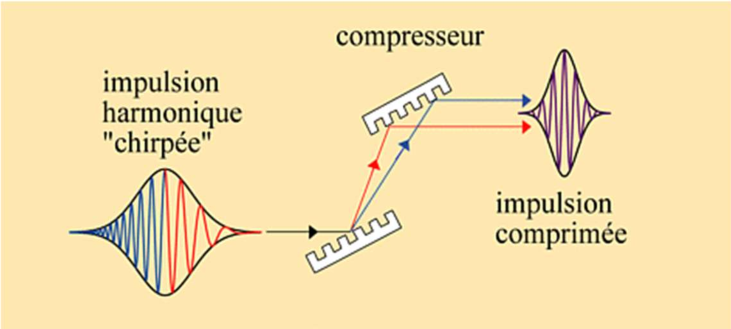
6.4 Ondes électromagnétiques milieux-Exercice 9

Depuis l'invention du laser en 1960, les progrès spectaculaires de la technologie ont permis de produire des impulsions de plus en plus courtes, passant de la milliseconde (1 ms = 10^{-3} s) à quelques dizaines de femtosecondes (1 fs = 10^{-15} s). Ces impulsions ultracourtes ont rendu possible l'observation de phénomènes ultra rapides jusqu'alors inaccessibles, en physique, chimie et biologie, tels que les réactions chimiques ou les collisions atomiques et moléculaires.
Le "record" actuel s'établit à des impulsions de 4 fs pour une longueur d'onde l = 780 nm.



Une impulsion lumineuse émise en x = 0 est décrite par un champ électrique scalaire de la forme :
$E(x=0,t) = E_M e^{-a_0 t^2} \cos(\omega_0 t + b_0 t^2)$ où a_0 est un réel positif et b_0 un réel de signe quelconque.

a-Donner l'allure de E(x=0,t). Donner la signification physique de a_0.

b-Cette onde est modulée linéairement en fréquence. Justifier cette affirmation en calculant la pulsation instantanée $\omega(t) = d\Phi/dt$ où $\Phi(t)$ est la phase de l'impulsion.

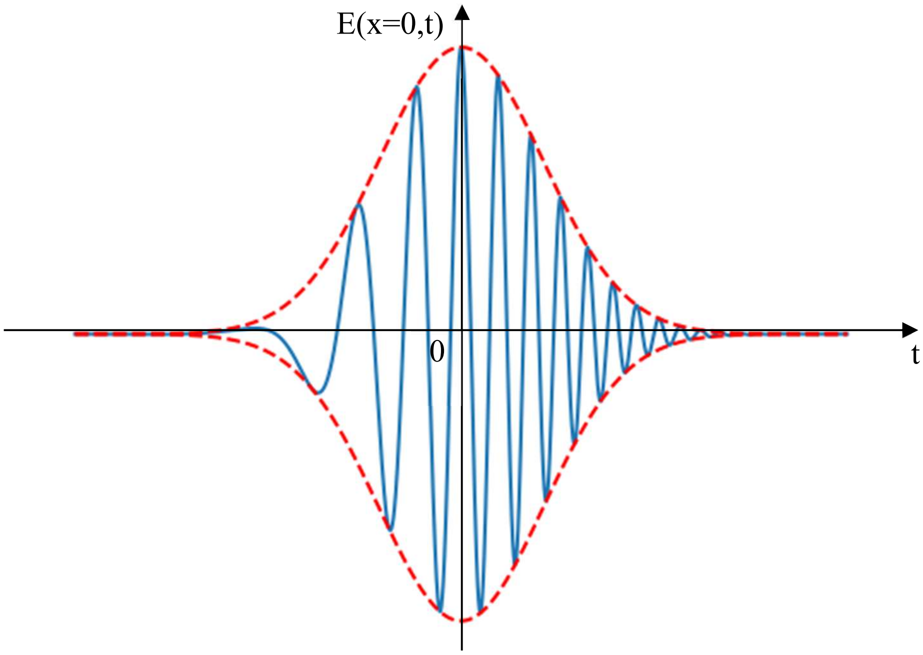
c-L'impulsion se propage dans un milieu dispersif dont la relation de dispersion est :
$k = k_0 + k_1(\omega - \omega_0) + \frac{k_2}{2}(\omega - \omega_0)^2$ où k_0, k_1 et k_2 sont trois constantes caractéristiques du milieu.
On considère l'impulsion comme une succession de paquets d'ondes élémentaires, chacun étant émis entre les instants t et t + dt. Pour chaque paquet d'ondes on peut considérer le milieu suffisamment peu dispersif pour que son enveloppe se propage à la vitesse de groupe $v_g(t)$ pour la pulsation $\omega(t)$.

- Calculer $v_g(t)$ en fonction de k_1, k_2, b_0 et t.
- A quelle condition toutes les enveloppes des paquets d'ondes constituant l'impulsion arrivent-elles au même instant à la sortie x = L du milieu ?
  Lorsque cette condition est satisfaite, on constate en pratique que l'impulsion a été comprimée.

6.4 Ondes électromagnétiques milieux-Exercice 9

---

a-



Courbe gaussienne. La constante a_0 mesure l'étalement de la courbe autour du maximum. La largeur à mi-hauteur est de l'ordre de $1/\sqrt{a_0}$

b- $\Phi(t) = \omega_0 t + b_0 t^2$ donc : $\boxed{\omega(t) = \dfrac{d\Phi}{dt} = \omega_0 + 2b_0 t}$

Variation affine de la pulsation, donc de la fréquence. Il y a <u>modulation de fréquence</u>.

c-• $v_g(t) = \dfrac{d\omega}{dk}$ On calcule : $\dfrac{dk}{d\omega} = k_1 + k_2(\omega - \omega_0)$

Or : $\omega(t) - \omega_0 = 2b_0 t$ Donc : $\dfrac{dk}{d\omega} = k_1 + 2b_0 k_2 t$ Puis : $\boxed{v_g(t) = \dfrac{1}{k_1 + 2b_0 k_2 t}}$

• Le paquet d'ondes élémentaire émis à l'instant t arrive à la sortie à l'instant $t' = t + \dfrac{L}{v_g(t)}$

Soit : $t' = t + (k_1 + 2b_0 k_2 t)L = k_1 L + t(1 + 2b_0 k_2 L)$

Tous les paquets d'ondes élémentaires arrivent au même instant à la sortie si t′ est indépendant de t, donc :

$\boxed{1 + 2b_0 k_2 L = 0}$
