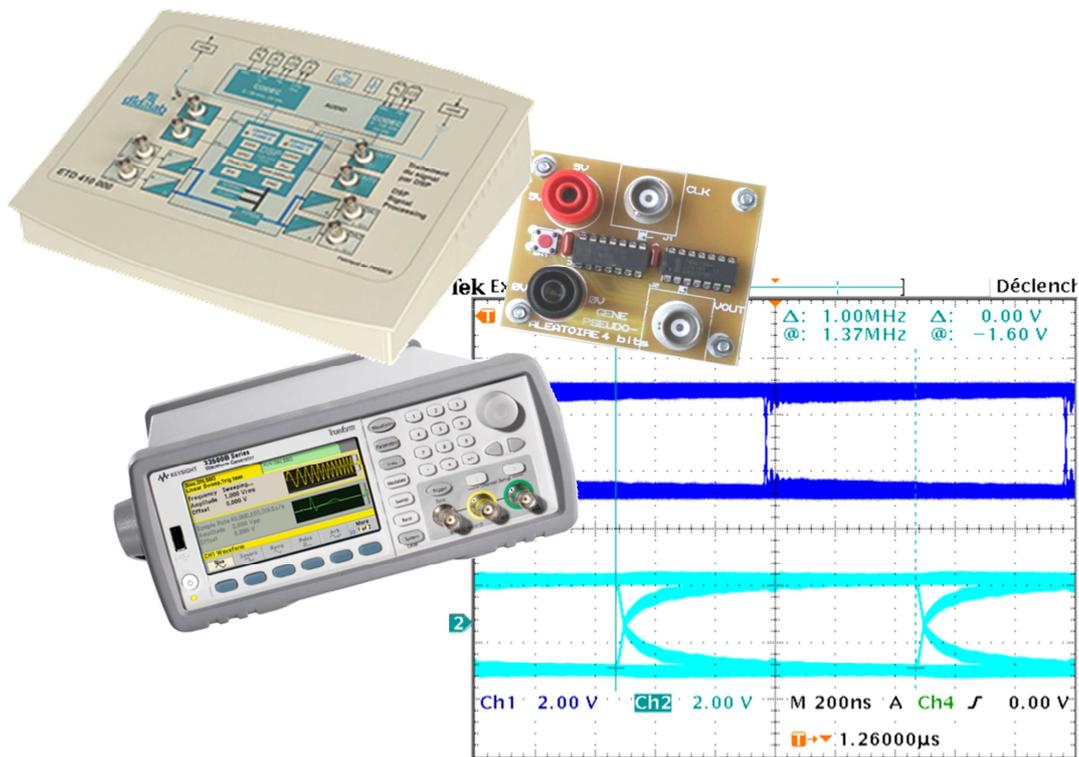


Mesures | Traitement numérique du signal

Retour d'expérience sur l'utilisation du matériel récemment acquis



Sommaire

TRAITEMENT NUMERIQUE DU SIGNAL
(kit DSP ETD410000 DIDALAB)

Filtre numérique RIF : Exemple d'un filtre de préaccentuation

Comment réduire les différences de puissances entre les composantes spectrales de la parole ?

Mise œuvre d'un filtre numérique présent dans le traitement numérique du son. Analyse spectrale. Etude temporelle du filtre. Etude fréquentielle (module).

Annexe : Wideband codec

Filtre numérique RII : Elimination d'un bruit indésirable

Comment filtrer un bruit indésirable ?

Réponse fréquentielle de quelques filtres numériques du 2nd ordre construits avec la cellule biquadratique. Filtrage d'un signal indésirable. Analyse spectrale.

TRANSMISSIONS NUMERIQUES
(carte « maison »)

Codage bande de base

Sous quelle forme les données numériques sont-elles transmises ?
Pourquoi choisir un code plutôt qu'un autre ?

Générateur PRBS. Spectres d'amplitude (et donc de puissance) de quelques codages fondamentaux. Choix d'un code pour adapter la transmission aux propriétés physiques du canal (bande passante...).

Annexe : Linear Feedback Shift Register

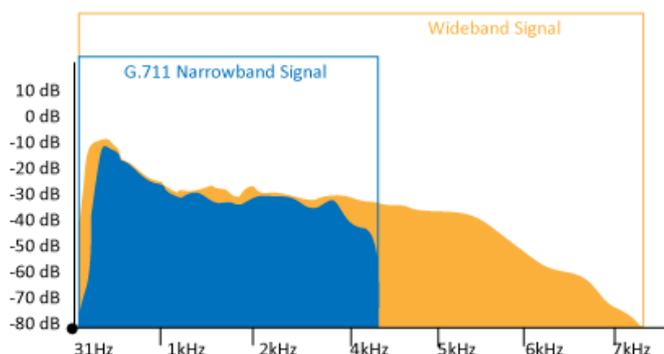
Traitement numérique du signal

Filtre numérique RIF : Prétraitement de la voix par préaccentuation

Dans la chaîne de traitement numérique du son, pourquoi et comment réduire les différences de puissance entre les composantes spectrales de la parole, d'un niveau plus faible aux plus grandes fréquences ?

Objectifs :

- Mettre en œuvre un exemple de filtre numérique présent dans le traitement numérique du son ; montrer son rôle par une analyse spectrale ;
- Caractériser ce filtre numérique par une étude temporelle (réponse impulsionnelle, réponse à un échelon) puis par une étude fréquentielle (module).



Source : www.adaptivedigital.com

Fig.1 : Le spectre de la voix est traité en large bande (50-7000Hz) chez certains opérateurs de télécommunication

Exploitation de l'annexe

[Rechercher, extraire et organiser l'information en lien avec la problématique]

1/- Quelle est la fréquence d'échantillonnage f_e utilisée dans les CODEC bande étroite (200-3400Hz) que l'on rencontre dans les télécommunications traditionnelles ? Vérifier dans ce cas le théorème de Shannon-Nyquist.

