

## Projet européen Interreg III « Réseau Ressources Formations Industrie (2RFI) »

### Génération de trajectoire d'un robot mobile

Thierry Capitaine<sup>1</sup>, Thierry Venet<sup>1</sup>, Jacky Senlis<sup>2</sup>, Mohamed Hamzaoui<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centre de Robotique, d'Electrotechnique et d'Automatique (CREA),INSSET, tcapitaine@insset.u-picardie.fr

<sup>2</sup>INSSET, 48 rue Raspail BP422 02100 Saint Quentin, jgsenlis@aol.com

<sup>2</sup>INSSET, 48 rue Raspail BP422 02100 Saint Quentin, mohamed.hamzaoui@insset.u-picardie.fr

**RESUME** Cet article présente les différentes phases de la mise en place d'une formation EEA pour des enseignants et étudiants étrangers francophones de niveau licence à ingénieur dans le cadre d'un programme européen Interreg III. Ce projet, intitulé 2RFI, regroupe quatre partenaires franco-belges et est opérationnel depuis 2 ans. Il s'appuie sur des cours en ligne (FOAD) accessibles via Internet suivis de séances de travaux pratiques sur des « mini-usines ». Au sein de notre établissement, ce sont des plateformes robotiques qui ont été développées. L'écriture de programmes pour la génération de trajectoires de robots mobiles pilotés par microcontrôleur PIC sert de support à cette formation. Cet article comprend deux parties. La première présente la structure et les objectifs du programme Interreg III/2RFI ainsi que les problèmes et solutions apportés inhérents à cette collaboration et association de moyens. Le contenu des trois modules en ligne développés pour ce projet est détaillé dans la deuxième partie. La conclusion donne les enseignements qui ont été tirés de cette complémentarité entre la formation à distance et les travaux pratiques sur site.

**Mots clés** : Programme européen, Cours en ligne, Asservissement, Architecture, Microcontrôleur, Robotique Mobile.

## 1 PROJET 2RFI

### 1.1 Présentation 2RFI

Le projet Réseau Ressources Formations Industrie (2RFI) s'inscrit dans les projets transfrontaliers cofinancés par le programme européen Interreg III, en l'occurrence le sous-programme franco-wallon. Ce projet est né de la mise en commun de compétences tout à fait particulières de quatre partenaires actifs dans le milieu de la formation :

- Carrefour Economie Technologie Enseignement (CETE), Mons (Belgique)
- AFPA Maubeuge (France)
- CIFOP (Centre Interuniversitaire de Formation Permanente), Charleroi (Belgique)
- INSSET/UPJV, Saint-Quentin (France)

### 1.2 Objectifs

Ce partenariat vise entre autre à :

- étendre l'emploi de la Formation Ouverte et A Distance (FOAD) par la constitution d'un réseau de ressources, incluant tous les types de formations: formation initiale, formation pour adultes, formation supérieure et universitaire.
- définir une démarche pédagogique commune pour l'emploi des TIC et d'outils technologiques complexes pour la formation industrielle.
- définir une démarche pédagogique intégrant la mutualisation des ressources permettant la diffusion d'une offre élargie et pluri institutionnelle.
- produire des modules de formation en mutualisation
- élargir l'offre de formation par l'emploi des ressources technologiques de chaque partenaire par l'ensemble des intervenants et la création des modules de formation spécifiques à ces ressources.

- accroître la mobilité des stagiaires dans la zone visée (Hainaut, Nord Pas de Calais, Aisne).

### 1.3 Moyens

Pour cela, une équipe pluridisciplinaire composée de graphistes, d'informaticiens, d'ingénieurs et d'enseignants provenant des différentes institutions collaborant au projet a été créée, elle est chargée :

- d'intégrer les outils des différents partenaires à la plate-forme d'enseignement à distance du projet 2RFI
  - de diffuser en temps réel aux équipes de formateurs et de tuteurs les compétences nouvelles à acquérir pour l'emploi des nouveaux outils
  - d'élaborer une méthodologie et une approche commune de la conception d'outils multimédia, et de leur utilisation dans un système de formation mixte FOAD/présentiel qui développe l'alternance
- Le projet 2RFI joue sur la complémentarité entre la FOAD, pour la compréhension des concepts, et le présentiel sur les « mini-usines », pour la mise en application de ce qui a été appris.

