

Une séance qui en pince pour le modèle

ERWIN AUTIER ^[1]

Cette activité menée en enseignement technologique transversal par une classe de terminale STI2D propose de choisir puis comparer des méthodes de résolution de problème. Une démarche « hybride » qui laisse une large part d'initiative aux élèves, et démontre l'intérêt de la simulation.

Enseignant en STI2D au lycée Jean-Guéhenno à Fougères en Ille-et-Vilaine, j'ai pratiqué cette séance dans le cadre de mon enseignement technologique transversal, en fin de deuxième trimestre de terminale. Elle met en œuvre une approche pédagogique inductive à mi-chemin de la démarche d'investigation et de celle de résolution de problème technique. L'objectif de formation visé est l'utilisation d'un modèle de comportement pour prédire un fonctionnement ou valider une performance.

Présentation de la séance

Cette séance fait partie d'une séquence sur « l'optimisation d'un système lors de sa conception » constituée de quatre séances à effectif réduit en laboratoire et de trois séances en classe entière :

Séance labo 1 : Étude de dossier technique permettant des révisions sur la démarche d'écoconception.

Séance labo 2 : Utilisation et paramétrage d'un modèle Xcos de l'AR.Drone. Les élèves cherchent à faire correspondre les résultats du modèle avec ceux du réel.

Séance classe entière 1 : TD sur la simulation des effets aérodynamiques sur une voiture à l'aide d'un schéma-bloc Xcos : identification des paramètres, analyse des résultats d'une simulation.

Séance labo 3 : C'est la séance présentée ici, portant sur les écarts entre systèmes réel, simulé et souhaité, et sur la place du modèle dans le processus de conception.

[1] Professeur agrégé de sciences industrielles de l'ingénieur spécialité ingénierie mécanique au lycée Jean-Guéhenno de Fougères (35).

Séance classe entière 2 : TD sur l'écart entre systèmes réel, souhaité et simulé inspiré du sujet de bac de septembre 2013 (store motorisé).

Séance labo 4 : Séance d'étude de dossier technique sur le choix d'un matériau en fonction des contraintes et des objectifs. Révision des éléments vus en première et approfondissement.

Séance classe entière 3 : Évaluation sommative.

● **Situation déclenchante** : Les élèves ont reçu un mail en tant que membres d'une entreprise spécialisée dans le reconditionnement de robots (voir en encadré). Un client demande qu'on lui fournisse le nouveau programme à injecter dans la carte de commande Arduino pour modifier le temps de fermeture et l'écartement en position fermée de la pince du robot **1** qui lui a été livré, et ce, dans 2 heures au maximum.

● Objectifs pédagogiques :

– Faire comprendre aux élèves le rôle de la simulation dans un processus de conception ou de réglage ;
– Mettre en évidence la complémentarité des modélisations (cinématique, SysML, schéma-bloc), que les écarts sont inévitables entre le système souhaité, le système simulé et le système réel, savoir choisir et employer les outils mathématiques adéquats pour la comparaison.

Référence au programme :

OS : Utiliser un modèle de comportement pour prédire un fonctionnement ou valider une performance.

2.3.1. Modèle de comportement :

Identification des variables du modèle, simulation et comparaison des résultats

mots-clés
pédagogie



1 La pince de robot

obtenus au système réel ou à son cahier des charges.

● **Prérequis** : lecture de schémas cinématiques, utilisation et paramétrage d'un schéma-bloc, relation entre vitesse angulaire, angle parcouru et temps de parcours, lecture de diagrammes SysML (cas d'utilisation, exigences)

● **Organisation du groupe classe** : effectif réduit (demi-classe) réparti en îlots de 3 ou 4 élèves durant une séance de 3 heures (dont 15 min de pause)

● Matériel nécessaire par îlot :

