



INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUEES DE
TOULOUSE

2^{ème} Année MIC

Systemes électroniques pour les communications

-

Travaux Pratiques

Année 2008 - 2009

DOCUMENT REALISE PAR A. BOYER, M. AIME, JY. FOURNIOLS,
S. BEN DHIA, M. BONNET ET C. ESCRIBA

TP1 : Instrumentation et Mesures

Préambule : L'objectif de ce TP est de vous familiariser avec les appareils de mesure les plus couramment utilisés en électronique (Générateur de Signaux Basse Fréquence (GBF), oscilloscope, sonde d'oscilloscope et multimètre). Quatre expériences vous sont proposées pour vous permettre d'acquérir vos premiers automatismes sur les aspects manipulateurs en électronique. Afin de ne pas vous surcharger d'informations, les expériences sont présentées directement, et sans introduction. Pour mieux comprendre les expériences que vous allez mener et en tirer pleinement bénéfice, vous aurez besoin de chercher les informations nécessaires dans la dernière partie de ce document, intitulée « annexes ».

Notation : La notation de ce TP se fera lors d'un contrôle de TP prévu le 18 Décembre. L'implication de chaque étudiant, la ponctualité, le respect des consignes et du matériel seront contrôlés par les enseignants en séance et reportés sur la note du contrôle de TP en cas de manque de respect des consignes.

I. Expérience 1 : Association GBF / Oscilloscope

Objectifs pédagogiques :

- Savoir identifier les différentes sorties du GBF (sortie principale, sortie TTL).
- Savoir connecter le GBF à l'oscilloscope à l'aide d'un câble coaxial.
- Savoir synchroniser l'oscilloscope sur le signal à observer.
- Connaître la différence entre le mode AC et le mode DC.

Manipulations à effectuer :

- Reliez la sortie TTL du GBF à la voie 1 de l'oscilloscope.
- Sur le GBF, choisir une fréquence de signal égale à 2 kHz.
- Réglez le niveau de synchronisation (sur l'oscilloscope, tourner le bouton *Level*) de manière à synchroniser le signal (on pourra régler les options de synchronisation dans le menu *Trigger Menu* des oscilloscopes numériques).
- Observez le signal à l'oscilloscope en mode DC (sur les oscilloscopes numériques, on trouvera ce mode sous le menu « couplage CC »).
- Observez le même signal en mode AC (« couplage CA »).
- Comparez les chronogrammes observés en mode DC et en mode AC.

Questions :

Q1] Quel est le rôle du mode DC/ du mode AC ?

Q2] Quel est le rôle de la synchronisation ?

- Refaire la même expérience, en choisissant cette fois un signal de GBF de fréquence égale à 200 Hz, puis 20 Hz.

Q3] Conclure sur la nature du filtre placé en entrée de l'oscilloscope lorsque ce dernier est en mode AC. Représenter ce filtre de la manière la plus simple possible.

II. Expérience 2 : Mesure de l'amplitude d'un signal alternatif.

Objectifs pédagogiques :

- Savoir mesurer une tension à l'aide d'un multimètre.
- Savoir mesurer l'amplitude d'un signal à l'oscilloscope, en utilisant les curseurs.
- Connaître la notion de valeur efficace d'un signal.
- Prendre conscience des limites fréquentielles du multimètre : notion de bande passante.

- S'initier au tracé d'un diagramme de Bode ; savoir lire un papier semi-logarithmique.

Manipulations à effectuer :

- Générez un signal sinusoïdal à l'aide du GBF, de fréquence 1 kHz, sans offset, et d'amplitude 5V (équivalent à 10 V crête à crête).
- Pour chacune des fréquences référencées dans le tableau 1 (voir dans les annexes), mesurez la valeur d'amplitude indiquée par le voltmètre.
- A l'aide des curseurs, mesurez également l'amplitude indiquée par l'oscilloscope.
- Complétez le tableau 1.
- Tracez le diagramme de Bode sur du papier semi-logarithmique.

Q4] Qu'observe-t-on en comparant la mesure au voltmètre à celle à l'oscilloscope ? Déterminer la bande passante d'utilisation du voltmètre. Conclure sur les limites d'utilisation du voltmètre.

III. Expérience 3 : Utilisation d'une sonde d'oscilloscope

Objectifs pédagogiques :

- Connaître la différence entre les modes $\times 1$ et $\times 10$ d'une sonde
- Comprendre l'intérêt d'une sonde d'oscilloscope pour une mesure
- Savoir calibrer une sonde d'oscilloscope

Manipulations à effectuer :

- Connectez votre sonde à l'oscilloscope et placez la sur la sortie de calibration de l'oscilloscope, qui fournit en général un signal de référence carré 0 - 5 V de fréquence égale à 1 KHz.
- Relevez sur l'oscilloscope l'amplitude et la fréquence que doit délivrer la sortie de calibration.
- Mettez dans un premier temps la sonde en mode $\times 1$ et relevez l'amplitude du signal mesuré.
- Dans un deuxième temps, mettez la sonde en mode $\times 10$ et relevez l'amplitude du signal mesuré.
- A l'aide d'un tournevis, jouez sur la vis de réglage de la sonde. Observez l'effet sur le signal mesuré.

Q5] En utilisant le schéma électrique de la sonde fourni en annexe 1, expliquer les effets observés en mesure.

IV. Expérience 4 : Détermination des caractéristiques d'un filtre en utilisant l'oscilloscope

Objectifs pédagogiques :

- Savoir mesurer la période d'un signal à l'oscilloscope, en utilisant les curseurs
- Savoir mesurer le déphasage entre deux signaux à l'oscilloscope
- Être capable de déterminer les propriétés d'un filtre analogique à l'oscilloscope

Manipulations à effectuer :

- Sur une plaquette à insertion, réalisez un filtre passe bas d'ordre 1 de fréquence de coupure égale à 1 KHz (cf. annexe 1, **lire les consignes d'utilisation des plaquettes à insertion**).
- Alimenter l'entrée du filtre à l'aide d'un signal sinusoïdal sans offset d'amplitude crête à crête égal à 10 V. Affichez sur la voie 1 de l'oscilloscope le signal d'entrée du filtre.
- Affichez sur la voie 2 de l'oscilloscope le signal de sortie du filtre. Attention : si vous utilisez une sonde d'oscilloscope, n'enfoncez pas les sondes d'oscilloscope dans les trous de la plaquette à insertion, mais utiliser l'adaptateur pince et un petit fil.
- Déterminez à l'oscilloscope la fréquence de coupure du filtre. Mesurez la période du signal d'entrée.
- Mesurez le déphasage entre le signal d'entrée et le signal de sortie.
- Modifiez la configuration du circuit pour réaliser un filtre passe haut. Mesurez le déphasage entre le signal d'entrée et le signal de sortie.

Q6] Donnez les déphasages théoriques introduits par les 2 filtres étudiés à la fréquence de coupure. Donnez l'expression qui permet de déterminer expérimentalement le déphasage entre 2 signaux.

ANNEXE 1 : quelques notions indispensables.

I. Présentation générale d'un oscilloscope

1. Rappel sur la constitution

Très schématiquement, un oscilloscope est composé d'un canon à électron et 4 plaques de déviations:

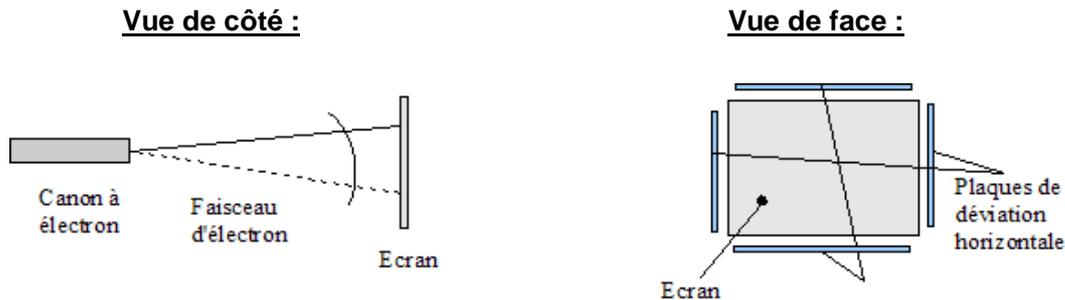


Fig. 1 - Principe d'un oscilloscope

a. Schéma fonctionnel

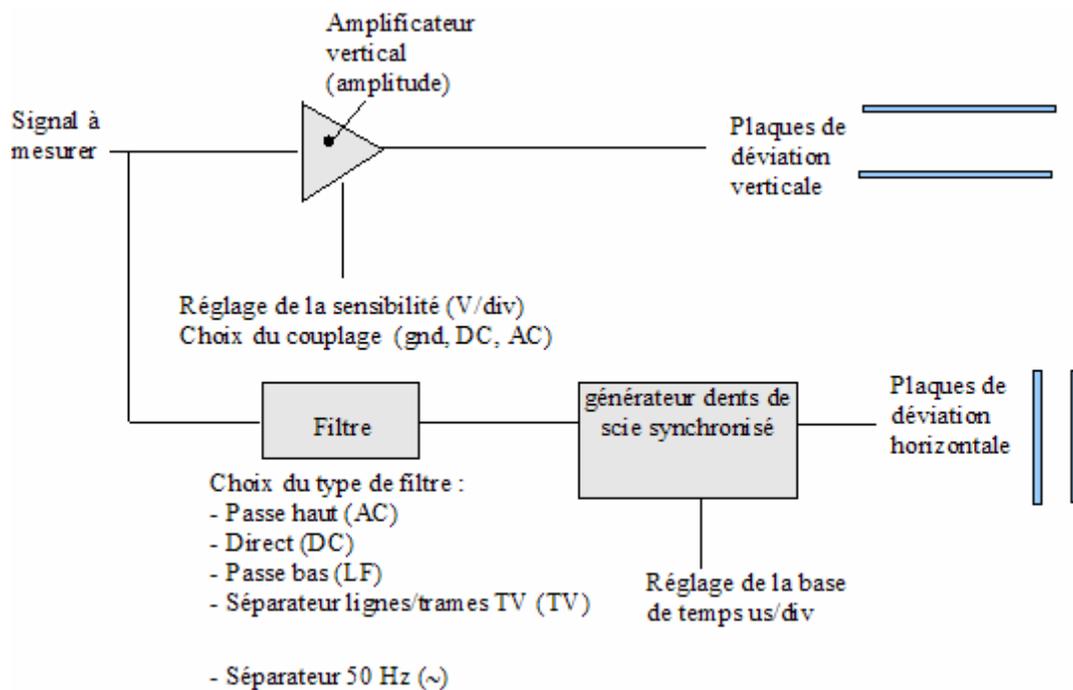


Fig. 2 – Schéma fonctionnel d'un oscilloscope

Pour obtenir une trace stable à l'écran, la rampe (dent de scie) doit débuter toujours en **synchronisme** avec le signal à mesurer. Pour cela, le générateur de dents de scie va attendre le même niveau de tension du signal d'entrée (**level**) pour relancer une nouvelle rampe. (Voir figure suivante).

Exemple : signal sinusoïdal de période 900us. L'oscilloscope est calibré sur 100us/div.

