

Contexte et objectif

Aujourd'hui la demande en Aluminium est très forte dans l'industrie. Cependant sa production nécessite l'émission d'une grande quantité de gaz à effet de serre (GES) : le domaine de la métallurgie représente 25% des émissions annuelles de CO₂ au niveau mondial [1, 2], et l'aluminium représente à lui seul 3% des émissions mondiales [3].

De plus, quand il est usiné le pourcentage en masse de copeaux par rapport au brut d'origine peut atteindre 90% [4]. Il y a donc un besoin de recyclage de ces copeaux issus de l'usinage, et la voie actuelle principale de recyclage est la refonte de ces copeaux ; or cette méthode engendre des pertes permanentes [5]. Depuis quelques années, de nouvelles pistes sont mis au jour pour faire face à ce problème dont fait partie le Friction Stir Consolidation (FSC), qui est une méthode intéressante du point de vue énergétique selon Buffa *et al.* [5].

Le but de ce stage est d'étudier la faisabilité de cette méthode à l'ENS, c'est-à-dire à l'échelle d'un atelier non industriel, et de poser les bases théoriques mais aussi et surtout pratiques d'une configuration permettant de refaire des bruts au sein de l'école, sans passer par l'étape fonderie des copeaux d'usinage.

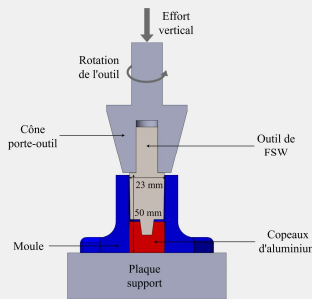
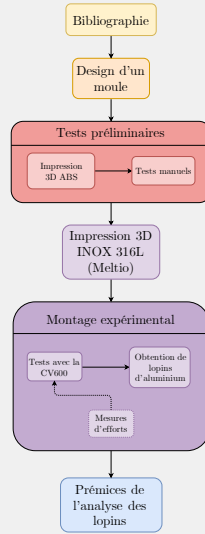


Figure 1 : Principe du FSC

Démarche et matériel utilisé



Matériel utilisé :



Figure 2 : Meltio M600

Pour l'impression 3D plastique la Prusa MK4S du Makerspace a été utilisée, et pour l'impression métallique c'est la Meltio M600 qui se trouve à l'atelier qui a servi. Elle imprime un filament d'acier inoxydable (nuance 316L) en le faisant fondre grâce à un laser, sur un substrat de la même nuance.

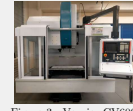


Figure 3 : Vernier CV600



Figure 4 : Tête de FSW

Les mesures d'efforts sont réalisées grâce à la tête de FSW et ses ressorts dont on mesure l'écrasement avec une carte d'acquisition et à l'aide de la table dynamométrique Kistler.



Figure 5 : Table dynamométrique

Tests préliminaires

Après avoir étudié différents articles traitants du procédé de FSC, un moule cylindrique a été conçu pour commencer les expériences. 5 compactages manuels ont d'abord été réalisés pour évaluer les lopins obtenus par simple compression.



Figure 6 : Compactage avec un étai



Figure 7 : Lopin résultant du compactage manuel



Figure 8 : Impression métallique brute, puis après reprise

Une fois ces essais effectués et la conception validée, le moule définitif en métal peut ensuite être imprimé, puis les surfaces fonctionnelles sont reprises afin d'avoir une pièce utilisable.

Montage expérimental



Figure 9 : Montage machine

On voit sur la figure 9 le dispositif utilisé pour les essais, avec la tête de FSW en bleu et son outil tournant de FSW en-dessous. Sur la table de la machine se trouvent le moule et la table de mesure d'efforts Kistler.

On voit également une plaque d'acier inoxydable (nuance 316L) qui est prise comme support du FSC, afin de ne pas malaxer contre l'appareil de mesure et d'éviter un transfert de chaleur trop rapide entre le moule et la table de mesure Kistler qui ne supporte que 75°C maximum.

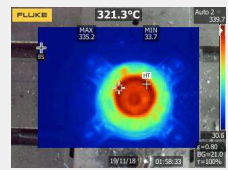


Figure 10 : Moule après utilisation, image prise grâce à la caméra thermique

38 essais ont été effectués, grâce à plusieurs protocoles qui ont permis de maximiser la densité du lopin obtenu :

Prémices de l'analyse des lopins

La première analyse a consisté en la mesure de la densité du lopin obtenu à l'issue de chaque essai. La courbe de la figure 15 montre l'évolution de celle-ci au cours des 38 essais effectués. On voit qu'à chaque fois qu'un double malaxage est effectué, la densité augmente significativement.

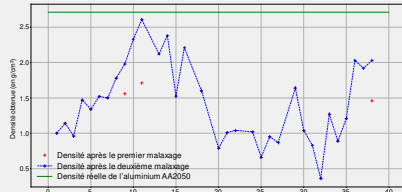


Figure 15 : Densité du lopin en fonction de l'essai

Une fois les essais terminés, 6 lopins ont été découpés pour étudier d'abord qualitativement l'aspect de l'aluminium se trouvant à l'intérieur du lopin.

On voit sur la figure 16 deux lopins découpés, qui confirment que le double malaxage est bénéfique pour la densité du lopin; on voit aussi à l'aspect du bas de l'essai 6 qu'il y a eu une perte de matière lors de la découpe, ce qui n'est pas le cas pour l'essai 9.

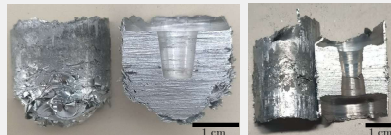


Figure 16 : Essais 6 et 9 découpés

Protocole 1 :

On commence par mettre des copeaux dans le moule en compactant au fur et à mesure, puis on malaxe ces derniers. Le premier lopin obtenu est moins compact que celui obtenu avec l'étai.



Figure 11 : Essais 1 et 8

En allongeant la durée et la profondeur (donc la force) de malaxage, une densité maximale de 1,5 g/cm³ est obtenue, tout en garantissant la sécurité du matériel et en contrôlant les paramètres de l'expérimentation.

Protocole 2 :

Le protocole précédent est repris, mais cette fois un deuxième malaxage est effectué pour augmenter la densité. On voit deux résultats issus de ce protocole figure 14.



Figure 12 : Essais 9 et 10

La reprise du lopin formé par l'autre côté nous permet bien d'améliorer la densité de celui-ci puisque son maximum mesuré se situe désormais à 2,61 g/cm³. Les copeaux paraissent également mieux consolidés sur la périphérie.

Protocole 3 :

Le protocole précédent est à nouveau repris, mais avec moins de matière pour que la chaleur se diffuse mieux dans les copeaux (et donc les rende plus mous). Ce protocole a nécessité un ajustement du cône porte-outil :



Figure 13 : Cône ajusté



Figure 14 : Essais 36 et 38

Ici la densité maximale obtenue est de 2,04 g/cm³, ce qui est en partie dû à la machine elle-même.

Conclusion et perspectives

Ce stage a permis de mettre en place les bases théoriques et matérielles pour permettre à l'atelier de l'ENS, de réaliser des opérations de FSC. Bien sûr ce dispositif reste à perfectionner afin de trouver un protocole répétable et produisant des lopins usinables, pour réaliser l'objectif final du projet, qui est de recycler l'aluminium au sein de l'atelier.

Dans un deuxième temps, il serait intéressant d'analyser finement la microstructure des lopins obtenus au cours des différents essais, afin de voir en détail l'influence des différents paramètres d'expérimentation sur la consolidation effective ou non du lopin. Une mesure fine de la densité de chaque lopin pourra également être bénéfique à cette analyse plus approfondie.

Références

- [1] Abdul Latif *et al.* « A novel approach to enhance mechanical properties during recycling of aluminum alloy scrap through friction stir consolidation ». In : The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 119.3 (2022), p. 1989-2005
- [2] Ricardo Pulso *et al.* « A generalized parametric model for the bonding occurrence prediction in friction stir consolidation of aluminum alloys chips ». In : Journal of Manufacturing Processes 131 (2024), p. 604-618.
- [3] Ibrahim Demirci. « Optimisation du procédé de recyclage par friction-malaxage des copeaux d'alliages d'aluminium issus des procédés d'usinage ». Thèse de doctorat. Arts et métiers.
- [4] Abdul Latif *et al.* « An insight into friction stir consolidation process mechanics through advanced numerical model development ». In : Materials Research Proceedings 35 (2023)
- [5] Gianluca Buffa *et al.* « Uncovering technological and environmental potentials of aluminum alloy scraps recycling through friction stir consolidation ». In : International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology 7.5 (2020), p. 955-964.

Contexte et objectif

Dans l'interaction humain-drone, on peut se poser la question de la manière d'utiliser le drone afin d'influencer l'expérience de l'utilisateur. Pour cela, nous pouvons créer ou modifier différentes sensations, telles que le poids ou l'inertie ressentis d'un système, la présence d'une force de rappel vers une position donnée, ainsi que d'autres effets.

Pour ce stage, l'objectif est de maintenir le drone dans une zone où il peut effectuer sa tâche tout en interagissant avec l'utilisateur. S'il sort de cette zone, une force de rappel doit le ramener vers sa zone de travail (Figure 1). Dans un premier temps, l'objectif est d'implémenter cette zone sur un système à un degré de liberté (1 DDL) en rotation autour d'un axe, contrôlé par huit hélices (Figure 2).