Un ou deux postes informatiques équipés du logiciel Scilab/Xcos

Une pince motorisée par un moteur pas à pas

Une carte Arduino Uno

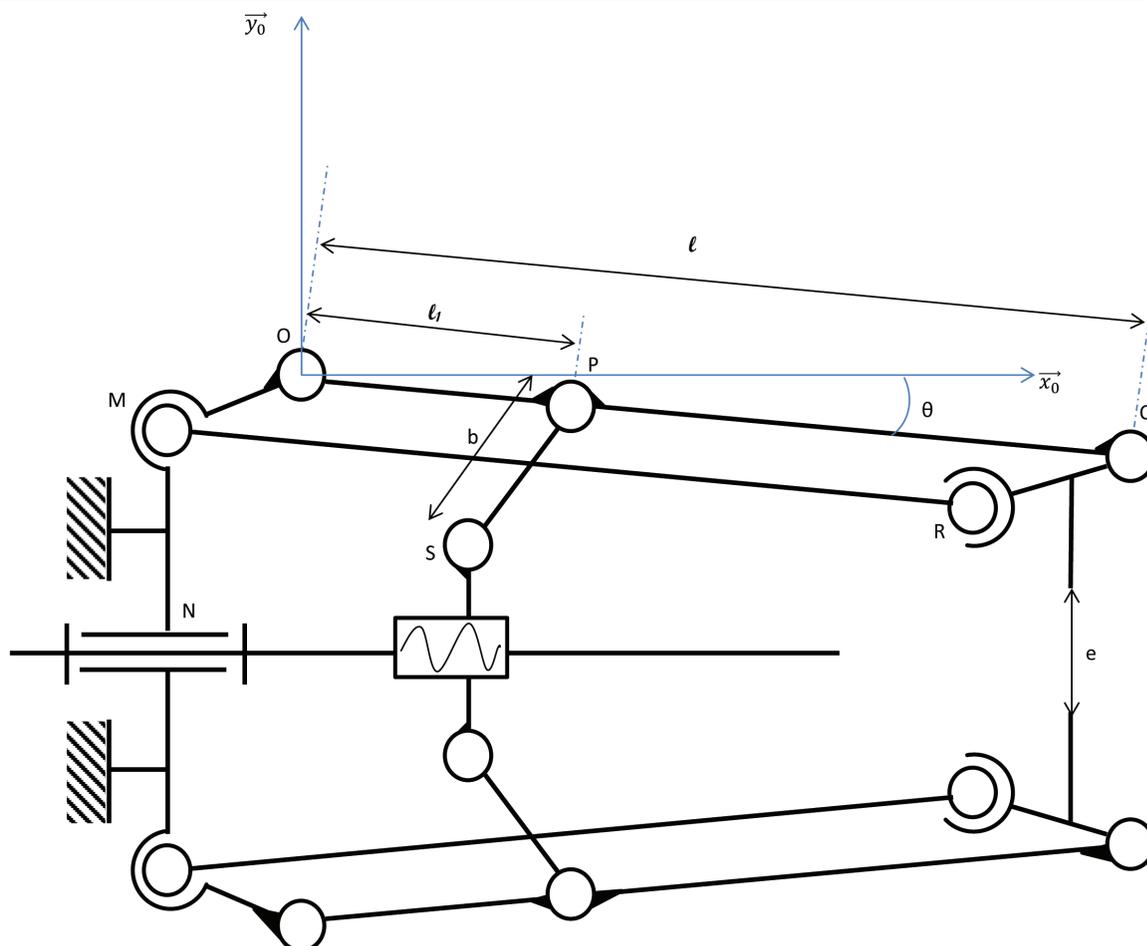
Une platine shield Adafruit pour moteur

Un bouton-poussoir sur une plaque de prototypage pour réaliser un pull-down permettant une commande de fermeture et d'ouverture de la pince

Un générateur de tension (l'ensemble des éléments constituant le système réel est fourni déjà câblé si les élèves le demandent)

