UE21 - Régulation industrielle

TD N°7 : Identification multivariable (pour la commande LQ)

Exercice 1– Un premier exemple simple .

Nous allons commencer par un exercice simple (donc *une* entrée et *une* sortie). L'objectif est de déterminer les matrices d'un système en mesurant son comportement. Pour cela, nous allons tricher un peu car nous allons nous-même simuler le système pour générer les courbes des entrées et des sorties. Puis nous utiliserons ces enregistrements pour retrouver le système.

Réaliser le modèle dont la fonction de transfert est

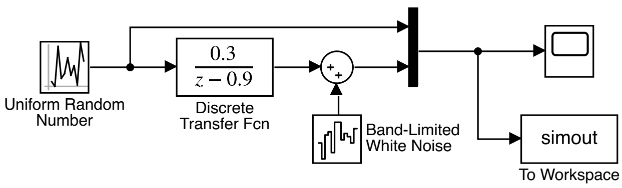
$$H(z) = \frac{0.3}{z - 0.9}$$

pour une période d'échantillonnage $T_e = 1s$.

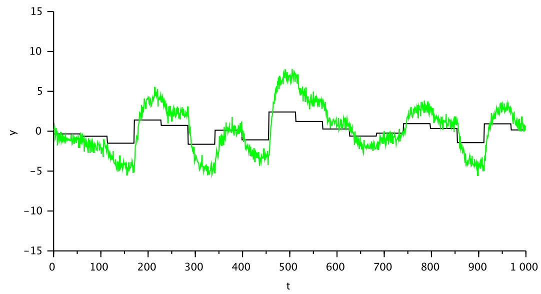
On suppose que ce modèle correspond à un système pour lequel on peut appliquer une entrée et enregistrer la sortie. On peut faire un échelon en entrée. On simulera un bruit additif de sortie à l'aide d'un bloc *Band limited white noise* avec un *noise power* de 0.01 et un *sample time* de 1. On peut faire durer la simulation 1000 secondes.

On veut identifier ce système, c'est à dire trouver des matrices **A**, **B**, **C** et **D** correspondant à un modèle dans sa représentation d'état et dont le comportement entrée/sortie corresponde au système réel.

A la main, on ferait un échelon et on mesurerait quelques paramètres (retard, temps de réponse, amplitude) pour en déduite constante de temps et gain. Avec un ordinateur, on appliquera une séquence pseudo-aléatoire (PRBS) et un algorithme se chargera de calculer les matrices. On validera ensuite le modèle obtenu.



(a) Modèle à identifier



(b) Entrée et sortie (exemple)

FIGURE 1 – Un modèle du premier ordre à identifier

Ici, on prendra un bloc *Uniform random Number* qui génère des entrées aléatoires entre -3 et 3 avec une période de 60 secondes.

Il est assez important de

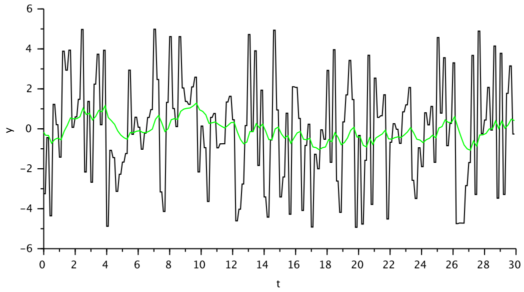
— choisir correctement la plage de variation de l'entrée ou de la sortie à identifier : si on veut identifier le comportement d'une voiture sur l'autoroute, on fera des échelons pour que sa vitesse varie entre 110 km/h et 130 km/h car la reprise d'une voiture varie beaucoup en fonction de la vitesse autour de laquelle on la mesure, et ceci est vrai pour tous les procédés qui ne sont pas vraiment linéaires. De plus, on choisira des valeurs a peu près uniformément réparties dans la plage de valeurs admissibles (voir Figure 2c).