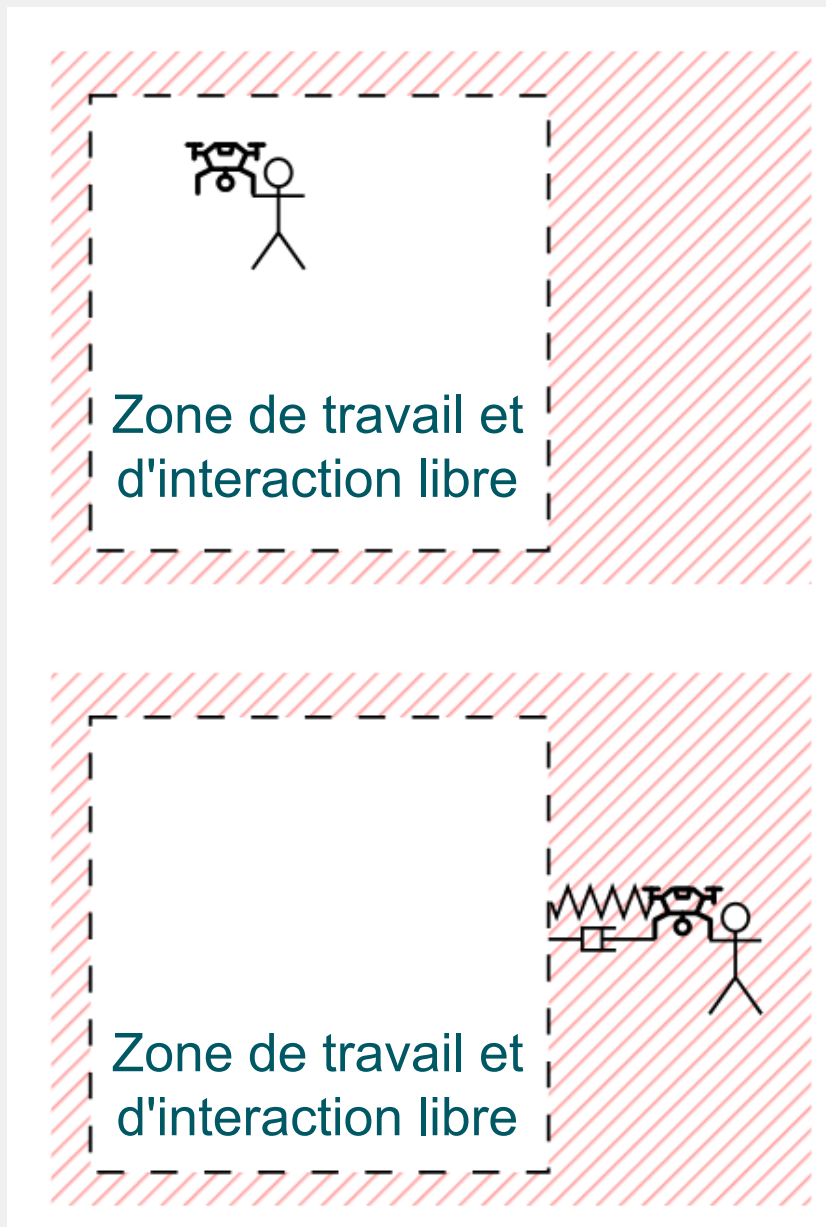


Figure 1 : Schéma de l'objectif

Matériel et démarche

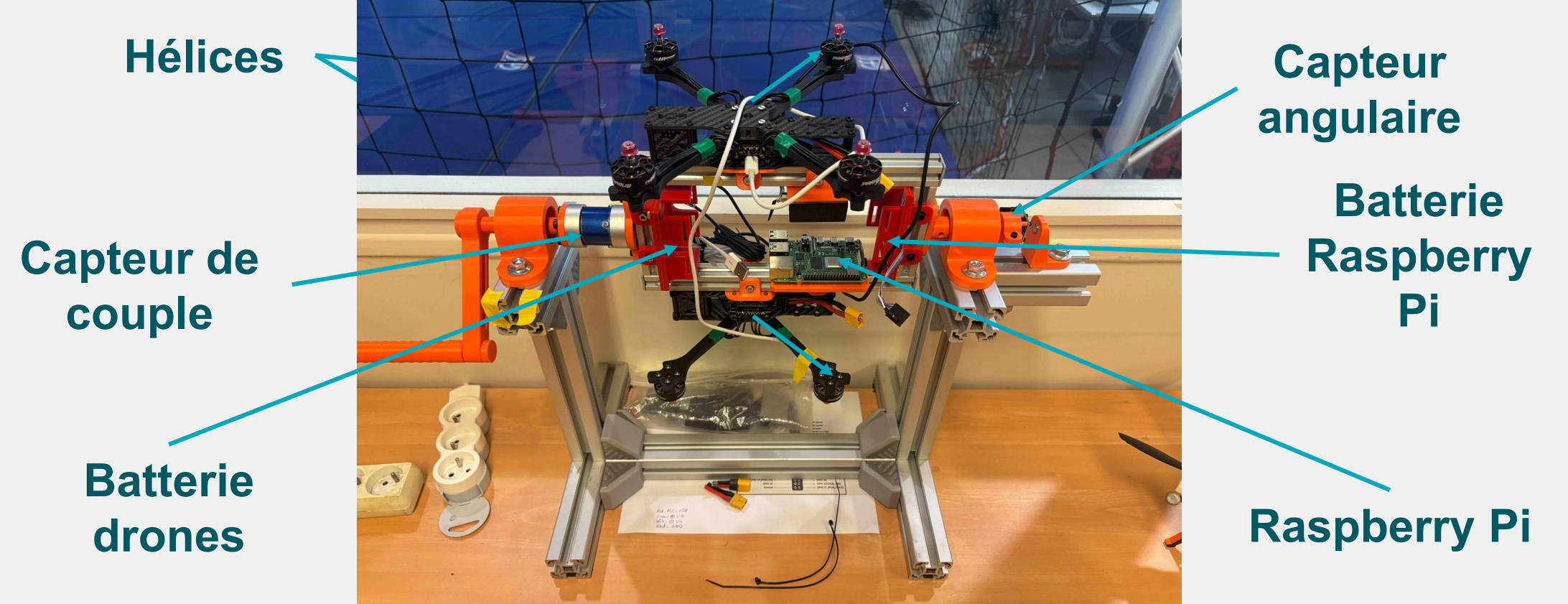


Figure 2 : Banc à un degré de liberté

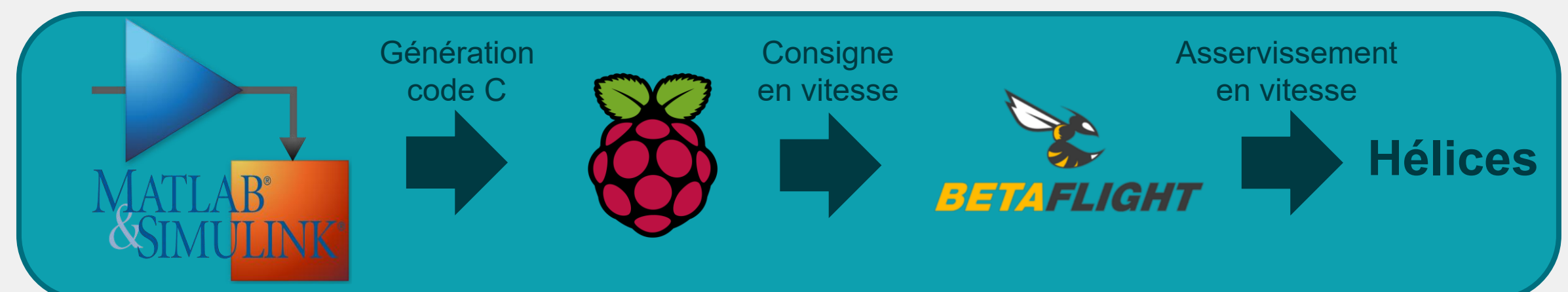


Figure 3 : Logiciel

Intéraction humain-drone

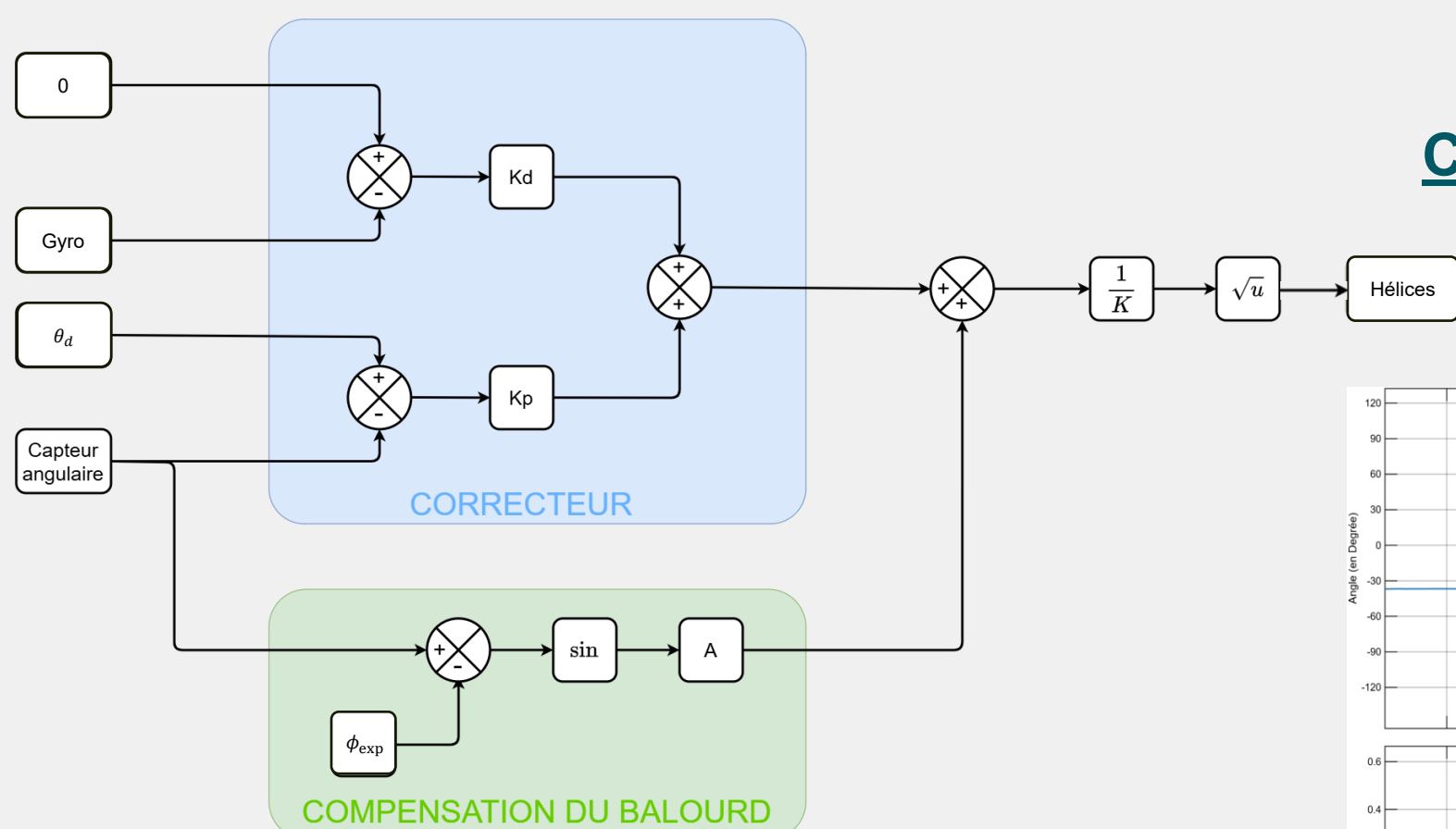


Figure 4 : Schéma bloc du contrôle du système

PFD : $J\ddot{\theta} = C_{Ext} - m_{balourd}gL \sin(\theta - \phi) + C_{helices}$

Amortissement Rappel Compensation du balourd

Couple des hélices :
$$\begin{cases} C_{helices} = \overline{K_d}\dot{e} + \overline{K_p}e + A \sin(\theta_{mes} - \phi_{exp}) \\ C_{helices} = \frac{4L k_t}{K} \omega^2 \end{cases} \text{ où } e = \theta_d - \theta_{mes} \text{ et } \phi_{exp} \approx \phi$$

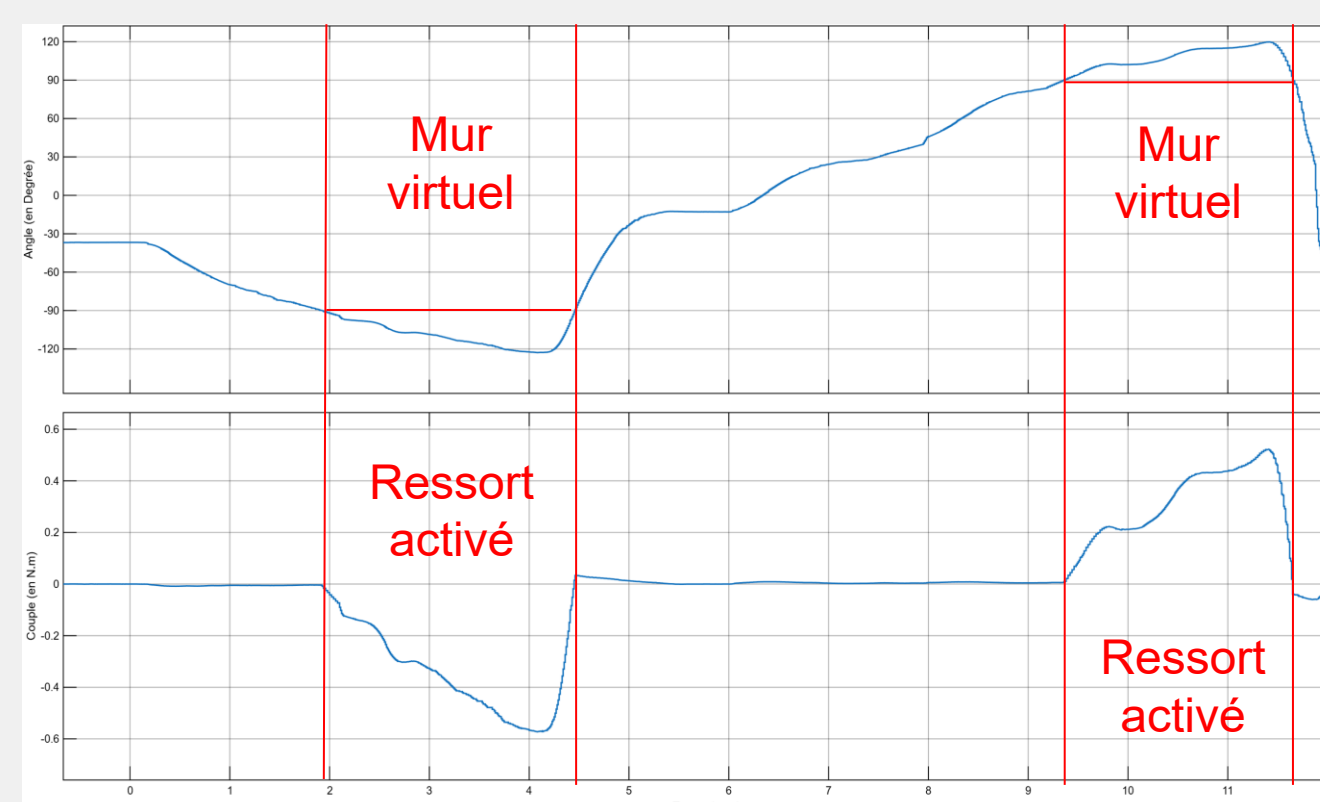


Figure 5 : Courbe de la position au cours du temps (haut) et courbe du couple au cours du temps (bas)



Compensation du balourd



Mur virtuel

Commande avancée

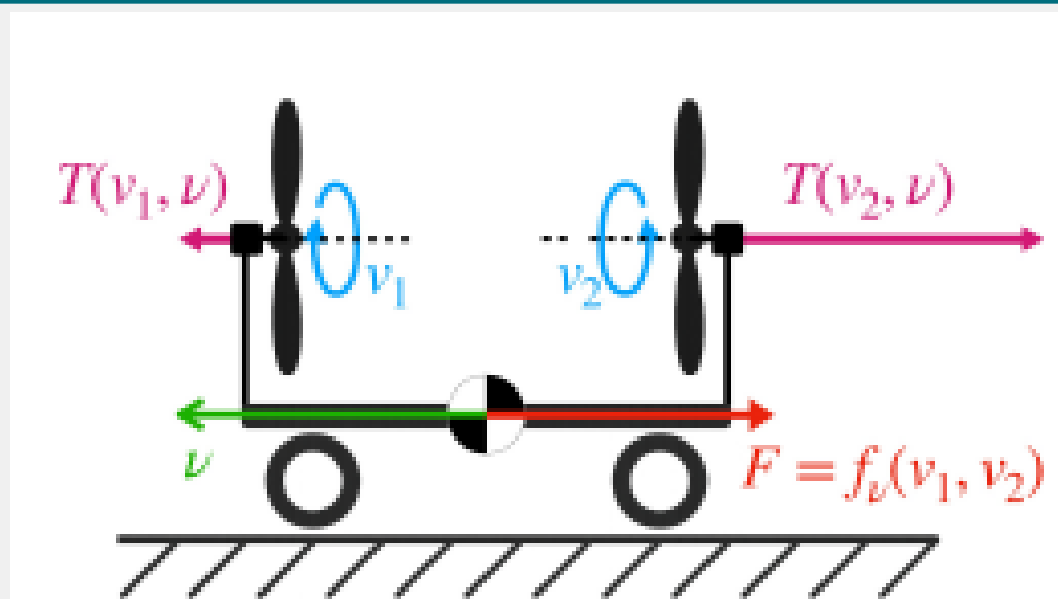


Figure 6 : Actionneur à amortissement aérodynamique variable [1]

PFD [1] :

$$m\dot{v} = \underbrace{k_T(v_1^2 - v_2^2)}_{\text{Poussée des hélices } F_p \propto v_i^2} - \underbrace{k_D(v_1 + v_2)v}_{\text{Amortissement } F_{amort} \propto v_i} + F_{ext}$$

But : Vérifier si le terme d'amortissement est visible en pratique.

