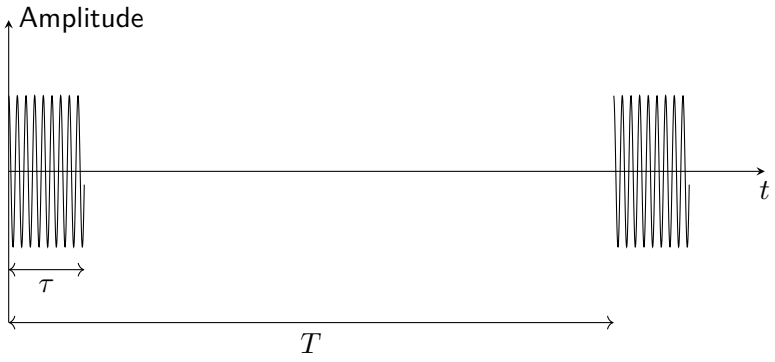
DM 2 : Propagation d'un signal et interférences

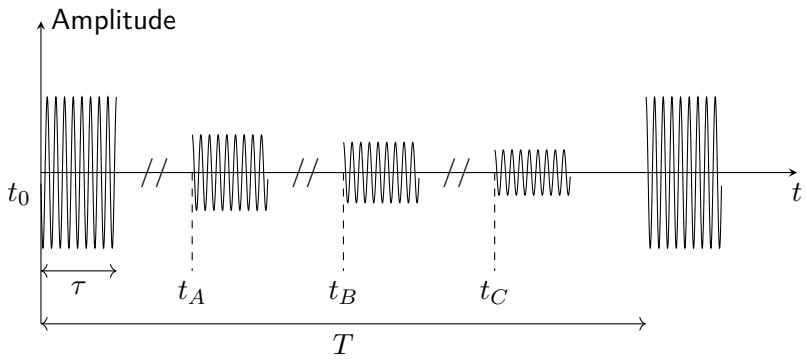
A rendre jeudi 29 septembre

Exercice 1 - Radar

Un radar est un appareil utilisant les ondes radio (ondes électromagnétiques de fréquences comprises entre $3\,\text{MHz}$ et $10\,\text{GHz}$) pour détecter la présence d'objets mobiles, et pouvant également déterminer leur distance et leur vitesse. On présente ici le principe de ces deux mesures.
Le radar comporte une antenne qui émet, avec une période T, des impulsions, c'est-à-dire des signaux sinusoïdaux de durée limitée τ. Deux de ces impulsions successives sont représentées sur le schéma suivant :