— choisir correctement la fréquence de la suite d'échelons appliquée (idéalement, les échelons ne seraient pas périodiques) : si les échelons se succèdent trop rapidement, le système n'a pas le temps de réagir (Figure 2a) mais s'ils se succèdent trop lentement, la dynamique ne sera pas correctement identifiée (Figure 2b).

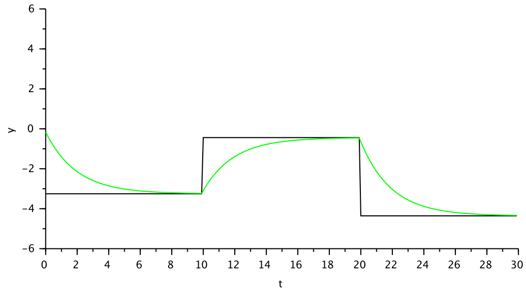
Ensuite, l'identification est assez automatique avec le code suivant :

```
nguess = n;
sim('acquisition.slx',1000);
[A1,B1,C1,result] = scident(simout.data,nguess);
D1 = zeros(p,p);
Te=simout.time(2);
```

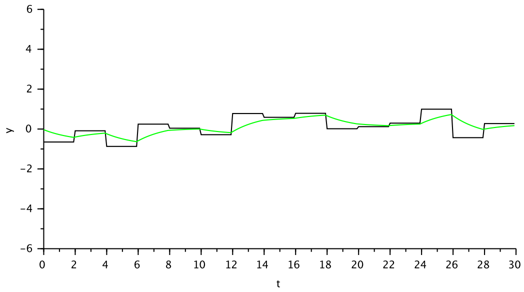
que l'on commente ci-dessous :



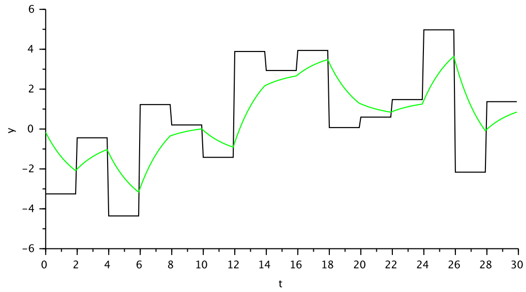
(a) Fréquence trop élevée



(b) Fréquence trop basse



(c) Plage de valeurs trop restrictive

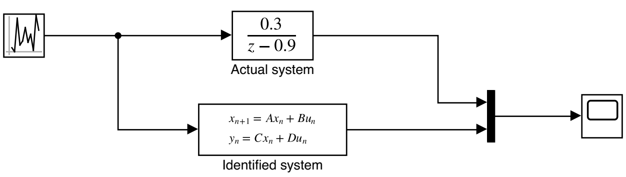


(d) Bonne acquisition

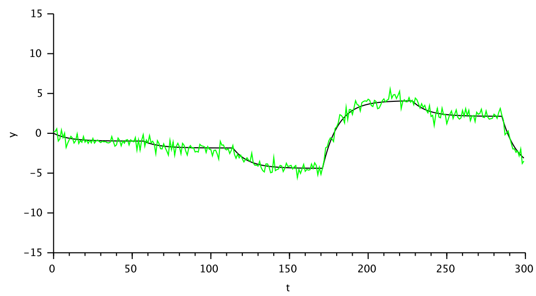
FIGURE 2 – Quelques exemples d'acquisitions plus ou moins bonnes

1. On estime la taille du modèle, cela dépendra surtout du retard, s'il y en a ;
2. Ici, on lance le programme d'acquisition, si cela n'a pas été fait, afin de générer simout de type *Timeseries* ;
3. La ligne suivante est un appel à la fonction qui procède à l'identification. C'est une fonction qu'il faut avoir mis dans le même répertoire et ce n'est pas une fonction Matlab d'origine. Matlab dispose d'autres outils pour faire l'identification mais celui-ci est très efficace.
4. Enfin, on définit $\mathbf{D}1 = 0$ de dimension p (nombre d'entrées et de sorties, $p = 1$ ici) et on récupère la valeur de T_e.

