LYCÉE D'EXCELLENCE
MOHAMMED VI
LEM6 - CASABLANCA

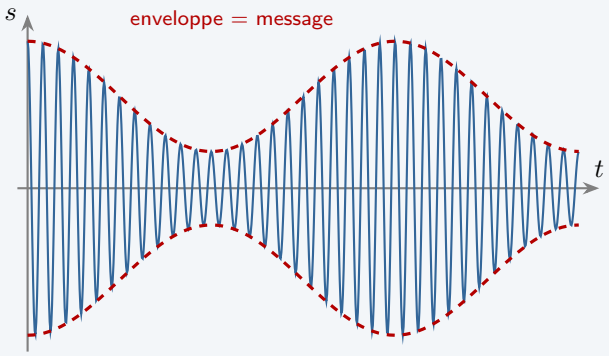
Classes préparatoires aux grandes écoles
MP — Physique-chimie
Année 2026-2027

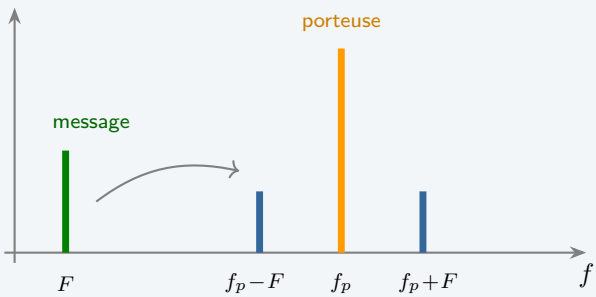
FICHE RÉSUMÉ

E4 ÉLECTRONIQUE

Modulation et démodulation d'amplitude

Transmettre une information — Modulations d'amplitude, de fréquence, de phase — Multiplieur analogique — Taux de modulation, spectre d'un signal modulé — Détection d'enveloppe — Démodulation synchrone





« *Le problème fondamental de la communication est de reproduire en un point, exactement ou approximativement, un message choisi en un autre point.*

— Claude E. Shannon, « A Mathematical Theory of Communication », *Bell System Technical Journal* (1948)

physionova
physionova.academy

Pr. CHARIFI
professeurcharifi@gmail.com

Simulation associée sur **PhysioNova**
« Modulation d'amplitude »

E4 — Fiche résumé

L'essentiel en trois phrases

Pour transmettre un message de basse fréquence, on l'imprime sur une **porteuse** de haute fréquence f_p : antennes de taille raisonnable, partage des fréquences entre émetteurs, propagation adaptée. En modulation d'amplitude, un **multiplieur** fournit $s = S_0(1 + m\cos\Omega t)\cos\omega_p t$, dont le spectre comporte la porteuse et deux raies latérales $f_p \pm F$. Démoduler exige une opération **non linéaire** : détection d'enveloppe (diode et RC, si $m < 1$) ou détection synchrone (multiplication par une porteuse locale puis passe-bas, pour tout m).

I Moduler : pourquoi et comment

Définition — AM, FM, PM R

Porteuse $A_p\cos(\omega_p t)$, message $m(t)$ de spectre borné par $F_{\max} \ll f_p$.

- **AM** : amplitude $A(t) = A_0[1 + k_a m(t)]$; **FM** : fréquence instantanée $f(t) = \frac{1}{2\pi}\frac{\mathrm{d}\psi}{\mathrm{d}t} = f_p + k_f m(t)$; **PM** : phase $\psi = \omega_p t + k_p m(t)$.
- Raisons : antenne de taille $\sim \lambda/4$ ($75\,\mathrm{km}$ à $1\,\mathrm{kHz}$, $75\,\mathrm{cm}$ à $100\,\mathrm{MHz}$) ; multiplexage fréquentiel ; propagation.

Ordres de grandeur

Radio AM (GO / PO)	150–280 kHz / 0,53–1,6 MHz, canaux de 9 kHz
Radio FM	88–108 MHz, canaux de 200 kHz
Téléphonie mobile ; Wi-Fi	0,7–3,5 GHz ; 2,4 et 5 GHz

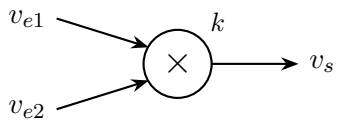
II Multiplieur

Multiplieur R D

$$v_s = k\, v_{e1} v_{e2} \qquad k \approx 0{,}1\,\mathrm{V}^{-1}$$

$$\cos a \cos b = \tfrac{1}{2}\big[\cos(a+b) + \cos(a-b)\big]$$

Deux sinusoïdes f_1, $f_2 \Rightarrow f_1 + f_2$ et $|f_1 - f_2|$: composant non linéaire. Quadrateur : ke^2 (continu $+\ 2f$) ; mesure TRMS : carré, moyenne, racine.



