

## WP7 : SIMULATION COUPLEE

### SCICOS-SIGNAL

RAPPORT N° CS/311-1/AJ000212/RAP/02/02/17 Version 1.1

Préparé par

**CS SI**

Division Opérationnelle Ingénierie Scientifique  
Centre Opérationnel France Nord  
16 avenue Galilée  
92350 LE PLESSIS ROBINSON

Rédigé dans le cadre du projet



	NOM(S)	DATE(S)	VISA(S)
REDACTEUR(S)	C. MODIGUY	14/02/02	
VERIFICATEUR(S)			
APPROBATEUR			

## FICHE DE SUIVI DES MODIFICATIONS

Version/Révision		Références		Description des modifications	Auteur(s)
Indice	Date	Page	N° §		
1.0	14/02/02			Version initiale	C. MODIGUY
1.1	06/03/02	p. 11	3.2.1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Modification du corps de la fonction Regule d'interfaçage entre le programme C généré par Polychrony et Scicos.</li> </ul>	C. MODIGUY
		p.12	3.2.2	<ul style="list-style-type: none"> <li>La compilation du programme C généré par Polychrony s'effectue par la commande <i>make</i> avec un fichier <i>Makefile</i>.</li> </ul>	
		p.12	3.2.2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Une varivable DELTAT est ajoutée dans le modèle Scicos afin de simplifier la procédure de modification de la période d'échantillonnage.</li> </ul>	



## **LISTE DE DIFFUSION**

### **DIFFUSION EXTERNE**

### **DIFFUSION INTERNE**

Archivage DO

**SCSA**

## **DOCUMENTS APPLICABLES ET DE REFERENCE**

### **DOCUMENTS APPLICABLES**

DA1

### **DOCUMENTS DE REFERENCE**

- DR1 Dossier de Conception Préliminaire Projet ACOTRIS Application Projet N°2 Appareil Propulsif d'un navire à cycle combiné
- DR2 Dossier de Conception Détaillée Projet ACOTRIS Application Projet N°2 Appareil Propulsif d'un navire à cycle combiné
- DR3 Cahier de Validation Interne Projet ACOTRIS Simulation de l'appareil Propulsif d'un navire à cycle combiné
- DR4 WP7 : Outils pour la discrétisation de la représentation continue

## SOMMAIRE

<b>1. MODELE DE DEPART ET OBJECTIF.....</b>	<b>7</b>
1.1 MODELE DE DEPART.....	7
1.2 OBJECTIF .....	8
<b>2. DISCRETISATION DE LOI DE COMMANDE DE COMMANDE. ....</b>	<b>9</b>
<b>3. MISE EN ŒUVRE.....</b>	<b>10</b>
3.1 MODELISATION DU CONTROLE COMMANDE BALLON AVEC POLYCHRONY .....	10
3.1.1 <i>Description en langage Signal</i> .....	10
3.1.2 <i>Génération du code C avec Polychrony</i> .....	11
3.2 ENCAPSULATION DANS SCICOS DU PROGRAMME C GENERE PAR POLYCHRONY .....	11
3.2.1 <i>Interfaçage du programme C généré par Signal avec Scicos</i> .....	11
3.2.2 <i>Scicos</i> .....	12
<b>4. RESULTATS DE LA SIMULATION .....</b>	<b>14</b>
4.1 INFLUENCE DE LA PERIODE D'ECHANTILLONNAGE .....	14
4.1.1 <i>Réponse à un échelon de consigne en regulation 1 élément</i> .....	14
4.1.2 <i>Réponse à un échelon de consigne en regulation 3 éléments</i> .....	19
4.1.3 <i>Réponse à un échelon de débit vapeur</i> .....	24
4.2 REMARQUES.....	28



## SIMULATION COUPLEE SCICOS-SIGNAL

CS/311-  
1/AJ000212/RAP/02/02/17  
Version 1.1

## 1. MODELE DE DEPART ET OBJECTIF

### 1.1 MODELE DE DEPART

Le système étudié est le processus "Ballon Vapeur" de l'appareil propulsif de navire à cycle combiné décrit dans les documents suivants :

- *Dossier de Conception Détaillée Projet ACOTRIS Application Projet N°2 Appareil propulsif d'un navire à cycle combiné,*
- *Dossier de Conception Préliminaire Projet ACOTRIS Application Projet N°2 Appareil propulsif d'un navire à cycle combiné.*

Ce processus se compose de deux éléments :

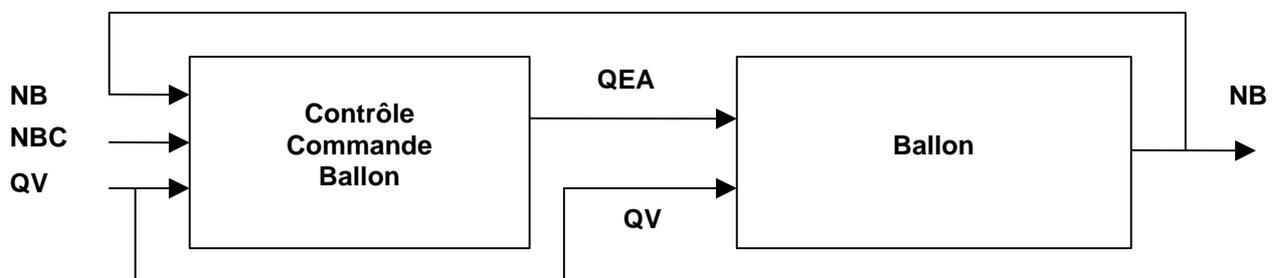
- un ballon de stockage d'eau et de vapeur,
- le contrôle commande du niveau d'eau dans le ballon.

Un débit d'eau QEA alimente le ballon, il régule le niveau d'eau dans le ballon.

Un débit de vapeur QV perturbe le système.

Le contrôle commande calcule la commande QEA à appliquer au ballon pour asservir le niveau d'eau NB du ballon à la consigne NBC, en tenant compte de la perturbation QV.

