

# Moulifal & Teflex : vainqueurs d'Eurobot 2013

Vincent Cueille<sup>1,3</sup>, Philippe Lucidarme<sup>1,2,3</sup> et toute l'équipe<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>IUT d'Angers, 4 boulevard Lavoisier, 49016 Angers - France

<sup>2</sup>LISA, Université d'Angers, 62 avenue Notre Dame du Lac, 49000 Angers - France

<sup>3</sup>Robot Campus, 36 rue Georges Crousil, 49000 Angers - France

*philippe.lucidarme@univ-angers.fr*

## Resumé

La coupe de France de robotique est une compétition qualificative pour la finale internationale Eurobot. Une particularité de ce concours réside dans le fait que le règlement change chaque année pour faciliter l'accès à de nouvelles équipes. Pour honorer les vingt ans de la coupe de France, le thème 2013 était "Happy Birthday". Chaque équipe pouvait concevoir un ou deux robots qui devaient éteindre des bougies, ouvrir des cadeaux, mettre des cerises sur le gâteau et construire des pyramides de verres symbolisées respectivement par : des balles de tennis, des planchettes à basculer, des balles de ping-pong et des cylindres en plastique. Ce document illustre les capacités des deux robots conçus et fabriqués par les étudiants de l'Université d'Angers : capacités de localisation et relocalisation (Filtre de Kalman étendu), capacités de déplacement (planification de trajectoire par graphe de visibilité), capacités stratégiques (choix de la meilleure action à réaliser en fonction du contexte) et capacités de coordination (collaboration entre les robots).

**Mots-clés:** *robotique, Eurobot, filtres de Kalman étendus, localisation*

## 1 Introduction

La coupe de France de robotique est une compétition qualificative pour la finale internationale Eurobot. Née en 1993 sous le nom de coupe E=m6, en lien avec l'émission présentée par Mac Lesguy, elle devient très vite une des plus prestigieuses compétitions de robotique en France et à l'étranger. Une particularité de ce concours est que le règlement change chaque année pour permettre l'accès à de nouvelles équipes. Pour honorer les vingt ans de la compétition, le thème 2013 était "Happy Birthday", chaque équipe pouvait concevoir un ou deux robots autonomes qui devaient réaliser différentes actions imposées autour du thème de l'anniversaire. L'université d'Angers s'est engagée dans cette compétition au travers d'activités proposées dans le cadre du club robotique (Robot Campus - association loi 1901 ). Bien qu'il s'agisse d'un projet pédagogique et dont la vocation première n'est pas orientée vers la recherche, notre équipe est toujours soucieuse de proposer des technologies innovantes. Convaincus de la nécessité de localiser les robots de façon absolue sur le terrain, nous avons mis en oeuvre un système de localisation par filtre de Kalman étendu. Notre objectif était non seulement de prouver la faisabilité d'un tel système tout en respectant les contraintes imposées par le règlement, mais aussi et surtout, de montrer que ce système pouvait être compétitif.

Le papier sera structuré de la façon suivante : la première partie expliquera brièvement le règlement 2013 et détaillera les points qui concernent la localisation. La seconde partie présentera les techniques utilisées classiquement pour la localisation au travers d'un historique technique de la compétition. Nous exposerons ensuite l'architecture des robots avant de détailler notre système de localisation.

## 2 Eurobot 2013

Pour fêter les 20 ans de la coupe de France de robotique, le règlement de l'édition 2013 est élaboré autour du thème "*joyeux anniversaire*". Les matchs de 90 secondes se déroulent sur une aire de jeu de 3x2m sur laquelle deux robots s'affrontent simultanément (figure 1). La compétition se déroule dans un esprit amical et sportif et les équipes d'arbitrage sont très attachées au respect de l'adversaire; toute action visant à nuire au robot adverse est pénalisée. Il est notamment interdit de percuter ou de bloquer l'adversaire. Chaque équipe peut concevoir un ou deux robots autonomes; un robot principal dont le périmètre peut atteindre jusqu'à 1,4m et un robot secondaire avec un périmètre maximal de 0.8m pendant le match. Chaque robot se voit attribué une couleur (rouge ou bleue) avant le début du match qui définira son côté de départ et les éléments de jeu avec lesquels il devra interagir. Ces deux robots doivent se coordonner pour réaliser un certain nombre d'actions tout en évitant l'adversaire.

