

# Réalisation d'un robot sous-marin autonome

*Fourniture 4 associée au contrat MRIS 2008-2009  
ENSIETA  
18 Novembre 2009*

## Descriptif de l'étude

Comme tous les ans depuis 2007, un robot sous-marin autonome réalisé par des élèves de l'ENSIETA a été présenté pour le concours SAUC-E. Cette année, la compétition avait lieu du 6 au 10 Juillet au bassin QinetiQ à Gosport (Angleterre). L'ENSIETA a remporté la 2<sup>ème</sup> place, derrière l'Université d'Heriot-Watt (qui avait déjà gagné l'an dernier) et devant Bremen (Allemagne), Southampton (Angleterre, gagnants en 2007), Bath (Angleterre, qui étaient 2<sup>ème</sup> ex æquo avec nous l'an dernier), Cambridge (Angleterre), Lubeck (Allemagne), UWE (Angleterre).

Les épreuves du concours de cette année étaient:

- Passer et repasser à travers 3 portes alignées et séparées de 10 m. De plus, des points supplémentaires étaient attribués si le sous-marin évitait la deuxième porte. Cette épreuve a été simplifiée au moment du concours car elle demandait à l'origine que le robot passe à droite ou à gauche de la deuxième porte selon la couleur d'une lumière.
- Détecter et suivre une boule orange mobile pendant 30 s.
- Rester à 30 cm au dessus d'une cible avec une boule au centre placée au fond de la piscine.
- Longer un mur (non rectiligne) à environ 5 m et sur une trentaine de m.
- Entrer dans une boîte de 1 m x 1 m x 2 m en passant par l'entrée de 1 m x 1 m. Elle était repérée par une lumière à l'entrée et une lumière à l'intérieur.
- Un fichier enregistrant le déroulement des épreuves devait être produit par le robot (en respectant un format défini par les organisateurs).



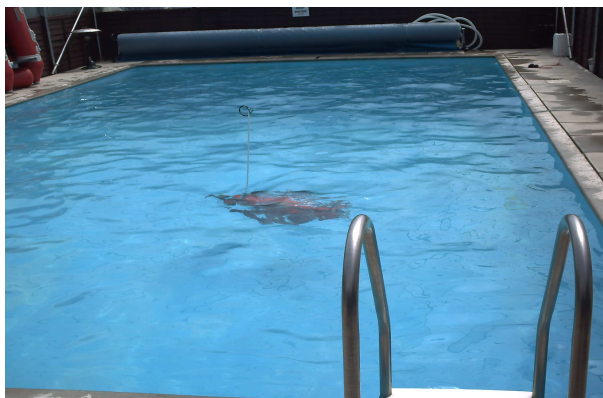
## Déroulement de l'année

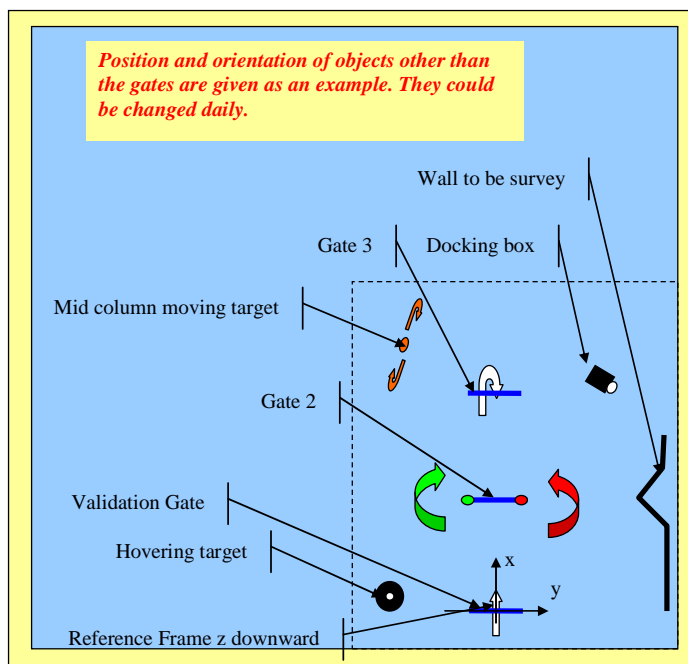
De la même manière que l'année dernière, l'année a commencé par une présentation et une prise en main du robot par les élèves intéressés par le projet à partir du mois d'Octobre. Des « cours » et des « TD » d'initiation liés aux parties importantes du robot ont été organisés par des doctorants anciens élèves de l'école ayant participé aux concours des années précédentes les lundis et mardis soirs : programmation C sous Windows et Linux, traitement d'images de webcams, découverte d'OpenCV (bibliothèque de traitement d'images), utilisation du boîtier Labjack pour la commande de servomoteurs... Cette année, nous avons eu plus de difficultés à trouver des élèves motivés par le projet que les années précédentes.

