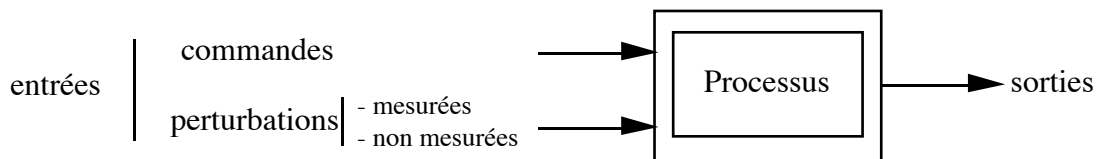


PROBLÉMATIQUE DE LA CONCEPTION D'UN SYSTÈME DE COMMANDE

LE PROCESSUS À COMMANDER.

Les processus que nous considérons sont des systèmes physiques qui évoluent au cours du temps, sous l'effet d'influences internes et externes, et sur lesquels on peut faire des observations, c'est-à-dire des mesures. Les signaux qui nous intéressent sont appelées *variables de sortie*. Les grandeurs agissant sur le processus, et donc sur ses sorties, sont appelées *variables d'entrée*. Le processus est affecté par deux types de variables d'entrée : les *commandes*, sur lesquelles on peut agir, et les *perturbations*, sur lesquelles on n'a pas d'action. Parmi ces dernières, on distingue les *perturbations mesurées* et les *perturbations non mesurées*.



Le processus à commander.

Nous nous intéressons à des *processus dynamiques*, c'est-à-dire des processus dont la valeur des sorties à un instant donné ne dépend pas uniquement des valeurs de ses entrées à ce même instant, mais aussi de leurs valeurs passées. Le concept de processus, ou de système physique, est en fait inséparable du concept de *modèle*, conçu comme *système représentatif d'un système physique*. Nous supposons que les processus qui nous intéressent peuvent être convenablement décrits par des modèles mathématiques. De tels modèles sont caractérisés par des *variables d'état*, qui constituent l'information minimale nécessaire au calcul de l'évolution des sorties, si toutes les entrées sont connues.

Commander un processus, c'est déterminer les commandes à lui appliquer, de manière à assurer aux variables d'état ou aux sorties qui nous intéressent un comportement précisé par un cahier des charges. Ces commandes sont délivrées par un *organe de commande* ; le processus et son organe de commande constituent le *système de commande*. L'élaboration de l'organe de commande s'articule en plusieurs étapes.

LES ÉTAPES DE LA CONCEPTION D'UN ORGANE DE COMMANDE.

Choix d'un modèle du processus.

Un modèle du processus est nécessaire à la synthèse de l'organe de commande. La modélisation consiste à rassembler les connaissances que l'on a du comportement dynamique du processus, par une analyse physique des phénomènes mis en jeu, et une analyse des données expérimentales. Ces analyses conduisent à la définition des grandeurs caractérisant le processus, c'est-à-dire ses entrées, ses variables d'état, ses sorties, et aussi les perturbations, mesurables ou non, auxquelles il est soumis. Dans le cadre de ce document, nous faisons l'hypothèse que les sorties du processus sont des fonctions déterministes d'arguments qui sont son état, les commandes, et les perturbations, qu'elles soient mesurées ou non, déterministes ou non. La structure de modèle dont on fait ainsi l'hypothèse qu'elle décrit correctement le processus est appelée *modèle-hypothèse*. En général, la démarche de modélisation conduit à plusieurs modèles-hypothèse concurrents.

Estimation des paramètres du modèle (identification).

