

TP n°14 : caractéristiques des modulations numériques de type I/Q.

→ But du TP : le but de ce quatorzième TP de seconde année est l'étude de plusieurs caractéristiques des modulations numériques vectorielles I/Q à l'aide de deux méthodes : simulation avec le logiciel Labview (PARTIE A) et pratique à l'aide des bancs PXI de National Instruments. Plus précisément, étudie pour plusieurs types de modulations (PSK et QAM) le diagramme de constellation, les chronogrammes des signaux $i(t)$ et $q(t)$ ainsi que l'évolution temporelle et fréquentielle du signal modulé.

PARTIE A : caractéristiques des modulations vectorielles par simulation.

1) Caractéristiques temporelles des modulations M-PSK.

Ouvrir le vi « Mod_PSK aléatoire.vi » présent dans le répertoire de la classe.

On étudie dans un premier temps une modulation 8-PSK avec un débit symbolique $R=100$ MBauds et une fréquence porteuse de $f_p = 1$ GHz. On débutera l'étude sans placer de filtre à l'émission.

Combien y a-t-il de bits par symbole ? Quelle est la relation entre R et D_b ?

Faire fonctionner le vi et relever la courbe qui montre que la modulation est bien de type PSK.

Imprimer le diagramme de constellation et placer les symboles avec la répartition de votre choix.

Sur le diagramme de constellation, rappeler la relation entre un point quelconque et ses paramètres I et Q.

Plus généralement, le signal modulé peut s'écrire sous la forme :

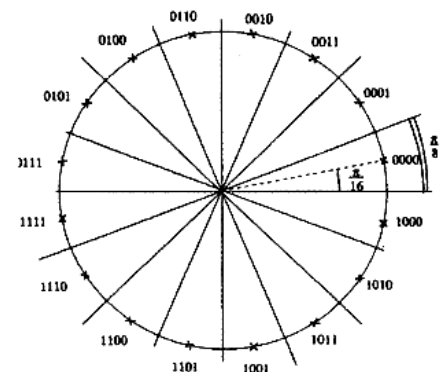
$$v(t) = \hat{V} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_p \cdot t + \varphi(t))$$

Rappeler alors les expressions de $i(t)$ et $q(t)$ en fonction de \hat{V} et de $\varphi(t)$.

Modifier le nombre de bits/symbole pour étudier une modulation 16-PSK.

Configuration : modulation 16 PSK, débit symbolique 500 Mbauds, fréquence porteuse 5 GHz, pas de filtre.

Dans la suite, on exploitera la figure ci-contre qui donne, à chaque point du diagramme de constellation, le symbole correspondant.



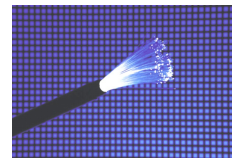
Afficher, sur une fenêtre d'observation de 20 ns, l'évolution des données $i(t)$ et $q(t)$.

Mesurer la durée des symboles et valider ce paramètre.

Imprimer le chronogramme correspondant et noter, sur quelques intervalles de temps, les données binaires correspondantes en précisant la méthode utilisée pour l'un d'entre eux.

Préciser, sur la durée d'un symbole, l'expression instantanée du signal de porteuse.

A chaque changement de symbole, comment est modifié le signal de porteuse ? (valider ce résultat par simulation)



2) spectre du signal modulé 16-PSK et utilisation d'un filtre de Nyquist.

Visualiser et imprimer, le spectre du signal modulé, en choisissant de façon optimale la bande de fréquences analysée.

Commenter (fréquence centrale, largeur du lobe principal et des lobes secondaires à rapprocher d'un paramètre ?).

On garde les paramètres précédents sur la face avant et on introduit maintenant un filtre en cosinus surélevé « Raised Cosine » avec un facteur de roll-off de $\alpha = 0,5$ (voir cours pour la forme de ce filtre).

Représenter et imprimer le spectre du signal modulé. Commenter le changement par rapport au spectre sans le filtre.

Mesurer la largeur du lobe principal. Peut-on affirmer que la largeur utile du spectre est

$$L_u = \frac{1 + \alpha}{T_s} \text{ avec } T_s \text{ la durée d'un symbole et } \alpha \text{ le facteur de « Roll-Off » ?}$$

Donner la valeur de l'efficacité spectrale de la modulation réalisée.

