



HAL
open science

L'AUTO, c'est que des MATHS!!! Enseignement de l'automatique en filières non spécialisées

Eric Pigeon, Olivier Gehan, Mathieu Pouliquen, Simon Thibault

► To cite this version:

Eric Pigeon, Olivier Gehan, Mathieu Pouliquen, Simon Thibault. L'AUTO, c'est que des MATHS!!! Enseignement de l'automatique en filières non spécialisées. CETSIS-EEA, Mar 2013, caen, France. 4 p. hal-01044521

HAL Id: hal-01044521

<https://hal.science/hal-01044521v1>

Submitted on 23 Jul 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

« L'AUTO, c'est que des MATHS !!!! »

Enseignement de l'automatique en filières non spécialisées

Eric Pigeon †, Olivier Gehan †, Mathieu Pouliquen †, Simon Thibault ††
eric.pigeon@unicaen.fr

Adresses : † Greyc/Equipe Automatique – bat C, bureau 110 – Ensicaen 14035 Caen Cedex
†† Responsable du Centre de Formation de Caligny, C.I.R.I.A.M, 61100 Caligny

RESUME : Nous présentons dans cette communication, une approche de l'enseignement de l'automatique pour des étudiants non spécialistes de l'E.E.A. Cette approche, mettant expérimentalement en avant les problématiques du bouclage, permet de justifier la nécessité de la modélisation et de la maîtrise des outils mathématiques inhérents à cette étape. Après deux ans d'expérimentation dans une filière de formation d'ingénieurs par alternance en « Mécanique et génie des matériaux » à l'ENSICAEN, nous pouvons dire que cette approche évite un désintérêt lié à l'obstacle mathématique des étudiants pour l'automatique et permet d'introduire des notions jugées incompréhensibles par les étudiants auparavant (optimisation, algorithme de commande avancées, ...).

Mots clés : Automatique continu, méthode pédagogique, enseignement par alternance.

1 INTRODUCTION

L'étude des asservissements ou automatique est un domaine des sciences de l'ingénieur de plus en plus transversal avec le resserrement des tolérances dans l'industrie. Cet enseignement est maintenant dispensé en tant qu'élément de culture générale de l'ingénieur dans beaucoup de formations même si celles-ci sont assez éloignées des domaines de l'E.E.A. Une autre particularité de l'automatique est qu'elle utilise de nombreux outils mathématiques pour modéliser, analyser et faire la synthèse d'un asservissement [1],[2]. La force de l'automatique linéaire est de s'appuyer sur la théorie des équations différentielles à coefficients constants, ce qui lui a permis de développer tout cet arsenal d'outils temporel et fréquentiel. Ces outils qui sont utilisés pour prévoir le comportement temporel des systèmes dynamiques sont très souvent éloignés de ceux qui sont habituellement utilisés par ces étudiants. Si cette connivence avec les mathématiques ne porte généralement pas à confusion auprès d'étudiants concernés par le sujet, elle peut rebuter ceux qui en sont éloignés.

Etant confronté à cette problématique dans le cadre d'une formation d'ingénieur par alternance en Mécanique et Génie des Matériaux de l'ENSICAEN, nous avons cherché à mettre en place un enseignement de l'automatique continu permettant d'éviter ce désintérêt des étudiants. Une première séance expérimentale met en avant l'ensemble des problèmes rencontrés lors de l'asservissement d'un procédé. Lors de cette séance, l'étudiant confronté à un cas concret est amené, par l'échec d'une approche intuitive, à la nécessité de quantifier a priori ses actions et de déterminer un modèle mathématique du système à commander.

Cet article présente dans un premier temps le programme très classique enseigné dans la formation.

Ensuite nous détaillons la première séance expérimentale et les éléments qui en sont tirés pour la justification de certaines parties du cours. Nous terminons par une synthèse de notre expérience.

2 PRESENTATION DE L'ENSEIGNEMENT

2.1 Le programme

Le module d'enseignement dispensé est une initiation à l'analyse et à la synthèse de boucles d'asservissement continues. Les systèmes dynamiques sont présentés sous la forme d'une mise en série de systèmes élémentaires du premier et du second ordre. Les propriétés temporelles de ces derniers, particulièrement les notions de rapidité et d'amortissement, sont étudiées en cours. Cela nous permet de définir dans le plan complexe le domaine de stabilité et de performances. La réponse indiciale du procédé est présentée comme le moyen expérimental d'identifier sa fonction de transfert.

