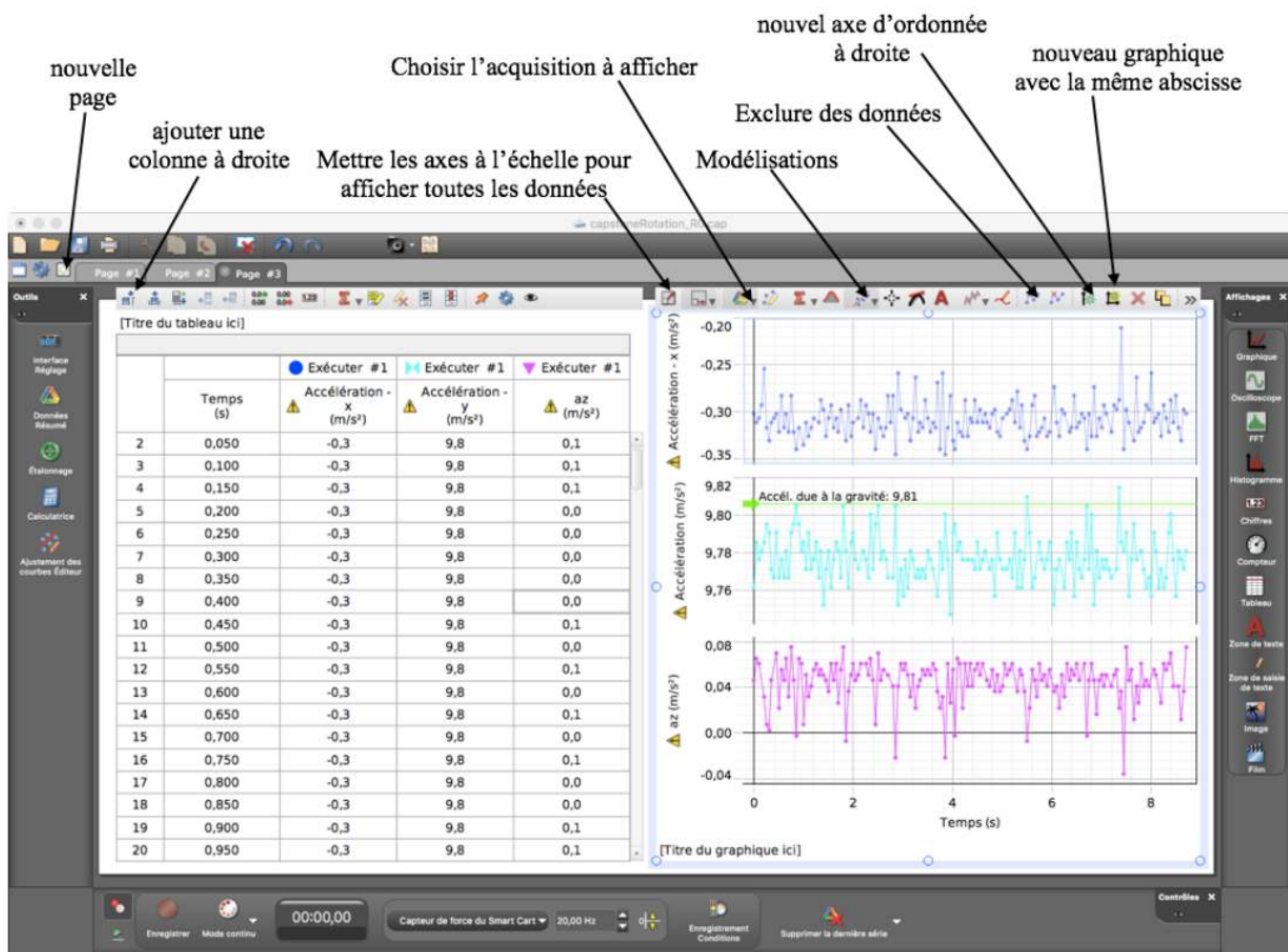
Mode de contrôle rapide permet de contrôler ce que les capteurs mesurent, en particulier les valeurs extrêmes pour chaque capteur lors d'un mouvement. ce mode est très utile pour comprendre ce que mesure chacun des capteurs en fonction du mouvement de la voiture et comment fonctionne chacun de ces capteurs.



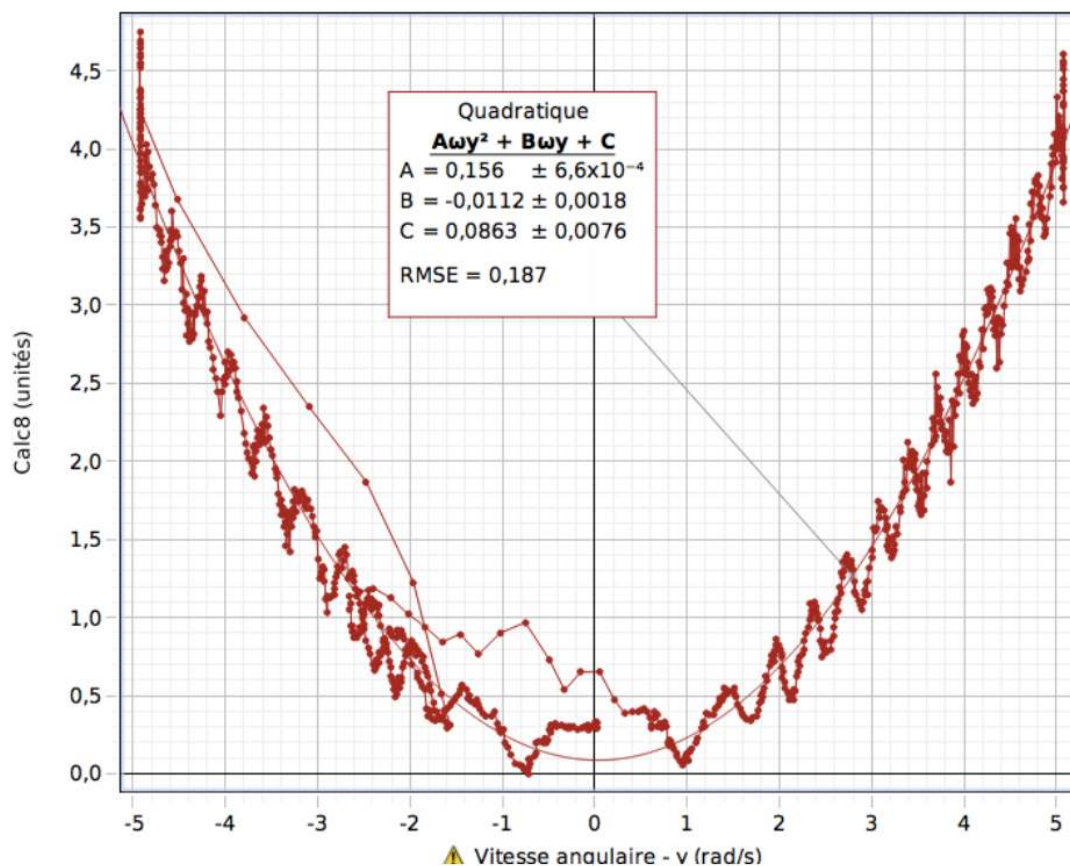
4 Affichage des données à visualiser

- Choisir deux affichages et les disposer l'un à côté de l'autre. Dans l'affichage de gauche choisir un tableau et ajouter le temps, et chacune des composantes de l'accélération. Dans l'affichage de droite, choisir un graphique et afficher les trois composantes de l'accélération en fonction du temps.
- Ouvrir une nouvelle page et afficher un tableau et un nouveau graphique.
- On peut définir une nouvelle grandeur calculée comme dans l'exemple ci-dessous. Clic-droit dans la barre de calcul permet de choisir les données, ou les fonctions à utiliser (il peut être nécessaire de renommer certaines données si des mesures ne sont pas reconnues).

1. Taux commun signifie que l'on règle la fréquence d'échantillonnage pour tous les capteurs en même temps.



- On peut aussi effectuer plusieurs modélisations. Une fois cette fonctionnalité activée, un nouvel onglet en bas à gauche apparaît pour régler les paramètres d'ajustements.
- Finalement, on peut exporter les données dans un fichier texte qui peut être lu par Regressi (attention, il faut toutefois modifier l'en-tête de ce fichier pour que ce soit compréhensible par Regressi). Il faut aussi que les fréquences d'échantillonnage soient identiques pour tous les capteurs sinon il y aura des trous.



5 Calculatrice

- Dans l'onglet « Calculatrice », on peut créer des nouvelles grandeurs qui seront à exprimer en fonction des données acquises.
- Pour insérer des données dans une formule, il faut faire un clic droit et sélectionner insérer des données.
- Pour utiliser des fonctions mathématiques, il vaut mieux utiliser le clavier de la calculatrice en dessous des grandeurs calculées.
- Cliquer de nouveau sur « Calculatrice » pour fermer cet onglet.

The image shows a scientific calculator interface with a table of calculations and a formula display.

	Calculs	Unités
1	$a = \text{rcncar}([\text{Accélération} - z, \text{Bleu} (\text{m/s}^2)]^2 + [\text{Accélération} - x, \text{Bleu} (\text{m/s}^2)]^2)$	m/s ²
2	$a2 = \text{rcncar}([\text{Accélération} - \text{résultante}, \text{Bleu} (\text{m/s}^2)]^2 + [\text{Accélération} - y, \text{Bleu} (\text{m/s}^2)]^2)$	m/s ²
3		

Attribution de la mesure OK

$$a = \sqrt{[\text{Accélération} - z, \text{Bleu} (\text{m/s}^2)]^2 + [\text{Accélération} - x, \text{Bleu} (\text{m/s}^2)]^2}$$

The calculator interface includes a sidebar with options: Interface Réglage, Données Résumé, Étalonnage, and Calculatrice. The main display shows a table with two rows of calculations, each resulting in m/s². Below the table, there is a formula display and a keypad with various mathematical functions like sin, cos, tg, arcsin, arccos, arctg, x², e^x, 10^x, √, LN, LOG, y^x, 1/x, !, abs, EE, and °.

TP M2

ANALYSE D'UN MOUVEMENT

Durée : 2h

Objectifs

liés au phénomène physique

- Proposer un protocole expérimental permettant d'étudier une loi de force.
- Prendre en compte la trainée pour modéliser une situation réelle.
- Vérification d'une loi physique ou validation d'un modèle ; ajustement de données expérimentales à l'aide d'une fonction de référence modélisant le phénomène.

liés à la technique expérimentale

- Enregistrer un mouvement à l'aide d'une caméra numérique et mesurer la trajectoire.
- Utiliser un logiciel de pointage vidéo (ici Tracker a été choisi, logiciel libre disponible sous Linux, Mac et Windows, <https://physlets.org/tracker/>).
- Utiliser les données $x(t)$ et $y(t)$ pour calculer les vecteurs vitesses et accélérations.

Matériel

- ordinateur avec Latis-Pro, Virtual-Dub et Tracker ;
- webcam avec connectique ;
- potence avec noix et une pince à 3 doigts recouvert de plastique ;
- grande éprouvette remplie de glycérol à 95% ;
- petite éprouvette de 25 mL ;
- billes en plastique opaque ;

Matériel commun balance.

Matériel personnel votre smartphone sur lequel vous avez installé Phyphox ou Physics toolbox, câble USB-C ou lightning (connectique de votre smartphone) – USB A pour connecter votre smartphone à l'ordinateur ou clé USB à 2 embouts (USB C, USB A), fichier Jupyter TP_M2_AnalyseMvt.s.ipynb à récupérer sur cahier de prépa.

I Travail préparatoire – étude de chronophotographies

1 Principe

Sur une chronophotographie se trouvent les positions d'un même objet à différents instants régulièrement espacés. Notons ces positions M_0, M_1, \dots correspondant aux instants t_0, t_1, \dots

Grâce à ces positions, il est possible de tracer les vecteurs vitesse et accélération.

Le vecteur vitesse est par définition à l'instant t_i ,

$$\vec{v}_i = \lim_{dt \rightarrow 0} \frac{\overrightarrow{OM}(t_i + dt) - \overrightarrow{OM}(t_i - dt)}{2dt} \quad (\text{TP M2.1})$$

Si on suppose l'intervalle de temps Dt petit entre deux positions successives, nous pouvons approcher la vitesse par

$$\vec{v}_i = \frac{\overrightarrow{OM}_{i+1} - \overrightarrow{OM}_{i-1}}{2Dt} \propto \overrightarrow{M_{i-1}M_{i+1}} \quad (\text{TP M2.2})$$

Ainsi la représentation du vecteur $\overrightarrow{M_{i-1}M_{i+1}}$ en M_i donne une estimation du vecteur vitesse \vec{v}_i .