2/- Quelle est la bande passante traitée dans les CODEC large bande (HD voice) ? Que vaut f_e ?

3/- Citer les améliorations apportées par le traitement large bande de la parole en télécommunication.

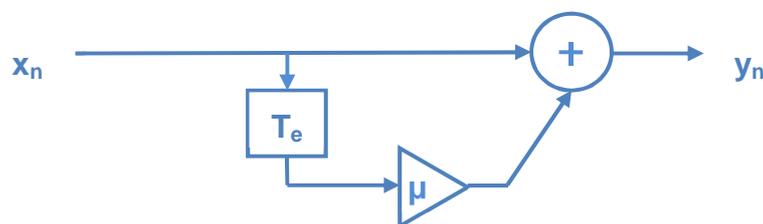
Principe du prétraitement de la voix par préaccentuation

Dans la chaîne de traitement numérique du son (ex. : codec GSM), après la conversion Analogique/Numérique, le signal de la parole subit un prétraitement au travers d'un filtre de **préaccentuation (Pre-emphasis filter)**.

On améliore ainsi le **rapport signal/bruit** ainsi que la **linéarité** pour les composantes de plus grandes fréquences.

A la restitution, un filtre de désaccentuation (**De-emphasis filter**) rééquilibre le spectre.

On donne le schéma bloc d'un filtre numérique de **préaccentuation** :



On choisit ici : $\mu = -0,95$.

I- Caractérisation du filtre :

- 1/- Etablir l'équation de récurrence du filtre à partir du schéma bloc.
- 2/- Le filtre est-il récursif ou non récursif ? Pourquoi ?
- 3/- Déterminer sa fonction de transfert en z, notée H(z).

II- Rôle du filtre sur des composantes sinusoïdales choisies dans la bande (50Hz-7000Hz) :

Travail avec le kit DSP ETD410 DIDALAB et le logiciel « **FIBULA** » (outil de traitement numérique du signal en temps réel).

Pour comprendre le rôle du filtre de préaccentuation, on suppose que le signal suivant x(t) est appliqué à l'entrée du filtre :

$$x(t) = \sin(\omega t) + 0,1 \sin(10\omega t)$$

↙

600Hz

amplitude 1

↘

6000Hz

amplitude 0,1

| [Obtenir des relevés expérimentaux pertinents]

- Ouvrir le programme [spectre_preaccentuation.fib]

- Régler les différents paramètres : fréquence d'échantillonnage, fréquences des sinusoïdes en entrée du filtre, coefficients du filtre.

1/- Visualiser le spectre du signal avant et après filtrage (en déplaçant l'outil Spectrum de FIBULA). Utiliser les curseurs pour les amplitudes.

→ [copie d'écran des 2 spectres]

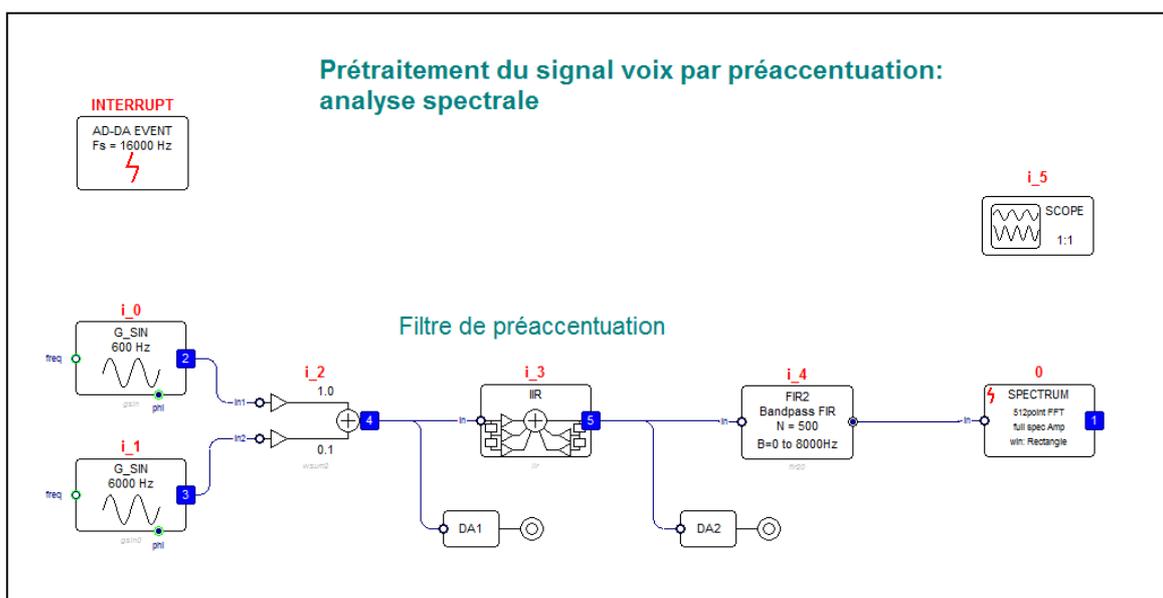
L'outil Spectrum n'offrant pas les possibilités de réglage sur l'amplitude des raies, on utilise la fonction FFT de l'oscilloscope sur les signaux d'entrée et de sortie du filtre :

2/- Appliquer alors les sorties DA1 et DA2 de la platine ETD410 sur CH1 et CH2 d'un oscilloscope et activer le traitement par FFT pour les deux signaux. Utiliser les curseurs.