Une représentation sous forme de schéma-bloc de notre système est la suivante :



Rappelons la loi de fonctionnement du ballon :

$$NB = \frac{1}{Gb3 * p^3 + Gb2 * p^2 + Gb1 * p} * (Kp * KcorG * QEA + Kf(1 - To * p) * QV)$$

où p désigne la variable de Laplace

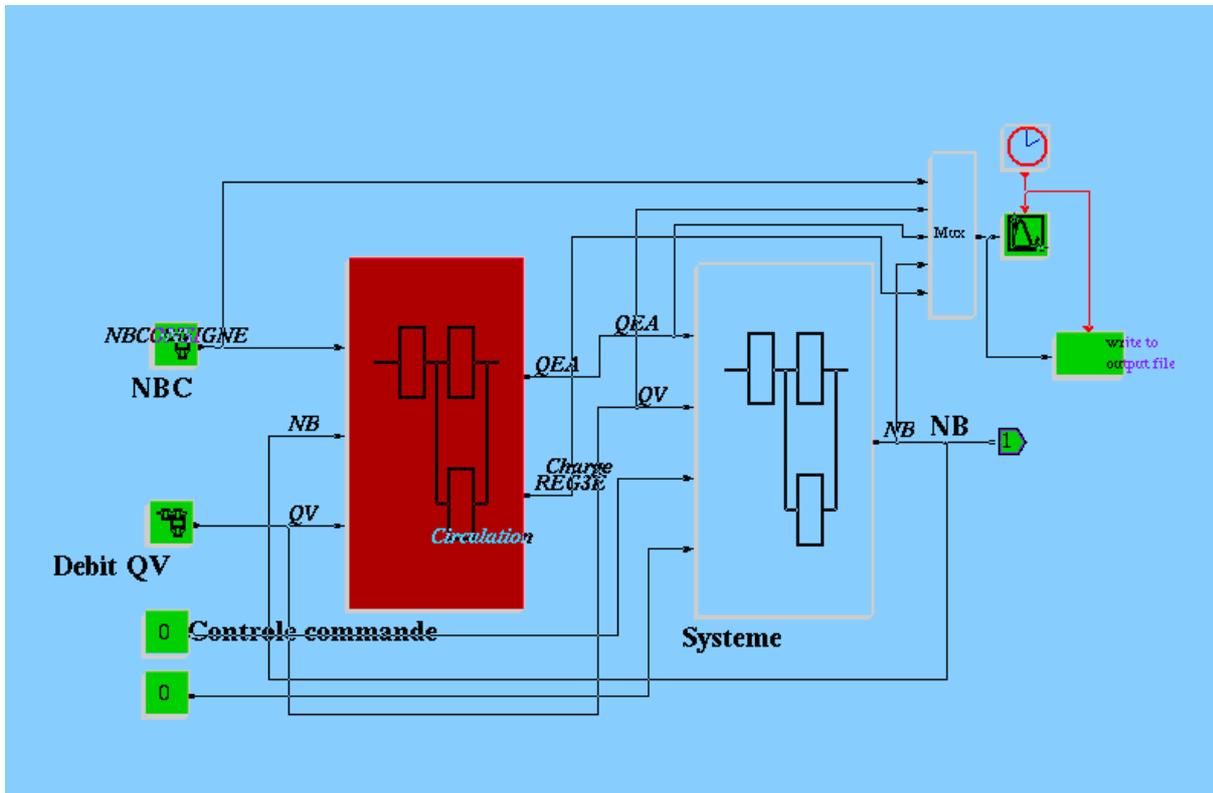
Rappelons la loi de commande du contrôle commande :

$$QEA = \frac{1}{KcorG} \left( Kp + \frac{1}{Ti * p} \right) * (NBC - NB) \text{ si } QV \text{ est inférieur à } NBSEUILQV$$

et

$$QEA = \frac{1}{KcorG} \left( Kp + \frac{1}{Ti * p} \right) * (NBC - NB) + QV \text{ si } QV \text{ est supérieur ou égal à } NBSEUILQV$$

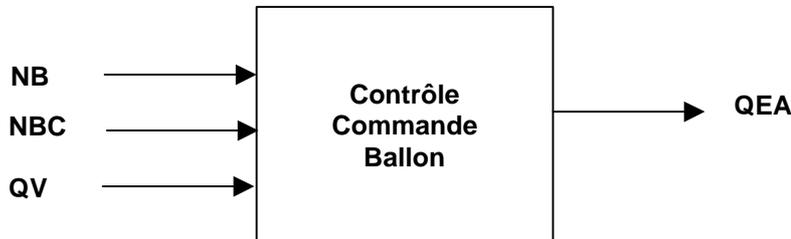
Nous disposons initialement de ce modèle continu saisi avec le logiciel Scicos.



## 1.2 OBJECTIF

- Décrire le contrôle commande dans le langage synchrone Signal.
- Générer un programme C associé au programme Signal grâce au logiciel Polychrony.
- Remplacer le bloc contrôle commande continu par un bloc contrôle commande discret appelant le programme C généré par Polychrony.
- Comparer la simulation "continue" et la simulation "discrète" du Processus "Ballon Vapeur".

## 2. DISCRETISATION DE LOI DE COMMANDE DE COMMANDE.



La loi de commande en régulation 3 éléments s'écrit :

$$QEA = \frac{1}{K_{corG}} \left( K_p + \frac{1}{T_i \cdot p} \right) * (NBC - NB) + QV$$

Posons  $X = \frac{NBC - NB}{T_i \cdot p}$ .

L'expression de QEA devient :

$$QEA = \frac{K_p}{K_{corG}} * (NBC - NB) + \frac{1}{K_{corG}} * X + QV$$

Ces signaux, continus, sont échantillonnés à la période  $\delta T$ . On note  $S_n$  le signal discret associé au signal continu S. La loi de commande en régulation 3 éléments s'écrit alors :

$$QEA_n = \frac{K_p}{K_{corG}} * (NBC_n - NB_n) + \frac{1}{K_{corG}} * X_n + QV_n$$

Recherchons une définition par récurrence de  $X_n$ .

$$\text{On a : } p * X = \frac{NBC - NB}{T_i}$$

$$\text{or } p = \frac{1 - z^{-1}}{\delta T}$$

$$\text{donc } \frac{X_n - X_{n-1}}{\delta T} = \frac{NBC_n - NB_n}{T_i}$$

On en déduit la loi de commande discrétisée :

$$QEA_n = \frac{K_p}{K_{corG}} * (NBC_n - NB_n) + \frac{1}{K_{corG}} * X_n + QV_n$$

$$\text{où } X_n = \frac{\delta T * (NBC_n - NB_n)}{T_i} + X_{n-1}$$

En régulation 1 élément, le terme  $QV_n$  est absent de l'expression de  $QEA_n$ .