On rappelle que $\eta = \frac{\text{Débit binaire}}{\text{Bande occupée par le spectre}}$ Commenter (on rappelle qu'une bonne modulation a une efficacité spectrale supérieure à 2).

Noter qualitativement la modification apportée sur les signaux $i(t)$ et $q(t)$. Quelle est la conséquence sur le diagramme de constellation en particulier sur les transitions ?

Quelle peut être la conséquence de cette modification sur l'erreur en réception ?

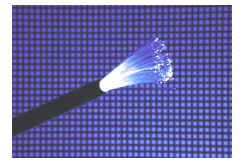
3) Étude du taux d'erreur en fonction du rapport S/N et de la modulation choisie.

Objectifs: étudier la transmission d'un message en modulation M-QAM et noter la valeur à attribuer à M suivant le niveau de bruit présent dans le canal de transmission.

Ouvrir le « vi » « QAM Message.vi ». Visualiser le diagramme de constellation.

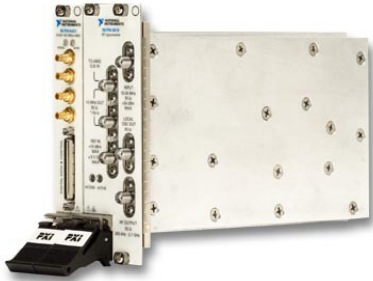
On choisit un facteur de Roll-Off de 0,5 pour le filtrage des données $i(t)$ et $q(t)$. Pour chaque type de modulation QAM, noter

- la valeur minimale du rapport signal sur bruit nécessaire pour « récupérer » un message à la fin de la chaîne de transmission.
- la valeur minimale du rapport signal sur bruit nécessaire pour avoir une erreur de transmission nulle. Valider la cohérence avec la figure donnée en annexe, qui donne la valeur du taux d'erreur binaire (BER) en fonction du rapport signal/bruit en dB (SNR : Signal Noise Ratio) pour 4 exemples de modulation QAM.



PARTIE B : utilisation des bancs PXI pour la génération et la réception de signaux RF.

On utilise les bancs PXI déjà étudiés dans un TP précédent :



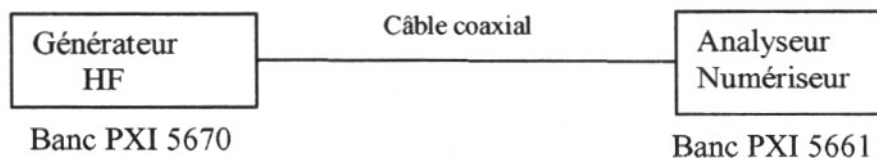
PXI 5670 émetteur



PXI 5661 récepteur

1) Génération et analyse d'un signal RF modulé en QAM.

Réaliser le montage symbolisé ci-dessous :



Sur le banc PXI-5670, ouvrir le « vi » « Mod_QAM Livet » présent dans le répertoire classe.

Effectuer les réglages sur la face avant pour générer un signal :

- de fréquence porteuse 200 MHz et de niveau -10 dBm
- modulé en I6 QAM avec un débit symbolique de 200 kBauds

Le signal en bande de base est une séquence binaire pseudo aléatoire de longueur 10.

Pour cette étude, le filtre passe-bas présent dans tous les systèmes de transmission n'est pas mis en œuvre

a) Étude du spectre du signal QAM généré.

Sur le banc PXI 5661, ouvrir le « vi » « analyseur de spectre.vi » et exécuter ce programme..

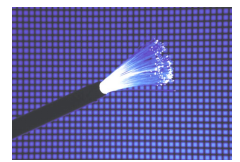
Cliquer sur « Frequency Span » et modifier les valeurs présentes pour obtenir un spectre optimal.

Dans l'onglet « Spectrum Settings », régler la bande passante du filtre de résolution à 1 kHz.

Imprimer le spectre en notant toutes ses grandeurs caractéristiques (fréquence centrale, largeur du lobe principal, des lobes secondaires).

Dans l'onglet « Measurement », noter la puissance contenue dans la bande de fréquences [199M – 201M] puis celle contenue dans le lobe principal et comparer les deux résultats. Conclusion ?

Quel est le paramètre au niveau de l'émission qui modifie la largeur du lobe principal ? Effectuer le changement expérimentalement.



b) Étude des caractéristiques du signal HF démodulé.

Sur le banc PXI 5661, ouvrir le «vi» «Spectre-Constellation-IQ-QAM».

