

IMT Atlantique

2, rue de la Châtaigneraie – CS 17607

35576 Cesson-Sévigné cedex

URL : www.imt-atlantique.fr



Rapport du projet S5

Démonstration et évaluation des mécanismes d'aide à la localisation intégrés à Bluetooth Low Energy 5.1

Membres du groupe 9 :

- ▶ GONZALEZ RODRIGUEZ Pablo Vinicio
- ▶ MERHEB Camil

Encadrant :

- ▶ Christophe COUTURIER



IMT Atlantique

Bretagne-Pays de la Loire
École Mines-Télécom



IMT Atlantique

Bretagne-Pays de la Loire

École Mines-Télécom

TABLE DES MATIÈRES

1. RÉSULTATS DES TESTS.....	2
1.1 Test 1 : expérimentation à l'extérieur	2
1.2 Test 2 : approfondissement de l'expérimentation à l'extérieur	4
1.3 Test 3 : suivi d'une trajectoire	5
1.4 Test 4 : expérimentation en cas d'un obstacle	6
1.5 Test 5 : expérimentation à l'intérieur	7
1.6 Test 6 : expérimentation à l'intérieur dans d'autres conditions	8
1.7 Test 7 : suivi d'une trajectoire à l'intérieur	8
2. ANALYSE DES RÉSULTATS	9
3. ANNEXES DES RÉSULTATS	15
3.1 Annexe 1 : test 1	15
3.2 Annexe 2 : test 2	16
3.3 Annexe 3 : test 3	18
3.4 Annexe 4 : test 4	19
3.5 Annexe 5 : test 5	20
3.6 Annexe 6 : test 6	22
3.7 Annexe 7 : test 7	25
3.8 Annexe 8 : conditions environnementales des différents tests	27

1. RÉSULTATS DES TESTS

Les données citées ci-dessous, provenant principalement de nos propres expériences, nous permettent d'illustrer la performance des cartes CC2640R2F de Texas Instruments, qui servent à détecter la localisation.

Comment lire boxplot

Boxplot est un moyen normalisé pour l'affichage de la distribution des données en se basant sur un résumé des cinq valeurs descriptives suivantes :

- ▶ Minimum ($Q1 - 1.5 \cdot IQR$)
- ▶ Premier quartile ($Q1$)
- ▶ Médiane
- ▶ Troisième quartile ($Q3$)
- ▶ Maximum ($Q3 + 1.5 \cdot IQR$)

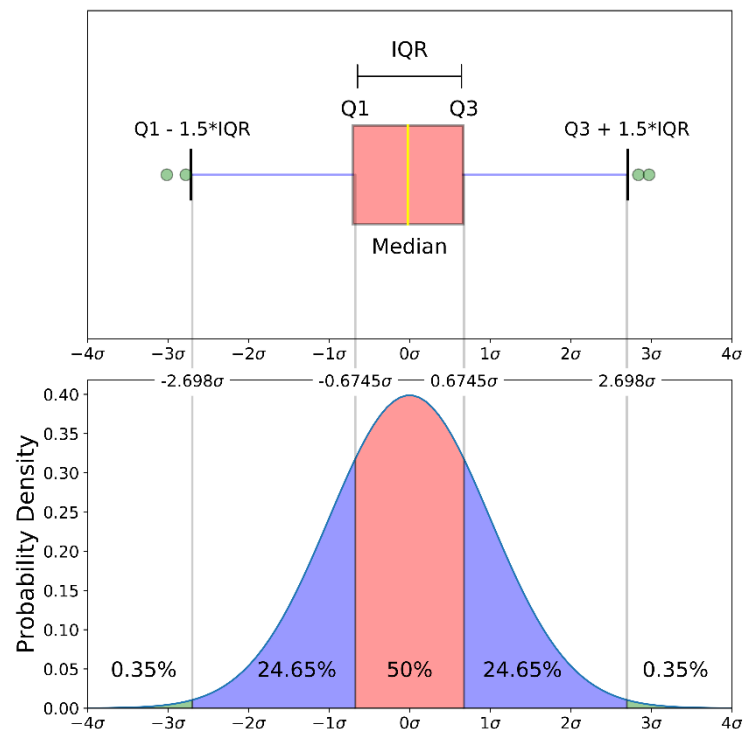


Image 1 : distribution normale et boxplot

L'image ci-dessus montre la relation entre boxplot et la distribution normale.

Référence <https://towardsdatascience.com/understanding-boxplots-5e2df7bcbd51>

1.1 Test 1 : expérimentation à l'extérieur

Le premier test que nous avons exécuté, a pris place à l'extérieur, et plus précisément, dans le parking de l'école INSA afin de pouvoir satisfaire le plus possible les conditions idéales en prenant garde des obstacles pour éviter au maximum la distorsion du signal. Il s'agit alors de fixer le maître et le passif en un point stable et de déplacer l'esclave. Durant ce test, nous avons expérimenté les angles positifs, se situant du côté gauche du passif, de 0° à 90° tous les 30° .



IMT Atlantique

Bretagne-Pays de la Loire

École Mines-Télécom

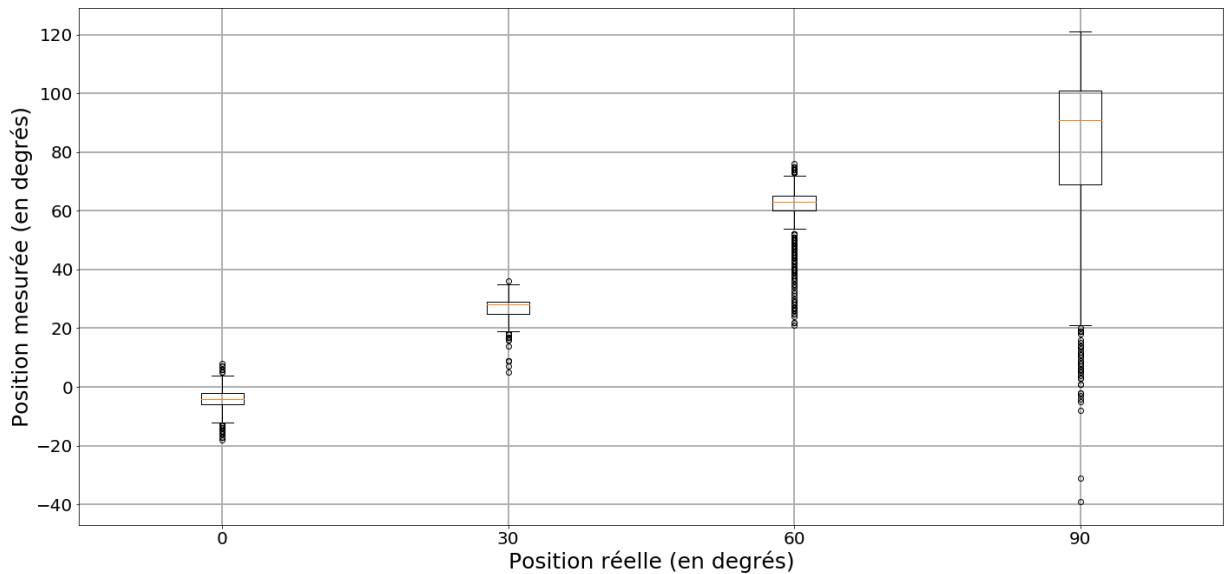


Image 2 : position réelle vs position mesurée (boxplot)

Le graphique ci-dessus nous montre le résultat du test. Nous pouvons dire que la moyenne des échantillons mesurés est très proche de celle des échantillons réels. De surcroît, nous avons l'impression que la courbe résultante sera presque linéaire.

Malgré que la valeur moyenne mesurée est environ la même que la valeur réelle, nous remarquons en analysant les échantillons récupérés, qu'à partir de 60° l'erreur devient de plus en plus importante. En particulier, l'erreur maximale à 60° est de 40° de différence, tandis qu'à 90°, elle est d'environ 95° de différence.

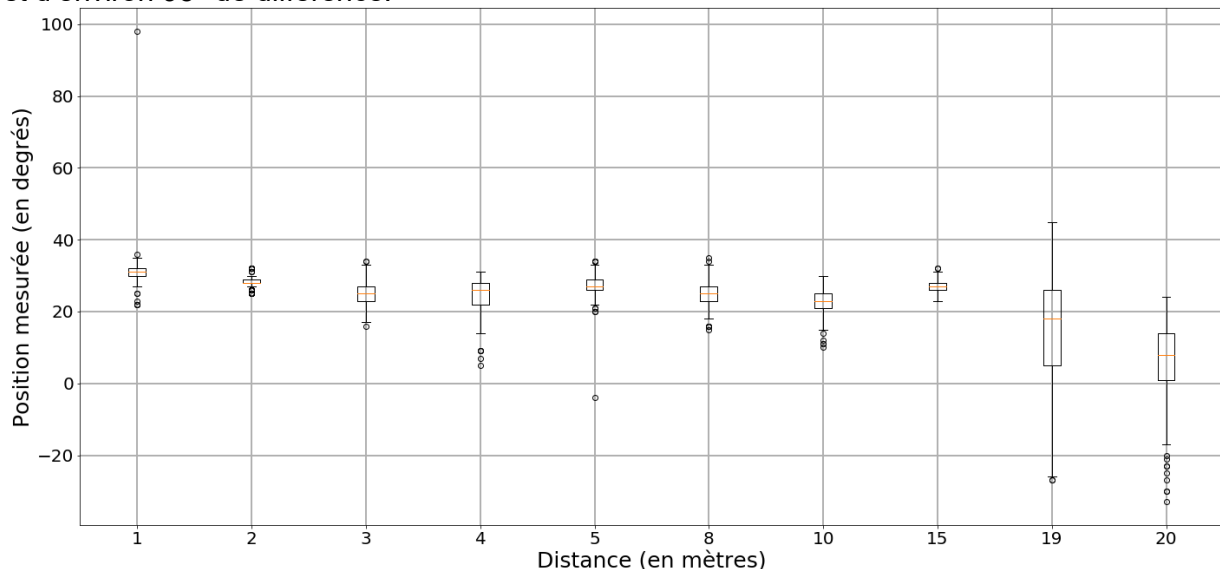


Image 3 : variation de la position mesurée par rapport à la distance à 30° (boxplot)

De plus, nous constatons à partir du graphique ci-dessus que la portée maximale du signal est de 19 mètres. Au-delà de cette distance, nous observons une dégradation du signal émis par l'esclave vers le passif. Ce test a été effectué à 30°.

Il est essentiel ensuite de tester les angles négatifs, se trouvant à droite du passif, afin de juger la symétrie de cette technologie par rapports aux résultats obtenus à partir du test 1. D'autre part,



IMT Atlantique

Bretagne-Pays de la Loire

École Mines-Télécom

nous nous intéressons à vérifier aussi si la distance maximale varie par rapport à l'angle ou elle est constante.

1.2 Test 2 : approfondissement de l'expérimentation à l'extérieur

Le test 2 consiste à répéter le premier dans les mêmes conditions, mais en commençant cette fois de -90° jusqu'à $+90^\circ$ et en tenant compte d'un pas de 15° au lieu de 30° .

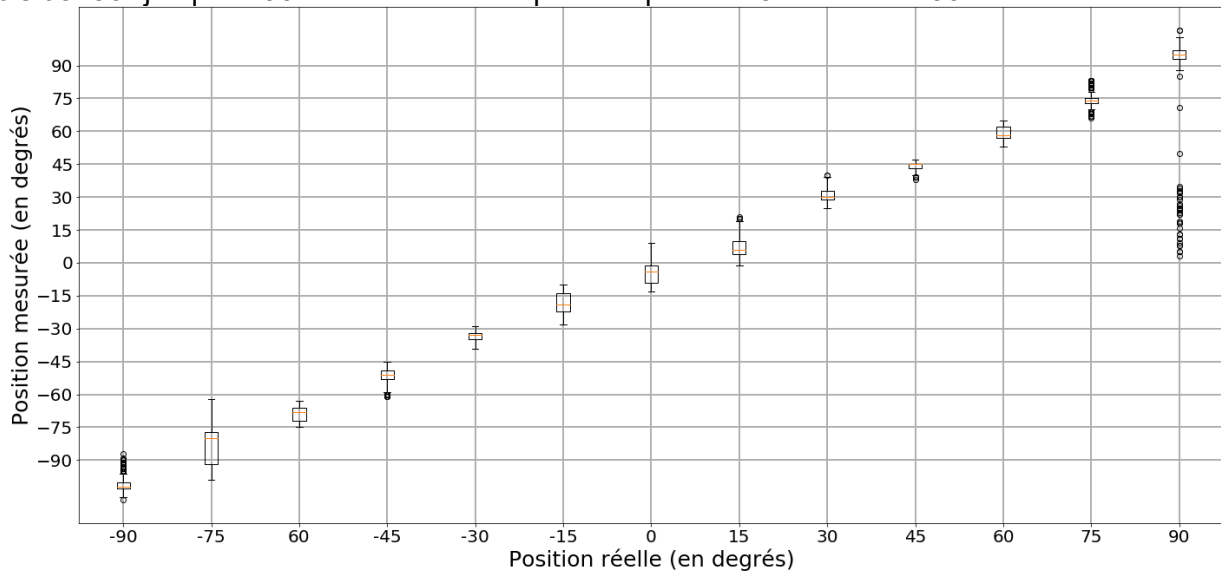


Image 4 : position réelle vs position mesurée (boxplot)

À l'issu de ce test, nous arrivons à prouver la symétrie de cette technologie puisque les mesures des angles négatifs sont semblables à ceux positifs. Pareil, la courbe dérivante des valeur moyennes a une allure presque linéaire et les erreurs sont beaucoup plus importantes au niveau des bornes (-90° et $+90^\circ$). Cependant, nous observons que les erreurs au niveau de l'extrémité positive sont plus importantes que ceux de l'extrémité négative.