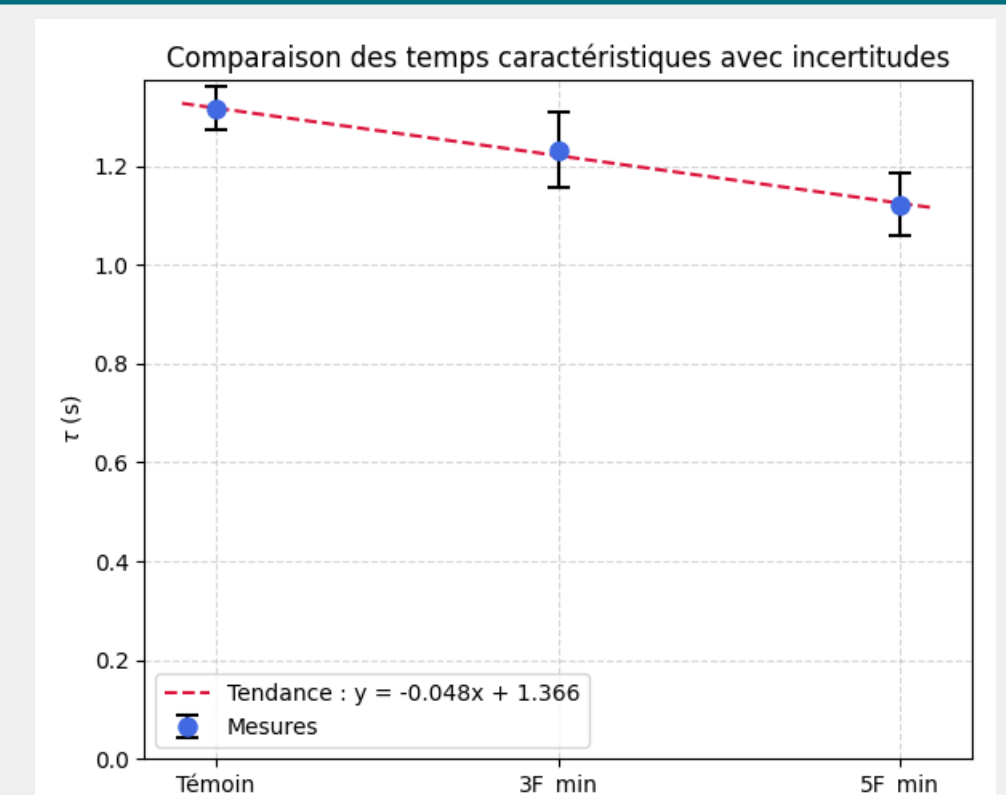


Figure 7 : Résultats expérimentaux sur le temps d'arrêt du système lancé à 30 RPM pour différentes vitesses de rotation des hélices.

Limite et perspective

- Problème de frottement dû à l'alignement des axes de rotation (2 liaisons sphériques)
- K_p et K_d sont limités avant d'être instable.
- Asservissement en vitesse avait une perturbation cyclique qui donnait une vitesse non constante.

En perspective, on pourrait implémenter la stratégie de commande pour un drone ayant 2 DDL se déplaçant dans un plan, en utilisant un drone soutenu par un ressort pour augmenter la sécurité (Figure 8).

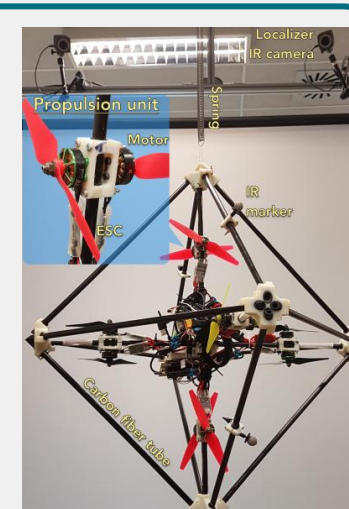


Figure 8: Drone soutenu par un ressort [2]

Référence

[1] : Antonio Franchi, Juin 2026, Variable Aerodynamic Damping Actuation via Co-Contraction: A Structural Analogy with Variable Stiffness Actuation

[2] : Arda Yiğit. Design and control of an aerial manipulator with elastic suspension. Robotics [cs.RO]. Université de Strasbourg, 2021

Objectif

L'objectif de ce stage est de réaliser des modèles fantômes mimant les propriétés électriques des tissus et les reproduire dans un environnement **éléments finis**.

Contexte

Lymphœdème : Se caractérise par un gonflement d'un ou plusieurs membres causé par une accumulation anormale de lymphe dans les tissus.

Spectroscopie de bioimpédance électrique : Technique visant à mesurer l'impédance des tissus par injection d'un courant et mesure d'une tension.

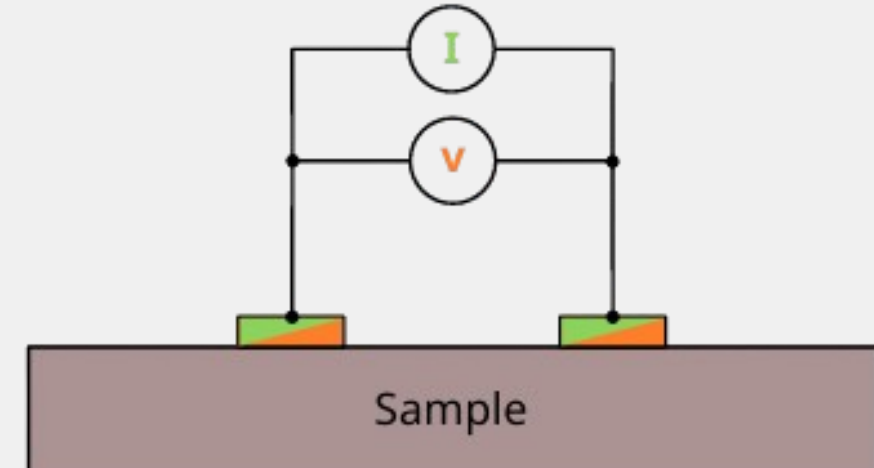


Fig 1. Montage à 2 électrodes

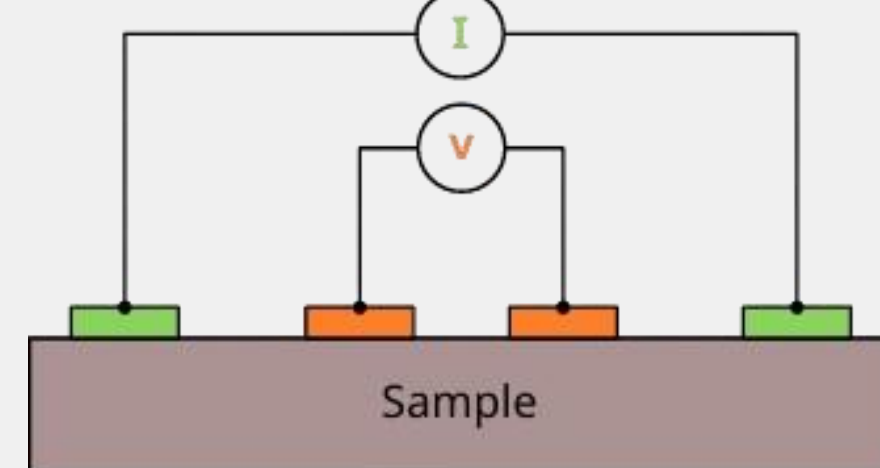


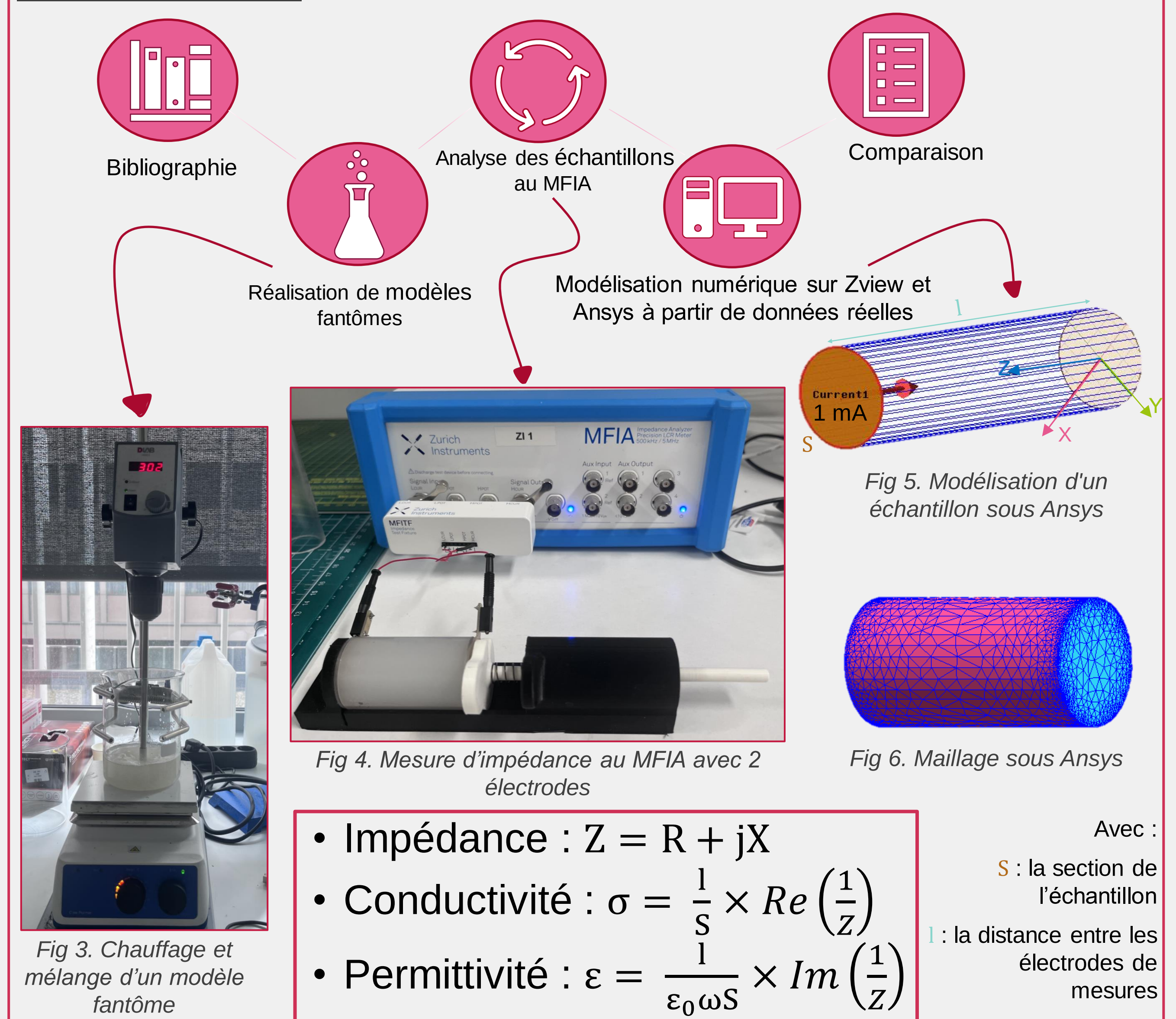
Fig 2. Montage à 4 électrodes

CPE (Constant Phase Element) : Composant électrique qui permet de modéliser le comportement non-idéal d'une capacité.

Méthode soustractive : Permet d'éliminer l'impédance d'interface Z_i lors de mesures Z_m à 2 électrodes, supposée identique pour les deux mesures :

$$Z_{m1} = Z_{e1} + Z_{i1} \text{ et } Z_{m2} = Z_{e2} + Z_{i2} \Rightarrow Z_{e1} - Z_{e2} = Z_{m1} - Z_{m2}$$

Méthode



Résultats et analyse

• Modélisation sous ZView

- Présence d'une capacité parasite C_s
- Correction de l'arc de cercle en haute fréquence

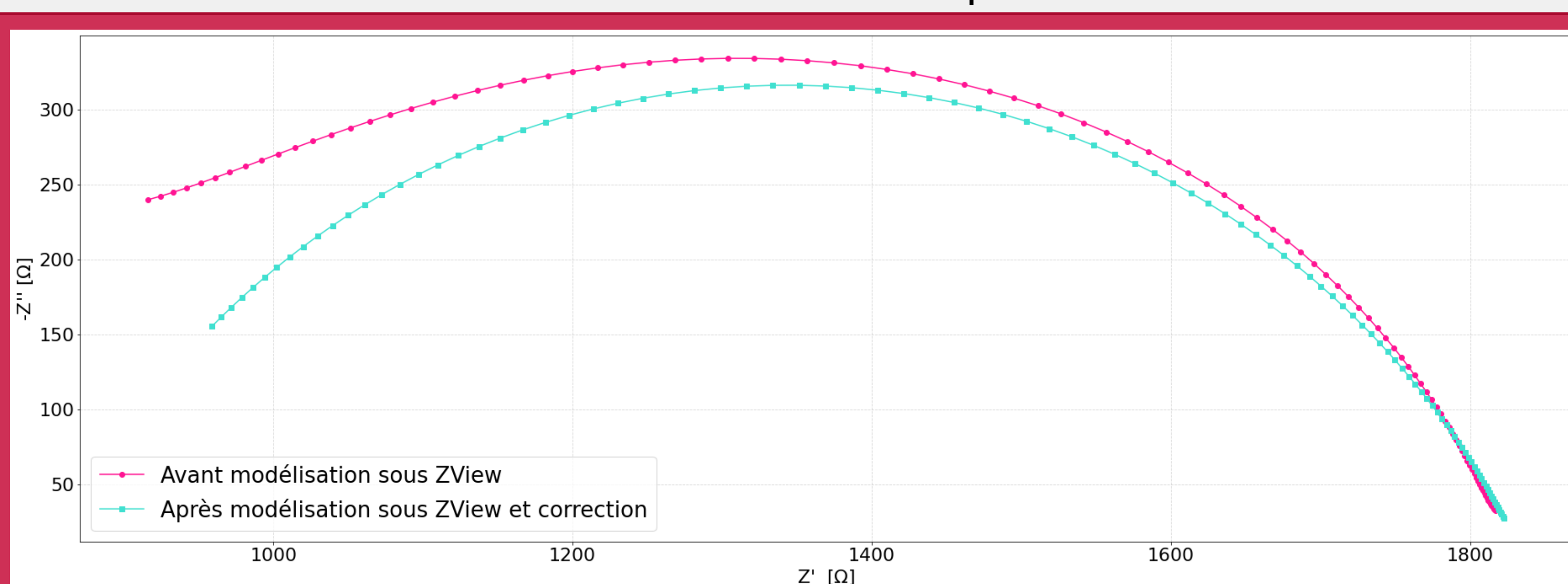
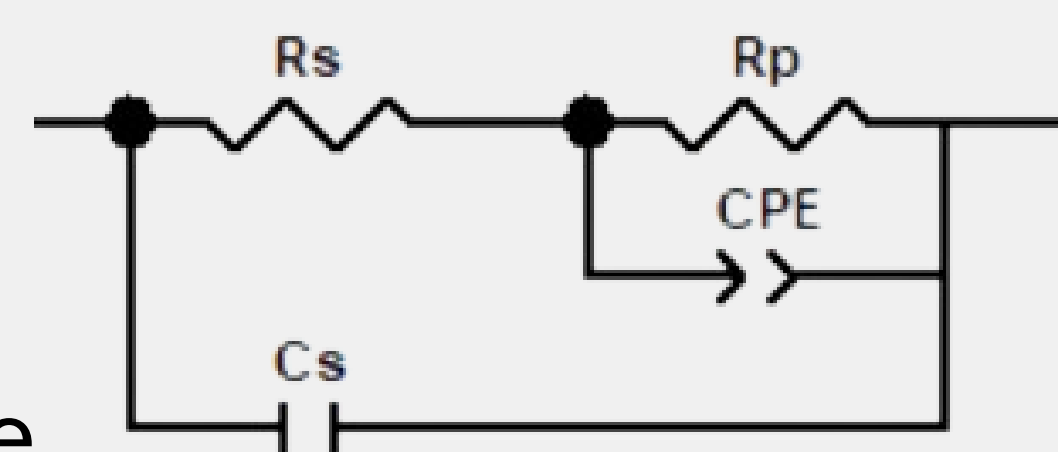


