

Méthode d'enseignement du traitement numérique de signal par blocs de simulation

ATMAN JBARI, LARBI BELLARBI

*Laboratoire de Recherche en Génie Électrique,
École Normale Supérieure de l'Enseignement Technique
Université Mohammed V-Rabat
Maroc*

*a.jbari@um5s.net.ma
l.bellarbi@um5s.net.ma*

RÉSUMÉ

L'intégration des outils logiciels dans l'enseignement a bien démontré une efficacité suffisante dans l'assimilation, chez les apprenants, de concepts et de lois relativement difficiles à comprendre par une description orale ou écrite, dans tous les domaines de la science et de la technologie. Dans ce travail et selon la même perspective, nous proposons l'exploitation des blocs de simulation développés sur l'outil Matlab dans l'enseignement du traitement numérique de signal en général, et l'analyse d'un filtre numérique non récursif comme étude de cas. Ensuite, nous discutons l'organisation d'une bibliothèque de blocs partagés entre les enseignants selon les différentes séquences du cours.

MOTS-CLÉS

Traitement numérique de signal, bloc de simulation, séquence pédagogique, modèle conceptuel

ABSTRACT

The integration of software tools in education has demonstrated sufficient effectiveness in assimilation process, of concepts and formulas relatively difficult to understand by a written or oral description, in all fields of science and technology. In this work, we propose the use of simulation blocks developed in Matlab tool in the teaching of digital signal processing in general, and analyzing a nonrecursive digital filter as practical case study. Then we discuss the organization of a library of blocks shared between teachers in the different sequences of the course.

KEYWORDS

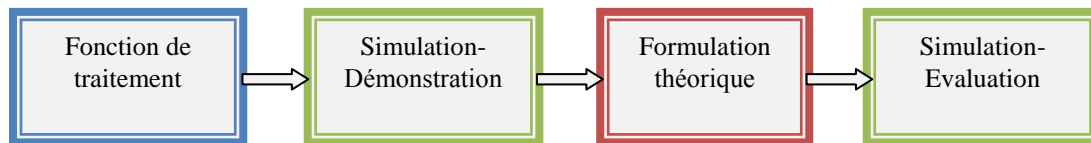
Digital signal Processing, Simulation Block, pedagogical sequence, conceptual model

INTRODUCTION

Le traitement numérique de signal occupe une place importante dans l'enseignement de modules d'électronique, de télécommunications et de systèmes embarqués; cependant, la mise en place pédagogique, dans les livres ou les cours présentiels, reste toujours théorique, très lourde, très complexe et n'attire pas suffisamment l'attention et l'intérêt des étudiants. En vue d'enseigner les

modules de mathématiques appliquées, de la physique et des technologies, les outils de simulation sont largement exploités et font l'objet de recherche didactique pour assurer une adaptation concept-image (Beaufils, 2004 ; Ginestié, 1992). En plus, de nombreux auteurs ont exploité le logiciel matlab pour rédiger des livres sur le traitement numérique de signal (Ingle & Proakis, 2011; Leis, 2011). L'approche pédagogique classique est basée sur le fondement théorique suivie d'une série de travaux dirigés et de travaux pratiques, sans établir le lien entre les fonctions pratiques d'un système réel ou de monter les interconnexions entre les différentes techniques exploitées. Dans ce travail, nous proposons une approche d'enseignement du traitement numérique de signal, en exploitant, les composants de la chaîne suivante :

FIGURE 1



Composants de l'approche pédagogique proposée

- Fonction de traitement : définir la fonction principale à réaliser, le type des signaux d'entrée et le type des signaux de sortie.
- Simulation-Démonstration : illustrer la fonction à réaliser par un travail de simulation pour renforcer l'objectif principal de la fonction et attirer l'attention des étudiants.
- Formulation théorique: présenter les outils mathématiques et les méthodes théoriques pour réaliser la fonction de traitement.
- Simulation-Evaluation : détailler les résultats de traitement de chaque activité de simulation, établir le lien avec la formulation théorique et interpréter chaque signal.