### 2.1 Actions

L'élément principal du terrain est un gâteau de 0,5m de rayon. Sur ce dernier se trouvent 20 bougies symbolisées par des balles de tennis montées sur des cylindres en PVC que les robots doivent éteindre en enfonçant la balle dans un tube. Chaque bougie rapporte 4 points à son équipe. Sur la longueur opposée au gâteau se trouvent des planches articulées que les robots doivent faire basculer et qui symbolisent des cadeaux (4 points chacun). Les bougies et les cadeaux sont colorés (rouges ou bleus) et seule l'équipe qui s'est vue attribuer leur couleur peut interagir avec ces éléments. En revanche, au milieu du terrain se trouvent 12 verres et ces derniers appartiennent aux deux équipes qui doivent en ramener un maximum dans leur camp. La position initiale des verres est fixe et connue. Chaque verre rapporte 4 points mais un bonus important est accordé aux équipes qui réussissent à empiler les verres puisque le deuxième verre de la pile compte double, le troisième triple et ainsi de suite. La dernière action consiste à ramasser des cerises, symbolisées par des balles de ping-pong situées dans des assiettes et à les lancer dans un réceptacle situé en haut du gâteau. Chaque cerise rapporte 2 points, mais le score des cerises peut être divisé par deux si l'équipe concernée a lancé une cerise de couleur noire dans son réceptacle. A la fin du match un bonus est accordé aux équipes qui réussissent à gonfler un ballon dans les 10 secondes qui suivent la fin de l'épreuve.

### 2.2 Balises

Chaque année les équipes sont autorisées à placer des balises sur le terrain. La fabrication des balises est laissée au soin des équipes et il existe deux types de balises: fixes et adverses.

- Les balises fixes se placent sur des supports situés sur la largeur du terrain. Chaque équipe peut placer au plus trois balises fixes : deux aux coins délimitant son aire de départ et une située au milieu de la largeur de la zone adverse. Les balises doivent être autonomes et les dimensions ne doivent pas dépasser un parallélogramme de 80x80x160mm. Dans l'esprit des rédacteurs du règlement, ces balises servent à localiser les robots mais il arrive que leur utilisation soit détournée de façon ingénieuse.
- Les balises adverses se trouvent sur les robots de l'équipe opposée. En effet, chaque robot doit être équipé d'un support de balise situé à 0,43m du sol qui sert à placer le système conçu par l'équipe adverse. Chaque balise doit tenir dans un cube de 80mm de côté et ne doit pas contenir d'éléments pouvant nuire au bon fonctionnement du robot sur lequel elle est placée.

Cette présentation succincte du règlement n'est pas exhaustive, pour plus de détails le lecteur est invité à se référer à [1].

### 3 Etat de l'art des systèmes de localisation

#### 3.1 Systèmes odométriques

Depuis 20 ans, la localisation est une des préoccupations majeures pour la plupart des équipes. Les premières années, la localisation n'était pas cruciale car les organisateurs prévoyaient des éléments aidant les robots à se situer sur la table, typiquement une ligne peinte sur le terrain. En 1997, le règlement a évolué et est apparue l'aire de jeu de 3x2m telle que nous la connaissons aujourd'hui (figure 1).

