

## TP transmission de données numériques ISN

Ce TP se déroule en deux parties de deux fois 4 heures :

- Simulation d'une transmission de données numériques
- Application de la transmission en Haute Fréquence à l'aide de l'USRP

Un compte rendu est à rendre pour l'ensemble de ce travail (ie sur les deux parties)

Pour ce TP, le logiciel utilisé est le LabVIEW 2018 en version 32 bits nécessaire pour faire fonctionner la boîte à outils Modulation. Cette dernière permet aussi la connexion avec le bloc NI-USRP 2920 permettant ainsi une modulation réelle à Haute Fréquence.

### Partie I : Transmission en bande de base

#### Préambule

1. Une séquence binaire composée d'une suite de symboles "0" et "1" (0 1 1 0 1 .... 1 0 0) n'a pas de signification physique. Pour transmettre l'information qu'elle représente dans un canal de transmission, il faut représenter les "0" et "1" par un signal physique  $s_0(t)$  et  $s_1(t)$ , appelé **forme d'onde du codage** : on appelle cette opération **codage en ligne**.
2. Le signal représentant la séquence binaire peut être électrique, optique, électromagnétique selon la nature du canal de communication utilisé pour la transmission (câble coaxial, fibre optique, canal hertzien, ...). Il peut être modulé (ou non) par une fréquence porteuse afin de s'adapter à la bande passante du canal de transmission. Il sera donc filtré par le canal, atténué et probablement du bruit perturbera la transmission.
3. Le signal est alors reçu par un récepteur et démodulé pour reconstituer la séquence binaire émise. La **démodulation numérique** consiste à prendre une **décision** concernant le symbole représenté par le signal *temporel* pendant la durée  $T_s$  : est-ce un "0" ou un "1" qui a été émis?

Le problème est tout à fait différent de celui de la transmission des signaux analogiques. Lors de la transmission de signaux analogiques, on cherche à avoir le meilleur rapport S/B à la réception pour reconstituer le signal analogique émis. Dans le cas de la transmission de signaux numériques, il faut reconstituer la séquence binaire émise et donc prendre la bonne décision : est-ce un "1" ou un "0" ? La performance de la chaîne de communication numérique se mesure en taux d'erreurs binaires (nb d'erreurs / nb de bits transmis).

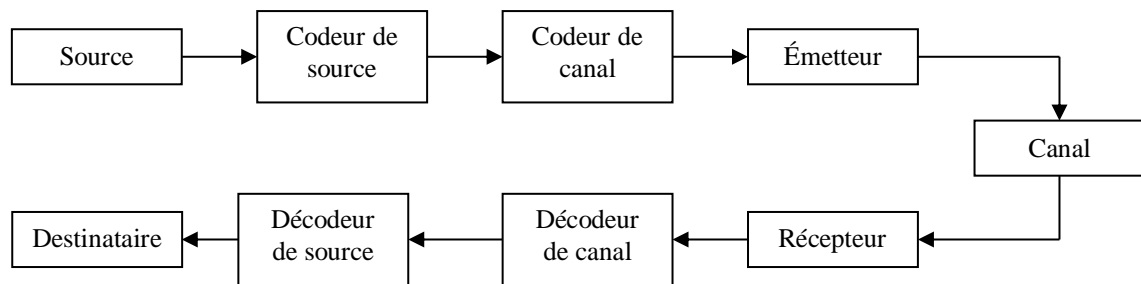


Figure 1 : Schéma général d'une transmission

Caractéristique du Message numérique :  $D$  le débit (bit/seconde)

Caractéristiques des signaux  $m(t)$   $R$  : Rapidité de modulation

Transmission binaire :  $R = 1/T$  (Bauds)