Une fois récupérés $\mathbf{A}1$, $\mathbf{B}1$ et $\mathbf{C}1$, on valide le modèle obtenu avec le schéma ci-dessous (Figure 3).



(a) Schéma de validation



(b) Sortie mesurée et sortie prédite

FIGURE 3 – Résultat de validation

Il faut noter que l'on ne retrouve pas du tout les mêmes paramètres que ceux que l'on a mis dans le système du premier ordre qui avait pour fonction de transfert

$$F(z) = \frac{0,3}{z - 0,9}$$

Ici, on peut trouver (par exemple, cela dépend de la simulation)

$$A = 0.904$$
$$B = -0.643$$
$$C = -0.439$$

Un exercice (pas si trivial !) montre que la fonction de transfert d'un système discret s'écrit

$$F(z) = \mathbf{C}(z\mathbf{Id} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{B}$$

Cela donne ici

$$F(z) = \frac{C\,B}{z - A} \approx \frac{0.282}{z - 0.904}$$

ce qui est effectivement assez proche de la fonction de transfert du système. Pourtant, B et C sont négatifs mais seul leur produit compte.

En général, il ne faut donc pas chercher à interpréter les valeurs des matrices $\mathbf{A}$, $\mathbf{B}$ et $\mathbf{C}$, mais seulement à comparer le comportement entrée/sortie du système réel et du système identifié.

Exercice 2– Simulation .

On se propose d'identifier un système à deux entrées et deux sorties. Un exemple de tel système est la plaque chaude proposée en TP. Il s'agit d'une plaque métallique sur laquelle sont montées deux résistances chauffantes sur deux cotés opposés de la plaque. A coté de ces résistances électriques, on a positionnés deux thermocouples qui mesurent la température sur la plaque en ces deux points (cf Figure 4).

La chaleur apportée par la résistance `R1` va rapidement diffuser vers le capteur de température `T1`. On peut supposer que la réponse du capteur de température `T1` à un échelon de tension sur `R1` sera un modèle du premier ordre. Mais la chaleur va continuer à diffuser (dans une moindre mesure) et sera captée par `T2`. Là aussi, on peut supposer que la relation entre `R1` et `T2` est un premier ordre. Le même phénomène se produit depuis `R2` vers `T2` et `T1` et les deux effets vont s'ajouter. Au total, le modèle devrait ressembler à celui de la Figure 5 (qui a été réalisé en Scilab, il sera un peu plus simple en Matlab puisque par exemple, il est inutile de mettre les blocs d'horloge). Sur cette figure, on a choisi des systèmes du premier ordre de façon arbitraire. Ce modèle va nous servir à générer les sorties correspondant à des entrées qui varient aléatoirement.