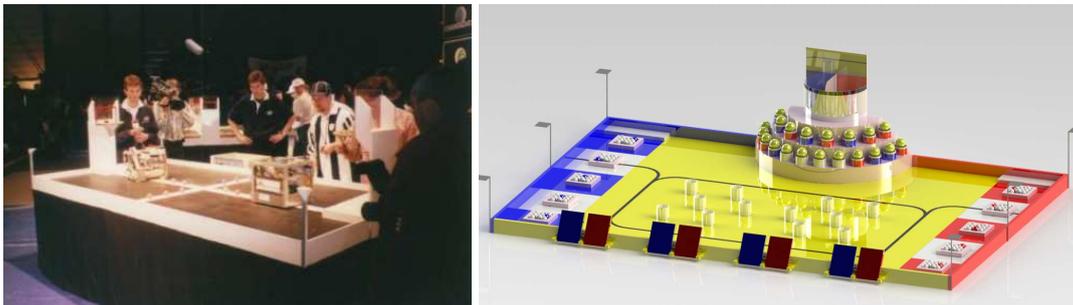


Figure 1: Aire de jeu de la coupe de France de robotique 1997 (à gauche, photo: Fribotte) et 2013 (à droite).

De cette évolution est née l'importance de localiser précisément les robots. Les équipes ont alors commencé à utiliser des codeurs incrémentaux montés sur les arbres moteurs. En 1998, l'équipe de l'IUT de Ville d'Avray optimise et exploite à la perfection ce système avec un robot particulièrement rapide. En remportant haut la main cette édition, ils apportent la preuve que la localisation est un élément de performance décisif. L'utilisation de l'odométrie va se généraliser les années suivantes au sein de la compétition. Toutefois, la limitation principale de ce système reste la dérive et pour pallier à ce problème, les robots se recallent sur les bordures pendant les matchs. Un deuxième problème inhérent sont les glissements de roues lors de collisions entre robots qui peuvent amener des erreurs de localisation. En 2001, l'équipe Minitech innove en utilisant pour la première fois des roues incrémentales indépendantes des roues motrices. La figure 2 montre un exemple de mise en oeuvre par l'équipe  $\mu$ ART (Micro Alsace Robot Team). Sans résoudre les problèmes de dérive inhérents à l'odométrie, ce système permet de réduire de façon significative l'erreur de positionnement et immunise davantage la localisation vis à vis des collisions. Bien que les équipes aient fortement optimisé les systèmes odométriques, cette solution seule apparaît fragile vis à vis des aléas qui peuvent survenir en cours de match. Aujourd'hui encore, il arrive fréquemment que des robots se perdent sur le terrain et, sans système de localisation globale, ces robots n'ont aucune chance de se relocaliser.

#### 3.2 Balises

En 1997, avec l'apparition de l'aire de jeu contemporaine, des supports de balises ont également été introduits dans le règlement (visibles sur la figure 1). Beaucoup d'équipes ont tenté d'utiliser ces supports pour localiser leurs robots, mais assez peu de systèmes ont été finalisés. La difficulté principale réside dans la conception des balises et la fusion de données avec l'odométrie. Rares



Figure 2: roue motrice associée à une roue incrémentale indépendante (photo:  $\mu$ art).

sont les équipes ayant réussi à mettre au point les deux approches de façon performante ([2] et [3]).

## 4 Architecture

Le règlement permet l'utilisation d'un ou deux robots mais augmenter le nombre de robots est un avantage stratégique et un gage de fiabilité. Notre équipe a donc fabriqué deux robots de tailles différentes conformément au règlement. Le robot principal et le robot secondaire ont été respectivement baptisés Moulifal et Teflex, un clin d'oeil aux célèbres marques d'électroménager. Les robots sont construits sur la base de châssis en aluminium conçus et fabriqués à l'université d'Angers (figure 3). Le châssis à roues différentielles ne comporte pas de codeurs incrémentaux indépendants et est motorisé grâce à deux ensembles codeurs, moteurs cc et réducteurs.