Un pied à coulisse

Un chronomètre



Une étude géométrique de la pince nous permet de démontrer que l'écart entre les deux mors de la pince est égal à :

$$e = e_{initial} + \left(\frac{l}{l_1}\right) \frac{4(x_s^2 + y_s^2 + l_1^2 - b^2)(x_s^2 + y_s^2) - 2x_s \left[x_s(x_s^2 + y_s^2 + l_1^2 - b^2) + \sqrt{[x_s(x_s^2 + y_s^2 + l_1^2 - b^2)]^2 - (x_s^2 + y_s^2)[(x_s^2 + y_s^2 + l_1^2 - b^2) - 4y_s^2 l_1^2]} \right]}{2(x_s^2 + y_s^2)y_s}$$

Remarques :

y_s , l , l_1 , $e_{initial}$ et b sont des constantes ; seuls x_s (entrée) et e (sortie) sont variables. L'équation ci-dessus a déjà été intégrée au modèle Xcos de la pince motorisée.

3 Le schéma cinématique et la loi d'entrée-sortie de la pince

```

Avec_Bouton | Arduino 1.0.5
Fichier Edition Croquis Outils Aide

Avec_Bouton $
----> http://www.adafruit.com/products/1438
*/

#include <Wire.h>
#include <Adafruit_MotorShield.h>
#include "utility/Adafruit_PWMServoDriver.h"

int APPUI=LOW;
int BP=2;
int etatPINC=0; // 0 pour ouverte et 1 pour fermée
int etatPINC_AVANT=0; // mémorisation de l'état précédent
int NbPas=600; // Nombre de pas que devra parcourir le moteur

// Create the motor shield object with the default I2C address
Adafruit_MotorShield AFMS = Adafruit_MotorShield();
|
// Connect a stepper motor with 200 steps per revolution (1.8 degree)
// to motor port #2 (M3 and M4)
Adafruit_StepperMotor *myMotor = AFMS.getStepper(200, 2);

void setup() {
  Serial.begin(9600); // set up Serial library at 9600 bps
  Serial.println("Stepper test!");

  pinMode(BP, INPUT);
  digitalWrite(BP, HIGH);

  AFMS.begin(); // create with the default frequency 1.69kHz
  //AFMS.begin(1000); // OR with a different frequency, say 1kHz

  myMotor->setSpeed(100); // Définition de la vitesse de rotation en tr/min
}

```

2 Le programme Arduino et les paramètres à modifier

Le matériel n'a pas été choisi au hasard. Il est fondamental que chaque équipe puisse expérimenter sur un système réel si elle le souhaite ; en cas de demande, il faut pouvoir y répondre. Le couple moteur pas à pas et shield Adafruit permet d'avoir une commande simple dans notre cas. En effet, on peut directement programmer sous Arduino, grâce aux bibliothèques Adafruit, le nombre de pas à parcourir ainsi que la vitesse de rotation. Ces deux paramètres sont clairs pour les élèves ; les retrouver dans le schéma-bloc et dans le programme Arduino 2 n'est donc pas un obstacle infranchissable. Enfin, pour que l'utilisation du modèle ait un intérêt, dans notre cas, il est intéressant que la relation d'entrée-sortie liant l'angle parcouru par le moteur pas à pas à l'écart en position fermée ne soit ni linéaire ni trop simpliste 3.

Le déroulement de la séance

Le déroulement de la séance suit un certain protocole auquel sont habitués les élèves depuis le début de l'année. Cette routine permet un gain de temps lors du lancement de la séance et influe favorablement sur la prise d'initiative de l'élève : ils savent qu'ils émettront des propositions durant la séance.

Dès leur arrivée en classe, la répartition du temps de travail est donnée aux élèves :

- 5 min d'observation de la situation et de réflexion personnelle dans le silence total
- 5 min de mise en commun par îlot
- 2 h de travail en équipe
- 30 min de mise en commun et de structuration

Chaque durée est affichée à l'aide d'un compte à rebours au tableau pour que les élèves sachent en permanence le temps qu'il leur reste pour chacune des étapes.