Le vecteur accélération est par définition à l'instant t_i ,

$$\vec{a}_i = \lim_{dt \rightarrow 0} \frac{\vec{v}(t_i + dt) - \vec{v}(t_i - dt)}{2dt} \quad (\text{TP M2.3})$$

Si on suppose l'intervalle de temps Dt petit entre deux positions successives, nous pouvons approcher l'accélération par

$$\vec{a}_i = \frac{\vec{v}_{i+1} - \vec{v}_{i-1}}{2Dt} = \frac{\overrightarrow{M_i M_{i+2}} - \overrightarrow{M_{i-2} M_i}}{(2Dt)^2} \propto \overrightarrow{M_i M_{i+2}} - \overrightarrow{M_{i-2} M_i} \quad (\text{TP M2.4})$$

Ainsi la représentation du vecteur $\overrightarrow{M_i M_{i+2}} - \overrightarrow{M_{i-2} M_i}$ en M_i donne une estimation du vecteur accélération \vec{a}_i .

2 Exploitation de chronophotographies

Manipulation 1 Exploitations de chronophotographies

En annexe se trouvent trois chronophotographies correspondant à la chute d'un volant de badminton, au mouvement le long d'un plan incliné d'une masse, au mouvement de balancement d'une masse au bout d'un fil.

- Construire les vecteurs vitesse et accélération en chaque point où c'est possible.

Les vitesses et les accélérations n'étant pas homogènes à des longueurs, une échelle arbitraire doit être choisie pour les représenter. Par exemple,

- pour la norme du vecteur vitesse, 1 cm peut représenter une vitesse de $1 \text{ cm}/(2Dt)$.
- pour la norme du vecteur accélération, 1 cm peut représenter une accélération de $1 \text{ cm}/(2Dt)^2$.
- Commentez vos résultats.

II Chute d'une bille dans un fluide visqueux

1 Étude théorique du mouvement

On considère une bille de plastique de masse volumique ρ_p , de rayon R , en mouvement de chute verticale dans un mélange eau-glycérol $\rho_g < \rho_p$. On donne l'expression de la force de frottement fluide, dite "force de Stokes" ou plus généralement "trainée", pour une bille située dans un milieu infini et se déplaçant suffisamment lentement pour que l'écoulement autour d'elle soit laminaire (c'est-à-dire sans turbulences) :

$$\vec{f} = -6\pi\eta R \vec{v} \quad (\text{TP M2.5})$$

où \vec{v} sa vitesse et η la viscosité du fluide.

La masse volumique du glycérol à 95% est $\rho_g = 1,25 \text{ kg L}^{-1}$.

1. Déterminer l'équation du mouvement de la bille et en déduire qu'elle atteint une vitesse limite.
2. Quels sont le temps caractéristique et la distance caractéristique mis par la bille pour atteindre cette vitesse limite ? Pour ce faire, on pourra adimensionner l'équation du mouvement.
3. Déterminer l'ordre de grandeur de ces deux grandeurs ainsi que celle de la vitesse limite sachant que $\rho_p - \rho_g \simeq 0,1 \text{ kg L}^{-1}$, $\eta \simeq 100 \text{ mPa s}$.
4. Commenter la possibilité d'observer ou non ces phénomènes et ces différentes grandeurs.

2 Étude expérimentale

Le but de cette partie est d'acquérir le mouvement de chute d'une bille en plastique dans un tube en plexiglass rempli d'huile. Ce mouvement sera traité à l'aide de Tracker qui accepte les fichiers d'extension mp4, avi, wmv, flv, or mov. Il faut donc régler le logiciel d'acquisition pour obtenir un fichier sous ce format. Par ailleurs, pour être exploitable, la vidéo doit comporter une échelle et pour que cette échelle soit fiable, il faut qu'elle soit située le plus proche possible de la trajectoire étudiée afin de minimiser les erreurs de parallaxe.

Manipulation 2 Réalisation de la vidéo

- En supposant plusieurs billes identiques, mesurer la masse de quelques billes, en déduire la masse d'une bille.
- A l'aide de l'éprouvette graduée de 25 mL, d'eau et de quelques billes, mesurer le volume d'une bille et en déduire son rayon R .

Manipulation 3 Réalisation de la vidéo

- A l'aide de votre téléphone et du matériel disponible, réaliser la vidéo de la chute de bille dans le glycérol ou
ou
A l'aide de la webcam, réaliser la vidéo de la chute de bille dans le glycérol grâce au logiciel VirtualDub.
Les réglages préliminaires sont
 - ⇒ Sélection du type de fichier : dans l'onglet File choisir Capture AVI.
 - ⇒ Sélection du nom du fichier : dans l'onglet File choisir Set Capture File et entrer le nom du fichier.
 - ⇒ Sélection de la Webcam à utiliser : dans l'onglet Device sélectionner le nom de la Webcam.
 - ⇒ Réglage des caractéristiques des images : dans l'onglet Video sélectionner Capture PIN et utiliser les réglages suivants : fréquence image : 30 ; espace de couleurs/compression : IYUV ; taille sortie : 640 × 480.
- Effectuer le pointage du mouvement de translation de la bille.
L'origine du repère sera fixée à la position initiale de la bille.
- Exporter les données en csv pour pouvoir les traiter à l'aide du Notebook Python fourni
TPM2_AnalyseMvts_Notebook.ipynb.

2.1 Étude cinématique**Approche naïve**

5. A l'aide de Tracker, tracer les vecteurs vitesse et accélération le long de la trajectoire.

Que pensez-vous des différents signaux obtenus et notamment du bruit qu'ils présentent. Sont-ils exploitables ? Si oui, comment ?

Remarque à retenir : la dérivation fait toujours apparaître des problèmes de bruit haute fréquence. On peut le comprendre en notant que dériver un signal temporel sinusoïdal revient à multiplier sa représentation fréquentielle par $j\omega = j2\pi f$. Lors d'une dérivation, l'amplitude d'une composante est donc d'autant plus amplifiée que sa fréquence est élevée.

Approche avec lissage Utilisation du fichier Python.

6. En traçant les vecteurs vitesse au niveau des positions, vérifier que la vitesse est colinéaire à la trajectoire. Commenter.
7. Après avoir tracé les vecteurs accélération au niveau des positions, commenter.

2.2 Étude dynamique à l'aide de la vitesse

On étudie le mouvement d'une masse m dans le RTSG soumis à son poids \vec{P} , à la poussée d'Archimède $\vec{\Pi}$ et à la force de Stokes \vec{f} du fil.

D'après le PFD, $m\vec{a} = \vec{P} + \vec{\Pi} + \vec{f}$, ce qui donne $\vec{f} = m\vec{a} - \vec{P} - \vec{\Pi}$.

8. Tracer $m\vec{a} - \vec{P} - \vec{\Pi}$ au niveau des positions. Commenter.
9. Proposer un tracé qui permettrait de mesurer la viscosité η . En déduire une estimation de la viscosité η .

2.3 Étude dynamique à l'aide de la trajectoire

10. Décrire la courbe traçant l'évolution de la position en fonction du temps.
11. Dans sa partie linéaire, modéliser cette courbe au mieux.
12. Quelle est la vitesse de chute de la bille dans le tube ? Quelle précision peut-on attendre de cette mesure ?

13. À l'aide du modèle du mouvement de chute de la bille dans le glycérol, déterminer la force de frottement fluide s'exerçant sur la bille au cours de ce mouvement.
14. En déduire la viscosité de l'huile, son incertitude, ainsi que son unité en unité de base du système international.

III Réalisations pratiques

1 Réalisations des vidéos

Une vidéo est une succession d'images. Une vidéo est donc caractérisée entre autre par le nombre d'images par seconde. Par exemple, pour l'iPhone 12, le nombre d'images par seconde (fps=frame per second) est au maximum de 120. Chaque image est supposée correspondre à une configuration instantanée et chaque instantané est séparé de la durée $Dt = 1/\text{fps}$. Par exemple, si le nombre d'images par seconde est de 120, alors $Dt = (1/120) \text{ s} = (8,33 \pm 0,07) \times 10^{-3} \text{ s}$.

Pour réaliser des vidéos exploitables, plusieurs conseils et contraintes sont à avoir en tête.

1. L'environnement doit être le plus lumineux possible. En effet, nous voulons au maximum avoir des instantanées de la masse étudiées et donc que le temps de pose soit le plus court possible pour éviter les effets de flous dû à des temps de pose trop longs.

Ainsi s'il ne pleut pas et qu'il n'y a pas trop de vent, l'idéal est d'effectuer votre enregistrement vidéo dehors.

2. De même, si votre smartphone possède un mode vidéo ralenti, pour la même raison, utilisez-le.

Vous pourrez juste vérifier le nombre d'images par seconde, ie la durée Dt entre chaque instantanée constituant votre enregistrement vidéo en effectuant l'enregistrement d'un chronomètre fonctionnant.

3. Le mouvement filmé doit avoir lieu autant que possible dans un plan perpendiculaire à la ligne de visée du smartphone comme le schématise la figure TP M2.1.

4. Le mouvement doit avoir lieu autant que possible proche de la ligne de visée.

Ainsi par exemple, pour le mouvement sur le plan incliné filmé de côté, on ne doit voir que la tranche du plan incliné et donc ni le dessus ni le dessous du plan incliné.

5. On doit bien sûr voir la masse dont on étudie le mouvement. Un fond uniforme contrasté avec l'objet en mouvement peut ainsi aider d'où la présence de draps noir ou blanc sur le chariot avec le matériel.

6. Pour exploiter la vidéo, il doit être possible de déterminer l'échelle des photographies successives. Des mètres sont ainsi à disposition afin que vous puissiez repérer cette échelle.

La distance étalon doit se situer autant que possible dans le plan du mouvement sans gêner ni le mouvement ni la visualisation de l'objet en mouvement.

7. Enfin, la vidéo est effectuée à l'aide de votre smartphone. Si celui-ci est vertical, l'exploitation des résultats n'en sera que facilitée.

Pour cela, une fois le smartphone en place, réglez son inclinaison par exemple en ouvrant l'application PhyPhox, puis l'outil Inclinaison, puis l'onglet VERTICAL. Modifiez l'orientation de votre téléphone de manière à ce que les deux angles affichés soient le plus proches possibles de zéro.

Sur la figure TP M2.2, se trouve une explication des deux angles.

2 Réalisation d'une chronophotographie

1. Ouvrir la vidéo avec Tracker.

Dans Vidéos → Filtres → Nouveau → Pivoter, cliquer sur Rotation±90° si nécessaire.

2. Repérer les numéros de la première et de la dernière image qui vous intéressent.

3. Décomposer votre vidéo en succession d'images instantanées.

Sous Windows il semble possible d'utiliser vlc ?

Sous Mac et Linux vous pouvez utiliser la commande ffmpeg en tapant en terminal

```
1 ffmpeg -i video.avi Dossier_images/image_%04d.png
```

Dans le répertoire contenant les images, effacer les images inutiles. Garder une dizaine d'images régulièrement espacées en temps.

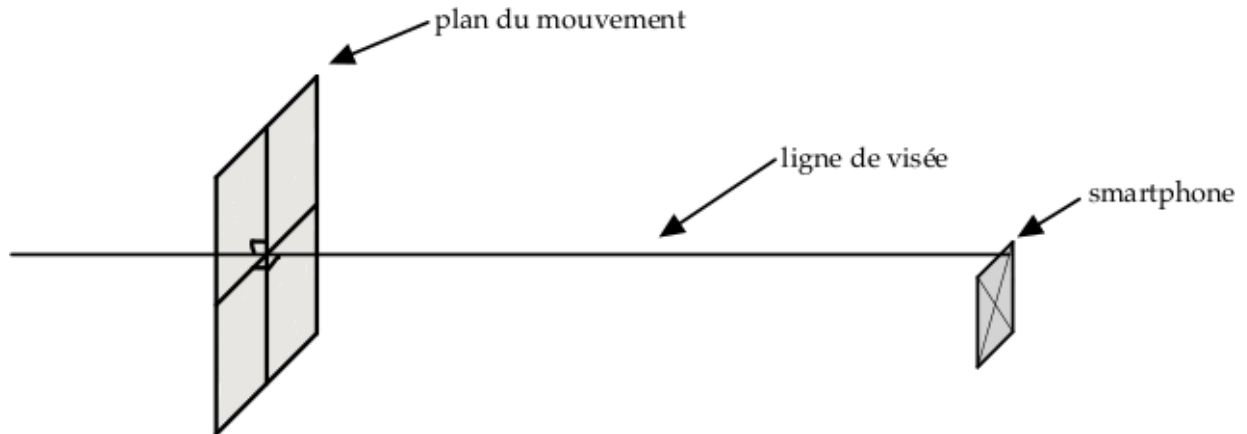


FIGURE TP M2.1 – Schéma de la disposition idéale entre le smartphone et le mouvement.