Fig 7. Diagrammes de Nyquist d'un fantôme de muscle de 5 cm mesuré à 2 électrodes

• Modélisation sous ANSYS

- Modélisation des échantillons à partir des valeurs de conductivité et de permittivité calculées à l'aide des mesures d'impédance

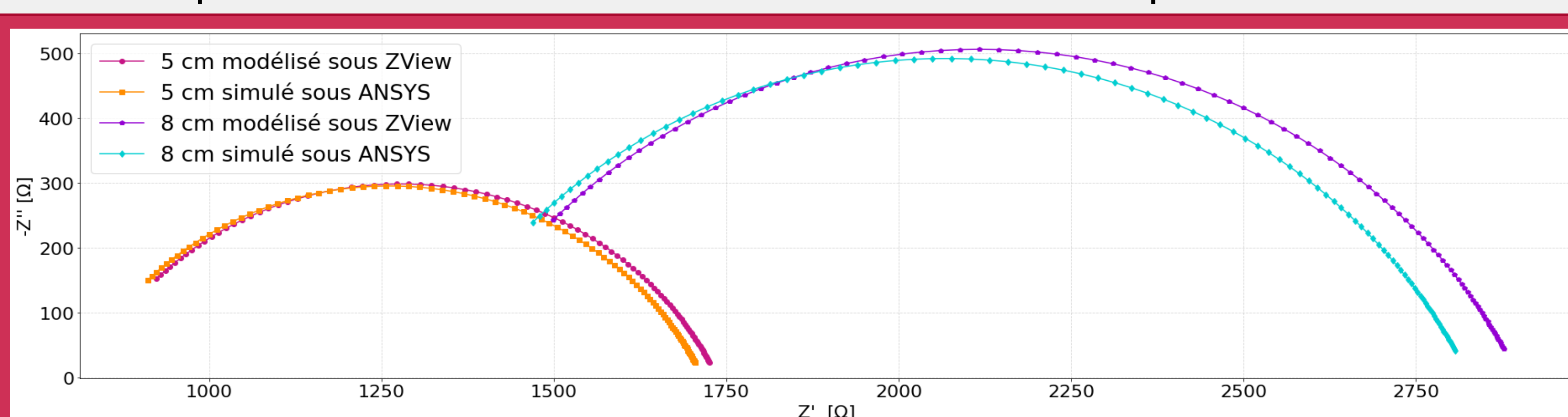


Fig 8. Diagrammes de Nyquist de fantômes de muscle : modèle de référence ajusté sous ZView à partir des mesures à 2 électrodes et simulation sous ANSYS

• Résultats de la méthode soustractive

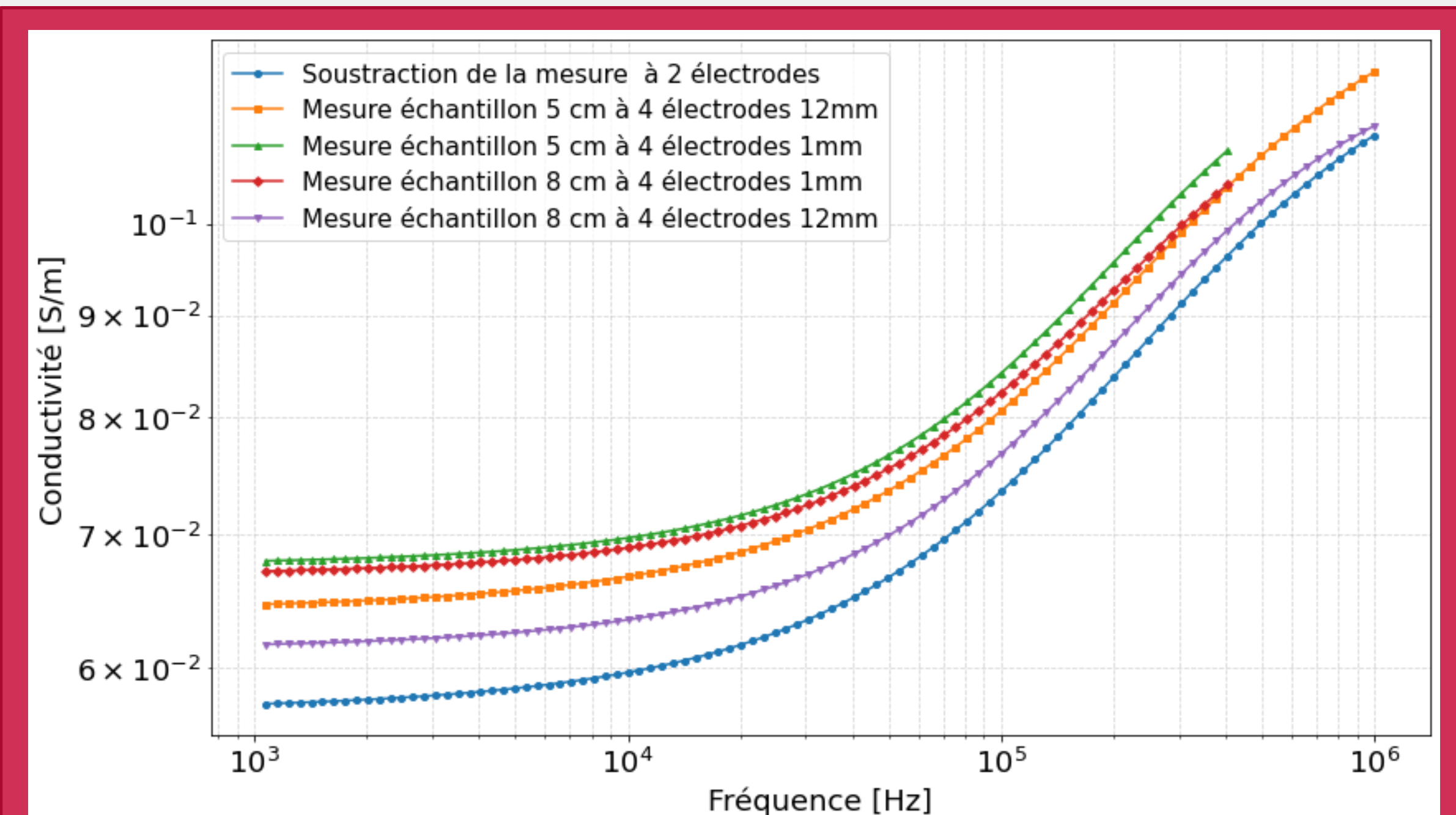


Fig 9. Conductivité de plusieurs échantillons

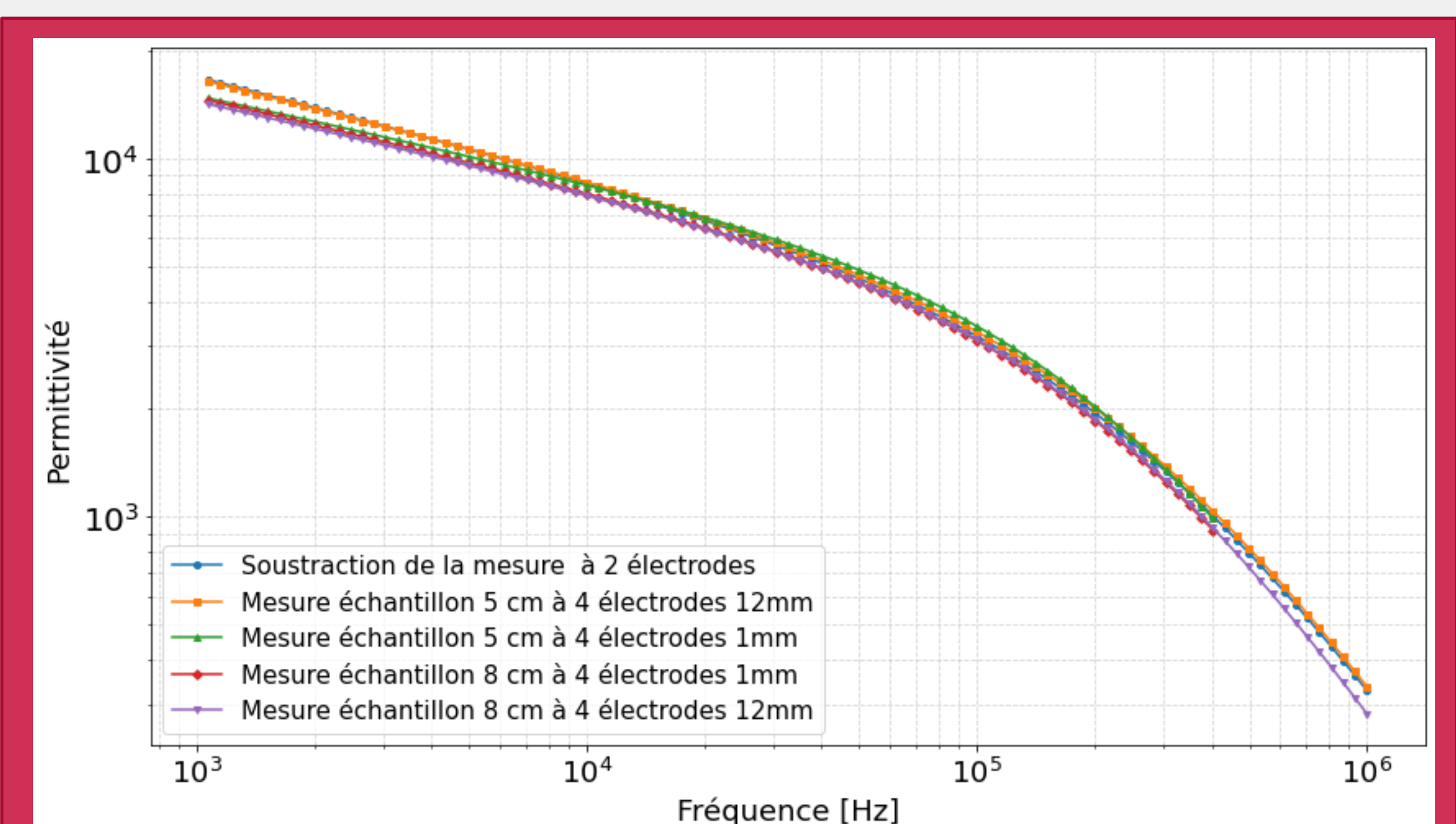


Fig 10. Permittivité de plusieurs échantillons

Conclusion

- Bon accord entre les simulations et les mesures
- Caractérisation électrique des fantômes de muscle

Validation de la méthode soustractive

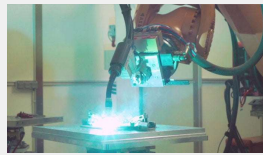
Perspectives

- Étendre les mesures à 2 et 4 électrodes sur d'autres matériaux
- Analyser la réponse électrique et la distribution du courant sous ANSYS
- Tester des géométries plus complexes

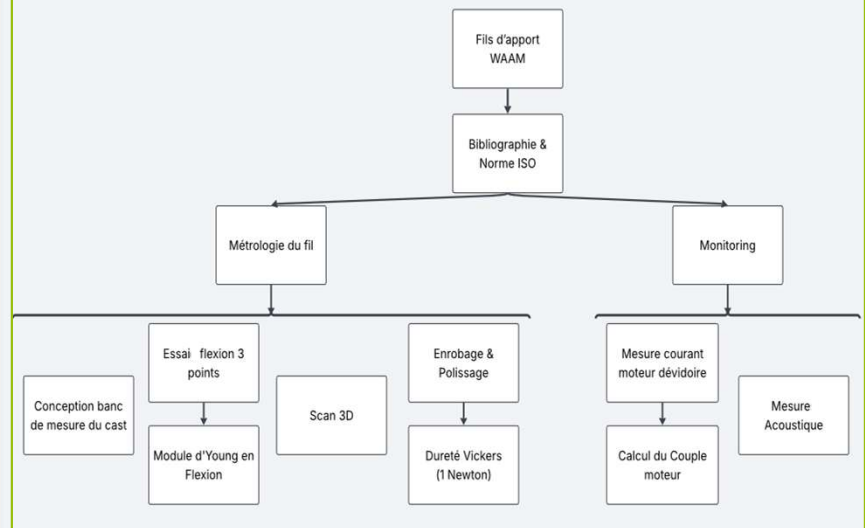
Contexte, objectifs, problématique

Le procédé de fabrication additive **WAAM** (Wire Arc Additive Manufacturing), notamment associé à la technologie **CMT** (Cold Metal Transfer) à rétractation du fil, repose sur l'apport de matière métallique fondue par un arc électrique. La régularité et les propriétés du fil d'apport conditionnent directement la stabilité de l'arc et la qualité des dépôts.

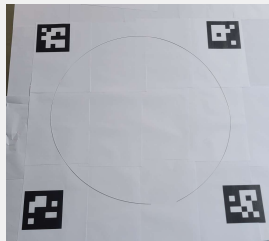
L'objectif de cette étude est de caractériser la métrologie du fil (propriétés mécaniques, géométriques et état de surface).



Méthode, démarche, organisation



Résultats, analyse

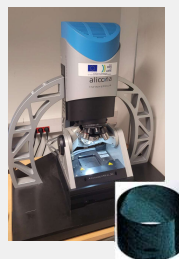
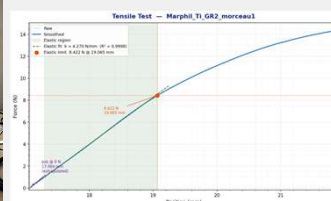
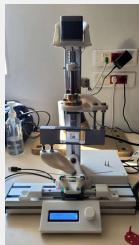


Caractérisation du Cast :

- Méthode** : utilisation marqueurs (ArUco).
- Analyse** : le code extrait le diamètre de courbure local du fil.
- Résultat** : on observe de fortes fluctuations du Cast, cette déformation influencera l'effort du moteur du dévidoir.