→ [copie d'écran des 2 spectres]

| [Exploiter les résultats obtenus]

3/- Comparer les deux spectres d'entrée et de sortie et conclure sur la nature du filtre de **préaccentuation** (passe-bas, passe-haut, ...).



Etude de la réponse impulsionnelle (R.I.) du filtre :

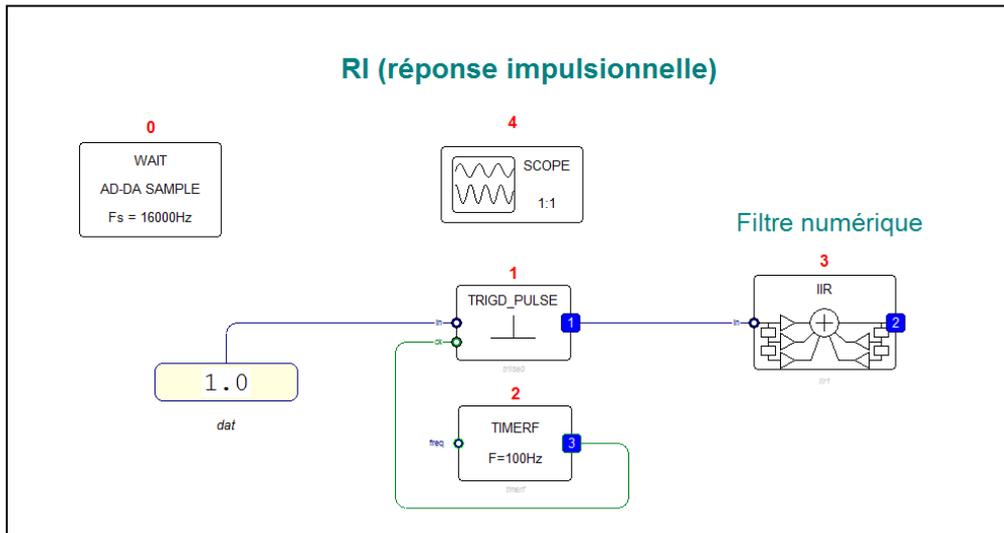
Rappel : $\mu = -0,95$.

Pour obtenir la **réponse impulsionnelle** du filtre, il faut appliquer une **impulsion unité** en entrée du filtre.

| [Obtenir des relevés expérimentaux pertinents]

- Ouvrir le programme [ri_preaccentuation.fib]

- Régler les différents paramètres : fréquence d'échantillonnage, coefficients du filtre.



1/- Visualiser la sortie du filtre avec l’outil Scope de FIBULA. Sélectionner le mode Samples pour H-scale. Régler la voie de synchro. Utiliser les curseurs pour les amplitudes.

→ [copie d’écran]

| [Exploiter les résultats obtenus]

2/- Valider la réponse précédente en complétant le tableau suivant pour une séquence d’entrée de type « impulsion unité ».

n	-1	0	1	2
x_n				
x_{n-1}				
y_n				

3/- Justifier le nom de « RIF » donné à ce filtre.

4/- Pourquoi dit-on qu’un filtre RIF est stable ?

Etude de la réponse indicielle du filtre :

Pour obtenir la **réponse indicielle** du filtre, il faut appliquer un **échelon unité** en entrée.

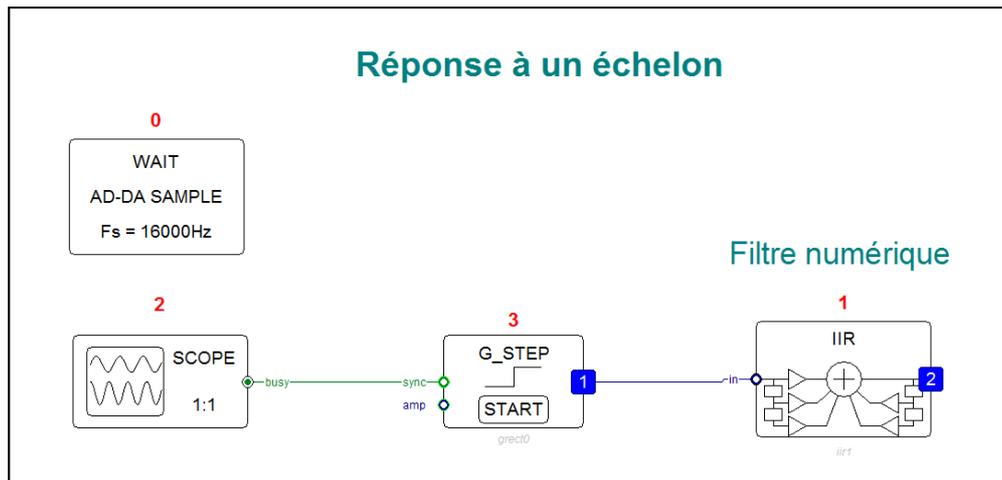
| [Obtenir des relevés expérimentaux pertinents]

- Ouvrir le programme [r_echelon_preaccentuation.fib]

- Régler les différents paramètres : fréquence d’échantillonnage, coefficients du filtre.

1/- Visualiser la sortie du filtre avec l’outil Scope de FIBULA. Sélectionner le mode Samples pour H-scale. Utiliser les curseurs pour les amplitudes.

→ [copie d’écran]



| [Exploiter les résultats obtenus]

2/- Valider la mesure précédente en complétant le tableau suivant pour une séquence d'entrée de type « échelon unité ».