### 3. MISE EN ŒUVRE

#### 3.1 MODELISATION DU CONTROLE COMMANDE BALLON AVEC POLYCHRONY

##### 3.1.1 Description en langage Signal

Le processus Contrôle Commande Ballon présente 5 signaux d'entrée/sortie :

- en entrée : NBC, NB, QV, DELTAT
- en sortie : QEA

Les 3 signaux d'entrée NBC, NB et QV, sont supposés synchrones.

Les grandeurs  $K_p$ ,  $K_{corG}$ ,  $\delta T$  (renommé en DELTAT) ,  $T_i$ , NBSEUILQV,  $X_0$  (valeur initiale de  $X_n$  : 0) sont des paramètres constants du programme Signal, dont les valeurs sont précisées dans le fichier *CCBallon1.PAR*.

Les deux lois de commande (régulation 1 élément ou 3 éléments) sont spécifiées avec le test de comparaison de QV à NBSEUILQV.

On obtient, après exportation du modèle saisi avec Polychrony, le fichier source Signal *CCBallon1.SIG* suivant :

```
process CCBallon1 =
  { real KP, KCOR, DELTAT, TI, X0, NBSEUILQV; }
  ( ? real QV;
    real NBC;
    real NB;
    ! real QEA;
  )
  (| E := NBC-NB
  | ZX := X$1 init X0
  | X := ((DELTAT/TI)*E)+ZX
  | REG3E := QV>NBSEUILQV
  | QEA1E := ((KP/KCOR)*E)+(X/KCOR)
  | QEA3E := ((KP/KCOR)*E)+(X/KCOR)+QV
  | QEA := if REG3E then QEA3E else QEA1E
  |)
  where
  real X, ZX, E, QEA1E, QEA3E;
  boolean REG3E;
  end
;
```

### 3.1.2 Génération du code C avec Polychrony

- La commande `sig CCBallon1.SIG CCBallon1.PAR -c -tra -spec` lancée sur la ligne de commande UNIX, déclenche la génération des fichiers C suivants :
  - CCBallon1\_body\_separate.c
  - CCBallon1\_body\_separate.h
  - CCBallon1externals.h
  - CCBallon1externalsProc.h
  - CCBallon1types.h

La fonction `CCBallon1_initialize` du programme C contenu dans le `CCBallon1_body_separate.c` initialise des variables du programme. Dans la simulation couplée, elle ne devra être appelée qu'une seule fois, lors de la première itération de la régulation.

La fonction `CCBallon1_iterate` du programme C contenu dans le `CCBallon1_body_separate.c` implémente les spécifications du programme Signal relative au calcul de QEA. Dans la simulation couplée, elle devra être appelée à chaque itération de la régulation.

## 3.2 ENCAPSULATION DANS SCICOS DU PROGRAMME C GENERE PAR POLYCHRONY

### 3.2.1 Interfaçage du programme C généré par Signal avec Scicos

- Une fonction C appelée *Regule* de signature compatible avec Scicos est rajoutée dans le fichier `CCBallon1_body_separate.c`. Cette fonction servira d'interface entre Scicos et les fonctions C générées par Polychrony (`CCBallon1_initialize` et `CCBallon1_iterate`). Le code de cette fonction est présenté ci-dessous :

```
int Regule(flag, nevpert, t, xd, x, nx, z, nz, tvec, ntvec, rpar, nrpar,
ipar, nipar, u1, nu1, y1, ny1)
    double *t, xd[], x[], z[], tvec[];
    int *flag, *nevpert, *nx, *nz, *ntvec, *nrpar, ipar[], *nipar,
*nu1, *ny1;
    double rpar[], u1[], y1[];
{
float fQEACal= 0.0;

/* initialisation */
if (*flag == 4)
    CCBallon1_initialize();

/* Regulation */
if (*flag == 1)
{
    CCBallon1_iterate(u1[0],u1[1],u1[2],u1[3],&fQEACal);
    y1[0]=fQEACal;
    /* Sortie REG3E */
    y1[1]=REG3E;
}
}
```

Les signaux d'entrée sont transmis par Scicos via le paramètre  $u1[ ]$ .

Les signaux de sortie sont transmis à Scicos via le paramètre  $y1[ ]$ .

La valeur du paramètre *\*flag* transmis par Scicos permet de savoir si l'appel est le premier de la simulation ou non.

- On procède à la compilation du fichier *CCBallon1\_body\_separate.c* : le fichier objet *CCBallon1\_body\_separate.o* est créé grâce à l'instruction *make* sur la ligne de commande Unix pour le fichier *Makefile* suivant :

```
CC=gcc
```

```
INCLUDE=-I$(DIRSIG)GenCode.dir/C.dir
```

```
SYSEME=CCBallon1
```

```
SRC=$(SYSEME)_body_separate.c
```

```
OBJ=$(SYSEME)_body_separate.o
```

```
$(OBJ):
```

```
$(CC) $(INCLUDE) -c $(SRC)
```

```
clean:
```

```
rm $(OBJ)
```