Dans l'onglet « Configuration », modifier les valeurs présentes sur la partie droite du panneau pour qu'elles soient compatibles avec les caractéristiques de l'émetteur. Important: « PXI1Slot2 » doit toujours être indiqué dans « Ressource Name »

Dans l'onglet « Spectral Measurements », vérifier que le spectre d'amplitude est conforme à celui relevé précédemment.

Attention: le choix des valeurs de « Span » (plage de fréquences) , « RBW » (bande passante du filtre de résolution » ... conditionne la qualité du spectre visualisé.

Dans l'onglet « Parametric Measurements », valider le diagramme de constellation.

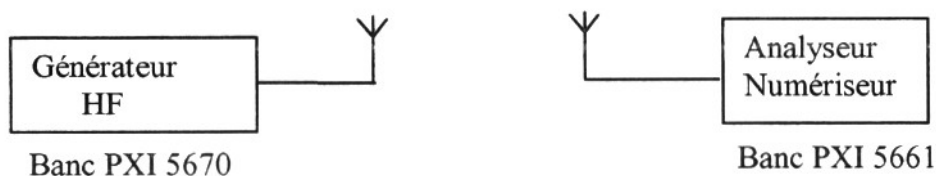
Dans l'onglet « BaseBand », visualiser l'allure des 2 signaux $i(t)$ et $q(t)$ en bande de base.

La durée d'un symbole est-elle conforme à vos prévisions ?

Même question pour le nombre de niveaux de tensions visualisés.

2) Étude de la transmission en modulation 8QAM en présence de « bruit ».

On s'intéresse maintenant à la transmission du signal modulé par liaison hertzienne.



On génère, grâce au « vi » « Mod_QAM_Livet », un signal :

- ▶ de fréquence porteuse 500 MHz et de niveau 0 dBm.
- ▶ modulé en 8 QAM avec un débit symbolique de 100 kBauds

Le signal en bande de base est une séquence binaire pseudo aléatoire de longueur 10.

On met en oeuvre un filtre passe-bas de type «Root Raised Cosine» de facteur de « Roll-Off » 0,5.

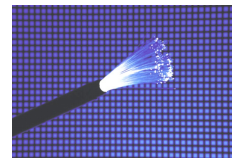
a) Caractéristiques et démodulation du signal reçu au niveau du récepteur.

Important : à la réception, il faut aussi mettre en oeuvre un filtre passe-bas de type « Root raised Cosine » et de même facteur de « Roll-Off » qu'à l'émission.

Ouvrir comme précédemment. le « vi » « QAM-Spectre-Constellation-IQ ». En reprenant la même démarche que précédemment, représenter le spectre d'amplitude du signal reçu. Commenter.

Vérifier que son encombrement spectral (L_u) est en cohérence avec $L_u = \frac{1+\alpha}{T_s}$ expression dans laquelle α est le facteur de « Roll off » et T_s la durée d'un symbole.

Comment est modifié le diagramme de constellation en présence des deux filtres. Quelle est la conséquence sur les signaux $i(t)$ et $q(t)$?



Une méthode pratique pour évaluer la qualité de la transmission numérique consiste à tracer le diagramme de l'oeil.

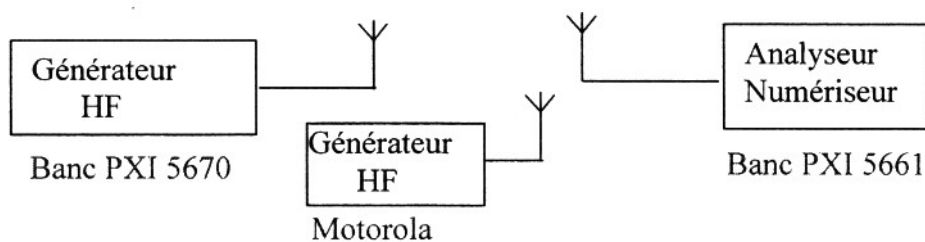
Ouvrir le « vi » « QAM diagramme de l'oeil »

Commenter la figure observée en répondant aux questions suivantes :

- ▶ à quels instants doit se faire la prise d'échantillons ?
- ▶ l'oeil est-il suffisamment ouvert pour prendre une décision avec un taux d'erreur très faible ?

b) En pratique, le canal est souvent bruité.

