



INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
RENNES

Plateforme SDR NI-USRP pour les communications numériques

Simulations et expérimentations de TP niveau ingénieur Bac +4/5

Gérald Albertini, Matthieu Crussière, Maryline Hélard,
Philippe Mary, Fabienne Uzel, François Yven

Projet de refonte des TP de communications numériques sur plateformes SDR

- ▶ Qui sommes-nous ?
- ▶ Objectifs
- ▶ Mise en œuvre
- ▶ Exemples/projets
- ▶ Conclusion / Perspectives
- ▶ Questions



Projet de refonte des TP de communications numériques sur plateformes SDR

- ▶ Qui sommes-nous ?
- ▶ Objectifs
- ▶ Mise en œuvre
- ▶ Exemples/projets
- ▶ Conclusion / Perspectives
- ▶ Questions



Le Groupe INSA, 1er réseau français d'écoles publiques d'ingénieurs

6 INSA en France

- ▶ Centre Val de Loire
- ▶ Lyon
- ▶ Rennes
- ▶ Rouen
- ▶ Strasbourg
- ▶ Toulouse

Rennes est un pôle universitaire et de recherche d'envergure internationale dans 3 secteurs :

- ▶ Santé
- ▶ Numérique
- ▶ Eco-activités

8 spécialités au choix (3e, 4e et 5e années)

- ▶ Électronique et Informatique Industrielle (EII)
- ▶ Génie Mathématique (GM)
- ▶ Informatique (INFO)
- ▶ Systèmes et Réseaux de Communication (SRC)
- ▶ Conception et Développement de Technologies Innovantes (CDTI)
- ▶ Génie Civil et Urbain (GCU)
- ▶ Génie Mécanique et Automatique (GMA)
- ▶ Science et Génie des Matériaux (SGM)



Profil des étudiants de la filière SRC

5

3^{ème} année de spécialisation SRC : les techniques de pointe

- Conception numérique => **Systèmes avancés de télécom**
- Conception RF
- Conception Réseau

4

2^{ème} année de spécialisation SRC : application des connaissances

- **Communications numériques, théorie de l'information et de l'estimation**
- Circuits hyperfréquences, radiocommunications
- Circuits numériques, Réseaux

3

1^{ère} année de spécialisation SRC : les socles théoriques

- **Traitement du signal, introduction aux communications** et réseaux
- Electronique, électromagnétisme, électronique numérique

2

Deux années de cycle préparatoire intégré

- Maths/Physique/Chimie/Sciences de l'ingénieur
- Humanités

1

Autres filières

- DUT
- CPGE, Université



Projet de refonte des TP de communications numériques sur plateformes SDR

- ▶ Qui sommes-nous ?
- ▶ Objectifs
- ▶ Mise en œuvre
- ▶ Exemples/projets
- ▶ Conclusion / Perspectives
- ▶ Questions



Projet

- ❶ **Moderniser** des équipements de laboratoire à destination des étudiants de la filière SRC
- ❷ **Intégrer de nouvelles manipulations** mettant en œuvre des techniques de communications plus actuelles
- ❸ Allier davantage les aspects « **matériel** », « **logiciel** » et « **métrologie** »

Contraintes

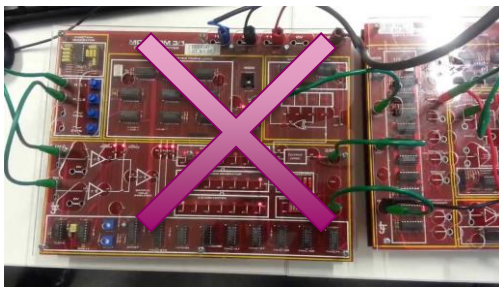
- ❶ Limiter au maximum les besoins d'apprentissage de nouveaux outils ou langages
- ❷ Avoir une plateforme évolutive dans le temps



Pratique « traditionnelle »

Aspects matériels

Visualisation de signaux de communications via des cartes électroniques à composants discrets



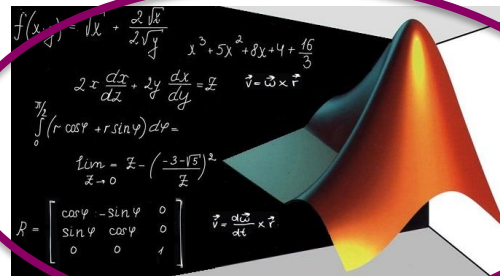
De « vrais » signaux, en bande modulée

MAIS :