2 élèves de 2<sup>ème</sup> année ont travaillé sur la mise à jour du simulateur (créé en 2007) dans le cadre de leur projet industriel.

Dans le mois précédent le concours, 2 stagiaires de 1<sup>ère</sup> année sont venus aider les 2 doctorants pour la préparation du concours.

Sur l'invitation d'un des membres de l'équipe de Bath, nous avons eu l'opportunité de passer une semaine d'entraînement avant le concours dans une piscine (destinée à l'apprentissage de la plongée) à Somerton (Angleterre), avec d'autres équipes (UWE, Southampton, Heriot-Watt). C'est au cours de cette semaine que nous avons pu constater et essayer de résoudre ou de contourner les problèmes les plus importants.

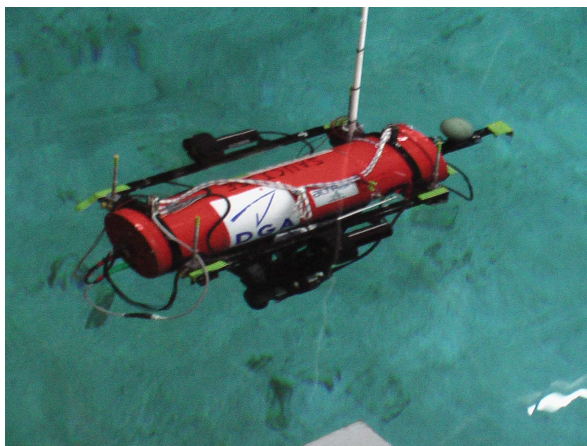




## Description du robot présenté au concours SAUC-E 2009

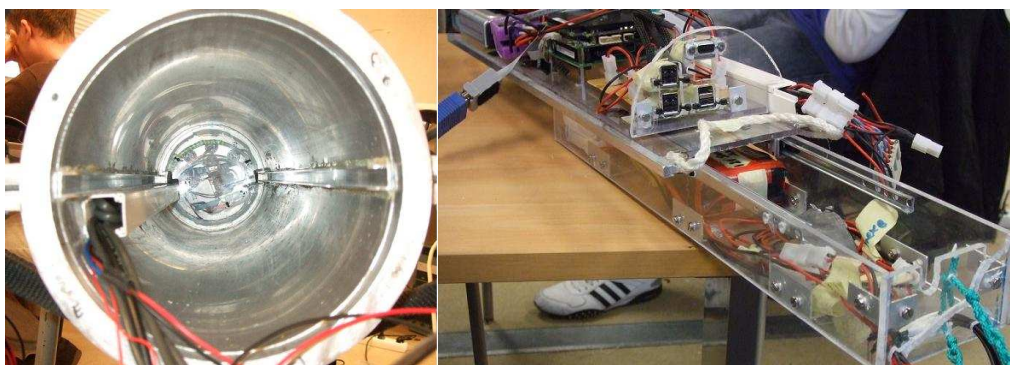
### Architecture extérieure

La base mécanique du robot n'a pas été changée cette année : un tube en aluminium fermé par 2 tapes. Des connecteurs étanches sur chaque tape permettent de relier l'intérieur du tube aux périphériques extérieurs (webcams, moteurs, sonar). Seule une tape doit être ouverte pour accéder à l'intérieur du sous-marin. 2 propulseurs horizontaux sont placés de part et d'autre du tube. 1 propulseur vertical est placé au centre de la quille du sous-marin, qui sert à l'équilibrer. De plus, des petits poids peuvent être rajoutés aux 4 coins du robot pour finaliser l'équilibrage, de façon à ce que le sous-marin remonte naturellement et qu'une faible force suffise à le faire plonger.