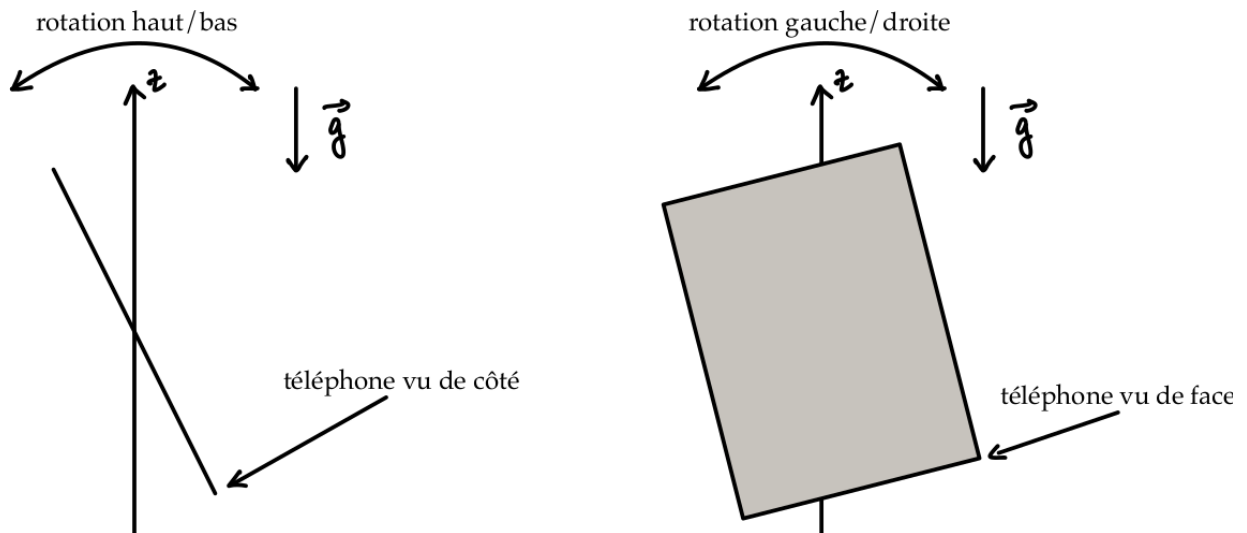




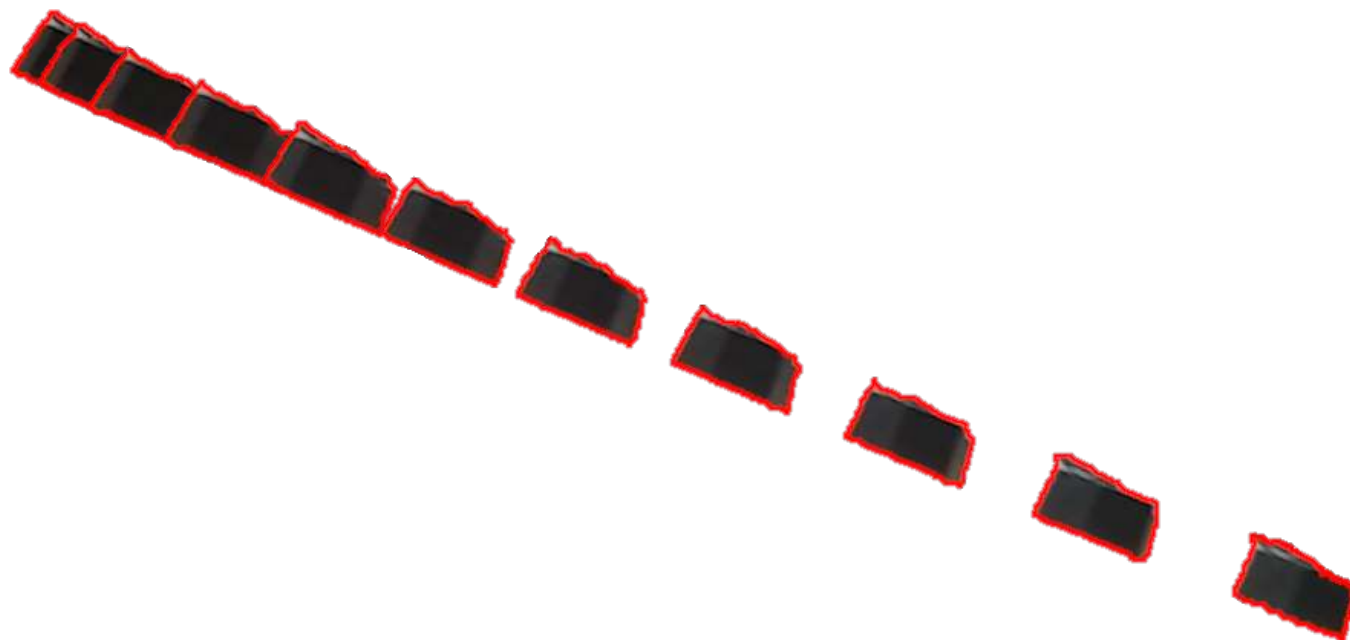


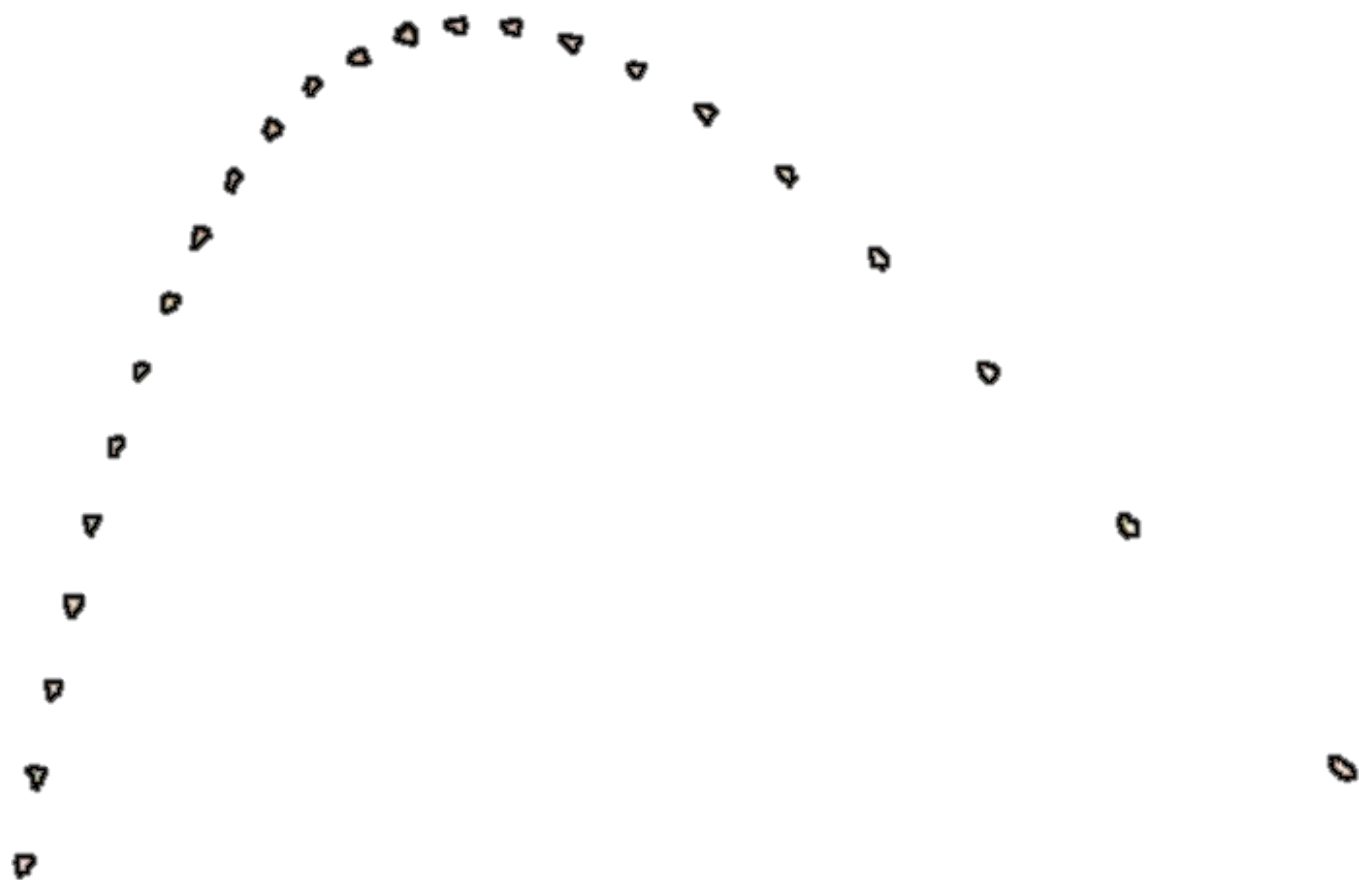
FIGURE TP M2.2 – Schéma explicatif des deux angles rotation haut/bas et rotation gauche/droite du mode vertical de l'outil inclinaison de l'application Phyphox.

4. Ouvrir avec Gimp ces 10 images en tant que calques, ie lancer Gimp, puis aller dans “Fichier” → “Ouvrir en tant que calques...”
Les différents images apparaissent en tant que calque dans le menu de droite.
5. Clic-droit sur chaque calque et sélectionner “ajouter un calque alpha”.
6. A gauche de chaque calque se trouve un oeil, cliquer sur chaque oeil sauf les deux premiers afin de les rendre tous invisibles sauf les deux premiers.
7. Sur le deuxième calque que vous avez sélectionné, sélectionner à l’aide de l’outil sélection (rectangulaire ou elliptique selon la forme de l’objet) l’objet dans sa grande majorité, compléter si nécessaire avec l’outil sélection à main levée en mode “ajouter à la sélection actuelle” disponible dans le menu de gauche. Inverser la sélection, soit dans le menu “Sélection” → “Inverser”, soit en tapant sur les touches Ctrl+I. Cliquer alors sur “Supprimer”.
8. Rendre le troisième calque visible, le sélectionner dans le menu de droite, puis procéder de même en sélectionnant l’objet, en inversant la sélection puis en supprimant la sélection.
9. Répéter pour tous les calques. Vous avez alors obtenu une chronophotographie.

3 Réalisation d’un pointage

1. Ouvrir la vidéo avec le logiciel Tracker.
2. Repérer la première et la dernière images que vous souhaitez étudier.
3. Clic-droit sur la vidéo puis aller dans “Inspecteur de vidéo”.
Modifier l’image de départ et l’image finale selon les numéros que vous venez de relever. Modifier la vitesse de défilement si vous avez filmé en mode ralenti (indiquer 240 images par seconde sur la vidéo de la chute du volant de badminton). Modifier enfin la taille de l’incrément afin de ne pointer que 100 images environ au minimum (plus il y a d’images, plus le pointage est long sauf si vous arrivez à faire un .
4. Cliquer dans le menu du haut sur , puis “Nouveau”, puis “Bâton de calibration” pour définir l’échelle à l’aide de la distance étalon présente sur vos images.
5. Cliquer dans le menu du haut sur  pour définir l’origine.
N’hésitez pas pour le bâton de calibration et l’origine du repère à utiliser dans le menu à gauche le bouton  183% pour grossir l’image affichée par Tracker.
6. Pour repérer les différentes positions de l’objet en mouvement, cliquer dans le menu supérieur sur “Trajectoires” → “Nouveau” → “masse ponctuelle”.
En cliquant ensuite sur “masse A”, vous pouvez changer certaines propriétés. On peut choisir comme Empreinte par exemple un point.
7. On pointe la position de l’objet en cliquant sur la touche Maj-Shift+clic-gauche.
8. En cliquant sur , on peut choisir d’afficher la trajectoire (Path), les vecteurs vitesse et accélération sur la trajectoire complète, ou seulement autour d’une position (réglage dans “Trails”).
En cliquant sur “masse A” → “Vitesse” → “Couleur”, on peut régler la couleur de la flèche de la vitesse. Idem pour la flèche de l’accélération.
9. Dans la fenêtre “Tableau de données”, on peut ajouter différentes grandeurs physiques en cliquant sur “Tableau de données”.
10. On peut ensuite exporter les données de ce tableau en cliquant dans le menu supérieur dans “Fichier” → “Exporter” → “Fichier de données...” Enregistrer alors toutes les cellules dans un fichier csv.
11. Une fois que vous avez enregistré les données, que vous avez vu tout ce que vous vouliez voir en terme de trajectoire, de vecteurs vitesse et de vecteurs accélérations, vous pouvez quitter le logiciel Tracker.