- Faible évolutivité
- Technologie rapidement obsolète
- Prise en main du matériel hasardeuse



Aspects logiciels



Mise en œuvre d'algorithmes de traitement du signal par simulations numériques sous **MATLAB**

Outil parfaitement adapté aux aspects algorithmiques

Langage de base maîtrisé par tous

MAIS :

- Vision bande de base uniquement
- Peu concret (simulation pure)

🔴 Approche SDR mise en place

Aspects matériels

Utilisation de cartes SDR



Aspects logiciels

🔴 De « vrais » signaux, en bande modulée

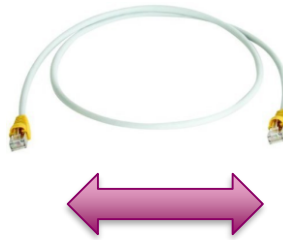
🔴 **MAIS DE PLUS :**

- Grande variété des signaux
- Souplesse d'utilisation
- Moins de problèmes Hardware

Approche SDR mise en place

Aspects matériels

Utilisation de
cartes SDR



Lien IQ

Aspects logiciels



Mise en œuvre de
fonctions et d'algorithmes
de communications
numériques

- ▶ De « vrais » signaux, en bande modulée
- ▶ **MAIS DE PLUS :**
 - Grande variété des signaux
 - Souplesse d'utilisation
 - Moins de problèmes Hardware

- ▶ Souplesse du langage interprété **Matlab** pour l'algorithmie
- ▶ Pilotage des cartes par **LabView**
- ▶ **MAIS SURTOUT :**
 - Visualisation de signaux réels
 - Au-delà de la simple simulation

🔴 Approche SDR mise en place

Aspects matériels

Utilisation de
cartes SDR



Aspects logiciels



Lien IQ



Mise en œuvre de
fonctions et d'algorithmes
de communications
numériques

🔴 Point dur d'un point de vue pédagogique :

« *Enseigner des communications numériques, pas du LabView !* »

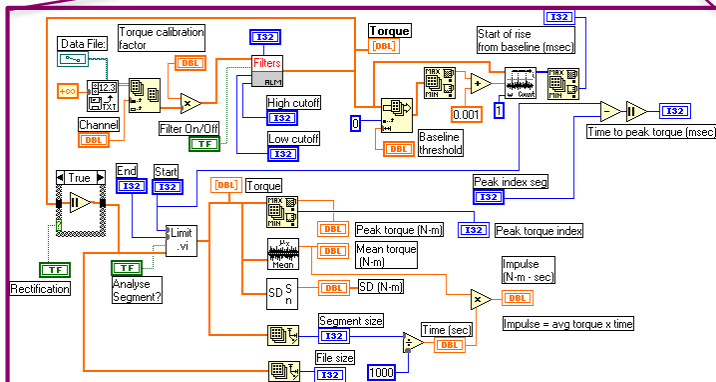
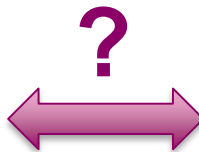
- Comment effectuer un interfaçage simple entre LabView et Matlab ?
- Comment piloter les cartes simplement sans être un expert « labview » ?

Projet de refonte des TP de communications numériques sur plateformes SDR

- ▶ Qui sommes-nous ?
- ▶ Objectifs
- ▶ Mise en œuvre
- ▶ Exemples/projets
- ▶ Conclusion / Perspectives
- ▶ Questions