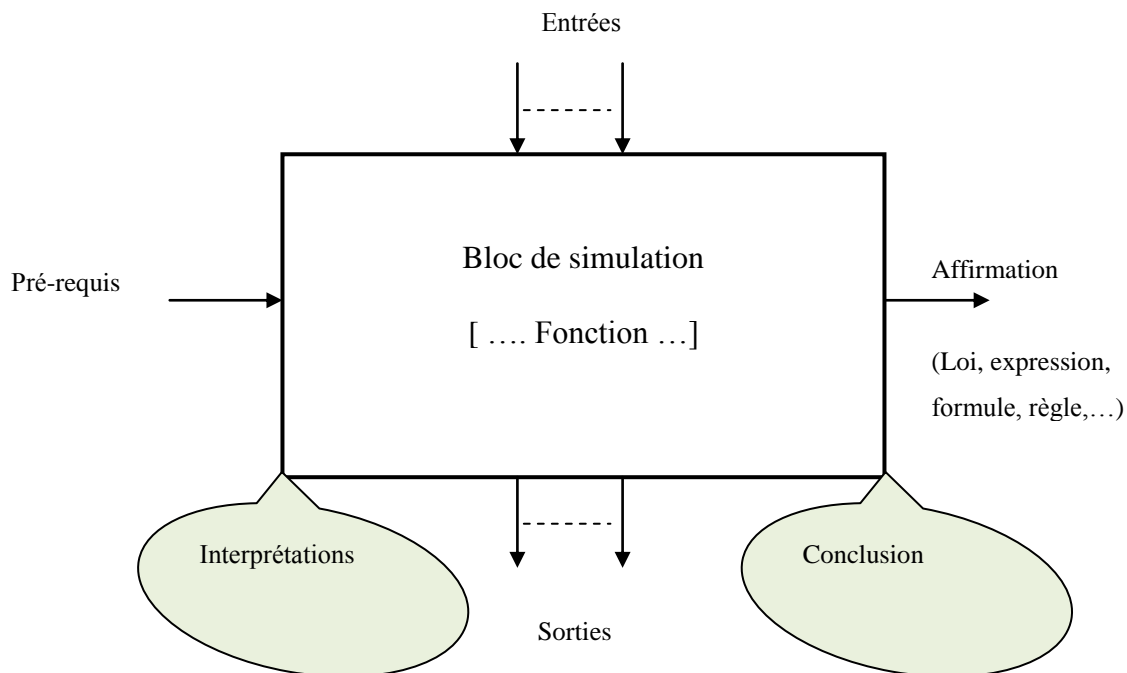
L'évaluation de l'apprentissage d'une fonction de traitement est centrée sur la capacité de l'étudiant à présenter la formulation théorique et analyser les éléments d'une activité de simulation. Ainsi, le cours de traitement numérique de signal peut être structuré autour d'un certain nombre d'activités de simulation réalisées sur un logiciel approprié. Le présent travail est organisé de la façon suivante : dans la section 2, nous discutons le modèle conceptuel pour la définition d'un bloc de simulation, puis dans la section 3, la démarche pédagogique générale, tandis que la section 4 traite un exemple pratique de déroulement d'une séquence « Analyse d'un filtre numérique non récursif », sur la base de blocs de simulations réalisés sous Matlab, suivie d'une évaluation et remarques sur la méthode ainsi qu'une conclusion finale.

MODÈLE CONCEPTUEL POUR LA DÉFINITION DES BLOCS DE SIMULATION

Avant d'entamer le contenu scientifique ou technique d'un cours, il est indispensable de construire un modèle de structuration du savoir à transmettre à l'apprenant. Dans ce travail, il ne s'agit pas de refaire ou de relire les méthodes, les concepts ou les fondements de base largement traités dans les livres et les articles de la science de la didactique générale ou de la didactique de la matière, mais il s'agit d'intégrer les résultats des logiciels de simulation dans le modèle

conceptuel d'enseignement du Traitement Numérique de Signal. Dans ce contexte, nous définissons le concept « bloc de simulation » comme l'activité ou le travail à base d'un logiciel de simulation en vue d'illustrer ou de démontrer une méthode théorique ou une technique de mise en œuvre d'une formule. La mise en place de cette entité didactique « Bloc de simulation » permet la représentation des informations à traiter et les résultats à dégager. Pour construire un bloc de simulation, nous proposons le modèle conceptuel de la figure suivante (Figure 2) :