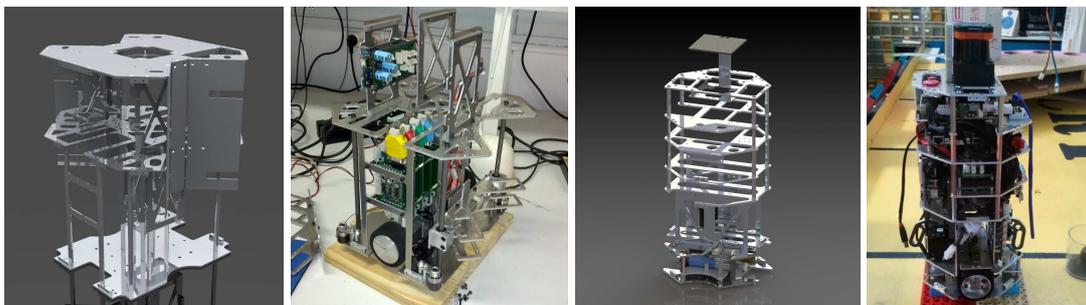


Figure 3: CAO des châssis et robots en cours d'assemblage (robot principal à gauche et robot secondaire à droite).

Sur les cinq actions proposées par le règlement, quatre peuvent être réalisées par les robots : empilage des verres, cadeaux, bougies et gonflage du ballon. Le lancer de balles de ping-pong a été jugé peu rentable vis à vis de la complexité et de l'encombrement d'un système de ramassage, de tri et de tir.

## 4.1 Empilage des verres

Le robot principal possède deux pinces montées sur des ascenseurs verticaux (à l'avant et à l'arrière) qui permettent de saisir les verres et de les monter dans un compartiment de maintien grâce à deux volets. La figure 4 illustre la saisie et l'empilage des verres.



Figure 4: séquence de ramassage et empilage des verres.

## 4.2 Bougies et cadeaux

Le robot principal est équipé d'un bras à trois degrés de liberté (figure 5) qui permet d'éteindre les bougies avec pour organe terminal un capteur de couleur. La séquence d'extinction est constituée de deux phases : une première phase durant laquelle le robot vient vérifier la couleur de la bougie et une seconde phase d'appui. Le bras peut également servir à l'ouverture des cadeaux.



Figure 5: CAO du bras en action (à gauche) et vue de détail du bras rangé dans le robot (à droite).

## 4.3 Robot secondaire et communication

Afin de minimiser les temps de développement, l'architecture du robot secondaire est fortement inspirée de celle du robot principal. Etant donné le faible encombrement autorisé par le règlement, le robot secondaire n'est conçu que pour 3 actions. La principale est l'ouverture des cadeaux grâce à un bras à un degré de liberté. Le robot possède également deux doigts, situés à l'avant et à l'arrière, permettant la saisie d'un verre chacun. Enfin, une pompe à palettes est utilisée pour gonfler le ballon en fin de match. Les deux robots communiquent via des modules XBee (protocole ZigBee IEEE 802.15.4). Les informations échangées sont : horodatage de la trame,

position courante du robot, identifiant de la stratégie, couleur jouée et état des différentes actions (cadeaux, bougies, etc).

#### 4.4 Localisation et détection de l'adversaire

Sur chaque robot est monté un LIDAR Hokuyo UTM-30LX qui permet de détecter la position des balises à une fréquence de 40Hz. Ces LIDAR renvoient aux PC l'angle, la distance et l'intensité lumineuse. Les balises sont constituées d'un tube en PVC de 80mm de diamètre enveloppé dans une bande rétro-réfléchissante. Cela permet en partie de faciliter la détection des balises grâce à une intensité reçue élevée et de diminuer grandement le risque de fausses reconnaissances. La détection et localisation de l'adversaire se fait également par le biais des LIDAR. La détection de l'adversaire a une double utilité :