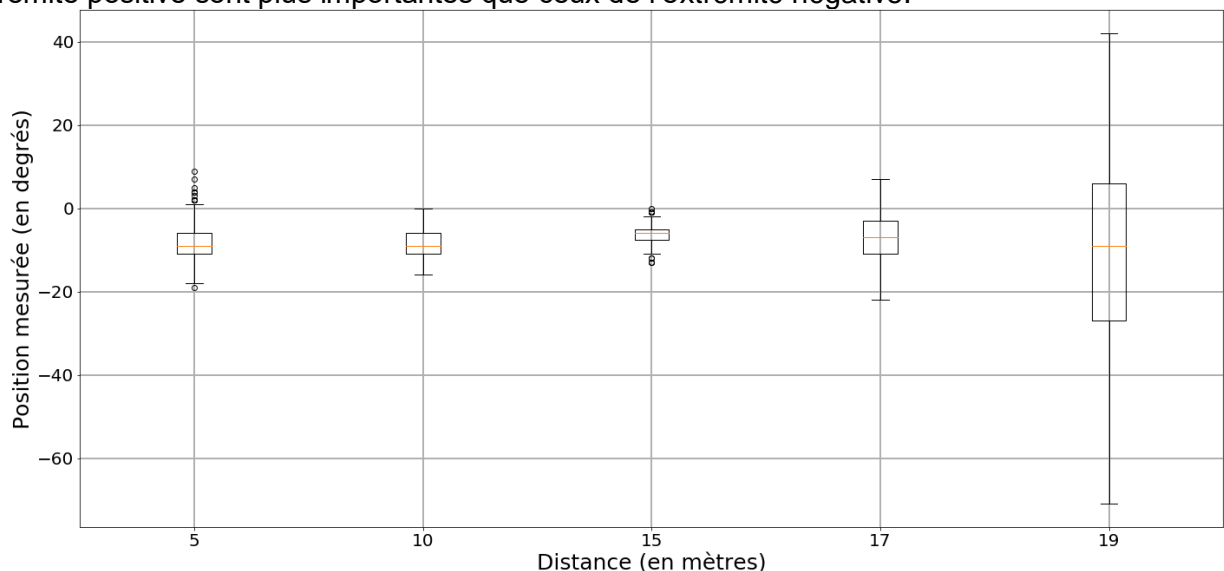


Image 5 : variation de la position mesurée par rapport à la distance à 0° (boxplot)



IMT Atlantique

Bretagne-Pays de la Loire

École Mines-Télécom

En ce qui concerne la distance maximale, nous reprenons le même test approprié mais par rapport aux angles 0° correspondant à l'image ci-dessus et -30° comme illustré dans l'image ci-dessous. Par conséquent, la distance maximale est toujours la même et donc indépendante par rapport à l'angle.

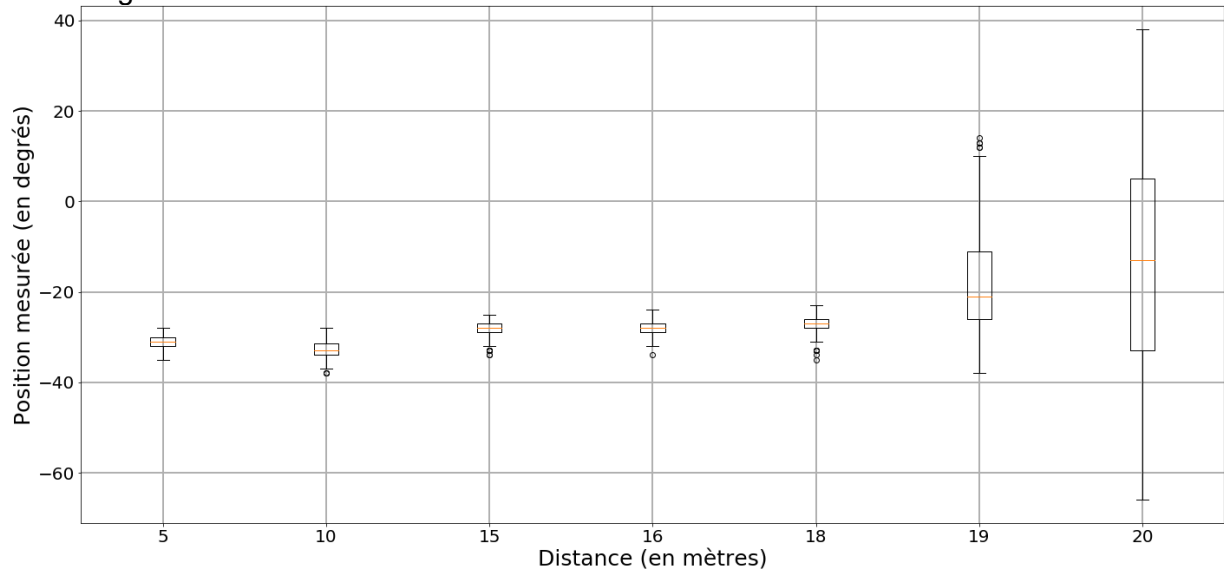


Image 6 : variation de la position mesurée par rapport à la distance à -30° (boxplot)

Finalement, nous concluons que les hypothèses relevées à partir du test 1 sont confirmées par le test 2.

Dans notre cas d'usage, les manœuvres ne sont pas nécessairement stables, il se peut qu'ils soient en mouvement. Il est donc intéressant de vérifier les mesures de l'angle au cas où l'esclave est mobile.

1.3 Test 3 : suivi d'une trajectoire

Toujours dans les mêmes conditions, le test 3 repose sur le fait de mesurer les angles de l'esclave mobile parcourant les angles possibles. L'image ci-dessous montre les angles mesurés par rapport au temps en déplaçant progressivement l'esclave de 0° à $+90^\circ$ puis à -90° en passant de nouveau par 0° .



IMT Atlantique

Bretagne-Pays de la Loire

École Mines-Télécom

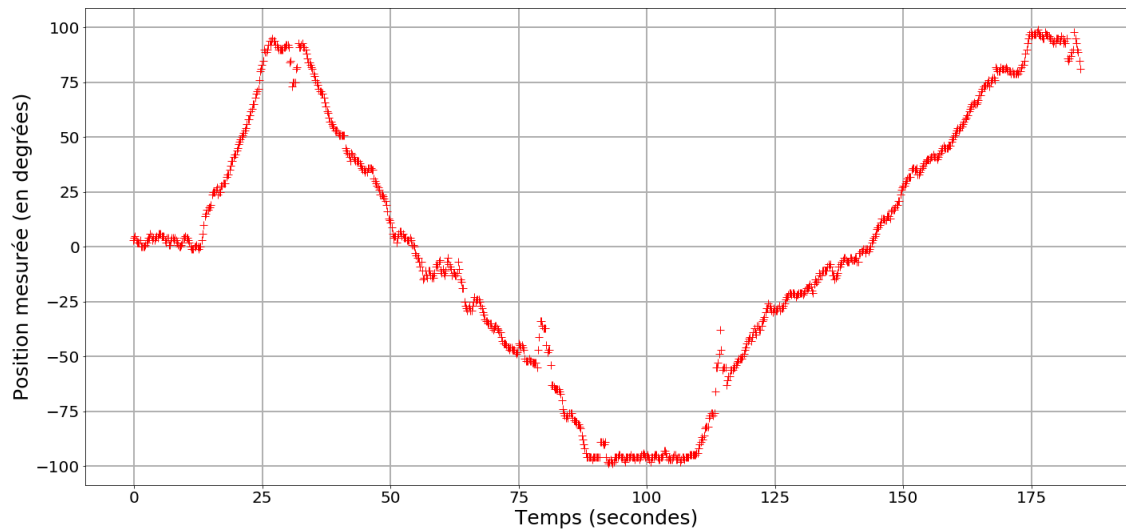


Image 7 : position mesurée vs temps

On peut dire alors que nous arrivons à détecter le bon côté (positif ou négatif) de l'esclave représentant le travailleur par rapport au passif correspondant au véhicule.

Après avoir testé l'outil dans un milieu idéale, sans obstacles, il est évident d'étudier sa performance dans un cas plus réaliste, similaire à celui de notre cas d'usage, où les manœuvres et les véhicules ne se trouvent pas isolés dans le chantier. Dans les tests qui suivent, l'environnement dans lequel s'évaluera l'outil sera dans un lieu contenant des obstacles afin d'expérimenter la sensibilité de cette technologie par rapport à ces derniers.

1.4 Test 4 : expérimentation en cas d'un obstacle

Dans le but de tester le cas d'utilisation, nous avons effectué ce test dans le parking de la Maisel et en ayant recours à une voiture se trouvant entre l'esclave et les autres cartes.

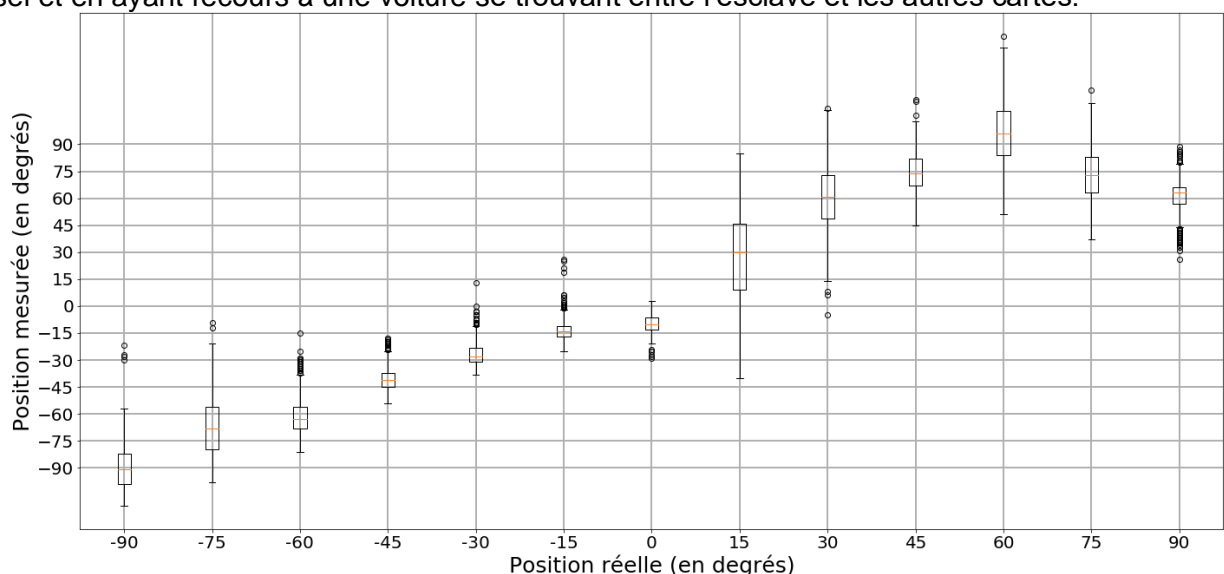


Image 8 : position réelle vs position mesurée (boxplot)

L'image ci-dessus illustre les résultats de ce test. Nous remarquons qu'entre -90° et 0° la voiture ne formait pas vraiment un obstacle. Après du premier angle, les cartes se trouvaient aux extrémités du véhicule. Alors que vers 0° , les cartes se trouvaient au niveau des fenêtres. Contrairement pour les angles entre 15° et 90° , où l'automobile présentait effectivement un obstacle et cela est noté à travers les dégradations des angles mesurés par rapport aux angles réels. De plus, nous constatons une grande variation des angles mesurés par rapport au même angle réel qui est maximale à 15° .

Après avoir évalué l'outil à l'extérieur, nous nous sommes intéressés à l'expérimenter à l'intérieur.

1.5 Test 5 : expérimentation à l'intérieur

Cette expérimentation consiste à évaluer l'angle mesuré par rapport à l'angle réel dans une salle, et plus précisément, au laboratoire de l'école (la salle D00-116A).

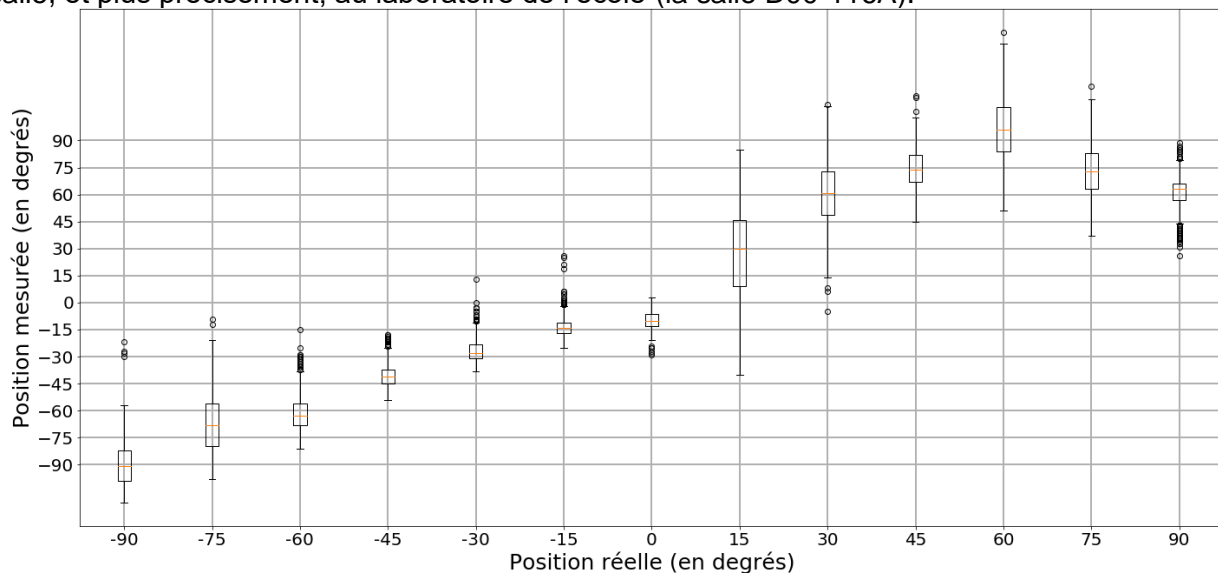


Image 9 : position mesurée vs position réelle (boxplot)

On éprouve à travers l'image ci-dessus une grande variation de l'angle mesuré par rapport à celui réel à cause de l'effet des trajets multiples, qui est dû à l'abondance des obstacles métalliques de cet environnement. D'autre part, nous apercevons que plus le temps d'évaluation est grand, plus la dispersion des mesures accroît et surtout que nous aboutissons à une valeur moyenne plus proche à la valeur réelle puisque l'évaluation de chaque angle a durée 5 minutes durant ce test alors qu'elle a pris 1 minute durant le test 5 bis (vois image 25 dans l'annexe). Nous pouvons dire alors que nous avons intérêt à augmenter le temps d'évaluation des tests de chaque angle afin d'atteindre de meilleurs résultats.

En outre, il est intéressant d'évaluer cet outil dans un environnement intérieur mais comportant moins d'obstacles afin de tester leur impact.