FIGURE 2

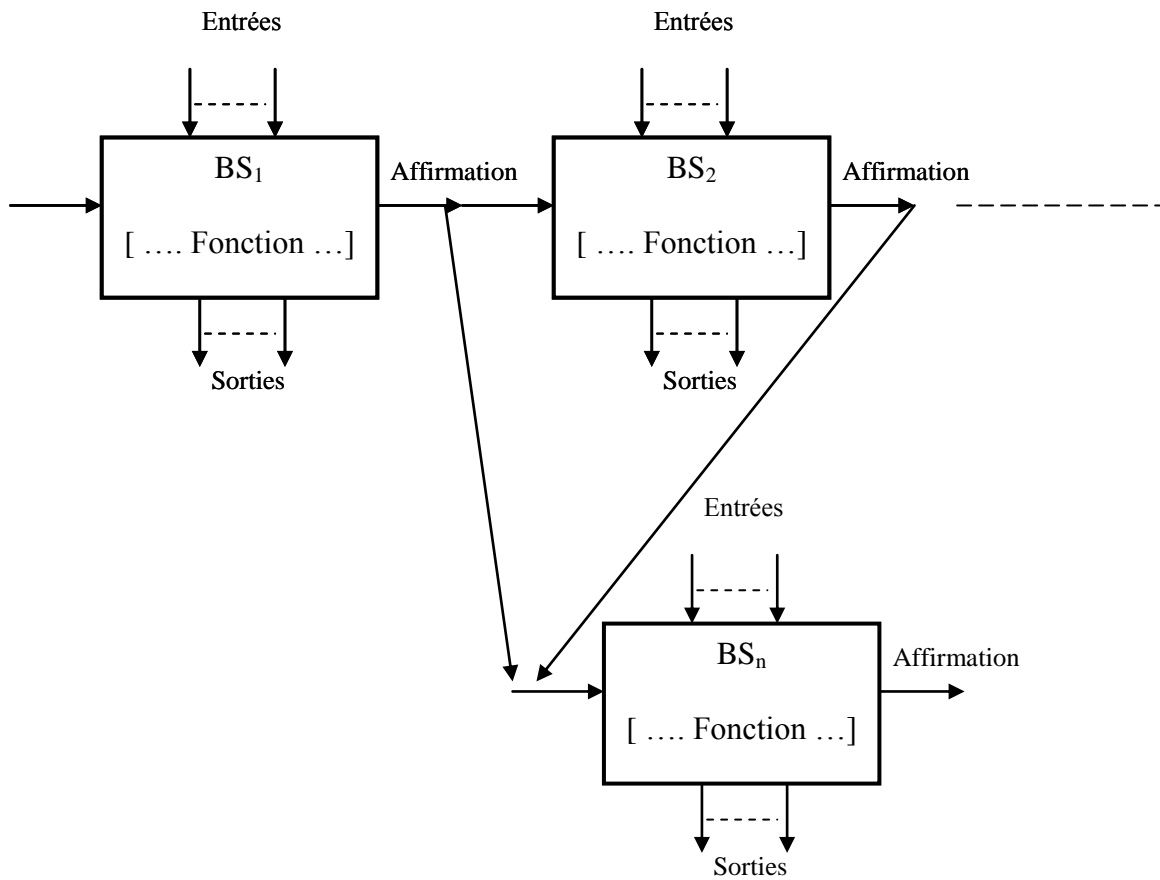


Modèle conceptuel d'un bloc de simulation

En plus, la pratique de l'enseignement du traitement de signal fait appel à de nombreux outils interdépendants pour l'analyse et l'extraction de l'information. Ainsi, il est indispensable de construire un diagramme d'interaction et de communication entre plusieurs « blocs de simulation » afin de réussir une séquence d'enseignement.

Dans la figure 3, et sans alourdir la représentation par les éléments d'interprétation et de pré-requis, nous proposons le « diagramme des blocs de simulation » d'une séquence complète. La liaison entre deux blocs BS_m et BS_n indique que le fonctionnement du BS_n exploite l'affirmation fournie par le BS_m . En plus les affirmations de plusieurs blocs peuvent contribuer au fonctionnement d'un même bloc ce qui permet à l'apprenant d'assimiler les techniques de traitement de signal dans une image de composition et de synthèse.

FIGURE 3



Digramme des blocs de simulation

DÉMARCHE PÉDAGOGIQUE

Nous proposons une démarche pédagogique basée sur les deux composantes suivantes :

Fiche pédagogique

Cette fiche a pour objectif de positionner la séquence dans son contexte général de traitement numérique de signal et d'énumérer les blocs de simulation exploités ainsi que les fonctions réalisées. La fiche est constituée par un numéro de séquence, intitulé de la séquence, objectifs et le tableau des blocs de simulation.

Modèle d'une fiche pédagogique :

- Numéro de la séquence :
- Intitulé de la séquence :
- Fonction de traitement :
- Objectifs:.....

- Diagramme des blocs de simulation :
- Tableau des blocs de simulation :

Bloc	DSP_NumSeq_01	DSP_NumSeq_02	DSP_NumSeq_03	DSP_NumSeq_...
Fonction
Type des entrées/Variable
Type des sorties/Variable
Paramètres de configuration

Séquence pédagogique

La mise en pratique d’une séquence pédagogique, enrichie par des blocs de simulation exploités dans chaque phase, est donnée par le diagramme de la figure 4. La séquence est initiée par la présentation des différentes fonctions à traiter en précisant l’objectif général et les domaines d’application. Ensuite, nous présentons le bloc de simulation principal, suivi de la formulation théorique des transformations utilisées. Après, nous revenons sur les détails de chaque résultat du bloc principal en exploitant les blocs secondaires associés selon une évaluation et interprétation critique. Enfin, la séquence est achevée par des travaux supplémentaires sur le développement de nouveaux blocs de simulation ou leurs implémentations sur des cartes électroniques.