TP C3

ÉTUDE CINÉTIQUE PAR CONDUCTIMÉTRIE

Durée : 2h


Ce TP aborde le suivi cinétique d'une transformation chimique. On utilisera la conductimétrie afin de suivre la cinétique de cette transformation.

Objectifs

liés au phénomène chimique • Mettre en oeuvre une méthode de suivi temporel. Exploiter les résultats d'un suivi temporel de concentration pour déterminer les caractéristiques cinétiques d'une réaction. Déterminer la valeur d'une énergie d'activation.

liés à la technique expérimentale • Mesure de conductance et conductivité.

- Prévention des risques chimiques : adopter une attitude adaptée au travail en laboratoire ; relever les indications sur le risque associé au prélèvement et au mélange des produits chimiques ; développer une attitude autonome dans la prévention des risques.
- Impact environnemental : adapter le mode d'élimination d'un espèce chimique ou d'un mélange en fonction de sa toxicité.

 **Avertissement !** Le coût des produits utilisés étant élevé, vous n'aurez droit qu'à un seul prélèvement pour chaque manipulation. De plus, comme il s'agit de produits polluants, on utilisera des bidons de récupération : ne rejeter à l'évier en aucun cas.

 **Matériel**

verrerie 1 éprouvette graduée de 25 mL, 1 éprouvette graduée de 50 mL, 4 béchers de 100 mL, 1 bécher de 150 mL ;

solutions éthanol (120 mL max par groupe), 2-chloro-2-méthylpropane (0.3 mL par groupe max), 2-iodo-2-méthylpropane (0.1 mL par groupe max), eau distillée, solution tampon de KCl à $0,1 \text{ molL}^{-1}$ (environ 20 mL par groupe) ;

autres conductimètre, agitateur magnétique, bain thermostaté, thermomètre, 2 pinces en bois, 1 micropipette de $100 \mu\text{L}$ à partager à deux paillasse pour le 2-chloro-2-méthylpropane.

Sous hotte 1 micropipette de $100 \mu\text{L}$ pour la classe pour le 2-iodo-2-méthylpropane, bidon de récupération de solvant halogéné ;

Paillasse prof pipettes pasteur ;

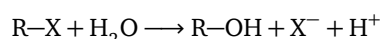
Matériel personnel téléphone avec chronomètre.

Rinçage ou pas ? Pour ce TP, une pièce de verrerie ou la cuve

- si elles sont sèches seront considérées comme propres et n'auront pas d'être rincées ;
- si elles sont humides, elles auront par contre besoin d'être lavées à l'eau distillée et rincer avec l'éthanol si besoin.

I Cinétique – Approche théorique

On se propose d'étudier la cinétique de l'hydrolyse du 2-iodo-2-méthylpropane et du 2-chloro-2-méthylpropane d'équation bilan (X désignant I ou Cl) :



avec $[\text{R-X}] = a$ à $t = 0$. On note x l'avancement volumique de la réaction.

1. Donner à l'aide d'un tableau d'avancement, l'état du système chimique à un instant t quelconque au cours de la réaction.

Cette réaction produisant des ions, un suivi conductimétrique est envisageable. On supposera que l'ordre de la réaction est 1 par rapport à R-X. On note k_{app} sa constante de vitesse apparente, l'eau étant considérée comme un des constituants du solvant. Notant x_n la valeur de x à l'instant t et x_{n+1} sa valeur à l'instant $t + \Delta t$.

2. Montrer que l'on peut écrire

$$x_{n+1} = Ax_n + B$$

où A désignant une constante (à température constante) que l'on exprimera en fonction de k_{app} et de Δt , et B désignant une constante que l'on n'explicitera pas.

En déduire que, de même, σ_n et σ_{n+1} sont liés par la relation (C désignant une constante)

$$\sigma_{n+1} = A\sigma_n + C$$

Conclusion si l'on effectue des mesures de conductivité à intervalles de temps égaux et que l'on trace $\sigma_{n+1} = f(\sigma_n)$ et que l'on obtient une droite, alors on vérifie que l'ordre de la réaction vaut bien 1 (méthode de Guggenheim). En déterminant la pente de cette droite, on a par ailleurs accès à k_{app} .

En pratique le tracé sera effectué sous Python ou Regressi. On utilisera le module de modélisation afin de déterminer la pente et l'incertitude sur la pente.

II Mesures expérimentales de cinétique

Compte tenu de l'exploitation des données, l'étalonnage du conductimètre n'est pas strictement nécessaire. Je vous propose de le faire, cela présente l'avantage de se familiariser avec le conductimètre et de vérifier son fonctionnement.

On effectuera ensuite quatre séries de mesures.

1 Préparation des manipulations

On va éviter de rincer et de gaspiller les solutions par une organisation pratique de la paillasse telle que proposée sur la figure TP C3.1.

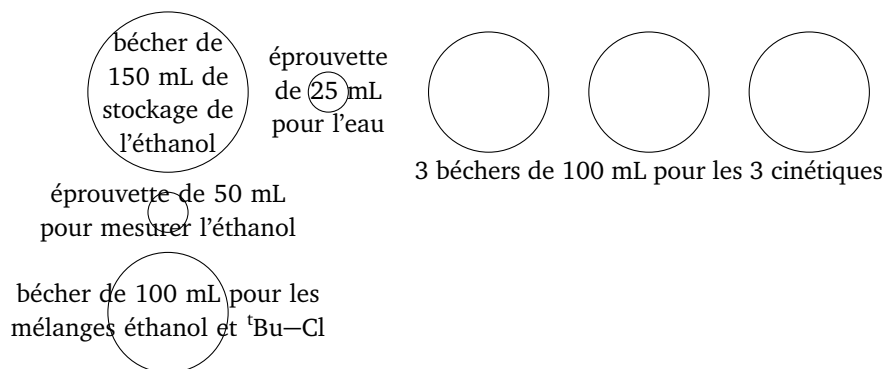


FIGURE TP C3.1 – Représentation schématique d'une partie de votre paillasse vue du dessus.

Manipulation 1 Étalonnage du conductimètre

- Suivre scrupuleusement la notice du conductimètre afin de le mettre en marche, puis de l'étalonner à l'aide de la solution de KCl.

Fin de manip bien rincer l'embout de l'électrode avec de l'eau distillée puis sécher avec du sopalin.

🔊 Écoutez votre professeur afin d'avoir quelques explications sur l'utilisation de la micropipette !

3. Lire la manipulation et la schématiser avant de l'effectuer.

2 Manipulations

Manipulation 2 Solvant : 50% eau, 50% éthanol ; $X=Cl$; température T_1 de la salle

- Relever la température T_1 de la salle. Entraînez vous à déclencher le chronomètre. Réinitialiser le chronomètre.
- A l'aide de l'éprouvette graduée de 25 mL, prélever 25 mL d'eau distillée à introduire ensuite dans le premier bécher de 100 mL.
- Introduire l'agitateur magnétique dans ce premier bécher.
- Après avoir rincé l'électrode du conductimètre à l'eau distillée, mesurer σ la conductivité de l'eau distillée afin de vous familiariser avec le conductimètre. Vous devez mesurer au plus quelques $\mu S cm^{-1}$.
- Faire les réglages afin d'agiter l'eau avec l'agitateur magnétique et de mesurer sa conductivité.
 - ⇒ La cellule doit plonger dans l'eau,
 - ⇒ l'agitateur ne doit pas toucher l'électrode,
 - ⇒ l'électrode ne doit pas toucher les parois
- Après avoir été prendre environ 60 mL d'éthanol dans le bécher de 150 mL sous la hotte, revenir à votre paillasse. Prélever 25 mL d'éthanol grâce à l'éprouvette graduée de 50 mL, puis l'introduire dans le bécher de 100 mL consacrée aux mélanges éthanol et chlorure de tertio-butyle.
- Dans le bécher d'éthanol, introduire 100 μL de 2-chloro-2-méthylpropane à l'aide de la micropipette graduée (attendre si nécessaire que l'autre groupe ait fini avec la micropipette).
- **Simultanément, verser le bécher du mélange éthanol et $tBu-Cl$ dans le bécher d'eau et déclencher le chronomètre.**
- Faire une première mesure de conductivité au bout de 30 s puis toutes les 30 secondes, très précisément, la durée totale des mesures étant entre 10 min et 20 min.

Fin de manip Récupérer le barreau aimanté avec la tige aimantée, le rincer à l'eau distillée et le sécher. Jeter le milieu réactionnel dans le verre à pied/poubelle de paillasse. Laver le bécher avec de l'eau distillée. Rincer l'électrode du conductimètre à l'eau distillée, puis la sécher.

4. Tracer la courbe grâce à Python $\sigma_{n+1} = f(\sigma_n)$. Vérifier l'alignement. En déduire $k_{app,1}$.

Manipulation 3 Solvant : 50% eau, 50% éthanol ; $X=Cl$; température $T_2 > T_1$

- Préparer les deux béchers (valeurs de la manip 1) et les plonger dans le bain thermostaté réglé sur 45 °C. Lire leur température quand l'équilibre thermique est atteint.
- Mélanger les deux solutions, première mesure au bout de 15 s, délai entre deux mesures de 15 secondes. La durée totale des mesures sera entre 5 min et 10 min.

Fin de manip Récupérer le barreau aimanté avec la tige aimantée, le rincer à l'eau distillée et le sécher. Jeter le milieu réactionnel dans la poubelle adéquate. Laver à l'eau distillée. Rincer l'électrode du conductimètre à l'eau distillée, puis la sécher.

5. Tracer la courbe $\sigma_{n+1} = f(\sigma_n)$ à l'aide de Python. Vérifier l'alignement. En déduire $k_{app,2}$.

6. Comparer à $k_{app,1}$.

En déduire la valeur de l'énergie d'activation de la réaction d'hydrolyse du 2-chloro-2-méthylpropane.

Manipulation 4 Solvant : 30% eau, 70% éthanol ; $X=Cl$; température T_1

- Même mode opératoire que la manip 1 mais avec 15 mL d'eau et 35 mL d'éthanol.
- Faire une première mesure de conductivité au bout de 15 s (sensiblement) puis toutes les 60 secondes.

Fin de manip Récupérer le barreau aimanté avec la tige aimantée, le rincer à l'eau distillée et le sécher. Jeter le milieu réactionnel dans la poubelle adéquate. Laver le bécher à l'eau distillée. Rincer l'électrode du conductimètre à l'eau distillée, puis la sécher.

7. Tracer la courbe $\sigma_{n+1} = f(\sigma_n)$. Vérifier l'alignement. En déduire $k_{app,3}$. Conclure quant à l'influence du solvant.

Manipulation 5 Solvant : 50% eau, 50% éthanol ; X=I ; température T_1

- Même mode opératoire mais cette fois, on pipettera 0,1 mL de 2-iodo-2-méthylpropane **sous la hotte** à l'aide de la micropipette dédiée.
- On effectuera la première mesure au bout de 5 s puis on prendra un délai entre deux mesures de 10 secondes.

Fin de manip Récupérer le barreau aimanté avec la tige aimantée, le rincer à l'eau distillée et le sécher. Jeter le milieu réactionnel dans la poubelle adéquate. Laver le bécher à l'eau distillée. Rincer l'électrode du conductimètre à l'eau distillée, puis la sécher.

8. Tracer la courbe $\sigma_{n+1} = f(\sigma_n)$. Vérifier l'alignement. En déduire $k_{app,4}$. Conclure quant à l'influence du groupement partant.

Manipulation 6 Fin de séance

- Laisser les récipients pour l'éthanol pour le premier groupe, laver à l'eau distillée puis disposer sur l'égouttoir pour le second groupe.
- Les béchers où ont eu lieu les réactions doivent être en train de s'égoutter sur l'égouttoir.
- Jeter le contenu de la poubelle de paille dans le bidon à solvant halogéné se situant sous la hotte. Rincer la poubelle de paille à l'eau distillée, eau que vous jeterez dans le bidon de récupération des solvants halogénés.
- Remettre le bouchon sur l'électrode du conductimètre, remettre l'agitateur magnétique sur son support.