- Elle permet, en amont des déplacements, de planifier une trajectoire libre de collision. La planification est réalisée grâce à un graphe de visibilité introduit par T. Ozano-Perez and M.A. Wesley en 1979 [7]. Un exemple de planification est présenté sur la figure 6. Les obstacles incluent des éléments fixes (gâteau, bordures et buffets) et mobiles (piles de verres, robots adverses et robot secondaire). Il est à noter que les obstacles insérés dans le graphe sont dilatés du rayon du cercle englobant la projection verticale du robot afin de garantir la faisabilité de la trajectoire. Une limitation de cette approche est l'absence d'adaptation de la planification aux obstacles mobiles. Si un autre robot venait à croiser la trajectoire pendant le déplacement cette dernière ne serait pas réajustée, d'où l'utilité d'une détection secondaire.
- Les robots sont équipés de capteurs de proximité ultrasons placés à l'avant et à l'arrière. Ces capteurs permettent de détecter localement la présence d'un obstacle et de stopper un déplacement en cas de collision imminente. Une fois le robot à l'arrêt, une nouvelle trajectoire prenant en compte les modifications de l'environnement est planifiée.

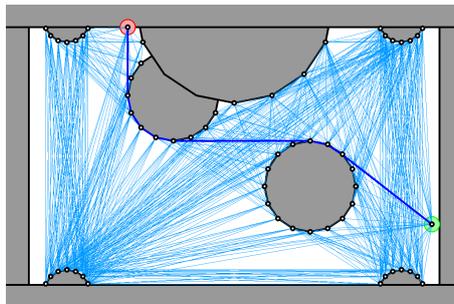


Figure 6: exemple de graphe de visibilité et trajectoire planifiée associée.

#### 4.5 Vue d'ensemble de l'architecture

L'élément principal du robot est un PC embarqué (processeur Atom Z530 1.6GHz ) qui gère la localisation et les actions de haut niveau. Il dialogue via USB avec des cartes Arduino Mega (processeur ATmega 2560) qui pilotent les asservissements et les actions de plus bas niveau (gestion des ascenseurs, des bras, des commandes moteurs, etc). Les dialogues de bas niveau se font via différents bus (I<sup>2</sup>C, RS232 et RS485). L'architecture est synthétisée sur la figure 7 et le tableau 1 rassemble les références des principaux éléments constitutifs de chaque robot.

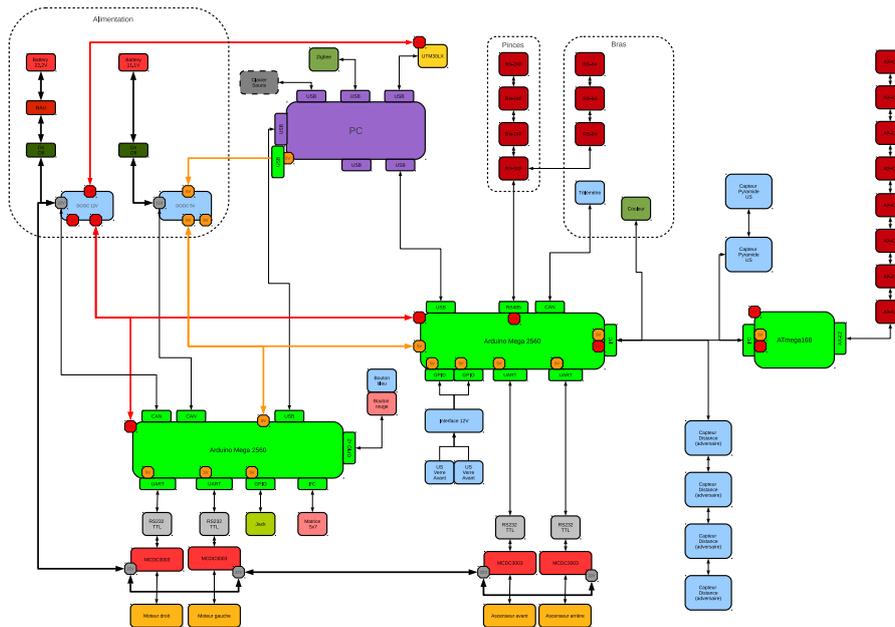


Figure 7: vue générale de l'architecture du robot Moulifal.