### 1.4 Mise en place

Chaque partenaire développe, dans le champ des compétences qui lui sont propres, ses outils que ce soient les scénarios des modules ou les mini usines. La mise en forme multimédia à partir des scénarios, et la mise en ligne des modules multimédias sont réalisées par l'équipe pluridisciplinaire. Une plateforme d'enseignement à distance, située au CETE, a ainsi été développée et accueille tous les modules. Pour permettre une utilisation en tout lieu de ces modules multimédia (même avec des lignes à faibles débits), des Cédéroms sont utilisés en local avec une connexion sur le

serveur pour tout ce qui est outils de communication interactifs (dialogue en ligne et suivi pédagogique).

## 2 CONTENU DES MODULES

Le sujet que nous avons traité est particulièrement stimulant pour les futurs étudiants. La programmation de robots mobiles fait automatiquement apparaître le caractère ludique de la formation. Par contre le résultat ne peut être obtenu qu'en ayant une compréhension des différents systèmes constituant le robot ainsi que leurs interactions (capteurs, actionneurs, architecture et fonctionnalités du microcontrôleur) lors des écritures des programmes de génération de trajectoire et d'évitement d'obstacles. Il est donc indispensable de préparer les étudiants, via ces cours en ligne, avant toutes séances de travaux pratiques. A cette fin, trois modules en ligne ont été développés. Il en va de même des phases de travaux pratiques qui s'appuient sur l'interactivité et les effets de simulations disponibles sur les logiciels de CAO électronique [1].

Les robots (cf. figure n :°1) disposent de moustaches indépendantes à l'avant ainsi que d'un sonar polaroid dont l'orientation est pilotée par un moteur pas à pas. Un module LCD permet de contrôler la bonne exécution du programme.

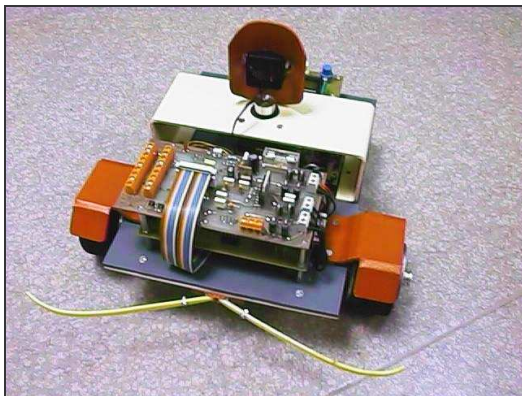


fig 1 : La plateforme robotique

### 2.1 Module 1 : Introduction à la génération de trajectoire à partir de deux roues motrices

Ce module a pour objectif de décrire le plus simplement possible le principe de génération de trajectoire d'un robot disposant de deux roues motrices indépendantes et de deux roues folles. En simulant des portions de trajectoires élémentaires (avance, recule, tourner à droite ou à gauche), l'étudiant prend conscience de la nécessité de gérer de nombreux paramètres au niveau de la motorisation.

### 2.1.1 Composition minimale du système

A partir de cette description et phase de simulation du déplacement du robot, l'étudiant fait le lien avec la description fonctionnelle et physique des entités constituant la partie motorisation :

- nécessité de pouvoir agir indépendamment sur chacune des roues au niveau de la vitesse et de la polarité d'alimentation.
- nécessité de génération de tension de valeur moyenne variable à partir d'une sortie numérique d'un microcontrôleur et introduction de la notion de signaux PWM (Pulse Wave Modulation).
- la sortie PWM doit être appliquée à un dispositif amplificateur adapté aux paramètres mécaniques et électriques des moteurs utilisés (tension, vitesse nominale, consommation, rapport de réduction, etc...)
- la partie motorisation doit disposer de capteurs de position et de vitesse afin de garantir une génération correcte de trajectoire indépendante des zones d'évolution (pentes, inertie, etc...)

### 2.1.2 Les capteurs et actionneurs

Le cours en ligne détaille ensuite le principe de fonctionnement des capteurs, actionneurs et interfaces de puissance. Cette partie ne s'appuie pas spécifiquement sur les systèmes effectivement utilisés sur les plates formes robotique. Un large usage des fonctionnalités du logiciel Proteus (cf. figures n :°2 et 3), est alors accessible aux étudiants leur permettant ainsi de comprendre les signaux délivrés par un encodeur optique, le mode de travail d'un pont en H ou la génération de signaux PWM à partir d'une fonctionnalité Timer/Compare disponible sur la majorité des microcontrôleurs.

