

Le point de départ des protons utilisés dans les expériences menées au CERN, est un accélérateur linéaire. Un tel accélérateur linéaire permet de communiquer une vitesse importante aux protons que les chercheurs utilisent ensuite dans les expériences menées au laboratoire européen pour la physique des particules afin d'explorer la structure de la matière.

L'accélérateur est constitué de blocs métalliques cylindriques séparés par des cavités vides, et comprenant au voisinage de leur axe un passage tubulaire dans lequel les particules chargées peuvent se déplacer. Les protons, sont accélérés dans les cavités où règne un champ électrique \vec{E} .

Dans les passages tubulaires, le champ électrique est nul. Toutes les cavités ont la même longueur d et chaque cavité peut être modélisée par un condensateur plan.

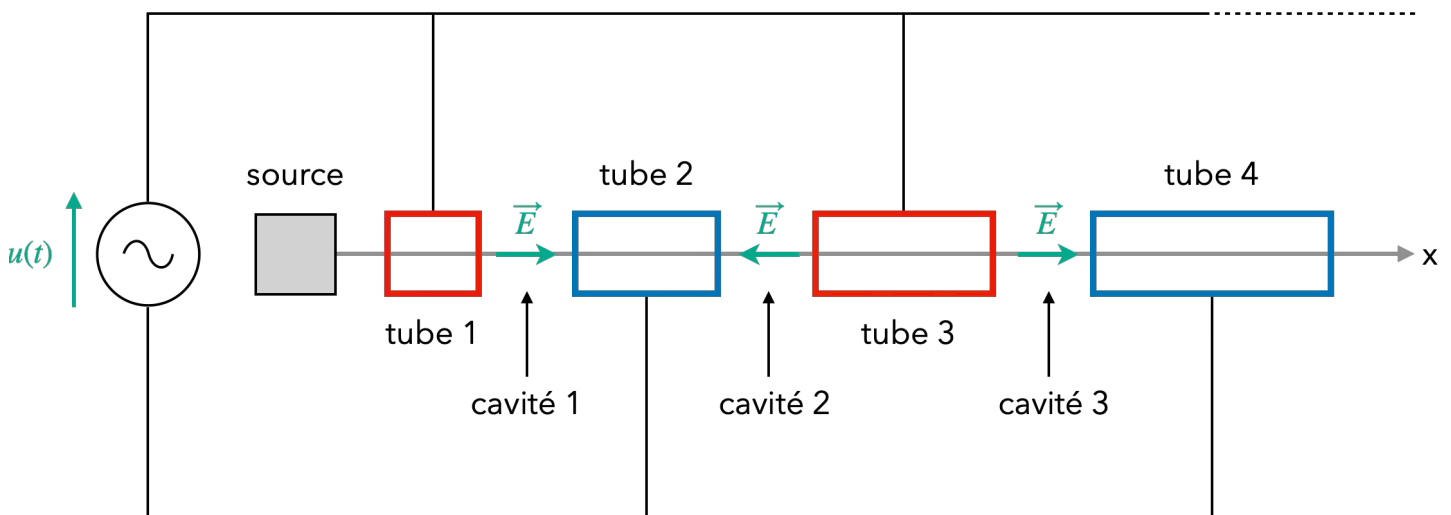
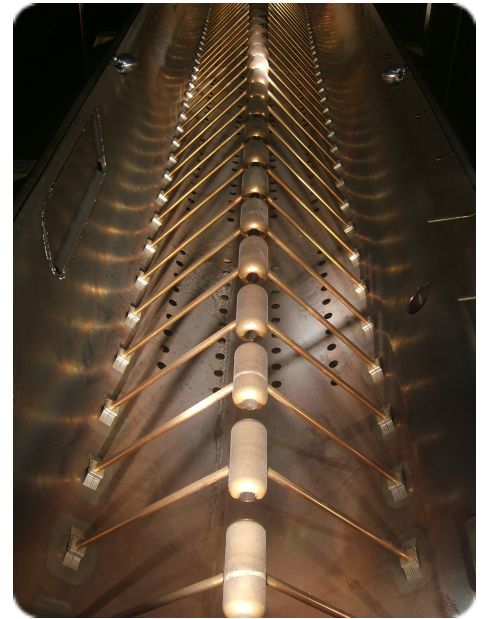