1.6 Test 6 : expérimentation à l'intérieur dans d'autres conditions

Ce test a été réalisé dans une salle de cours (la salle A00-122A) plus grande que le laboratoire et comportant moins d'obstacles. Nous nous attendions alors à avoir de meilleurs résultats que ceux du test précédent puisque les conditions environnementales semblaient être favorables.

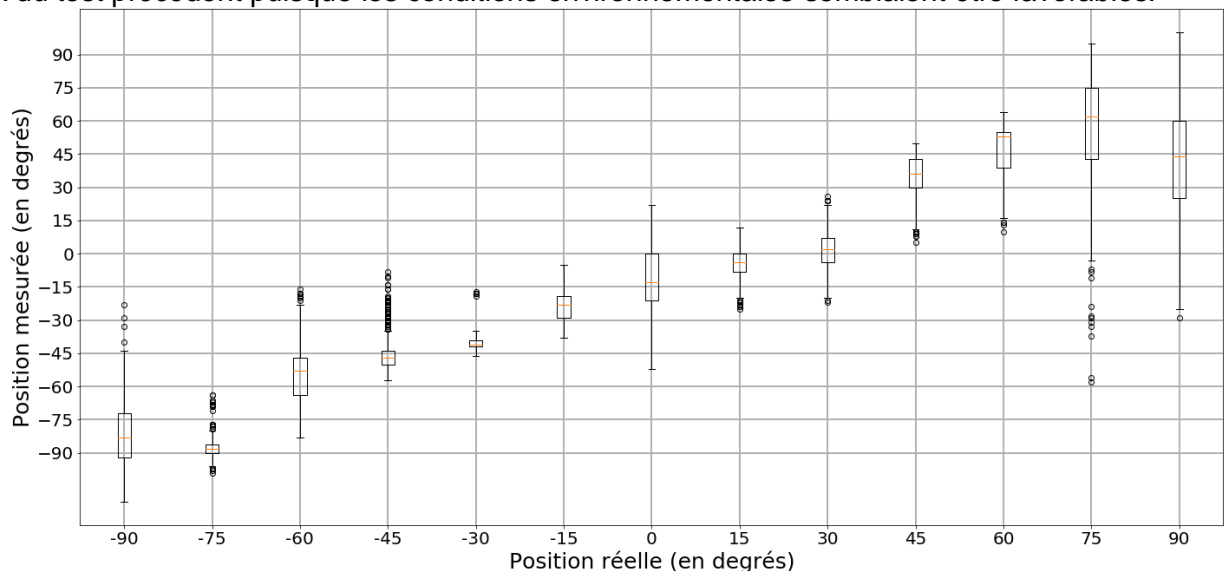


Image 10 : position réelle vs position mesurée (boxplot)

On arrive à récupérer une meilleure précision comparée aux résultats du test précédent et cela est dû à la nature de l'environnement causant moins des effets de multi-trajets. Nous notons aussi une dégradation remarquable entre -90° et -60° puisque nous nous approchons de plus en plus vers le coin de la salle.

Dans le test qui suit, nous expérimenterons les cartes dans un cas d'usage plus réaliste en déplaçant l'esclave puisque les manœuvres ne seront pas stables dans le but de voir l'impact de l'environnement ainsi que la variation de la position de l'esclave sur le niveau de précision de la mesure de l'angle.

1.7 Test 7 : suivi d'une trajectoire à l'intérieur

L'objectif de ce test est de mesurer l'angle de l'esclave mobile par rapport au temps en conservant les conditions de l'environnement puisque dans notre cas d'usage les manœuvres sont instables.

Dans l'image ci-dessous, nous pouvons voir les mesures d'angle de l'esclave que nous avons prises dans la salle de cours A00-124A en débutant par -90° puis à $+90^\circ$ en passant par 0° et nous revenons finalement à -90° . Après avoir fait une pause d'environ de 75 secondes, nous mesurons de nouveau les angles du même trajet.



IMT Atlantique

Bretagne-Pays de la Loire

École Mines-Télécom

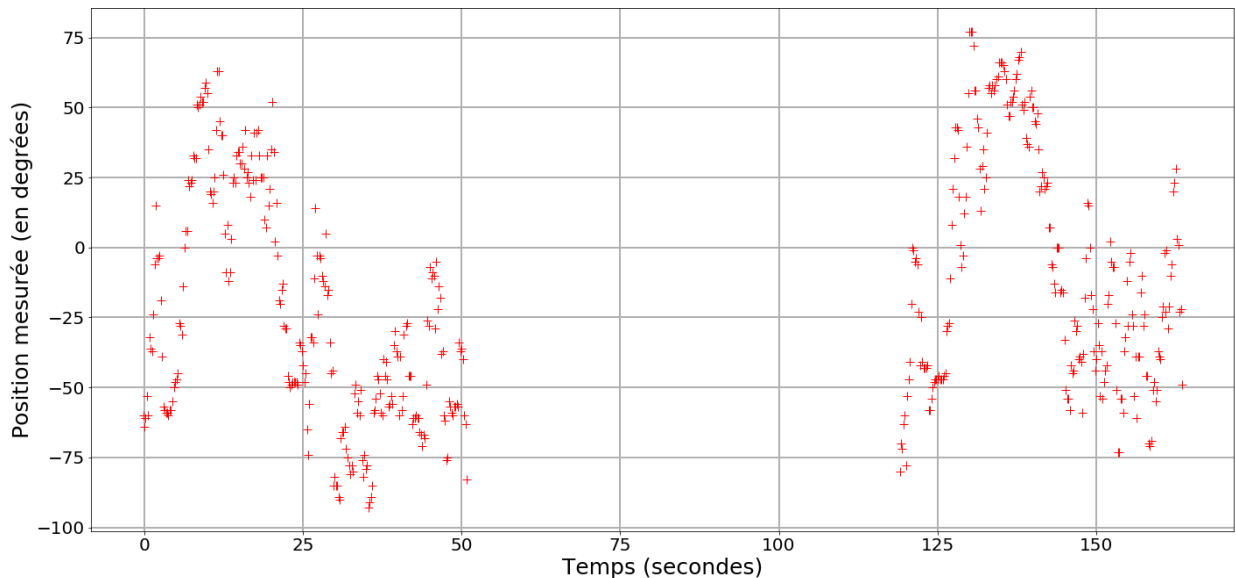


Image 11 : position mesurée vs temps

Finalement, nous pouvons conclure que cette technologie est très sensible aux effets des multi trajets qui causent un endommagement au signal reçu. D'où il est conseillé/favorable d'utiliser cette technologie à l'extérieur dans un environnement avec le moins possibles d'obstacles.

2. ANALYSE DES RÉSULTATS

L'erreur de mesure ou le score d'erreur est la différence entre un score obtenu et son équivalent théorique réel. Le score d'erreur est la partie du score obtenu qui n'est pas systématique, aléatoire ou due au hasard. Ce sont les effets cumulés de tous les facteurs d'influence non contrôlés et non spécifiés inclus dans le score.

Ainsi, il est possible d'exprimer un score obtenu en deux parties, une véritable composante qui représente la véritable capacité du candidat et une composante d'erreur qui représente le risque de fluctuation aléatoire.

Erreur standard de mesure

L'erreur standard de mesure (SEm) est une mesure du calculé dans laquelle les résultats des tests mesurés sont répartis autour d'un « vrai » score. Le SEm est particulièrement significatif pour un candidat au test car il s'applique à un seul score et il utilise les mêmes unités que le test.

Pour nos tests, la bibliothèque pandas inclut la fonction « sem » qui renvoie l'erreur standard non biaisée de la moyenne sur une trame de données. Cela signifie que nous pouvons calculer la plage d'erreur autour de la valeur moyenne de nos mesures.

Pour nos tests, nous traçons toutes les valeurs individuelles dans le SEm calculé afin d'observer la précision d'une seule mesure. Cette erreur peut également être considérée comme la plage de la valeur moyenne où la moyenne d'un test potentiel serait trouvée. Le problème avec



IMT Atlantique

Bretagne-Pays de la Loire
École Mines-Télécom

ces deux approches est qu'une seule mesure peut être extrêmement éloignée de la position réelle, donc plusieurs mesures sont nécessaires pour obtenir un emplacement plus précis.

Dans les tables ci-dessous, nous pouvons constater que la valeur absolue de l'angle et l'erreur sont proportionnels : plus la valeur absolue de l'angle est élevée, plus l'erreur est grande et inversement. Nous considérons que c'est l'antenne qui génère ces données car l'antenne a une ouverture de -60° à $+60^\circ$.

Test 2	
Position	Erreur (SEM)
-90°	0.11451
-75°	0.30227
-60°	0.13714
-45°	0.10350
-30°	0.07302
-15°	0.16505
0°	0.13841
15°	0.15479
30°	0.09149
45°	0.06080
60°	0.12120
75°	0.13762
90°	0.65391

Test 4	
Position	Erreur (SEM)
-90°	0.75537
-75°	0.86738
-60°	0.44799
-45°	0.42266
-30°	0.36477
-15°	0.26513
0°	0.28356
15°	0.89486
30°	1.10695
45°	0.57083
60°	0.86828
75°	0.61361
90°	0.46879



IMT Atlantique

Bretagne-Pays de la Loire
École Mines-Télécom

Test 5	
Position	Erreur (SEM)
-90°	0.48379
-75°	0.34305
-60°	0.15194
-45°	0.12383
-30°	0.08478
-15°	0.11439
0°	0.09685
15°	0.07099
30°	0.06325
45°	0.04979
60°	0.08272
75°	0.05324
90°	0.18025

Test 6	
Position	Erreur (SEM)
-90°	0.49612
-75°	0.14486
-60°	0.44405
-45°	0.25150
-30°	0.08761
-15°	0.23438
0°	0.47495
15°	0.21768
30°	0.29085
45°	0.28854
60°	0.28849
75°	0.79513
90°	0.79382

Les tables ne montrent pas un phénomène intéressant de nos mesures, ne fournissent pas d'informations suffisantes pour les analyser. Cependant, nous constatons d'après les graphes ci-dessous que les mesures tendent vers le bas. Nous avons conclu que cela est dû aux limitations des bâtons où les cartes ont été fixées. En effet, ces bâtons s'inclinaient souvent durant nos tests vers l'avant, vers la gauche ou vers la droite, et que ça soit par le vent ou par leur propre poids ou étaient bougés par le vent.

