

**Objectif**

Cette fiche vous indique comment créer un signal excitateur (SBPA) dans le but d'identifier des processus.

**Rôle d'une Séquence binaire pseudo-aléatoire (SBPA)**

Pour identifier correctement les paramètres d'un modèle dynamique de processus (par exemple modèle boîte noire), il convient de disposer de signaux riches en informations : qui permettent de caractériser les modes du système (dynamiques lentes et/ou rapides) autour d'un point de fonctionnement. Contrairement à l'identification par réponse indicielle (entrée de type échelon), on utilise des signaux riches en fréquences et en variations faibles d'amplitude : telle est la caractéristique d'une séquence binaire pseudo aléatoire (SBPA).

**Caractéristiques d'une SBPA**

La SBPA est un train (succession) de créneaux d'amplitudes (variants entre deux bornes et modulés en longueur) qui s'approche d'un bruit blanc discret et dont le contenu est « riche en fréquences » (aléatoire de valeur moyenne nulle).

Ce signal est caractérisé par 2 paramètres choisis pour exciter l'ensemble des modes (constante de temps) du processus à identifier autour d'un point de fonctionnement qu'on ne modifie pas (amplitude supérieure au bruit) [Nuninger W., 1999], soit :

- l'**amplitude de variation** aléatoire des échelons qui doit demeurer faible du fait des contraintes de commande liée au système (stabilité, saturation...) mais être supérieure au niveau de bruit résiduel
- la **période de base** ( $\Delta_{SBPA}$ ) : choisie supérieure à la plus grande constante de temps du processus étudié (soit le temps de montée  $T_M$ ) ; elle respecte Shannon soit pour  $T_e$  la période d'échantillonnage on prend :

$$\Delta_{SBPA} = pT_e < T_M \text{ où } p \text{ est le diviseur de fréquence (soit } p=2 \text{ pour respecter Shannon)}$$

La **longueur de la séquence** (dans laquelle ont lieu les variations aléatoire de largeur d'impulsion, au-delà il y a périodicité) :  $L_{SBPA} = (2^N - 1) \cdot \Delta_{SBPA}$  où **N est le nombre de bit (cellules) rebouclé(e)s du registre à décalage** (matériel ou logiciel) permettant de générer la SBPA (VPL).

**Remarque :**

La durée de l'essai doit être supérieure à la longueur de la séquence ( $L_{SBPA}$ ) pour balayer tout le spectre de fréquence. Il est préférable d'augmenter la période de base ( $\Delta_{SBPA}=p \cdot T_e$ ) plutôt que le nombre de registre (N) et l'amplitude afin d'améliorer le rapport signal/bruit.

**Rappel :**

Pour les systèmes 1<sup>er</sup> ordre, le temps de réponse est de l'ordre de 4 à 5 fois la constante de temps.  
Pour les systèmes 2<sup>d</sup> ordre, le temps de montée est le temps d'atteinte du régime permanent (1<sup>ère</sup> fois).

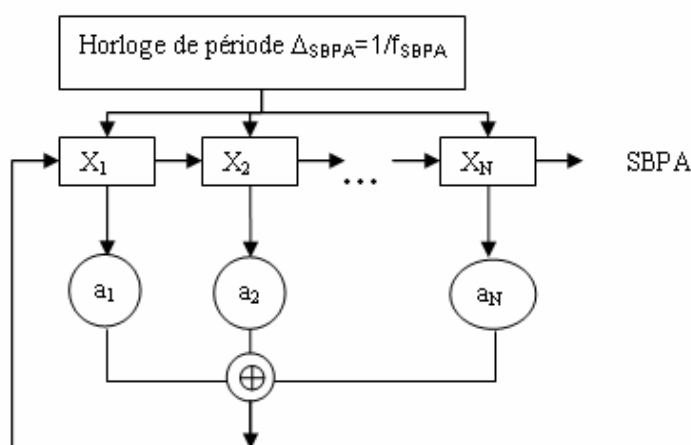
**Création de la SBPA par un registre à décalage**

Figure 1 : schéma de génération d'une SBPA

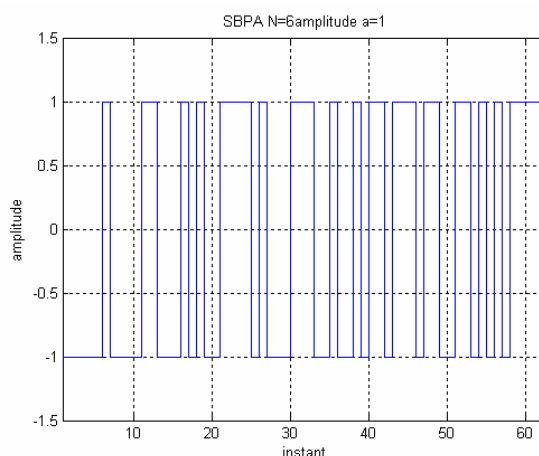


Figure 2 : exemple de SBPA N=6

On utilise un registre à N bits (ou cellules) rebouclé qui permet la génération de mots binaires aléatoires (suite de N paramètres binaires :  $a_i$  (valeur 0 ou 1)). On utilise une fonction de sérialisation (OU-exclusif pour boucler) qui assure que le registre puisse prendre au mieux toutes les combinaisons possibles de N bits, soit  $2^N$  moins la combinaison ayant tous les bits à 0 (sous peine de ne pas prendre les autres valeurs) :  $2^N - 1$ . Les valeurs sont toutes différentes mais avec répétition à partir de la première à la fin d'un cycle d'horloge (signal périodique  $\Delta_{SBPA} = 1/f_{SBPA}$ ). Le signal ainsi obtenu est ensuite translaté en niveau et amplifié.