III Modulation d'amplitude

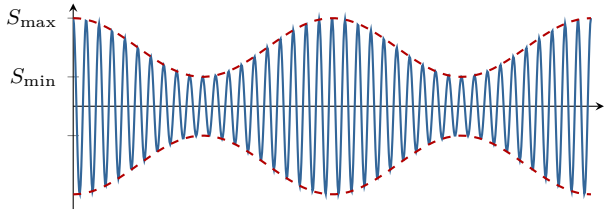
Signal AM R

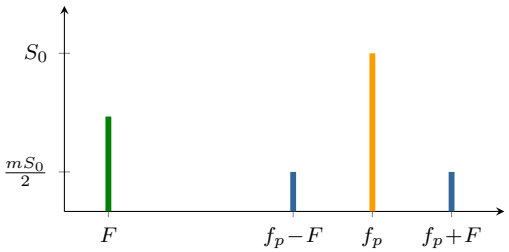
Porteuse supprimée : $kA_pU_m\cos\Omega t\cos\omega_p t$, deux raies $f_p \pm F$, pas de porteuse, enveloppe inexploitable.
Porteuse conservée (U_0 ajouté au message) :

$$s = S_0(1+m\cos\Omega t)\cos\omega_p t = S_0\cos\omega_p t + \frac{mS_0}{2}\cos(\omega_p-\Omega)t + \frac{mS_0}{2}\cos(\omega_p+\Omega)t$$

$$m = \frac{U_m}{U_0} = \frac{S_{\max}-S_{\min}}{S_{\max}+S_{\min}} \qquad B = 2F_{\max} \qquad \frac{P_{\text{latérales}}}{P_{\text{totale}}} = \frac{m^2}{2+m^2} \le \frac{1}{3}$$

$m<1$: l'enveloppe reproduit le message ; $m>1$: surmodulation.





IV Démodulation

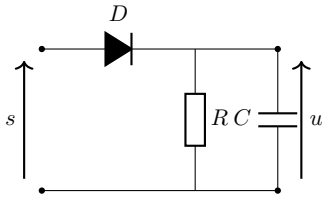
Nécessité d'une non-linéarité : le spectre de s ne contient pas F ; un filtre linéaire ne peut pas la créer.

Détection d'enveloppe R

Diode + $R \parallel C$ (charge par la diode aux crêtes, décharge dans R), puis passe-haut pour ôter le continu :

$$T_p \ll RC \ll T_m, \qquad m<1$$

Non-décrochage : $RC\,\Omega \le \dfrac{\sqrt{1-m^2}}{m}$.



Détection synchrone R D

$$s \times A_\ell\cos(\omega_p t+\varphi) \;\to\; \frac{kA_\ell S_0}{2}(1+m\cos\Omega t)\big[\cos\varphi+\cos(2\omega_p t+\varphi)\big]$$

Passe-bas $F \ll f_c \ll 2f_p - F$, puis suppression du continu. Fonctionne pour tout m et pour la porteuse supprimée ; facteur $\cos\varphi$ (nul pour $\varphi=\pi/2$) ; écart de fréquence $\delta f \Rightarrow$ évanouissements à δf : porteuse locale asservie (boucle à verrouillage de phase).

V Méthodes et pièges

☞ Méthode — Exploiter un oscillogramme ou un spectre AM M

- Compter les périodes de l'enveloppe (F) et de la porteuse (f_p) sur une même durée.
- $m = \dfrac{S_{\max} - S_{\min}}{S_{\max} + S_{\min}}$, $S_0 = \dfrac{S_{\max} + S_{\min}}{2}$; ou méthode du trapèze (XY) ; ou rapport raie latérale/porteuse $= m/2$.
- Spectre après multiplication : appliquer $\cos a \cos b$ à chaque raie ; placer le filtre entre les groupes de raies.

✗ Attention, erreurs fréquentes

- Raies latérales d'amplitude $mS_0/2$, pas mS_0.
- Porteuse supprimée ou $m > 1$: la détection d'enveloppe échoue.
- RC trop grand : décrochage (pire si $m \to 1$) ; trop petit : ondulation à f_p.
- Un filtre seul ne démodule jamais.

Savoir-faire : je coche quand je sais

- ☐ J'explique l'intérêt de la modulation et je cite les ordres de grandeur AM, FM, téléphonie.
- ☐ Je donne la relation du multiplieur et le spectre d'un produit de sinusoïdes.
- ☐ J'écris un signal AM, je mesure m et je trace son spectre ; je calcule l'encombrement $2F_{\max}$.
- ☐ Je justifie la nécessité d'une opération non linéaire pour démoduler.
- ☐ Je dimensionne un détecteur d'enveloppe et j'explique l'influence de m.
- ☐ J'explique la démodulation synchrone, le choix du filtre et l'effet d'un déphasage.