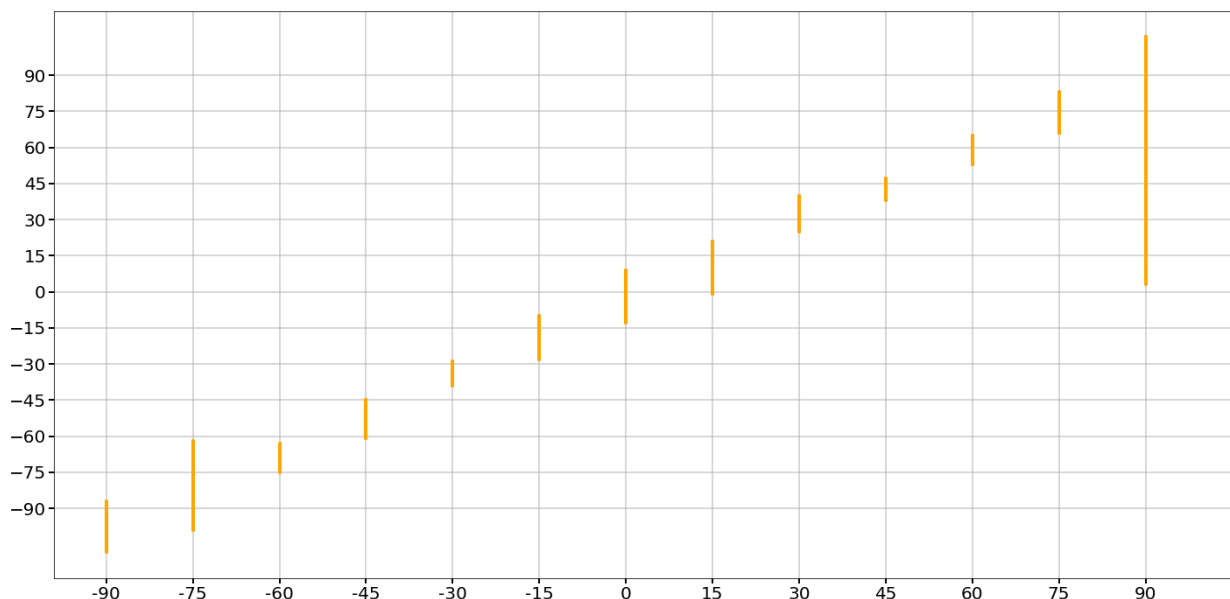


Image 12 : erreurs du test 2



IMT Atlantique
Bretagne-Pays de la Loire
École Mines-Télécom

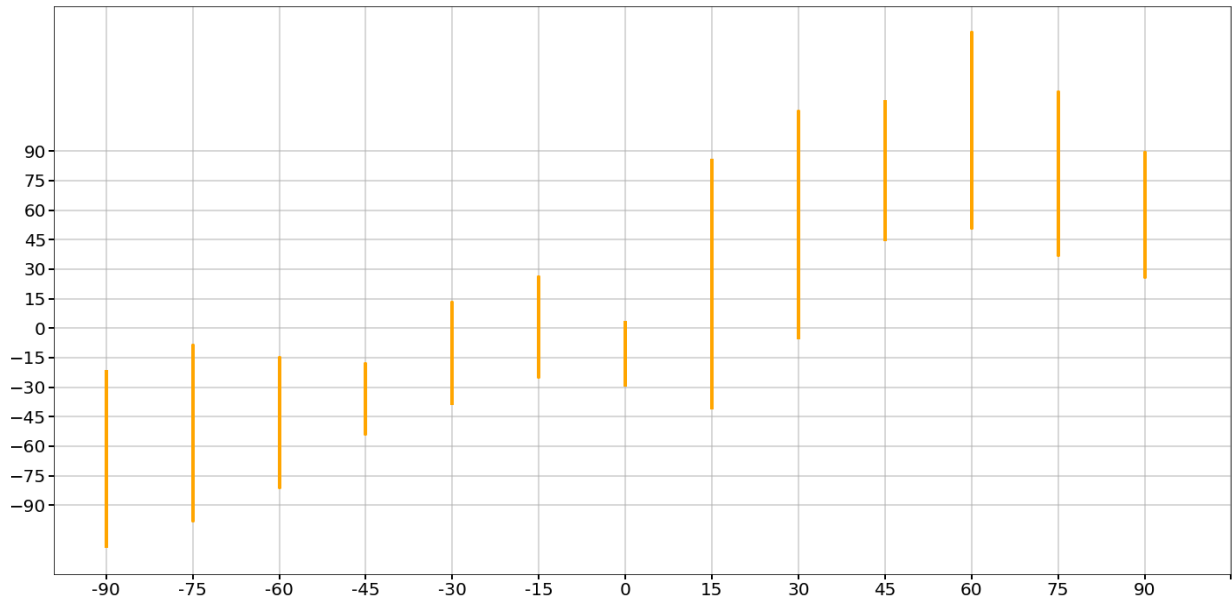


Image 13 : erreurs du test 4

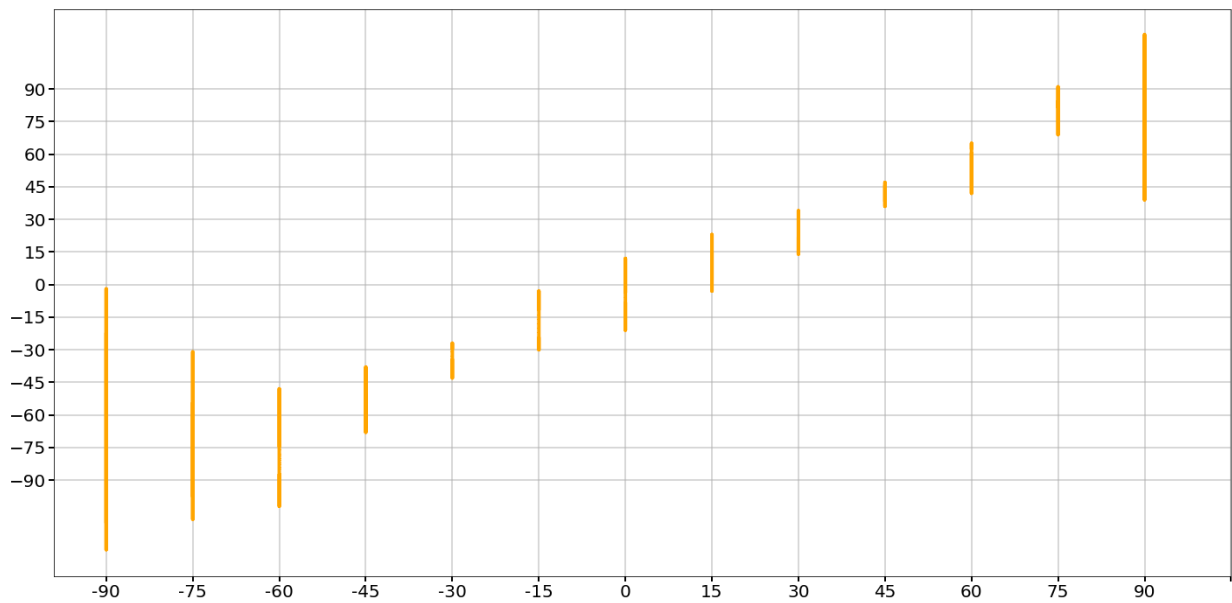


Image 14 : erreurs du test 5



IMT Atlantique

Bretagne-Pays de la Loire

École Mines-Télécom

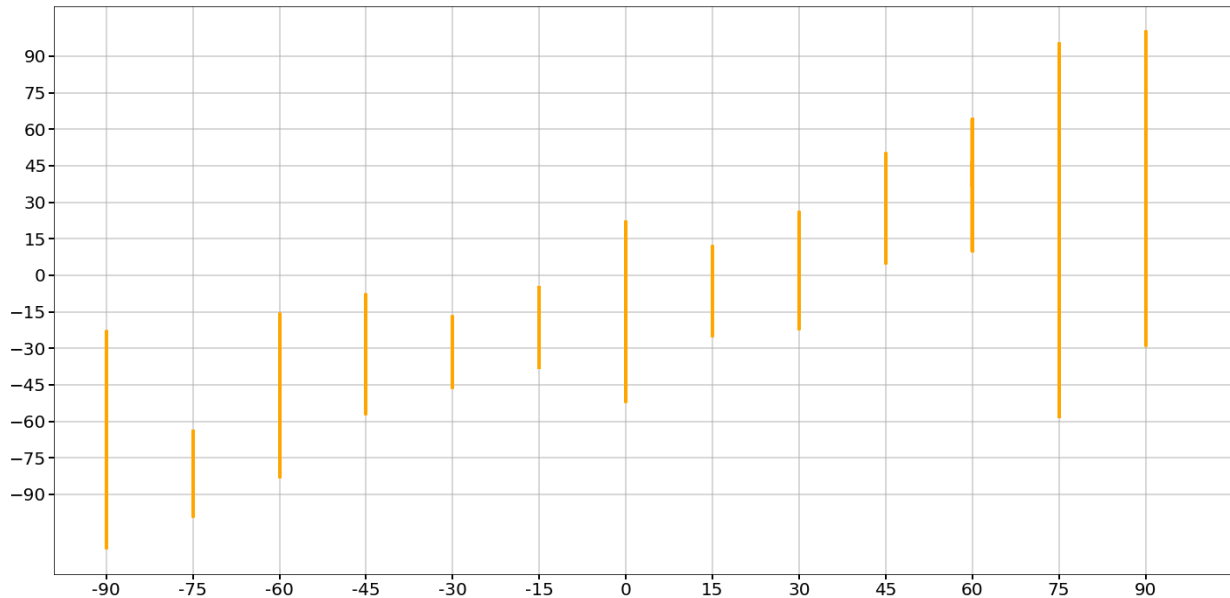


Image 15 : erreurs du test 6

Remarques

- Nous constatons une faible erreur jusqu'à 15 mètres mais au-delà, nous remarquons une diminution de la précision. En fait, ceci a comme conséquence un décalage négatif, c'est-à-dire, les angles mesurés sont plus faibles que la position réelle et non pas en excès. Notre première hypothèse est que nos messages pourraient être trop rudimentaires. Même si nous avons pris des mesures pour l'éviter, nous avons pu observer à plusieurs reprises comment les bâtons avaient tendance à s'incliner vers la gauche, vers la droite ou vers l'avant, ce qui fait partie d'errer nos résultats.

De surcroît, nous avons prévu de régler le problème de l'inclinaison des bâtons pour la soutenance finale afin de présenter notre projet d'une façon plus professionnelle. En fait, nous avons pensé à fixer les bâtons dans les cônes à l'aide de l'imprimante 3D. Mais puisque durant notre démonstration nous fixerons seulement le bâton du maître et du passif, alors que le bâton de l'esclave sera toujours en mouvement, ne sera pas fixé et donc nous n'aurons besoin que d'un seul cône pour fixer le bâton du passif et du maître. Et puisque dans notre cas un seul cône était en bon état, nous permettant de fixer le cône, il était alors inutile de se référer à l'imprimante 3D pour fixer le second bâton d'une façon sophistiquée.

Il est également important de dire que la référence que nous choisissons pourrait avoir un effet important sur les résultats. Puisqu'il n'était pas indiqué dans la documentation où devrait se placer la référence, nous avons alors décidé de considérer un point imaginaire entre le dernier composant de chaque antenne et l'ensemble de la carte comme illustré dans l'image ci-dessous :



IMT Atlantique

Bretagne-Pays de la Loire
École Mines-Télécom

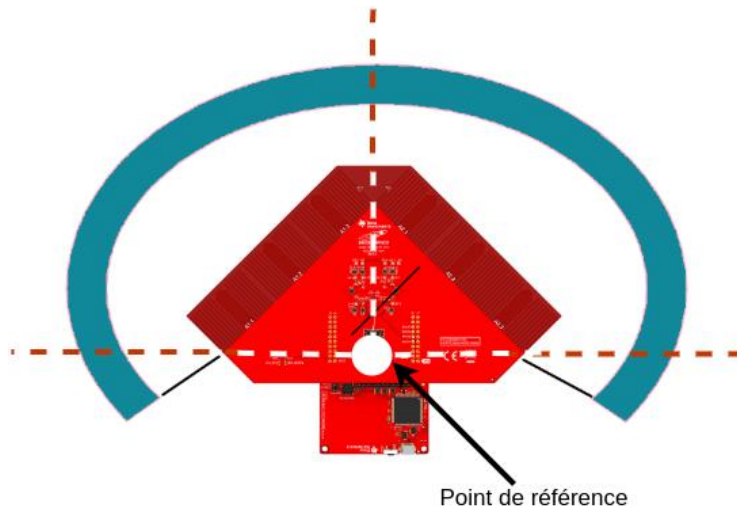


Image 16 point de référence du sommet de l'angle mesuré

- Certains des tests, comme ceux exécutés à l'intérieur, ont été effectués avec une distance de 50 cm ou moins (ceux marqués dans les données brutes comme distance 0). Même si nous n'avons pas vérifié la portée à l'intérieur, nous pouvons avoir une idée du comportement de l'éloignement si nous regardons les graphiques des chemins. À l'issue de nos expérimentés, nous pouvons voir que pour des distances inférieures à 3 mètres, nous pouvons identifier la position de l'esclave. Cependant, pour d'autres tests, même inférieur à 19 mètres, correspondant à la distance limite des tests en extérieur, il est assez difficile de distinguer la position de l'objet.
- En ce qui concerne la cause de nos erreurs, nous supposons que de nombreux facteurs peuvent affecter nos résultats, nous en avons énuméré quelques-uns précédemment, mais nous nous sommes concentrés sur les trajets multiples d'après les graphiques pointés et surtout ceux des chemins en intérieur. Ces derniers nous ont permis de voir comment certaines lectures placent l'esclave loin de l'angle réel, et l'effet devient pire pour le chemin 4 s'il y avait un tel nombre de copies de la même balise qu'il est extrêmement difficile sans l'analyse appropriée où se trouve l'objet.
Le moyen le plus efficace pour résoudre ce problème, bien que ce ne soit pas nécessairement le plus simple, est de développer un algorithme de distinction entre les balises, en attribuant à chaque balise un numéro d'identification ou en modifiant l'intervalle entre les balises (ce qui est en fait possible), puis en filtrant par rapport au temps (*slotted filtering*).



3. ANNEXES DES RÉSULTATS

3.1 Annexe 1 : test 1

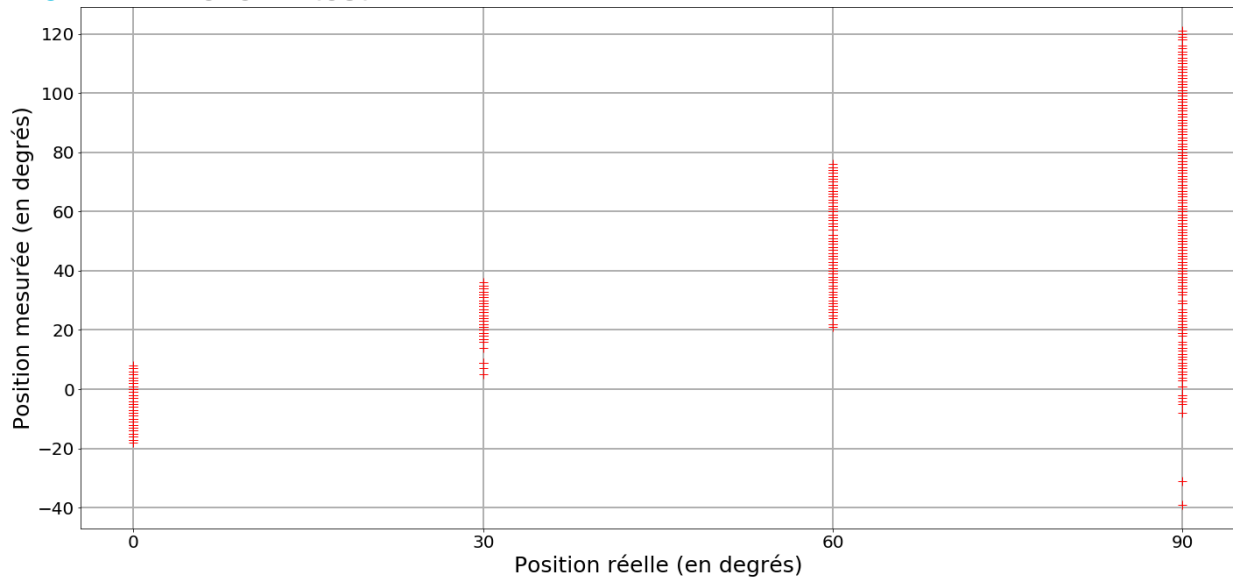


Image 17 : position réelle vs position mesurée (points)

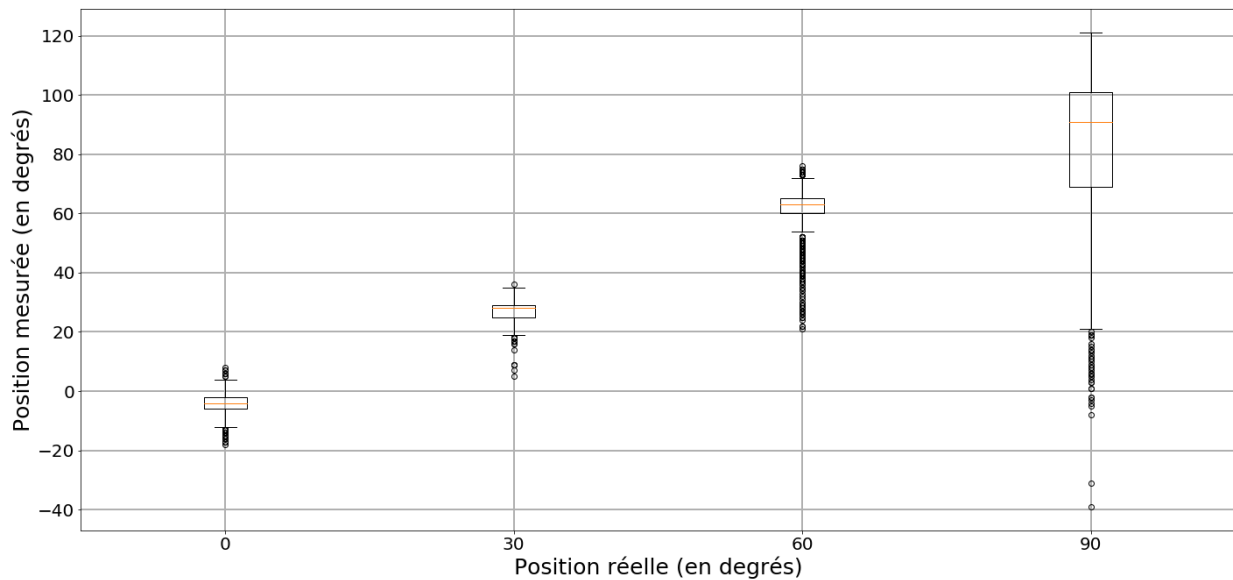


Image 18 : position réelle vs position mesurée (boxplot)