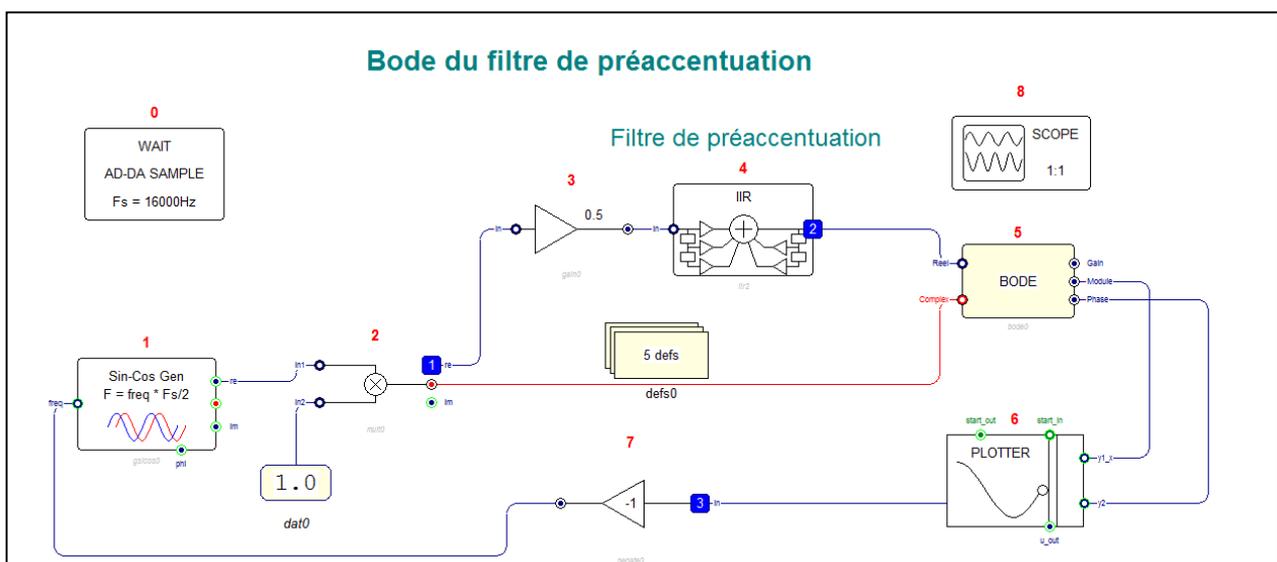
n	-1	0	1	2
X_n				
X_{n-1}				
y_n				

3/- Peut-on en déduire le comportement aux basses fréquences du filtre ?

Etude de la réponse en fréquence du filtre :

| [Obtenir des relevés expérimentaux pertinents]

- Ouvrir le programme [bode_preaccentuation.fib]



- Régler les différents paramètres : fréquence d'échantillonnage, coefficients du filtre.

1/- Visualiser la réponse fréquentielle (module de la fonction de transfert isochrone) avec l'outil Plotter de FIBULA.

→ [copie d'écran]

| [Exploiter les résultats obtenus]

2/- Vérifier la nature du filtre.

Préciser la valeur de la fonction de transfert en basse fréquence d'une part et à la fréquence de Shannon-Nyquist d'autre part.

3/- Valider la mesure par la détermination de la fonction de transfert isochrone (complexe) :

Pour obtenir la fonction de transfert complexe $H(j\omega)$ à partir de $H(z)$ on effectue le **changement de variable** :

$$z = e^{j\omega T_e}$$

Montrer alors que l'expression du module s'écrit :

$$|H(j\omega)| = \sqrt{(1 - 0.95 \cos \omega T_e)^2 + (0.95 \sin \omega T_e)^2}$$

Calculer les valeurs particulières du module $|H|$ pour $f=0$; $f_e/8$; $f_e/4$; $3f_e/8$; $f_e/2$.

Retrouver alors l'allure de la courbe du module en fonction de la fréquence.

En résumé

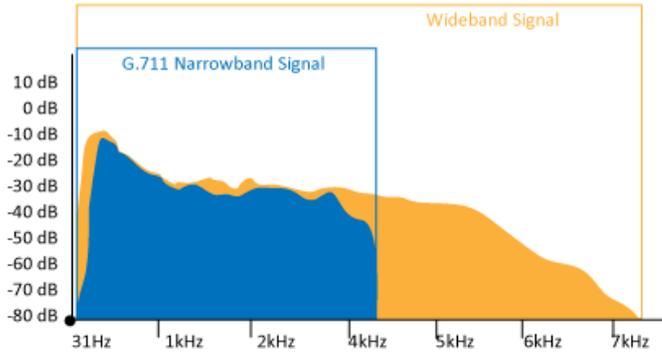
A travers l'exemple du filtre de préaccentuation, on peut retenir les propriétés suivantes, pour un filtre défini par un algorithme **NON** récursif :

Famille de filtre	Filtre RIF ou RII ?
Simplicité d'implémentation	$H(z)$ polynôme ou fraction rationnelle ?
Réponse impulsionnelle	Finie ou Infinie ? Pourquoi ?
	Quelle(s) information(s) apporte-t-elle ?
Réponse indicielle	Quelle information apporte-t-elle ?
Réponse en fréquence	Quelle information apporte-t-elle ?

ANNEXE

Wideband codec: G.722

Traditional telecommunications technology has been limited to a sound spectrum much narrower than the range of the human voice. Typically, a digital telephone call mimics the lower quality of analog telecommunications

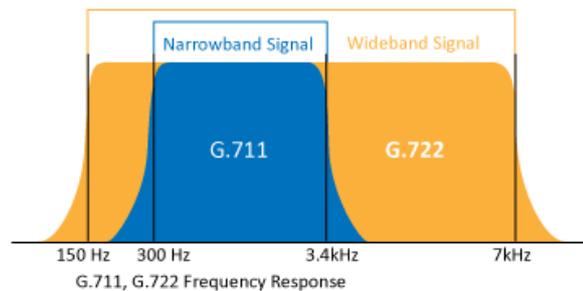


technology by sampling an analog signal at rate of 8,000 samples per second. This is converted into sound in the range of approximately 200 Hz to 3.3 KHz.