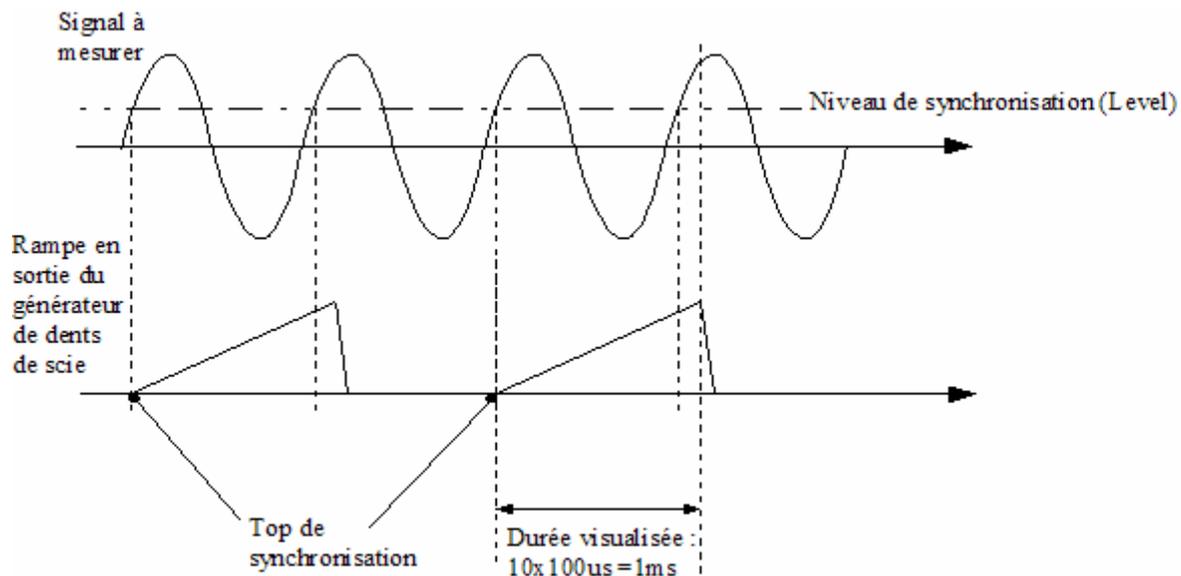


Image stable vue à l'écran :

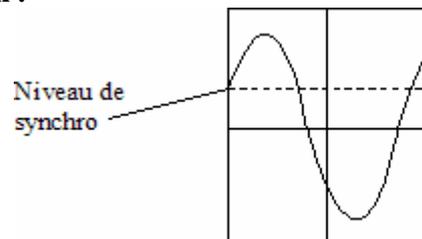


Fig. 3 – Visualisation à l'oscilloscope d'un signal sinusoïdal

b. Les réglages de l'oscilloscope

Quelque soit le type d'oscilloscope, on trouvera toujours 2 zones de réglage : la zone de **réglage de sensibilité verticale** (amplitude) et la zone de **réglage de la base de temps** (déviation horizontale et réglage de synchronisation de la base de temps).

2. Utilisation de l'oscilloscope : réglages à faire avant toute mesure

Avant toute mesure, voici les réglages de bases qu'il faut **absolument** faire :

1. Placer tous les calibrages à 0 (potentiomètres présents sur les boutons de déviation horizontale et verticale)
2. Placer la source de synchronisation sur la voie utilisée (trig Ext, trig 1, ou trig 2)
3. Placer le mode de synchronisation en automatique (pour obtenir la trace)
4. Placer le couplage d'entrée de la voie considérée en Gnd
5. Ajuster la trace pour qu'elle soit à mi-hauteur
6. Se placer en mode DC sur le couplage d'entrée. Ceci est très important. On ne se place jamais par défaut en mode AC. Le premier réflexe est de chercher à tout voir du signal à mesurer, donc sa composante continue. Ensuite, une fois la trace obtenue, on peut chercher à supprimer la composante continue (couplage AC) de manière à « zoomer » sur la composante alternative.
7. Opérer les calibrages en amplitude et en temps de manière à obtenir une trace convenable.

3. Utilisation de l'oscilloscope : la synchronisation

Avant toute chose, il est nécessaire que le signal à mesurer soit dirigé vers l'ensemble de synchronisation (Trig ext, ou voie 1, ou voie 2). Comme on l'a vu lors de la présentation du schéma fonctionnel, le signal à mesurer traverse un filtre avant d'attaquer la génération de dents de scie. Il existe un commutateur qui va permettre de choisir le bon type de filtrage pour une bonne synchronisation.

- position DC : La liaison est directe
- position AC: le filtre est de type passe haut, la composante continue est supprimée.
- position LF: le filtre est de type passe-bas. Ceci peut être intéressant quand on observe un signal de basse fréquence bruité (parasites HF éliminés)
- position TV: utilisé quand on observe un signal vidéo. Le filtre a pour rôle d'extraire les tops lignes et top vidéo. Ce sont ces impulsions qui vont permettre la synchronisation.
- position ~ : la synchronisation se fait sur la tension secteur (230 V/50Hz).

II. Utilisation d'une sonde d'oscilloscope

La liaison d'un oscilloscope avec un circuit peut se faire à l'aide de 2 fils classiques (fiches bananes). L'inconvénient de ceci est la faible protection vis à vis des bruits et perturbations.

Pour contourner le problème, on utilise une **sonde**. Elle a l'avantage d'être blindée de bout en bout, donc efficace pour les mesures de faibles niveaux. Elle va donc améliorer la qualité des mesures et des visualisations de signaux à l'oscilloscope.

1. La sonde x1

C'est un simple câble blindé muni d'une pointe ou d'un grip-fil à son extrémité. Une sonde « ramène » l'impédance d'entrée de l'oscilloscope sur le circuit, composé d'une résistance en parallèle avec une capacité, comme le montre le schéma ci-dessous.

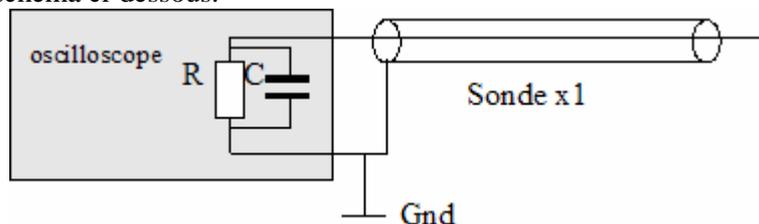


Fig. 4 – Schéma électrique équivalent d'une sonde d'oscilloscope x1

La sonde peut donc, sur des montages sensibles (oscillateur par exemple), perturber le circuit (mesure intrusive), voire l'empêcher de fonctionner. R est souvent de l'ordre de $1M\Omega$ et C de l'ordre de 20pF à 30pF.

2. La sonde x10

Afin de contourner le problème, on utilise une sonde x10: elle multiplie l'impédance ramenée sur le circuit par 10 (pour la résistance) et divise d'autant la capacité. On parvient à ceci en ajoutant le circuit suivant.

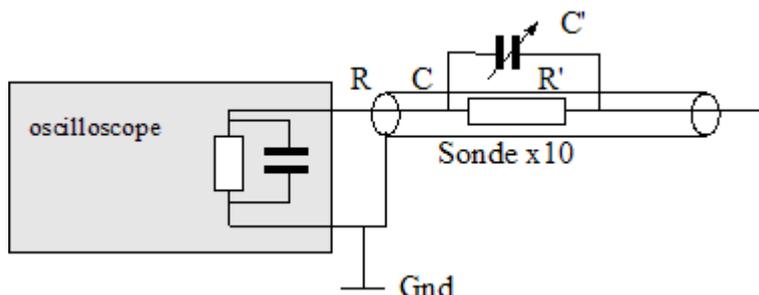


Fig. 5 – Schéma électrique équivalent d'une sonde d'oscilloscope x10

Habituellement, R' vaut $10M\Omega$ et C' varie aux alentours de 3 pF . On arrive ainsi à augmenter l'impédance ramenée au circuit. Il reste qu'il faut ajuster C' de manière à rendre la sonde neutre du point de vue spectral. On fait cela en utilisant un signal « étalon » de forme carré issu de l'oscilloscope.

III. Les plaquettes à insertion

Afin de réaliser et valider des montages électroniques simplement et à faible coût, les plaquettes à insertion sont utilisées. La figure ci-dessous présente les plaquettes à insertion dédiées aux travaux pratiques d'électronique au DGEI.

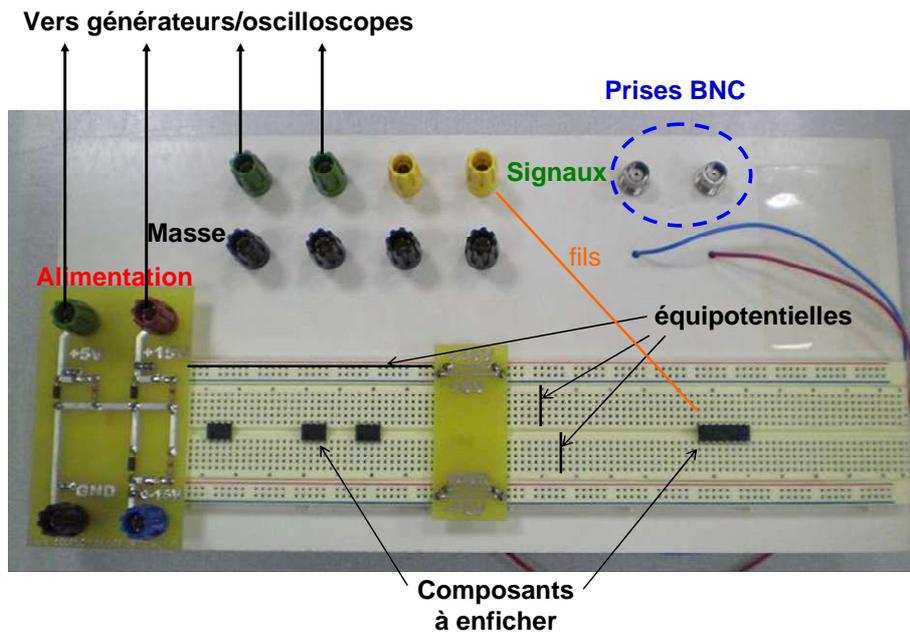


Fig. 6 – Plaquette insertion

Les plaquettes à insertion sont formées d'un ensemble de cases, permettent d'enficher des composants ou des fils électriques. L'ensemble des cases forme des lignes et des colonnes interconnectées, suivant leur emplacement sur la plaquette (fig. 7). Les colonnes au centre de la plaquette sont des équipotentiels qui peuvent être reliées par des fils à un potentiel donné. Les 2 rangées supérieures et inférieures sont aussi des équipotentiels et sont dédiées aux alimentations des circuits. Des fiches bananes et coaxiales permettent la liaison aux différentes alimentations, GBF et oscilloscope.

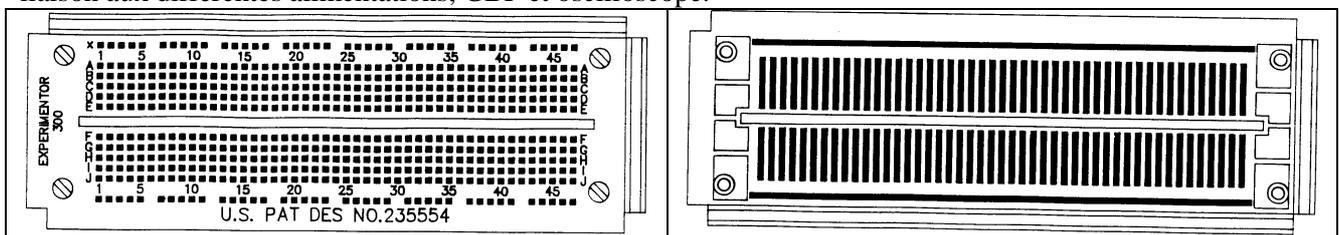


Fig. 7 - Plaquette à insertion – vue de dessus (gauche) et de dessous (droite)

Quelques règles à respecter pour utiliser à bien les plaquettes à insertion :

- lorsqu'on interconnecte les circuits par des fils, il convient d'utiliser des fils les plus courts possibles, afin d'éviter la « forêt » de fils, ce qui ne facilite pas la « lecture » du circuit, et donc son dépannage.
- Utiliser le moins de fils possibles.

- employer un code couleur pour les fils. Par exemple, on peut employer des fils rouges pour les alimentations positives, bleus pour des alimentations négatives, noirs pour des références de masse, vert ou jaune pour des signaux.
- Lorsque vous enfichez des composants dans les plaquettes à insertion, assurez vous que leurs pattes ne soient pas trop usées. Des broches usées peuvent engendrées de mauvais contacts ce qui est à l'origine de nombreux dysfonctionnements.
- n'utiliser que des fils monobrin, exclure les fils multibrins.
- ne pas enficher 2 fils ou 2 broches d'un composant dans la même case, au risque de dégrader la connexion.
- ne pas enficher une sonde d'oscilloscope dans une case car elles ne peuvent pas y rentrer sans détruire les connexions électriques de la plaquette. Connecter plutôt la sonde à une broche d'un composant ou un fil monobrin à l'aide d'une pince grip-fil.

