



POLYTECHNIQUE
MONTRÉAL

UNIVERSITÉ
D'INGÉNIERIE

Système de positionnement multi capteurs

Projet personnel – 3^e année Génie électrique
Alexandre Hébert – alexandre-1.hebert@polymtl.ca
Directeur: David Saussié
Co-directeur: Roland Malhamé

I. INTRODUCTION



Mise en contexte: Développement d'une nouvelle capsule au sein de la Société Technique Polyloop.

Besoin d'un système de maintien d'une hauteur par rapport au rail de guidage pour assurer une lévitation magnétique optimale et sécuritaire.

Problématique: Proposition d'une solution technique permettant de mesurer la hauteur et l'orientation de notre capsule par rapport au rail, et ce, de manière précise et fiable.

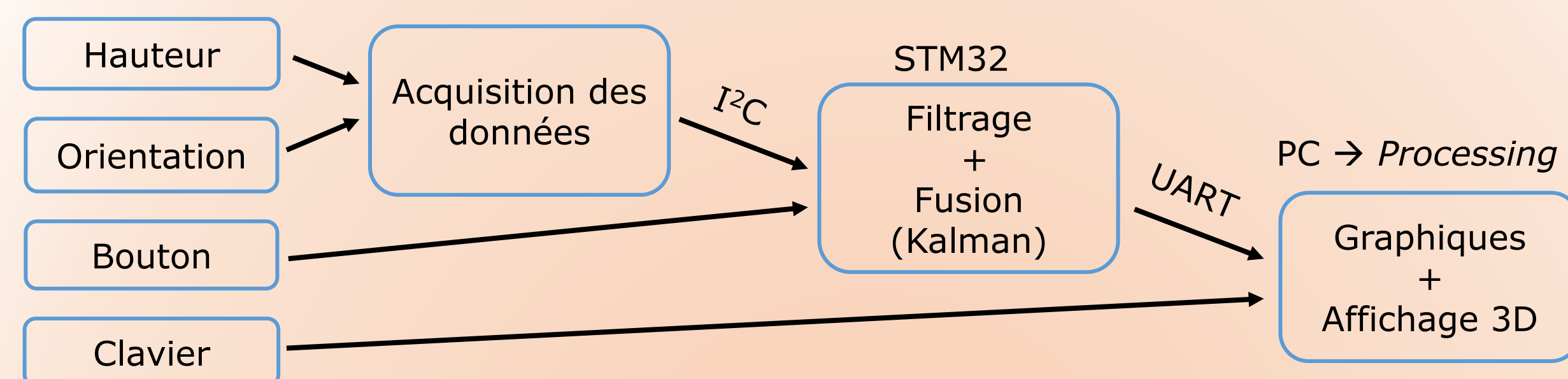
Solution? Prototypage d'un système muni de capteurs de distance et d'une centrale inertielle pour obtenir des données de positionnement de notre capsule.

Spécifications fonctionnelles:

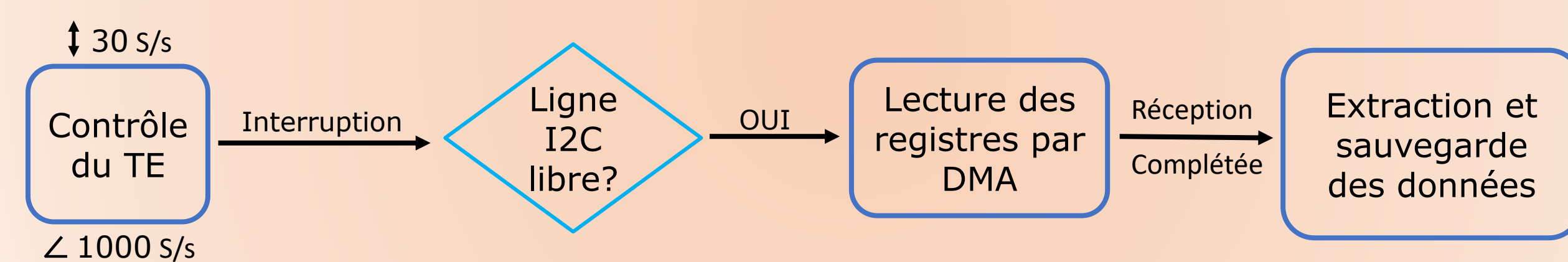
- Mesure précise de la hauteur ($< \pm 0.5 \text{ mm}$)
- Orientations en tangage et roulis estimées ($< \pm 10 \%$)
- Linéarisation des modèles pour implémentation simple et efficace
- Fusion des données des différents capteurs
- Visualisation 3D et graphiques temps réel (30 FPS)
- Indication par l'utilisateur d'un point d'intérêt à maintenir