Transmission M-aire :  $R = \frac{D}{\log_2 M}$

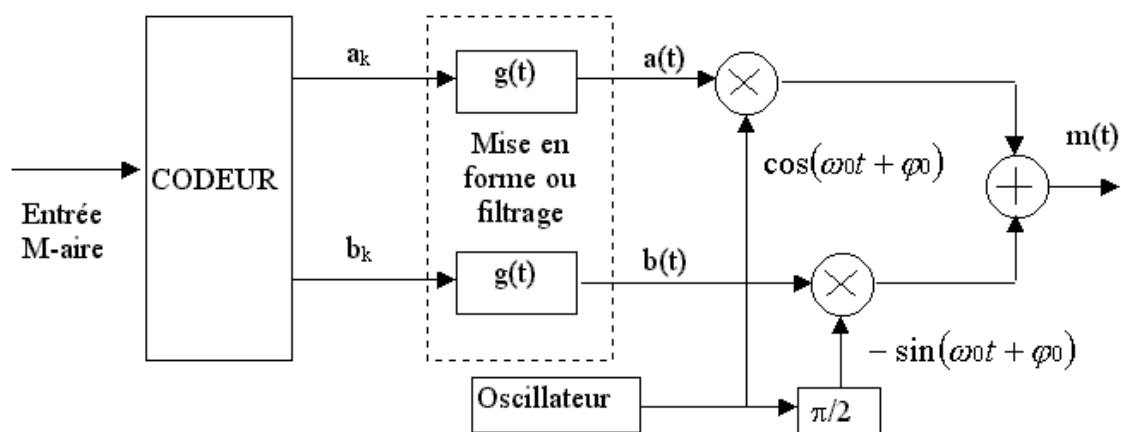


Figure 2 : Forme générale de mise au format et du modulateur

A chaque instant  $k$ , les  $a_k$  et  $b_k$  émis peuvent varier, le signal émis peut s'écrire :

$$m_k(t) = a_k \cdot g(t - kT) \cos(\omega_0 t + \varphi_0) - b_k \cdot g(t - kT) \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$$

Le signal modulé  $m_k(t)$  véhicule des informations à travers  $a_k(t)$  et  $b_k(t)$  :

→ signaux en bande de base

- $a_k(t)$  = composantes en phase (I)
- $b_k(t)$  = composantes en quadrature (Q)

On définit une constellation avec  $C_k = A_k + jB_k$

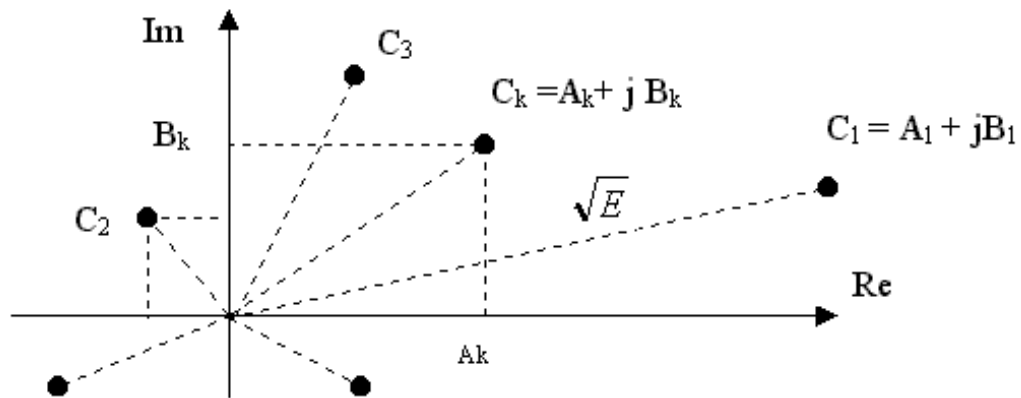


Figure 3 : Constellation d'un formatage quelconque

Nous prendrons comme exemple la QPSK = 4QAM.

Chaque pair de bits est associé à une phase, la QPSK produit 4 phases tel que  $\frac{\pi}{4}, \frac{3\pi}{4}, \frac{5\pi}{4}, \frac{7\pi}{4}$

En notation complexe les coordonnées  $(a_k, b_k)$  des points dans la représentation de Fresnel sont :