FIGURE 4

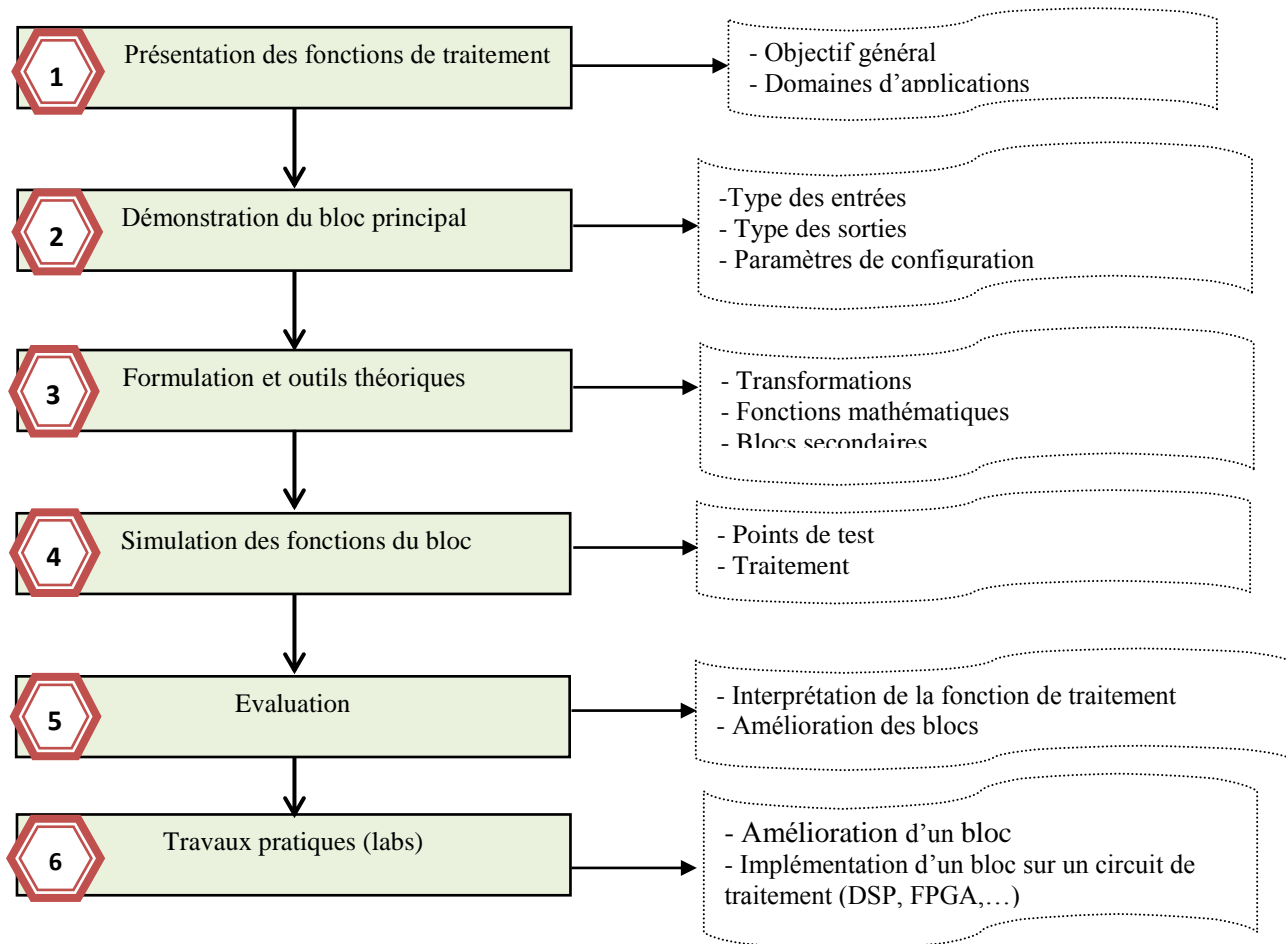


Diagramme d’une séquence pédagogique

Étude de cas : Analyse d'un filtre numérique non récursif

Afin de mettre en évidence notre méthode d'enseignement, nous proposons un exemple pratique selon la séquence "Analyse d'un filtre numérique non récursif".

Nous commençons par donner la fiche pédagogique :

Fiche pédagogique

- **Numéro de la séquence** : ...01
- **Intitulé de la séquence** :Analyse d'un filtre numérique non récursif.....
- **Objectifs** : Evaluer les caractéristiques temporelles et fréquentielles d'un filtre numérique non récursif
- **Diagramme des blocs de simulation** :