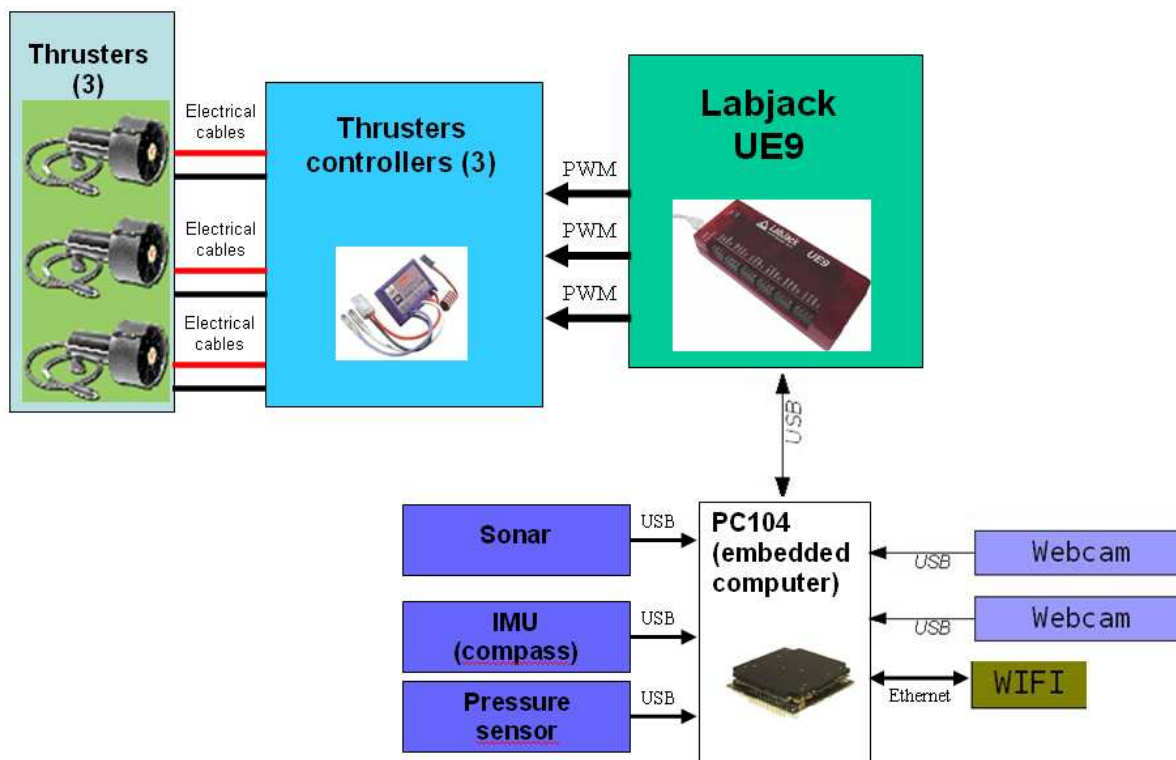


## Organisation intérieure

Du fait que démonter et remonter le sous-marin est souvent une perte de temps et de fiabilité, nous avons choisi de limiter le besoin d'ouvrir la tôle avant du robot, en organisant l'intérieur pour que toutes les connexions puissent être faites en ouvrant la tôle arrière. Des rails à l'intérieur du tube permettent de faire glisser la plaque de Plexiglas qui sert de support pour toute l'électronique intérieure. Un tiroir placé sous cette plaque permet d'accéder facilement aux batteries sans avoir à toucher aux autres périphériques.