Pour un modèle-hypothèse donné parmi ceux retenus, le but de cette étape est de configurer et de sélectionner le meilleur modèle parmi différents modèles de la structure du modèle-hypothèse, sur la base d'un critère de performances. Bien entendu, comme le véritable but de notre démarche est la conception d'un organe de commande à partir d'un modèle, le meilleur d'entre eux est celui qui conduit aux meilleures performances du système de commande, au sens du cahier des charges. Il est évidemment plus économique, et donc préférable, de se fonder sur un critère qui ne nécessite pas la réalisation complète du système de commande pour sélectionner ce modèle : le meilleur modèle est défini comme celui dont l'erreur de prédiction est la plus faible. Pour obtenir ce modèle, il faut le chercher au sein d'une famille de modèles paramétrés. L'estimation des paramètres d'un modèle est donc effectuée de manière à *minimiser l'erreur de prédiction*, à partir de mesures effectuées sur le processus (ensemble d'apprentissage). La famille de modèles paramétrés que nous considérons dans ce travail est celle des réseaux de neurones, qui a l'intérêt de posséder la propriété d'approximation universelle. Leurs paramètres sont les coefficients des réseaux, et leur estimation correspond à la *phase d'apprentissage* dans le "jargon neuronal". Dans le cadre de ce mémoire, le réseau obtenu en fin d'identification est essentiellement utilisé comme *modèle de simulation* pour la synthèse hors-ligne d'un organe de commande. Nous nous intéressons à des modèles dont l'apprentissage est réalisé *préalablement* à leur utilisation pour la synthèse de l'organe de commande (système non adaptatif).

Conception de l'organe de commande.

Cette étape est celle du choix de l'architecture de l'organe de commande et de la structure des éléments qui le composent, choix effectué en fonction du modèle du processus mis au point et du cahier des charges, qui spécifie les performances désirées pour le système de commande en régulation et, le cas échéant, en poursuite. L'organe de commande comprend nécessairement un élément, le *correcteur*, qui effectue le calcul de la commande à appliquer au processus à partir de la

consigne et de l'état du processus, par exemple. Il comprend en général aussi d'autres éléments : un modèle de référence, un observateur, ou encore un " modèle interne ". Le correcteur peut avoir la structure d'un PID, ou celle d'un correcteur par retour d'état linéaire ou non... : cette structure est choisie en fonction de la tâche, définie par le cahier des charges, que doit remplir le système de commande.

Estimation des paramètres du correcteur.

La dernière étape consiste à configurer le correcteur pour que l'organe de commande assure la tâche définie à l'étape précédente. Cette configuration est effectuée hors-ligne à l'aide du modèle : ceci caractérise les méthodes indirectes de synthèse du correcteur. Comme pour la modélisation, nous considérons des correcteurs réalisés par des réseaux de neurones, dont la structure a été fixée lors de la définition de l'organe de commande. L'estimation des coefficients du correcteur correspond à la *phase d'apprentissage* du réseau de neurones. Nous nous intéressons à la synthèse d'organes de commande *non adaptatifs*, c'est-à-dire pour lesquels l'apprentissage du correcteur est entièrement réalisé *préalablement* à son utilisation avec le processus.

En réalité, la conception d'un organe de commande est une procédure itérative, surtout lorsque celui-ci n'est pas adaptatif. Car, comme nous l'avons signalé plus haut, un réseau modèle ne peut être définitivement rejeté ou validé qu'en fonction des performances du système de commande élaboré à partir de ce modèle.

SUITE DE LA PREMIÈRE PARTIE.

La suite de cette première partie suit le fil conducteur qui vient d'être exposé. Le chapitre 2 présente les différents modèles de processus que nous utilisons. Au chapitre 3, nous traitons de l'estimation des paramètres d'un modèle donné, c'est-à-dire de l'apprentissage et de la sélection du meilleur modèle. Le chapitre 4 expose la mise en œuvre de la modélisation pour deux processus simulés, ainsi que pour l'actionneur d'un bras de robot.

Nous présentons au chapitre 5 les divers systèmes de commande que nous avons étudiés, et l'apprentissage des correcteurs utilisés par ces systèmes. Le chapitre 6 enfin, est consacré à la commande des processus simulés introduits au chapitre 4.