Phrases H et P

Éthanol



H225 – Liquide et vapeurs très inflammables.

P210 – Tenir à l'écart de la chaleur/des étincelles/des flammes nues/des surfaces chaudes. - Ne pas fumer.

2-Chloro-méthylpropane



H225 – Liquide et vapeurs très inflammables.

P210 – Tenir à l'écart de la chaleur/des étincelles/des flammes nues/des surfaces chaudes. - Ne pas fumer.

2-Iodo-méthylpropane



H225 – Liquide et vapeurs très inflammables.

H315 – Provoque une irritation cutanée.

H319 – Provoque une sévère irritation des yeux.

H335 – Peut irriter les voies respiratoires.

H400 – Très toxique pour les organismes aquatiques.

P210 – Tenir à l'écart de la chaleur, des surfaces

chaudes, des étincelles, des flammes nues et de toute autre source d'inflammation. Ne pas fumer.

P261 – Éviter de respirer les vapeurs.

P273 – Éviter le rejet dans l'environnement.

P305 + P351 + P338 – EN CAS DE CONTACT AVEC LES YEUX : rincer avec précaution à l'eau pendant plusieurs minutes.

Enlever les lentilles de contact si la victime en porte et si elles peuvent être facilement enlevées. Continuer à rincer.

TP E6

RÉGIMES SINUSOÏDAUX FORCÉS DES CIRCUITS D'ORDRE 1.

Durée : 2h

Objectifs

liés au phénomène physique • Mesurer expérimentalement un effet capacitif ou inductif.

liés à la technique expérimentale • Utiliser l'oscilloscope.

- Utiliser LATIS PRO.
- Gérer, dans un circuit électronique, les contraintes liées à la **masse**.
- Réaliser des circuits électriques lisibles.
- Mesurer un déphasage, reconnaître une avance ou un retard, passer d'un décalage temporel à un déphasage.

 **Matériel**

- GBF, oscilloscope, interface SYSAM ;
 - 1 boîte de résistances à décades, 1 boîte de capacités à décades, 1 boîte d'inductances à décades ;
 - paillasse professeur : LCR-mètres.
- A prendre et à ranger en début et fin de séance : 3 {câbles BNC-banane ou adaptateurs BNC-banane}.

I Etude préalable théorique

1 Vocabulaire associé au déphasage.

Effet capacitif. Dans un circuit RC série, comme montré ci-dessous, l'intensité du courant traversant le dipôle RC est en avance/en retard sur la tension aux bornes de celui-ci. Dit autrement, la tension aux bornes du dipôle RC est en avance/en retard sur l'intensité du courant qui le traverse.

Ainsi, lorsque l'intensité traversant un dipôle quelconque est en avance/en retard sur la tension aux bornes de celui-ci, on dit que le dipôle en question présente un *effet capacitif*.

Soit $u_1(t) = U_{1m} \cos(\omega t)$ et $u_2(t) = U_{2m} \cos(\omega t + \varphi)$, les tensions définies sur la figure TP E6.1.

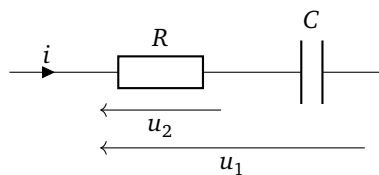


FIGURE TP E6.1

1. Montrer que $\tan \varphi = 1/(RC\omega)$.
2. u_2 est-elle en avance ou en retard sur u_1 ?

Effet inductif. Dans un circuit RL série, comme montré ci-dessous, l'intensité du courant traversant le dipôle RL est en avance/en retard sur la tension aux bornes de celui-ci. Dit autrement, la tension aux bornes du dipôle RL est en avance/en retard sur l'intensité du courant qui le traverse.

Ainsi, lorsque l'intensité traversant un dipôle quelconque est en avance/en retard sur la tension aux bornes de celui-ci, on dit que le dipôle en question présente un *effet inductif*.

Soit $u_1(t) = U_{1m} \cos(\omega t)$ et $u_2(t) = U_{2m} \cos(\omega t + \varphi')$, les tensions définies sur la figure TP E6.2.

3. Montrer que $\tan \varphi' = -L\omega/(R + r)$.
4. u_2 est-elle en avance ou en retard sur u_1 ?

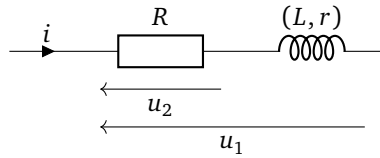
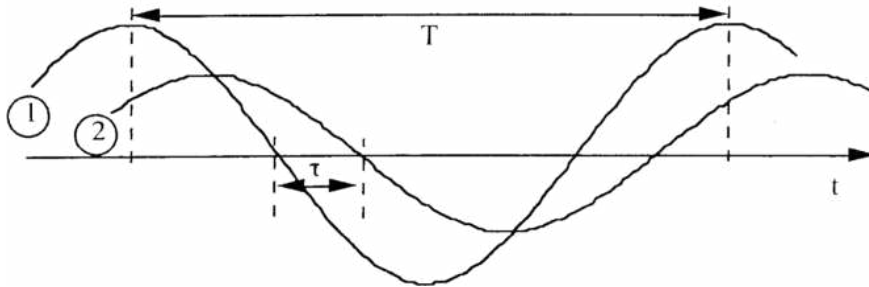


FIGURE TP E6.2

2 Principe des mesures de déphasage

Oscilloscope en mode bicourbe. Deux tensions sinusoïdales synchrones et déphasées apparaissent ainsi à l'oscilloscope :



On peut déterminer la valeur absolue de leur déphasage en effectuant un produit en croix :
 On sait que T mesurant N carreaux correspond à 2π
 et que τ mesurant n carreaux correspond à $|\varphi|$

Ainsi

$$|\varphi| = 2\pi \frac{\tau}{T} = 2\pi \frac{n}{N}.$$

Le signe du déphasage est déterminé ensuite, selon l'avance ou le retard du signal.

5. Déterminer le déphasage du signal 2 par rapport au signal 1 dans cet exemple.

Mesure automatique La mesure du déphasage peut être effectuée de façon automatique avec l'oscilloscope (menu « mesures »). Il faut pour cela que les échelles verticales et horizontales soient adaptées (la mesure n'est correcte que si les signaux sont bien représentés sur l'écran).

II Réalisation d'un déphasage

1 Circuit RC

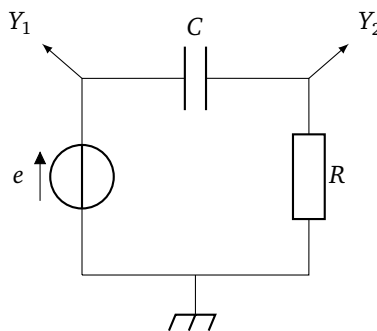


FIGURE TP E6.3

Manipulation 1 Effet capacitif

- Réaliser le circuit de la figure TP E6.3 avec une résistance de l'ordre de $3 \text{ k}\Omega$ et une capacité d'environ 100 nF .
- Vérifier ces grandeurs précisément avec le LCR-mètre et noter les valeurs obtenues, puis calculer φ pour $f =$

100 Hz.

- Régler le GBF afin qu'il délivre un signal sinusoïdal de fréquence $f = 500$ Hz et d'amplitude $U_m = 3$ V.
- Visualiser simultanément les deux tensions et faire les réglages nécessaires pour observer, sur une ou deux périodes, deux sinusoïdes centrées de grande amplitude.
- Mesurer la période T , son incertitude $u(T)$ et déterminer le signe de φ .
- Changer la vitesse de balayage afin d'agrandir au maximum le décalage entre deux sinusoïdes.
- Mesurer τ et son incertitude $u(\tau)$.

6. En déduire φ et l'incertitude sur la mesure $u(\varphi)$.
7. Refaire cette mesure en utilisant une mesure automatique.
8. Comparer les valeurs de φ mesurées à celle calculée.
9. Quelle méthode paraît être la plus précise et la plus facile d'emploi ?

2 Circuit RL

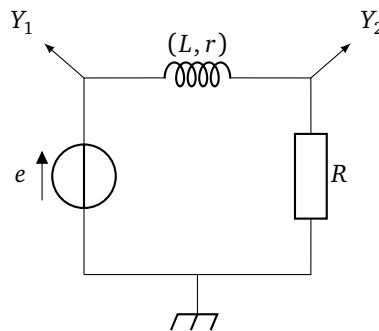


FIGURE TP E6.4

Manipulation 2 Effet inductif

- Réaliser le circuit de la figure TP E6.4 avec une résistance de l'ordre de 2000Ω et une inductance d'environ 100 mH.
- Mesurer ces grandeurs précisément avec le LCR-mètre et noter les valeurs obtenues, puis calculer φ' pour $f = 2,5$ kHz.
- Régler le GBF afin qu'il délivre un signal sinusoïdal de fréquence $f = 2,5$ kHz et d'amplitude $U_m = 3$ V.
- Visualiser simultanément les deux tensions et faire les réglages nécessaires pour observer, sur une ou deux périodes, deux sinusoïdes centrées de grande amplitude.
- Mesurer φ' avec la méthode la plus précise et son incertitude $u(\varphi')$.

3 Dipôle inconnu

Manipulation 3 A vous ...

- Réaliser un montage dans lequel l'intensité est **en avance** avec un déphasage de $\phi = +\pi/6$ rad sur la tension aux bornes d'un dipôle à préciser.
- Vérifier le bon fonctionnement du montage.
- Réaliser un montage dans lequel l'intensité est maintenant **en retard** avec un déphasage de $\phi = -\pi/6$ rad sur la tension aux bornes d'un dipôle à préciser.
- Vérifier le bon fonctionnement du montage.

III Application à l'impédance d'entrée de l'oscilloscope

L'entrée DC (direct current¹) peut être modélisée par l'association en parallèle d'un résistor R_e et d'un condensateur de capacité C_e , tel que schématisé sur la figure TP E6.5. Dans la notice, on trouve $R_e = 1\text{ M}\Omega$ et $C_e = 11\text{ pF}$.

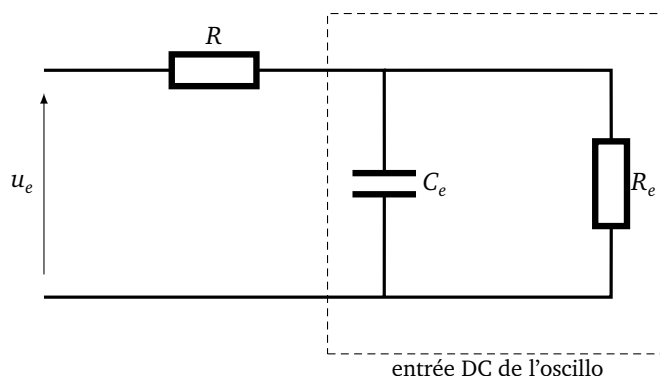


FIGURE TP E6.5

10. Proposer un protocole pour mesurer R_e , puis un autre pour mesurer C_e .

Manipulation 4 Mesure de l'impédance d'entrée de l'oscilloscope

- Réaliser vos deux protocoles afin de mesurer R_e et C_e . On mesurera également la variabilité des mesures.
- Grâce aux formules simples sur la propagation des incertitudes, après avoir bien donné votre meilleure estimation de C_e , préciser l'incertitude type sur cette mesure.

1. En appuyant sur le numéro de la voie utilisée – 1 ou 2, vérifier que le couplage est sur DC (ou CC) avec l'encadré en bas à gauche de l'écran et non sur AC (alternative current)

TP E7

RÉSONANCES ÉLECTRIQUES.

Durée : 2h

Objectifs

liés au phénomène physique • Vérifier expérimentalement les résultats du phénomène de résonance.

liés à la technique expérimentale • Utiliser l'oscilloscope.

- Utiliser Latis PRO et le logiciel Oscillo 5.
- Gérer les contraintes liées à la **masse**.
- Réaliser des circuits électriques lisibles.
- Mesurer un déphasage, reconnaître une avance ou un retard, passer d'un décalage temporel à un déphasage.
- Repérer 2 signaux en phase grâce au mode XY de l'oscilloscope.

 **Matériel**

- ordinateur avec Latis-Pro et Oscillo 5 ;
 - GBF, oscilloscope, multimètre, interface SYSAM ;
 - 1 boîte de résistances à décades, 1 boîte de capacités à décades, 1 boîte d'inductances à décades ;
 - boîte AOIP $\times 100$;
 - paillasse professeur : LCR-mètres.
- A prendre et à ranger en début et fin de séance : 3 {câbles BNC-banane ou adaptateurs BNC-banane}.