## Partie électronique

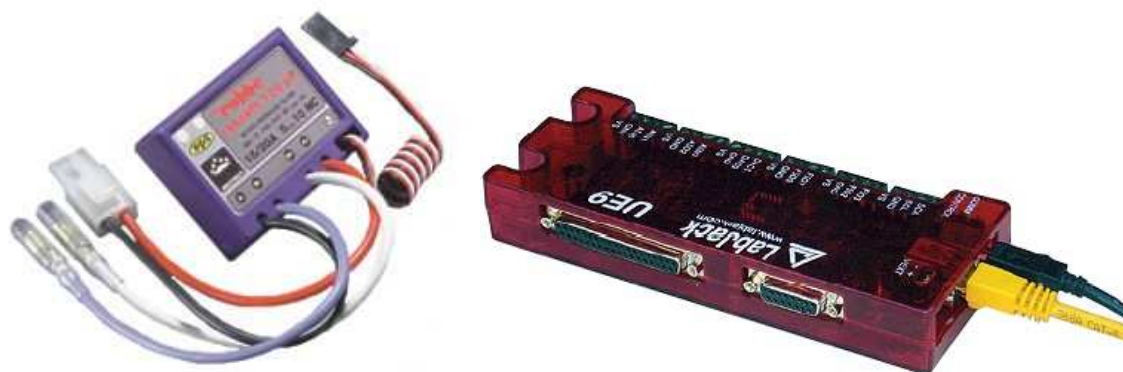


Nous utilisons 3 propulseurs STB150 de SEABOTIX (Etats-Unis):

- 1 vertical pour régler la profondeur du sous-marin.
- 2 horizontaux pour contrôler la vitesse et l'orientation du robot.



Pour contrôler la vitesse des propulseurs à partir de signaux PWM, nous utilisons des variateurs de modélisme Robbe Rokraft. Les signaux PWM sont générés par un boîtier d'interface Labjack UE9, connecté par USB au PC.



Le PC embarqué est un PC104 d'EUROTECH avec un processeur Intel Celeron 1 GHz ou Pentium M 1.4 GHz et 512 Mo de RAM. Le système d'exploitation et les programmes sont enregistrés sur un disque dur 2.5 de 40 Go. 8 ports USB, 1 port Ethernet, 2 ports RS232 et 1 port VGA nous permettent de connecter tous les périphériques nécessaires.



Un étage d'alimentation (standard PC104) qui fournit 3.3, 5, +12 et -12 V a été ajouté cette année pour l'alimenter directement à partir de batteries 12 ou 24 V.

Pour détecter les objets dans la piscine (boule orange...), nous avons 2 webcams Logitech Quickcam Pro 9000, qui peuvent donner des images haute résolution (1600x1200). Elles ont été étanchéifiées en les mettant dans des tubes PVC avec une fenêtre en Plexiglas.





Pour obtenir la profondeur du sous-marin, nous utilisons un capteur de pression Keller PAA33X connecté au PC104 via un convertisseur RS485 vers USB. Ce capteur est fixé sur la tape arrière du sous-marin.



Une centrale inertielle Xsens MTi prêtée par le GESMA (Groupe d'Etudes Sous Marines de l'Atlantique) nous sert à obtenir l'orientation du robot dans la piscine.



Le principal capteur servant à la localisation du robot dans la piscine est notre sonar MiniKing de Tritech.



Un point d'accès DWL G700AP avec une antenne extérieure de 1m de hauteur nous permet de communiquer avec le robot lorsqu'il est proche de la surface de l'eau.



3 batteries de 12 V ou 2 de 12 V et une de 24 V servent à l'alimentation du robot.



## **Partie informatique**

Cette année, nous nous sommes principalement focalisés sur l'amélioration de la partie informatique du robot. L'interface graphique de contrôle à distance, la gestion des périphériques et la gestion des missions autonomes ont été revus pour fournir plus de flexibilité pour faire face aux changements de dernière minute.