The commonly used narrowband G.711 with typical bit-rates of 32 to 64 kbps. G.711 is the default pulse code modulation (PCM) standard for Internet Protocol (IP) private branch exchange (PBX) vendors, as well as for the public switched telephone network (PSTN). The diagrams on the right compare the G.722 wideband codec with the PSTN standard G.711 narrowband codec.

Wideband voice is based on 16,000 samples per second, which is double the rate of narrowband voice. The greater sampling rate capabilities of a wideband voice channel accounts for sound quality that is significantly richer and extended at both ends of the spectrum.

Wideband is referred to many as High Definition (HD) voice. The benefits of wideband speech come from the additional frequency range 50Hz to 200/300Hz. This additional space contributes to increased



presence and comfort and a more natural conversation. The addition of the higher speech frequencies (3.4kHz to 7kHz) enhances speech comprehension by improving the ability to discern speech, for example, between 'p' and 't', 'm' and 'n', 's' and 'f'. Also there is increased ability to hear soft talkers and to understand double-talk.

It has been found that for voice applications, most of the benefit comes from extending the bandwidth to 50Hz at the low end and out to 7kHz at the high end. Additionally, 7kHz bandwidth codecs also offer a good balance of added quality versus increased complexity and therefore offer high channel counts for a given system.

Currently the most widely deployed wideband voice codecs are - G.722, G.722.2 (AMR-WB).

Source : www.adaptivedigital.com

Programmes mis en œuvre :

spectre_preaccentuation.fib
ri_preaccentuation.fib
r_echelon_preaccentuation.fib
bode_preaccentuation.fib

Version logicielle de Fibula-Graphic :

version v3.4.1.27.

Kits Didalab :

version ETD410 013
version ETD410 014

Traitement numérique du signal

Filtre numérique RII : Élimination d'un bruit indésirable

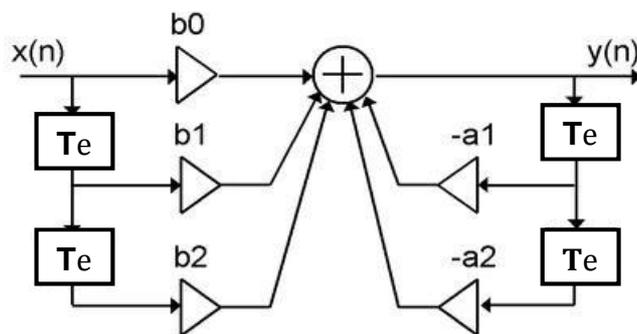
Comment réaliser des filtres numériques aux caractéristiques proches de celles des filtres analogiques et de diverses natures (passe-bas, passe-haut, passe-bande et rejecteur) ?

Objectifs :

- Caractériser la réponse fréquentielle de quelques filtres numériques du 2nd ordre ;
- Mettre en œuvre un exemple de filtre numérique pour le filtrage d'un signal indésirable ; montrer l'action du filtre par une analyse spectrale.

Ces filtres aux caractéristiques proches des filtres analogiques sont réalisés par des filtres numériques à **Réponse Impulsionnelle Infinie (RII)** du 2nd ordre.

Leur structure commune repose sur la **cellule biquadratique** suivante :



On y retrouve les trois opérations de base :

- multiplication ;
- addition ;
- retard T_e (mise en mémoire).

Exploitation du cours

[Rechercher, extraire et organiser l'information en lien avec la problématique]

On cherche à caractériser les filtres réalisés à partir de la cellule biquadratique.

1/- Établir l'équation de récurrence du filtre à partir du schéma bloc.

2/- Le filtre est-il récursif ou non récursif ? Pourquoi ?

3/- Etablir sa fonction de transfert en z, notée H(z).

4/- Quels sont les pôles de H(z) pour les filtres suivants ? Conclure sur la stabilité de ces quatre filtres.

	b_0	b_1	b_2	a_1	a_2
Filtre 1	0.0023295	0.0046590	0.0023295	-1.8589266	0.8682445
Filtre 2	0.9317927	-1.8635854	0.9317927	-1.8589266	0.8682445
Filtre 3	0.0658777	0	-0.0658777	-1.8589266	0.8682445
Filtre 4	0.9341223	-1.8589266	0.9341223	-1.8589266	0.8682445

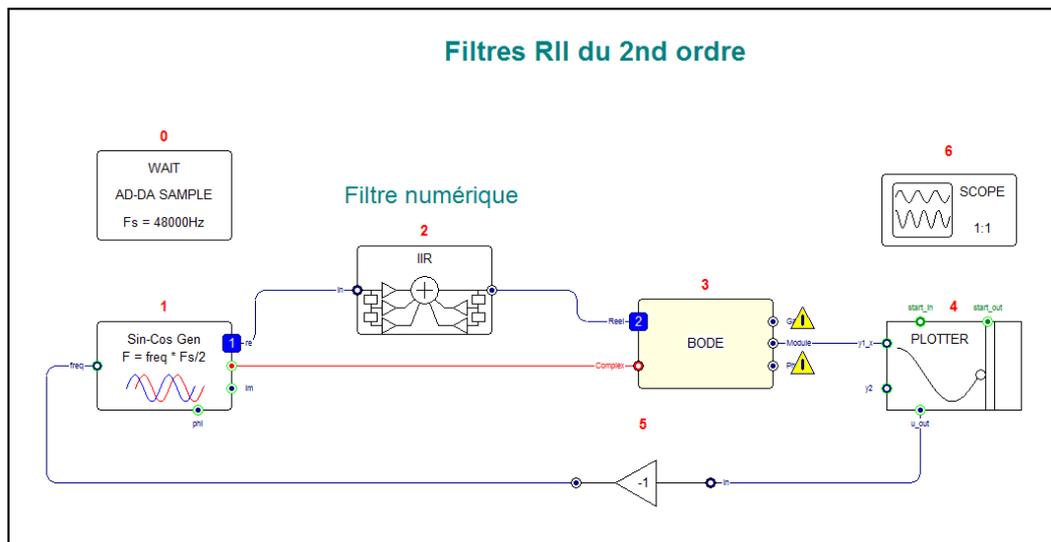
Etude de la réponse en fréquence de ces filtres :

Travail avec le kit DSP ETD410 DIDALAB et le logiciel « **FIBULA** » (outil de traitement numérique du signal en temps réel).