II. MÉTHODOLOGIE

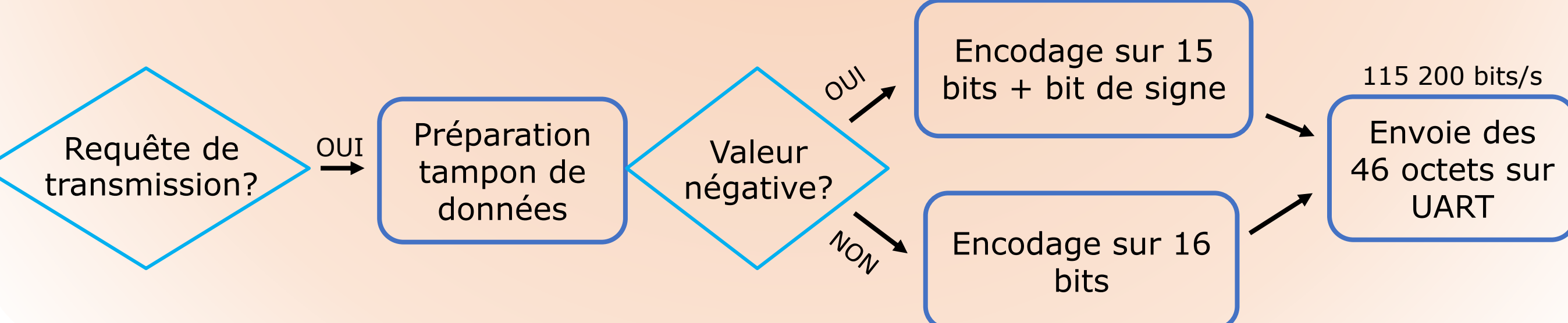
II.1 Diagramme des modules (simplifié)



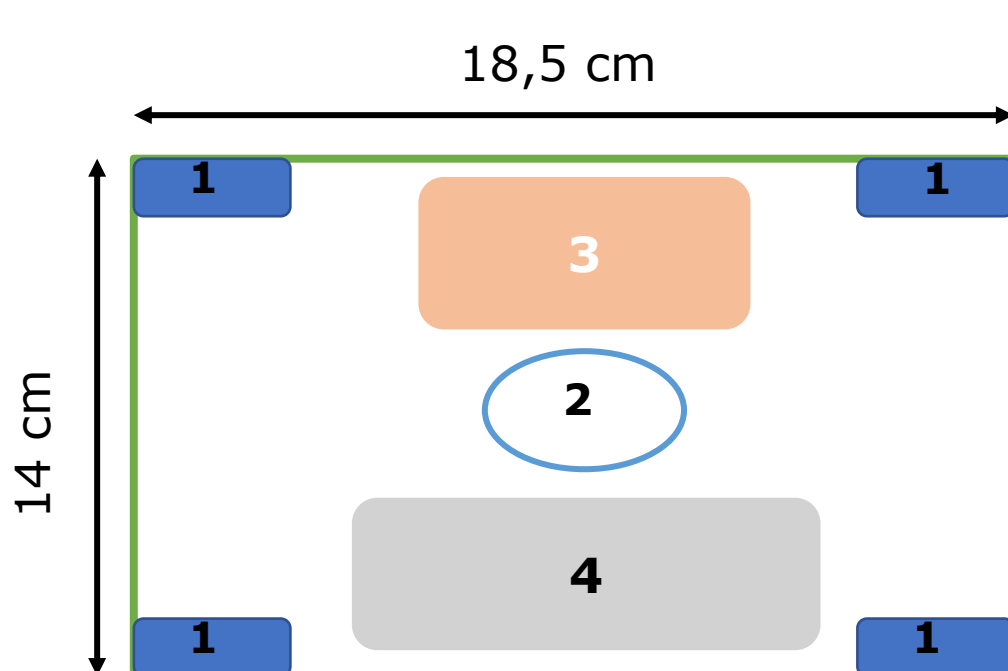
II.2 Diagramme d'acquisition des données (capteurs)