Jusqu'à maintenant, l'interface graphique du robot était basée sur des serveurs TCP fonctionnant sur le robot (sous Mandriva) et des clients TCP sur un ordinateur portable (sous Windows), le tout via Wifi. Cette année, nous avons décidé d'éliminer la partie réseau de nos programmes en utilisant la connexion au bureau à distance de Windows. Cela a simplifié notre code, où beaucoup de bugs venaient à l'origine de la communication réseau et notamment des tentatives de gestion de connexion et reconnexion, comme cette partie était maintenant gérée par le programme de connexion au bureau à distance.

Nous sommes aussi passés de Linux à Windows sur le PC du robot pour les raisons suivantes :

- Windows a un bon logiciel de connexion au bureau à distance intégré
- La plupart des périphériques que nous utilisons ont des drivers et programmes officiels sous Windows, alors que Linux n'est pas toujours supporté par leurs constructeurs.
- Avec la connexion au bureau à distance, il est facile de développer directement sur le PC du robot une interface graphique avec Visual Studio, C++ Builder...

## **Difficultés rencontrées**

La majorité des problèmes que nous avons rencontrés se sont manifestés lorsqu'on a commencé à tester le robot dans des conditions réelles, lors de la semaine d'entraînement à Somerton.

C'est lorsque nous avons voulu connecter l'ensemble des périphériques du robot sur le PC en même temps que nous avons constaté le 1<sup>er</sup> problème : 4 des 8 ports USB du PC104 ne fonctionnaient pas, même en changeant de ports et de PC (nous avons un ensemble complet de pièces de rechanges pour le PC). Ce problème vient probablement du passage de Linux à Windows comme OS, car nous avons ce même type de PC104 l'année dernière sous Linux, mais nous n'avons pas pu en confirmer la cause. Un hub USB a donc été rajouté pour contourner ce problème.

Le principal problème a concerné les cameras. Aucune des webcams étanches ne fonctionnait de manière satisfaisante sur le robot. Après différents tests, nous avons conclu que c'étaient les connecteurs étanches et la connectique intérieure (rallonges USB internes) du sous-marin qui étaient sûrement en cause. Malheureusement, une des vis de la tôle avant du sous-marin (celle qui n'avait pas besoin d'être ouverte en temps normal) était bloquée. Nous avons donc préféré ne pas insister (il aurait été hasardeux d'entreprendre des réparations importantes sur cette tôle à une semaine du concours) et décidé de se passer des webcams pour le concours.

Suite à ces problèmes, nous nous sommes concentrés sur des algorithmes mettant en jeu notre sonar et notre centrale inertielle pour réussir les épreuves du concours. C'est au cours de cette semaine que nous avons pu valider nos algorithmes de régulation en orientation et profondeur (utile pour les épreuves de passages de portes), le suivi de mur et la localisation.

## Epreuves réussies

Il y avait des changements significatifs dans les épreuves demandées cette année.

D'abord, le système de notation permettait aux équipes de valider des missions une par une à n'importe quel moment, alors que seules les missions effectuées à se suivre lors de la finale comptaient jusqu'à maintenant. La finale permettait de gagner plus de points si l'on parvenait à enchaîner plusieurs missions. De plus, le concours de cette année se voulait plus acoustique que les années précédentes, même si certaines épreuves étaient toujours plutôt visuelles.

Nous avons été la première équipe à marquer des points en réussissant l'épreuve de passage à travers les 3 cadres sur une trentaine de mètres avec retour. Contrairement aux autres équipes, qui ont cherché à utiliser leurs cameras pour détecter les portes ou suivre les lignes de la piscine, notre algorithme était uniquement basé sur une régulation en orientation reposant sur notre centrale inertielle (pour aller tout droit) et en profondeur. Le temps de parcours était uniquement défini par une temporisation. Nous avons aussi un autre algorithme alternatif au cas où la centrale inertielle ne serait pas assez précise : celui-ci était celui du suivi de mur avec le sonar, où le robot essayait d'avancer en gardant la même distance au mur, cette distance correspondant à celle entre le mur et le centre des portes.