L'objectif est d'obtenir la réponse en fréquence (module) pour **chacun des quatre filtres**.

| [Obtenir des relevés expérimentaux pertinents]

- Ouvrir le programme [filtres_rii_2nd ordre.fib]



- Régler les différents paramètres pour chaque filtre : fréquence d'échantillonnage $f_e=48000\text{Hz}$, coefficients du filtre.

Attention !! Pour la saisie des coefficients a_1 et a_2 , le signe est contraire, voir pour cela la forme de la fonction de transfert H(z) dans le bloc « IIR » et la comparer à la forme de H(z) établie dans la préparation.

- Visualiser la réponse fréquentielle (module de la fonction de transfert isochrone) avec l'outil Plotter de FIBULA. Utiliser le curseur pour une mesure de fréquence.
- Mesurer la ou les fréquences de coupure.

→ [copie d'écran des quatre filtres]

| [Exploiter les résultats obtenus]

- Justifier la nature du filtre.
- Indiquer la bande passante (ou la bande rejetée) du filtre.

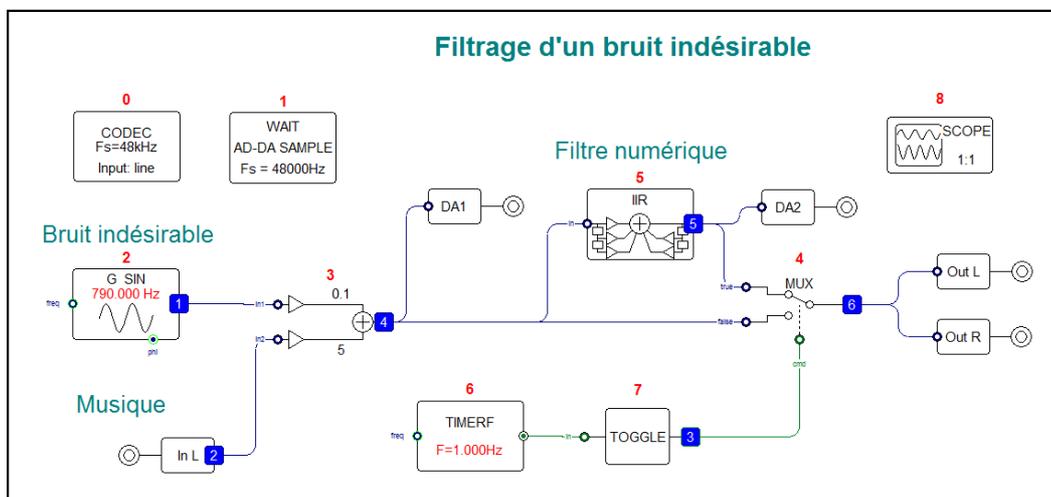
Traitement par filtrage numérique d'un signal indésirable :

L'objectif est la mise en œuvre du filtre rejeteur précédent.

On suppose qu'un signal appliqué (morceau de musique) sur l'entrée audio est perturbé par un signal sinusoïdal de fréquence $\approx 800\text{Hz}$. Un multiplexeur cadencé à très basse fréquence permet d'écouter en alternance le morceau de musique perturbé puis filtré.

| [Suivre un protocole expérimental donné]

- Ouvrir le programme [bruit indesirable.fib]



- Régler les différents paramètres : fréquence d'échantillonnage $f_e=48000\text{Hz}$, coefficients du filtre.
- Ecouter la musique filtrée (ou non) en branchant HP (ou casque) sur sortie HP du kit DSP ETD410.
- Appliquer les sorties DA1 et DA2 de la platine ETD410 sur CH1 et CH2 d'un oscilloscope et activer le traitement par FFT pour les deux signaux. Utiliser les curseurs.

→ [copie d'écran des 2 spectres]

| [Exploiter les résultats obtenus]

- Comparer les deux spectres d'entrée et de sortie.

En résumé

Filtre numérique à Réponse Impulsionnelle Infinie ou RII :

Algorithme	Récuratif ou non récuratif ?
Simplicité d'implémentation	$H(z)$ polynôme ou fraction rationnelle ?
Stabilité	Toujours stable ? Stable ou instable ?

Programmes mis en œuvre :
filtres_rii_2nd ordre.fib
bruit indesirable.fib

Version logicielle de Fibula-Graphic :
version v3.4.1.27.

Kits Didalab :
version ETD410 013
version ETD410 014

Transmissions numériques

Codage en bande de base : Mise en forme des données binaires

Sous quelle forme physique les données numériques sont-elles transmises ? Comment le choix d'un codage permet-il d'augmenter les débits dans les « tuyaux » (câbles « USB », « ethernet »...) ?

Objectifs :

- Utiliser un générateur de type PRBS pour créer un flux binaire pseudo-aléatoire nécessaire à l'étude des transmissions numériques;
- Caractériser les spectres d'amplitude (et donc de puissance) de quelques codages « en bande de base » (ou codes en ligne) fondamentaux : codes NRZ, MANCHESTER, RZ50% ;
- Justifier le choix d'un code plutôt qu'un autre pour adapter la transmission aux propriétés physiques du canal (bande passante...)