TP noté Les questions 26 à 30 ainsi que les mesures de la manipulation 4 seront notées. Les dessins illustrant vos propos compteront pour la moitié des points. Un compte-rendu par binôme est à rendre le 20 janvier.

I Etude préalable théorique

1 Le mode XY de l'oscilloscope

Lorsque vous appuyer sur le mode XY de l'oscilloscope (voir par exemple la vidéo Youtube

<https://www.youtube.com/watch?v=TpMmSTNnokc>,

vous visualisez sur l'écran de l'oscilloscope le potentiel mesuré par CH2 (nommé V_2 dans la suite) en fonction du potentiel mesuré par CH1 (nommé V_1 dans la suite).

1. Supposons que V_1 soit une tension crénneau de fréquence 100 Hz, de valeur moyenne 1 V, d'amplitude 1 V et que $V_2 = 2V - V_1$, tracer V_1 et V_2 en mode Y(t) tel qu'affiché par l'oscilloscope (10 carreaux horizontalement et 8 carreaux verticalement), les calibres étant 2 ms/carreau et 1 V/carreau.
2. Tracer ce qu'affiche l'oscilloscope en mode XY.
3. On change le calibre horizontal, que se passe-t-il? (L'oscilloscope est toujours en mode XY)
4. Les calibres verticaux sont maintenant respectivement 500 mV/carreau (CH1) et 1 V/carreau (CH2), tracer ce qui s'affiche sur l'oscilloscope en mode XY.
5. Les calibres verticaux sont maintenant respectivement 1 V/carreau (CH1) et 500 mV/carreau (CH2), tracer ce qui s'affiche sur l'oscilloscope en mode XY.
6. Les calibres verticaux sont maintenant respectivement 200 mV/carreau (CH1) et 100 mV/carreau (CH2), tracer ce qui s'affiche sur l'oscilloscope en mode XY.
7. $V_1 = A \cos(2\pi f t)$ et $V_2 = B \cos(2\pi f t)$ avec $f = 100$ Hz, $A = 2$ V et $B = 1$ V, reprendre l'ensemble des questions précédentes.
8. $V_1 = A \cos(2\pi f t)$ et $V_2 = B \sin(2\pi f t)$ avec $f = 100$ Hz, $A = 2$ V et $B = 1$ V, reprendre l'ensemble des questions précédentes (excepté celle juste avant).

9. $V_1 = A \cos(2\pi f t)$ et $V_2 = B \cos(2\pi f t + \pi/6)$ avec $f = 100$ Hz, $A = 2$ V et $B = 1$ V, reprendre l'ensemble des questions précédentes (excepté les deux dernières).

2 Résonance en intensité dans un circuit RLC série

On étudie le montage de la figure TP E7.1. Dans ce montage, u_e est une tension sinusoïdale d'amplitude 2,0 V et de fréquence f variable; C est un condensateur de capacité 10 nF; R_p est une boîte à décade dont la résistance peut varier entre 0 et 1,1 M Ω ; L est une bobine d'inductance $L = 100$ mH et de résistance r_L à déterminer ($r_L \simeq 10 \Omega$) et r est une résistance de 200 Ω .

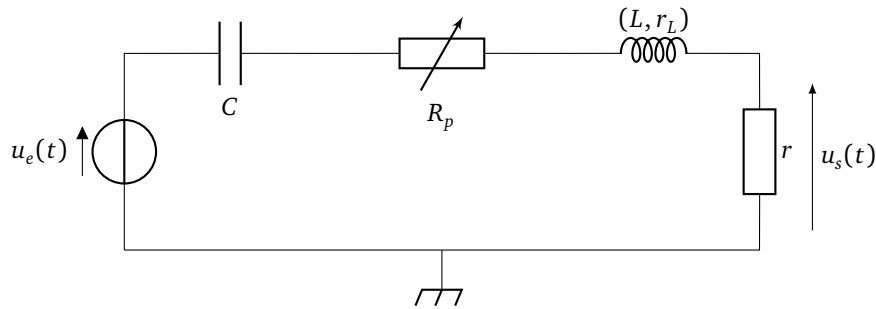


FIGURE TP E7.1

10. Pourquoi le montage proposé sur la figure TP E7.1 permet-il l'étude de la résonance de l'intensité du courant i qui circule dans le circuit ?

Rappelons les principales formules.

11. On note $\underline{u}_e = U_e e^{j\omega t}$ et $\underline{u}_s = U_s e^{j(\omega t + \varphi)}$ les représentations complexes de u_e et u_s . Montrer que la fonction de transfert peut se mettre sous la forme

$$\underline{H}(j\omega) = \frac{H_0}{1 + jQ \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)}$$

$$\text{avec } H_0 = \frac{r}{r + R_p}, \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \quad \text{et } Q = \frac{1}{r + R_p} \sqrt{\frac{L}{C}}. \quad (\text{TP E7.1})$$

12. En déduire que le rapport des amplitudes U_s et U_e vaut :

$$\frac{U_s}{U_e} = H(\omega) = \frac{H_0}{\sqrt{1 + Q^2 \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)^2}} \quad (\text{TP E7.2})$$

$$\text{et que la phase vaut } \varphi = -\arctan \left[Q \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) \right] \quad (\text{TP E7.3})$$

13. Montrer que $H(\omega)$ devient maximum pour ω_0 . Effectuer l'application numérique afin d'obtenir la valeur de f_0 .
 14. Comment peut-on mesurer la fréquence à la résonance (en intensité) avec le mode XY de l'oscilloscope ?
 15. On appelle bande passante l'intervalle $[\omega_1; \omega_2]$ pour lequel $H(\omega) \geq H_{\max}/\sqrt{2}$.

Montrer que la largeur de la bande passante $\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1$ vaut

$$\Delta\omega = \omega_0 / Q \quad (\text{TP E7.4})$$

16. En déduire que la résistance totale du circuit vaut $R_p + r + r_L + r_{\text{GBF}} = L\Delta\omega$.
 17. Comment varie $\Delta\omega$ lorsque R_p augmente ?
 Comment une augmentation de R_p se traduit-elle alors sur la courbe représentative de $H(\omega)$?
 18. Lors du TP, vous allez utiliser une boîte à décade comme résistance variable et une inductance. Ces dipôles fonctionnent très bien lorsque l'intensité ne dépassent pas une intensité maximale.
 L'intensité maximale supportée par la boîte à décades est à vérifier et l'intensité maximale supportée par l'inductance est $I_{\max} = 40$ mA.

- (a) Quelle est l'expression littérale de l'intensité maximale circulant effectivement dans le circuit ?
 (b) En supposant $R_p = 0$, en déduire une condition sur l'amplitude U_e de la tension délivrée par le générateur pour que l'inductance puisse fonctionner sans être détériorée. Faire l'application numérique.
 $U_e = 2,0$ V convient-il ?

3 Résonance en charge dans un circuit RLC série

On étudie le montage de la figure TP E7.2.

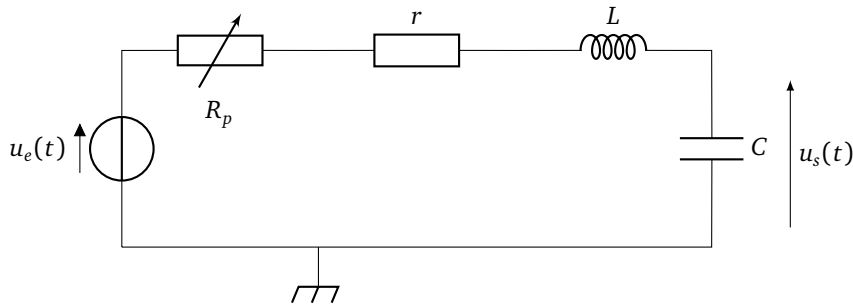


FIGURE TP E7.2

19. Pourquoi ne peut-on pas reprendre le montage précédent ?
 20. Les valeurs théoriques de f_0 et Q sont-elles modifiées ?

Rappelons les principales formules.

21. On note $\underline{u}_e = U_e e^{j\omega t}$ et $\underline{u}_s = U_s e^{j(\omega t + \varphi)}$ les représentations complexes de u_e et u_s . Montrer que la fonction de transfert peut se mettre sous la forme

$$\underline{H}(j\omega) = \frac{-j\frac{Q}{x}}{1 + jQ\left(x - \frac{1}{x}\right)} \quad \text{où } x = \frac{\omega}{\omega_0}. \quad (\text{TP E7.5})$$

22. En déduire que le rapport des amplitudes U_s et U_e vaut :

$$\frac{U_s}{U_e} = H(\omega) = \frac{1}{\sqrt{(1-x^2)^2 + \frac{x^2}{Q^2}}} \quad (\text{TP E7.6})$$

$$\text{et que la phase vaut } \varphi = -\frac{\pi}{2} - \arctan \left[Q \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) \right] \quad (\text{TP E7.7})$$

23. Montrer que, si $Q > 1/\sqrt{2}$, il y a résonance pour $\omega_r = \omega_0 \sqrt{1 - 1/(2Q^2)}$. En déduire Q en fonction de ω_0 et ω_r .
 24. Etablir qu'il existe une valeur maximale R_{\max} de $R = R_p + r + r_{GBF} + r_L$, dont on souhaite connaître l'expression en fonction de L et C , à partir de laquelle la résonance disparaît.
 Faire l'application numérique avec $C = 10$ nF et $L = 100$ mH.
 25. Les composants électriques étant les mêmes que précédemment, il existe toujours une intensité maximale à ne pas dépasser pour conserver les composants en état de fonctionnement.
 Lors de ce montage, les composants peuvent-ils fonctionner sans être détériorés ?

II Travail préalable expérimental

Manipulation 1 Valeurs des composants.

Vérifier les valeurs des caractéristiques des composants mis à disposition.

III Résonance en intensité

⚠ On fera bien attention à ce que les composants puissent fonctionner sans être abîmés.

Manipulation 2 Étude de la résonance en intensité.

- Réaliser le circuit présenté sur la figure TP E7.1.
- Le GBF délivre une tension sinusoïdale d'amplitude $U_e = 2,0 \text{ V}$ et de fréquence f variable.
- La résistance r vaut 200Ω ; le condensateur présente une capacité $C = 10 \text{ nF}$; la résistance R_p est une boîte à décades dont la résistance peut varier entre 0 et $1,1 \text{ M}\Omega$; la bobine présente une inductance $L = 100 \text{ mH}$ et une résistance interne à déterminer r_L .
- Les potentiels $u_e(t) = U_e \cos(\omega t)$ et $u_s(t) = U_s \cos(\omega t + \varphi)$ sont recueillies aux entrées CH1 et CH2 d'un oscilloscope numérique.
- Observer l'influence de f sur l'amplitude et le déphasage des signaux.

1 Mesure de la pulsation propre via deux mesures et du facteur de qualité via une sur deux mesures.

26. Pour quelle valeur $f_{r,A}$ de f l'amplitude est-elle maximale? $f_{r,A}$ ainsi que l'incertitude $u(f_{r,A})$ sont à mesurer.
27. Pour quelle valeur f_φ de f le déphasage est-il nul? f_φ ainsi que l'incertitude $u(f_\varphi)$ sont à mesurer.
Pour cette mesure, on utilisera le mode XY, dit aussi Lissajous, de l'oscilloscope.
28. Comparer ces deux valeurs.

Manipulation 2 Suite de l'étude de la résonance en intensité.

- Mesurer la largeur de la bande passante, en vous basant soit sur l'amplitude de la tension de sortie, soit en vous basant sur le déphasage entre u_e et u_s .

29. Noter les mesures et les calculs. Expliquer vos mesures en vous basant sur des illustrations.
30. Dédire de vos mesures les valeurs estimées de la pulsation propre ω_0 et du facteur de qualité Q , ainsi que leur incertitude $u(\omega_0)$ et $u(Q)$. Des simulations Monte-Carlo peuvent être effectuées.
31. Comparer avec les valeurs théoriques.

2 Mesure de la fonction de transfert. Mesure supplémentaire de la pulsation propre et du facteur de qualité.**Manipulation 2 Suite de l'étude de la résonance en intensité.**

- Relever les valeurs de U_{Rm} et φ pour une dizaine de valeurs de fréquence sur un intervalle contenant la bande passante (resserrer les points autour de la résonance) en mesurant automatiquement à l'oscilloscope l'amplitude du signal sur la voie 2 et le déphasage φ entre les deux signaux.
- Tracer $U_{Rm}(f)$ et $\varphi(f)$ sur Regressi.