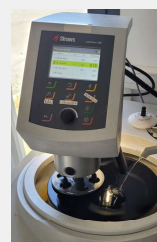
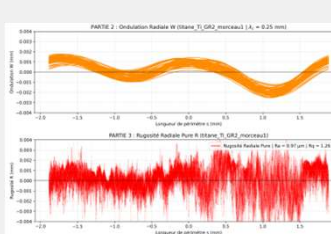
Raideur du fil (flexion 3 points) :

- Méthode** : essai de flexion sur le fil.
- Analyse** : l'ajustement linéaire (pente) de la zone élastique permet de calculer le **Module d'Young (E)** du matériau.



Scan 3D (Alicona) :

- Méthode** : microscopie 3D interférométrique.
- Séparation des signaux** :
 - L'ondulation macroscopique
 - La rugosité microscopique



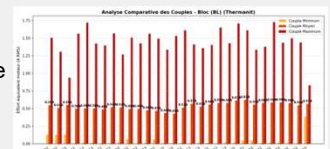
Préparation microdureté Vickers :

- Méthode** : enrobage des fils suivi d'un polissage.
- Essais** : indentation Vickers sous charge calibrée de 1N.
- Analyse** : comparaison de la dureté à cœur et en périphérie.



Couple du dévidoir :

- Méthode** : enregistrement du courant du moteur de dévidage (et tension/courant de l'arc) pendant la fabrication du mur.
- Traitement** : calcul du couple moyen du moteur.
- Résultat** : le couple moyen ne varie pas sur les différentes lignes.



Mesure acoustique de l'arc :

- Méthode** : intégration d'un microphone pendant l'impression WAAM.
- Objectif** : capturer la signature sonore de l'arc électrique.
- Corrélation** : lier les pics d'intensité acoustique avec l'alimentation mécanique (couple moteur) et le courant de la torche.

Conclusion, synthèse, perspectives

Cette étude s'est concentrée sur la caractérisation du fil d'apport et le suivi du procédé :

Métrologie du fil : les mesures par marqueurs ArUco montrent de fortes fluctuations de la courbure (Cast). Les essais de flexion 3 points et la topographie 3D ont permis de déterminer le module d'Young et de séparer rugosité et ondulation. Les essais de microdureté Vickers (1 N) mettent en évidence l'état mécanique à cœur et en périphérie.

Monitoring : le suivi électrique indique un couple moyen du dévidoir stable entre les lignes. L'intégration acoustique permet de capturer la signature sonore de l'arc et de la lier à l'alimentation mécanique du fil.

Mise en place d'un Interpréteur de Prompt et d'un Routeur mixture d'expert pour le Modèle de Fondation Physique CompNO

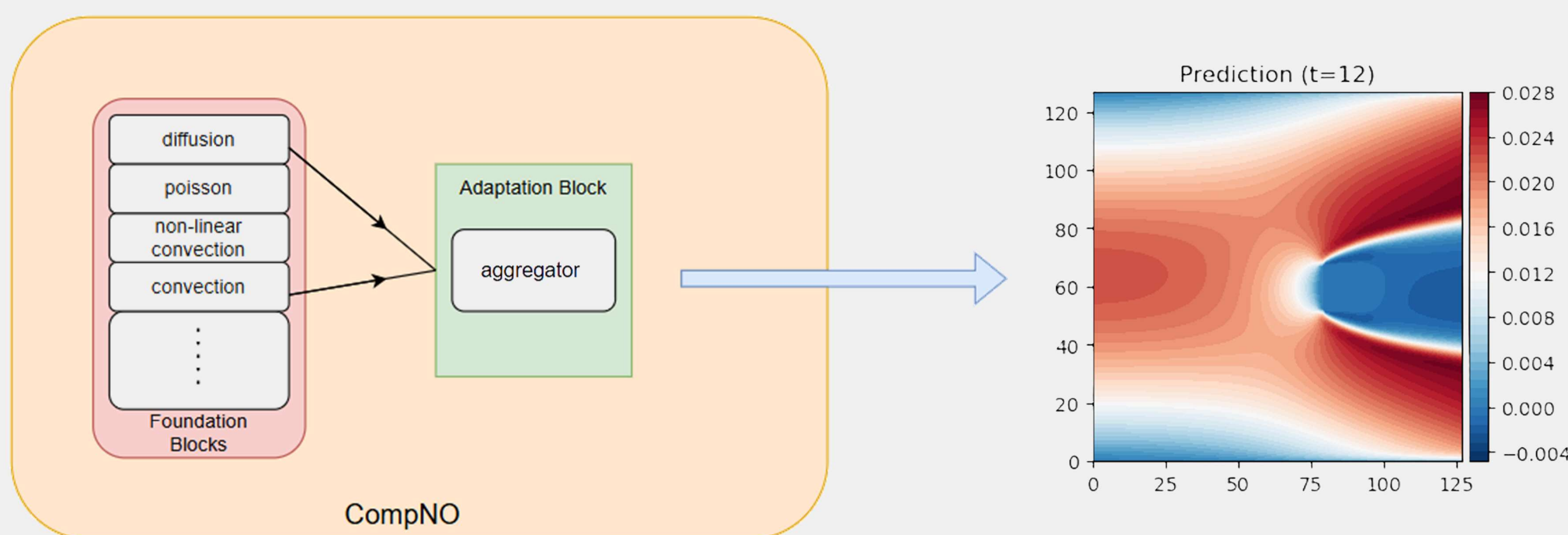
2025-2026

Youssef Mesri, Hamda Hmida, Jérémie Hugedé

Introduction : CompNO (*Compositional Neural Operator*) est un modèle IA de fondation conçu pour simuler des phénomènes physiques. Il s'appuie sur le postulat qu'un système complexe résulte de l'assemblage de briques physiques élémentaires, parfaitement connues et contrôlées. Ce modèle est principalement développé pour simuler des problèmes complexes de mécanique des fluides à un coût de calcul réduit.

I/ Contexte et problématique

CompNO simule des phénomènes physiques complexes en combinant des opérateurs élémentaires, mais son usage demande de connaître à l'avance l'équation à résoudre et de configurer manuellement le modèle (opérateurs, paramètres, conditions aux limites...).

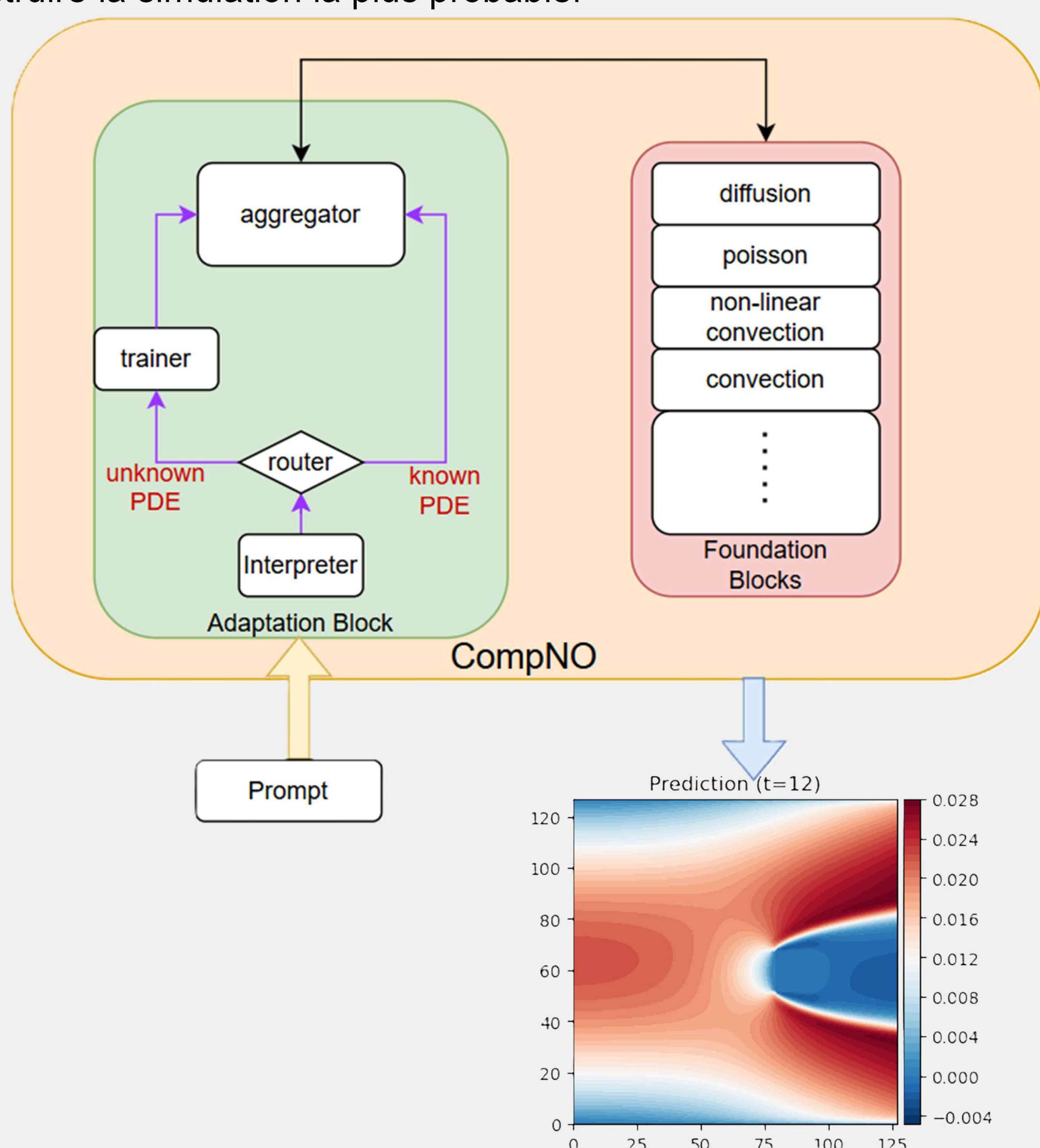


Principe général : blocs de fondation + agrégateur

Verrou à lever : comment permettre à un utilisateur de lancer une simulation à partir d'une simple description en langage naturel, et comment déterminer automatiquement quels blocs de fondation activer, et comment les combiner, pour obtenir le résultat le plus probable ?

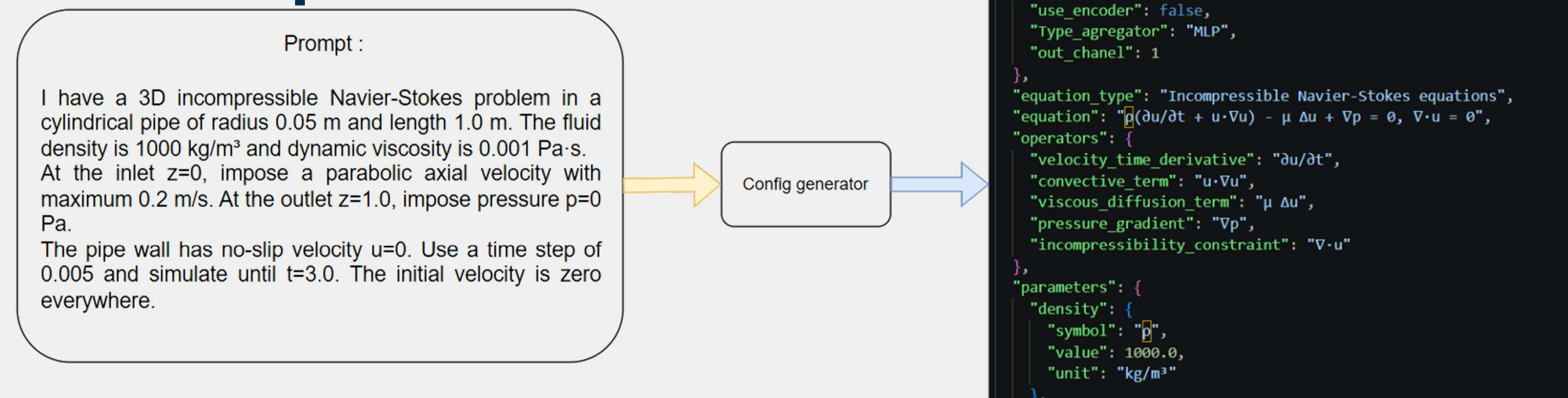
II/ Méthode

1. Un interpréteur de prompt : un LLM (Gemma, spécialisé avec une cinquantaine d'exemples prompt/réponse) extrait d'un prompt les paramètres et conditions et écrit une configuration au format JSON.
2. Un routeur : à partir de cette configuration, il recherche dans une base de blocs connus la décomposition minimale de l'équation demandée (ex. Navier-Stokes = convection non linéaire + diffusion + Poisson), identifie le régime physique associé, puis sélectionne les blocs de fondation à activer pour reconstruire la simulation la plus probable.