$$0,707 + 0,707i$$

$$0,707 - 0,707i$$

$$-0,707 + 0,707i$$

$$-0,707 - 0,707i$$

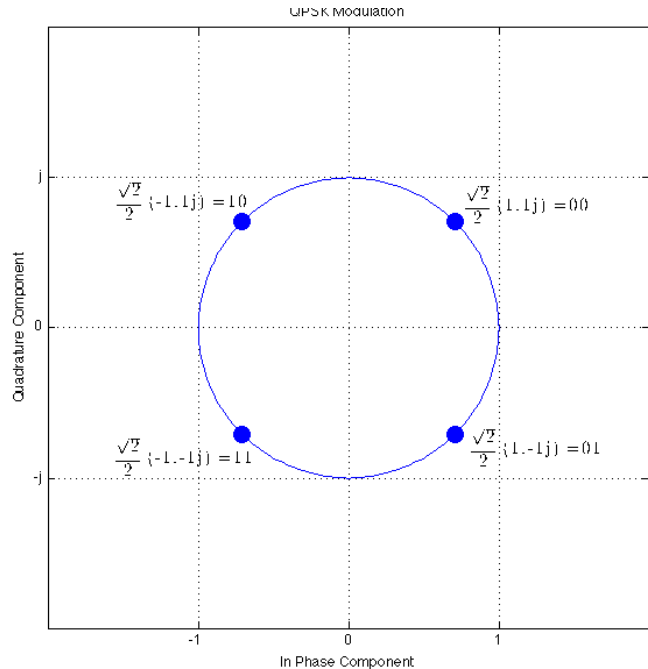
De plus si on applique un code Gray pour associer les paires de bits aux points de la constellation, il vient :

$$00 \rightarrow 0,707 + 0,707i$$

$$01 \rightarrow 0,707 - 0,707i$$

$$10 \rightarrow -0,707 + 0,707i$$

$$11 \rightarrow -0,707 - 0,707i$$



C'est également les points de la constellation de la 4QAM

## Expérimentation

### Mise en œuvre

- Simulation du codage et du formatage des données numériques en bande de base avec une simulation du canal de transmission entre l'émission et la réception.
- Implémentation des fonctions nécessaires pour réaliser une chaîne complète entre la transmission et la réception de type 4-QAM en simulant le canal de transmission.
- Utilisation des fonctions données dans le projet modulation TPtransmission sur Arche.
- Visualisation des constellations lors de l'émission ainsi que la réception.
- Représentation des coefficients  $a_k$  et  $b_k$  sur un graphique.
- Dans un premier temps, le signal numérique émis sera une suite binaire (bitstream).
- Dans un second temps, le signal numérique émis sera une chaîne de caractères, dont il fallait vérifier la bonne réception.
- Ajout du bruit sur le canal de transmission.
- Ajout d'un filtre (il n'y avait pas par défaut)

### Résultats

1. Faire varier le rapport signal/bruit dans le canal de transmission (bloc *AWGN Chanel*) et observer les constellations et le taux d'erreur binaire. Commentaires.
2. Quelle est la valeur minimale entière du rapport S/B pour laquelle il n'y a pas d'erreur de transmission ?
3. Passer à un 16-QAM, commenter les modifications nécessaires, et l'influence du bruit.
4. Quel est l'intérêt d'ajouter un filtre, et lequel des filtres proposés présente-t-il le meilleur résultat ?

## Partie II : Utilisation de l'USRP

Le but de cette deuxième partie de TP est de mettre en oeuvre une modulation de donnée numérique avec porteur HF de type QPSK (Quadrature Phase Shift Keying ou QAM Quadrature Amplitude modulation)

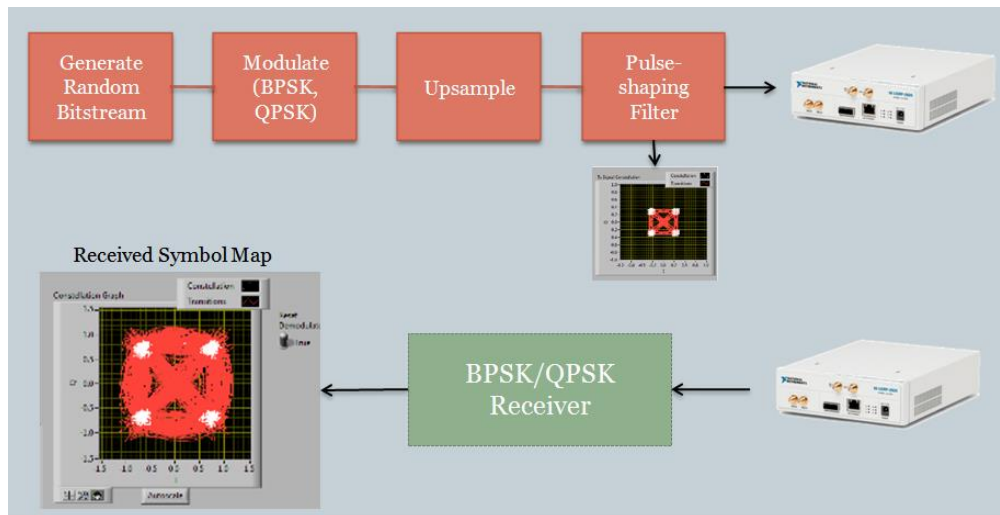


Figure 4 : Représentation de l'utilisation de l'USRP

## Présentation de l'USRP

L'idée de cette sous-partie est l'utilisation de l'USRP pour écouter la radio locale. Un exemple est proposé dans LabVIEW.