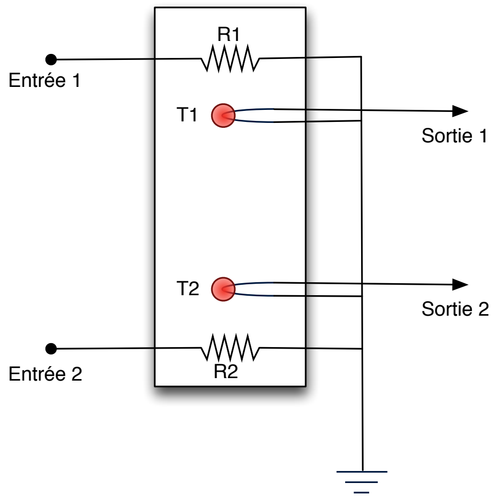


Figure 4 – Un système à 2 entrées / 2 sorties

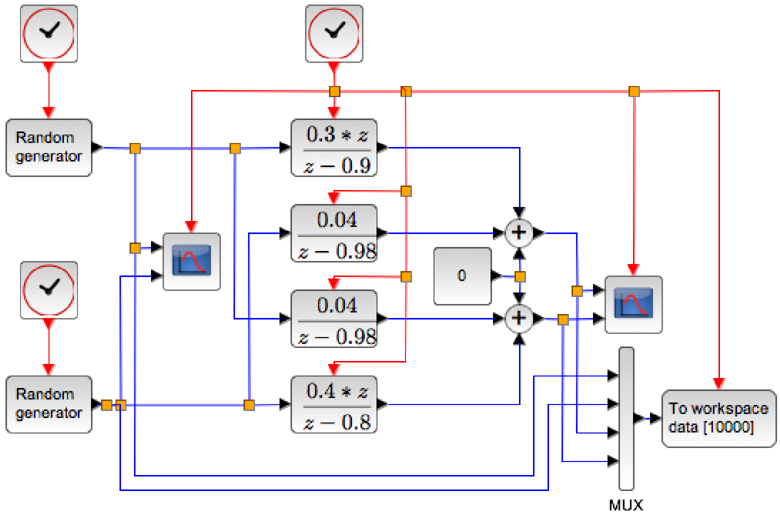
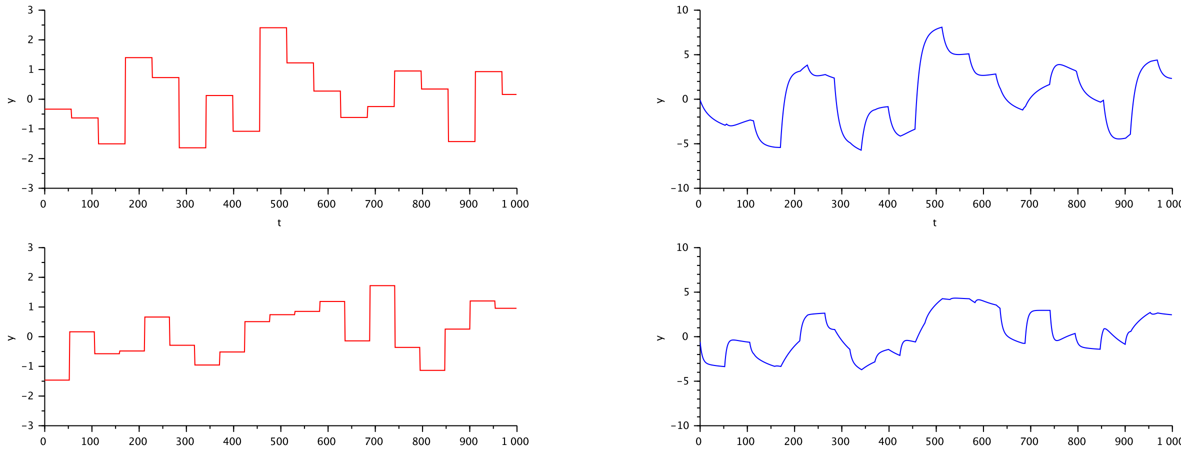


FIGURE 5 – Modèle à identifier

Sur les Figures 6, on a représenté les entrées et les sorties correspondantes du système. Bien que ce système ait été simulé, on pourrait obtenir le même type d'information d'un système réel. il suffit de lui appliquer des entrées qui varient de façon aléatoire (ou en tous cas qui varient beaucoup) et d'enregistrer les sorties correspondantes.



(a) Entrées (b) Sorties

FIGURE 6 – Acquisition

Identifier ce système.

Pour faire une bonne acquisition :

— choisir correctement la période des échelons en entrée, pour bien voir la dynamique de la réponse ;

— choisir l'amblitude des échelons pour explorer des valeurs représentatives autour desquelles on veut stabiliser le système ;

— ne pas synchroniser les échelons s'il y a plusieurs entrées, de façon a bien distinguer les contributions de chaque entrée sur chaque sortie (périodes et seed)