	<b>Moulifal</b>	<b>Teflex</b>
Moteur	Faulhaber 2657 012 CR	Faulhaber 2657 012 CR
Codeur	Faulhaber IE2-1024	Faulhaber IE2-1024
Réducteur	Faulhaber26/1S 14:1	Faulhaber26/1S 3,71:1 + 3,57:1
PC embarqué	Kontron pITX-SP	Kontron pITX-SP
Processeur principal	Intel Atom Z530 1.6GHz	Intel Atom Z530 1.6GHz
Système d'exploitation	Ubuntu minimal 12.04 LTS	Ubuntu minimal 12.04 LTS
Processeurs annexes	ATmega 2560 (x2)	ATmega 2560
Localisation	LIDAR Hokuyo UTM-30LX	LIDAR Hokuyo UTM-30LX
Batteries puissance	Robbe LiPo 6S 3300mAh	Robbe LiPo 6S 3300mAh
Batteries électronique	Robbe LiPo 3S 3200mAh	Robbe LiPo 6S 3200mAh
Détecteur d'obstacles	Robot-Electronics SRF235 (x4)	Robot-Electronics SRF235 (x2)
Détection des verres	Schneider XXV18B1PAL2	Schneider XXV18B1PAL2
Motorisation du bras	Dynamixel RX-64 (x3)	Dynamixel RX-64(x1)
Capteur de couleur	Hamamatsu (S6986)	-
Motorisation de la pince	Dynamixel RX-24F (x4)	-
Motorisation des volets	Dynamixel AX-12+ (x8)	-
Motorisation des doigts	-	Dynamixel RX-64(x2)
Gonflage du ballon	-	Pompe Thomas G12/07-N LC2

Table 1: spécification des éléments constitutifs de chaque robots.

#### 4.6 Architecture logicielle

L'ensemble des logiciels ont été développés sous Qt-Creator, y compris la programmation des différents microcontrôleurs (ATmega168 et ATmega2560). Pour ces derniers un template Qt a été créé et s'appuie sur les bibliothèques AVR-GCC et Arduino. L'application du PC est mono-processus et composée de différentes machines à états qui supervisent les actions du robot. Il est à noter qu'au démarrage du robot, le programme effectue une vérification de l'ensemble des éléments matériels et logiciels (actionneurs, capteurs, bus de communication, espace mémoire, etc). Si une erreur est détectée, l'opérateur en est informé via un afficheur à LEDs et peut stopper l'initialisation du robot

ou forcer le démarrage en acquittant l'erreur. Cette précaution s'avère être d'une double utilité. Bien sûr elle permet de détecter une éventuelle défaillance pendant la phase de préparation du robot tout en évitant les erreurs de manipulation (typiquement un mauvais positionnement initial du robot). Cette détection d'erreur permet également de diagnostiquer, en amont de la compétition, les problèmes récurrents qui sont généralement révélateurs d'un bug ou d'un défaut matériel.

## 5 Filtre de Kalman étendu

L'innovation principale de ce projet réside dans l'utilisation d'un filtre de Kalman étendu pour localiser le robot. Le lecteur entendra évidemment le qualificatif novateur au sens de la compétition (exception faite de [4]) et non de l'état de l'art puisque ce principe a été proposé à la communauté il y a maintenant quelques dizaines d'années ([5] et [6]). Cette section présente l'implémentation du filtre tel qu'il a été utilisé pendant la compétition.

### 5.1 Hypothèses et notations

Voici les hypothèses et notations utilisées:

- Les paramètres suivants sont supposés connus (ou estimés) et constants:  $e$  est la distance entre le centre de chaque roue,  $r_l$  est le rayon de la roue gauche,  $r_r$  est le rayon de la roue droite et  $x^j$  et  $y^j$  sont les coordonnées de la balise  $j$ .
- La position initiale du robot est connue et notée  $X_0$ .
- Le déplacement angulaire de chaque roue est mesurable. L'équation 1 définit  $\Delta q_i$ , le déplacement angulaire élémentaire de chaque roue.

$$\Delta q_i = \begin{bmatrix} \Delta q l_i \\ \Delta q r_i \end{bmatrix} \quad (1)$$

où:

- $\Delta q l_i$  est le déplacement élémentaire de la roue gauche entre les instants  $i$  et  $i - 1$ ,
- $\Delta q r_i$  est le déplacement élémentaire de la roue droite entre les instants  $i$  et  $i - 1$ .
- L'incertitude liée aux déplacements du robot est supposée connue et constante. Elle est définie par la matrice de covariance  $\Sigma_U$ .