« Interfaçage » Labview / Matlab



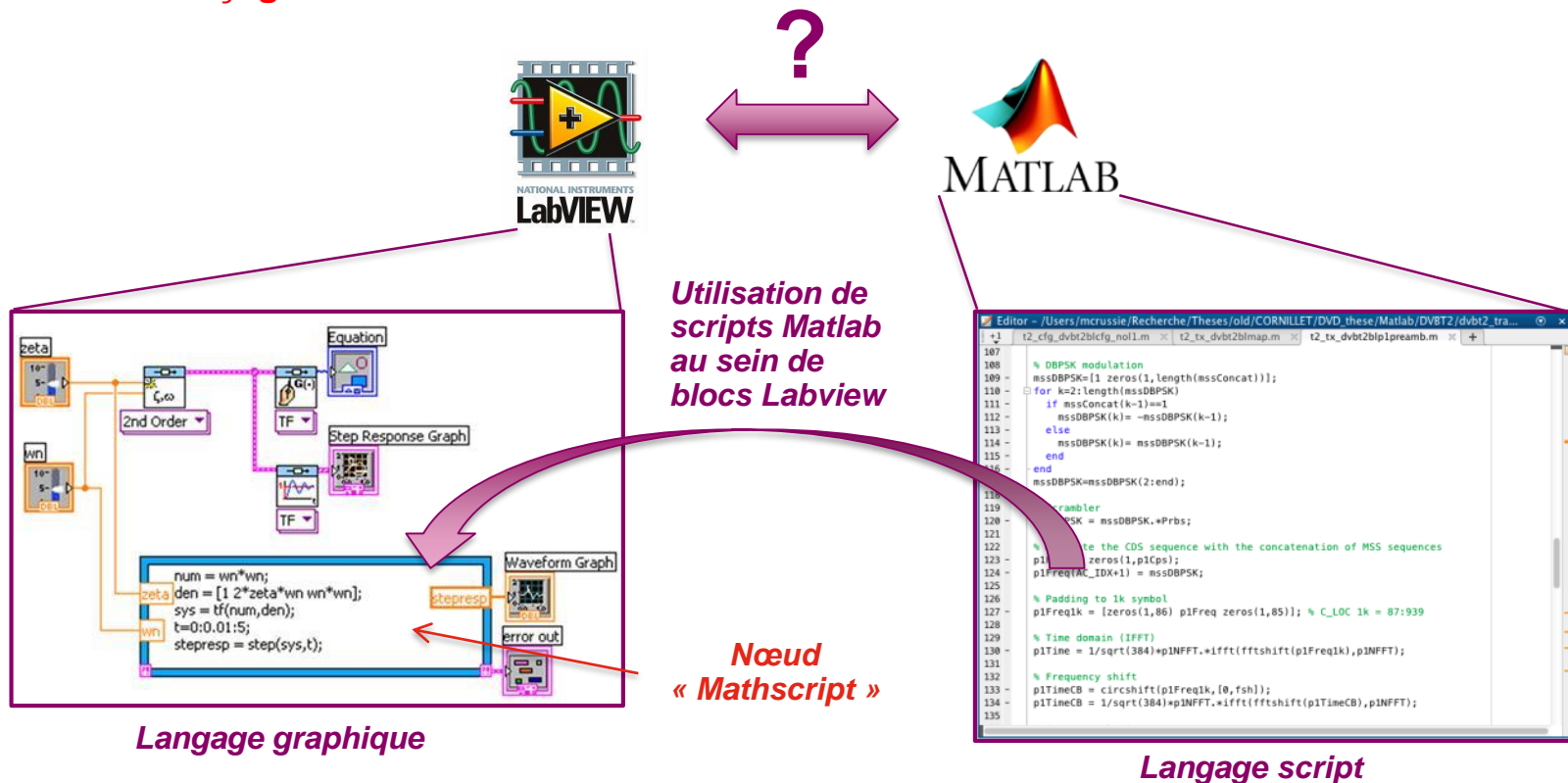
Langage graphique

```

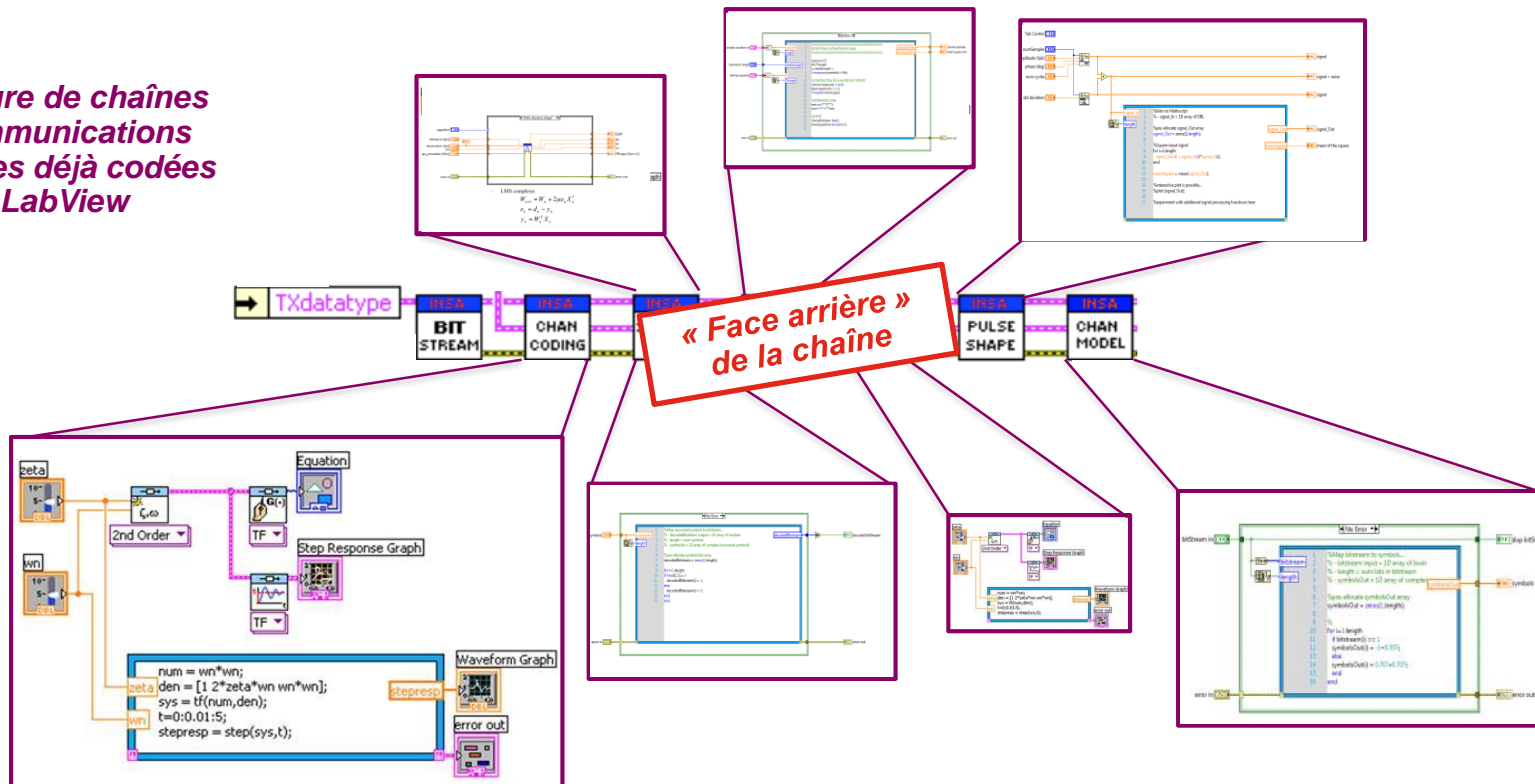
107
108 % DBPSK modulation
109 mssDBPSK=[1 zeros(1,length(mssConcat))];
110 for k=2:length(mssDBPSK)
111     if mssConcat(k-1)==1
112         mssDBPSK(k)= -mssDBPSK(k-1);
113     else
114         mssDBPSK(k)= mssDBPSK(k-1);
115     end
116 end
117 mssDBPSK=mssDBPSK(2:end);
118
119 % Scrambler
120 mssDBPSK = mssDBPSK.*Prbs;
121
122 % Modulate the CDS sequence with the concatenation of MSS sequences
123 pIFreq = zeros(1,pICps);
124 pIFreq(AC_IDX+1)= mssDBPSK;
125
126 % Padding to 1k symbol
127 pIFreq1k = [zeros(1,86) pIFreq zeros(1,85)]; % C_LOC 1k = 87:939
128
129 % Time domain (IFFT)
130 pTime = 1/sqrt(384)*pINFFT.*ifft(fftshift(pIFreq1k),pINFFT);
131
132 % Frequency shift
133 pTimeCB = circshift(pTimeCB,[0,fsh]);
134 pTimeCB = 1/sqrt(384)*pINFFT.*ifft(fftshift(pTimeCB),pINFFT);
135
    
```

