

# Mini-projet groupe 3

## Modulation, Démodulation, Sous-échantillonnage

Philippe Martin\*

\*Centre Automatique et Systèmes, MINES ParisTech, PSL University, Paris, France

Email: philippe.martin@mines-paristech.fr

### INTRODUCTION

Le but de ce projet est d'examiner concrètement quelques techniques de transmission de signaux couramment utilisées en télécommunications, dans le cas assez simple de la modulation d'amplitude.

Le travail à rendre consiste en un notebook Jupyter commenté, avec quelques explications théoriques courtes mais pertinentes, et surtout des figures illustratives. Un peu de recherche documentaire est nécessaire (mais guère plus que Wikipedia).

Les bonus proposent deux développements (parmi bien d'autres possibles !) sur les sujets abordés ; ils sont facultatifs, et indépendants l'un de l'autre.

### I. MODULATION ET DÉMODULATION DSB-SC (DOUBLE-SIDEBAND SUPRESSED-CARRIER)

On utilisera dans la suite trois fréquences de référence d'ordres de grandeur différents :  $B$  la fréquence maximale du signal à transmettre,  $f_c \gg B$  la fréquence de la porteuse, et  $f_\infty \gg f_c$  la fréquence d'échantillonnage pour représenter les signaux analogiques ( $f_\infty$  étant choisie "très grande", un signal échantillonné à  $f_\infty$  peut être vu comme un signal à temps continu).

#### A. Modulation

- fabriquer le signal à transmettre  $x(t)$ , qui doit être à bande limitée  $[-B, B]$  (utiliser éventuellement une fenêtre adaptée, par exemple de type Kaiser, pour éviter le "spectral leakage"); afficher le signal et son spectre
- fabriquer le signal modulé  $x_m(t) := x(t) \cos(2\pi f_c t)$ ; afficher le signal et son spectre. Pourquoi le nom "DSB-SC" donné à ce type de modulation ?

#### B. Démodulation synchrone "analogique"

- fabriquer le signal  $x_{md}(t) := x_m(t) \cos(2\pi f_c t)$ ; afficher le signal et son spectre
- filtrer  $x_{md}(t)$  par un filtre passe-bas, soit  $x_{mdf}(t)$  le résultat; afficher le signal et son spectre. Conclusion ?
- pour la suite du traitement, on échantillonnerait  $x_{mdf}(t)$  afin de manipuler numériquement le signal. Quelle est la fréquence minimale d'échantillonnage possible ?
- la démodulation présentée ici se fait d'habitude avec des composants analogiques. Serait-il possible de réaliser numériquement le même traitement après avoir

échantillonné  $x_m$  ? Quelle est la fréquence minimale d'échantillonnage possible ?

#### C. Démodulation synchrone par sous-échantillonnage

- échantillonner le signal modulé  $x_m(t)$  à la fréquence  $f_s := f_m/n$  avec  $n$  entier, soit  $x_s(t)$  le résultat; afficher le signal et son spectre. Conclusion ? Quelle est la fréquence minimale d'échantillonnage possible ?
- intérêt de cette procédure ? Interprétation temporelle et fréquentielle ?

#### D. Modulation-démodulation avec sinus au lieu de cosinus

Reprendre les questions des sections I-A à I-C en utilisant partout  $\sin(2\pi f_c t)$  au lieu de  $\cos(2\pi f_c t)$ .

### II. MODULATION ET DÉMODULATION QAM (QUADRATURE AMPLITUDE MODULATION)

La modulation DSB-SC "gaspille" de la bande passante; pourquoi ? En s'inspirant des résultats de la section précédente, montrer qu'on peut transmettre deux signaux  $x_I(t)$  et  $x_Q(t)$  en même temps, en modulant  $\cos(2\pi f_c t)$  par  $x_I$  et  $\sin(2\pi f_c t)$  par  $x_Q$ , et en sommant le résultat, d'où le signal modulé composite  $x_m(t) := x_I(t) \cos(2\pi f_c t) + x_Q(t) \sin(2\pi f_c t)$ . Reprendre les questions des sections I-A à I-C dans ce cas.

### III. MODULATION ET DÉMODULATION SSB-SC (SINGLE-SIDEBAND SUPRESSED-CARRIER)

Si on n'a qu'un seul signal  $x(t)$  à transmettre, une autre façon d'économiser la bande passante est la modulation à bande unique "SSB-SC"; pourquoi ? Reprendre les questions des sections I-A à I-C dans ce cas (pour la modulation, on pourra utiliser la fonction `scipy.signal.hilbert`).

### IV. BONUS 1 : MODULATEUR DE WEAVER

En pratique, on ne peut pas utiliser la transformée de Hilbert pour moduler un signal en SSB-SC; pourquoi ? On utilise à la place un dispositif appelé "modulateur de Weaver"; implémenter ce modulateur, et vérifier qu'on obtient bien le même résultat qu'avec la méthode "théorique".

### V. BONUS 2 : TRANSMISSION MULTIPORTEUSE

Généraliser l'approche QAM de la section II pour transmettre simultanément quatre signaux.