### 3.2.2 Scicos

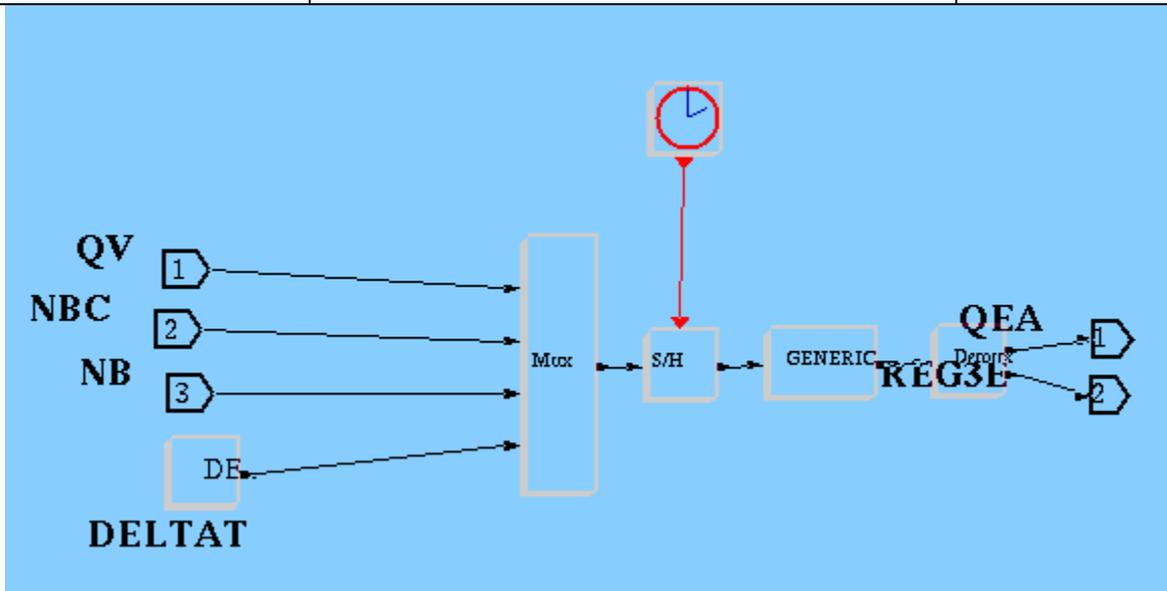
- Après édition du modèle à l'aide de Scicos, on rajoute les deux instructions suivantes dans l'élément Context du menu Edit de la fenêtre :

```
link("CCBallon1_body_separate.o", "Regule", "C");  
DELTAT = 10;
```

Ainsi à chaque ouverture du modèle, une fonction Scilab qui pointe sur la fonction *Regule* du fichier objet *CCBallon1\_body\_separate.o* sera créée et la variable DELTAT sera déclarée et sa valeur fixée à 10 s (Cette dernière pourra bien sûr être changée).

- Les éléments du bloc Contrôle Commande continu sont remplacés par la suite de bloc ci-après :
  - un bloc "MUX" qui reçoit les 4 signaux d'entrée : NBC, NB, QV, ainsi que DELTAT
  - un bloc "S/H" qui bloque les signaux avec la période d'échantillonnage DELTAT,
  - un bloc "GENERIC" qui appelle la fonction *Regule* afin de calculer QEA en fonction des entrées NBC, NB, QV et DELTAT,
  - un bloc DEMUX qui renvoie les signaux de sortie vers le bloc de visualisation.

On obtient le modèle Scicos ci-dessous pour le contrôle commande :



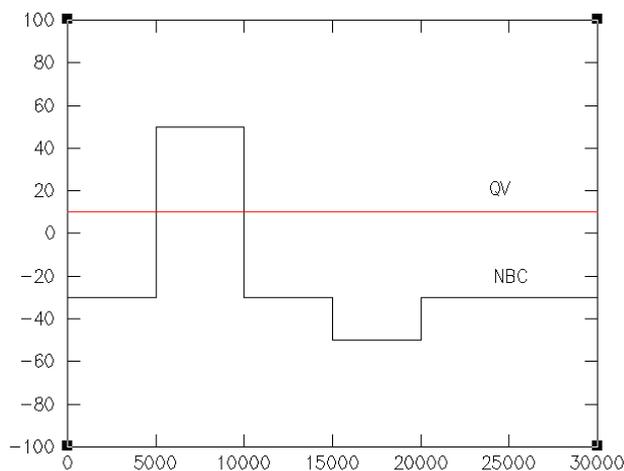
## 4. RESULTATS DE LA SIMULATION

Nous reprenons la démarche du protocole de validation décrit dans le document : *Cahier de Validation Interne Projet ACOTRIS Simulation de l'appareil propulsif d'un navire à cycle combiné.*

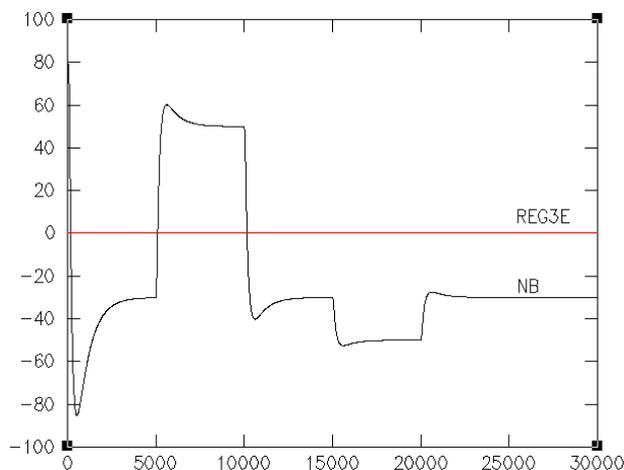
### 4.1 INFLUENCE DE LA PERIODE D'ECHANTILLONNAGE

#### 4.1.1 Réponse à un échelon de consigne en regulation 1 élément

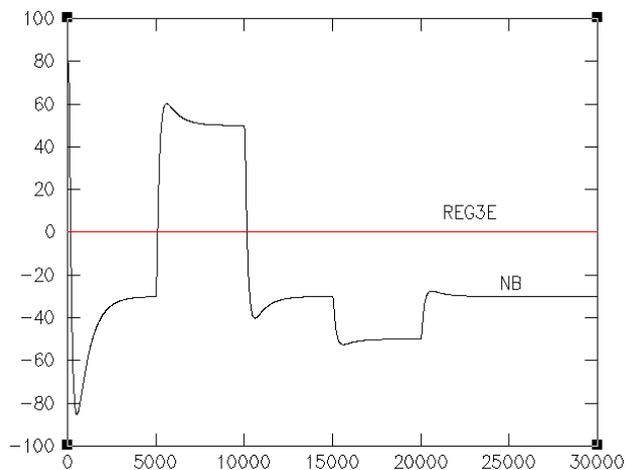
Excitation :