ANNEXE 2 : TABLEAU 1

Fréquence (Hz)	100 Hz	1kHz	10kHz	100kHz	200kHz	300kHz	400kHz	500kHz
Valeur mesurée au voltmètre (V1)								
Amplitude mesurée à l'oscilloscope (V2)								
V1 / V2								
$20 \cdot \log(V1/V2)$								

Fréquence (Hz)	600kHz	700 kHz	800kHz	900kHz	1MHz	2MHz	5MHz
Valeur mesurée au voltmètre (V1)							
Amplitude mesurée à l'oscilloscope (V2)							
V1 / V2							
$20 \cdot \log(V1/V2)$							

Tableau 1 : comportement fréquentiel du multimètre

TP n°2 : Initiation au logiciel Orcad/PSPICE Simulation de circuits électroniques

Préambule : L'objectif de ce TP est de vous familiariser avec l'outil de simulation ORCAD/PSPICE sous Windows. La simulation de circuit électronique permet de prédire les caractéristiques d'un circuit électronique et son comportement à des stimuli donnés, et donc de le dimensionner avant fabrication. La première partie de ce document détaille les différentes étapes à suivre pour saisir un schéma électrique, le simuler avec PSPICE et visualiser les résultats. Il vous est demandé de suivre les différentes étapes pour construire les schémas électriques et simuler leur fonctionnement. Dans la seconde partie, plusieurs exercices sont fournis.

Notation : La notation de ce TP se fera lors d'un contrôle de TP prévu le 18 décembre. L'implication de chaque étudiant, la ponctualité, le respect des consignes et du matériel seront contrôlés par les enseignants en séance et reportés sur la note du contrôle de TP.

Objectifs pédagogiques:

- Comprendre le principe et l'intérêt de la simulation électrique
- Connaître les principales fonctionnalités de l'outil de simulation SPICE
- Savoir créer un schéma électrique sous Orcad/Capture
- Savoir configurer les différentes simulations de Orcad/PSPICE
- Savoir simuler des filtres et des montages à base d'AOP sous SPICE

I. Introduction

SPICE (Simulator Program with Integrated Circuit Emphasis) est un simulateur électrique standard qui permet l'analyse statique et transitoire des circuits linéaires et non linéaires. Cet outil est souvent indispensable lors de la conception électronique afin de dimensionner correctement les différents éléments d'un circuit. Le logiciel ORCAD contient plusieurs outils (fig. 1) dédiée à la simulation de circuits électroniques :

- un outil de saisie de schéma électrique ou schématique Capture CIS
- un outil de simulation électrique PSPICE A/D
- un éditeur extracteur de paramètres de modèles PSPICE Model Editor
- un générateur de stimuli d'entrée PSPICE Stimulus Editor
- un outil d'optimisation PSPICE Optimizer

Capture représente le point d'entrée du processus de simulation. Tous les autres outils sont accessibles depuis Capture.

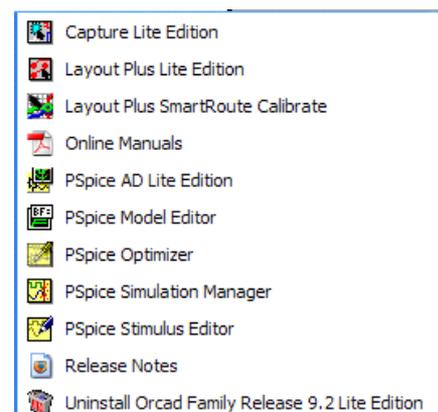


Fig. 1 - Organisation des icônes d'ORCAD

La figure 2 décrit les différentes étapes à suivre pour réaliser la simulation d'un circuit électronique.

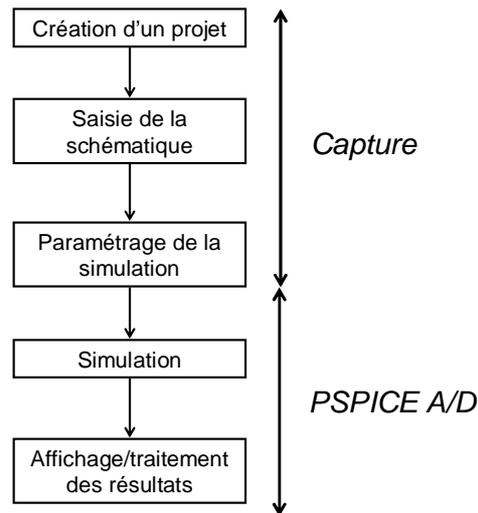


Fig. 2 – Flot de simulation sous Orcad/PSPICE

II. Prise en main de l’outil de simulation Orcad/PSPICE

1. Création d’un projet

Lancez l’outil Orcad Capture Lite Edition. L’outil se lance sans aucun projet ouvert. Il faut donc commencer par en créer un :

- cliquez sur **File/New/Project**.
- La fenêtre de la figure 3 s’ouvre. Nommer votre projet, par exemple mon_projet, il prendra l’extension .opj automatiquement.
- sélectionnez le type de projet que vous voulez créer. Sélectionnez **Analog or Mixed A/D** pour faire de la simulation électrique
- Précisez le chemin d’accès de votre fichier (**Browse**). Il est préférable de créer un répertoire pour ranger chaque projet.
- Pour terminer, cliquez sur **OK**.

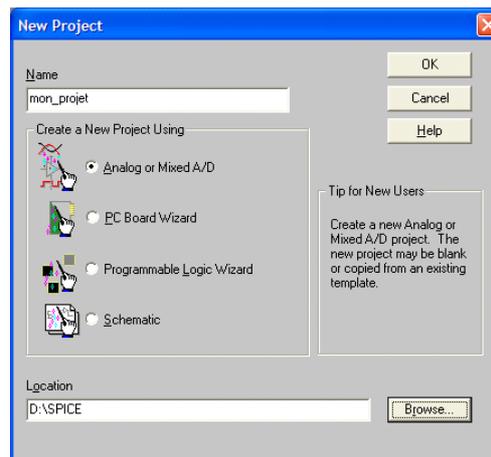


Fig. 3 – Création d’un nouveau projet

Une nouvelle fenêtre apparaît vous demandant si vous désirez créer un projet à partir d’un projet existant ou un projet vide (**Blank Project**). Pour l’instant, sélectionnez **Blank Project** et validez en cliquant sur OK. La fenêtre ci-dessous s’ouvre avec le nouveau projet.

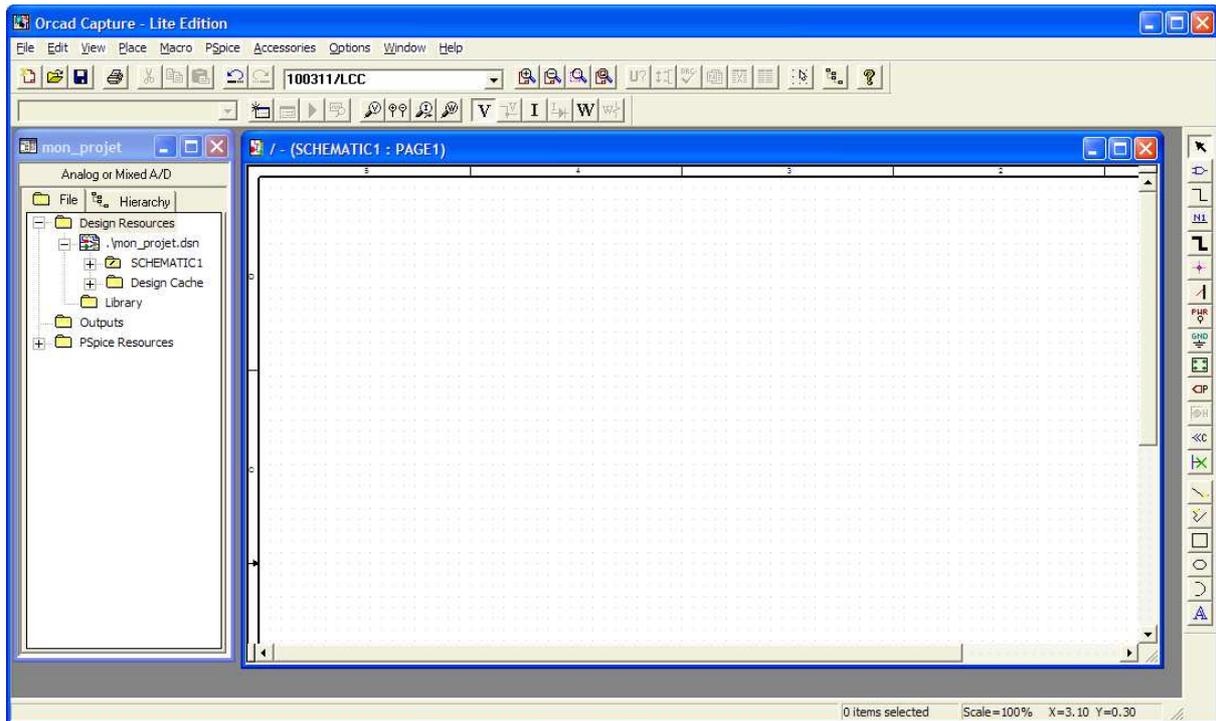


Fig. 4 – Fenêtre principale de l’outil Orcad Capture

Dans la partie de gauche de la fenêtre apparaissent l’arborescence de votre projet et l’ensemble des ressources associées :

- mon_projet.dsn contient la schématique du circuit que vous allez saisir
- Library contient l’ensemble des bibliothèques de composants préexistants que vous allez utiliser pour construire la schématique
- Outputs contient l’ensemble des fichiers de résultats de simulation

Dans la partie centrale apparaît la fenêtre de saisie de schématique appelée **Schematic1 – Page1**. Le projet peut contenir plusieurs fenêtres de schématique. A droite et en haut de la fenêtre, on trouve les différentes barres d’outils. Vous pouvez également ouvrir un projet existant en cliquant sur **File/Open/Project**. Pour fermer un projet, cliquez sur **File/Close Project**.

2. Saisie d’une schématique

Avant de saisir la schématique, il convient de copier dans son projet l’ensemble des composants qui formeront le circuit. Ceux-ci sont inclus à l’intérieur de bibliothèques préexistantes fournies par le logiciel. La configuration de base de la version Lite donne accès à un nombre limité de bibliothèques, mais suffisant pour réaliser des circuits basiques. Les bibliothèques sont repérables par leur extension .olb. Les bibliothèques que nous utiliserons sont les suivantes :

- source.olb : contient l’ensemble des sources de tension et de courant
- sourcstm.olb : source digitales et stimuli
- analog.olb : contient les composants passifs
- eval.olb : contient des composants standards du commerce
- special.olb : éléments supplémentaires influant sur la simulation

Pour placer un composant sur la schématique, votre fenêtre de saisie de schématique doit être active.

Cliquez sur Place/Part ou sur l’icône . La fenêtre suivante s’ouvre.

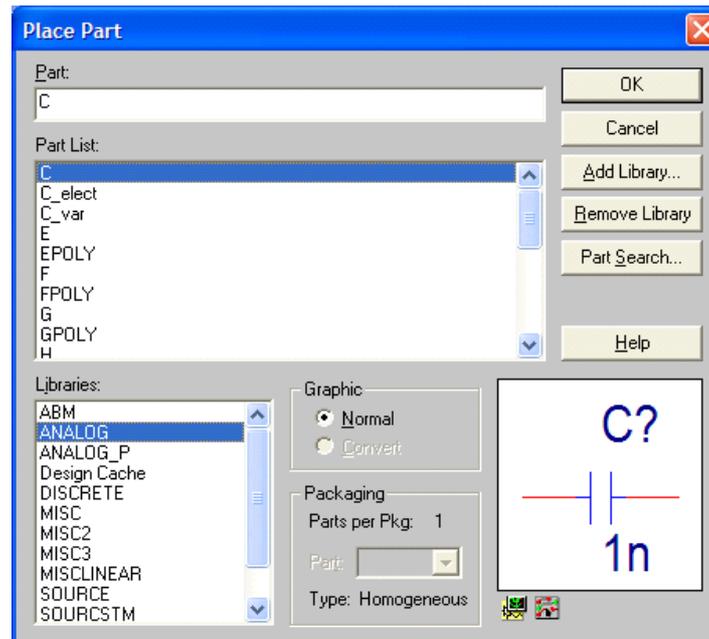


Fig. 5 –Sélection d'un nouveau composant dans les librairies

Sélectionnez une librairie dans le champ **Libraries** puis le composant désiré qui se trouve dans le champ **Part List**. Si la librairie du composant n'est pas disponible, vous pouvez ajouter la librairie en cliquant sur **Add Library**. Une fois le composant identifié, vous pouvez le placer en cliquant sur **OK**. Vous pouvez ensuite déposer le composant sur la schématique en déplaçant votre souris puis en cliquant sur le bouton gauche. Appuyez sur la touche échap pour arrêter le placement d'un composant. En sélectionnant à la souris un composant puis en appuyant sur la touche R, on peut faire tourner de 90° le composant. En double cliquant sur le composant, on accède à ses propriétés que l'on peut ainsi modifier (noms, valeurs, paramètres).