ÎLOT 1	ÎLOT 2
<p>Demande 1 : Documents techniques Fichier Arduino Constats élèves : Loi d'entrée-sortie trop lourde Paramètres à modifier repérés</p> <p>▼</p> <p>Question prof : Connaissez-vous un outil qui permette de prédire le comportement d'un système ?</p> <p>Réaction élèves : Auriez-vous le modèle Xcos du système ?</p> <p>▼</p> <p>Demande 2 : Modèle Xcos Constat élèves : Valeurs des paramètres rapidement identifiées</p> <p>▼</p> <p>Question prof : Pouvez-vous envoyer directement votre nouveau programme ?</p>	<p>Demande 1 : Fichier Arduino Système réel Constats élèves : Paramètres à modifier repérés Temps d'appropriation du système relativement long Temps pour obtenir les bons paramètres trop long si uniquement expérimental</p> <p>▼</p> <p>Question prof : Connaissez-vous un outil qui permette de prédire le comportement d'un système sans passer par l'expérience ?</p> <p>Réaction élèves : Auriez-vous le modèle Xcos du système ?</p> <p>▼</p> <p>Demande 2 : Modèle Xcos</p> <p>Constat élèves : Valeurs des paramètres identifiées</p> <p>▼</p> <p>Question prof : Pouvez-vous envoyer directement votre nouveau programme ?</p> <p>Réaction élèves : Vérifions sur le système</p> <p>▼</p> <p>Constats élèves : Écart entre le réel et le simulé Commencer par l'expérimental a été chronophage Le système réel trouve sa place dans le processus, mais pas au moment auquel nous pensions : la simulation nous aurait fait gagner du temps</p>
<p>Réaction élèves : Serait-il possible de le tester sur le système réel ?</p> <p>▼</p> <p>Demande 3 : Système réel Constat élèves : Il existe un léger écart entre le souhaité, le simulé et le réel</p> <p>▼</p> <p>Question prof : Quelle valeur expérimentale retenez-vous ?</p> <p>Coup de pouce : Rappel sur le programme de maths de première</p> <p>Réaction élèves : Calcul de la moyenne et de l'écart-type après plusieurs expériences</p> <p>▼</p> <p>Constats élèves : Moyenne = outil pertinent pour comparer le réel et le simulé Le modèle permet de gagner du temps Besoin de valider à l'aide du réel</p>	

4 Le déroulement de la phase de recherche pour deux îlots représentatifs

L'observation de la situation et la réflexion personnelle

Ce temps permet à chaque élève de coucher ses hypothèses et observations sur le papier, ce qui facilitera la confrontation lors du travail en groupe. C'est aussi le moyen pour le professeur d'en savoir plus sur les représentations initiales de chaque élève quant au sujet à traiter.

Dans le cas de cette séance, le mail de lancement leur est proposé, et quelques questions sont posées sur la feuille jointe : Quelle est l'attente de votre client ? De quels documents avez-vous besoin pour répondre à cette attente ? De quel matériel ?

La mise en commun par îlot

C'est le moment où chaque élève confronte ses hypothèses à celles des autres membres de son îlot ; la méthodologie que va suivre le groupe se met en place. Le professeur passe dans tous les îlots pour vérifier que l'objectif a bien été ciblé et pour commencer à demander quels seront les documents et le matériel nécessaires à la mise en œuvre de la méthode qu'ils choisissent. Il est donc important, pour que le choix émane réellement des élèves, qu'ils n'aient préalablement pu voir ni le système réel ni les documents disponibles.

Le travail en groupe

Les documents demandés par les élèves, et le matériel le cas échéant,

leur ont été fournis. Ils peuvent alors tester leurs hypothèses en termes de méthode pour répondre en temps et en heure aux attentes de leur client.

Deux grandes orientations se dessinent alors dans le groupe classe : les îlots souhaitant commencer leurs travaux par l'expérimental, et ceux préférant se pencher davantage sur la documentation technique disponible.