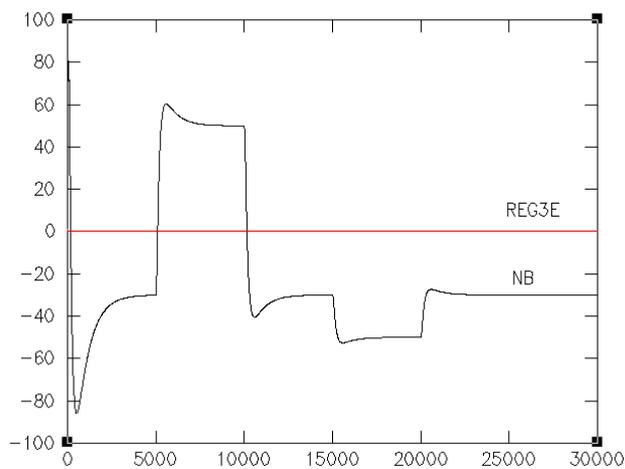
Réponse du modèle continu :



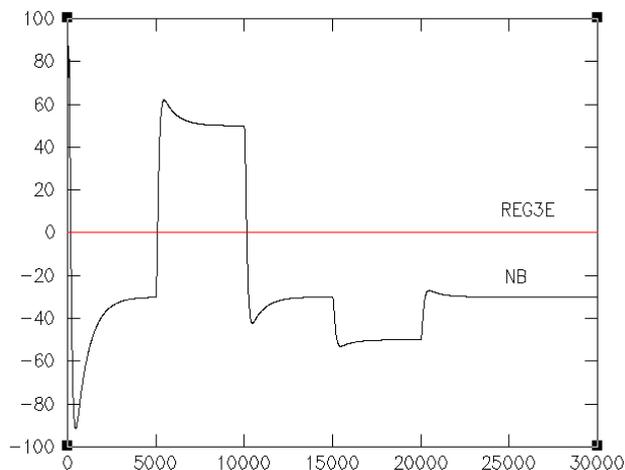
Réponse du modèle discret pour DELTAT = 1



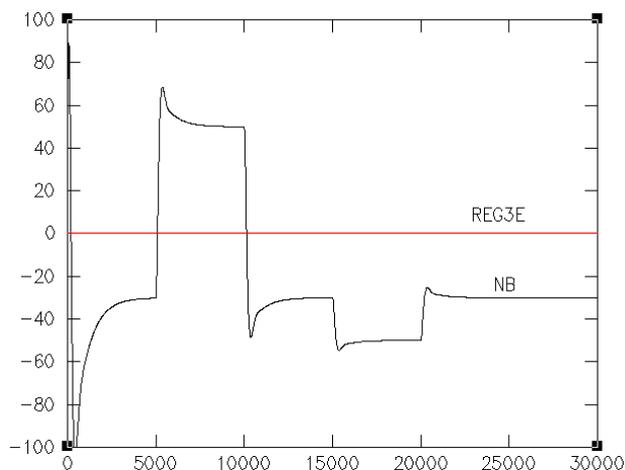
Réponse du modèle discret pour DELTAT = 10



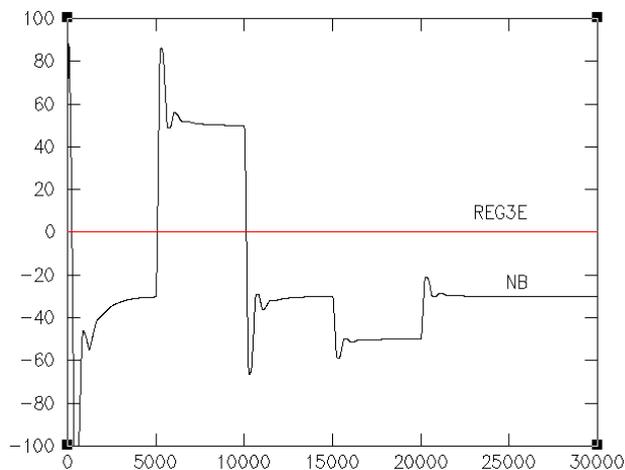
Réponse du modèle discret pour DELTAT = 50



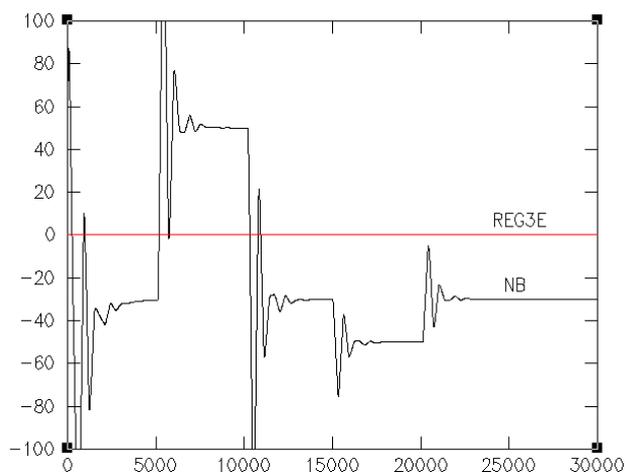
Réponse du modèle discret pour DELTAT = 100



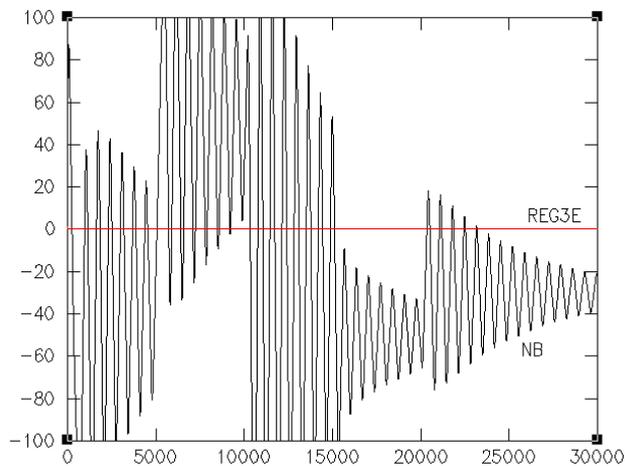
Réponse du modèle discret pour DELTAT = 200