La nécessité du bouclage est mise en avant au travers d'un cahier des charges à respecter qui intègre les notions de stabilité et de performances attendues du système de commande. Les structures de régulateurs étudiées correspondent aux solutions majoritairement implémentées industriellement, en l'occurrence le régulateur PID et ses variantes. La méthode de synthèse retenue est la technique du placement de pôles. La position des pôles de la boucle fermée est déterminée dans le domaine de stabilité et de performances à partir des contraintes imposées par le cahier des charges.

Le volume horaire alloué à ce module est de dix heures de cours, dix heures de travaux dirigés et quinze heures de travaux pratiques.

2.2 Les procédés expérimentaux et leur environnement.

Le choix des procédés étudiés lors de cet enseignement a été influencé par l'aspect périphérique de l'automatique dans la formation et par le type d'asservissement auquel ces futurs ingénieurs pourront être confrontés (procédés stables de nature thermique et électromécanique). Les procédés expérimentaux sont un aérotherme de type *Amira* (fig 1) et un moteur à courant continu ERD 050 de *Didalab* (fig 2).

Pour le procédé thermique, l'air ambiant est chauffé par une résistance électrique puis insufflé dans la tubulure à l'aide d'un ventilateur. La température de l'air au sein de la tubulure est mesurée à l'aide d'une sonde NiCr-Ni. Les deux signaux de commande (puissance de chauffe de la résistance et vitesse de ventilation) et le signal du capteur sont disponibles en [0 10] Volts. Le procédé est interfacé avec un ordinateur à l'aide d'une carte d'acquisition *Measurement Computing DAS 6025*. L'environnement *Matlab/simulink* © a été choisi pour la synthèse et la mise en œuvre de l'asservissement afin de focaliser l'attention des étudiants sur le problème de commande et éviter les difficultés d'informatique industrielle. A cet effet, les blocs *Simulink* de pilotage de la carte DAS 6025 ont été réalisés en utilisant la « *Data - acquisition Toolbox* » de *Matlab*©.



fig 1 : Aérotherme



fig 2 : Moteur à courant continu

3 SEANCE INITIALE

La première séance expérimentale est réalisée avant le début des cours sur les procédés à commander. Elle est l'occasion d'introduire l'ensemble du vocabulaire spécifique à l'automatique et l'occurrence les notions de consigne, de commande, de sortie et de perturbation. La distinction entre consigne et commande est en effet souvent floue pour les étudiants. L'objectif est de placer les étudiants devant une problématique réelle sur un procédé physique avec deux attentes majeures :

- ✓ Convaincre de la nécessité d'une rétroaction.
- ✓ Montrer la nécessité de modéliser le système et de formaliser mathématiquement la problématique.

Pour atteindre cet objectif, une série d'expériences est réalisée lors d'une séance de « TD expérimental » ce qui évite une perte de temps trop importante (durée : 1h30). Les étudiants doivent répondre collectivement à un certain nombre de questions. Un tableau à compléter leur est fourni lors de cette séance, il répertorie toutes les connaissances à acquérir pour réaliser correctement un asservissement. Il est ensuite utilisé pour justifier les différents chapitres du cours magistral. La liste des expériences et des problématiques soulevées dans le cas de l'aérotherme est donnée ci-dessous (les problématiques sont notées en gras dans le texte).

3.1 Expérience n°1

Les étudiants doivent déterminer expérimentalement les valeurs de la commande pour trois valeurs de sortie différentes (40°, 50° et 60°). Un quatrième point est ensuite demandé afin d'amener les étudiants à comprendre l'utilité d'un premier modèle élémentaire qui permet d'éviter une recherche coûteuse en temps. Ce premier modèle est la **caractéristique statique** (fig 3).