Langage script

« Interfaçage » Labview / Matlab



**Fourniture de chaînes
de communications
complètes déjà codées
en LabView**



Utilisation « allégée » de LabView pour les étudiants

*Fourniture de chaînes
de communications
complètes déjà codées
en LabView*

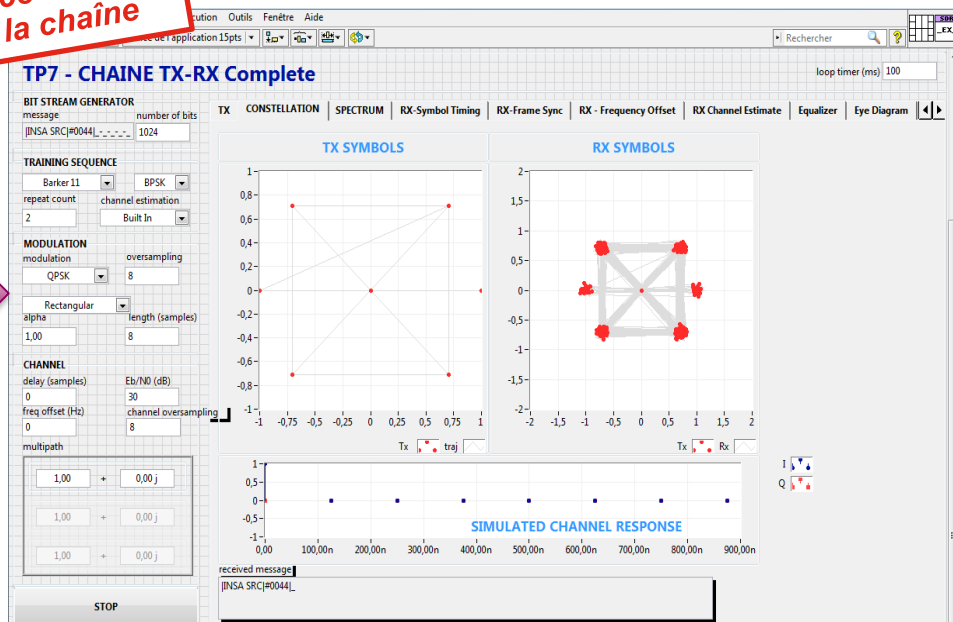
« Face avant »
de la chaîne

« Face arrière »
de la chaîne



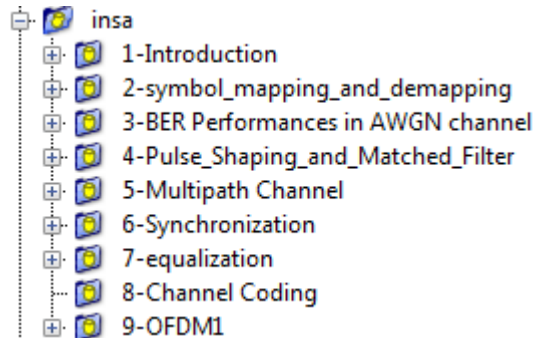
Les étudiants :

- Paramètrent la chaîne par la face avant
- Naviguent dans la chaîne par la face arrière
- Ne modifient pas le code LabView

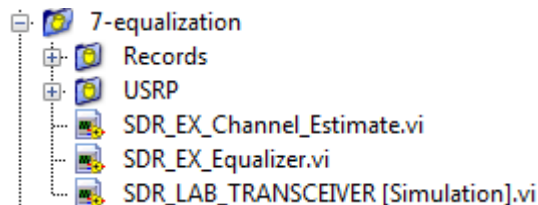


🔴 Vue d'ensemble finale

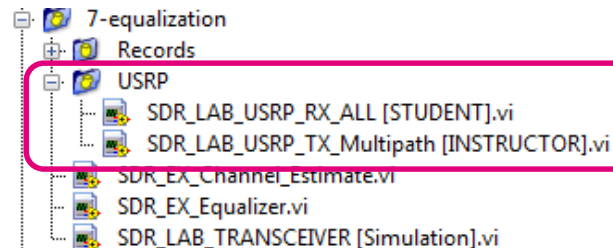
Librairie complète fournie au départ avec...



Différentes TP...



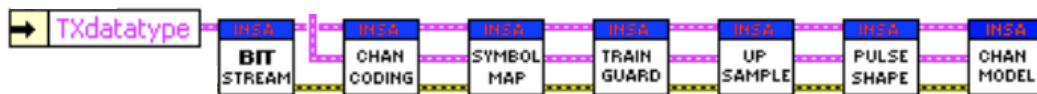
*Différentes fonctions
en simulation ...*



USRP...

Utilisation « allégée » de LabView pour les étudiants

Comment faire programmer de nouveaux algorithmes aux étudiants ?