32. En supposant que H soit de la forme donnée par l'équation TP E7.2, déterminer grâce à Regressi les meilleurs ajustements des valeurs de H_0 , ω_0 et Q qui reproduisent les courbes expérimentales.
33. En déduire les valeurs estimées (on n'oubliera pas d'indiquer à Regressi une estimation de la variabilité des mesures) de la pulsation propre ω_0 et du facteur de qualité Q , ainsi que leur incertitude $u(\omega_0)$ et $u(Q)$.
34. Conclure.

IV Résonance en charge

Exceptionnellement, on ne s'intéressera pas particulièrement aux incertitudes dans cette partie.

Manipulation 3 Observation de la résonance en charge.

- Réaliser le circuit présenté sur la figure TP E7.2.
- Le GBF délivre une tension sinusoïdale d'amplitude $U_e = 2,0$ V et de fréquence f variable.
- La résistance r vaut 200Ω ; le condensateur présente une capacité $C = 10$ nF ; la résistance R_p est une boîte à décades dont la résistance peut varier entre 0 et $1,1$ M Ω ; la bobine présente une inductance $L = 100$ mH et une résistance interne r_L à déterminer.
- Les potentiels $u_e(t) = U_e \cos(\omega t)$ et $u_s(t) = U_s \cos(\omega t + \varphi)$ sont recueillies aux entrées CH1 et CH2 d'un oscilloscope numérique.
- Observer l'influence de f sur l'amplitude et le déphasage des signaux.

Manipulation 4 Mesure de ω_0 et Q grâce à la charge.

- Mesurer la pulsation propre f_0 via une mesure.
- Mesurer la pulsation propre f_r via une mesure. En déduire Q si possible.
- N'hésitez pas, si vous avez le temps, à évaluer les incertitudes sur f_0 , $u(f_0)$ et f_r , $u(f_r)$ et en déduire l'incertitude $u(Q)$ sur Q .
- Mesurer le facteur de qualité en utilisant le fait que $H(x = 1) = Q$.
- N'hésitez pas, si vous avez le temps, à évaluer les incertitudes sur les amplitudes U_e , $u(U_e)$ et U_s , $u(U_s)$ et en déduire l'incertitude $u(Q)$.

Manipulation 5 Mesure de la fonction de transfert à l'aide d'Oscillo 5.

- Remplacer le GBF par la Sortie Analogique SA1 de la carte SYSAM qui délivre une tension sinusoïdale de fréquence variable. On pensera également à relier cette sortie SA1 à l'entrée EAO de la carte.
- Mesurer u_s grâce à l'entrée EA1 de la carte SYSAM. L'oscilloscope ne sera plus utilisé.
- Grâce au logiciel Oscillo 5, tracer les courbes de gain et de phase pour R_p le plus petit possible, $R_p = 3400 \Omega$ et $R_p = 10$ k Ω .
- Exporter les courbes dans le logiciel Latis Pro.

35. Commenter les courbes de gain obtenues pour les différentes valeurs de R .

36. Sur la courbe $H(f)$ relative à $R = 200 \Omega$, déterminer les limites de la bande passante de résonance f_1 et f_2 telles que $H(f_1) = H(f_2) = H_{\max}/\sqrt{2}$. Lorsque le facteur de qualité Q est grand, il vérifie : $Q = f_0/(f_2 - f_1)$. Confronter les deux valeurs de Q obtenues.

V Bilan

37. Pour un circuit du second ordre, on a vu 4 méthodes pour mesurer la pulsation propre et 6 méthodes pour mesurer le facteur de qualité. En faire un récapitulatif, et comparer les méthodes que vous avez mises en oeuvre.

TP E8

FILTRAGE

Durée : 4h (2×2h)

Objectifs

liés au phénomène physique • Étudier le filtrage linéaire d'un signal non sinusoïdal à partir d'une analyse spectrale.

- Mettre en œuvre un dispositif expérimental illustrant l'utilité des fonctions de transfert pour un système linéaire à un ou plusieurs étages.
- Élaborer un signal électrique analogique modulé en amplitude à l'aide de deux GBF et d'un multiplieur.

liés à la technique expérimentale • Utiliser l'oscilloscope.

- Utiliser LAVIS PRO.
- Utiliser le logiciel Oscillo 5.
- Gérer, dans un circuit électronique, les contraintes liées à la **masse**.
- Réaliser des circuits électriques lisibles.
- Détecter le caractère non linéaire d'un système par l'apparition de nouvelles fréquences.

 **Matériel**

- GBF, oscilloscope, multimètre, carte SYSAM, ordinateur avec Oscillo 5 ;
 - une plaquette d'essai (breadboard) sur support avec connexions pour fils "classiques",
 - composants pour plaquette d'essai :
 - 4 résistances de 1 k Ω , 1 résistance de 1,5 k Ω , 1 résistance de 15 k Ω , 1 résistance de 150 Ω , 1 potentiomètre jusqu'à 10 k Ω environ,
 - 1 condensateur de 1 μ F, 1 condensateur de 100 nF,
 - 1 diode ;
 - 1 boîte à décade résistance, 1 boîte à décade capacité, 1 bobine à section carré,
 - 1 multiplieur et son alimentation ± 15 V.
- Paillasse prof : papiers semi-log.

I Etude préalable théorique

1 Etude d'un filtre passe-bas

On considère le filtre de la figure TP E8.1 où $R = 1,0$ k Ω et $C = 1,0$ μ F.

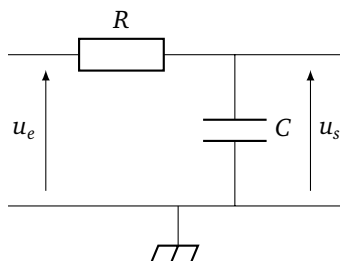


FIGURE TP E8.1 – Schéma d'un filtre passe-bas.

1. Préciser, sans calcul, la nature de ce filtre.
2. Déterminer la fonction de transfert de ce filtre.
En déduire $G_{dB}(\omega)$ et $\varphi(\omega)$, puis la fréquence de coupure f_c .

2 Exemple d'un analyseur de spectre

Le circuit étudié dans la partie III est représenté sur la figure TP E8.2.

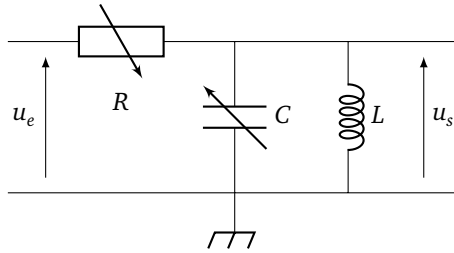


FIGURE TP E8.2 – Schéma de l'analyseur de spectre.

3. Montrer que ce circuit constitue un filtre passe-bande dont la fonction de transfert s'écrit

$$\underline{H}(jx) = \frac{H_0}{1 + jQ\left(x - \frac{1}{x}\right)}$$

où $x = \omega/\omega_0$, $H_0 = 1$, $Q = R\sqrt{C/L}$ et $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$.

3 Modulation - Démodulation

3.1 Principe de la modulation d'amplitude

La modulation d'amplitude est obtenue par multiplication de deux tensions :

- une tension sinusoïdale de haute fréquence (correspondant à l'onde porteuse)

$$u_p(t) = U_p \cos(2\pi f_p t)$$

- le signal à transmettre (signal modulant supposé ici sinusoïdal) auquel on ajoute une tension continue U_0 appelée tension de décalage (ou offset)

$$u_s(t) + U_0 = U_s \cos(2\pi f_s t) + U_0$$

Un circuit électronique appelé multiplieur permet d'obtenir une tension (tension modulée) proportionnelle au produit des tensions qui lui sont appliquées :

$$u_m = k u_p(t)(u_s(t) + U_0)$$

(k est un coefficient caractéristique du circuit multiplieur utilisé). On a alors

$$u_m(t) = k U_p \cos(2\pi f_p t) [U_s \cos(2\pi f_s t) + U_0]$$

La tension modulée en amplitude est donc une tension dont l'amplitude est fonction affine de la tension modulante, comme le montre la figure TP E8.3.

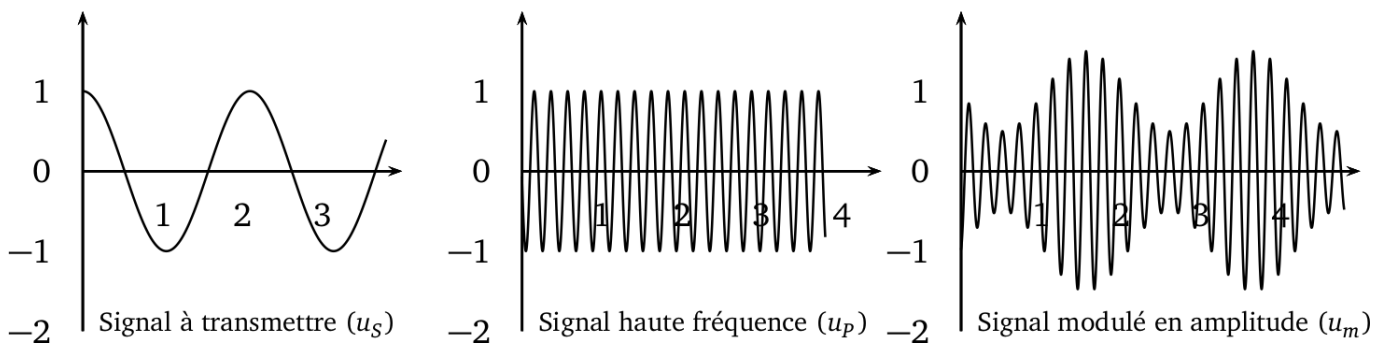


FIGURE TP E8.3 – Représentation d'une tension modulée en amplitude.

3.2 Analyse spectrale du signal modulé

En développant l'expression :

$$u_m(t) = kU_P \cos(2\pi f_P t) [U_S \cos(2\pi f_S t) + U_0]$$

et en utilisant la relation trigonométrique $\cos a \cos b = (1/2)[\cos(a + b) + \cos(a - b)]$, on obtient :

$$u_m(t) = kU_P U_0 \cos(2\pi f_P t) + \frac{kU_P U_S}{2} \cos(2\pi(f_P - f_S)t) + \frac{kU_P U_S}{2} \cos(2\pi(f_P + f_S)t)$$

$u_m(t)$ est donc la somme de trois fonctions sinusoïdales de fréquences respectives $f_P - f_S$, f_P et $f_P + f_S$, spectre représenté sur la figure TP E8.4.

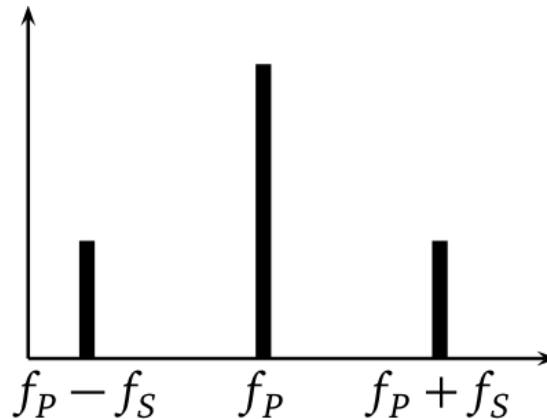


FIGURE TP E8.4 – Spectre d'une tension sinusoïdale modulée en amplitude.

La différence $(f_P + f_S) - (f_P - f_S) = 2f_S$ est appelé *largeur de bande*.

4. Retrouver l'expression donnée de u_m et donc le spectre du signal modulé u_m .

En radio,

la modulation d'amplitude est utilisée pour les grandes ondes. Les signaux de la voix ont une fréquence comprise entre $f_{S,\min} = 20$ Hz et $f_{S,\max} = 20$ kHz (ou moins si on diminue la qualité). Le spectre en fréquence de la tension modulée occupe une bande de fréquence de largeur $2f_{S,\max}$ centrée sur la fréquence de la porteuse.

Chaque radio ayant sa fréquence de porteuse, il ne faut pas que les spectres des signaux se chevauchent (sous peine de mélanger les informations de chacun). On en déduit l'écart minimal de 40 kHz entre deux porteuses.

En pratique, en modulation d'amplitude, la largeur de bande autorisée est seulement de 9 kHz. En conséquence, les sons de fréquence supérieure à 4500 Hz ne peuvent pas être transmis : la qualité musicale est donc médiocre en modulation d'amplitude (grandes ondes et ondes moyennes). Par comparaison, en FM une largeur de bande de 300 kHz est autorisée, ce qui explique la grande qualité musicale dans cette gamme de fréquence.