La démarche pédagogique adoptée ici met l'initiative des élèves au cœur de la séance ; cependant, il est clair que les objectifs de formation que je me suis fixés doivent être atteints. L'animation de séance est donc essentielle pour que chaque groupe puisse tirer des conclusions pertinentes et structurantes. Elle consistera essentiellement à soulever des interrogations au moment opportun, à proposer des documents « coup de pouce » permettant de régler un problème, et surtout à rester à l'écoute de chaque îlot, de manière qu'aucun ne tombe dans la lassitude ou l'inaction.

Ces interrogations permettent de rediriger le travail si besoin est, mais, autant que possible, sans donner d'indications dirigistes aux élèves : ils doivent rester acteurs de leur séance. Pour la séance qui nous concerne ici, j'ai par exemple demandé aux différents groupes : Savez-vous comment fonctionne la pince ? Connaissez-vous un moyen de prédire un comportement pour des paramètres donnés ? Quel type de représentation permettrait

de comprendre le fonctionnement d'un mécanisme ? Êtes-vous certains de pouvoir envoyer le nouveau programme uniquement en vous basant sur un résultat simulé ? Quelle valeur de vos résultats expérimentaux retiendrez-vous pour comparer votre proposition au cahier des charges ?...

La figure 4 donne le déroulement type de la séance pour deux îlots ayant suivi deux pistes différentes : l'un a demandé les documents techniques et le fichier du programme Arduino en l'état, l'autre le fichier du programme Arduino et le système réel. La confrontation de leurs résultats respectifs sera riche d'enseignements pour les élèves, et le fait de comparer leur choix à celui d'autres groupes facilitera l'assimilation de nouvelles notions.

La structuration

Une fois le temps imparti écoulé, nous passons tous ensemble voir le résultat de chacun des îlots. L'échange entre les différentes équipes et la confrontation des méthodes utilisées mettent en évidence les points suivants :

- l'utilisation du modèle simulé pour approcher les valeurs souhaitées sur le réel permet un gain de temps considérable ;

- il existe toujours des écarts entre le souhaité, le simulé et le réel, et l'utilisation de la moyenne pour les valeurs expérimentales permet d'apprécier la pertinence des outils statistiques pour la comparaison entre des résultats

expérimentaux, variables, et un résultat simulé, constant :

– il y a complémentarité entre les représentations. Le schéma cinématique est-il suffisant ? non. En a-t-on eu besoin pour réaliser et créer le schéma-bloc ? oui. Comment a-t-on pris connaissance du souhait du client ? grâce à la représentation par diagramme SysML.

Pour que le document de structuration soit le plus parlant possible, j'ai préparé une charte graphique, et un membre de chaque îlot vient rédiger directement un petit paragraphe et y associer une illustration. Ce document sera photocopié pour la séance suivante, et mis à disposition des élèves dans le cahier de texte numérique.

Retour d'expérience et développement

La situation proposée a permis une mise en activité rapide des élèves, et l'importante part d'initiative qui leur a été laissée dans le déroulement de

En ligne

Les documents sont disponibles à cette adresse :

http://eduscol.education.fr/sti/ressources_pedagogiques/sti2d-decouvrir-la-pertinence-de-la-modelisation-travers-une-demarche

Un mail pour lancer la séance

Bonjour,

Je me permets de vous contacter car nous avons récemment fait l'acquisition d'un robot Scara reconditionné par votre société.

Nous aimerions mettre à jour très urgemment le programme de fermeture de la pince de ce robot. En effet, lors de notre acquisition, nous vous avons demandé un certain temps de fermeture ainsi qu'un certain écartement des mors de la pince en position fermée (voir en pièce jointe le diagramme d'exigences SysML V1).

Cependant, suite à une modification de notre conditionnement et de notre ligne de production, nous aimerions modifier ces deux paramètres comme indiqué dans le diagramme d'exigences SysML V2 également fourni en pièce jointe.

Nous avons bien conscience de l'exigence qui est la nôtre, mais nous aimerions pouvoir effectuer les premiers tests après réadaptation avant 16 h 00 ce jour.