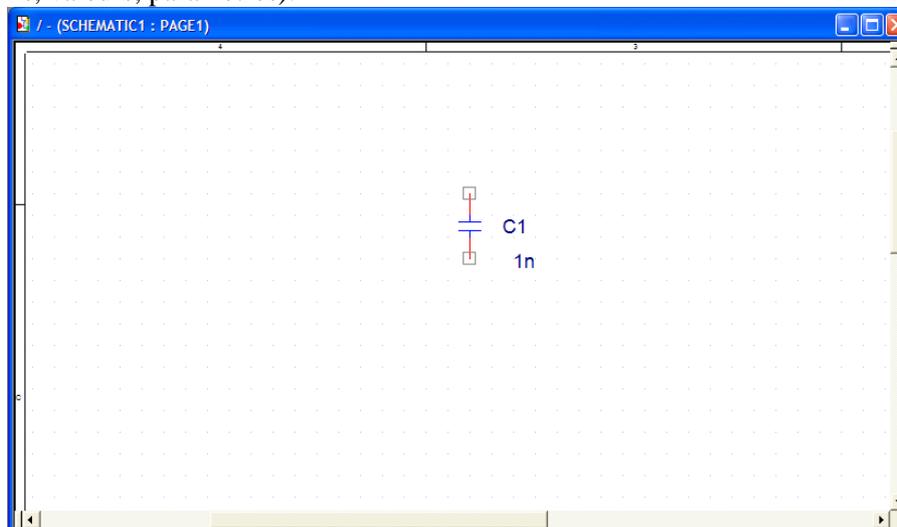


Fig. 6– Ajout d'un nouveau composant sur la schématique

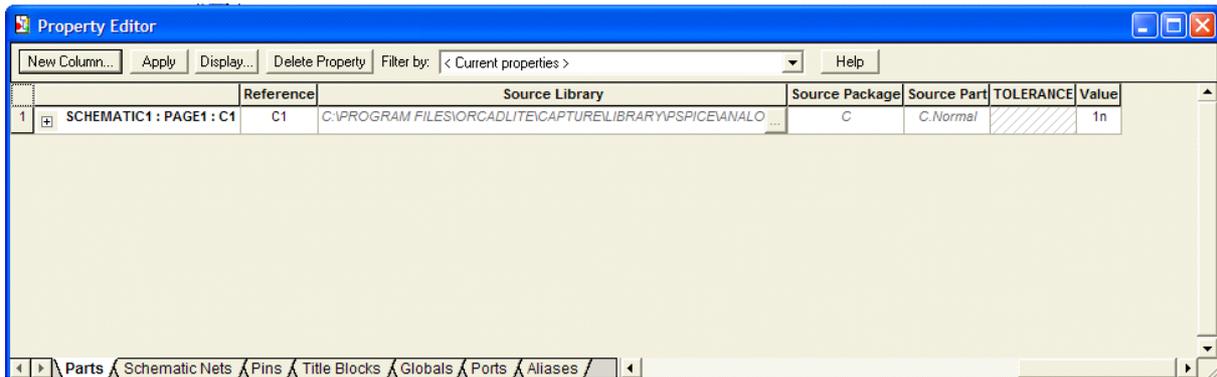


Fig. 7 – Modification des propriétés d'un composant

Dans un premier temps, on décide de simuler un filtre passe bas. Le résultat doit ressembler au circuit décrit sur la figure 8. Au cours du travail, pensez à faire des sauvegardes régulières, en cliquant sur **File/Save**.

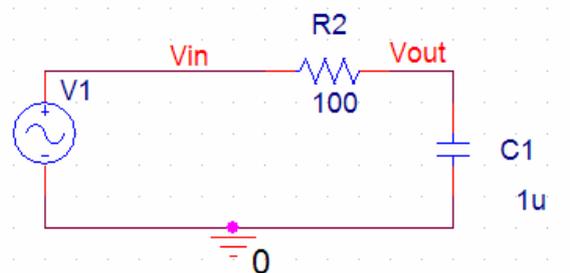


Fig. 8 – Exemple de schématisation – filtre passe bas

On place d'abord les composants passifs : résistance R et capacité C, inclus dans la librairie Analog.olb. On donne les valeurs suivantes aux composants : $100\ \Omega$ et $1\ \mu\text{F}$.

Remarque : Attention, le symbole micro est noté u.

On ajoute ensuite une source de tension, incluse dans la librairie source.olb. Plusieurs sources de tension sont disponibles. Parmi elles, on s'intéressera aux sources suivantes :

- VDC : source de tension continue
- VPULSE : source de tension de type carré, trapézoïdal
- VSIN : source de tension sinusoïdale

La figure 9 présente les paramètres des sources sinusoïdales et de type PULSE. Les sources de tension sont aussi caractérisées par les paramètres :

- DC : cette propriété indique une valeur continue utilisée pour la simulation de type DC qui est ignorée pendant une simulation transitoire.
- AC : cette propriété indique l'amplitude d'un signal harmonique pour la simulation de type AC qui est ignorée pendant une simulation transitoire ou DC

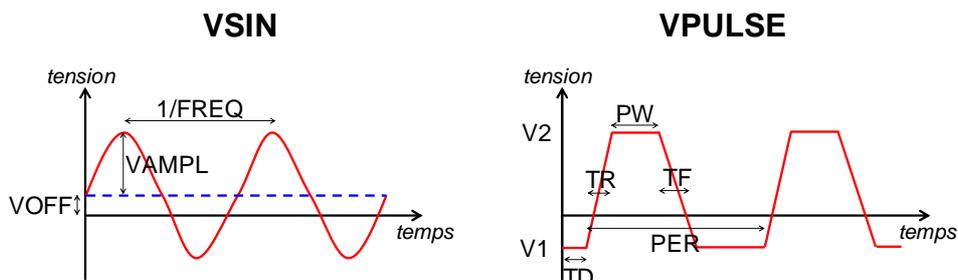


Fig. 9 – Paramètres SPICE des sources sinusoïdales et carrées

Sélectionnez la source sinusoïdale, placez là et accédez à ses propriétés. Donnez une amplitude de 1 V, un offset de 0 V et une fréquence de 1 KHz (vous pouvez noter 1 K). Mettez la propriété AC à 1 V.

Relier ensuite les terminaux de chaque composant par des connexions de type **Wire** (fil). Pour cela, cliquez sur **Place/Wire** ou sur l'icône . Cliquez sur un terminal d'un composant pour placer une des extrémités de la connexion, puis cliquez à nouveau sur le terminal sur lequel vous voulez créer la connexion. Un cercle rouge indique que la connexion est possible. Cliquez sur la touche Echap pour terminer le placement des connexions

Pour faciliter le repérage des nœuds ou équipotentielles sur le circuit et sa lecture, il est fortement recommandé de les nommer. Pour cela, il est possible de définir un **Label** à chaque nœud. Cliquez sur **Place/Net Alias** ou sur l'icône . Une fenêtre s'ouvre permettant de définir le nom du label. Placez ensuite le label sur le fil représentant cette équipotentiel.

Enfin, il est nécessaire de définir une masse analogique et de la placer sur le circuit. Oublier de définir une masse conduira à une erreur. Les masses sont disponibles dans la librairie PSPICE/SOURCE.olb.

Vous pouvez la placer en cliquant sur **Place/Ground** ou en cliquant sur l'icône . Sélectionnez le symbole 0. Si la librairie Source n'apparaît pas, pensez à la récupérer. De même, il est possible de placer une alimentation continue en cliquant sur **Place/Power** ou sur l'icône .

Remarque : il est inutile de placer un label sur les nœuds connectés à une masse ou une alimentation de type Power.

3. Simulation d'un circuit

Une fois la saisie de la schématique terminée, les simulations électriques peuvent être configurées puis lancées. PSPICE offre différents types de simulation :

- simulation DC : le simulateur balaye les valeurs prises par une variable qui est en général la tension ou le courant continu d'un générateur et calcule les potentiels et les courants statiques de chaque nœud. Aucun phénomène temporel n'est pris en compte. Ce type de simulation permet le tracé de caractéristiques tension de sortie en fonction de la tension d'entrée.
- simulation AC : l'ensemble des générateurs sont supposés harmoniques (ou sinusoïdaux) et le simulateur balaye un ensemble de fréquence. L'amplitude et la phase des tensions et des courants de chaque nœud sont calculées à chaque fréquence. Ce type de simulation permet le tracé de fonction de transfert et de diagramme de Bode. En général, une seule source AC est définie dans un circuit.
- simulation TRAN : il s'agit d'une simulation transitoire, seul le paramètre temps est balayé. Les tensions de chaque nœud et les courants traversant chaque dispositif sont calculés à chaque instant.
- Analyse paramétrique : il est possible de lancer les simulations précédentes en modifiant un paramètre d'un élément du modèle (par exemple, la tension d'un générateur ou la valeur d'une résistance). Une simulation est relancée pour chaque valeur prise par le paramètre.

Analyse	Paramètres
DC	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Voltage source : générateur dont la composante continue sera balayée ▪ Paramètre DC (paramètre de source) : tension continue prise par chaque générateur durant la simulation DC ▪ Start value : valeur initiale du balayage en tension ▪ End value : valeur finale du balayage en tension ▪ Increment : incrément du balayage
AC	<ul style="list-style-type: none"> ▪ paramètre AC (paramètre de source) : amplitude constante prise par une source harmonique

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Start frequency : fréquence initiale du balayage en fréquence ▪ Stop frequency : fréquence finale du balayage en fréquence ▪ Points/Decade : paramètre d'incrémentement du balayage en fréquence
TRAN	<ul style="list-style-type: none"> ▪ TSTOP : durée de la simulation temporelle ▪ Maximum step : pas temporel de simulation maximal

Pour illustrer le lancement d'une simulation, on prend l'exemple d'une simulation transitoire effectuée sur le filtre passe bas décrit à la figure 8. Dès qu'on souhaite lancer une nouvelle simulation, on commence par définir un nouveau profil de simulation puis on le configure. Pour créer un nouveau profil de simulation, cliquez sur **PSPICE/New Simulation Profile** ou sur l'icône . La fenêtre suivante apparaît, donnez un nom à ce profil (par exemple transitoire) puis cliquez sur OK.

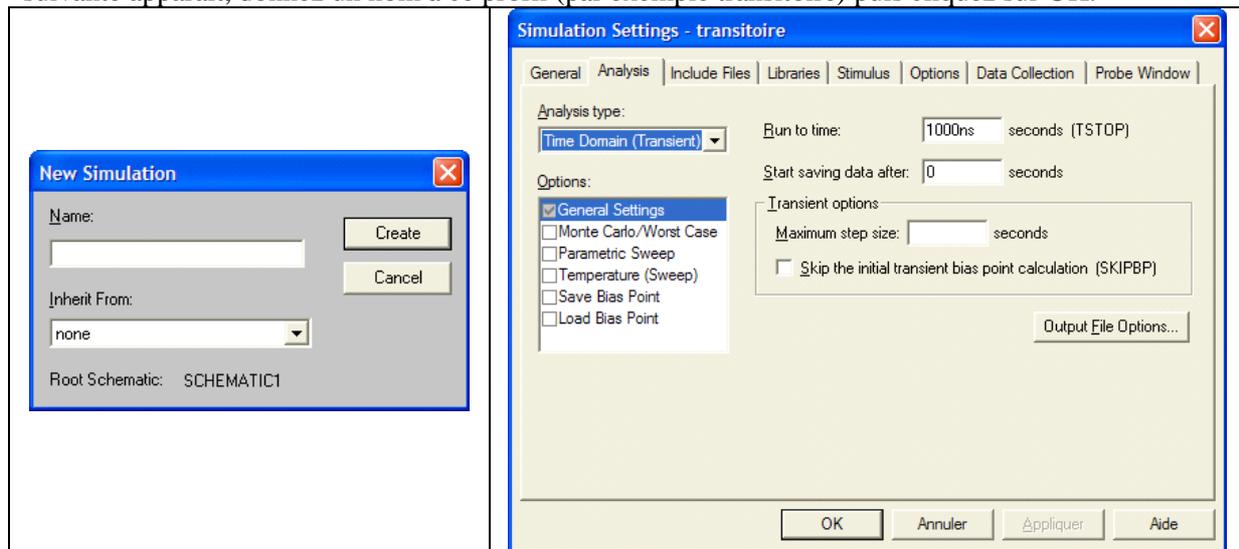


Fig. 10– Définition d'un nouveau profil de simulation

Une nouvelle fenêtre apparaît permettant de paramétrer la simulation. Commencez par sélectionner le type d'analyse (**Analysis Type**) et choisissez **Time Domain (Transient)**. Définissez les champs suivants :

- temps de simulation : **Run to time ou TSTOP**. Assurez vous de ne pas mettre un temps de simulation trop long par rapport à la période de votre source. Sinon, le temps de simulation risque « d'exploser ». Comme la fréquence du signal est de 1 KHz, vous pouvez fixer votre temps de simulation à 10 ms.
- temps de début de simulation : **Start saving data after**. Par défaut, 0 s.
- pas de simulation maximal : **Maximum step size**. Il s'agit du temps max. entre 2 points de calcul. PSPICE détermine automatiquement le pas de calcul, mais vous pouvez lui fixer une limite max. pour obtenir une bonne résolution temporelle. Néanmoins, veillez à ne pas trop réduire le pas de calcul pour ne pas allonger le temps de calcul inutilement. Dans notre cas, on peut laisser le champ vide pour prendre la valeur par défaut de SPICE.