3.3 Principe de la démodulation d'amplitude

Détection d'enveloppe L'information est contenue dans la partie supérieure (ou inférieure) de l'enveloppe de la tension modulée : il faut donc récupérer la partie supérieure (par exemple) de cette enveloppe.

La démodulation nécessite la détection de l'enveloppe du signal modulé et l'élimination de la composante continue.

On utilise un montage détecteur d'enveloppe, schématisé sur la figure TP E8.5, où

$$u_m(t) = kU_P \cos(2\pi f_P t) [U_S \cos(2\pi f_S t) + U_0]$$

est de pseudo-période $T = 1/f_P$.

Lorsque la diode conduit, $u_s(t) = u_m(t)$. Cette situation se présente lorsque $i > 0$, ce qui est vérifié si $u_m(t)$ est positif et croissant.

Lorsque $i < 0$, la diode se bloque et empêche le courant de passer (on a alors $i = 0$), et le condensateur se décharge dans la résistance R avec une constante de temps $\tau = RC$.

- Si $\tau = RC \ll T$, u_s peut suivre toutes les variations de u_m .

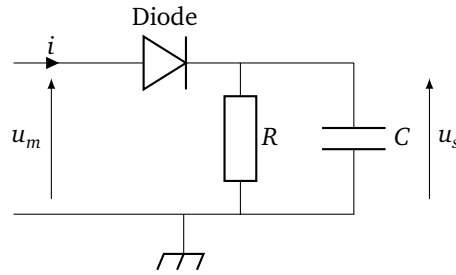


FIGURE TP E8.5 – Schéma du montage détecteur d'enveloppe.

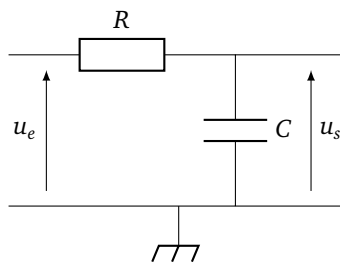
- Si $\tau = RC \gg T$, la capacité ne se décharge pratiquement pas pendant une pseudo-période et u_s reste très voisin de l'amplitude de u_m . Toutefois si τ est trop grand devant la période T_m du signal modulant, le signal reste quasi constant lorsque l'amplitude de u_m décroît, u_s ne peut plus suivre les variations de l'amplitude de u_m .
5. A l'aide de deux graphes, illustrer les deux affirmations précédentes.
 6. A l'aide d'un troisième graphe, expliquer comment doit être τ par rapport à T et T_m pour que la tension u_s suive les variations de l'amplitude de u_m .

Élimination de la composante continue Afin d'éliminer la composante continue déterminer le filtre d'ordre 1 possible en utilisant un condensateur de capacité C_f et une résistance de résistance R_f .

7. Expliquer (sans calcul) à l'aide d'un ou plusieurs schémas comment éliminer la composante continue, puis donner une condition sur la résistance R_f et la condensateur C_f utilisé afin d'éliminer la composante continue.

II Etude d'un filtre passe-bas

On considère le filtre suivant où $R = 1,0 \text{ k}\Omega$ et $C = 1,0 \text{ }\mu\text{F}$:



u_e est la tension d'entrée imposée par le GBF, u_e et u_s sont mesurés grâce à l'oscilloscope.

1 Étude générale

Manipulation 1 Tracé expérimental du diagramme de Bode

- En utilisant du papier semi-logarithmique, tracer les diagrammes de Bode **expérimentaux** de ce filtre.
- Déterminer graphiquement la valeur de la fréquence de coupure.
- Déterminer le gain à basse fréquence ainsi que la pente du diagramme de Bode en gain à haute fréquence.

8. Noter vos mesures en les expliquant à l'aide des courbes.

On souhaite vérifier les effets du filtre étudié précédemment en envoyant à l'entrée un signal carré.

Manipulation 2 Filtrage d'un signal carré

- Réaliser un signal créneau, de valeur moyenne 2,0 V, d'amplitude 2,0 V et de fréquence 10 kHz.
- Observer le signal de sortie.

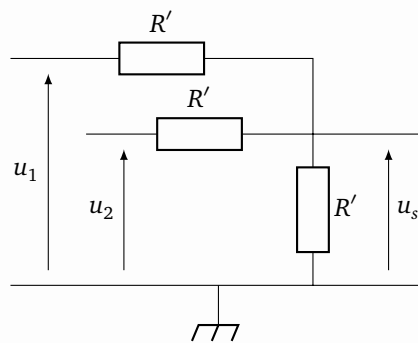
9. Reproduire sur le compte-rendu l'allure des deux signaux.
10. Justifier qualitativement la forme du signal de sortie.
11. Que se passe-t-il pour une fréquence plus faible ?
 - On pourra essayer avec 100 Hz, puis 10 Hz.

2 Application à l'élimination d'une composante haute fréquence

Dans cette manipulation, on utilise les deux sorties du GBF.

Manipulation 3 Réalisation d'un sommateur

- Réaliser le montage suivant :



- le signal d'entrée u_1 est fourni par la sortie 1 du GBF ; u_1 est une tension sinusoïdale de fréquence $1,0 \times 10^2$ Hz et d'amplitude 3,0 V ;
- le signal d'entrée u_2 est fourni par la sortie 2 du GBF ; u_2 est une tension sinusoïdale de fréquence $1,0 \times 10^4$ Hz et d'amplitude 1,0 V ;
- $R' = 1 \text{ k}\Omega$;
- la tension aux bornes de la résistance R' est notée u_s .

12. Exprimer u_s en fonction de u_1 et u_2 .

On veut laisser passer le signal de fréquence $1,0 \times 10^2$ Hz et atténuer le signal de fréquence $1,0 \times 10^4$ Hz ; pour cela on utilise le même type de filtre passe-bas qu'étudié précédemment

13. Quelle fréquence de coupure choisir ?
14. On fixe $C = 100 \text{ nF}$; proposer une valeur de R convenable.
15. Représenter le schéma du montage complet.

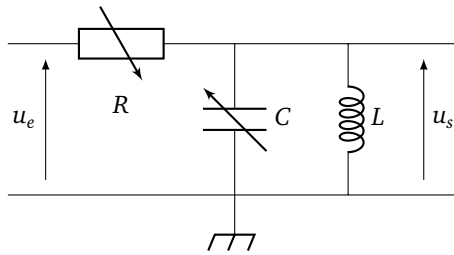
Manipulation 4 Utilisation du filtre

- Réaliser le circuit complet, après l'avoir schématisé, en prenant pour R le potentiomètre.
- Visualiser grâce à l'oscilloscope la tension en sortie du filtre notée $u'_s(t)$.

16. Le filtrage est-il de bonne qualité ? Justifier et commenter.
17. Proposer une amélioration du filtrage.

III Étude expérimentale d'un analyseur de spectre

On considère le circuit représenté ci-dessous : la tension d'entrée $u_e(t)$ est délivrée par un GBF et on relève la tension de sortie $u_s(t)$ aux bornes de C et L qui sont en dérivation.



Les composants présents dans le circuit sont les suivants : C est une boîte de capacités variables, $L = 70$ mH et R une boîte de résistances variables.

Manipulation 5 Analyseur de spectre

- En utilisant **Oscillo5** (voir l'utilisation de ce logiciel en annexe), et une valeur de $R = 1$ k Ω , tracer les diagrammes de Bode du filtre en faisant varier C .
Que remarque-t-on ?
- Régler ensuite le GBF d'Oscillo5 pour qu'il délivre un créneau, de fréquence 1000 Hz.
- Choisir C de façon à avoir la fréquence propre du filtre égale à la fréquence du signal d'entrée.
On vérifiera expérimentalement grâce au mode **Bode** d'Oscillo 5 qu'on est au plus proche de $f_0 = 1000$ Hz.
Qu'observe-t-on pour u_s ?
- Reprendre la manipulation précédente mais en réglant la fréquence propre du filtre à 3 fois la fréquence du signal d'entrée.
On vérifiera également expérimentalement grâce au mode **Bode** d'Oscillo 5 qu'on est au plus proche de $f_0 = 3 \times 1000 = 3000$ Hz.
Dessiner la tension observée en u_s . Commenter.
- Quel est l'effet d'une augmentation ou d'une diminution de R sur la forme du signal u_s ? Expliquer.
- Comment pourrait-on utiliser le circuit pour déterminer le spectre en fréquence de $u_e(t)$?

IV Modulation - Démodulation

1 Modulation d'amplitude

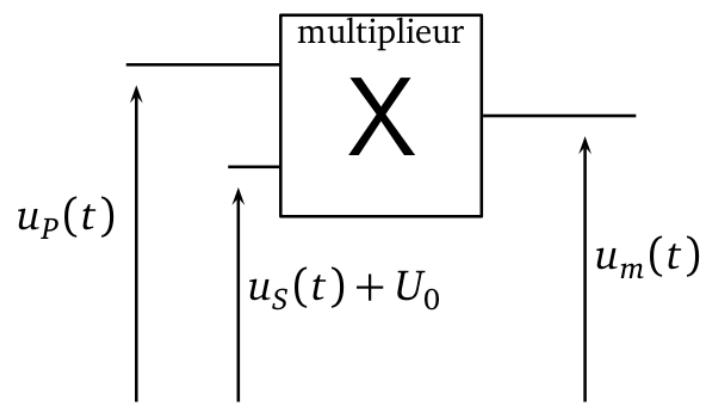


FIGURE TP E8.6 – Schéma du montage pour réaliser la modulation d'amplitude.

Manipulation 6 Réalisation et analyse spectrale du signal modulé

- Réaliser le montage de la figure TP E8.6 en utilisant toujours la carte SYSAM pour les générateurs et Oscillo5 pour les paramétrer et effectuer les observations suivantes.

- On associe SA1 au signal à transmettre décalé $u_s(t) + U_0$ d'amplitude $U_s = 1$ V et de fréquence $f_s = 1$ kHz auquel on ajoute une tension de décalage : $U_0 = 2$ V.
- On associe SA2 au signal porteur haute fréquence $u_p(t)$ d'amplitude : $U_p = 5$ V et de fréquence $f_p = 50$ kHz.
- Visualiser $u_s(t) + U_0$ et $u_m(t)$.
- Effectuer l'analyse spectrale, avec Oscillo5, du signal modulé et vérifier les résultats présentés dans l'étude théorique préalable au paragraphe I-3)b.

18. Quelle observation sur le spectre permet d'affirmer que le signal modulé est obtenu par une opération non linéaire.

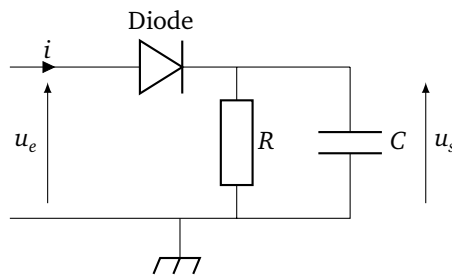
2 Principe de la démodulation d'amplitude

On rappelle que l'information est contenue dans la partie supérieure (ou inférieure) de l'enveloppe de la tension modulée : il faut donc récupérer la partie supérieure (par exemple) de cette enveloppe, c'est l'opération de démodulation.

On utilise un montage détecteur d'enveloppe où

$$u_m(t) = kU_p \cos(2\pi f_p t) [U_s \cos(2\pi f_s t) + U_0]$$

est de pseudo-période $T = 1/f_p$:



Manipulation 7 Détection d'enveloppe

- Réaliser le montage ci-dessus sur la breadboard en prenant pour u_m le signal de sortie du multiplieur. On prendra pour R le potentiomètre 10 k Ω et pour C , 100 nF.
- Observer en faisant varier R les trois cas mis en évidence dans l'étude théorique préalable.

19. Après avoir tracé l'allure des courbes, noter vos observations. On n'oubliera pas de noter dans chaque cas les valeurs des composants, et des trois échelles de temps τ , T et T_m .

Manipulation 8 Élimination de la composante continue

- L'objectif est maintenant de couper la composante continue du signal de sortie précédent. Après avoir schématisé l'ensemble du montage incluant le filtre d'ordre 1 final, brancher le filtre d'ordre 1 constitué de la résistance R_f et du condensateur C_f sur le montage de détection d'enveloppe précédent et comparer les signaux avant le filtre et après le filtre.

20. Après avoir noté les allures de courbes et vos observations, conclure.