FIGURE 5

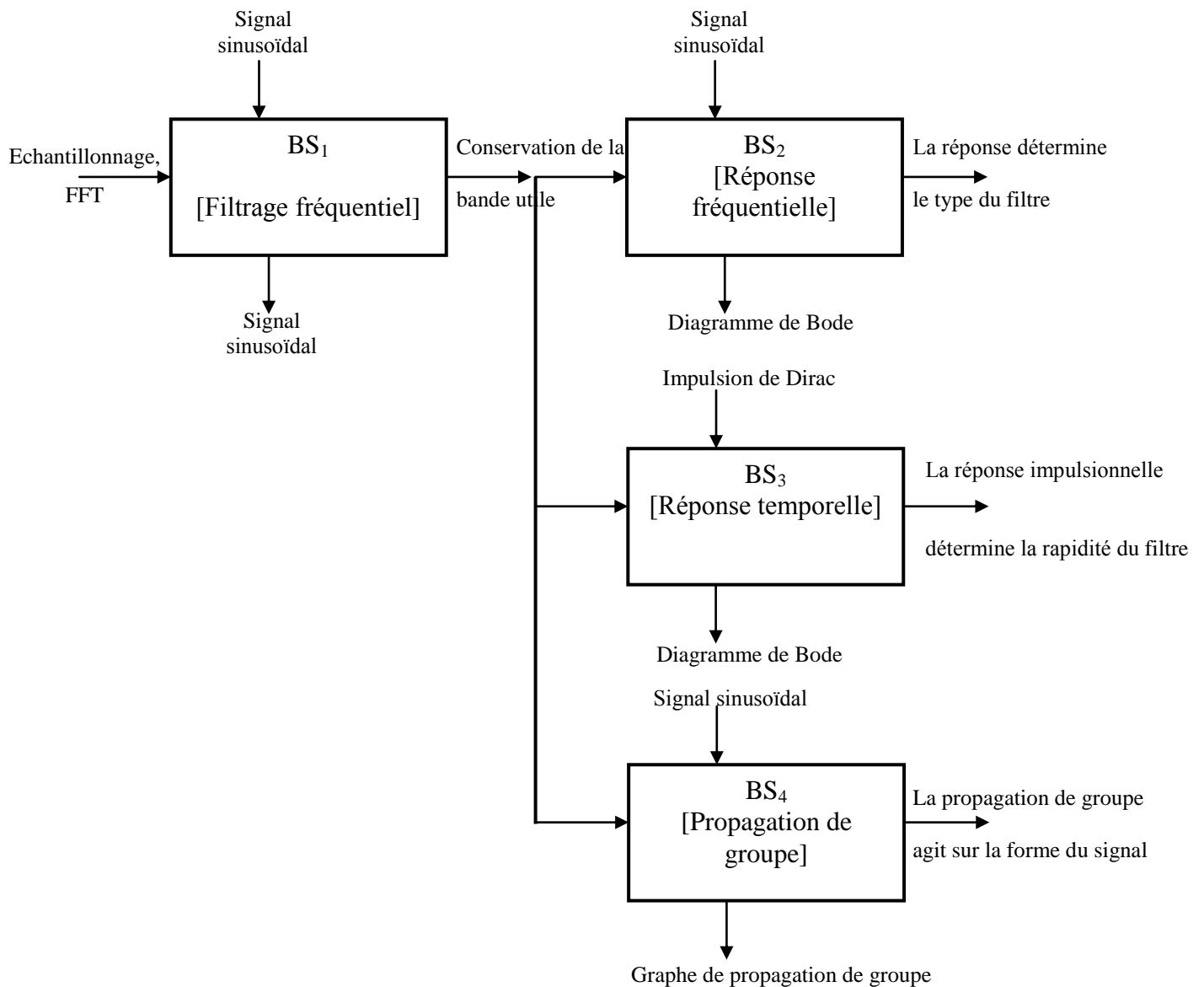






Diagramme des Blocs de simulation du filtrage numérique

TABLEAU

Identification des blocs de simulation

Bloc	DSP_01_01  DSP_01_01.mld Principal (BS₁)	DSP_01_02  DSP_01_02.mld Secondaire (BS₂)	DSP_01_03  DSP_01_03.mld Secondaire (BS₃)	DSP_01_04  DSP_01_04.mld Secondaire (BS₄)	
Séquence N° : 01	Fonction	Filtrage fréquentiel d'un signal	Réponse fréquentielle	Réponse temporelle	Retard de propagation de groupe
	Type des entrées/Variable	Numérique/temps	Aucun	Aucun	Aucun
	Type des sorties/Variable	Numérique/temps	Numérique/fréquence	Numérique/temps	Numérique/fréquence
	Paramètres de configuration	- Coefficients du filtre - Fréquence des entrées - Amplitude des entrées	- Coefficients du filtre - Fréquence d'échantillonnage	Coefficients du filtre	- Coefficients du filtre - Fréquence d'échantillonnage

Séquence pédagogique

Étape 1 : Fonction de traitement

La fonction principale de traitement consiste à faire passer des composantes fréquentielles d'une bande utile et d'atténuer d'autres composantes de la bande indésirable. Les domaines d'application sont nombreux : traitement audio, télécommunications, instrumentation,...

Étape 2 : Démonstration du bloc principal

La fonction de traitement est illustrée par le bloc **DSP_01_01**, selon les paramètres suivants :

Entrées : f1=10Hz;A1=4 ; f2=150Hz;A2=1 ;