Réponse du modèle discret pour DELTAT = 300

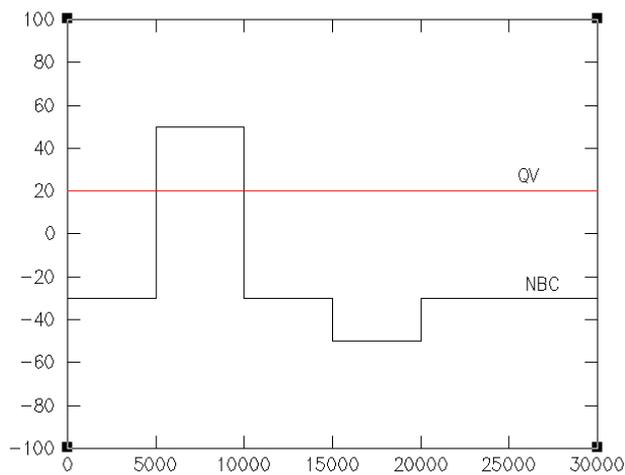


Réponse du modèle discret pour DELTAT = 340

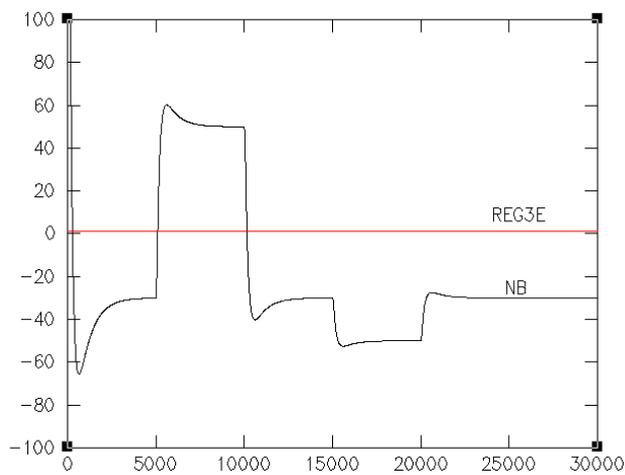


### 4.1.2 Réponse à un échelon de consigne en regulation 3 éléments

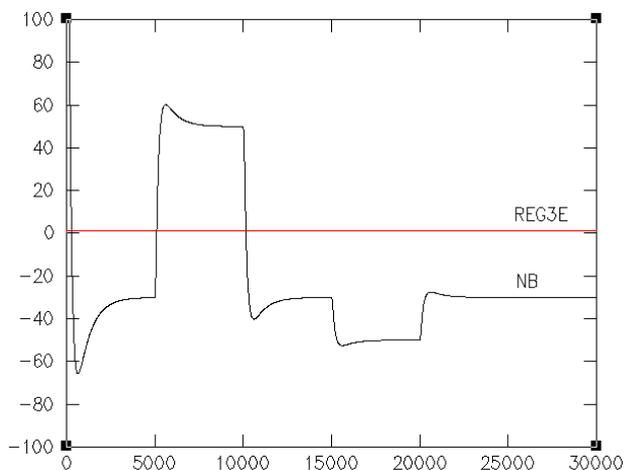
Excitation :



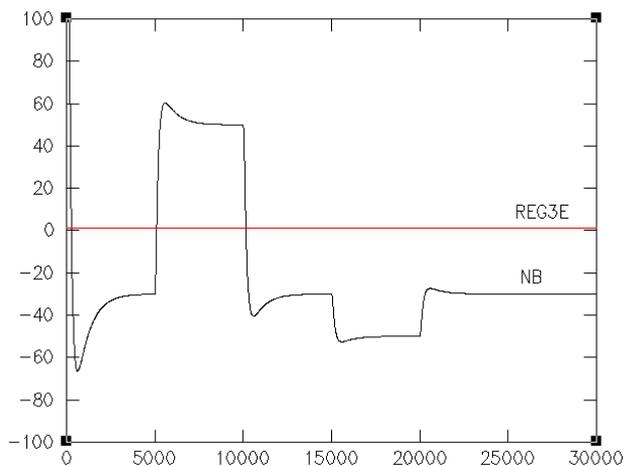
Réponse du modèle continu



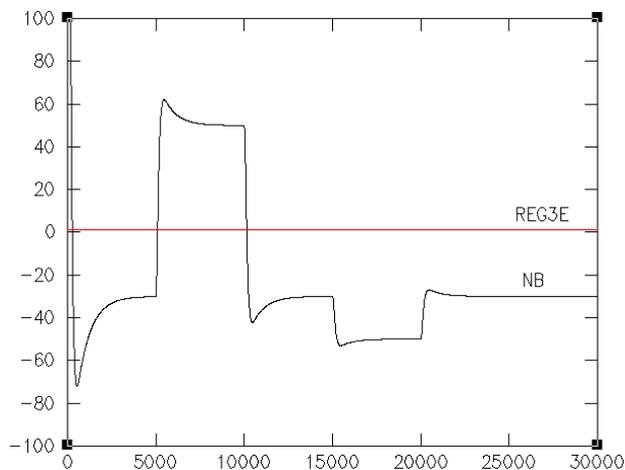
Réponse du modèle discret pour DELTAT = 1



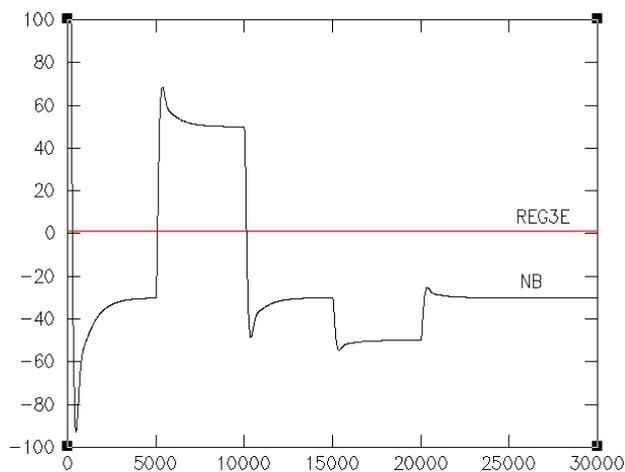
Réponse du modèle discret pour DELTAT = 10