Cliquez sur OK pour terminer. Vous pouvez modifier les paramètres de simulation en cliquant sur **PSPICE/Edit Simulation Profile** ou sur l'icône .

Pour lancer la simulation, cliquez sur **PSPICE/Run** ou sur l'icône . La fenêtre de l'outil de simulation PSPICE A/D s'ouvre. Le lancement de la simulation commence par une vérification des éventuelles erreurs sur le circuit, qu'on appelle aussi Electrical Rules Checking (ERC) (problème de connectique, référence de masse oubliée, paramètres absents). Si il n'y a pas d'erreurs, l'outil génère automatiquement la **netlist** du circuit, qui décrit la topologie du circuit : éléments du circuit et interconnexions. La figure 11 décrit la netlist du circuit présenté à la figure 8. La netlist est disponible dans un fichier texte .OUT.

```

*Libraries:
* Local Libraries :
* From [PSPICE NETLIST] section of C:\Program Files\OrcadLite\PSpice\PSpice.ini file:
.lib "nom.lib"

*Analysis directives:
.TRAN 0 10ms 0
.PROBE V(*) I(*) W(*) D(*) NOISE(*)
.INC ".\mon_projet-SCHEMATIC1.net"

**** INCLUDING mon_projet-SCHEMATIC1.net ****
* source MON_PROJET
V_V1      VIN 0 DC 0 AC 1
+SIN 0 1 1K 0 0 0
C_C1      0 VOUT 1u
R_R2      VIN VOUT 100

**** RESUMING mon_projet-schematic1-transitoire.sim.cir ****
.END

```

Fig. 11– Netlist du circuit passe bas

Si plusieurs profils de simulation ont été définis, il est possible de passer d'un profil à l'autre en la sélectionnant dans la liste des profils (fig. 12).

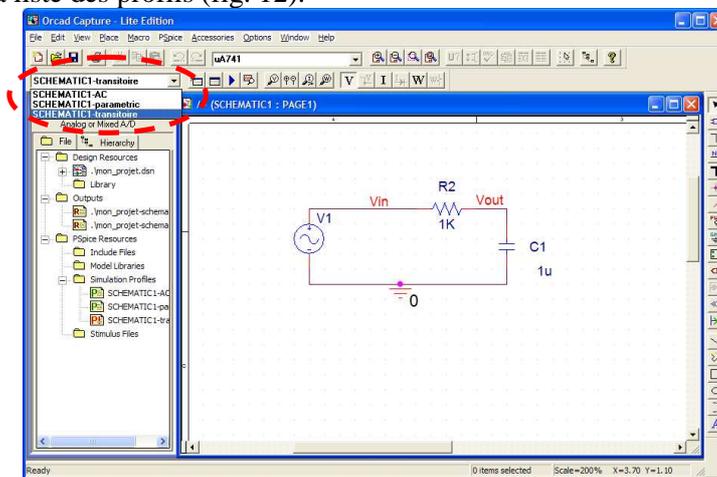


Fig. 12– Sélection d'un profil de simulation

4. Tracé des résultats de simulation

Une fois la simulation effectuée, la fenêtre principale de l'outil PSPICE A/D s'ouvre (fig. 13), avec une fenêtre de visualisation graphique (plot) temporelle vide.

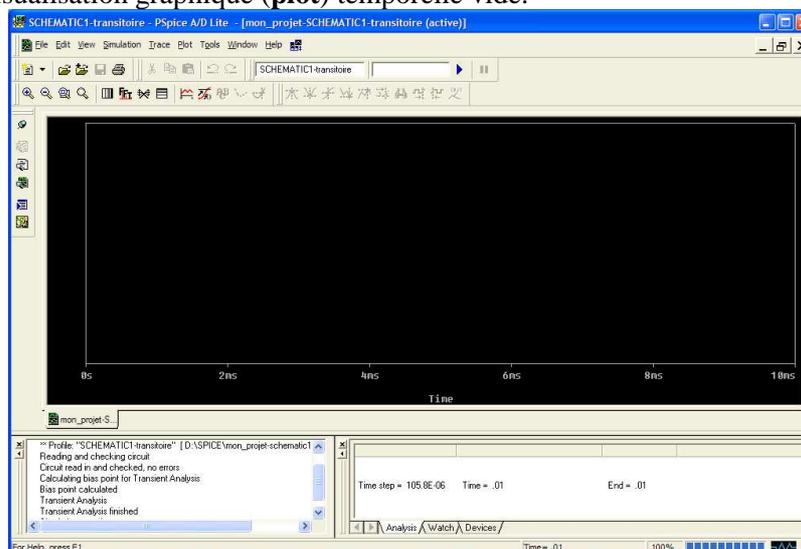


Fig. 13 – Fenêtre principale de PSPICE A/D – Visualisation des résultats de simulation

Pour afficher un résultat graphique, cliquez sur **Trace/Add Trace** ou sur l'icône . La fenêtre suivante s'ouvre. La liste de gauche donne accès aux tensions de chaque nœud et aux courants traversant chaque élément du circuit. A chaque fois que vous cliquez sur un élément de la liste, celui-ci s'ajoute dans le champ **Trace Expression** et sera affiché sur la fenêtre graphique. La liste de droite offre un grand nombre de fonctions mathématiques, s'appliquant sur les courants et les tensions calculées lors de la simulation. Sélectionnez V(VIN) et V(VOUT) pour afficher les profils temporels de tension d'entrée et de sortie du filtre passe-bas, puis cliquez sur OK pour terminer. Le résultat de simulation s'affiche avec les courbes d'entrée et de sortie du filtre (fig. 14).

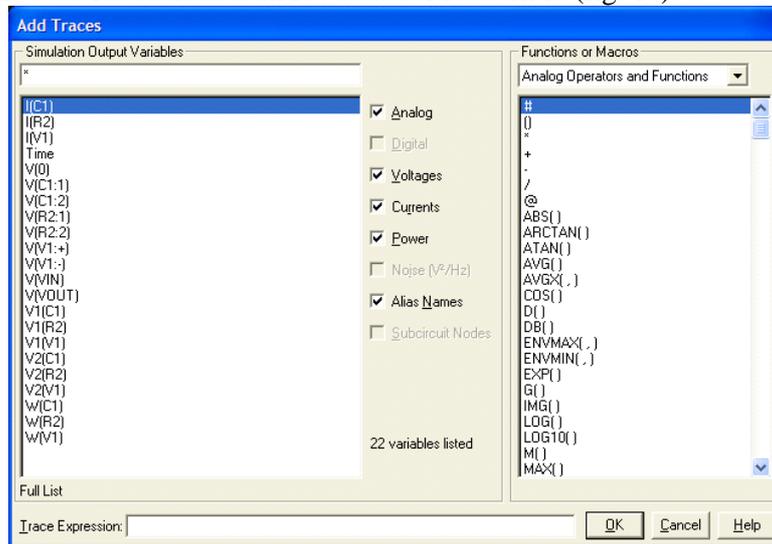


Fig. 14– Ajout de courbes à l'aide de la commande Add Trace

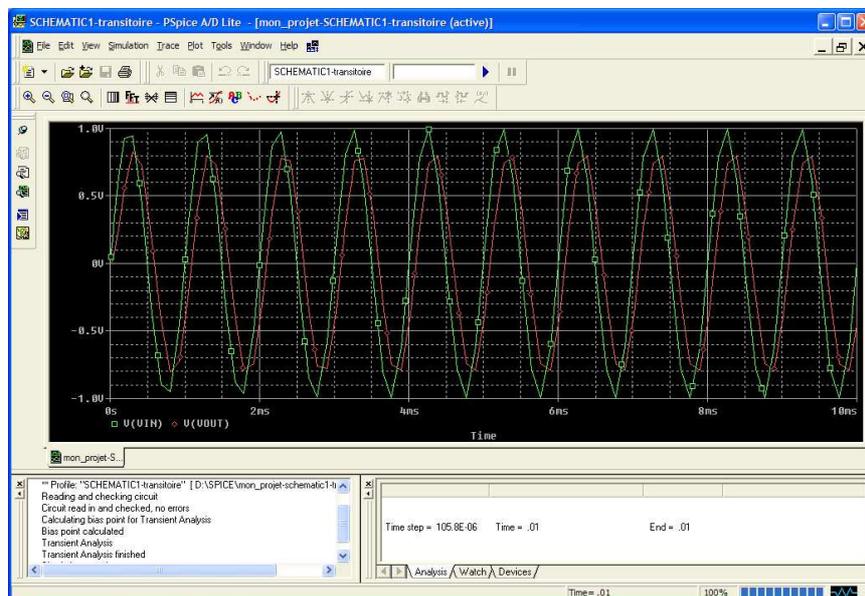


Fig. 15 – Affichage des résultats de simulation

La barre d'outil graphique ci-dessous facilite l'analyse les courbes

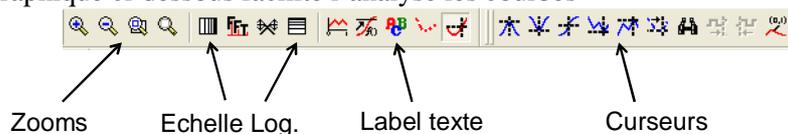


Fig. 16– Barre d'outil graphique de PSPICE A/D

Pour faire apparaître directement des résultats graphiques dès l'ouverture de PSPICE A/D à la fin de la simulation, il est nécessaire de placer des sondes sur la schématique. Il s'agit de sondes de tension, de

courant ou de puissance. Retournez sur Capture et placez des sondes sur les nœuds d'entrée et de sortie du circuit comme le montre la figure 17. En relançant une simulation, les profils de tension d'entrée et de sortie s'afficheront automatiquement.

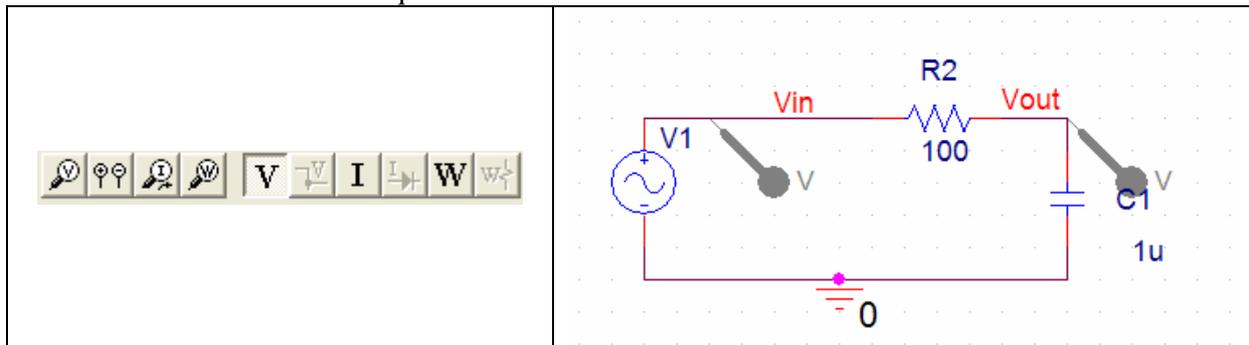


Fig. 17– Probes de mesure

Il est possible d'ajouter une nouvelle fenêtre d'affichage graphique, pour afficher un autre type de données par exemple. Cliquez sur **Plot/Add Plot To Window**. Les courbes ajoutées apparaîtront sur cette nouvelle fenêtre d'affichage. A chaque nouvelle simulation, la fenêtre d'affichage des résultats se remet automatiquement à jour.