Nous avons pu conserver notre avance sur les autres concurrents en faisant valider l'épreuve de suivi de mur à 5 m sur 30 m. De plus, nous avons amélioré le premier algorithme basé sur la centrale inertielle pour pouvoir passer les portes en évitant la deuxième à l'aller, ce qui nous a fait gagner des points supplémentaires. Aucune autre équipe n'a réussi correctement les épreuves de suivi de mur et de passage de portes avec évitement. Les autres concurrents se sont principalement concentrés sur les épreuves de suivi de boule orange, détection de cible et de boîte.

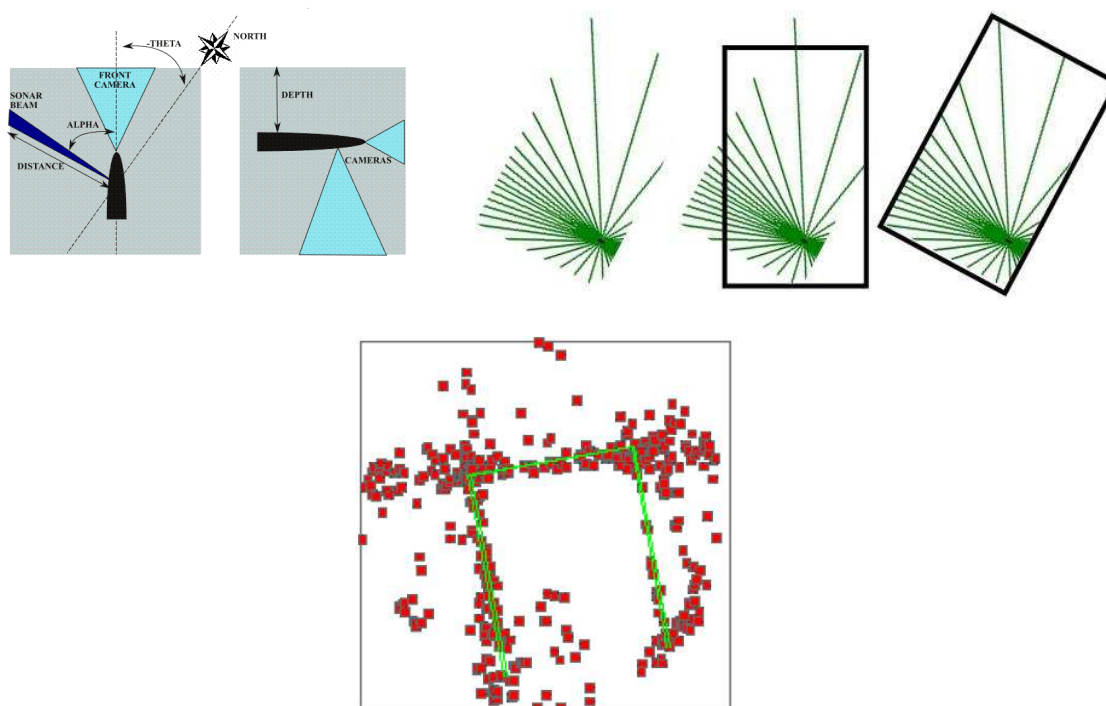
Nous avons aussi pu gagner des points bonus grâce au faible poids de notre AUV, contrairement à la plupart des autres équipes qui ont eu du malus.

Au moment de la finale, nous nous sommes faits battre par Heriot-Watt car ils ont réussi à enchaîner des missions à la suite, contrairement à nous.

## Perspectives

Nous avons pu nous rendre compte que l'utilisation de la centrale inertielle et de temporisations pour effectuer un trajet prédéfini était efficace. Il semble donc envisageable d'utiliser ces données pour localiser le robot. Des tests simples de temps de parcours et d'accélération selon les commandes envoyées aux propulseurs pourraient être faits pour essayer de mettre en place une méthode rapide (sans doute peu précise mais acceptable, simple à programmer et peu coûteuse en temps de calcul) de localisation et de suivi de points de passages prédéfinis.