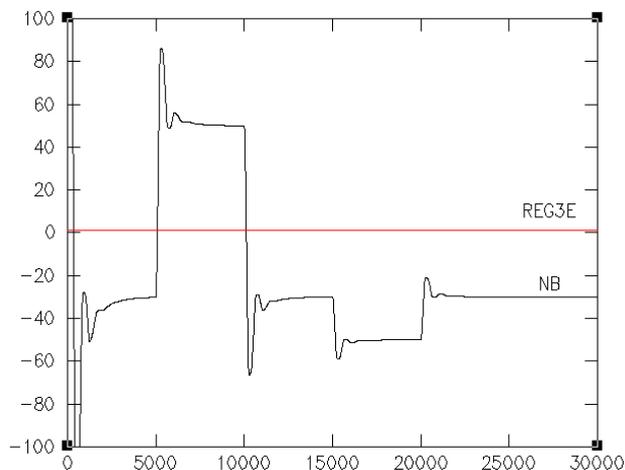
Réponse du modèle discret pour DELTAT = 50



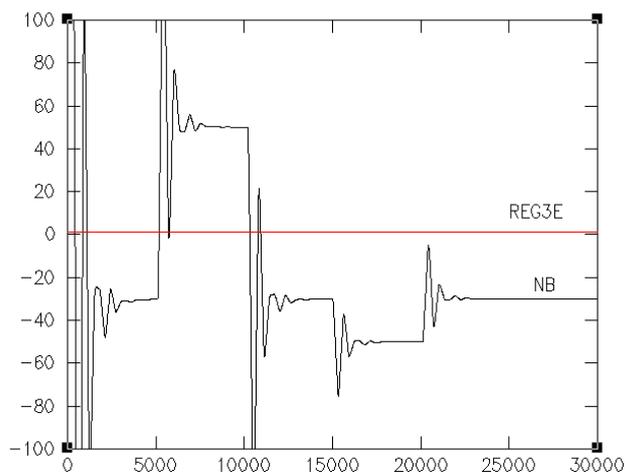
Réponse du modèle discret pour DELTAT = 100



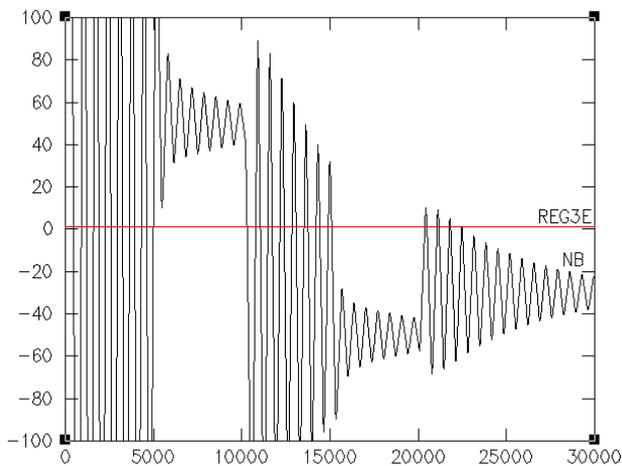
Réponse du modèle discret pour DELTAT = 200



Réponse du modèle discret pour DELTAT = 300

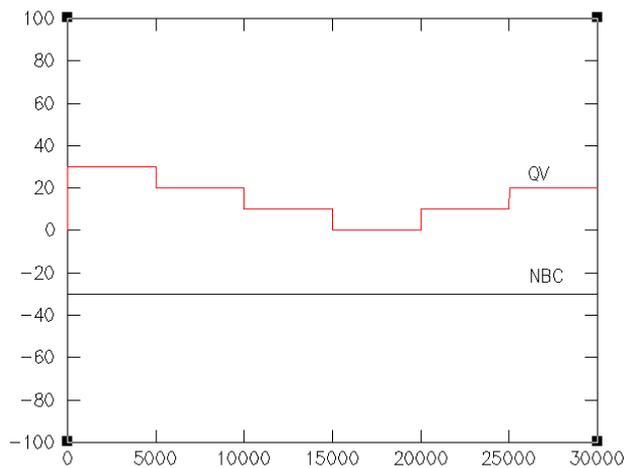


Réponse du modèle discret pour DELTAT = 340

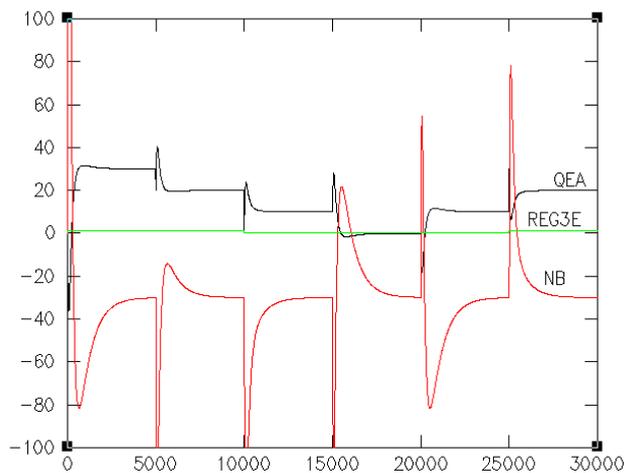


### 4.1.3 Réponse à un échelon de débit vapeur

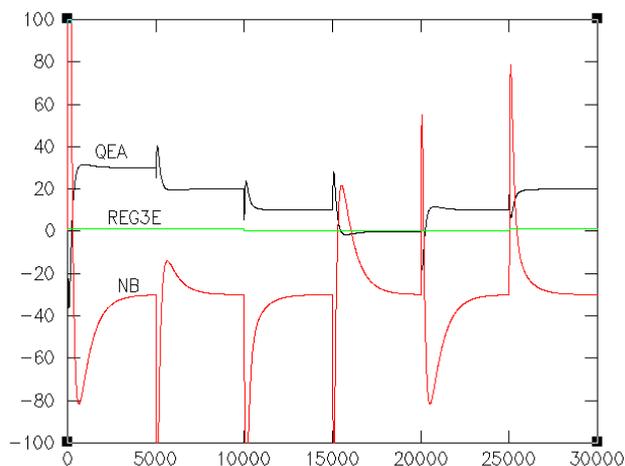
Excitation :



