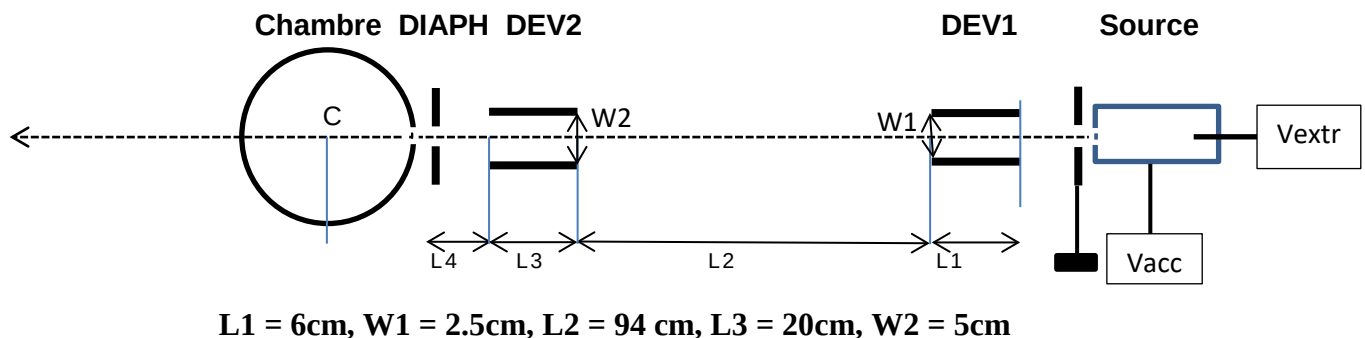


BE M1 IDIM_2025-2026

Présentation du contexte

La source d'ions exploitée par l'équipe de recherche **Interactions-Ions-Matière** (I²M) du Laboratoire Collisions Agrégats et Réactivité (bâtiment 3R4 de l'Université Paul Sabatier) délivre un flux **continu** d'ions constitué d'espèces différentes. Chaque espèce est caractérisée par sa masse et son état de charge. Ces ions, dirigés vers une chambre de collision où ils doivent interagir avec des **molécules cibles**, sont extraits de la source sous une **même** différence de potentiel V_0 . Ils possèdent donc la **même** énergie cinétique E_0 mais deux ions de rapports masse/charge différents auront des vitesses **différentes**. On souhaite exploiter cette spécificité pour ne faire interagir avec les molécules cibles qu'**une seule** espèce d'ions et s'assurer qu'**au plus** un ion interagisse avec **une seule** molécule cible. Il faut donc mettre au point un système qui ne laisse entrer que l'espèce ionique souhaitée dans la chambre de collision et qui dévie les autres espèces tout en limitant le nombre d'ions arrivant à proximité d'une molécule cible de manière à ce que la probabilité d'interaction simultanée de celle-ci avec **au moins** deux ions soit extrêmement faible.



Pour répondre à ce cahier des charges des déviateurs électrostatiques (DEV1 & DEV2) et un diaphragme (DIAPH) ont été placés sur la ligne de faisceau reliant la source à la chambre de collision (cf schéma ci-dessus).

En se déplaçant de la sortie de la source vers l'entrée de la chambre de collision, un ion rencontre successivement un déviateur DEV1 de longueur L_1 , un autre déviateur DEV2 de longueur L_3 et un diaphragme circulaire DIAPH de diamètre D de quelques millimètres. Une différence de potentiel $u(t)$ oscillant entre $\pm U_0$ (typiquement ± 1 kV) de forme rectangulaire et périodique de période T est appliquée sur DEV1. Ceci a pour effet de balayer le faisceau continu de part et d'autre de l'axe Ox et donc d'éclairer à intervalles de temps réguliers le diaphragme DIAPH avec des ions de ce faisceau qui présentent globalement les caractéristiques suivantes :

- positions à la sortie de DEV1 initialement confondues avec l'axe Ox ,
- positions réparties dans un intervalle $[x_0, x_0 + \Delta x]$ de largeur Δx
- vecteurs vitesses dans un angle solide d'axe (Ox).

La combinaison de DEV1 et DIAPH permet donc d'obtenir en sortie de DIAPH un faisceau se présentant maintenant sous la forme de pulses/paquets d'ions de période $T/2$. Un détecteur de particules placé après le diaphragme DIAPH détecte cependant à chaque balayage plusieurs sous-pulses arrivant à des instants différents. En effet à l'instant t_0 les ions du faisceau continu amenés à traverser le diaphragme DIAPH et occupant l'intervalle $[x_0, x_0 + \Delta x]$ sont de natures différentes et donc des vitesses différentes. Par conséquent lors de la propagation vers la chambre de collision l'espèce la plus rapide atteindra la première le diaphragme DIAPH et la plus lourde l'atteindra en dernier. Pour sélectionner une espèce donnée il suffit donc d'utiliser un déviateur supplémentaire - le déviateur DEV2 - qui sera activée tout le temps excepté au moment où l'espèce choisie l'atteindra et ceci pendant le temps mis par le paquet d'ions de cette espèce pour traverser le déviateur DEV2 !

Cahier des charges

1 ■ Etudier théoriquement puis simuler sous Python la trajectoire d'un ion de l'entrée du déviateur DEV1 de longueur L_1 à un plan placé à la distance $L = L_1 + L_2 + L_3 + L_4$ du déviateur DIAPH. Les données seront entrées via une interface graphique qui contiendra également le graphe des trajectoires.