Architecture étendue en inférence : prompt, routeur, interpréteur, agrégateur

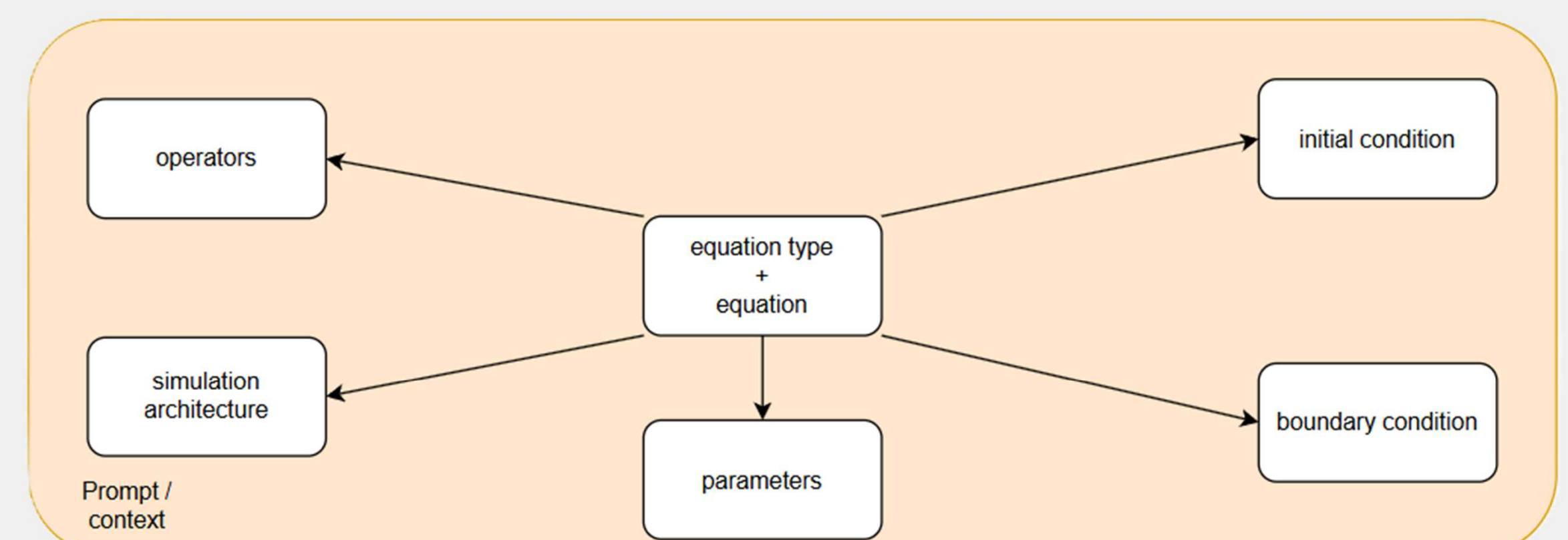
III/ Interprète



Exemple réel : extraction automatique d'une configuration

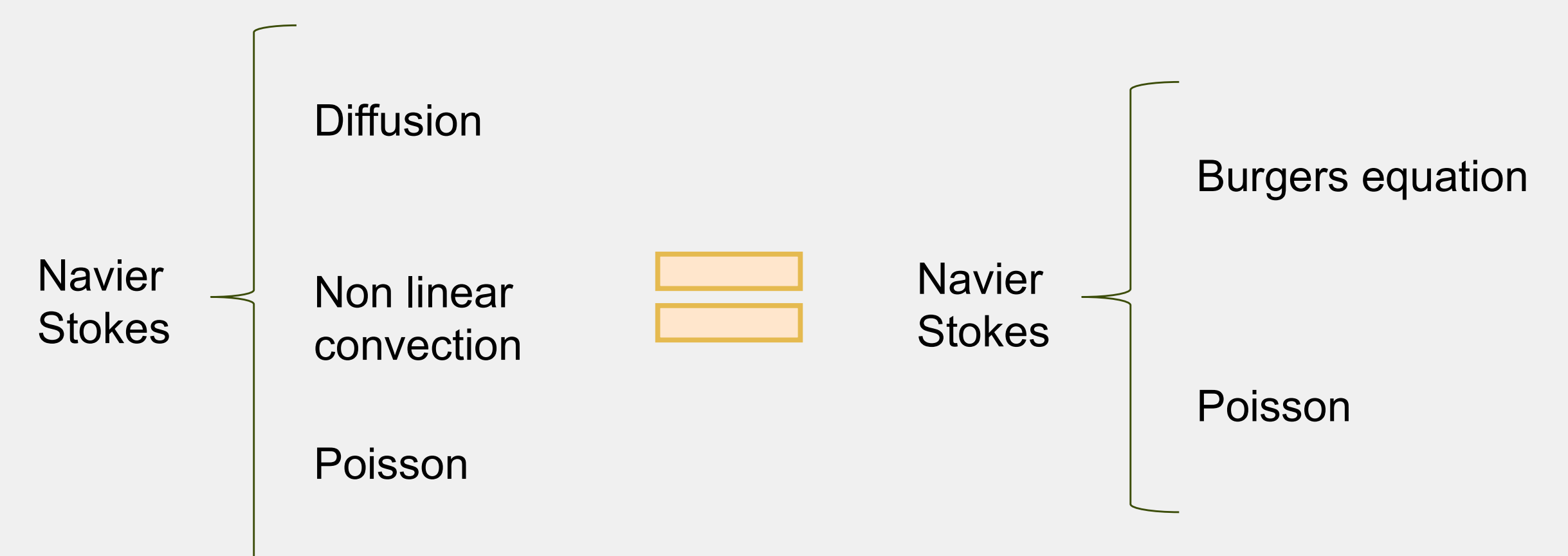
Gestion de la fenêtre de contexte : Pour optimiser les performances d'un LLM compact local, l'analyse du prompt est découpée en micro-tâches indépendantes (architecture, géométrie, paramètres, conditions initiales et limites).

Persistance du contexte physique : Le type d'EDP (*equation_type*) et l'équation globale sont systématiquement réinjectés dans les prompts d'extraction afin de guider précisément l'identification des opérateurs mathématiques purs ($\partial/\partial t$, ∇ , Δ).



Architecture du générateur : séparation en micro-tâches

IV/ Routeur



Identification : Scanne config.json et extrait les blocs physiques primaires (diffusion, convection, pression).

Réduction minimale : Agrège les blocs simples en briques complexes (ex. *Diffusion + Convection* → *Burgers*) et apprend dynamiquement les nouvelles combinaisons via le LLM.

Détection de régime : Calcule les nombres adimensionnels (ex. $Re = \frac{U \cdot L}{\nu}$) pour déterminer le régime d'écoulement (laminaire/turbulent) et cibler la sous-branche d'experts la plus probable.

Pour réaliser cela, nous avons du utiliser le Model Context Protocol (MCP) permettant au LLM d'utiliser des fonctions python par lui-même.

V/ Conclusion

Ce stage a permis d'ajouter à CompNO une interface en langage naturel : un interpréteur transforme un prompt en configuration exploitable, et un routeur détermine automatiquement les blocs physiques à activer pour reproduire le phénomène demandé le plus probable. Cette nouvelle version du modèle a finalement permis une automatisation complète du workflow, l'utilisateur a maintenant seulement besoin de communiquer un prompt au modèle de fondation pour obtenir un résultat.

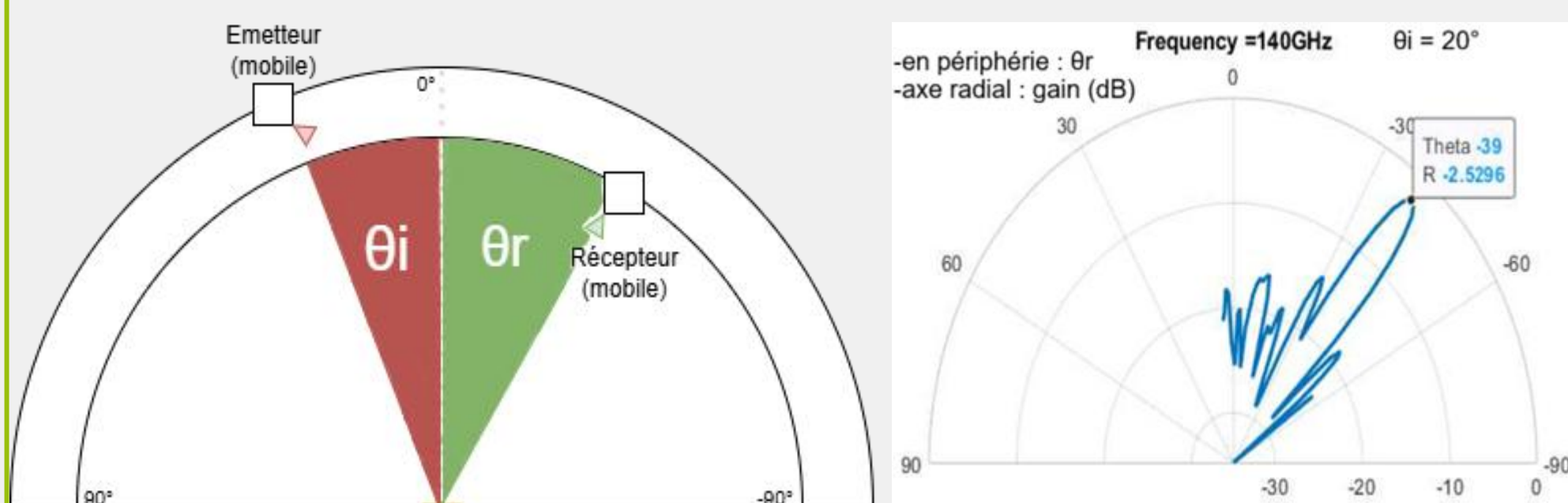
Contexte :

Besoin : automatiser les mesures de métasurfaces exposées à des fréquences de l'ordre de la centaine de GHz (EHF).

→ Nécessité de réaliser un **banc de mesure**

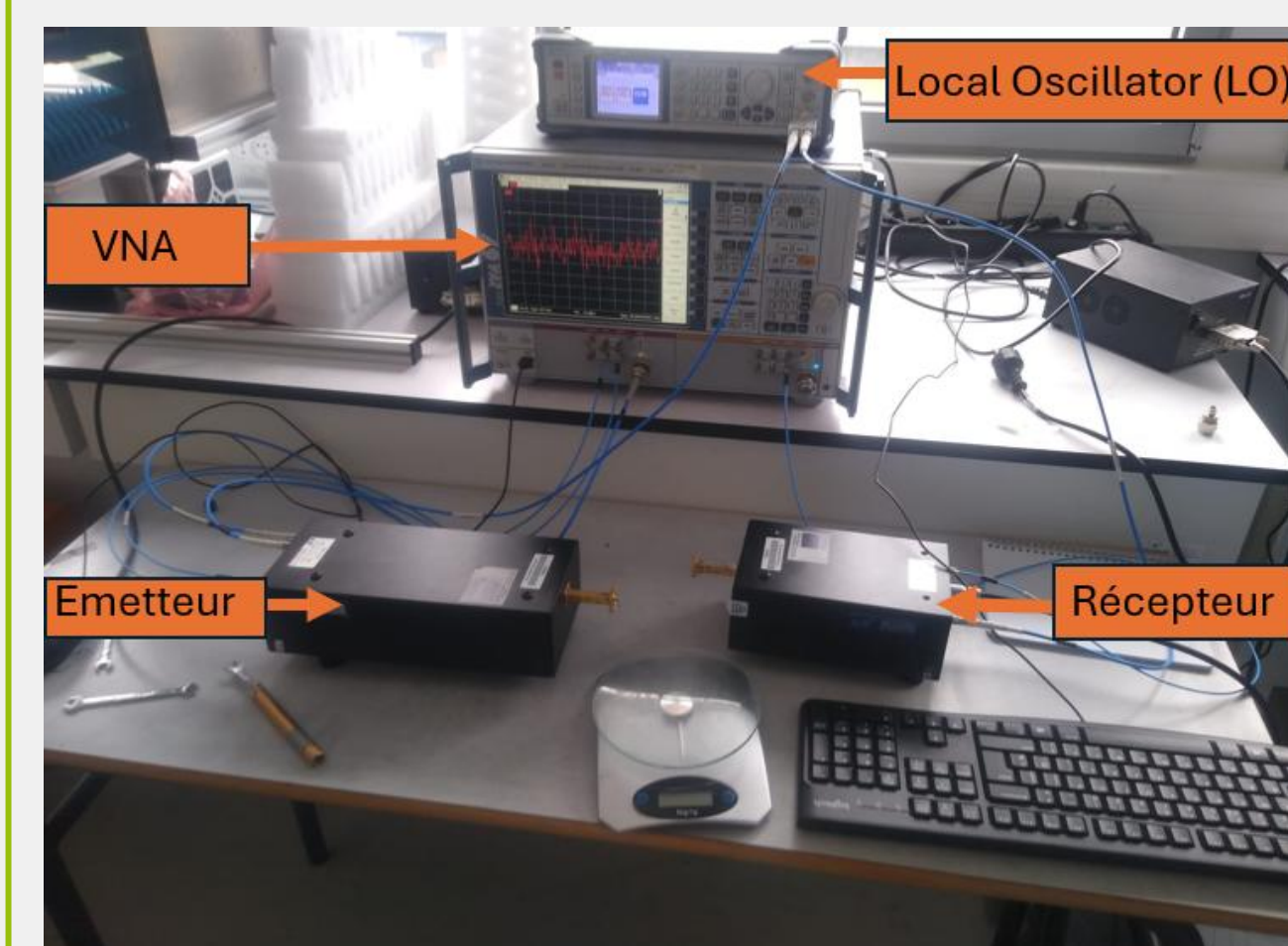
La mesure consiste à établir le diagramme de rayonnement d'une **RIS**.

Pour plusieurs θ_i fixés, on fait varier θ_r autour d'un angle $\theta_{r_attendu}$.

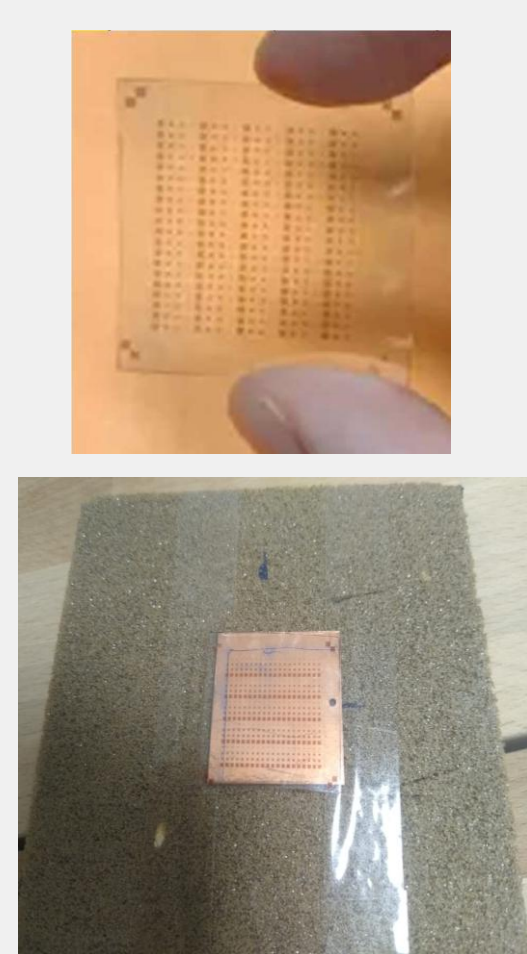


Principe de la mesure manuelle

Exemple de diagramme de rayonnement obtenu ($\theta_{r_attendu} = -36^\circ$ pour $\theta_i = 20^\circ$)



