

## L3 MI / Systèmes de Communications

# TP modulations

Récupérez sur moodle le zip contenant les fichiers du TP et dézippez-le dans votre répertoire de travail habituel.

Ce TP met en oeuvre les principes de la modulation de porteuse en amplitude vus dans le TD précédent, dans le cadre d'un canal acoustique. L'émetteur sera un haut-parleur, le récepteur sera un microphone. L'objectif est de comprendre empiriquement le problème de la synchronisation de la porteuse de réception et de comparer l'efficacité de la modulation de porteuses en quadrature avec celle de la modulation d'amplitude simple.

Pour commencer, branchez le microphone et les haut-parleurs, ouvrez l'interface de réglage des paramètres audio et vérifiez ces derniers. Placez les deux haut-parleurs côte à côte, en face du micro, à 40 cm environ. L'un des haut-parleurs diffusera le signal de communication, l'autre ajoutera du bruit sur le canal.

## 1 MDA-4

a) Reprenez le calcul du cours sur la démodulation (multiplication du signal reçu par la porteuse) en supposant que la porteuse de réception a une phase  $\phi$  quelconque. Que se passe-t-il si  $\phi = \pi$  ? Si  $\phi = \pi/2$  ? En réalité, ce déphasage  $\phi$  de la porteuse de réception est une situation courante, notamment ici où la synchronisation (*i.e.* la détection du début du message dans le signal reçu) n'est pas parfaite.

b) Lisez le programme *TP\_Modulations.sce* puis lancez-le. Au cours de l'exécution, une boîte de dialogue va apparaître, vous indiquant d'exécuter le script *canal.sh* dans un terminal. Ce script émet le signal de communication et le bruit sur les haut-parleurs et enregistre le son capté par le micro.

A la fin de l'exécution, le programme

- affiche chaque échantillon  $z$  sous forme d'un point d'abscisse  $z$  et d'ordonnée aléatoire ;
- calcule le rapport  $E_b/N_0$  en décibels et la probabilité d'erreur empirique.

Relancez le programme en augmentant le volume des hauts-parleurs si vous ne voyez pas 4 nuages de points bien distincts.

c) Calculez l'écart-type théorique des  $z$  ( $= \sqrt{5}V_0$  pour une MDA-4) et sa valeur empirique (`sqrt(mean(z.^2))`). Expliquez la différence à la lumière du résultat de la question (a). Quels sont les seuils de décision ? Pourquoi a-t-on une probabilité d'erreur assez élevée alors que les nuages sont bien distincts ? Comment y remédier ? Relancez la fin du programme<sup>1</sup> (à partir de la démodulation).

---

1. Pour exécuter un extrait d'un programme scilab, il suffit de surligner cet extrait et de faire ctrl-e

**d)** Refaire l'expérience plusieurs fois en faisant varier la puissance du bruit additionnel  $P_{w\_dB}$  (par pas de 5 à 10 dB) et collecter les résultats dans les vecteurs adéquats du programme *results.sce*. Essayez d'avoir des taux d'erreur empiriques entre  $10^{-4}$  et  $10^{-1}$ .

Pourquoi est-il difficile, dans cette expérience, de mettre en évidence des probabilités d'erreur de l'ordre de  $10^{-10}$  ?

## 2 MAQ-4

A présent, vous allez fixer le paramètre *modulation* à "MAQ".

**a)** Fixez de nouveau  $P_{w\_dB} = -60$ ; et relancez le programme. Vous devez obtenir 4 nuages de points bien distincts. Si ce n'est pas le cas, réglez  $V_0, T$  ou le volume du son et relancez. Que constatez-vous ? Fixez  $phase = \pi/4$ ; et relancez la fin du programme (à partir de la démodulation). Comparez la constellation avec celle que vous aviez pour une phase de 0. Règlez cette phase et relancez la fin jusqu'à obtenir une constellation conforme à la théorie.

Lorsqu'elle arrive au récepteur, la porteuse est déphasée à cause de l'imperfection de la synchronisation, ce qui produit sur la première voie l'effet calculé dans la question (a) de la section précédente. La constellation que vous avez observé pour  $phase = 0$ ; est la traduction géométrique de ce phénomène. D'où la nécessité d'ajouter aux porteuses de réception la même phase.

Par cette approche géométrique, la "bonne" phase est définie modulo combien ? En regardant la probabilité d'erreur obtenue, ajustez de nouveau la phase et relancez la fin.

**b)** Relancez plusieurs fois le programme en faisant varier la puissance du bruit additionnel  $P_{w\_dB}$  (par pas de 5 à 10 dB) et collectez les résultats dans les vecteurs adéquats du programme *results.sce*. Essayez d'avoir des taux d'erreur empiriques entre  $10^{-4}$  et  $10^{-1}$ . Normalement, si vous maintenez votre micro et vos haut-parleurs exactement dans la même position, le réglage de phase n'a pas besoin d'être changé. Dans le cas contraire, il est nécessaire de régler de nouveau la phase et relancer la fin avant de prendre en compte la probabilité d'erreur.

**c)** Lorsque vous avez assez de valeurs pour tracer des courbes, lancez le programme *results.sce*, qui affiche les probabilités d'erreur de la MDA-4 et de la MAQ-4 en fonction du rapport signal à bruit  $E_b/N_0$ . Vérifiez le résultat du TD selon lequel une MDA-4 atteint les performances d'une MAQ-4 au prix d'un rapport signal à bruit de 4dB supérieur.