## Expérimentation

### Mise en œuvre

- Utilisation de la partie simulée durant la première séance et la division en deux pour créer soit une transmission (si vous êtes émetteur) soit une réception (si vous êtes récepteur).
- Utilisation des fonctions données dans le projet modulation TPtransmission sur Arche permettant de définir les paramètres nécessaires pour activer l'USRP en émetteur ou récepteur.
- Vérification des paramètres de configuration permettant de recevoir les données de l'émetteur en question (le groupe sera divisé en 3 émetteurs E1, E2, et E3 et 3 récepteurs correspondants R1, R2 et R3).

- Visualisation des constellations lors de l'émission ainsi que la réception
- Le signal numérique émis sera une chaîne de caractères, dont il fallait vérifier la bonne réception.
- Ajout d'un filtre (il n'y avait pas par défaut)
- Interférence entre plusieurs émetteurs permettant une réception erronée du signal

## Résultats

1. Quelle est la valeur minimale entière du rapport S/B pour laquelle il n'y a pas d'erreur de transmission ?
2. Quel est l'intérêt d'ajouter un filtre, et lequel des filtres proposés présente le meilleur résultat ?
3. A partir de quelle différence de fréquences, arrive-t-on à mieux recevoir les signaux sans interférence ?
4. Passer à un 16-QAM, commenter les modifications nécessaires.