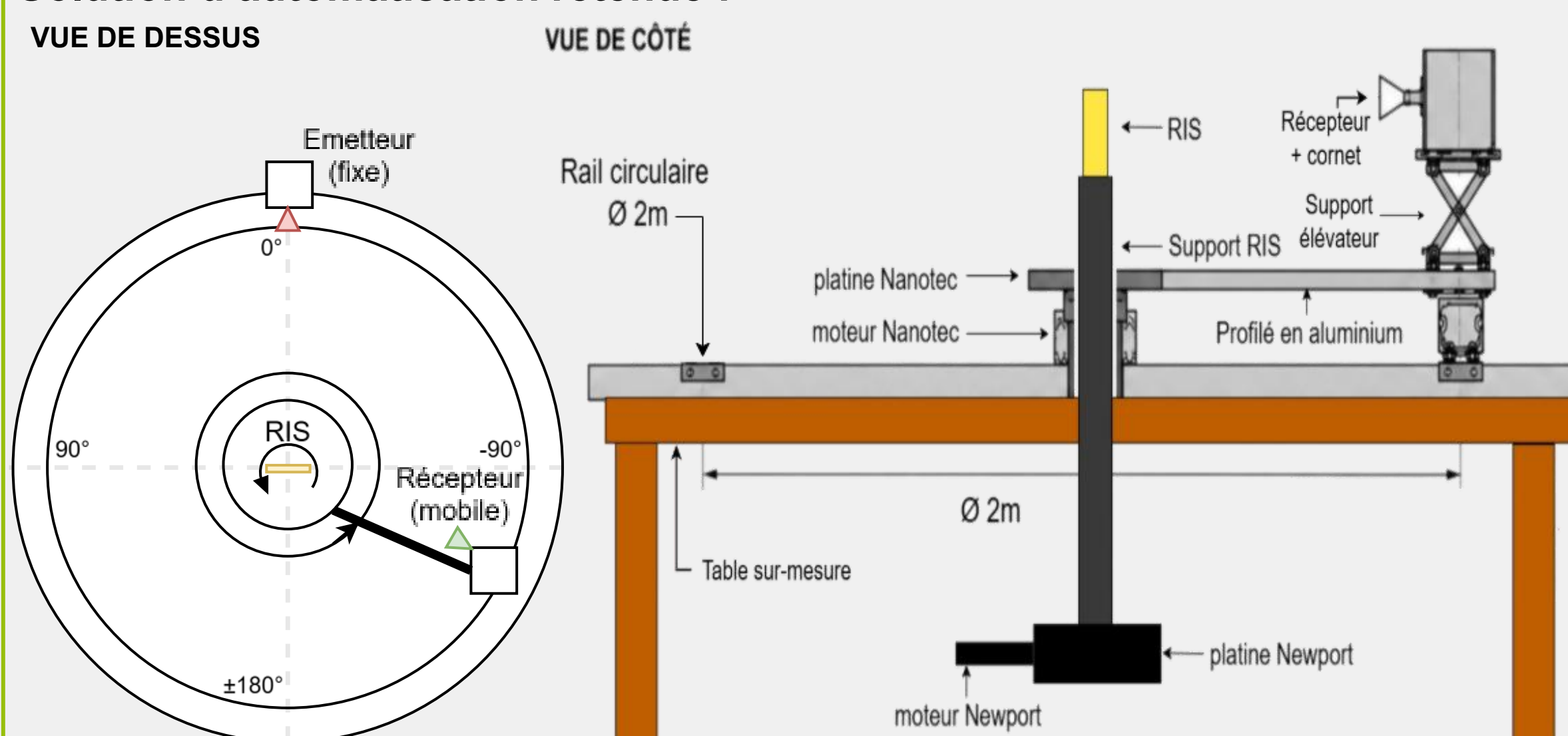
Matériel de mesure



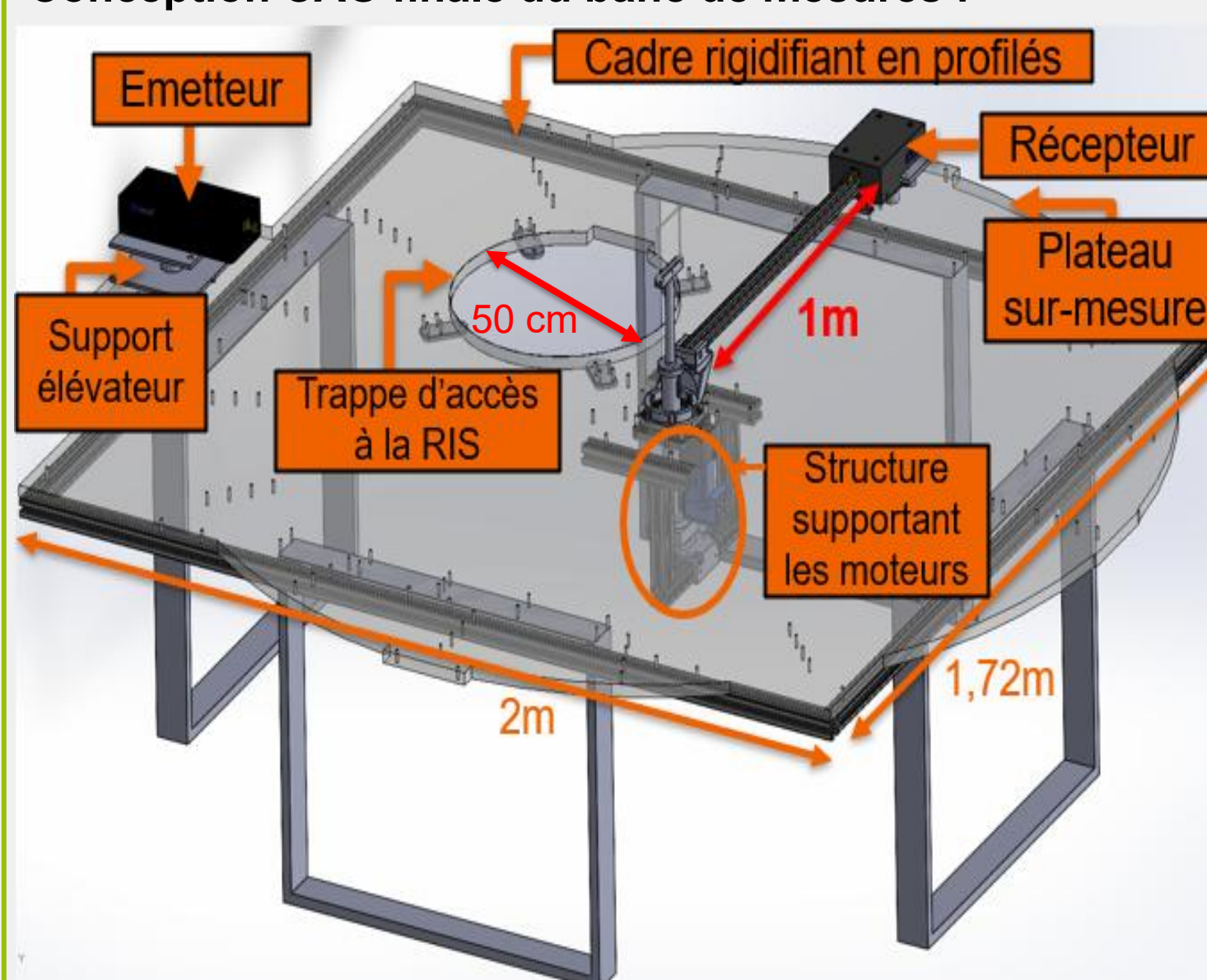
Une RIS

Conception de la solution retenue :

Solution d'automatisation retenue :



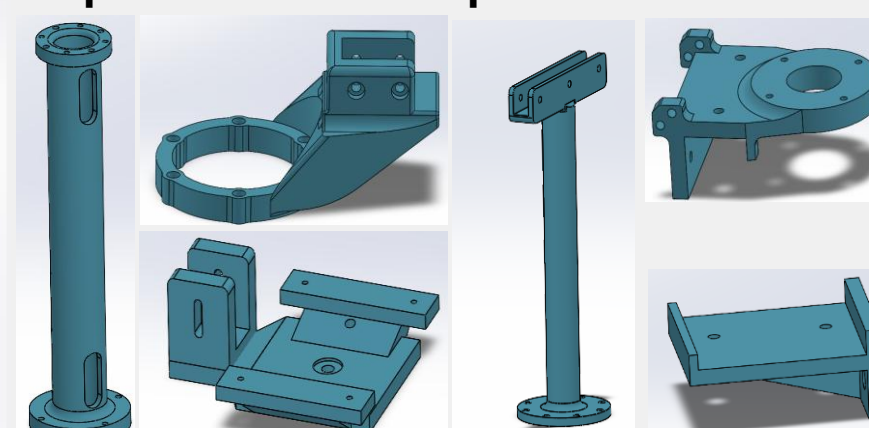
Conception CAO finale du banc de mesures :



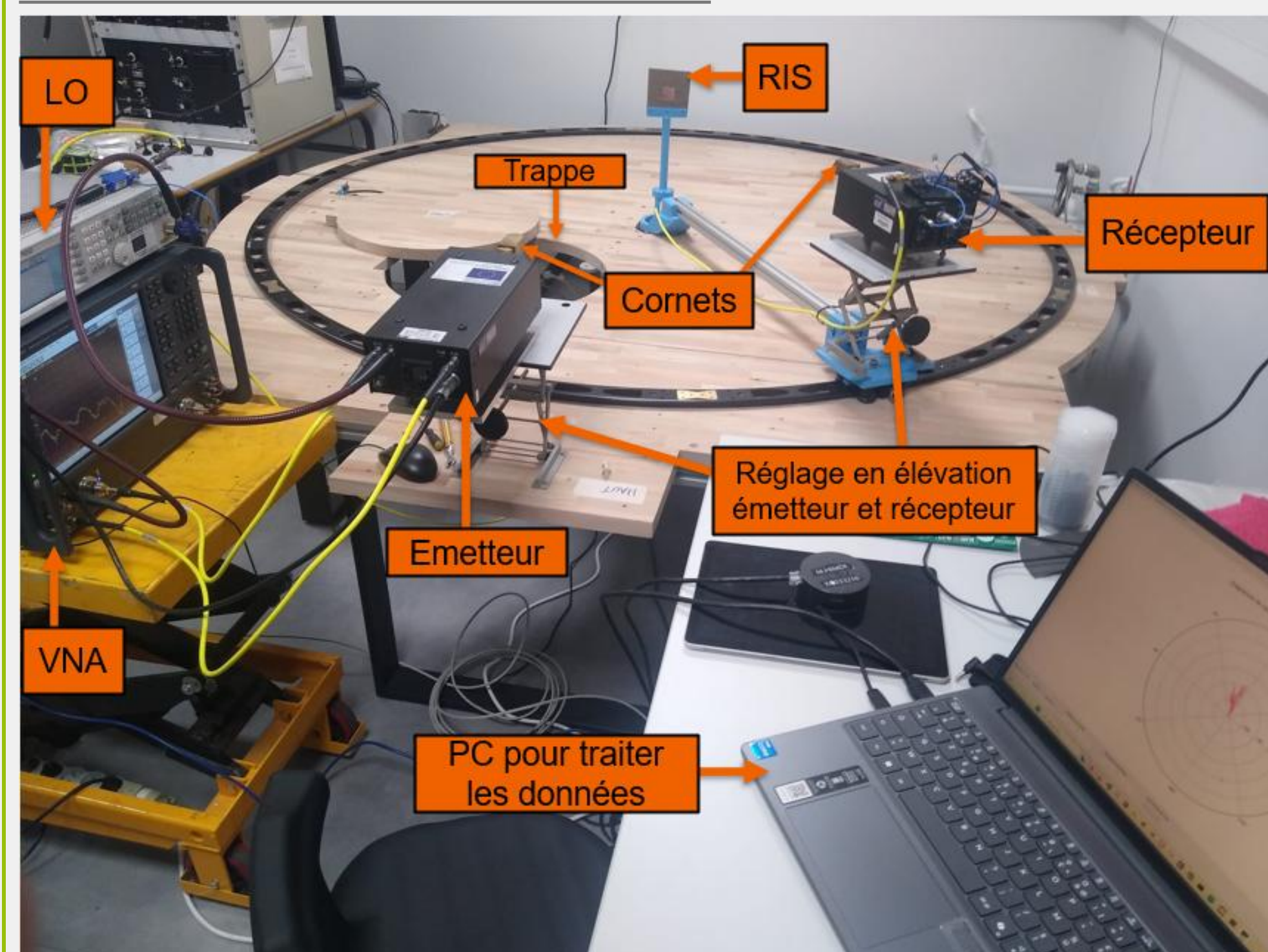
Découpe au jet d'eau de plans de travail pour former le plateau sur-mesure :



Impression 3D des pièces de fixation :

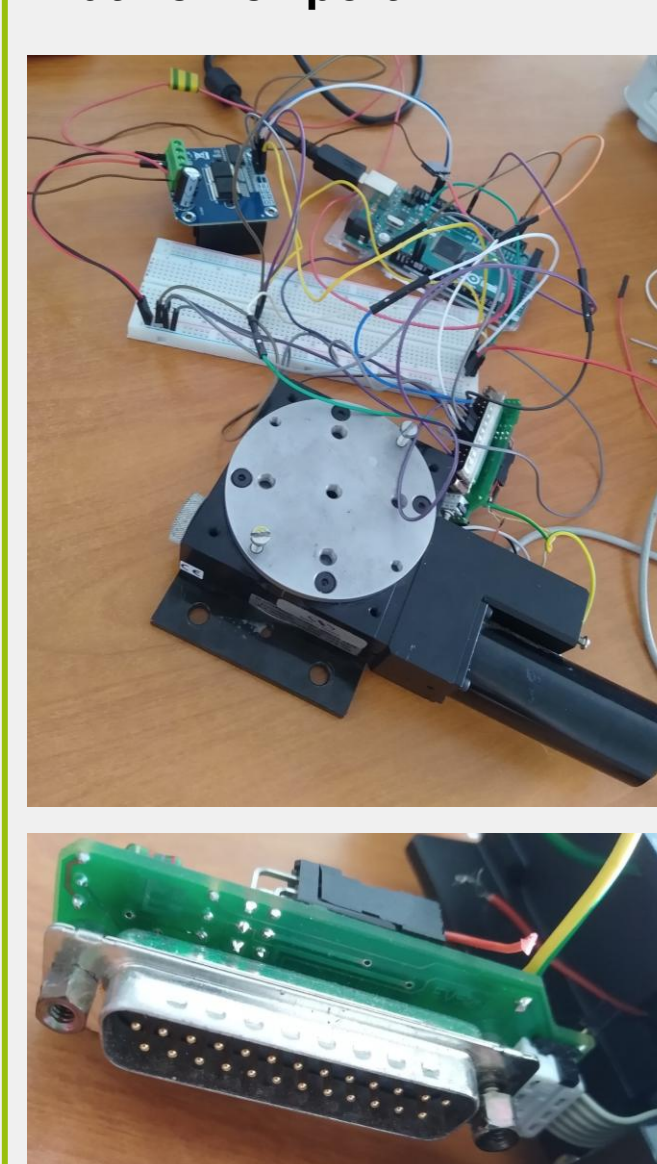


Réalisation du banc :