II.3 Diagramme de transfert des données

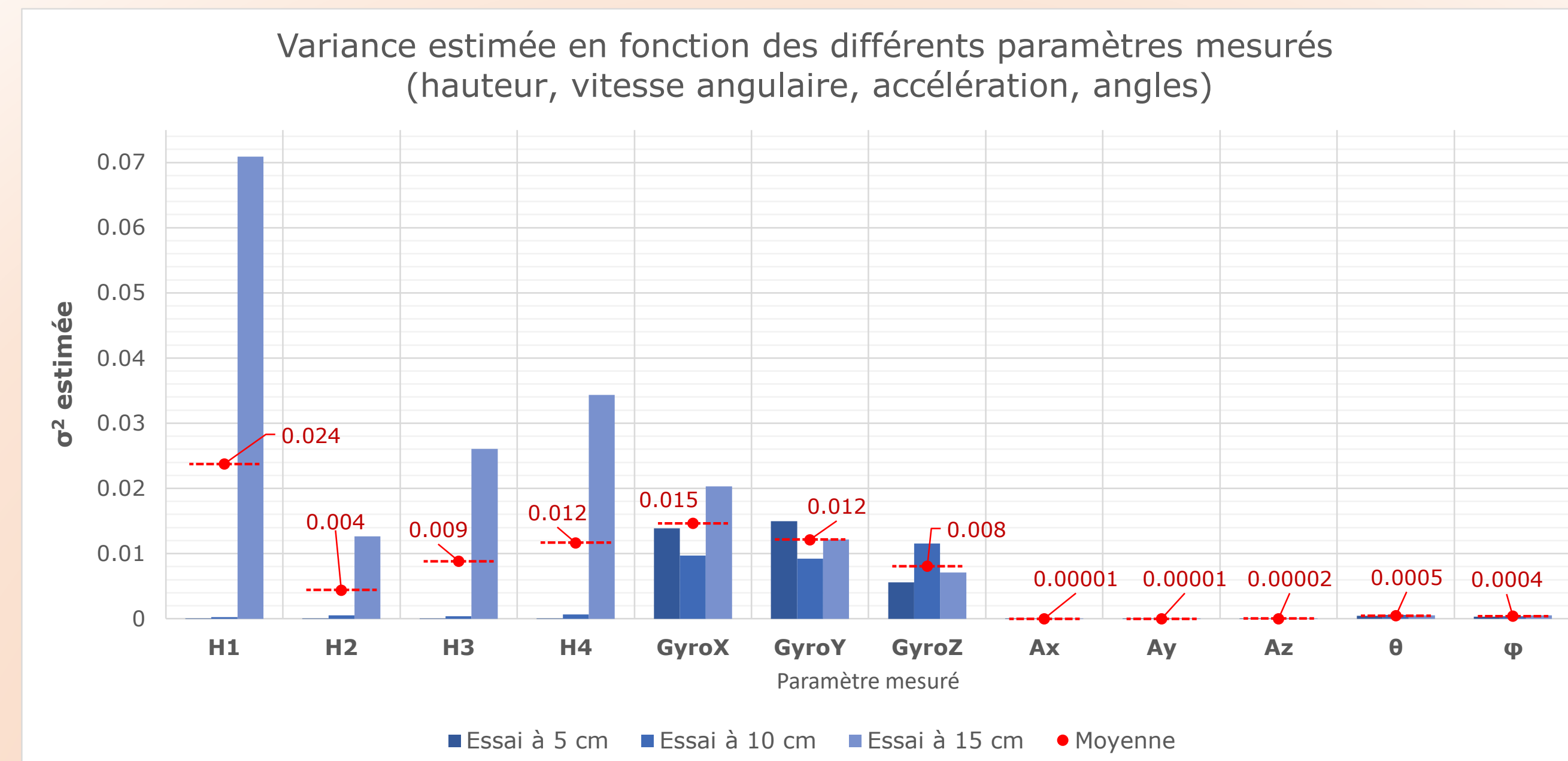


II.4 Fabrication

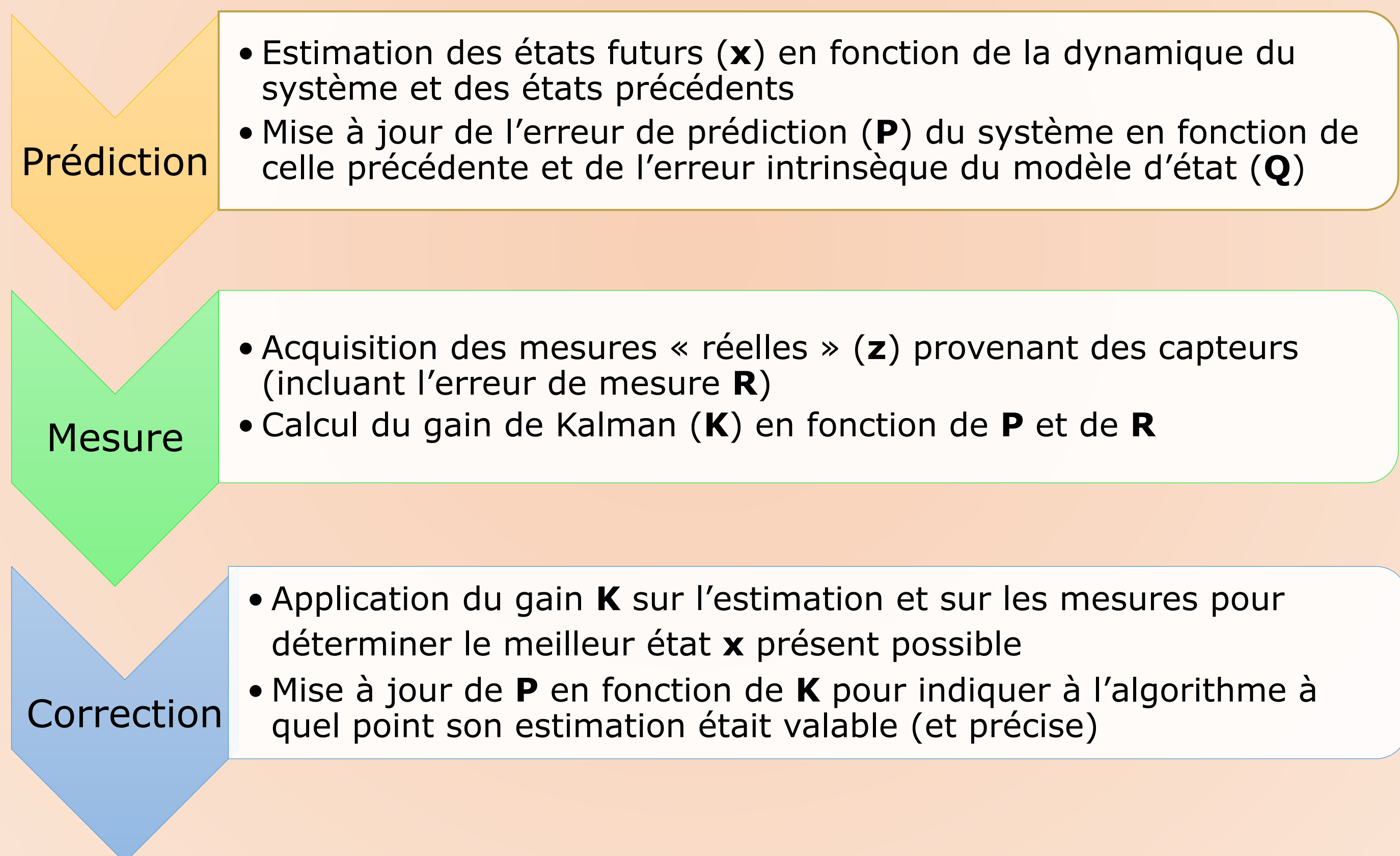


#	Description	Modèle
1	Capteurs de hauteur (x4)	GP2Y0E02B
2	Centrale inertielle	MPU6050
3	Microcontrôleur STM32	F446RE
4	« Breadboard »	Générique

II.5 Quantification du bruit (Variance)