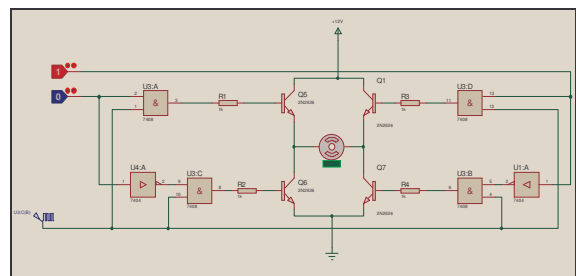


fig 2 : Simulation analogique pont en H

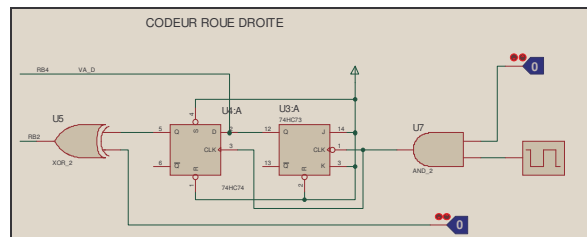


fig 3 : Simulation numérique encodeur optique

L'interactivité avec l'étudiant est garantie par la possibilité, pour ce dernier, de modifier les paramètres du simulateur.

## 2.2 Module 2 : Préparation aux phases de travaux pratiques

Ce module détaille précisément les conditions de travail, matériels, logiciels et mesures des étudiants lors de leur venue pour les séances de travaux pratiques. En effet, il est indispensable que les étudiants soient familiarisés avec l'environnement de développement mais aussi avec les différents constituants de la plateforme robotique.

### 2.2.1 Présentation de la plaquette de travail

Afin de simplifier les phases de test de programmes de génération de trajectoires, une vingtaine de maquettes regroupant l'intégralité des éléments des robots ont été développées (cf. figure n° : 4) :

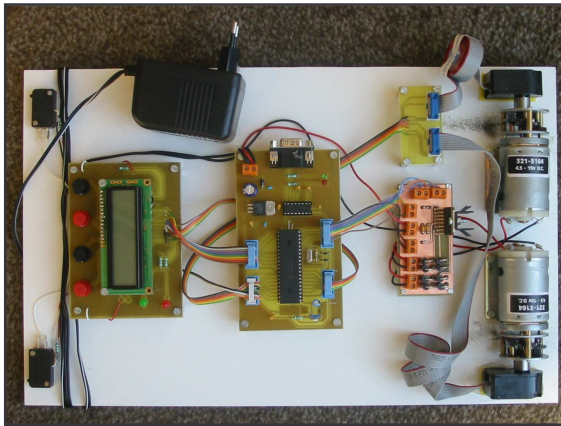


fig 4 : Maquette utilisée pendant les travaux pratiques

On y retrouve pour la partie mécanique :

- 2 réducteurs de rapport 1/50
- 2 moteurs à courant continu 12V.

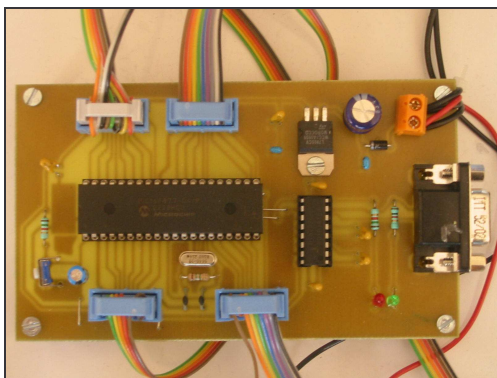


fig 5 : Carte Cpu à base de pic 16F877

Pour les cartes électroniques :

- la carte CPU à base du 16F877 intégrant un bootloader via une liaison série en figure n° : 5
- une carte interface de puissance (pont en H)

- une carte interface utilisateur comprenant un afficheur lcd de 2 lignes 16 caractères et de 4 boutons poussoir en figure N :°10.

Au niveau des capteurs :

- 2 moustaches indépendantes
  - 2 encodeurs optiques de 512 pas/tour.
- Ces maquettes diffèrent d'un robot mobile par
- l'absence de roue
  - une alimentation secteur.

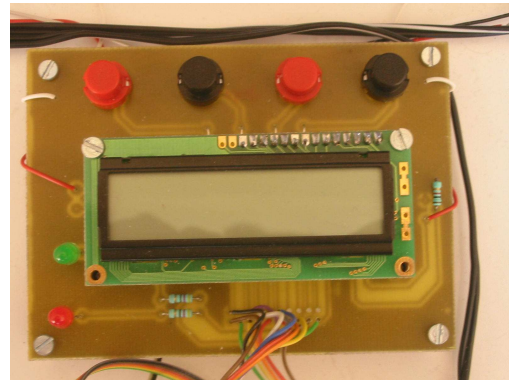


fig 6 : Interface utilisateur

### 2.2.2 Information annexe.

En plus du contenu précédemment détaillé, la formation en ligne met à la disposition des étudiants l'intégralité des schémas électroniques, l'implantation des composants, leur datasheet et les caractéristiques fournisseurs.