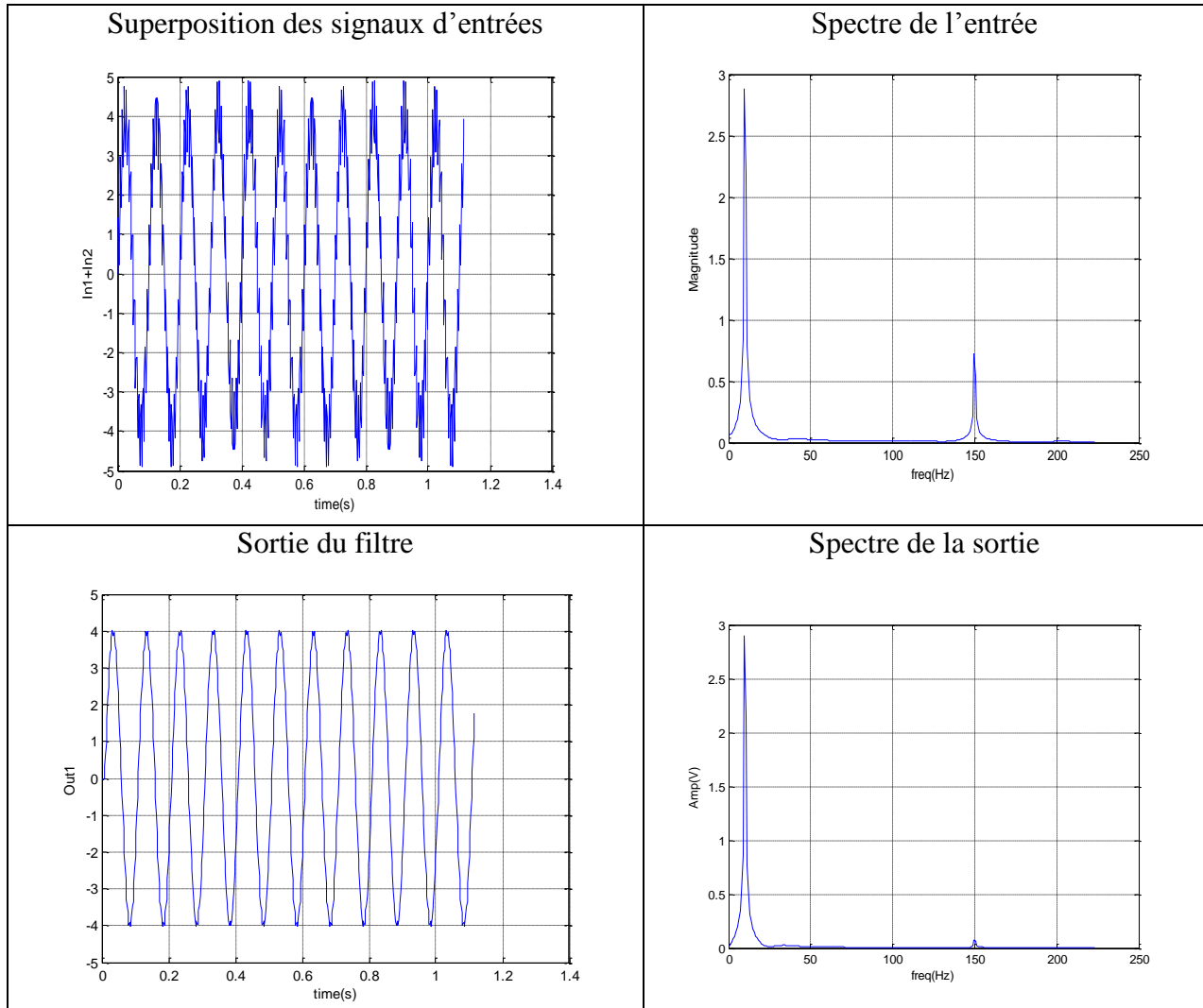
Fréquence d'échantillonnage : Fe=448Hz;

Coefficients du filtre :

b= [-0.0040 -0.0200 0.0284 0.2720 0.4471 0.2720 0.0284 -0.0200 -0.0040]

Les résultats de simulation de ce bloc et les interprétations associées sont données sur la figure 6.

FIGURE 6



Interprétation:

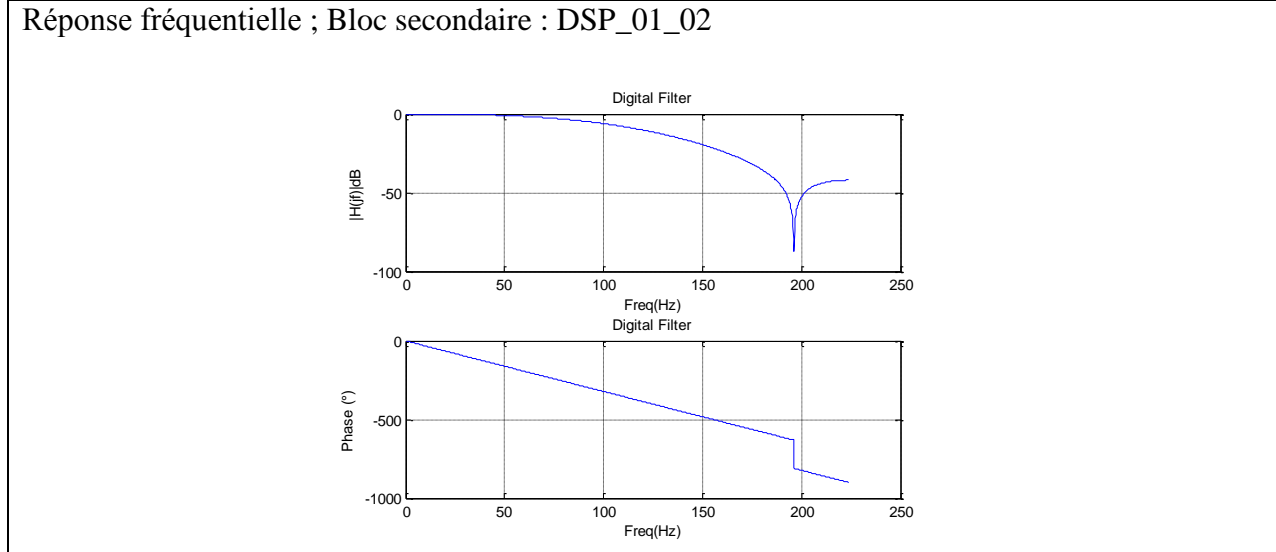
Le filtre numérique a pu supprimer la seconde composante de 150Hz, et conserver la composante de 10Hz.