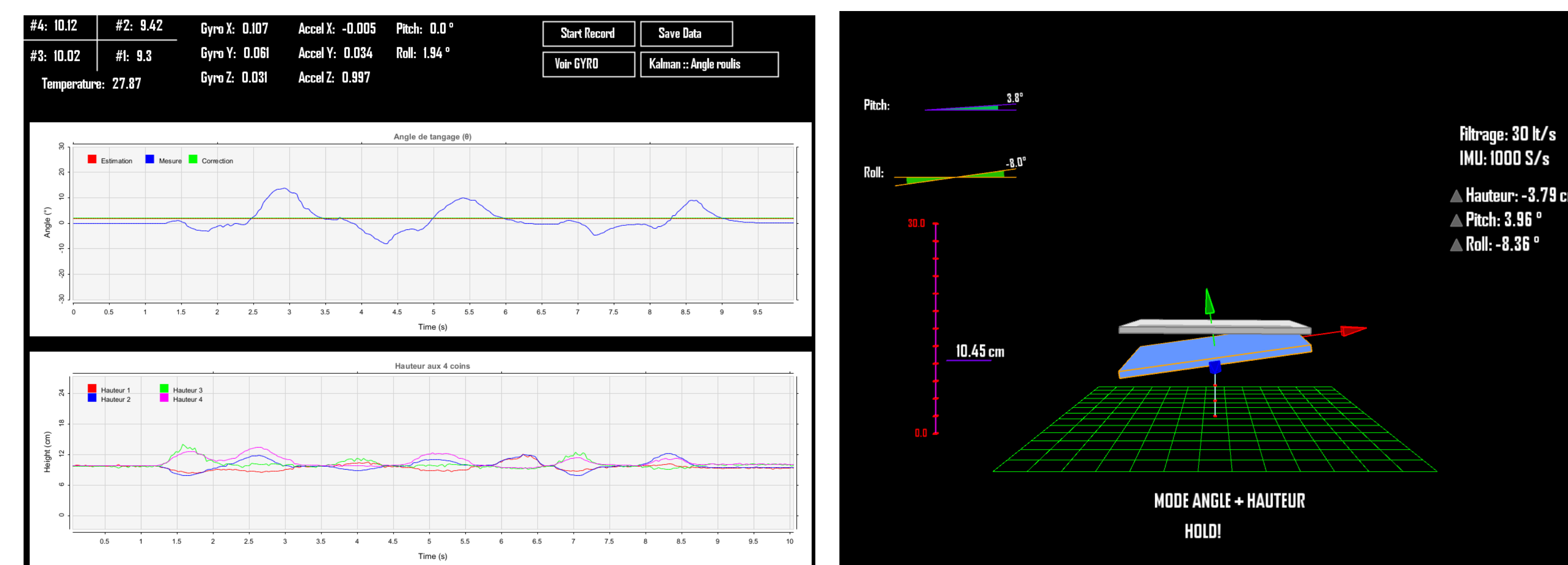


II.6 Filtrage de Kalman



- Signification du gain \mathbf{K} : Situé entre 0 et 1, il permet d'indiquer si l'algorithme doit se fier davantage sur les mesures ou sur sa propre estimation
- Plus le gain \mathbf{K} tend vers 1, plus le poids des mesures est élevé
- L'erreur de prédiction \mathbf{P} diminue au fur et à mesure que les itérations s'effectuent: le système devient de plus en plus confiant de ses estimations
- Les paramètres de variance (erreur/bruit) \mathbf{R} et \mathbf{Q} jouent un rôle clé dans la performance de l'algorithme, d'où l'importance de bien connaître ses capteurs!

II.7 Modélisation 3D



III. RÉSULTATS

Validation hauteur (ajout de 5 blocs $\approx 1 \text{ cm}$ successivement)

Hauteur initiale (cm)	Erreur de mesure (cm)	Objectif atteint?
≈ 5	$\pm 0,015$	✓
≈ 10	$\pm 0,021$	✓
≈ 15	$\pm 0,025$	✓
Erreur du vernier (contrôle)	$\pm 0,0005$	

Validation taux d'échantillonnage (TE)

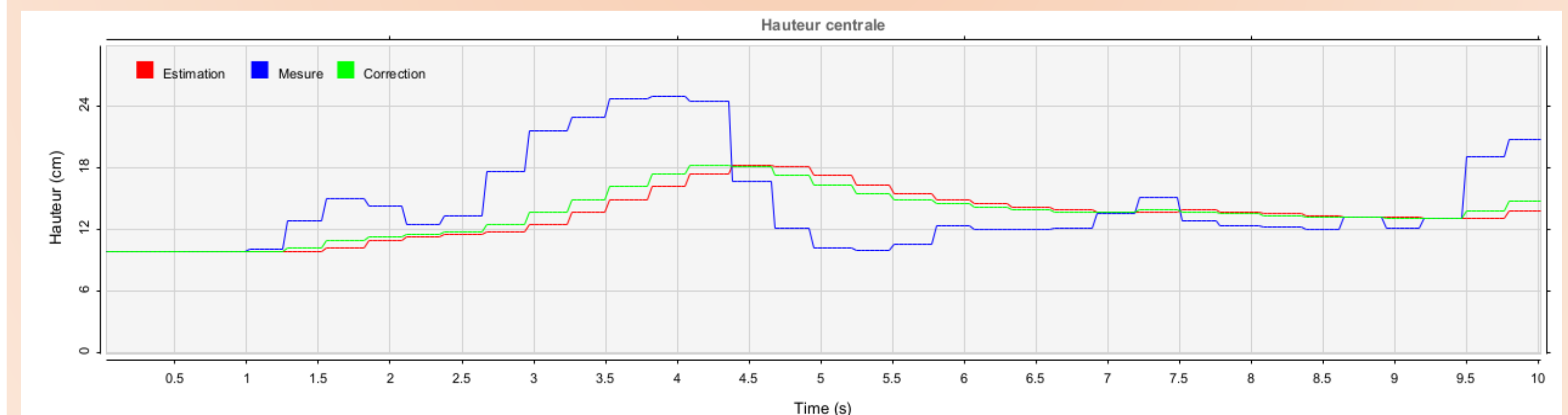
Composant	TE mesuré (S/s)	Objectif atteint?
Hauteur + Filtrage	30-31	✓
IMU	1000	✓