IMT Atlantique
Bretagne-Pays de la Loire
École Mines-Télécom

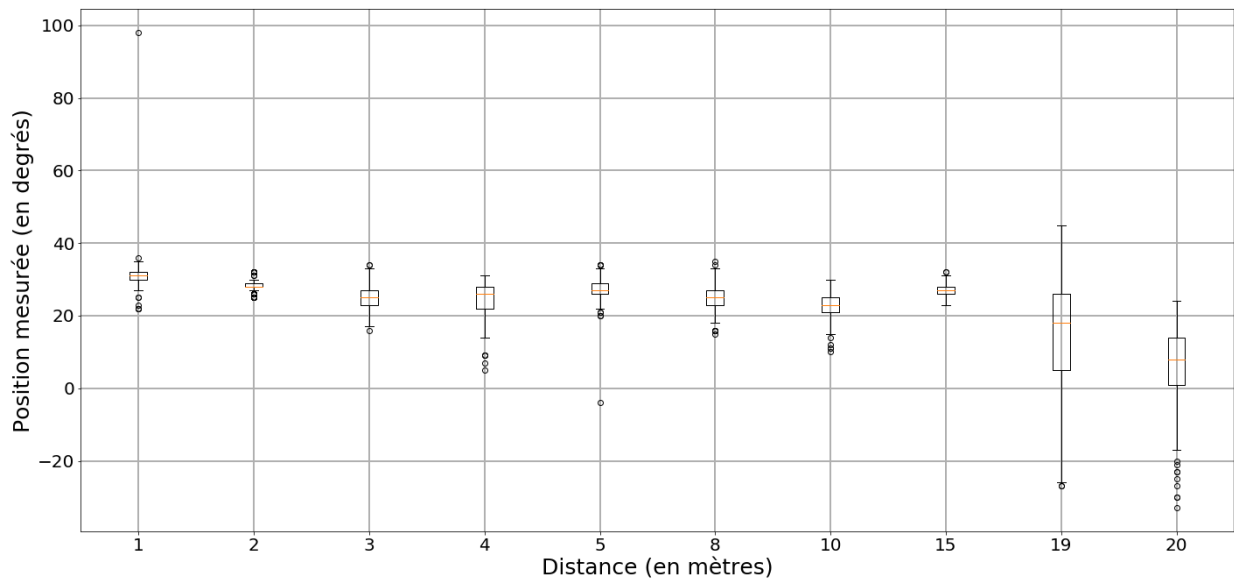


Image 19 : variation de la position mesurée par rapport à la distance à 30° (boxplot)

3.2 Annexe 2 : test 2

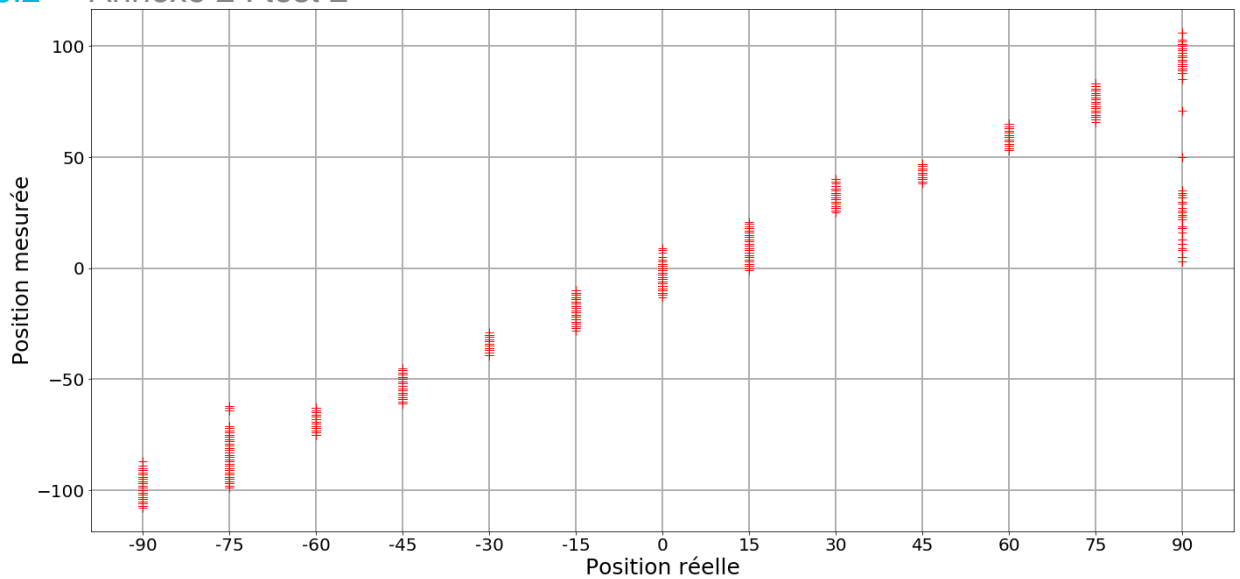


Image 20 : position réelle vs position mesurée (points)



IMT Atlantique
Bretagne-Pays de la Loire
École Mines-Télécom

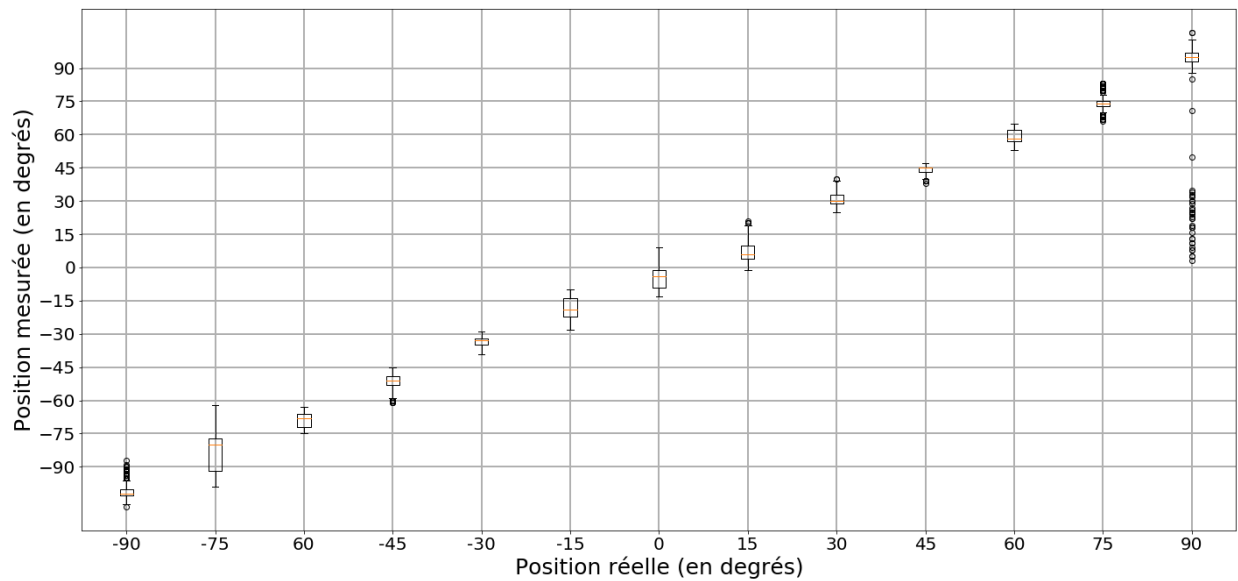


Image 21 : position réelle vs position mesurée (boxplot)

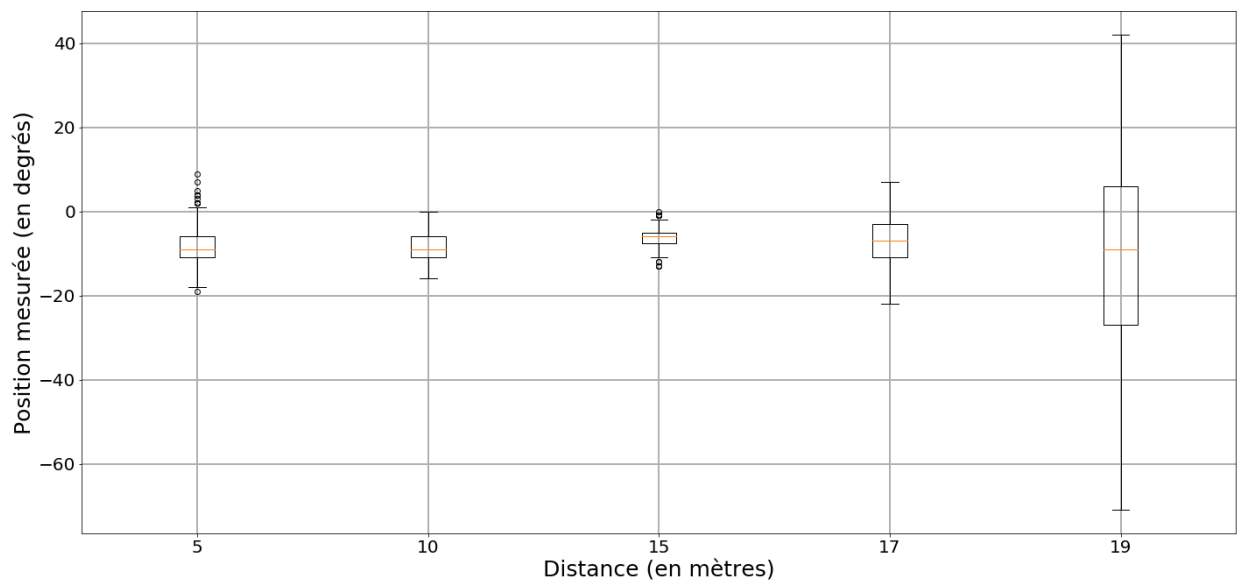


Image 22 : variation de la position mesurée par rapport à la distance à 0° (boxplot)



IMT Atlantique
Bretagne-Pays de la Loire
École Mines-Télécom

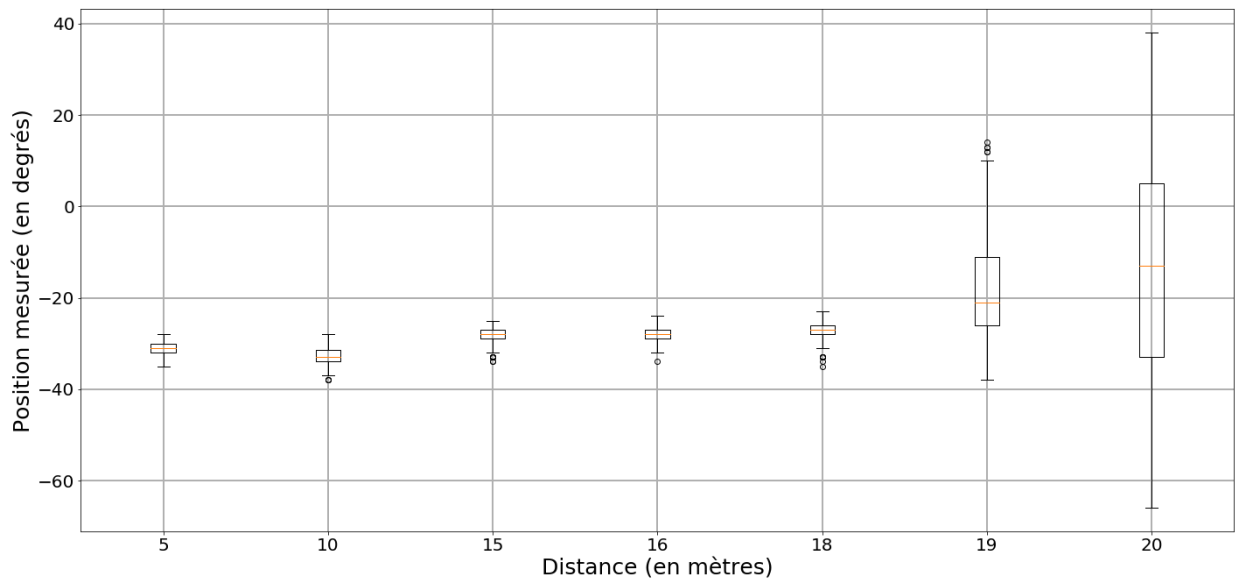


Image 23 : variation de la position mesurée par rapport à la distance à -30° (boxplot)