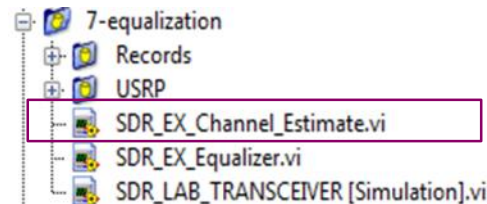


*Navigation au sein de
la face arrière
construite à partir de
blocs hiérarchiques*

OU

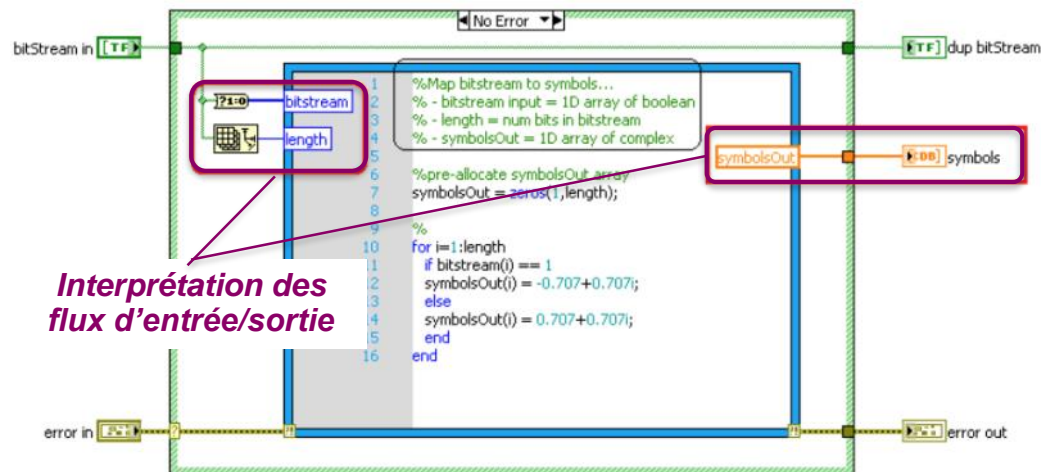
*Navigation dans
l'explorateur de
projet*

*Modification du
code Mathscript*



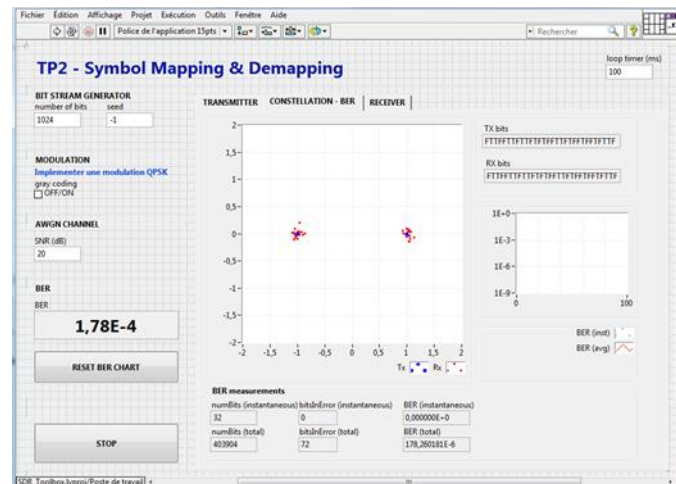
Utilisation « allégée » de LabView pour les étudiants

Comment faire programmer de nouveaux algorithmes aux étudiants ?



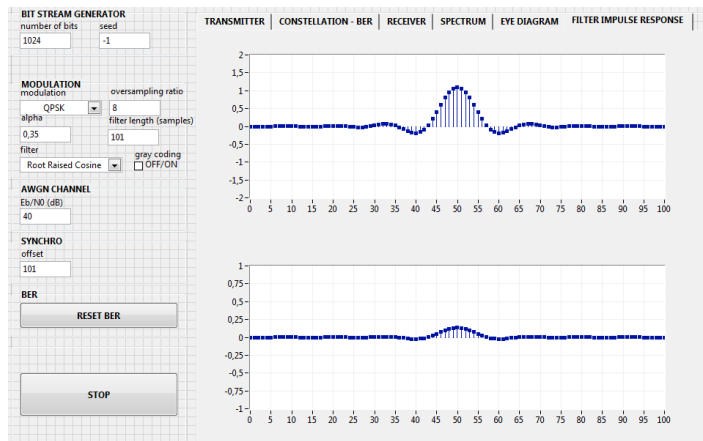
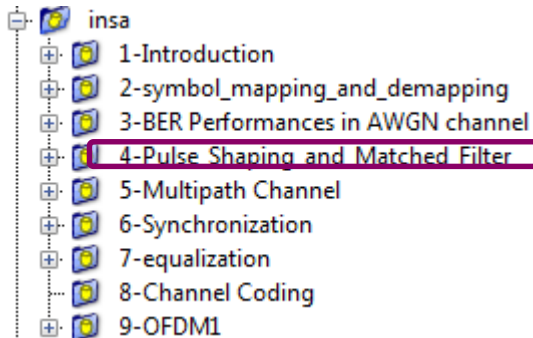
Les étudiants :