Exploitation de l'annexe

[Rechercher, extraire et organiser l'information en lien avec la problématique]

*Pour tester une transmission numérique, il est nécessaire de mettre en œuvre un **générateur pseudo aléatoire** (PRBS = Pseudo Random Binary Sequence).*

Dans l'exemple choisi, la structure repose sur un registre à 4 étages (L=4bits) et une fonction logique de type « ou exclusif » (XOR).

1/- Quel est le contenu du registre dans l'étape manquante de la **figure de l'annexe**.

2/- Comment évoluerait le contenu du registre au cours du temps si tous les bits étaient à « 0 » au départ ?

3/- Préciser la séquence des bits générée en sortie du PRBS. Combien de bits contient-elle au total ?

Combien de bits à « 0 » et combien de bits à « 1 » ?

Présentation des codages fondamentaux

| [Rechercher, extraire et organiser l'information en lien avec la problématique]

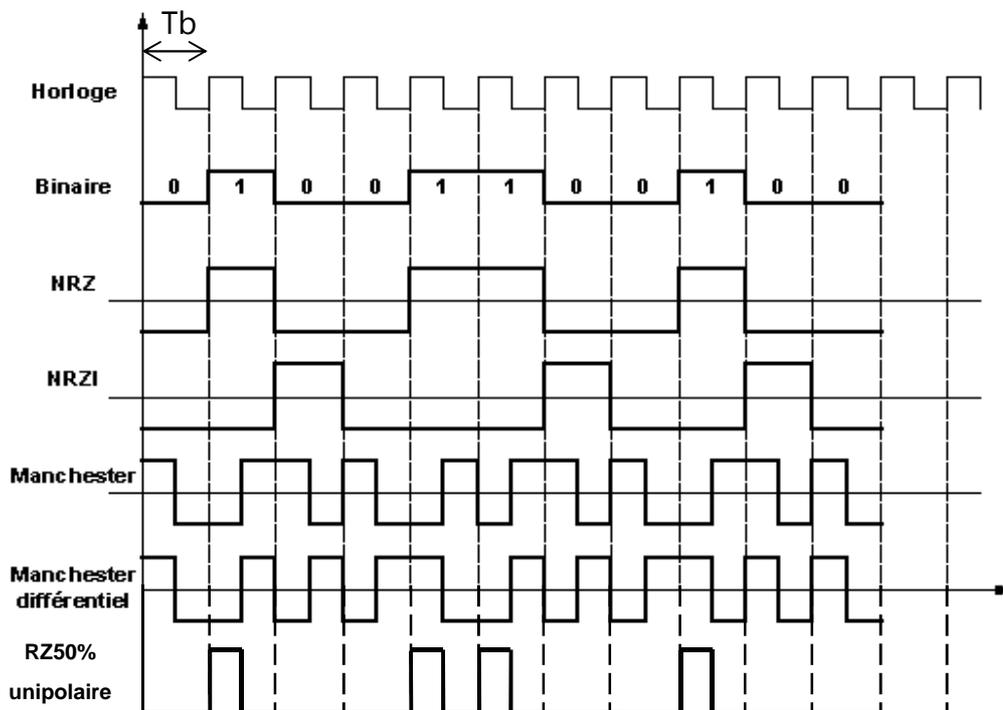


Fig.1 : Exemples de codes en ligne

- 1/- Rappeler les tables de vérité des fonctions logiques « ou exclusif » et « et ».
- 2/- Comment générer facilement le code Manchester à partir des données et de l'horloge ?
- 3/- Comment générer facilement le code RZ50% à partir des données et de l'horloge ?

Génération du signal pseudo-aléatoire

Utilisation de la carte « GENE PSEUDO-ALEATOIRE 4bits ».

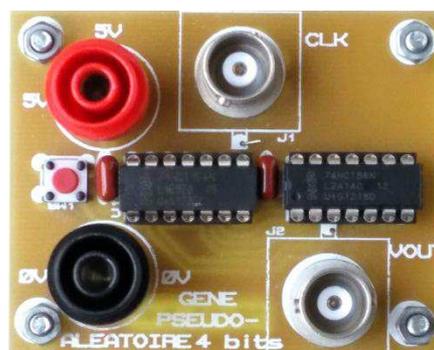


Fig.2 : Géné PRBS 4 bits (74HCT164-74HCT86)

| [Exploiter les résultats obtenus]

Compléter le tableau suivant à partir des observations et des mesures sur le spectre :

On s'intéressera à « l'enveloppe » du spectre.

Fréquence donnant le maximum de puissance	
Fréquences qui donnent une puissance nulle	
Bande passante BP (majeure partie de la puissance du signal)	

On pourra relier la BP au débit D du flux binaire.

2/- Pourquoi le spectre comporte une raie à la fréquence $f=0$?

II- Codage Manchester :

Utilisation d'une porte logique « **ou exclusif** » présente sur la carte pour générer le codage Manchester. *(aide PROF)*

| [Obtenir des relevés expérimentaux pertinents]

1/- Visualiser à l'oscillo le **signal codé en Manchester** en concordance avec Vout. Le code est-il polaire ou unipolaire ?

→ [copie d'écran]

2/- Visualiser à l'oscillo le spectre d'amplitude ; utiliser les curseurs pour les mesures.

[copie d'écran du spectre]

| [Exploiter les résultats obtenus]

Compléter le tableau suivant à partir des observations et des mesures sur le spectre :

On s'intéressera à « l'enveloppe » du spectre.