Résultats de simulation du bloc principal

Étape 3 : Formulation et Outils théoriques

- Synoptique et équation de récurrence d'un filtre numérique.
- Fonction de transfert en utilisant la transformée en z ;
- Structures de réalisation
- Réponse fréquentielle : dans cette partie, on exploite le bloc secondaire **DSP_01_02** (Figure 7).

FIGURE 7



Interprétation:

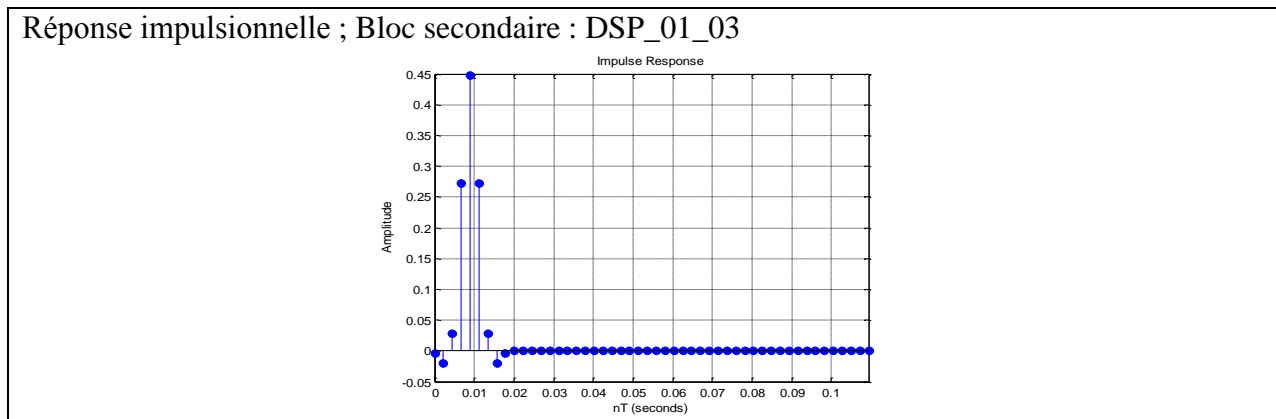
La réponse fréquentielle montre les deux points suivants :

- Réponse en module : le module diminue en fonction de la fréquence, le filtre est de type passe-bas d'une bande passante à -3dB de 100Hz.
- Réponse en phase : la phase varie linéairement en fonction de la fréquence ;

Résultats de simulation de la réponse fréquentielle

- Réponse impulsionnelle : dans cette partie, on exploite le bloc secondaire **DSP_01_03** (Figure 8).

FIGURE 8



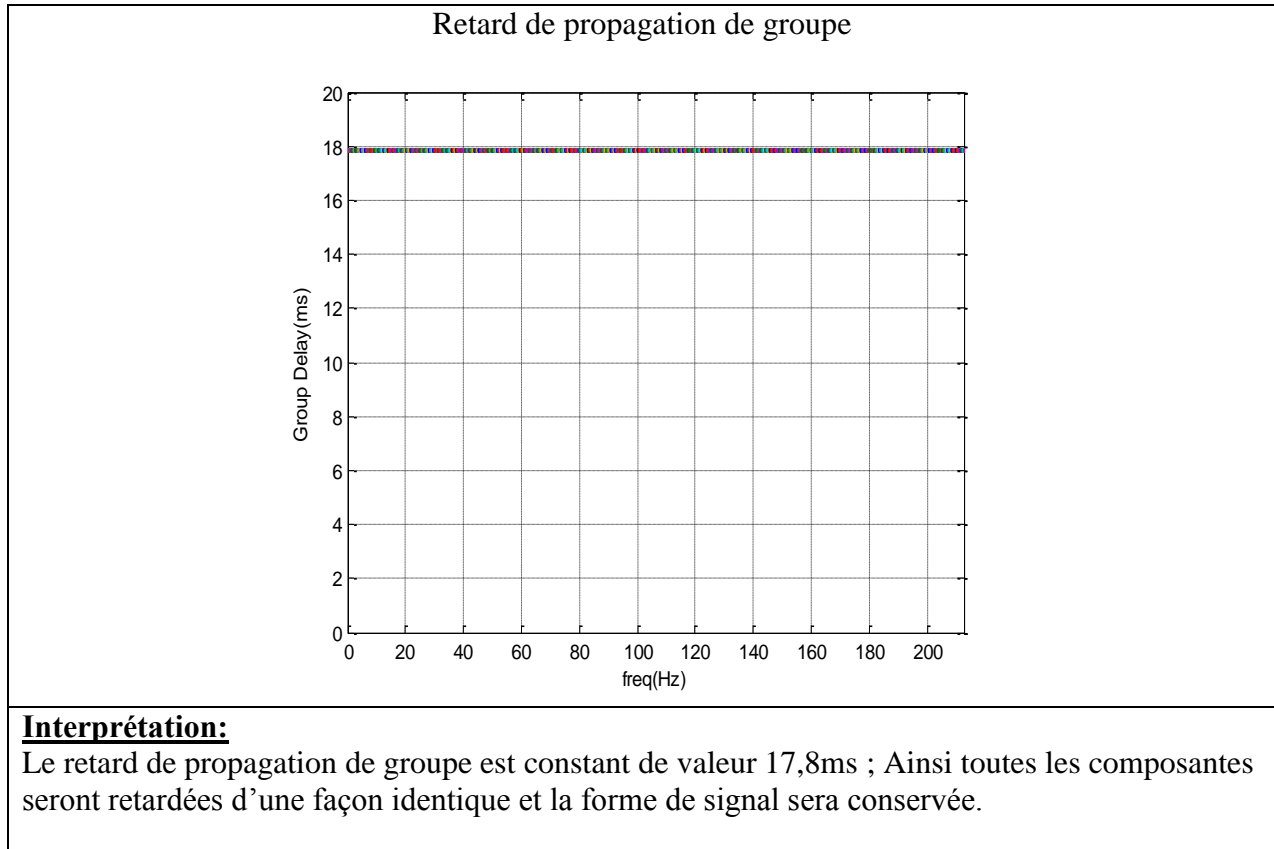
Interprétation :