NB : Les espèces susceptibles d'être sélectionnées sont H^+ , H_2^+ , H_3^+ , O^+ ou H_2O^+
Les tensions d'accélération seront égales à 1 kV ou 10 kV,
Masses exprimées en u.m.a, charges exprimées en u.m.a

Hypothèses :

- faisceau constitué d'une seule espèce ionique d'énergie cinétique initiale E_0 de masse m_0 et de charge q_0 se déplaçant initialement selon l'axe (Ox) situé dans un plan médiateur du déviateur électrostatique

- déviateur plan de longueur L_1 , distance entre armatures égale à W_1 , champ électrique supposé uniforme entre les armatures et nul à l'extérieur. Différence de potentiel appliquée entre les armatures constante et égale à $u(t) = U_0$.

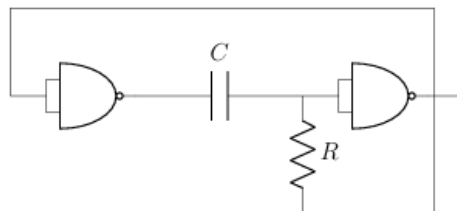
2 ■ Etudier théoriquement puis simuler sous Python la largeur du pulse attendue en sortie du diaphragme DIAPH dans le cas où :

- le faisceau d'ions à un diamètre S ,
- le diaphragme à un diamètre W centré sur l'axe (Ox)
- $u(t)$ est une tension en créneau d'amplitude $\pm U_0$ avec un temps de montée linéaire de $-U_0$ à U_0 ou un temps de descente linéaire de U_0 à $-U_0$ identiques et égaux à T_m .

3 ■ Analyser le fonctionnement du circuit représenté ci-dessous. Ce circuit est utilisé pour générer le signal de commande COM1 (signal logique 0-5V) contrôlant l'alimentation ALIM1 qui applique la tension aux bornes du déviateur DEV1

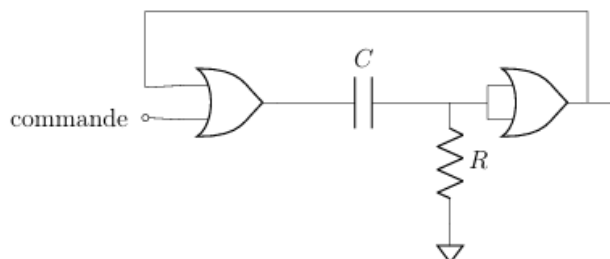
NB : si COM1 est porté à 5V alors ALIM1 applique la tension $+U_0$ sur DEV1

NB : si COM1 est porté à 0V alors ALIM1 applique la tension $-U_0$ sur DEV2



Ce circuit crée un signal périodique de période T (typiquement 1 ms) proportionnelle au produit RC .

4 ■ Analyser le fonctionnement du circuit représenté ci-dessous. Ce circuit reçoit comme signal de commande le signal horloge créé par le dispositif précédent. Le signal de sortie de ce circuit sera appelé COM2.



Ce circuit permet de créer à partir de chaque front **montant** du signal COM1 un créneau positif de durée proportionnelle au produit RC

NB : la durée sera prise égale à la différence entre l'instant où le front montant de COM1 apparaît et l'instant où l'espèce à sélectionner arrive sur l'entrée de DEV2.

5 ■ Définir puis analyser le fonctionnement du circuit permettant d'obtenir sur le front **descendant** du signal COM2 un créneau positif de durée proportionnelle au produit RC. Ce signal sera appelé COM3.

NB : si COM3 est porté à 5V alors ALIM2 applique la tension 0V sur DEV2

NB : si COM3 est porté à 0V alors ALIM2 applique la tension U0 sur DEV2

NB : la durée sera prise égale au temps mis par l'espèce à sélectionner pour traverser DEV2.

6 ■ Simuler ces signaux de commande sous LT Spice

7 ■ Valider ces simulations à l'aide d'un démonstrateur réalisé sur une breadboard

NB : les valeurs des capacités seront fixées (4.7 nF, 1nF et 1 nF pour respectivement le premier, second et troisième montage). Les résistances seront des résistances programmables MCP41xxx ou MCP42xxx dont les valeurs seront fixées par un programme installé sur une platine Arduino Leonardo et communiquant avec une application Python.

L'utilisateur entrera trois paramètres à partir d'une interface développée sous **Python** :

- la masse du projectile en u.m.a,
- la charge du projectile en u.m.a,
- la tension d'accélération Vacc en kV.

L'application **Python** transmettra ces informations au microcontrôleur équipant une platine **Arduino Leonardo**. Connaissant ces informations le microcontrôleur fixera les valeurs des résistances programmables en fonction de l'espèce à sélectionner.

NB : un tableau récapitulatif regroupera les valeurs des résistances à sélectionner sachant que :

- les tensions d'accélération seront égales à 1 kV ou 10 kV,
- les espèces susceptibles d'être sélectionnées sont H^+ , H_2^+ , H_3^+ , O^+ ou H_2O^+

NB : le versioning des fichiers sera effectué avec le programme **Git**, l'éditeur **VS Code** et la plateforme **GitLab**.