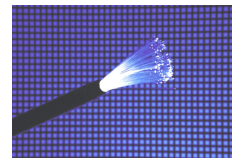
Pour simuler la présence d'une perturbation HF dans le canal de transmission, réaliser un montage conforme à :



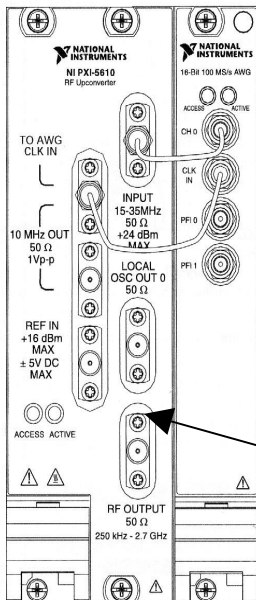
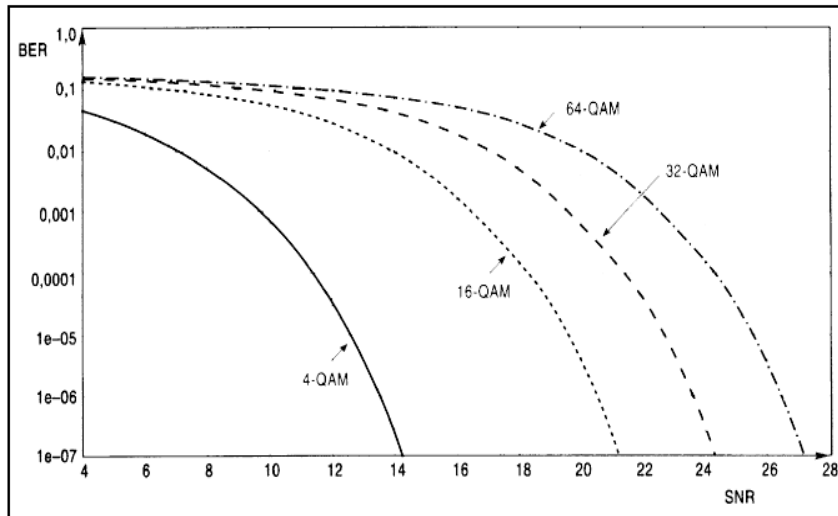
Générer grâce au générateur HF une perturbation de fréquence 500 MHz et de niveau -20 dBm.

Comment est modifié le diagramme de constellation relatif au signal reçu sur l'analyseur et le numériseur ?

Comment est modifié le diagramme de l'œil ?



Annexe : documents du TP.



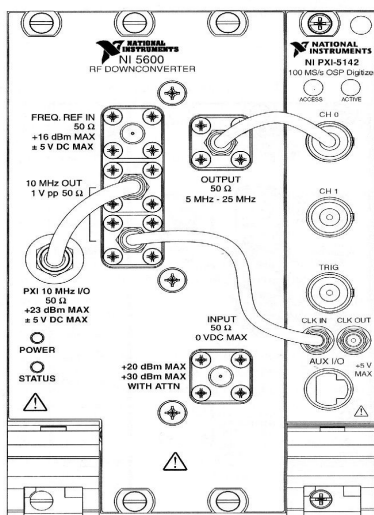
Le module PXI-5670 est un générateur de signaux vectoriels RF jusqu'à 2,7 GHz.

Il comprend:

- un module de génération de signaux « *Waveform generator* » (PXI 5421)
- un module de translation vers les fréquences élevées « *RF Superheterodyne UpConverter* » (PXI 5610)

Associé à la boîte à outils « *Toolkit Modulation* » de Labview, il peut générer de formats de modulation personnalisés ou standard (AM, FM, PM, ASK, FSK, MSK, GMSK, PSK, QPSK, PAM, QAM...).

Le signal généré est disponible sur la sortie notée RF Output (borne SMA femelle)



Le module PXI 5661 est un analyseur de signaux vectoriels RF jusqu'à 2,7 GHz.

Il comprend

- un module de translation vers les « basses » fréquences « *RF DownConverter* » (PXI 5600)
- un module numériseur à la fréquence intermédiaire « *FI Digitizer* » (PXI 5142)

Associé à la boîte à outils « *Toolkit Spectral Measurements* » de Labview, il permet d'afficher des mesures courantes telles que les spectres de puissance.

Associé à la boîte à outils « *Toolkit Modulation* », il permet de démoduler le signal RF.