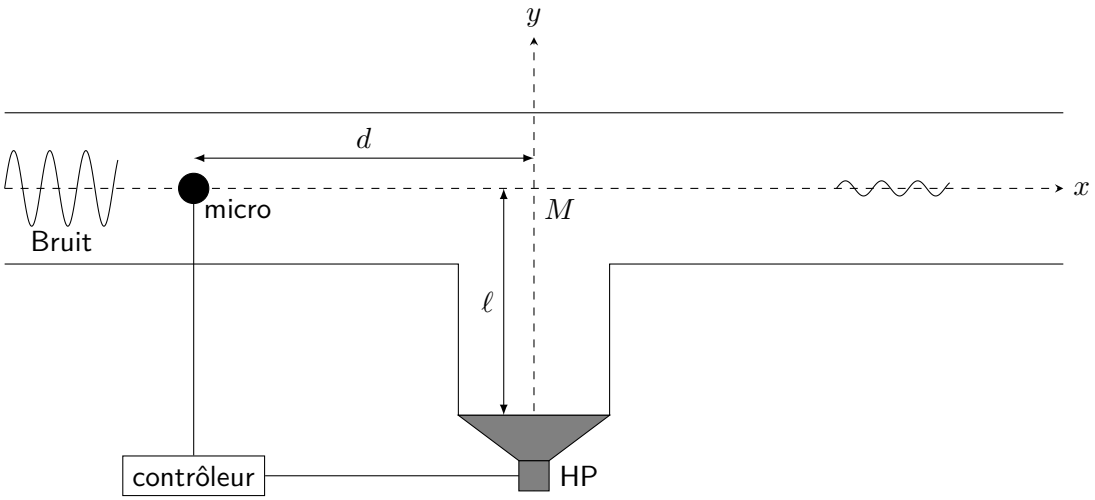
Ces impulsions sont envoyées dans toutes les directions de l'espace. Lorsque l'une d'elles rencontre un objet réfléchissant, elle est renvoyée vers l'antenne, qui devient réceptrice entre deux impulsions (mais elle ne peut pas détecter de signal tant qu'elle émet une impulsion). Cela fait alors apparaître un point lumineux sur un écran, indiquant la direction de la cible, et l'analyse du signal reçu permet d'effectuer les mesures souhaitées.
Un radar émet des impulsions de fréquence $f = 2{,}90\,\text{GHz}$ et de durée $\tau = 1{,}00\,\mu\text{s}$ avec une période $T = 100{,}0\,\mu\text{s}$. L'enregistrement ci-dessous montre deux impulsions émises par le radar, commençant aux instants $t_0 = 0{,}0\,\mu\text{s}$ et $t_1 = T = 100\,\mu\text{s}$ et trois échos renvoyés par des objets, commençant aux instants $t_A = 3{,}0\,\mu\text{s}$, $t_B = 80\,\mu\text{s}$ et $t_C = 90\,\mu\text{s}$. Ces échos proviennent de la réflexion de l'impulsion émise à t_0.



1. Calculer la longueur des ondes émises pendant une impulsion et le nombre d'oscillations dans chaque impulsion.
2. Déterminer la distance à laquelle se trouvent les différents objets détectés. Comment expliquer la différence d'amplitude entre les impulsions initiales et les échos ?
3. Montrer qu'il existe une distance minimale en dessous de laquelle on ne peut pas détecter un objet et calculer sa valeur numérique.

Exercice 2 - Réduction active de bruit

On considère une conduite dans laquelle est généré un bruit par un ventilateur ou une pompe. Afin d'éliminer ce bruit, on utilise un système actif représenté sur la figure ci-dessous. Le bruit est capté par un micro qui envoie un signal électrique vers un contrôleur. Le contrôleur traite en temps réel l'information venant du micro afin de piloter un haut parleur (HP) qui émet une onde qui interfère destructivement au point M avec le bruit incident. L'onde sonore après le point M est alors de très petite amplitude, le bruit a été réduit. La célérité des ondes sonores dans la conduite est $c_{\text{son}} = 340\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.



1. En négligeant les temps de propagation dans les câbles, déterminer l'intervalle de temps Δt dont dispose le contrôleur pour traiter l'information venant du micro. On prendra $d = 1\,\text{m}$ et $\ell = 10{,}0\,\text{cm}$.

On suppose que bruit est une onde progressive sinusoïdale suivant l'axe (Mx) de fréquence f.

2. Quelle doit être la fréquence de l'onde émise par le haut-parleur pour qu'il y ait interférence en M ?
3. En notant φ_{b} la phase à l'origine du signal associé au bruit au niveau du micro, donner l'expression du champ de surpression $p_{\text{b}}(d,t)$ associé au bruit en M en prenant l'origine au niveau du micro. On notera p_0 son amplitude.
4. En notant φ_{HP} la phase à l'origine du signal associé au haut-parleur au niveau du micro, donner l'expression du champ de surpression $p_{\text{HP}}(\ell,t)$ associé à l'onde sonore en M. On prendra l'origine de l'axe y au niveau du haut-parleur et on notera p_1 l'amplitude de cette onde.
5. Exprimer le déphasage $\Delta\phi$ entre les deux ondes (bruit et haut-parleur). Quelle doit être la valeur de ce déphasage pour obtenir des interférences destructives au point M ? Exprimer $\Delta\varphi = \varphi_{\text{HP}} - \varphi_{\text{b}}$ en fonction de d, ℓ, f et c_{son}.