La réponse impulsionnelle est symétrique par rapport à la position N°5, et limitée à une mémoire de 9 échantillons.

Résultats de simulation de la réponse temporelle

Retard de propagation de groupe; Bloc secondaire : DSP_01_04. L'action du filtre sur la propagation du groupe de signaux est illustrée sur la figure 9.

FIGURE 9



Résultats de simulation du retard de propagation de groupe

Étape 4 : Simulation des fonctions du bloc

Modifier les paramètres des signaux d'entrée (fréquence, amplitude) puis analyser les résultats de simulation.

Étape 5 : Évaluation

- Étudier l'effet de la fréquence d'échantillonnage sur le filtrage des signaux.
- Étudier l'effet de la fréquence d'échantillonnage sur le retard de propagation de groupe.

Étape 6 : Travaux pratiques

- Implémenter, sous Simulink, un bloc montrant l'effet du retard de propagation du groupe sur deux sinusoïdes ;
- Implanter un filtre donné sur un circuit de traitement (DSP, FPGA, ...).

ÉVALUATION DE LA MÉTHODE

L'évaluation de la méthode proposée dépend de son mode d'exécution en présentiel ou en e-Learning. Dans Savic, Stankovic & Goran (2012), les auteurs proposent un modèle hybride d'évaluation. Cependant, le présent travail est en mesure de développement sous forme de formulaires web et de publication pour l'exploitation par les apprenants. Par conséquent, et dans une vision globale, on peut préciser que le bloc de simulation représente l'élément central de notre méthode, dont l'intégration peut apporter les avantages suivants :

- *Concrétiser les concepts.*
- *Illustrer les outils théoriques.*
- *Renforcer la capacité d'apprentissage chez l'apprenant.*
- *Mettre le lien entre la pratique et la théorie.*

Cependant, le développement des blocs nécessite un temps important. Ainsi, nous proposons de construire une bibliothèque web partagée de blocs de simulation entre les enseignants pour l'enrichir, dont les blocs sont organisés selon la fiche pédagogique proposée dans la section 3.

CONCLUSION

Selon ce travail, on peut conclure que l'intégration des blocs de simulation dans le cours peut apporter une clarté des concepts développés dans une séquence pédagogique de traitement numérique de signal, selon plusieurs niveaux : démonstration simple, interprétation de résultats, discussion des paramètres de configuration. Ainsi, la présence de ces blocs, motive l'apprenant à suivre le cours, à établir le lien entre d'autres séquences et à mettre en pratique les fonctions de traitement dans un circuit intégré ou dans un système embarqué plus complexe. Enfin, la proposition de la construction d'une bibliothèque de blocs permettra de partager l'expérience entre les enseignants du même sujet.

RÉFÉRENCES

- Beaufils, D. (2004). *Simulation informatique et enseignement de la physique : regards didactiques*. BUPPC, 98(866), 1081-1090.
- Ginestié, J. (1992). *Contribution à la didactique des disciplines technologiques : acquisition et utilisation d'un langage d'automatisme*. Thèse de 3e cycle, Aix-en-Provence: Université de Provence.
- Ingle, V. K., & Proakis, J. G. (2011). *Digital Signal Processing Using MATLAB*. Stamford, CT: Cengage Learning.
- Leis, J. W. (2011). *Digital Signal Processing Using MATLAB for Students and Researchers*. UK: John Wiley & Sons.
- Savic, S. M., Stankovic, M. S. & Goran, L. (2012). Hybrid Model for e-Learning Quality Evaluation. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 7, 6-13.