3.3 Annexe 3 : test 3

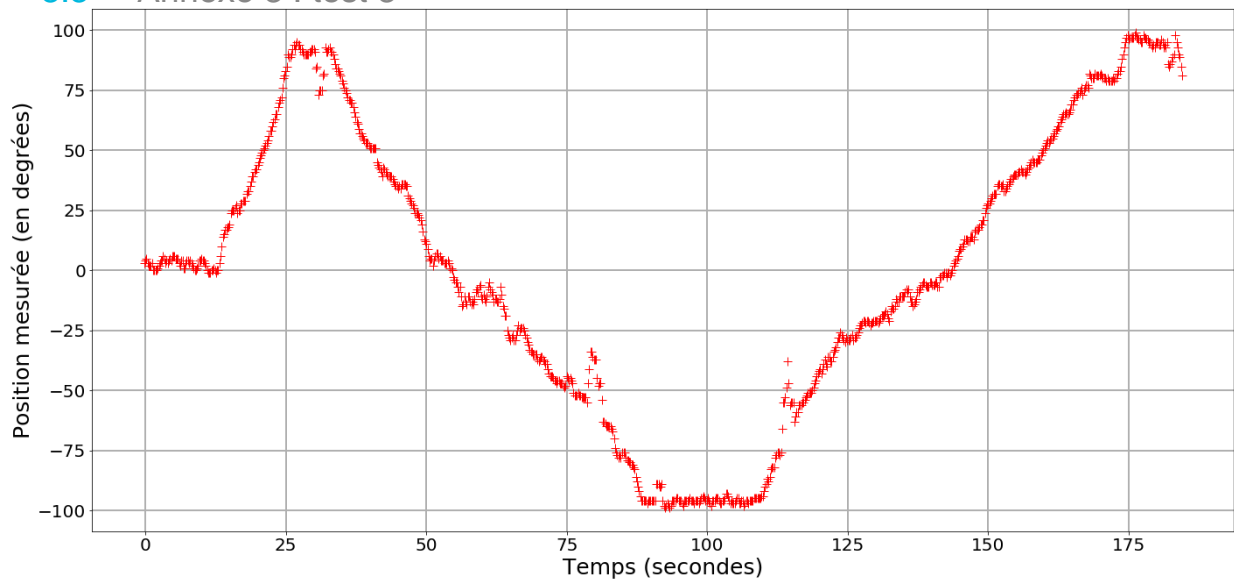


Image 24 : position mesurée vs temps



3.4 Annexe 4 : test 4

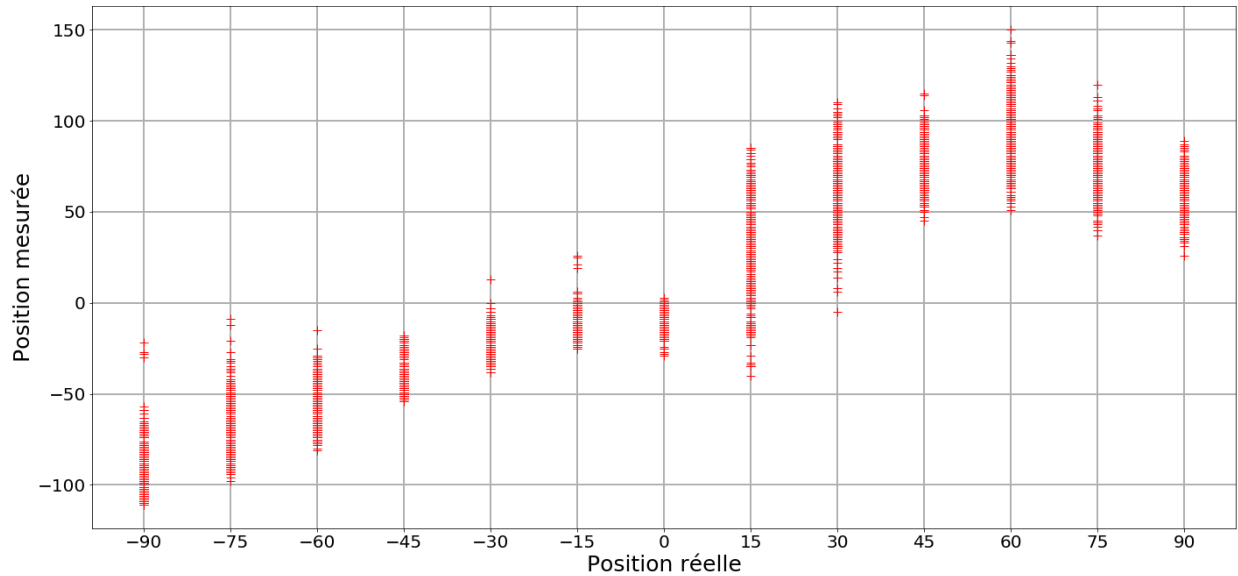


Image 25 : position réelle vs position mesurée (points)

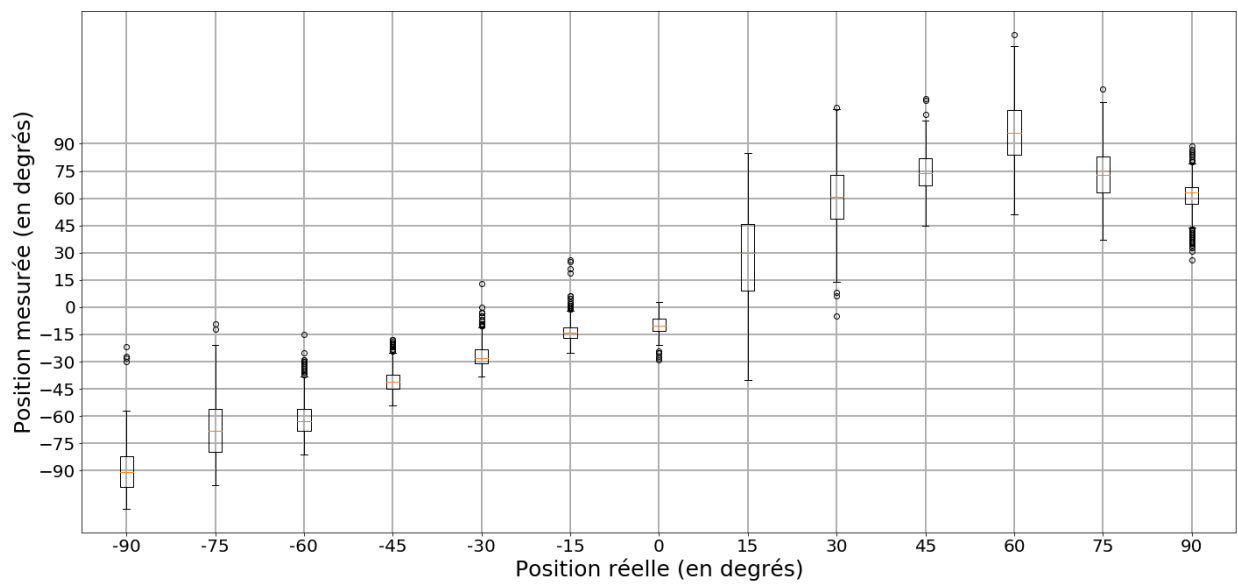


Image 26 : position réelle vs position mesurée (boxplot)



3.5 Annexe 5 : test 5

On a testé chaque position durant 5 minutes.

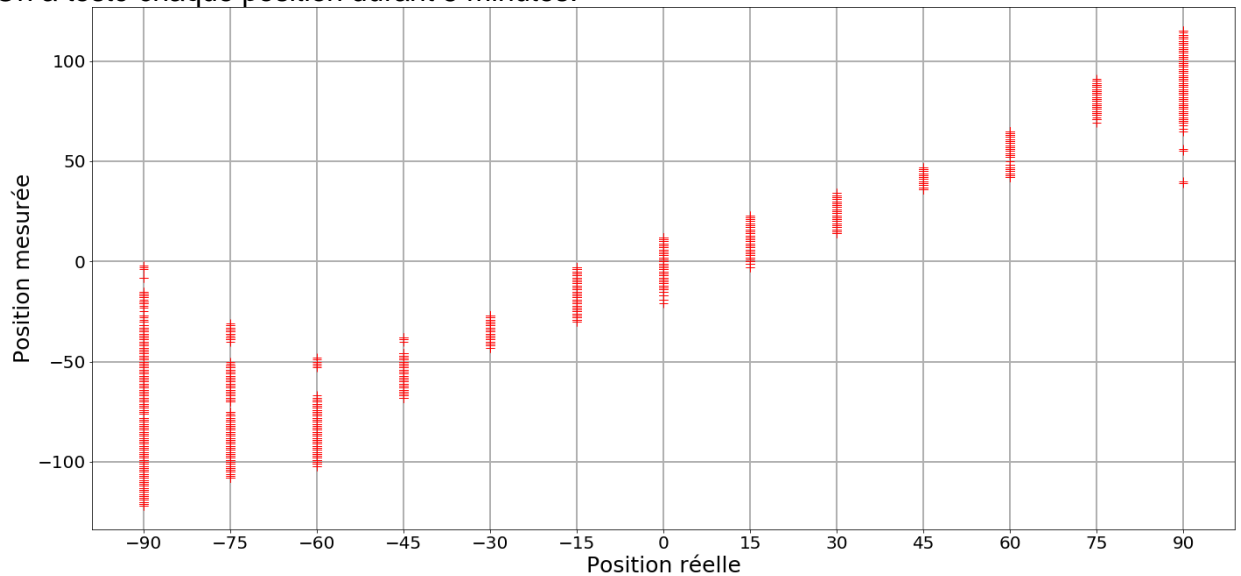


Image 27 : position réelle vs position mesurée (points)

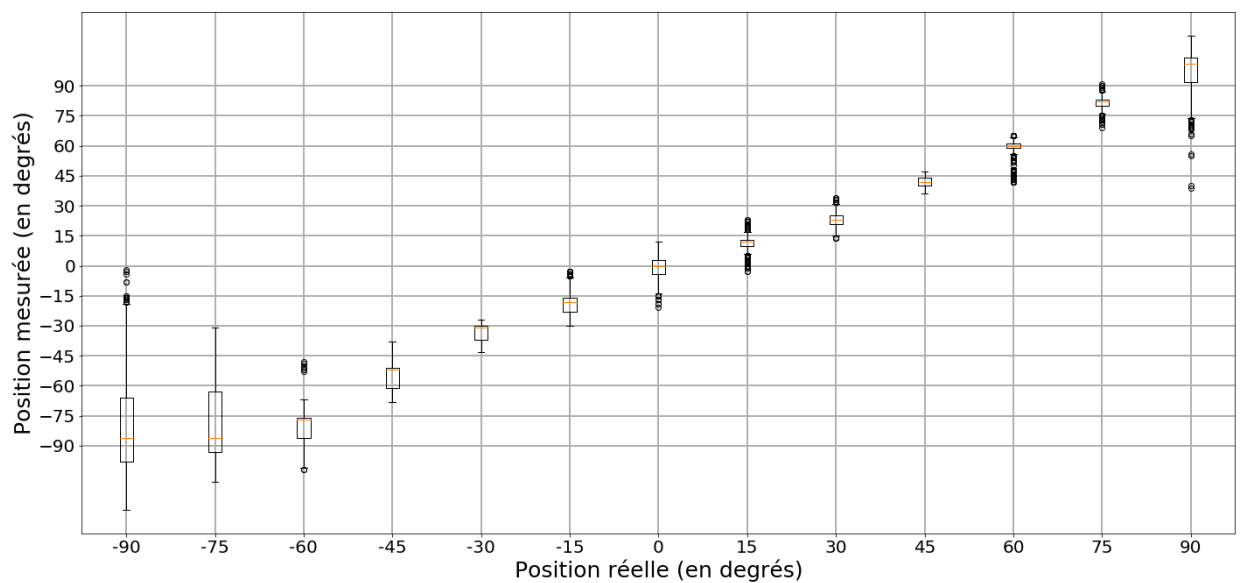


Image 28 : position réelle vs position mesurée (boxplot)



Test 5 bis : nous avons testé chaque position durant 1 minute.

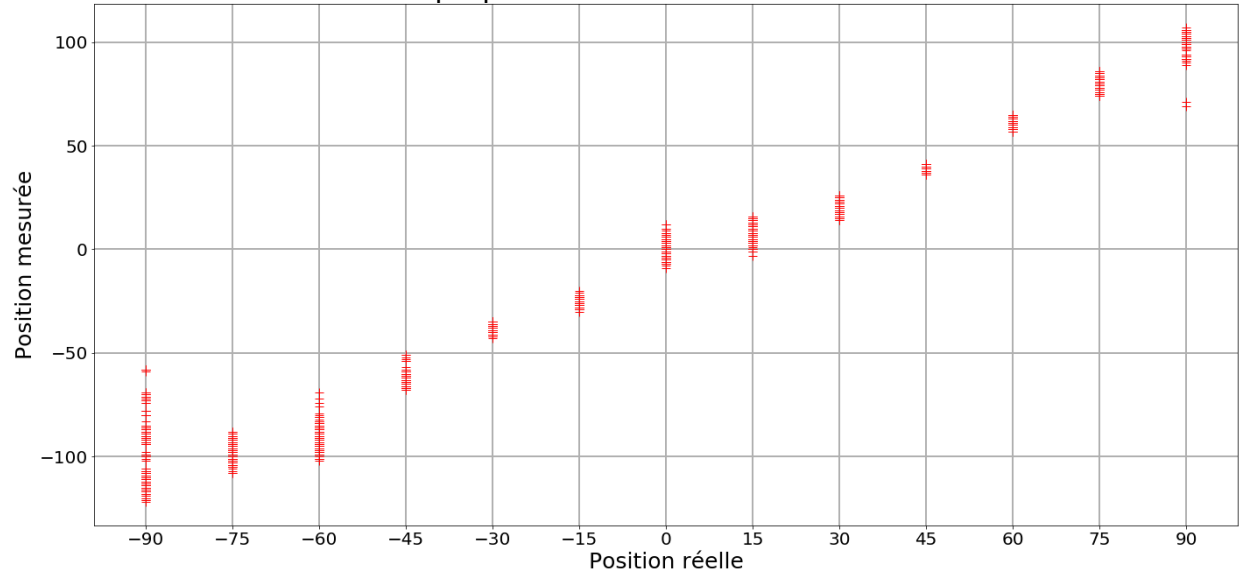


Image 29 : position réelle vs position mesurée (points)

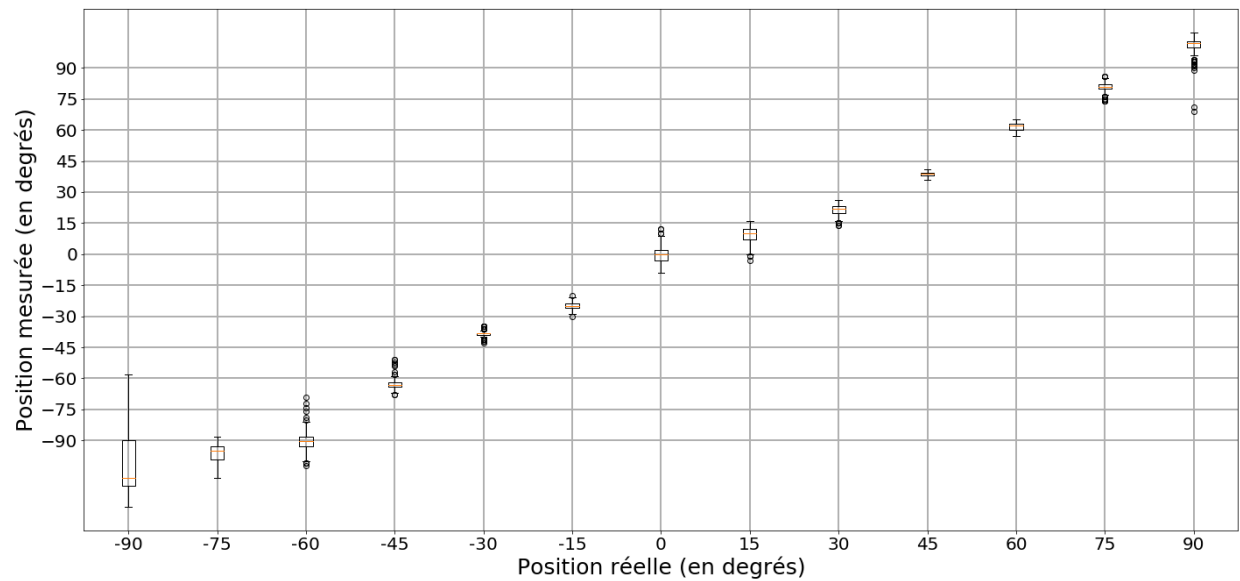


Image 30 : position réelle vs position mesurée (boxplot)



IMT Atlantique

Bretagne-Pays de la Loire

École Mines-Télécom

3.6 Annexe 6 : test 6

On a testé chaque position durant 3 minutes.