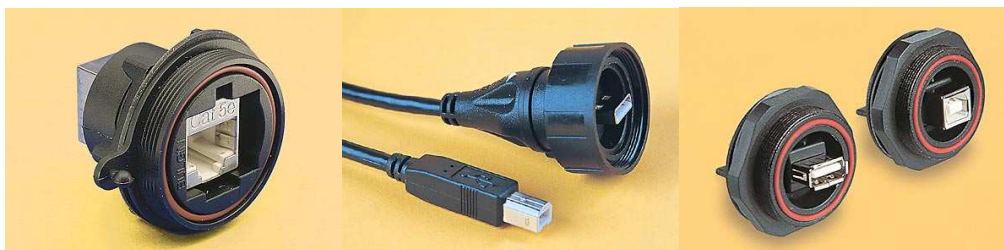
La localisation basée sur les données sonar a fonctionné par moments, mais des tests supplémentaires seraient nécessaires pour faciliter son utilisation quelle que soit la piscine.



L'absence de webcams fonctionnelles sur notre robot nous a fait réfléchir à des algorithmes de détection d'objets par sonar. Il faudrait les améliorer pour qu'ils soient plus précis.

Nous utilisons une antenne Wifi sur notre robot pour pouvoir communiquer avec lui lors des phases de tests. L'inconvénient est que dès que l'on veut travailler en profondeur, l'antenne passe sous l'eau et nous perdons la communication. Nous sommes alors obligés de lancer des missions autonomes (descente du sous-marin à une profondeur voulue, prise de données et remontée). Pour pouvoir communiquer avec le sous-marin même lorsqu'il est au fond de la piscine, nous pourrions utiliser un déport d'antenne de 5 à 10 m, pour que l'antenne Wifi reste à la surface grâce à un flotteur. On pourrait aussi utiliser un câble Ethernet étanchéifié ou un dispositif de communication acoustique.

Les problèmes que nous avons eus avec les webcams viennent probablement de nos connecteurs étanches et de la connectique intérieure (qui doivent être usés ou de mauvaise qualité). Nous venons d'acheter de nouveaux connecteurs étanches Bulgin Buccaneer : certains ont directement la forme des connecteurs USB et Ethernet RJ45, ce qui nous garantit qu'ils sont compatibles avec ces types de liaisons et nous permet en plus de faciliter les tests à l'air libre en nous permettant d'utiliser des périphériques à connecteurs non-étanches.



Nous allons aussi revoir la construction des caméras étanches.

Cette année, nous avons une autonomie de 1h30 avec nos batteries NiMH. Des types de batteries plus performants (Li-ion, Li-PO, LiFePO4...) existent mais ont aussi divers inconvénients. Il nous faudra faire des tests pour déterminer le type de batterie le plus adéquat. De plus, l'utilisation de nos 3 batteries était assez inégale, celle réservée au PC étant la plus sollicitée. Il faudrait que l'on revoie leur organisation pour accroître notre autonomie énergétique.

Nous avons acheté un nouveau type de PC104 (avec un processeur Intel Core 2 Duo) peu avant le concours. Il faudra aménager l'intérieur du sous-marin pour qu'on puisse l'utiliser et améliorer ainsi notre puissance de calcul.

Et enfin, nous allons construire un 2<sup>ème</sup> sous-marin en plus de l'actuel pour effectuer des tests supplémentaires. Il reprendra les grands principes de l'ancien (tube de taille similaire, même propulsion...) avec quelques nouveautés: caméra intérieure voyant à travers une fenêtre sur la tape avant, eeePC à la place du PC104...



Tout cela nous obligera à rendre chaque partie des sous-marins modulables, notamment au niveau informatique pour que les programmes puissent fonctionner sur les 2 robots. Un élève de 3<sup>ème</sup> année travaille déjà sur l'informatique et nous espérons trouver quelques élèves de 2<sup>ème</sup> année pour la réalisation du nouveau sous-marin.

## Conclusion

Nous avons pu constater cette année une amélioration globale du niveau des équipes. Pour rester dans les premiers l'année prochaine, il faudra encore accroître la fiabilité de notre sous-marin et continuer à travailler sur les différents algorithmes de détection et localisation. La construction d'un 2<sup>ème</sup> sous marin devrait nous permettre d'accroître nos possibilités de tests et nous aider à trouver les solutions les plus simples, fiables et efficaces.