Serait-il possible de nous envoyer au plus vite le nouveau programme Arduino à implanter dans notre contrôleur de manière que nous puissions réaliser nos essais ?

Merci d'avance.

Cordialement,
E. A.

la séance a entraîné plus d'implication et une meilleure mémorisation.

Certaines difficultés secondaires se sont tout de même présentées ; elles ouvrent des pistes d'approfondissement.

J'ai notamment pu noter la difficulté des élèves à ordonner le choix des paramètres. Ils ne pensent pas forcément à régler d'abord le nombre de pas, et à seulement ensuite trouver la vitesse adéquate pour obtenir le temps de fermeture recherché. Certains règlent d'abord la vitesse pour obtenir la bonne durée, puis modifient le nombre de pas pour obtenir le bon écartement, sans penser qu'ils modifient la durée par la même occasion.

Autre difficulté, le choix du matériel. Pour ma part, j'avais à ma disposition des pinces de robot Scara déjà équipées d'un moteur pas à pas. Ce type de pinces peut facilement être trouvé chez des fournisseurs tels que Lextronic, avec exactement la même cinématique, pour moins de 30 €, mais avec un moteur à courant continu que l'on ne pourra donc pas commander en nombre de pas à parcourir. La mise en place d'un moteur pas à pas pour pallier cette difficulté semble possible, ce qui permettrait alors d'avoir un système simple et utilisable à différents moments du cycle terminal pour un budget total inférieur à 100 € (Arduino Uno, 20 € + shield Adafruit, 19 € + pince, 27 € + moteur pas à pas, 20 €).

L'acquisition d'une pince avec l'électronique de commande est donc tout à fait abordable, mais nécessite quelques adaptations de la part du professeur. Mais, quoi qu'il en soit, le choix de la pince n'est absolument pas restrictif. En effet, le support doit avant tout répondre à certaines exigences suivantes : il doit être motivant et d'une prise en main par les élèves rapide et aisée ; la compréhension des paramètres à modifier (ici le nombre de pas et la vitesse) doit elle aussi être rapide. Quant au modèle fourni aux élèves, il doit être d'une lecture abordable : le manque de lisibilité d'un modèle trop « boîte noire » ou trop complexe (avec transformées de Laplace, par exemple) représentera un obstacle trop grand.

Les compétences et les connaissances abordées lors de cette activité de laboratoire ont par la suite pu être réinvesties de différentes manières, par exemple dans un exercice papier portant sur les écarts entre le modélisé, le réel et le souhaité, mais également (et peut-être surtout) dans les projets de spécialité des élèves.

La démarche pédagogique proposée a suscité la curiosité et un investissement rapide des élèves, notamment grâce à la part d'initiative qui leur a été laissée dans le choix de la méthode de résolution. Tous les groupes ont pu en tirer des conclusions : la comparaison entre le groupe ayant opté pour l'utilisation du modèle tôt dans le protocole de paramétrage et le groupe ayant souhaité travailler directement sur le système réel a mis en évidence la pertinence du système simulé quand bien même les écarts restent inévitables.

Une démarche hybride

Revenons sur cette démarche pédagogique, qui peut poser question.

En effet, la situation proposée aux élèves leur demande de résoudre un problème technique dans un temps imparti ; à première vue, il s'agit donc d'une démarche de résolution de problème technique. Cependant, les éléments structurants et les objectifs de formation de la séance ne relèvent pas à proprement parler de la comparaison des différentes solutions technologiques envisagées, mais visent à susciter une réflexion sur la méthode suivie et sur la complémentarité des outils de modélisation d'un système lors d'une phase de conception ou de réglage. Alors, s'agit-il d'une démarche de résolution de problème technique ou d'investigation sur les outils et méthodes dans une démarche de conception ?

Peut-être n'est-il finalement pas nécessaire de la définir de manière stricte : si elle est « hybride », elle n'en atteint pas moins son objectif, à savoir créer une situation d'apprentissage stimulante, dans laquelle l'essai et l'erreur ont leur place et permettent une remise en cause des représentations initiales des élèves. ■