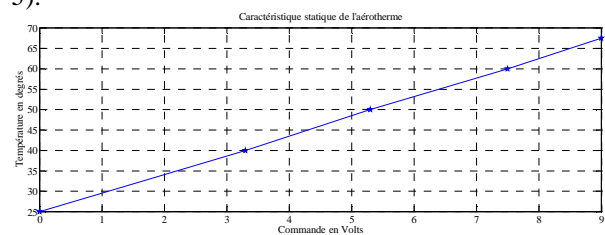


fig 3 : Caractéristique statique de l'aérotherme

Cette caractéristique permet de mettre en évidence les notions de linéarité, de point de fonctionnement (uniquement dans le cas de l'aérotherme) et de gain statique (pente de la caractéristique statique).

3.2 Expérience n°2

Les étudiants réalisent deux réponses indicielles (fig 4) de même amplitude autour de deux points de fonctionnement (35° et 50°).

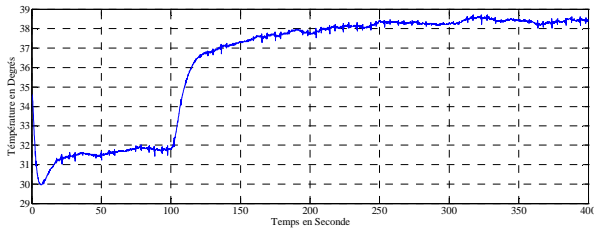


fig 4 : Réponse indicielle de l'aérotherme autour de 35°

La linéarité du procédé est confirmée par la mesure des variations statiques de température. Ces variations sont reliées au gain statique calculé lors de l'expérience 1 (**point de fonctionnement**). Cette expérience permet également d'introduire la notion de dynamique (**temps de réponse**).

3.3 Expérience n°3

Après avoir modifié l'angle d'ouverture du papillon d'admission d'air, les étudiants doivent à nouveau obtenir une température de 50°. La fermeture du papillon change la valeur de la commande obtenue à l'expérience 1 pour cette température.

Cette expérience permet d'introduire la notion de **perturbation**. Dans cette configuration, c'est à l'opérateur de la compenser (notion de **boucle ouverte**). Dans un objectif d'automatisation, les étudiants arrivent à la construction d'une **boucle fermée** en analysant leur comportement face à cette perturbation.

3.4 Expérience n°4

Le schéma d'asservissement élémentaire et intuitif en boucle fermée est construit sous *Simulink* avec une prise en compte du point de fonctionnement à 35° (fig 5). La notion de **consigne** est alors introduite comme étant la variation souhaitée de la sortie autour du point de fonctionnement. Une nouvelle réponse indicielle est réalisée.

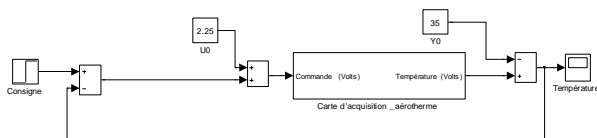


fig 5 : Schéma d'asservissement élémentaire

Deux conclusions essentielles sont tirées de cette expérience. Du point de vue statique, la température finale atteinte ne correspond pas à celle souhaitée (**performance statique**). D'un point de vue dynamique, le temps de réponse est diminué par rapport à celui de la boucle ouverte (**performance dynamique**).

3.5 Expérience n°5

Dans les conditions de l'expérience n°4 et en régime établi, la perturbation sur le papillon d'admission est provoquée. Les étudiants constatent que la boucle fermée permet de rejeter partiellement l'effet de la perturbation.

3.6 Expérience n°6

A partir des conclusions des deux dernières expériences, les étudiants arrivent à la nécessité d'implanter un correcteur pour diminuer l'erreur statique.

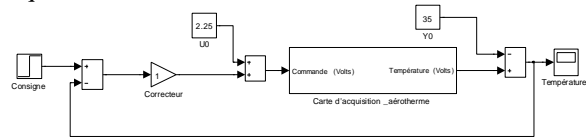


fig 6 : Schéma d'asservissement avec correcteur proportionnel

Avec un simple correcteur proportionnel (fig. 6), ils constatent la diminution de l'erreur de position et du temps de réponse en fonction du gain (**performances statiques et dynamiques**). Les étudiants observent l'apparition d'oscillations et de l'instabilité (**stabilité**) et donc du fameux compromis performance/stabilité. Le signal de commande est affiché afin de mettre en évidence son éventuelle saturation et sa sensibilité aux bruits de mesure.