## Annexes

### Matériel Système de communication HF USRP National Instrument

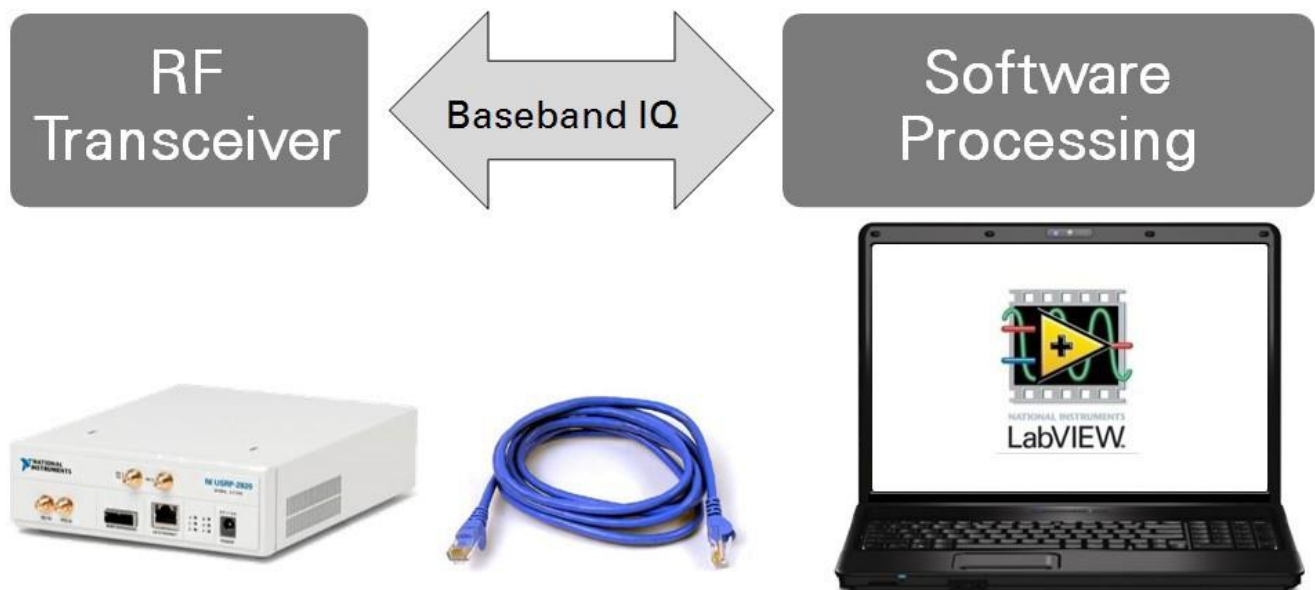


Figure 5 : Description du matériel

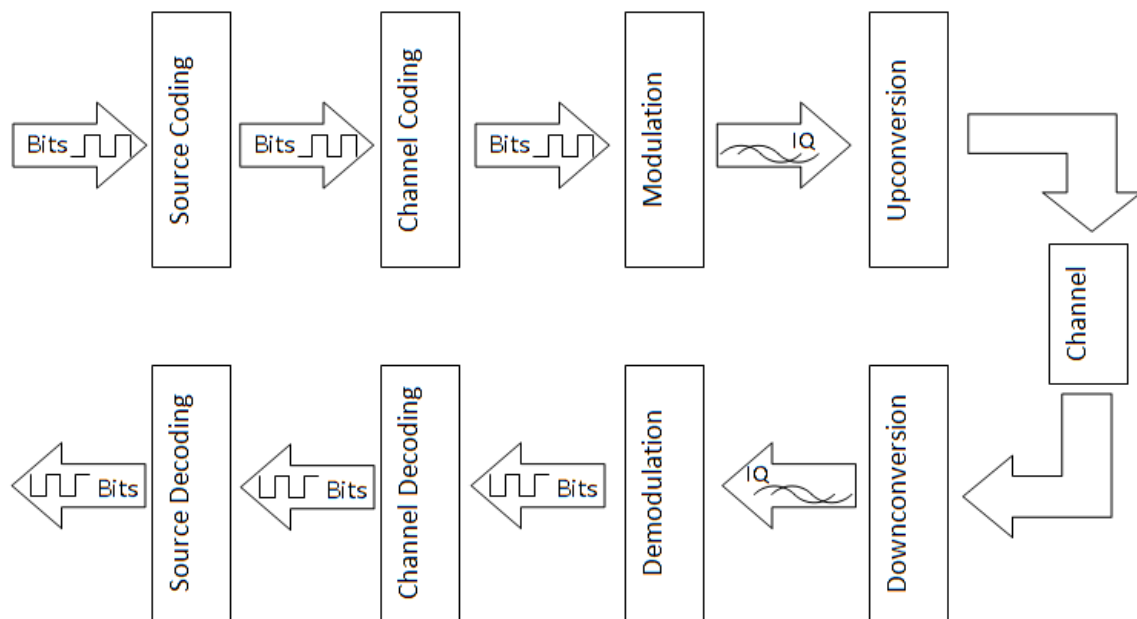


Figure 6 : Schéma fonctionnel d'une communication numérique

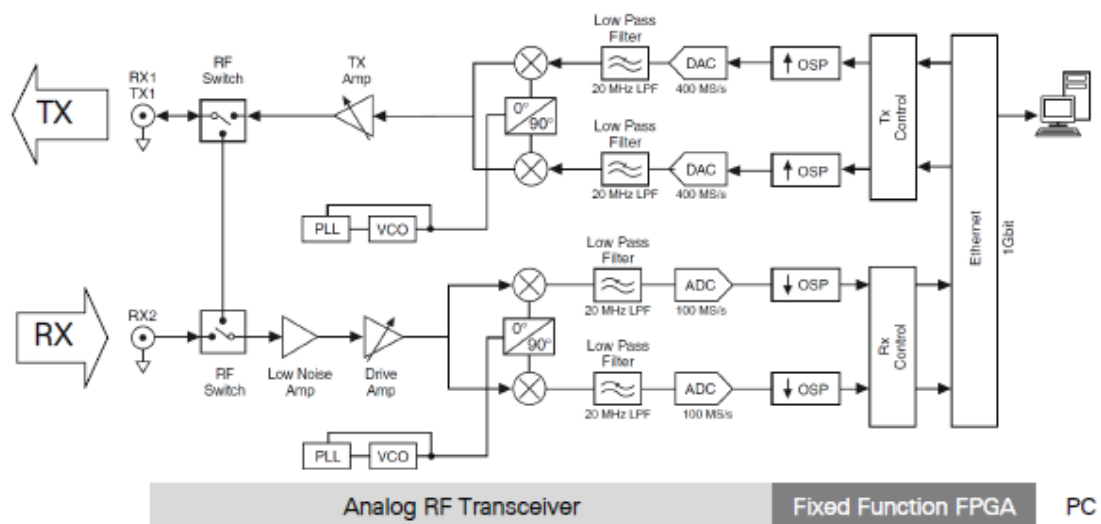


Figure 7 : Diagramme de l'USRP