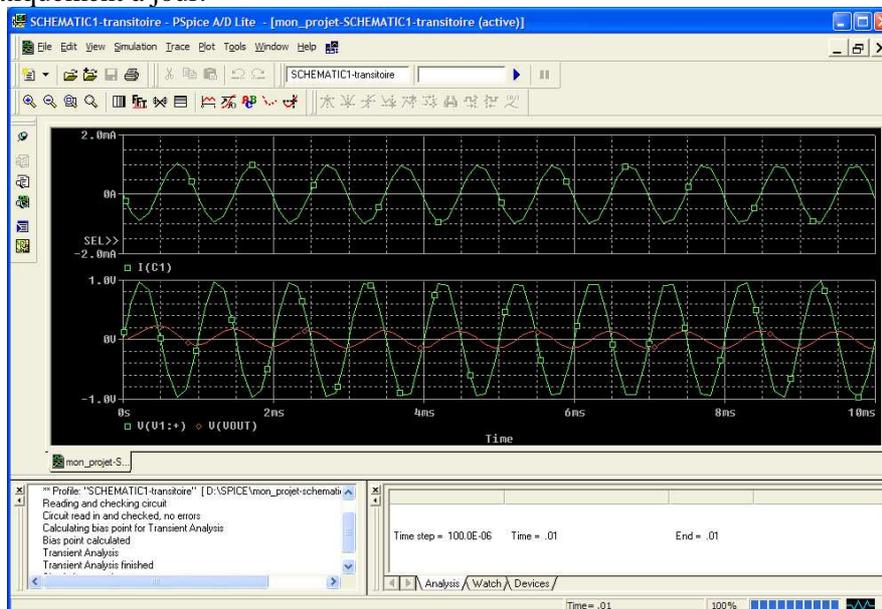


Fig. 18– Ajout d'une deuxième fenêtre d'affichage

III. Analyse de circuits

Plusieurs exemples de circuit sont proposés. Effectuez les analyses qui vous sont demandées.

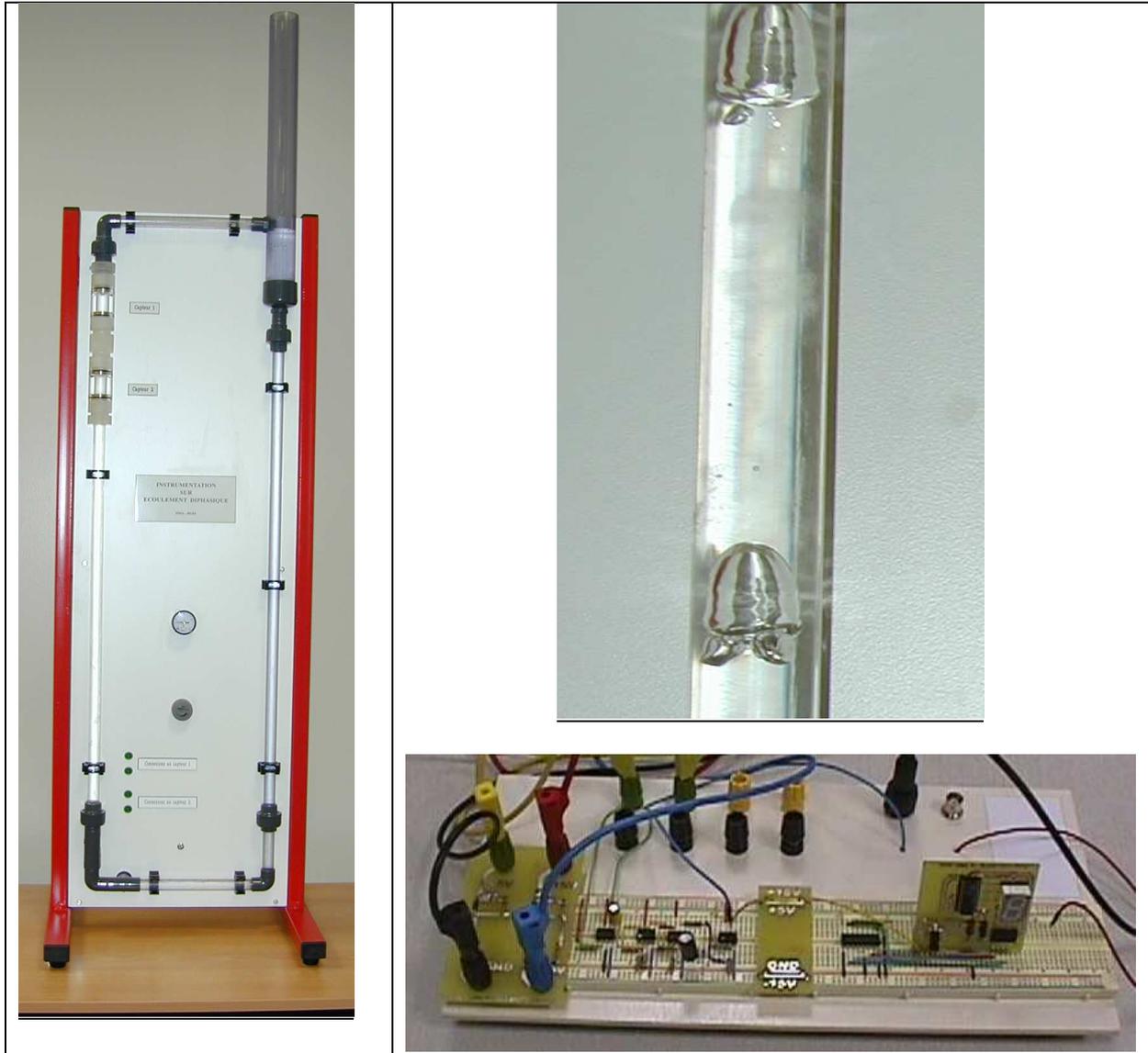
1. Analyse d'un filtre passe haut

- Réaliser un filtre passe haut de fréquence de coupure égale à 1 KHz. On fixe la valeur de la capacité à 100 nF.
- Vérifier son comportement en simulation en traçant son diagramme de Bode.
- Déterminer la réponse temporelle du filtre lorsqu'on applique un signal sinusoïdal en entrée. Testez différentes valeurs de fréquences, inférieures, égales ou supérieures à la fréquence de coupure.
- Quelle est l'effet de ce filtre sur un signal carré. Prenez des temps de montée et de descente négligeables (10 μ s). Testez pour différentes fréquences de signal : 50 Hz, 500 Hz, 1 KHz.

2. Simulation d'un montage amplificateur non inverseur

- A partir du modèle d'un amplificateur opérationnel de type ua741, présent dans la librairie eval.olb, réalisez un montage amplificateur inverseur de gain égal à 10. On alimentera le circuit entre -15 et +15 V. Vérifiez son fonctionnement en injectant un signal sinusoïdal en entrée de 1 KHz d'amplitude crête à crête égale à 200 mV.
- Déterminez la fréquence de coupure du montage. Calculer le produit gain bande du montage.
- Modifiez le montage pour réaliser un montage suiveur non inverseur. Déterminez la fréquence de coupure du montage. Calculer le produit gain bande du montage. Que pouvez-vous conclure ?
- Reprenez le montage suiveur non inverseur et ajoutez une résistance entre la tension d'entrée et l'entrée + de l'AOP. Déterminez la valeur de la résistance pour laquelle le potentiel de sortie est égal à la moitié de la tension d'entrée. En déduire l'impédance d'entrée de l'amplificateur opérationnel. En déduire une condition d'adaptation en entrée de l'AOP.
- Reprenez le montage suiveur non inverseur et ajoutez une résistance de charge sur la sortie de l'AOP. Déterminez la valeur de la résistance pour laquelle le potentiel sur l'entrée V+ est égale à la moitié de la tension de sortie à vide. En déduire l'impédance de sortie de l'amplificateur opérationnel. En déduire une condition d'adaptation en sortie de l'AOP.
- Refaire le montage amplificateur non inverseur du départ, en polarisant le circuit entre 0 et 5 V. Vérifiez son fonctionnement en injectant un signal sinusoïdal en entrée de 1 KHz d'amplitude crête à crête égale à 200 mV.

TP n°3 : Réalisation d'un circuit d'instrumentation sur écoulement diphasique – Comptage de bulles



Document réalisé par JM. Dilhac et JY. Fourniols
avec la participation de J-F. Ribas, JM. Dorkel, T. Marino et J. Perez.

Préambule: L'objectif de ce TP est de dimensionner et de réaliser un circuit électronique d'acquisition et de traitement d'un signal. Le signal qui nous intéressera sera celui fourni par un capteur lors du passage d'une bulle dans un système hydraulique. Le circuit électronique à réaliser se connecte en sortie de ce compteur. Ce TP se divise en 2 séances : la première est dédiée à la réalisation à la partie analogique d'acquisition (amplification et filtrage) du signal délivré par le capteur, alors que la deuxième est dédiée au traitement numérique. A la fin des 2 séances de TP, le circuit électronique réalisé devra compter automatiquement les bulles circulant dans le système hydraulique.

Notation : La notation de ce TP se fera lors d'un contrôle de TP prévu le 18 décembre. L'implication de chaque étudiant, la ponctualité, le respect des consignes et du matériel seront contrôlés par les enseignants en séance et reportés sur la note du contrôle de TP.

Objectifs pédagogiques:

- Savoir calculer la fonction de transfert d'un montage à base d'amplificateur opérationnel
- Savoir filtrer un signal
- Savoir câbler sur une plaquette à insertion un circuit électronique en respectant un code couleur et en utilisant des fils courts
- Savoir câbler un amplificateur opérationnel et un petit circuit numérique
- Savoir interfacer la sortie d'un circuit analogique et l'entrée d'un circuit numérique

I. Les écoulements diphasiques gaz/liquide – Quelques généralités

Les principales configurations d'écoulements ascendants (tubes verticaux) à co-courant pour un système eau/air incluent les quatre configurations suivantes :

- écoulement à bulles (ou dispersé)
- écoulement bouchon
- écoulement chaotique
- écoulement annulaire

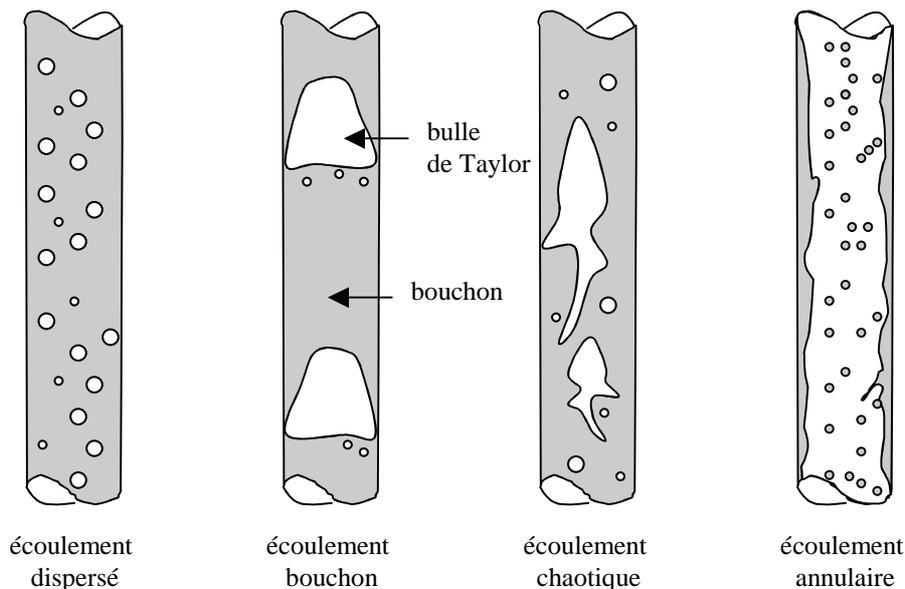


Fig. 1 – Configuration d'écoulement diphasique gaz/liquide

Cette classification correspond, pour une vitesse de la phase liquide constante, à une vitesse d'écoulement gazeuse croissante. C'est ainsi que l'écoulement à bulles correspond à des débits de gaz

faibles. La transition vers l'écoulement bouchon s'effectue lorsque la fraction gazeuse devient supérieure à environ 30%.

L'écoulement bouchon se compose de cellules géométriques constituées de deux zones :

- une zone à phases séparées : le gaz forme une longue poche, la bulle de Taylor, et le liquide est plaqué contre les parois. Ce film liquide est animé d'un mouvement descendant,
- une zone à phase dispersée : le bouchon, où la phase liquide est continue, et où la phase gazeuse est présente sous la forme de fines bulles.