4 EXPLOITATION DES RESULTATS POUR LA CONSTRUCTION DU COURS

Les expériences réalisées dans la séance de TD expérimental vont justifier l'organisation de l'enseignement magistral. Nous faisons dans ce paragraphe le lien entre les expériences et les chapitres de cours.

- ✓ Chapitre 1 : Modélisation des systèmes linéaires invariants dans le temps, fonction de transfert, schéma blocs (**expériences 1 et 2**).
- ✓ Chapitre 2 : Systèmes du premier et du second ordre (**expérience 2**).
- ✓ Chapitre 3 : Stabilité (**expérience 6**)
- ✓ Chapitre 4 : Performances statiques et dynamiques, rejet de perturbations (**expérience 3, 4, 5**).
- ✓ Chapitre 5 : Méthodes de synthèse de régulateurs P, PI, PID.

A la fin du cours, les étudiants retrouvent les deux procédés pilotes (moteur et aérotherme) lors de cinq séances de travaux pratiques. La première séance est une initiation au logiciel Matlab / Simulink. Ensuite, les étudiants doivent synthétiser un asservissement en répondant à un cahier des charges. Celui-ci impose un dépassement, un temps de réponse à 5%, une précision statique et une amplitude maximale de la commande. A noter que les cahiers des charges fournis à chaque binôme sont différents de manière à éviter les solutions collégiales.

La figure 7 montre les performances temporelles d'un asservissement synthétisé par les étudiants. Le correcteur utilisé est un Proportionnel Intégral et la méthode de synthèse est un placement de pôles.

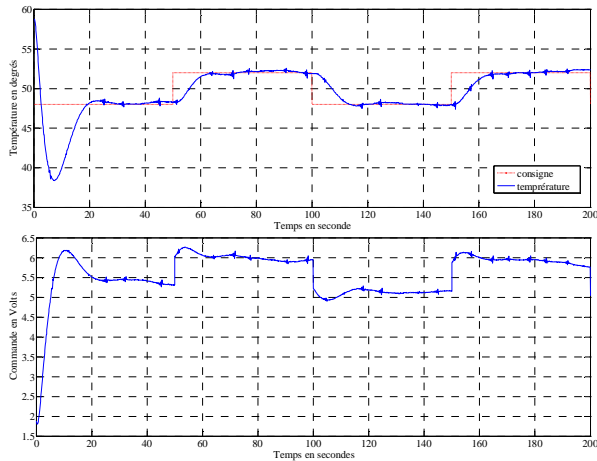


fig 7 : Performances temporelles de l'asservissement

Les étudiants les plus avancés et les plus motivés peuvent ensuite s'essayer sur un procédé instable (asservissement en position d'une bille sur un rail [3]). Pour ce procédé de nature instable, un modèle de connaissance est obligatoire, il est obtenu à partir du Principe Fondamental de la Dynamique que les étudiants connaissent. Sur la base de ce modèle, un correcteur stabilisant doit être synthétisé. Ce correcteur doit obligatoirement posséder une action de type avance de phase [4]. Sa mise au point se révèle toujours un peu plus délicate et nécessite une aide de l'équipe pédagogique.

5 CONCLUSION-RETOUR D'EXPERIENCE

Après deux ans d'expérimentation, cette approche de l'enseignement de l'automatique a permis de ne plus entendre la fameuse phrase « c'est des maths !!! ». Les étudiants comprennent la nécessité d'utiliser des outils mathématiques pour obtenir a priori des performances souhaitées. Le taux d'élève se désintéressant de la matière en cours de cursus se trouve nettement réduit pour un coût temporel relativement modique (1h30). Le point faible de cette approche est la nécessité d'avoir suffisamment de procédés expérimentaux stables et suffisamment rapides disponibles.

Bibliographie

- [1] O. Gehan, E. Pigeon, M. Frikel, « Représentation des signaux et systèmes » Polycopié de cours, ENSICAEN, 2012.
- [2] P. Prouvost, "Automatique", Sciences Sup, ISBN 978-2-10-054777-7.
- [3] http://www.amira.de/bw500_engl.html
- [4] K. J. Aström, T. Häggglund, "P.I.D. Controllers, 2nd edition" ISBN 1-55617-516-7, 1995