## 2.3 Module 3 : Programmation assembleur sur microcontrôleur Microchip 16F877

### 2.3.1 Conséquence du choix du microcontrôleur

Le choix de cette famille de microcontrôleur a été conditionné par la diversité des fonctionnalités offertes [2] mais aussi par la « faiblesse » de son jeu d'instructions. En effet il n'offre que 35 instructions possibles, peu de registres de travail, avec des mode d'adressages extrêmement limitées. Cette faiblesse devient un avantage car elle autorise une assimilation rapide et complète du langage de programmation assembleur. En contrepartie l'architecture Harvard impose une formation initiale sur l'interaction « jeu d'instructions/ architecture » indispensable avant toute tentative de programmation des fonctionnalités disponibles.

### 2.3.2 Architecture des microprocesseurs

Ce module débute par un rappel des deux types de famille que l'on peut rencontrer : Harvard et Von Neumann. Les outils de simulation autorisent des descriptions et animations précises des fonctionnalités suivantes, et ce, pour les deux architectures :

- codage et décodage d'instructions
- représentation des instructions en mémoires

- décodage d'adresses
- opérations d'écriture et de lecture en mémoire.

A la suite de cette présentation, l'étudiant est amené à comparer les avantages et inconvénients des deux architectures.

### 2.3.3 Architecture du microcontrôleur utilisé

Le 16F877 de la société Microchip dispose de nombreux atouts au niveau du nombre et du type de périphériques qu'il peut gérer. On y retrouve, en outre, des bus asynchrones et synchrones SPI et I2C, des convertisseurs analogiques sur 10 bits, des fonctions timer évoluées (capture, compare, PWM) et évidemment des fonctionnalités de type PIA. Par contre, l'architecture spécifique de banques de mémoire séparées (programme, donnée, eeprom, Pile) et le codage des instructions (RISC) sur 14 bits doivent être maîtrisés et compris par l'étudiant.

Le module 3 intègre ainsi une simulation pertinente des contenus internes des bus d'adresses et de données et registre d'états dans différents types d'accès mettant en évidence les contraintes de programmation inhérentes à ce type d'architecture.

### 2.3.4 Programmation Timer pour Génération PWM

La fonctionnalité essentielle de la génération de trajectoire de cette formation repose sur la programmation des timer du 16F877 pour la génération de signaux PWM. Bien que le principe soit « à priori » simple, il reste difficile à assimiler pour les étudiants néophytes sans l'aide d'outils de simulation.

A cette fin, un simulateur a été spécialement développé. Ce simulateur est paramétrable par l'étudiant. Il permet de définir :

- la valeur maximale atteinte par le timer
- les deux valeurs des registres de comparaison
- le comportement du timer lorsqu'il atteint la valeur de comparaison (arrêt, remise à 0 ou inversion de sens).

Cet outil visualise en temps réel :

- la valeur du timer
- Les limites fixées pour les registres de comparaison
- Les deux signaux PWM générés associés aux deux registres de comparaison.

Lors de l'événement « Time=Compare » un beep sonore est généré.

### 2.3.5 Gestion de l'encodeur optique

De la même façon un outil Flash décrit la structure interne d'un encodeur optique et visualise les signaux délivrés (A, B et Z pour le top Zéro) selon des paramètres définis par l'étudiant :

- résolution (en pas par tour)
- vitesse de rotation (tr/s)
- sens de rotation.

Suite à cette animation, des questions sont posées aux étudiants pour les aider à préparer efficacement la structure de leur programme et la gestion optimale des fonctionnalités offertes par le microcontrôleur :

- Comment gérer les voies A et B pour connaître le sens de rotation des roues ?
- Comment calculer la vitesse linéaire en tenant compte du rapport de réduction et du diamètre des roues ?
- Quelles sont les conditions limites d'exploitation par le microcontrôleur en cas de déplacement rapide ?
- En cas de gestion sous interruptions, comment calculer la vitesse maximale selon le temps d'exécution de la routine de traitement d'interruption ?
- Comment gérer la voie Z pour connaître la distance parcourue par la roue ?
- Comment fusionner les données issues des deux capteurs pour connaître la position exacte du robot en tenant compte de sa géométrie ?