- Modifient le code Mathscript
- Ne modifient pas le code LabView



Utilisation « allégée » de LabView pour les étudiants

Comment faire programmer de nouveaux algorithmes aux étudiants ?



Utilisation de chaînes de tests :

- Validation unitaire des nouveaux blocs
- Observations graphiques pointant sur la fonction étudiée

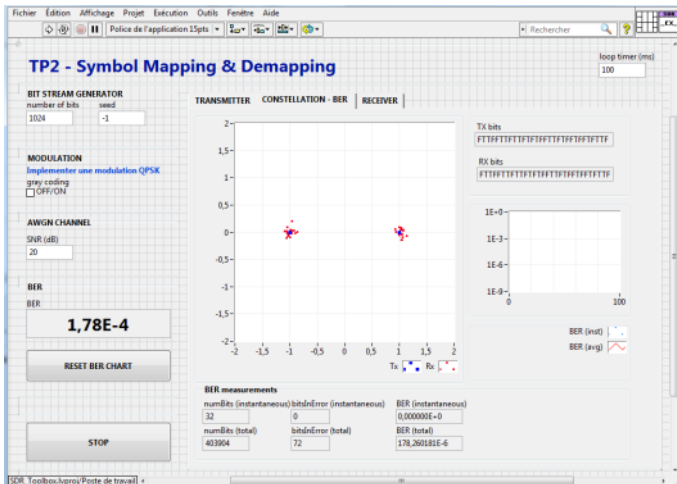
Projet de refonte des TP de communications numériques sur plateformes SDR

- ▶ Qui sommes-nous ?
- ▶ Objectifs
- ▶ Mise en œuvre
- ▶ Exemples/projets
- ▶ Conclusion / Perspectives
- ▶ Discussions



❶ Exemple de Traitement « simple » : fonctions de Mapping/Demapping

Modulation BPSK,QPSK



❶ Mapping

- Conversion du flux binaire en flux M-aire
- Association des mots M-aires aux points complexes imposés par le Mapping
- Normalisation en puissance

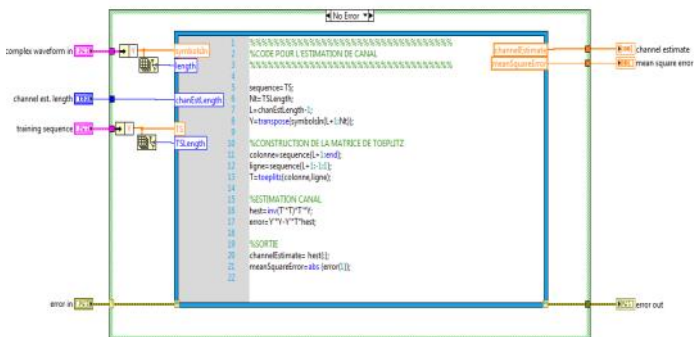
❶ Demapping

- Recherche du symbole émis par minimisation de distance euclidienne
- Même opération mais avec détecteur à seuil
- Conversion du flux Maire en flux binaire
- Mesures de BER et comparaison des détecteurs

Exemple de traitement « avancé » : fonctions d'estimation de canal et d'égalisation