Une augmentation du débit de gaz va provoquer l'apparition d'un écoulement de transition, l'écoulement chaotique, dans lequel les poches gazeuses se fractionnent. La transition vers l'écoulement chaotique s'effectue lorsque la fraction gazeuse devient supérieure à environ 60%. Une augmentation supplémentaire du débit de gaz conduira au régime annulaire, avec un noyau central gazeux continu chargé en gouttelettes de liquide.

L'écoulement bouchon, qui nous intéresse ici, se rencontre dans de nombreux secteurs industriels tels la production de vapeur (géothermie), les réactions entre une phase liquide et une phase gazeuse dans des réacteurs chimiques et / ou biochimiques, le refroidissement des réacteurs nucléaires ou la production et le transport des hydrocarbures. Dans le cadre de ce type d'écoulement, la succession dans le temps et l'espace d'un écoulement annulaire et d'un écoulement dispersé est caractérisée par un facteur d'intermittence fixant leur importance relative, et quantifiant cet état qui est non-stationnaire bien que les débits d'entrée (eau / air) soient constants.

C'est l'instrumentation électronique destinée à l'étude de cette intermittence que nous nous proposons de concevoir et de tester.

II. Dispositif expérimental

La détection du passage des bouchons dans un tube vertical est réalisée grâce à des sondes conductimétriques, donnant une image de la différence de conductivité entre les deux phases (séparée et dispersée). Nous avons choisi une structure de sondes pariétales (développées à l'Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse) composées de deux anneaux en acier inoxydable, dont la position ne perturbe pas l'écoulement du mélange.



Fig. 2 – Sonde conductimétrique

La boucle d'essais est constituée d'une colonne en PVC de longueur 75 cm et de diamètre interne 14 mm. Deux sondes identiques à celle décrite ci-dessus sont ajoutées en série à l'extrémité supérieure du tube. Leur longueur totale est 27 cm.

L'eau du réseau est introduite au préalable pour remplir la boucle. L'air (air comprimé) est alors injecté à la base de la colonne, le débit étant réglé par une vanne à pointe placée en sortie d'un détendeur. A la sortie de la colonne, un tube ouvert permet la séparation des phases.

III. Descriptif du travail demandé

L'objectif des **deux séances** de TP est d'instrumenter une colonne d'eau en comptant le passage de bulles au moyen d'un système électronique autonome.

1. Plate-forme d'instrumentation sur un écoulement diphasique

La plateforme d'expérimentation est construite sur un circuit fermée d'eau avec :

- **un réglage du débit et de la taille des bulles**, obtenu en actionnant le robinet situé sous le manomètre.
- **un accès à deux capteurs**. Il vous est demandé d'instrumenter par binôme un seul capteur en utilisant un des deux capteurs en prélevant le signal électrique au travers de câbles connectés dans les fiches spécifiées. Pendant les séances puis en fin de travail, vous utiliserez la plateforme avec un autre binôme et comparerez les performances des systèmes électroniques que vous aurez construits.

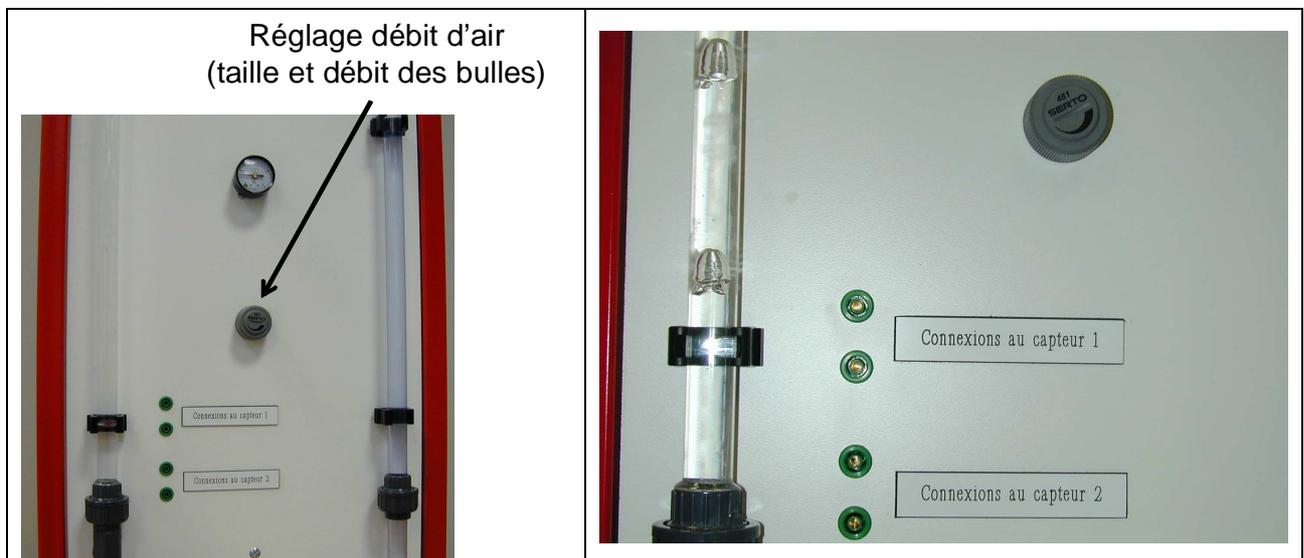


Fig. 3 – Sonde conductimétrique

2. Conception électronique : règles élémentaires

Tout au long de ce TP, des règles de conception devront être adoptées, en plus des règles habituelles de protection de l'appareillage et des composants ainsi que des règles de sécurité électrique.

Ne branchez jamais un appareil sans avoir obtenu l'aval des personnes qui encadrent votre travail ! Signalez instantanément toute fuite éventuelle d'eau.

Citons par exemple :

- Tout montage mettant en œuvre des circuits actifs (c'est-à-dire alimentés) par un générateur de tension continue, doit soigneusement distinguer les fils des masses des fils d'alimentation.
- A ce titre, dans un souci d'efficacité, on essaiera d'appliquer le code de couleurs ou conventionnel :
 - Alimentation positive : fil rouge.
 - Alimentation négative : fil bleu.
 - Masse : fil noir.
 - Signaux en entrée : fil jaune.

- Signaux en sortie : fil violet.
- Toute modification sur une partie d'un montage préalablement testée et validée doit être notée, afin de pouvoir facilement orienter la recherche de pannes éventuelles.
- Dans la mesure du possible, on essaiera toujours d'effectuer un câblage par blocs, en essayant de **hiérarchiser et partitionner le système en blocs fonctionnels**. Cette approche de conception, que l'on retrouve dans le domaine de la simulation, permet de caractériser d'abord les blocs principaux, puis les interfaces.

IV. TP n°1 : Acquisition du signal électronique provoqué par le passage des bulles

L'objectif de cette première séance de TP est de réaliser un circuit électronique analogique capable de :

- récupérer le signal électrique délivré par le capteur de bulle
- conditionner le signal reçu en un signal « exploitable » par un circuit de traitement numérique placé en aval

La figure ci-dessous présente la situation du problème.

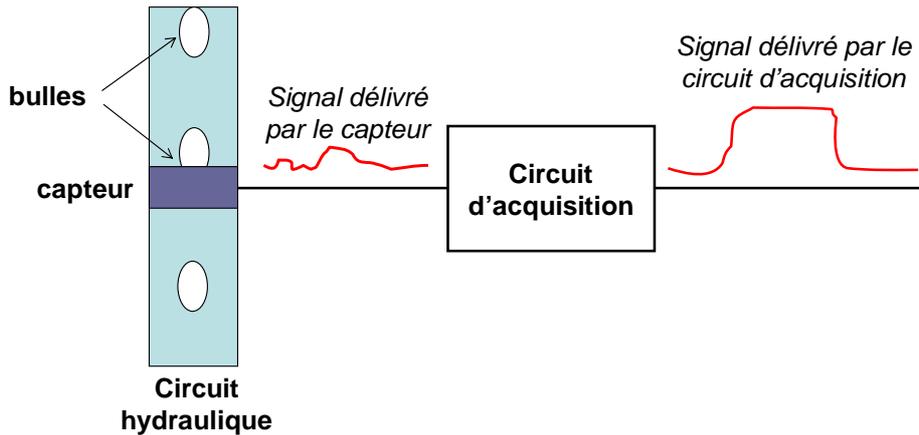


Fig. 4 – Position du problème durant le TP n°1

1. Observation électrique d'une bulle.

Le passage d'une bulle dans l'eau a pour effet de modifier la résistance électrique du capteur. La résistance du capteur R_C s'exprime sous la forme suivante :

$$R_C = R_{C0} + \Delta r_C$$

où R_C correspond à une valeur moyenne de résistance obtenue lorsqu'il n'y a pas de passage de bulles, et Δr_C est la variation de la résistance causée par le passage d'une bulle. Afin de transformer le passage d'une bulle et la modification de la résistance électrique du capteur qui en résulte en un signal électrique, on utilise un montage de conversion courant tension présentée sur la figure ci-dessous.

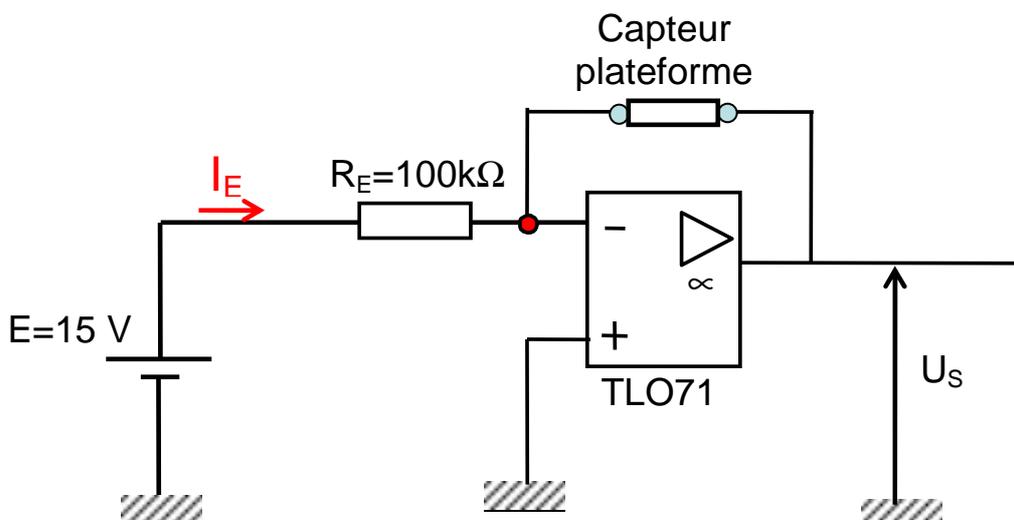


Fig. 5 – Montage de conversion courant tension

Q1] Exprimer la valeur de la tension de sortie U_S en fonction de la résistance du capteur et du courant I_E . En déduire la forme qualitative des signaux de sortie.

Q2] Réaliser le montage convertisseur courant tension et observer la signature électrique des bulles en fonction de la taille et du débit des bulles.

Remarque : on veillera à bien alimenter les A.O en respectant les polarités des alimentations (cf. documentation technique du constructeur fournie en salle)

Q3] La fonction est-elle obtenue en absence de tensions de polarisation de l'A.O ? Pourquoi ? Diminuer la valeur de la force électromotrice E. Qu'observe t-on ? Pourquoi ?

2. Suppression de la composante continue du signal

Q4] Pourquoi est-il nécessaire de supprimer la composante continue du signal de sortie du montage précédent ?

Q5] Câblez un filtre passe haut avec les éléments suivants : $R_F=10\text{ k}\Omega$ et $C_F=1\text{ }\mu\text{F}$, puis vérifiez expérimentalement la nature et la fréquence de coupure de ce filtre.

Q6] Connectez la sortie du montage de conversion à l'entrée du filtre. Concluez sur l'effet du filtre. Ajustez la fréquence de coupure du filtre pour que la partie variable du signal de sortie ne soit pas affectée par le filtre.

3. Amplification du signal de « signature électrique d'une bulle ».

La signature électrique du passage d'une bulle est un signal de très faible amplitude. Pour exploiter ce signal, il est nécessaire de l'amplifier.

Q7] Pourquoi l'amplification directe du signal n'est-elle pas possible ?

On ajoute au montage précédent un montage amplificateur non inverseur pour amplifier le signal électrique provoqué par le passage d'une bulle (fig. 27).