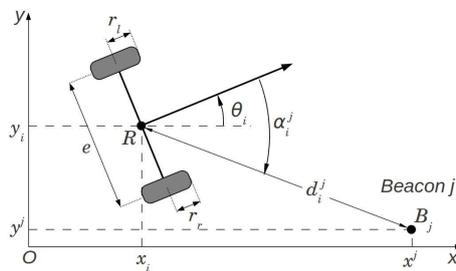


Figure 8: Modèle du robot.

- Le LIDAR permet d'obtenir  $d^j$  et  $\alpha^j$  qui sont respectivement la distance et l'angle relatifs à la balise  $j$ . L'incertitude liée à ces mesures est supposée connue et constante. La matrice de covariance associée est notée  $\Sigma^b$ .

## 5.2 Algorithme

L'état du système à l'instant  $i$  est donné par  $X_i = \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ \theta_i \end{bmatrix}$

où:

- $x_i$  et  $y_i$  sont les coordonnées cartésiennes du robot dans le référentiel global centré en  $O$ ,
- $\theta_i$  est l'orientation du robot par rapport à l'axe  $x$ .

L'algorithme 1 présente une vue d'ensemble de l'implémentation du filtre. L'idée maîtresse est la mise à jour de l'état du robot  $X$  grâce à l'odométrie (ligne 3) et du maintien de l'incertitude (matrice de covariance  $P$ , étape 4) avant la prise en compte éventuelle des balises. Initialement, les balises étaient considérées séquentiellement et individuellement, mais cette approche rendait difficile le réglage des matrices de covariance et induisait des oscillations dans l'état du robot. Nous avons finalement concaténé les balises dans un unique vecteur, solution qui offre de meilleures performances. Les étapes 5, 6, 7, 8 et 9 servent à la prise en compte de l'information liée aux balises. L'étape 5 calcule l'innovation, c'est à dire la différence entre l'information mesurée et l'information espérée. L'étape 6 calcule la covariance associée à l'innovation afin d'en déterminer le gain de Kalman (étape 7). Le gain est une matrice (assimilable à un coefficient proportionnel dans le cas scalaire) permettant la fusion de données entre l'odométrie et les balises. Finalement, l'état du robot et son incertitude associée sont mis à jour grâce au gain de Kalman précédemment calculé (étapes 8 et 9).

---

**Algorithm 1** Filtre de Kalman étendu

---

**Require:**  $\Delta q_i, d_i^j, \alpha_i^j, X_0$

- 1:  $X \leftarrow$  initial pose ( $X_0$ ).
  - 2: **for** each time step  $i$  **do**
  - 3:   Predict robot pose  $X$  via odometry
  - 4:   Predict pose uncertainty  $P$
  - 5:   Compute innovation  $v$  for beacons
  - 6:   Compute the innovation covariance  $S$
  - 7:   Compute the Kalman gain  $K$
  - 8:   Update state  $X$  with beacon  $j$
  - 9:   Update pose uncertainty  $P$
  - 10: **end for**
- 

## 6 Conclusion et perspectives

L'objectif principal de notre projet était de démontrer la faisabilité et la performance du système de localisation ; objectif atteint puisque Moulifal et Teflex se sont hissés à la première place de la compétition en réalisant le doublé national et international. Cette réussite prouve donc que cette solution est concurrentielle malgré sa jeunesse dans la compétition. Elle présente bien sûr des limitations tout en ouvrant un champ de perspective intéressant pour les années futures.