## 3 BILAN ET CONCLUSION

### 3.1 Nombre d'étudiants ayant suivi la formation

À cette date, nous avons accueilli deux groupes d'étudiants en provenance de Belgique (dernière année d'école d'ingénieur, et niveau licence spécialité informatique industrielle). Chaque groupe était composé d'une vingtaine d'élèves accompagnés par 2 ou 3 enseignants. La durée des travaux pratiques s'étend sur 2 ou 3 jours.

### 3.2 Intérêt de la formation en ligne.

Il ne fait aucun doute que le suivi préalable des cours en ligne garantit une progression et un travail efficace lors des travaux pratiques. Il n'y a aucune perte de temps dû aux rappels théoriques, à la description des outils et des maquettes utilisés, ou au travail à réaliser.

### 3.3 Mise en place et progression

Lorsqu'un étudiant s'installe à son poste de travail, il dispose initialement de « squelettes de programme » en assembleur intégrant des macros, le corps du programme et les fonctions propres à la gestion de l'afficheur, autorisant un développement rapide et efficace. Un programme, considéré comme terminé, est tout d'abord testé sur le logiciel de simulation du robot (cf. fig 6), puis finalement transféré sur la maquette par l'étudiant, puis enfin sur un des robots.

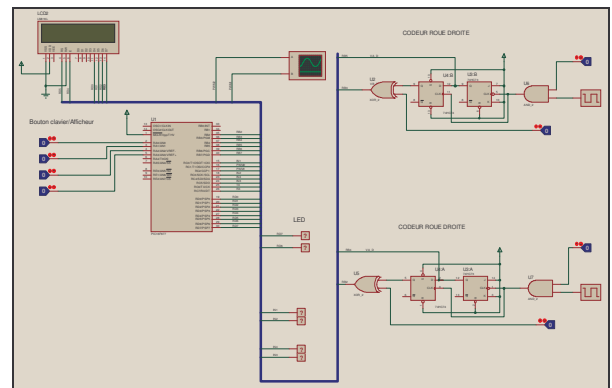


fig 6 : Simulation des encodeurs optiques du robot

Le premier programme à écrire repose sur la gestion de l'interface (allumer les leds selon certaine configuration des boutons poussoir). Il familiarise l'étudiant avec le logiciel de développement (éditeur, assemblage, simulation) mais surtout avec les outils nécessaires au debuggage (pas à pas, point d'arrêt, visualisation de variable, etc.). Le deuxième programme consiste à programmer la génération de signaux PWM, puis à écrire des fonctions de déplacement élémentaire. Pour terminer un rappel d'une heure de cours théorique sur la programmation des interruptions permet d'intégrer la gestion de différents capteurs pour une génération sans « dégat » de trajectoire.

### 3.4 Compétition et motivation

Une dynamique réelle apparaît chez les étudiants dès qu'ils maîtrisent les étapes de développement. En plus du caractère ludique de l'application, un esprit de compétition apparaît alors entre les binômes qui est alors judicieusement exploité pour nos objectifs de formation ! Cet esprit peut ensuite être renforcé par la définition de parcours d'évolutions complexes mettant en concurrence plusieurs robots alors adversaires !!!

### 3.5 Au niveau du formateur

C'est un travail de fond considérable pour mettre en place une telle formation (carte à réaliser, test des programmes, maintenance) qui nécessite obligatoirement une expérience sur le problème à traiter [3]. La disponibilité des membres d'une équipe de recherche et/ou d'enseignants passionnés est vivement conseillée. Le travail de mise en forme (scénarisation des modules multimédias) doit suivre des directives d'écritures définies par le centre chargé de la mise en ligne. L'utilisation d'outils tels que « MS PowerPoint » permet de faciliter le transfert des options d'animations exigées par le formateur.

Dans tous les cas, ce travail débouche sur un ensemble d'outils utilisables à long terme car directement disponibles (et d'ailleurs utilisés) pour tous les niveaux de nos formations dans le domaine de l'EEA.

## Bibliographie

1. T. Venet, T. Capitaine et J. Senlis, « Exploitation pédagogique du logiciel de CAO PROTEUS pour l'enseignement de l'EEA », *Actes CETISIS 2003, p425 Toulouse13 et 14 novembre 2003.*
2. Datasheet du 16f877 » [www.microchip.com](http://www.microchip.com)
3. Capitaine T., Hamzaoui M.. Cœur N « Développement d'outils matériels et logiciels pour la formation aux systèmes à microprocesseur: Une Evolution logique par et pour les étudiants» *CETISIS, Novembre 1999.*