Q8] Calculez le gain nécessaire à donner au montage amplificateur non inverseur et proposez des valeurs aux résistances du montage.

Q9] Réalisez le montage amplificateur ci-dessous. Estimez expérimentalement le gain en tension du second montage à base d'A.O. Vérifiez que le signal de sortie U_{S2} satisfasse aux caractéristiques demandées.

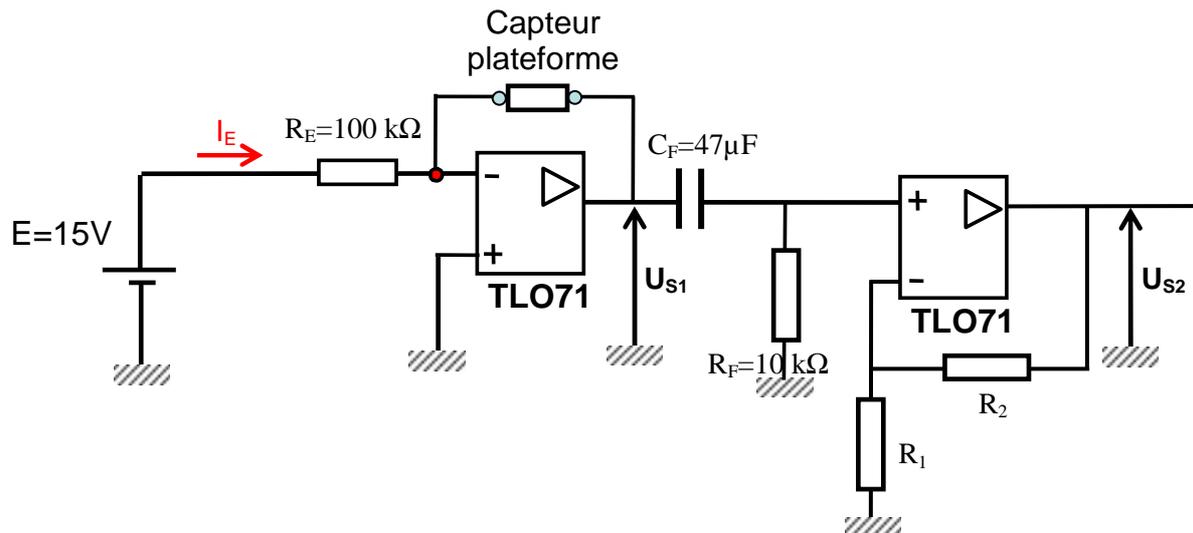


Fig. 6 – Montage d'acquisition du passage d'une bulle

Avant de partir :

Il est nécessaire de conserver à la fin de la séance1 votre montage qui sera repris dans la séance 2. En revanche à la fin des deux séances il vous est demandé de ranger les composants dans les casiers dédiés.

V. TP n°2 : comptage automatique de bulles

Dans la partie précédente, vous avez réalisé le circuit permettant de faire l'acquisition d'un signal électrique provoqué par le passage d'une bulle dans le système hydraulique. Durant cette deuxième séance de TP, ce signal va être utilisé pour commander un circuit numérique de comptage de bulles et d'affichage 7 segments. La position du problème est décrite dans la figure ci-dessous.

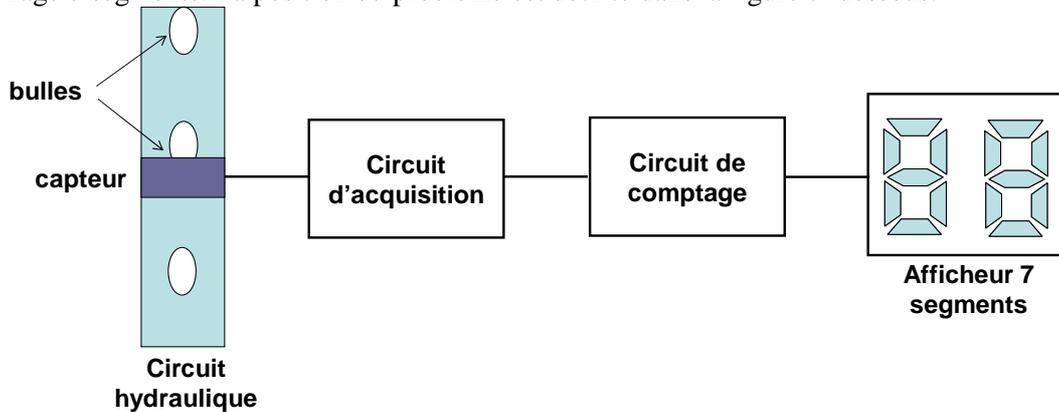


Fig. 7 – Position du problème durant le TP n°2

1. Utilisation d'un compteur

La première étape concerne la réalisation d'un compteur type 74HCT191 avec son affichage hexadécimal associé câblé sur un circuit imprimé mis à votre disposition.

Pour résumer, un compteur est un élément logique qui sous l'action d'un événement (front montant ou front descendant) associé à un signal d'HORLOGE, incrémente sa sortie qui est représentée en base binaire (base 2). Les caractéristiques du signal d'HORLOGE sont :

- signal positif (0 - 5 V en logique TTL)
- les circuits sont synchronisés sur les fronts, c'est-à-dire les passages d'un niveau à un autre

Le chronogramme (évolution temporelle des sorties binaires du compteur) est décrit ci-dessous dans le cas d'un compteur 4 sorties, ou 4 bits, actifs sur front descendant d'horloge. Le bit qui change d'état à chaque front d'horloge est appelé bit de poids faible.

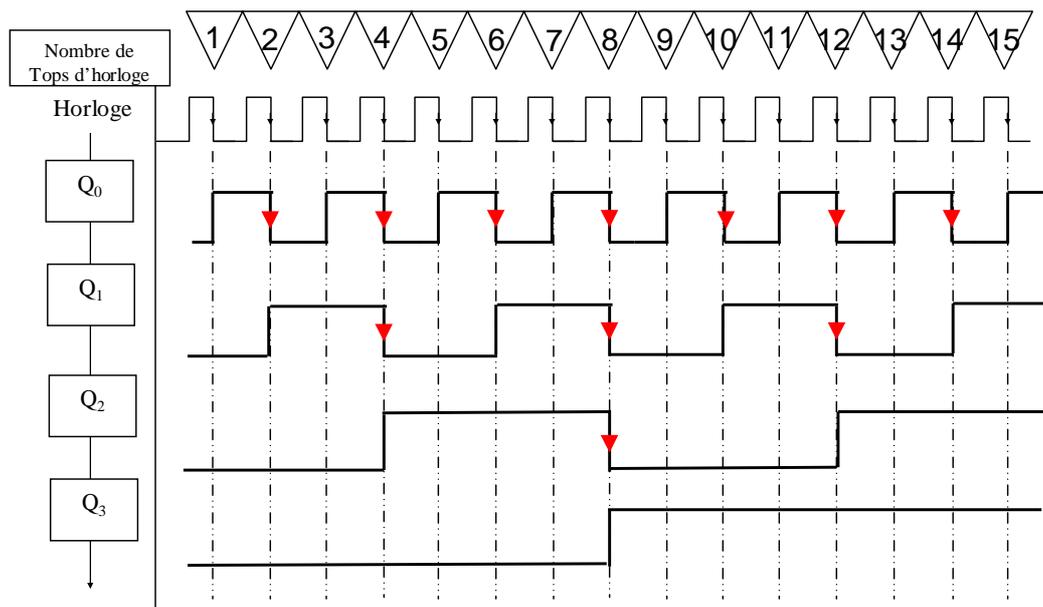


Fig. 8 – Chronogramme des sorties binaires d'un compteur

Q10] En vous référant à la documentation technique ou datasheet du compteur 74HC191, câblez le compteur de manière à compter à chaque front d'un signal d'horloge. Dans un premier temps, le signal d'horloge se fourni par un générateur basse fréquence (GBF). Après avoir fait vérifier votre câblage, vérifiez à l'oscilloscope le fonctionnement du compteur. Observez les 4 sorties digitales du compteur.

Q11] Câblez l'afficheur 7 segments en sortie du compteur. Complétez le tableau ci-dessous en indiquant l'information affichée par l'afficheur sept segments.

Code en base dix	Code binaire sur 4 bits (Q_3 Q_2 Q_1 Q_0) avec Q_0 poids faible	Affichage
0	0000	
1	0001	
2	0010	
3	0011	
4	0100	
5	0101	
6	0110	
7	0111	
8	1000	
9	1001	
10	1010	
11	1011	
12	1100	
13	1101	
14	1110	
15	1111	

Q12] Proposez une façon de connecter le montage d'acquisition électrique des bulles et le montage compteur pour compter les bulles ? Quelles doivent être les caractéristiques du signal d'horloge ?

2. Transformation du signal « signature électrique d'une bulle » en signal d'horloge

On modifie le signal électrique associé à la signature du passage d'une bulle par le montage de la figure ci-dessous.

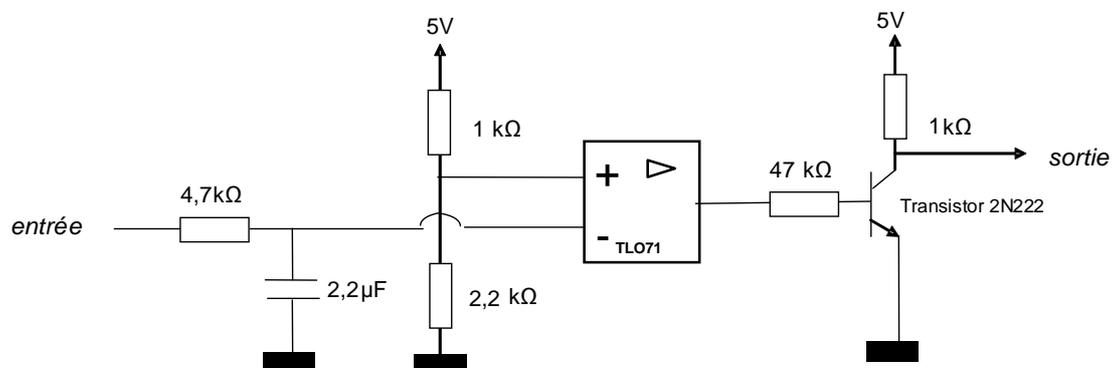


Fig. 9 – Montage d'interfaçage entre le circuit d'acquisition électrique des bulles et du circuit de comptage

Q13] Expliquez le fonctionnement du montage d'interface.

Q14] Réalisez le montage ci-dessous puis vérifiez la forme du signal u_{clk} avant connexion au circuit d'interface.

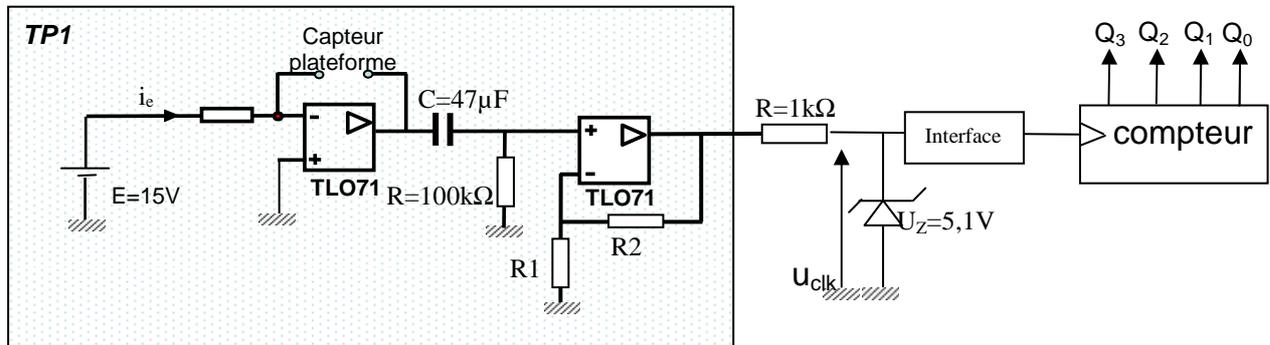


Fig. 10 – Circuit de comptage de bulles complet

Q15] Validez et optimisez votre système en fonction de différentes configurations de bulles (débit, taille, type de plateforme, ...).

Q16] Comparez les performances de votre système de comptage avec un autre binôme en vous connectant sur le capteur1 et sur le capteur2.

Avant de partir : A la fin de cette dernière séance, il vous est demandé de décâbler vos plaquettes puis de ranger les composants utilisés dans les casiers dédiés.