Algorithme du Least-Square (LS) avec séquence d'apprentissage

$$y = Th + b \quad \longrightarrow \quad \hat{h} = (T^H T)^{-1} T^H y$$



Estimation de canal

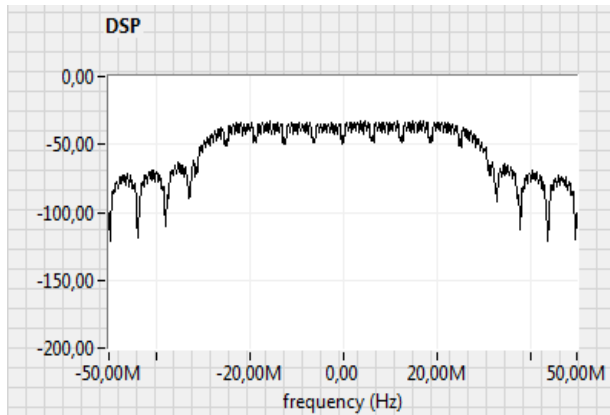
- Mise en forme des flux de réception conformément aux opérations matricielles (matrice de Toeplitz)
- Estimation de canal par pseudo-inverse

► Différents égaliseurs

- Application de l'égaliseur à partir de l'estimée du canal précédente (méthode indirecte)
- Egalisation en mode direct
- Egalisation adaptative (LMS)

❶ Exemple de système « avancé » : modulations multiporteuses

Modulateur/Démodulateur OFDM



❶ Mise en œuvre d'un modulateur OFDM

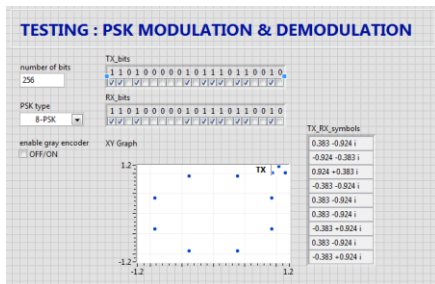
- Insertion du préfixe cyclique
- Insertion de porteuses de garde
- Analyse spectrale, analyse des effets des paramètres

❶ Transmission OFDM réelle

- Transmission entre postes de TP de flux OFDM
- Analyse des effets des canaux sur les signaux reçus :
 - Dimensionnement de l'intervalle de garde
 - Dimensionnement de l'espace inter-porteuse

🕒 Exemple de projets

En partenariat avec un industriel

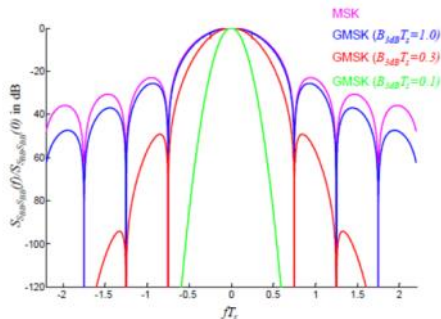


🕒 Mise au point d'une chaîne complète mono-porteuse avancée

- Amélioration et optimisation de la chaîne de TP
- Rajout de modulation

🕒 Chaîne GMSK /LDPC

- Implémentation des codes LDPC
- Implémentation du GMSK (modulateur et démodulateur)



Projet de refonte des TP de communications numériques sur plateformes SDR

- ▶ Qui sommes-nous ?
- ▶ Objectifs
- ▶ Mise en œuvre
- ▶ Exemples/projets
- ▶ Conclusion / Perspectives
- ▶ Questions



🔴 Ce qui est disponible aujourd'hui

Librairie de simulation en communications numériques

- Chaînes LabView complètes mono- et multi-porteuses
- Approche Mathscript pour une utilisation adaptée aux problématiques de traitement du signal et aux communications numériques
- Des chaînes de validation fonction par fonction

Des textes de TP

- Transmissions en bande de base : codes en ligne
- Transmissions monoporteuses : mapping, filtrage de mise en forme, égalisation, synchronisation
- Transmissions multiporteuses : processus d'émission/réception

🔴 Ce que nous souhaitons faire par la suite

Développer de nouvelles chaînes sur les aspects MIMO

Faire évoluer l'existant en intégrant par exemple

- Les librairies LabView Communications

Projet de refonte des TP de communications numériques sur plateformes SDR

- ▶ Qui sommes-nous ?
- ▶ Objectifs
- ▶ Mise en œuvre
- ▶ Exemples/projets
- ▶ Conclusion / Perspectives
- ▶ Questions



INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
RENNES

Plateforme SDR NI-USRP pour les communications numériques

Simulations et expérimentations de TP niveau ingénieur Bac +4/5

Gérald Albertini, Matthieu Crussière, Maryline Hélard,
Philippe Mary, Fabienne Uzel, François Yven