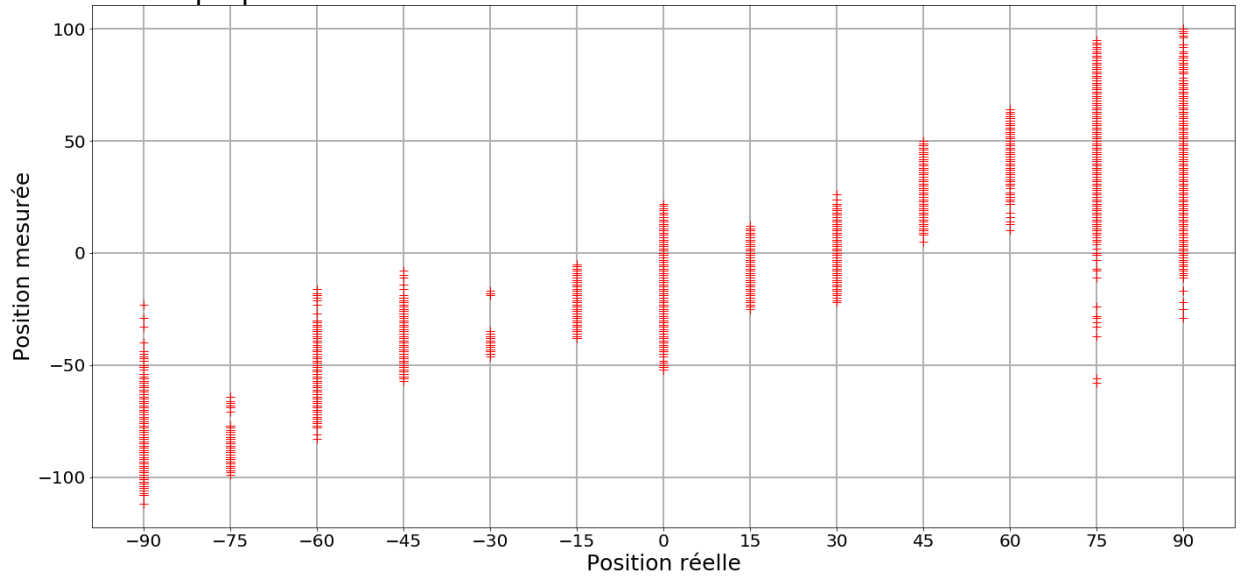


Image 31 : position réelle vs position mesurée (points)

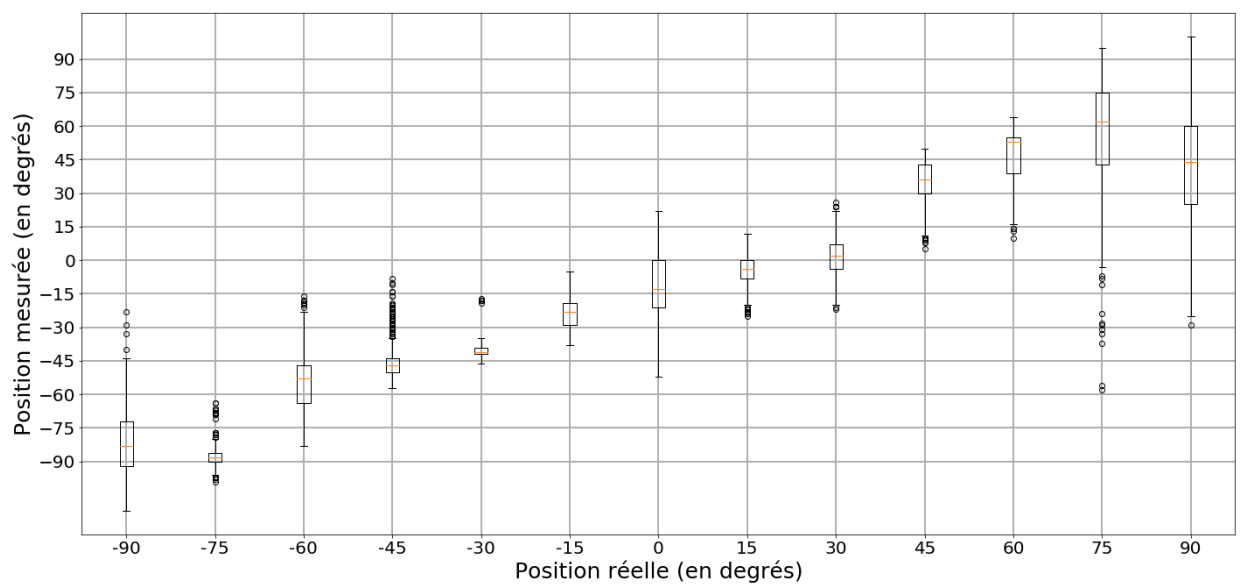


Image 32 : position réelle vs position mesurée (boxplot)



Test 6 bis : nous avons testé chaque position durant 1 minute.

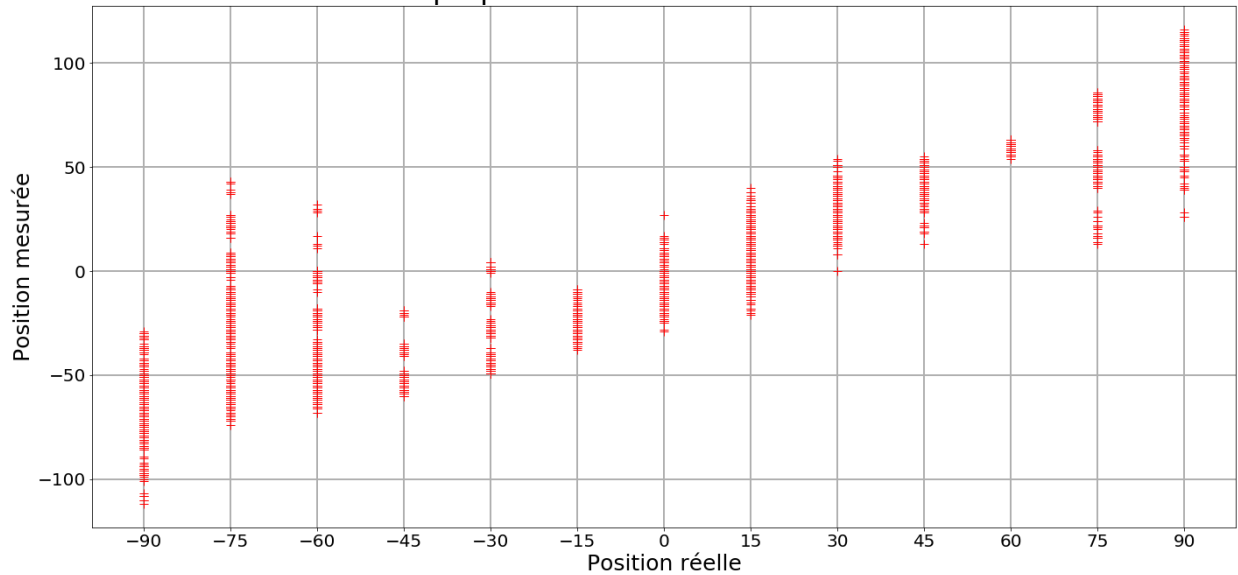


Image 33 : position réelle vs position mesurée (points)

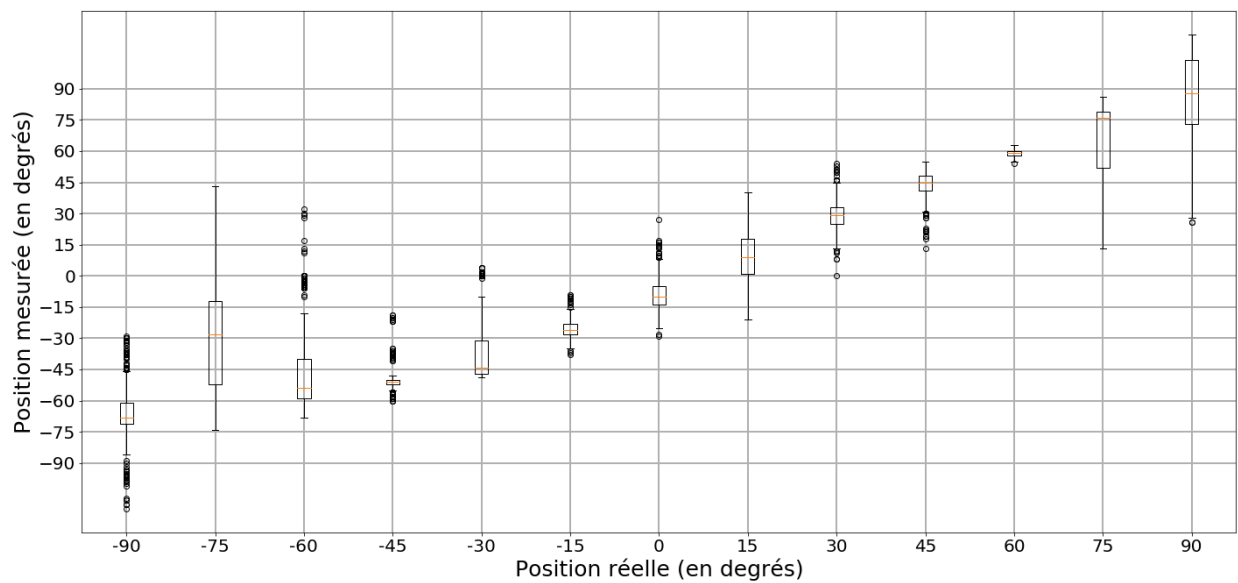


Image 34 : position réelle vs position mesurée (boxplot)



Test 6 ter : nous avons testé chaque position durant 3 minutes.

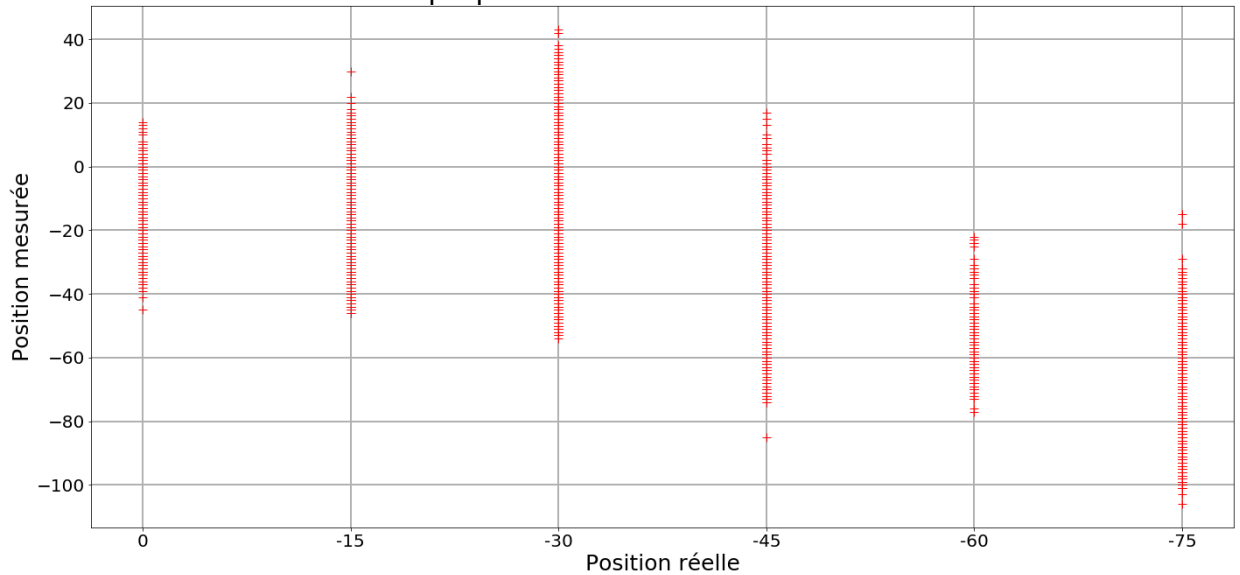


Image 35 : position réelle vs position mesurée (points)

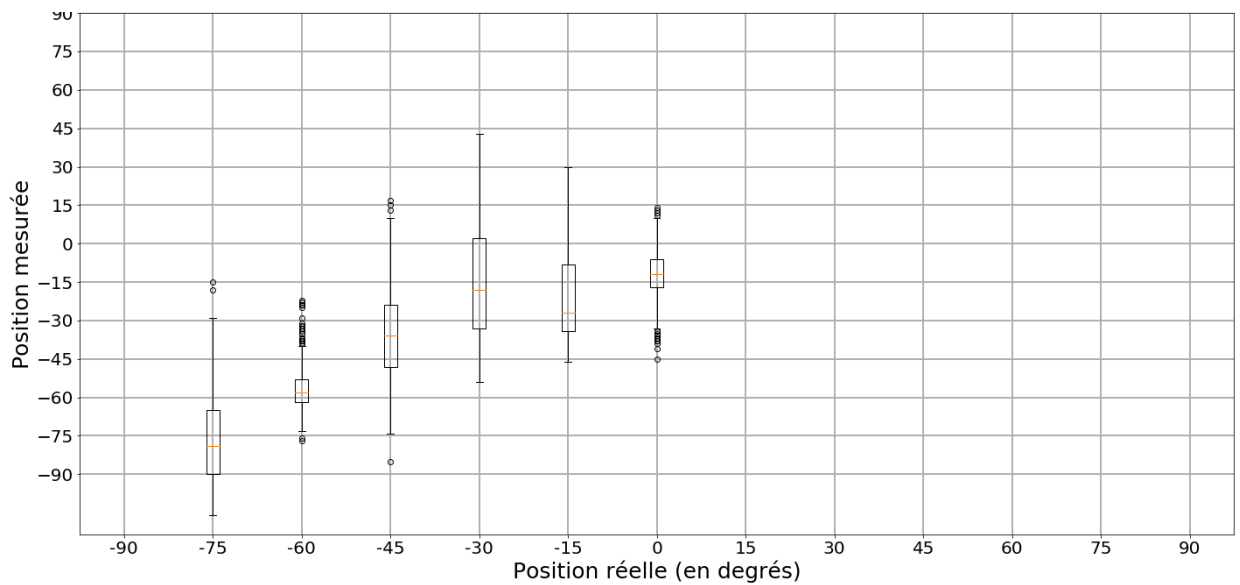


Image 36 : position réelle vs position mesurée (boxplot)



IMT Atlantique

Bretagne-Pays de la Loire

École Mines-Télécom

3.7 Annexe 7 : test 7

Ce test a été exécuté avec une distance de 1,63 mètres entre l'esclave et les 2 autres cartes.