La première limitation de ce système est le coût, la performance est fortement liée à la vitesse d'acquisition des balises qui impose des systèmes onéreux. La démocratisation des LIDAR avec l'apparition de systèmes à bas coût (robot aspirateur Neato) pourrait permettre la généralisation de ces systèmes.

La seconde limitation est la détection des balises, bien que ce point n'est pas été abordé dans ce

document, il est essentiel au bon fonctionnement du filtre. Une balise peut être masquée ou mal détectée et une confusion avec le système adverse est malheureusement possible. L'utilisation d'un test de cohérence basé sur la distance de Mahalanobis semble être une piste intéressante pour diminuer le risque de fausse détection.

L'éventualité d'un masquage prolongé des balises doit être pris en compte et la dérive du robot peut être diminuée en utilisant des codeurs incrémentaux indépendants comme exposé dans l'état de l'art, solution que nous n'avons pas retenue pour des raisons d'encombrement. Nous lui avons préféré un système de relocalisation global qui, en cas de masquage prolongé, force la position du robot par triangulation dès que les trois balises sont à nouveau visibles. Ce système a été programmé peu de temps avant la compétition et mériterait diverses améliorations.

La solution ultime reste l'utilisation d'un algorithme de SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) qui permettrait de s'affranchir des balises en utilisant l'environnement naturel du robot. L'université d'Angers possède depuis 2011 la propriété intellectuelle d'un tel algorithme baptisé Slam-O-matic (cf. [8] pour plus de détails). La tentation était grande de l'utiliser d'autant qu'il s'était illustré l'année précédente lors d'une autre compétition (défi CAROTTE). Le choix de ne pas l'implémenter est dû à l'environnement fortement changeant de la compétition (arbitres qui se déplacent autour de l'aire de jeu, autres robots mobiles et mouvements de foule). Au cours des 22 matchs officiels que nous avons réalisés, nous avons enregistré toutes les données brutes des capteurs, dont les données LIDAR. Il nous est dorénavant aisé de simuler le comportement de Slam-O-matic sur la base de données réelles. Si le résultat est concluant cette approche sera peut-être la clé d'une future victoire...

## References

- [1] National Organizing Committees of the Eurobot, "*Rules 2013 Eurobot*", <http://www.planete-sciences.org/robot/data/file/RulesEurbot2013.pdf>, 2012.
- [2] V. Durst, D. Hagel, J. Vander, M. Blaich, O. Bittel, "*Designing an Omni-Directional Infrared Sensor and Beacon System for the Eurobot Competition*", Research and Education in Robotics - EUROBOT 2011, Communications in Computer and Information Science, Volume 161, pp 102-113, 2011.
- [3] D. Obdrzalek, "*Small autonomous robot localization system*", Research and Development (SCOReD), IEEE Student Conference on, pp 461-463, 2009.
- [4] O. Bittel and M. Blaich, "*Mobile Robot Localization Using Beacons and the Kalman Filter Technique for the Eurobot Competition*", Eurobot Conference' 11, pp. 55-67, 2011.
- [5] R. Chatila and J.-P. Laumond, "*Position Referencing and Consistent World Modeling for Mobile Robots*", in Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), pp. 168-143, 1985.
- [6] P. Bonnifait and G. Garcia, "*Design and experimental validation of an odometric and goniometric localization system for outdoor robot vehicles*", IEEE Transactions on Robotics and Automation, Volume 14, Issue: 4, pp. 541-548, 1998.
- [7] T. Ozano-Perez and M.A. Wesley, "*An Algorithm for Planning Collision-Free Paths Among Polyhedral Obstacles*", Communications of ACM, Vol. 22, No.10, pp. 560-571, 1979.
- [8] P. Lucidarme et S. Lagrange, "*Slam-O-matic : SLAM algorithm based on global search of local minima*", Brevet FR1155625 déposé le 24 juin 2011.