figure 1 : schéma de fonction de l'accélérateur linéaire à un instant t_1

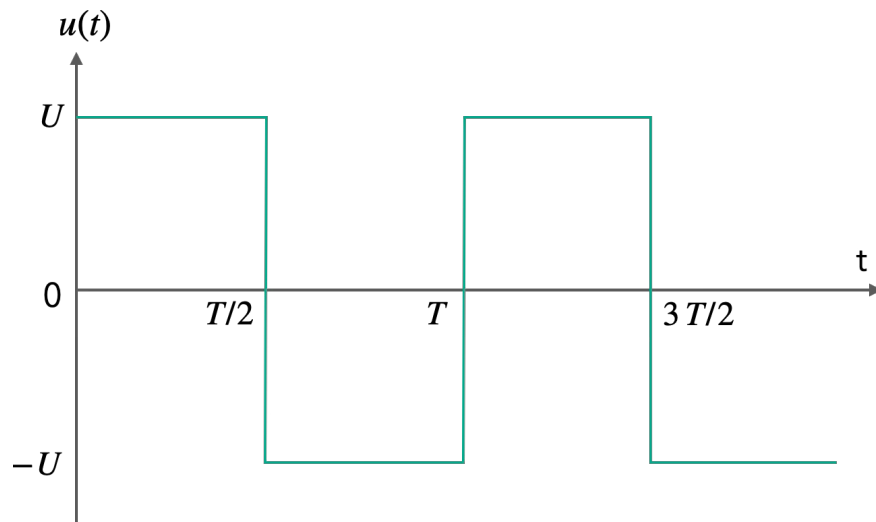
Les protons sont émis par une source avec une vitesse négligeable.

Données :

- masse d'un proton : $m_p = 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$;
- charge électrique élémentaire : $e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$;
- expression de la norme du vecteur champ électrique : $E = \frac{|U|}{d}$,
où U représente la tension entre deux blocs consécutifs et d la distance les séparant ;
- fréquence de la tension alternative : $f = 25,0 \text{ MHz}$;
- amplitude de la tension alternative : $U = 2,00 \text{ MV}$;
- longueur d'une cavité : $d = 10,0 \text{ cm}$;
- $1,00 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$

On souhaite que les protons, initialement au repos, atteignent une énergie de 50,0 MeV.

La tension $u(t)$ délivrée par le générateur est représentée ci-dessous.



1. La figure t_1 représente l'état des champs à l'instant t_1 où le proton entre dans la cavité 1 avec une vitesse négligeable. La tension $u(t)$ vient alors de basculer de $-U$ à U .
Déterminer la durée que doit mettre le proton pour parcourir la distance qui le sépare de la sortie du tube 2 afin qu'il puisse de nouveau être accéléré dans la cavité 2.
2. Déterminer la longueur du tube 2.
3. Expliquer pourquoi les tubes devront être de plus en plus longs.
4. On souhaite accélérer les protons jusqu'à 50,0 MeV. Montrer que cela nécessiter 25 cavités.

Le code python suivant permet de déterminer la longueur de chaque tube ainsi que la longueur totale mais la ligne 23 a été effacée.

```

1 from math import sqrt
2
3 e = 1.60E-19
4 m = 1.67E-27
5 d = 0.100
6 U = 2.00E6
7 T = 1/25.0E6
8
9 def calcul_vs(v_e):
10     return sqrt(2*e*U/m+v_e**2)
11
12 def calcule_taille_tube(v_e,v_s):
13     t_cavite = d/(v_e+(v_s-v_e)/2) # tire partie de l'augmentation linéaire de la vitesse
14     return (T/2-t_cavite)*v_s
15
16 L = 0
17 v0 = 0
18 for i in range(24): # la longueur du tube de la dernière cavité est sans importance
19     v1 = calcul_vs(v0)
20     l = calcule_taille_tube(v0,v1)
21     L = L + d + l
22     print(f"Longueur du tube {i+2} : {L:.2E} m")
23
24
25 L = L + d # On ajoute la dernière activité
26 print(f"\nLongueur totale : L = {L:.2E} m")

```

5. Retrouver le code de la ligne 25.