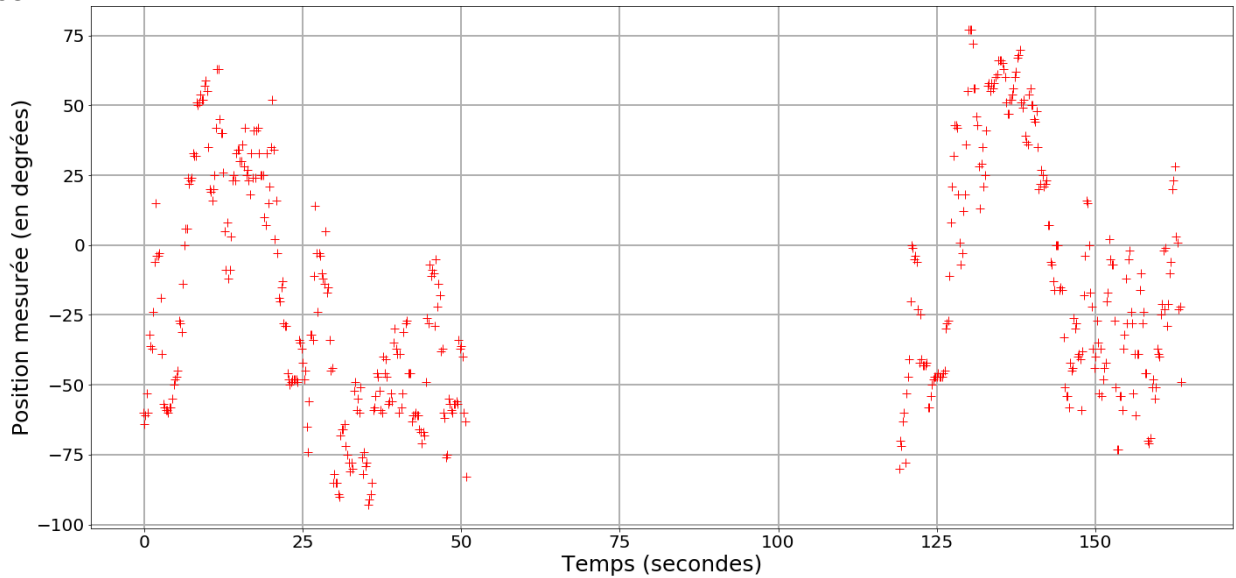


Image 37 : position mesurée vs temps

Test 7 bis : ce test a été exécuté avec une distance de 2,93 mètres entre l'esclave et les 2 autres cartes.

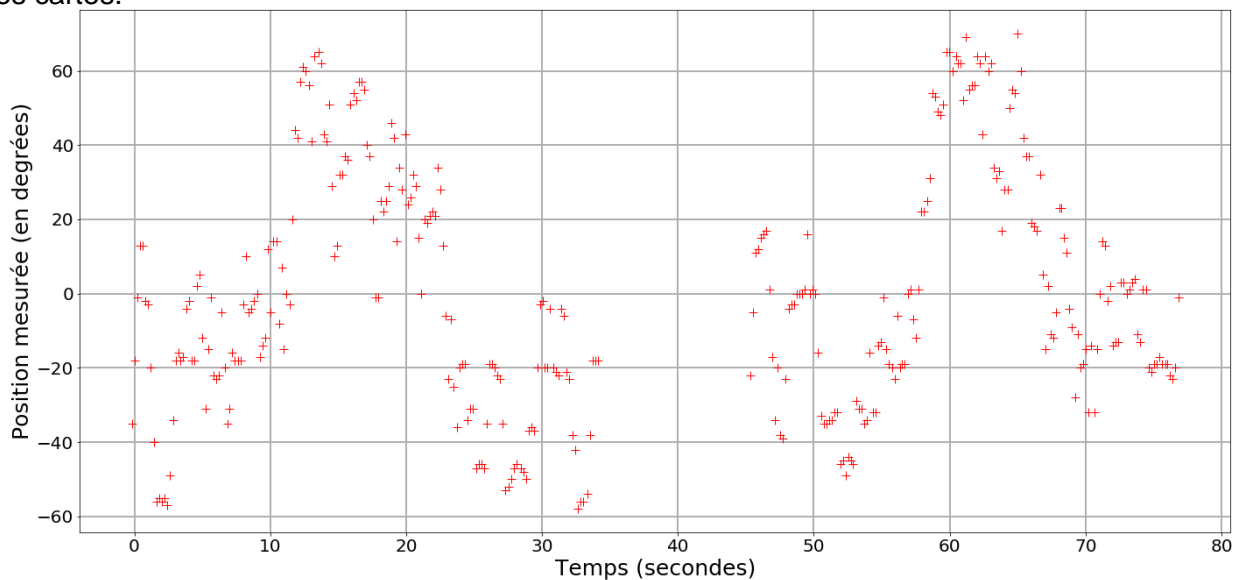


Image 38 : position mesurée vs temps



IMT Atlantique

Bretagne-Pays de la Loire

École Mines-Télécom

Test 7 ter : ce test a été exécuté avec une distance de 5,66 mètres entre l'esclave et les 2 autres cartes.

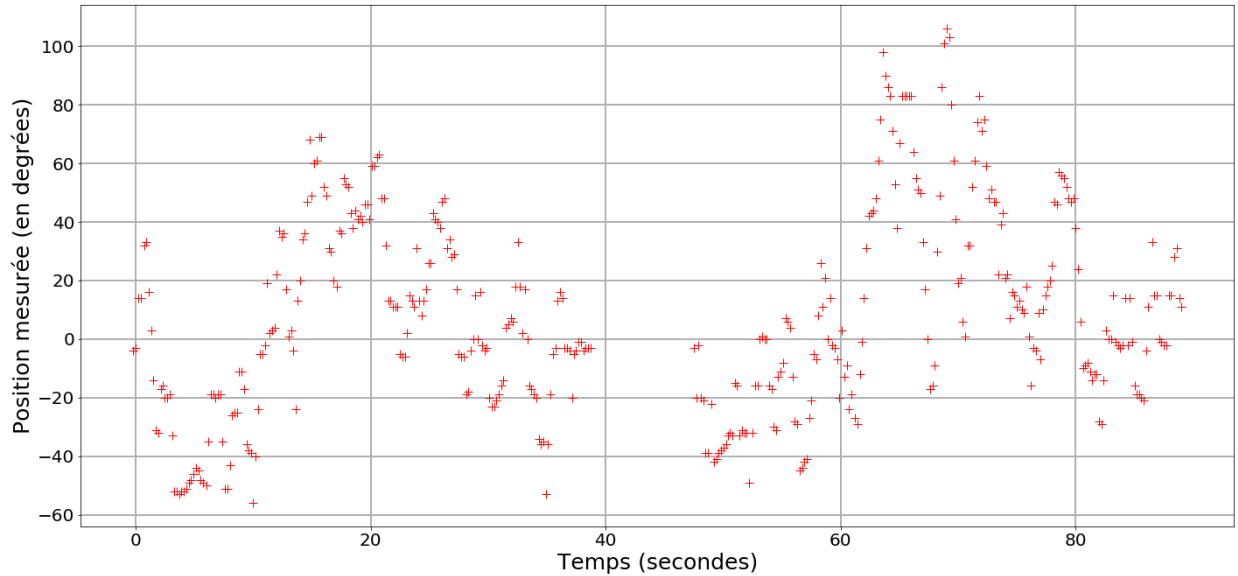


Image 39 : position mesurée vs temps

Test 7 quater : ce test a été exécuté avec une distance de 7,18 mètres entre l'esclave et les 2 autres cartes.

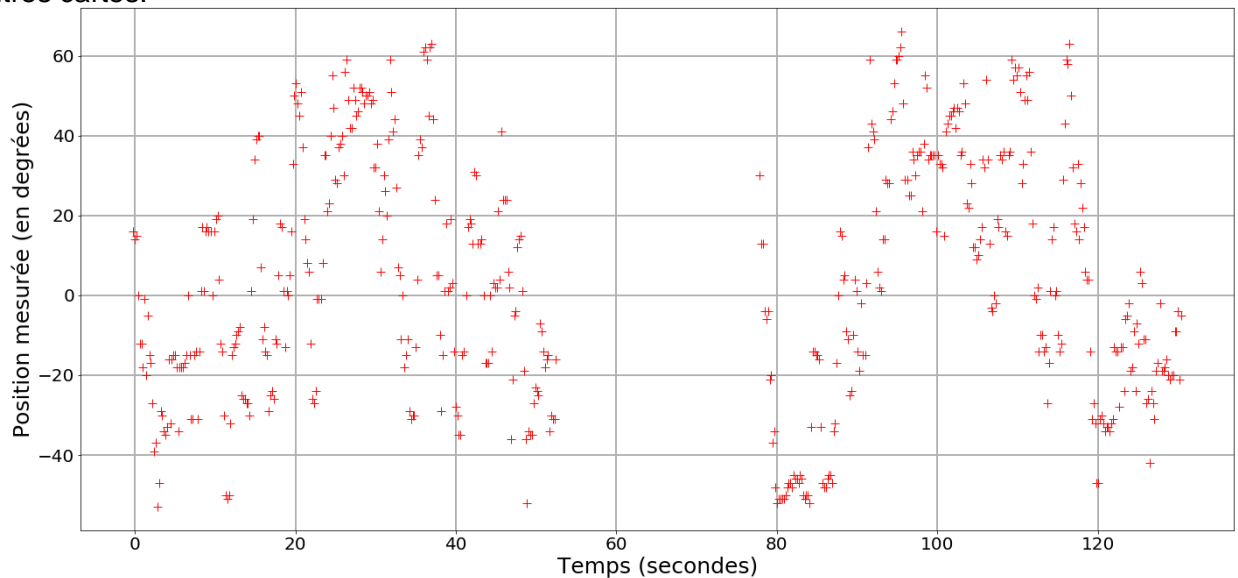


Image 40 : position mesurée vs temps



IMT Atlantique

Bretagne-Pays de la Loire
École Mines-Télécom

3.8 Annexe 8 : conditions environnementales des différents tests



Image 41 : conditions environnementales des tests exécutés sans obstacles à l'extérieur



Image 42 : conditions environnementales des tests exécutés avec un obstacle à l'extérieur



IMT Atlantique
Bretagne-Pays de la Loire
École Mines-Télécom



Image 43 : conditions environnementales des tests exécutés sans obstacles à l'intérieur

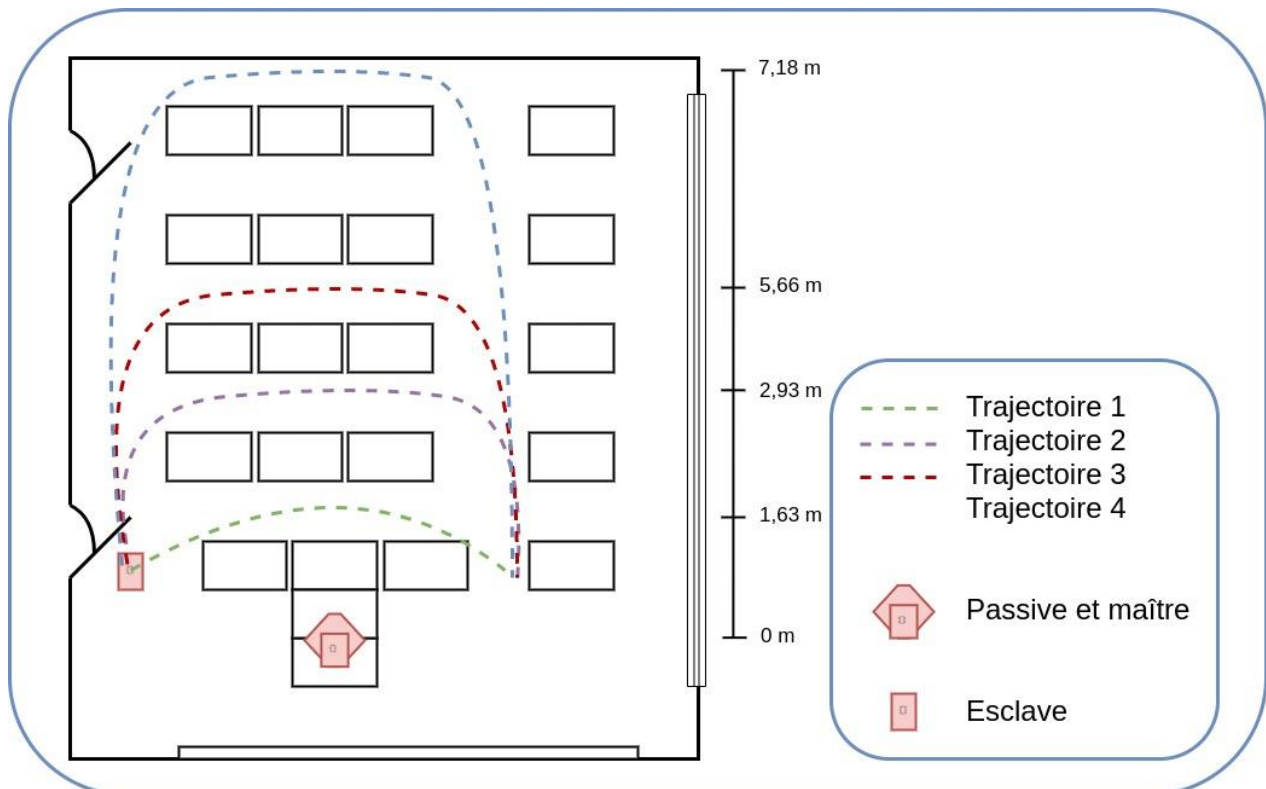


Image 44 : schéma des différentes trajectoires du test 7