Mathématiquement, le fonctionnement d'un registre à décalage est [Borne et al , 1992]

$$D^{-1}X_1 = \bigoplus_{i=1}^N (a_i X_i) \text{ où } D \text{ est l'opérateur de décalage}$$

Sachant la récurrence :  $X_i = D^{-1}X_1, i > 1$  cela conduit au polynôme caractéristique suivant qui définit la séquence et permet son étude (cf. Figure 1 et Tableau 1)

$$P(D) = \bigoplus_{i=0}^N a_i D^i \text{ avec } a_0=1$$

On obtient la SBPA de période  $(2^N-1) \cdot \Delta_{SBPA}$  obtenue à partir des valeurs successives du bit  $X_n$ , sur lesquelles on applique la transformation d'amplitude :  $1 \rightarrow +A$  et  $0 \rightarrow -A$ . Le signal est soit considéré comme discret (valeur en fonction des temps d'horloge) ou analogique en considérant la continuité entre deux instants (cf. Figure 2).

N	P(D)	Bits de bouclage ( $X_i, X_j$ )	Longueur : $L=2^N-1$
2	$1+D^2$	1 et 2	3
3	$1+D+D^3$	2 et 3	7
4	$1+D+D^4$	3 et 4	15
5	$1+D^2+D^5$	4 et 5	31
6	$1+D+D^6$	5 et 6	63
7	$1+D^3+D^7$	6 et 7	127
8	$1+D^2+D^3+D^4+D^8$	2, 3, 5 et 8	255
9	$1+D^4+D^9$	5 et 9	511
Etc			

Tableau 1 : Valeurs des paramètres du polynôme en fonction des tailles de registre

### Programmation d'une SBPA (Matlab)

```
% Exemple pour un registre de décalage de type P=[0 0 0 1 1] (pour N=6)
polynome = [0 0 0 1 1]; % polynôme de bouclage pour N = 6
N = size(polynome,2); % extraction du nombre de registre à partir de Polynôme
a = 1; % choix de l'amplitude
registre = ones(1,N); % création et initialisation du registre a décalage à 1
Z = []; % vecteur de sortie SBPA
for i=1:2^N-1 % bouclage pour la longueur de séquence de base
    q = rem( sum(registre.*polynome) , 2); % calcul de la fonction de bouclage modulo 2
    for j = N : -1 : 2 % boucle pour décaler le registre
        registre(j) = registre(j-1);
    end;
    registre(1) = q; Z=[Z ; q]; % application du bouclage et calcul de la sortie
end;
t=1 :2^N-1; % t : les instants de valeur de la SBPA (Z= 0 ou 1) N=6
SBPA= 2*a*(Z-ones(size(Z,1),1)/2) % permet la transformation 1→a et 0→-a (ici 1)
```

### Tracé des signaux en temps discrets (sous Matlab)

Pour tracer un signal en temps discret (échelon ou SBPA) sous Matlab, on rappelle qu'il faut utiliser la commande :

```
stairs(1:2^N-1,SBPA);
grid; axis([1 (2^N-1) -1.5 1.5]);
title(['SBPA N=' num2str(N) 'amplitude a=' num2str(a)/2]); xlabel('instant'); ylabel('amplitude');
```

### Implantation d'une SBPA

Il faut traduire dans le format adéquat du bloc commande du processus la séquence. En principe on code un fichier de 0 et de 1 qui est ensuite chargé dans le CPU. On

### Références

- Adaptech, Guide d'intégration SBPA, URL :<http://www.adaptech.com/Fra/Telechargement/download/guide%20SBPA.pdf>, [en ligne], consulté 10/07, version du 09.2001
- Borne et al., Modélisation et identification des processus, Tome 2, Annexe J, Méthodes et pratiques de l'ingénieur, Editions technip, 1992.
- Bonnet P., Enoncé de TP Master, USTL, URL:[http://www-lagis.univ-lille1.fr/~bonnet/identif/TP\\_Identif\\_0607.pdf](http://www-lagis.univ-lille1.fr/~bonnet/identif/TP_Identif_0607.pdf), [en ligne], consulté 10/07version 1.95b, 10.2007
- Landau Y.D., Identification et commande des systèmes, Hermès, 1988
- Nuninger W., Bases d'automatique (modélisation, commande, diagnostic), Polycopié, Polytech-Lille/IAAL, Option RIE-MR, 28 p. (2003, maj 2005)
- Nuninger W. (1999), Etude de la locomotive T19 pour la régénération de l'adhérence du contact roue-rail. Vol. 1 et 2. Rapport Final CRAN/1999/WN Alstom Transport. Confidentiel.