Fréquence donnant le maximum de puissance	
Fréquences qui donnent une puissance nulle	
Bande passante BP (en fonction de D) (majeure partie de la puissance du signal)	

III- Codage RZ50% :

Utilisation d'une porte logique « **et** » à construire avec circuit intégré supplémentaire donné (2 portes NAND). *(aide PROF)*

| [Obtenir des relevés expérimentaux pertinents]

1/- Visualiser à l'oscillo le **signal codé en RZ50%** en concordance avec Vout.

→ [copie d'écran]

2/- Visualiser à l'oscillo le spectre d'amplitude ; utiliser les curseurs pour les mesures.

[copie d'écran du spectre]

| [Exploiter les résultats obtenus]

Observations particulières ? Compléter le tableau suivant à partir des mesures sur le spectre :

On s'intéressera à « l'enveloppe » du spectre.

Fréquence donnant le maximum de puissance	
Fréquences qui donnent une puissance nulle	
Bande passante BP (en fonction de D) (majeure partie de la puissance du signal)	

Synthèse

A partir des observations précédentes, on peut comparer les principales caractéristiques des codes étudiés :

	NRZ	Manchester	RZ50%
Code facile à mettre en œuvre ?	Oui ou non ?		
Bande Passante			
Synchronisation : Est-elle perdue en cas de longue séquence de bits identiques ?			
Puissance : Est-elle nulle à $f=0$?			

1/- Pour un canal de transmission donné (un câble USB par exemple), c'est-à-dire pour une BP donnée, quel code permet de transmettre le plus fort débit : NRZ ou Manchester ?

2/- Si la transmission se fait par l'intermédiaire d'un transformateur (suppression de toute composante continue comme pour Ethernet sur paires torsadées), quel code faut-il privilégier : NRZ ou Manchester ?

3/- Les codes étudiés permettent-ils de s'affranchir du repérage (polarité) des fils en transmission filaire ? Quel type de codage le permet ?

ANNEXE

Une séquence binaire pseudo aléatoire peut être facilement obtenue au moyen d'un **registre à décalage** avec boucle de rétroaction (*LFSR = Linear Feedback Shift Register*).

Supposons qu'initialement, tous les bits sont à « 1 » au départ ; le tableau montre alors l'évolution dans le temps du contenu du registre jusqu'à la fin de la séquence puis retour au contenu de départ.

La sortie du généré PRBS correspond au dernier étage.

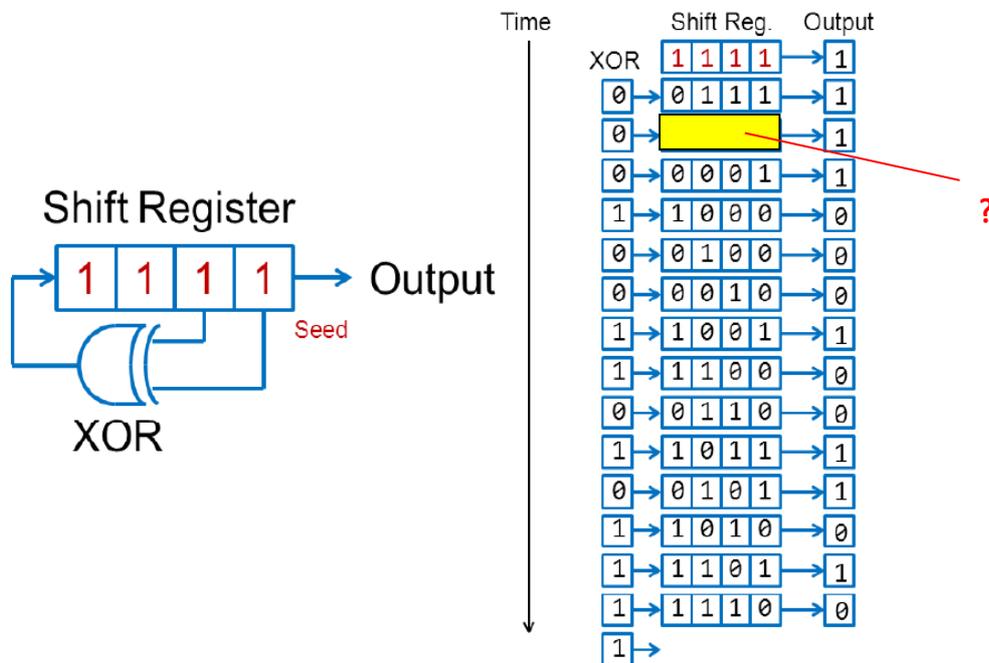


Figure: Linear Feedback Shift Register (LFSR)

Source : www.advantest.com

Remerciements:

CAO:

Didier PAXION (Lycée Parc de Vilgénis, MASSY)

Implantation des composants:

Sylvie CAUMONT (Lycée Parc de Vilgénis, MASSY)

Le travail expérimental présenté ici a été proposé aux étudiants de deuxième année du BTS SN (option IR) au lycée Parc de Vilgénis (MASSY) au cours des deux années précédentes dans le cadre de la réforme du BTS SN mise en place en 2014.

L'acquisition de 4 kits DSP DIDALAB a permis la mise en œuvre temps réel d'applications de filtrage numérique plus intéressantes que les seules solutions logicielles utilisées auparavant.

La réalisation « maison » d'un générateur pseudo-aléatoire (PRBS) 4 bits est une solution simple qui a facilité l'étude des principaux codes en ligne et de leurs DSP associées ainsi que la visualisation du diagramme de l'œil pour des fréquences transposées autour de quelques kHz avec un canal de transmission modélisé par un filtre passe-bas.

Enfin, l'acquisition d'un exemplaire de générateur PRBS 20MHz (Keysight 33512B) a complété l'équipement sur le budget région alloué en permettant notamment de mettre en évidence le diagramme de l'œil de transmissions numériques de quelques Mbit/s sur paire torsadée d'une centaine de mètres.