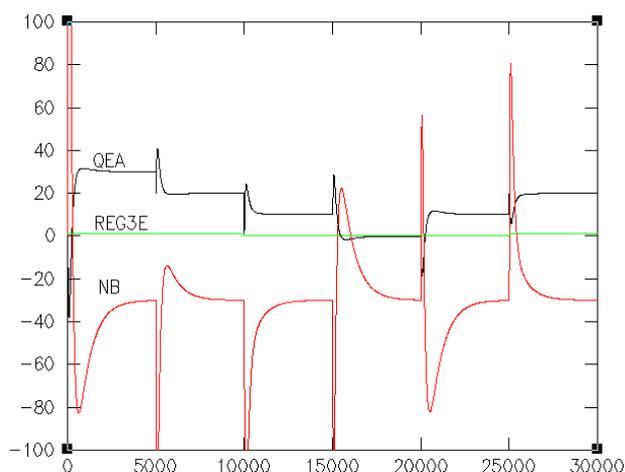
Réponse du modèle continu :



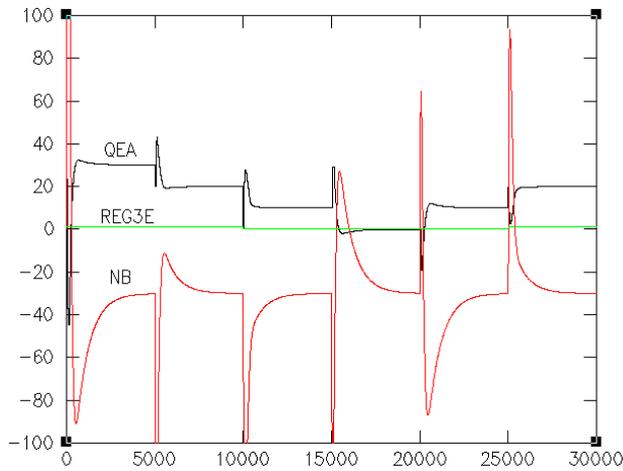
Réponse du modèle discret pour DELTAT = 1



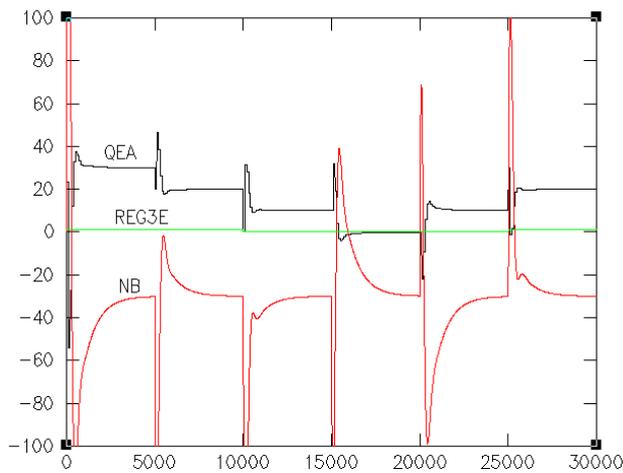
Réponse du modèle discret pour DELTAT = 10



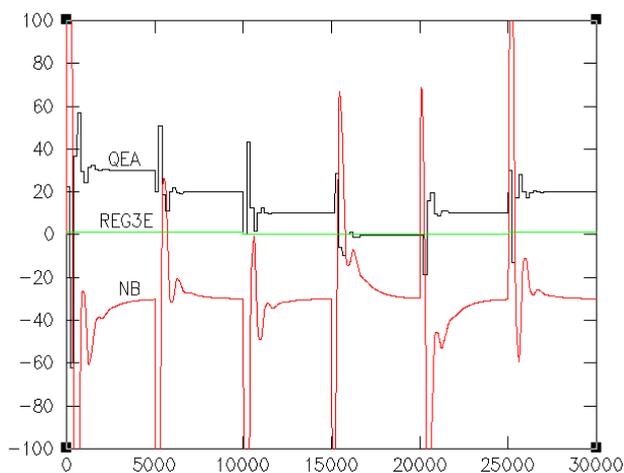
Réponse du modèle discret pour DELTAT = 50



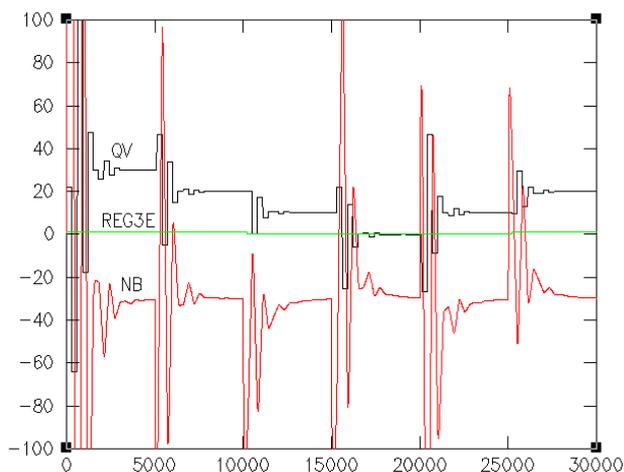
Réponse du modèle discret pour DELTAT = 100



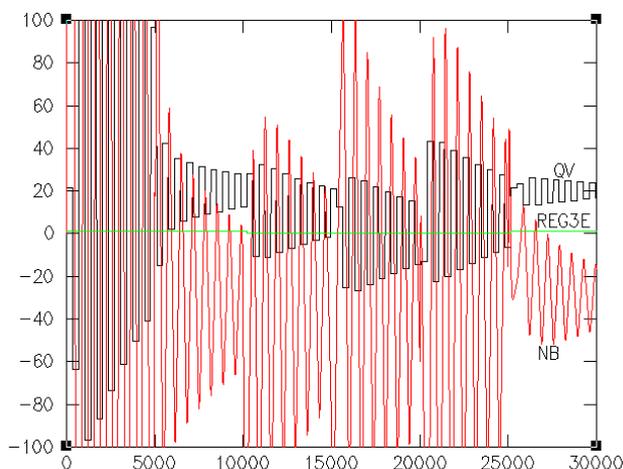
Réponse du modèle discret pour DELTAT = 200



Réponse du modèle discret pour DELTAT = 300



Réponse du modèle discret pour DELTAT = 340



#### 4.2 REMARQUES

Ces courbes nous montrent que l'accroissement de la période d'échantillonnage, dans le modèle discret, produit les effets suivants :

- Augmentation de l'écart du premier pic par rapport à la consigne,
- Apparition d'un phénomène d'oscillations amorties,
- Augmentation du temps de convergence vers la consigne.

Par ailleurs, en deçà d'une certaine valeur, la valeur de la période d'échantillonnage n'a pas d'influence sur l'allure des courbes.