Validation angles (comparaison avec un inclinomètre)

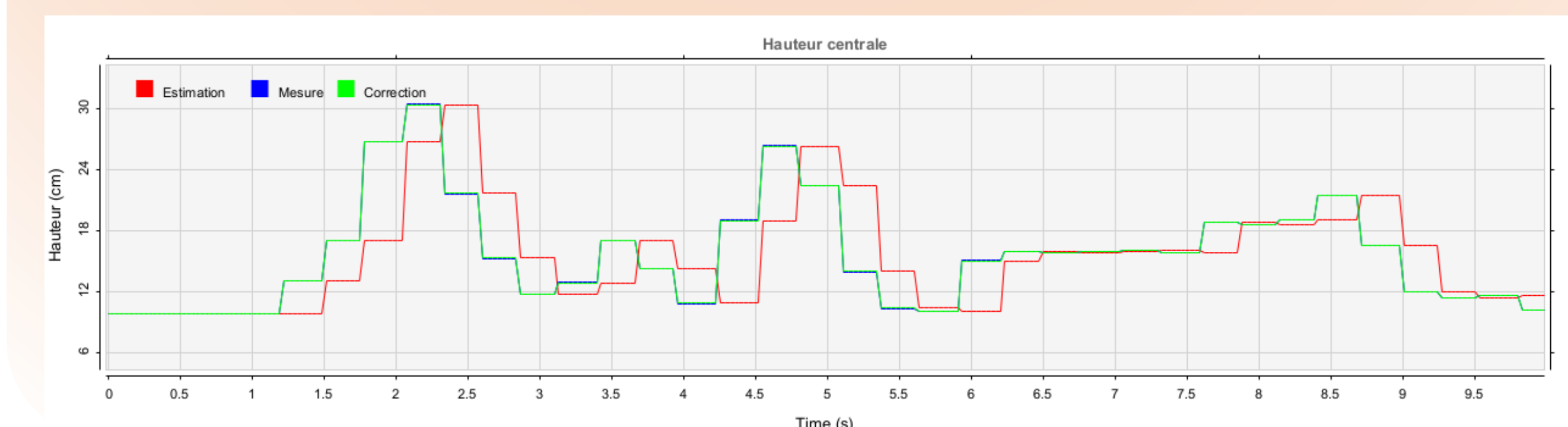
Inclinaison ($^{\circ}$)	Tangage (θ)	Roulis (ϕ)	Objectif atteint?
5	5,0	4,9	✓
10	9,8	9,2	✓
15	14,8	13,9	✓
20	21,6	18,9	✓

Validation du filtrage de Kalman

Si les mesures possèdent une variance très élevée ($\mathbf{r}_{ii} \approx 10$ et $\mathbf{q}_{ii} \approx 0.1$):



Si les mesures possèdent une variance très faible ($\mathbf{r}_{ii} \approx 0.1$ et $\mathbf{q}_{ii} \approx 10$):



IV. CONCLUSION

- Grande précision (jusqu'à 0.2 mm)
- Fusion des différents capteurs permettant une fiabilité augmentée
- Visualisation 3D complète temps réel avec possibilité de suivi de la position

- Linéarisation des données = perte de marge d'opération
- Capteurs de hauteur très sensibles et plage d'opération optimale limitée (4-15 cm)
- Pas de modèle dynamique concret pour le système => algorithme Kalman moins performant

Version 2.0 – À quoi s'attendre?

- Filtre de Kalman étendu (non-linéaire)
- Compensation des accélérations externes (pour IMU)
- Estimation de l'orientation en lacet
- Protection des composants (surtout les capteurs optiques)