Commande moteurs et programmation interface :

Platine Newport :



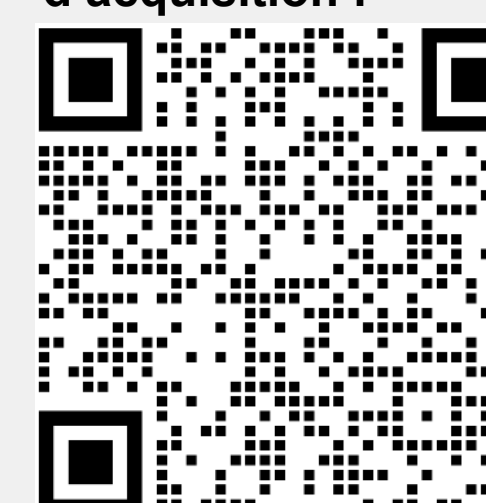
Moteur Nanotec :



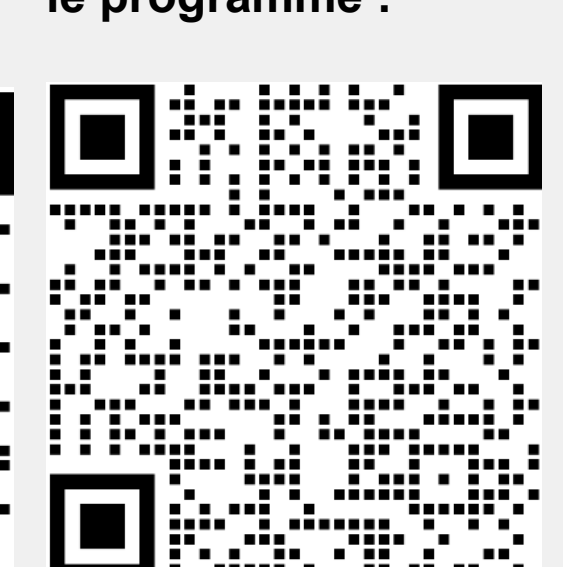
Commande des deux moteurs :



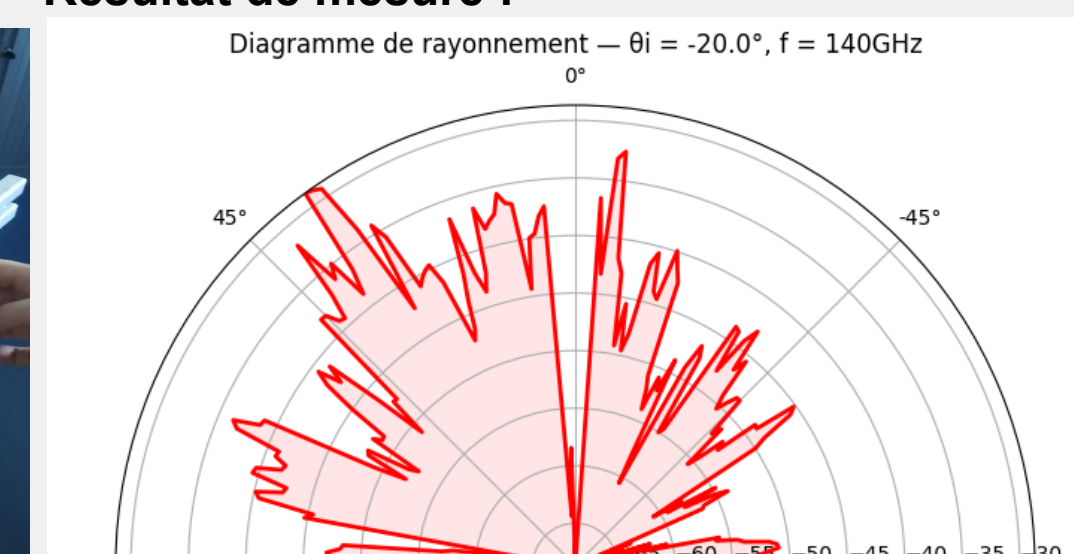
Vidéos du banc en fonctionnement et de l'interface d'acquisition :



Vidéo présentant les fichiers enregistrés par le programme :



Résultat de mesure :



Perspectives d'utilisation et d'amélioration du banc :

- Mesurer le rendement de réflexion des RIS (efficacité énergétique)
- Réaliser des mesures sur des RIS reconfigurables (phase, amplitude, polarisation, etc.)
- Caractériser des métasurfaces transparentes ou purement diélectriques
- Mesurer les performances de focalisation pour les lentilles de Fresnel, métalentilles et surfaces quasi-optiques
- Faire des mesures de diagrammes de rayonnement d'antennes et allonger le bras pour pouvoir faire des mesures à plus basses fréquences
- Rédiger une publication scientifique sur le banc de mesure et les résultats obtenus avec celui-ci

Contexte :

- Robot à câbles → système suractionné
- Le robot a 8 actionneurs pour 6 degrés de liberté (ddl)
 $8 - 6 = 2 \rightarrow 2 \text{ redondances d'actionnement}$
- Objectif : 8 actionneurs → 6 ddl
→ 1 mécanisme bistable

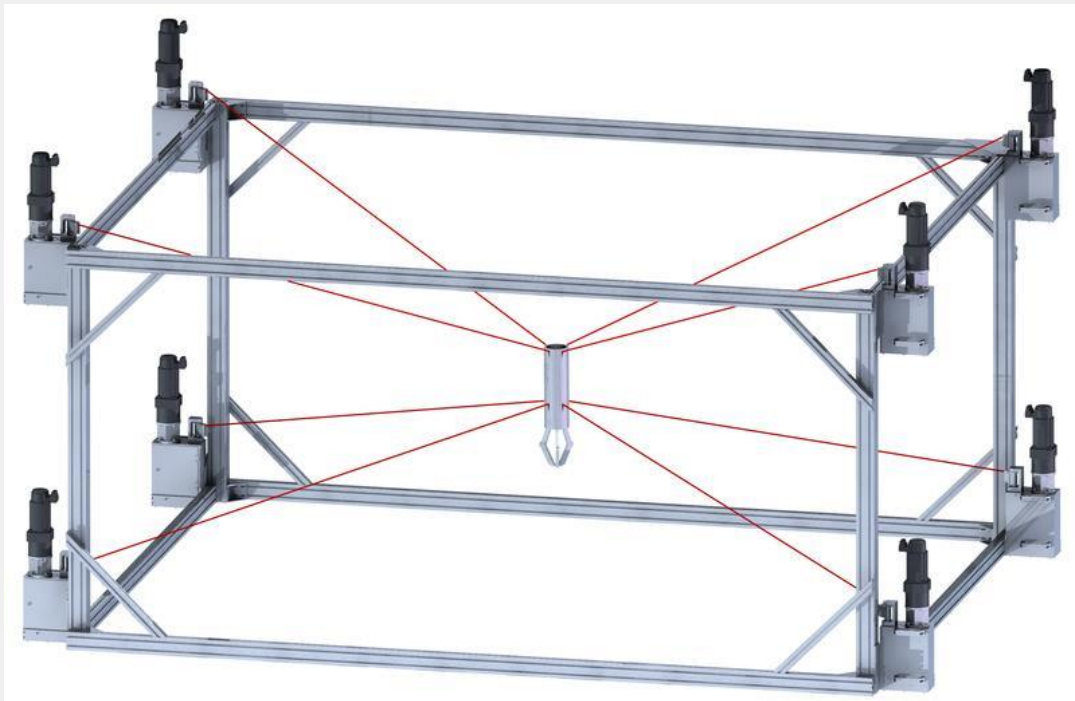
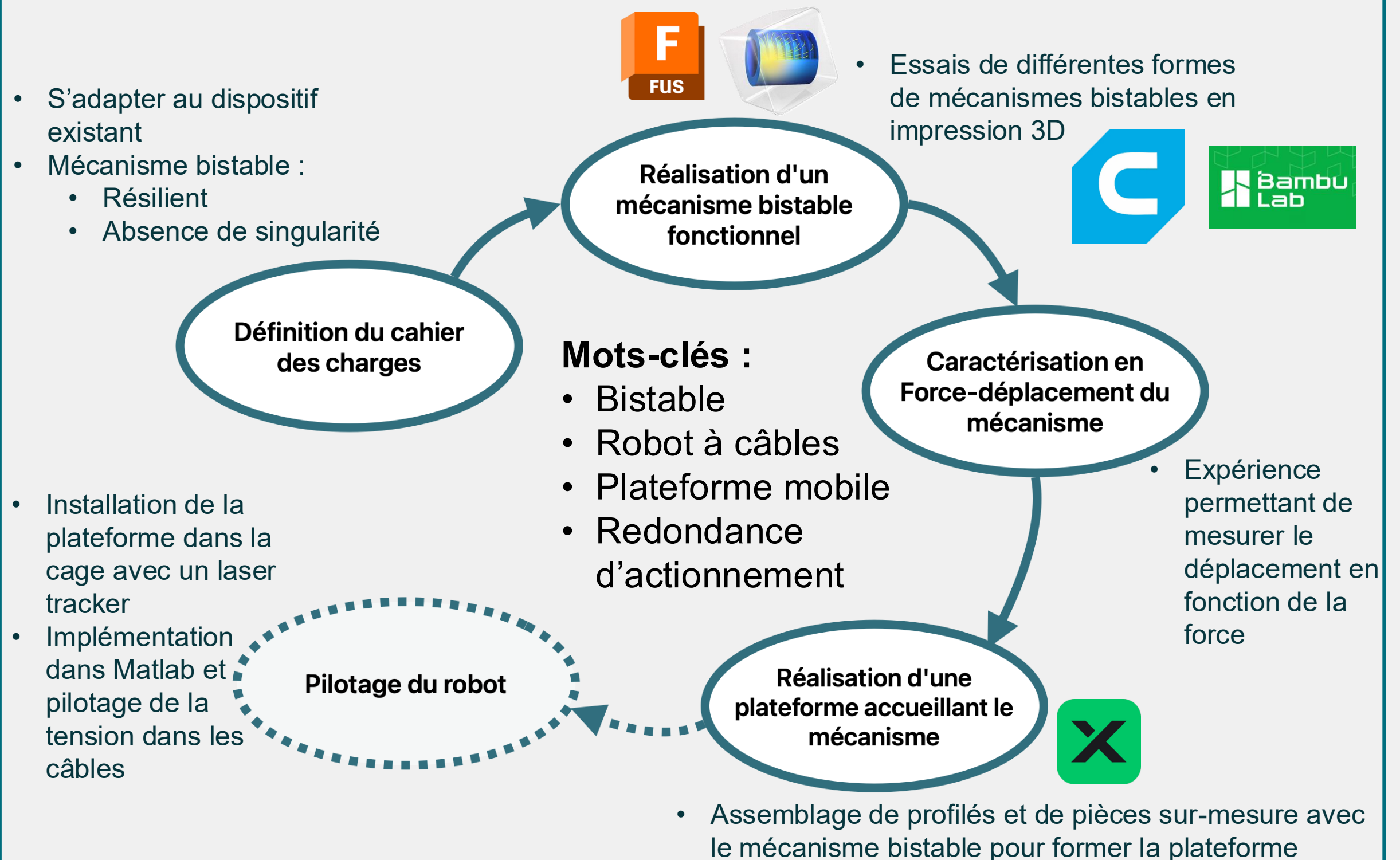


Fig 1.1 : Robot à câbles pleinement actionné

Méthode, démarche, organisation



Résultats, analyse

Principe de fonctionnement d'un mécanisme bistable :

- Bistable $\Leftrightarrow$ 2 puits d'énergie potentielle
→ 2 positions stables pour 2 efforts nuls

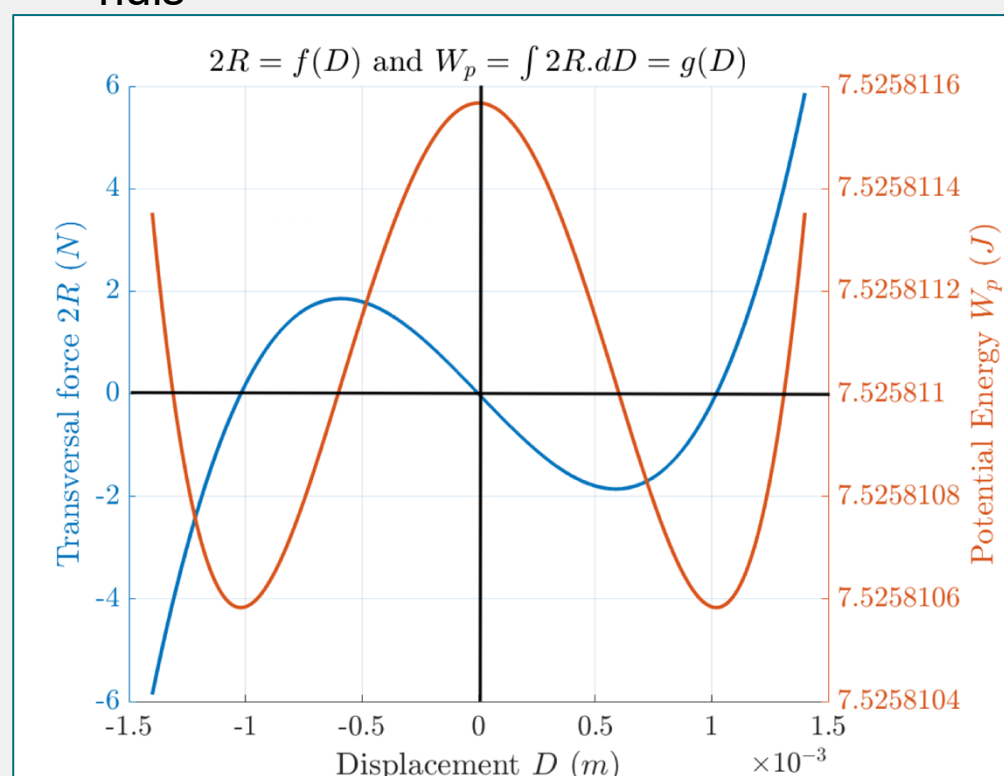


Fig 3.1 : Courbe énergie potentielle/Force – déplacement d'un mécanisme bistable [1]

Fonctionnement du mécanisme bistable utilisé :

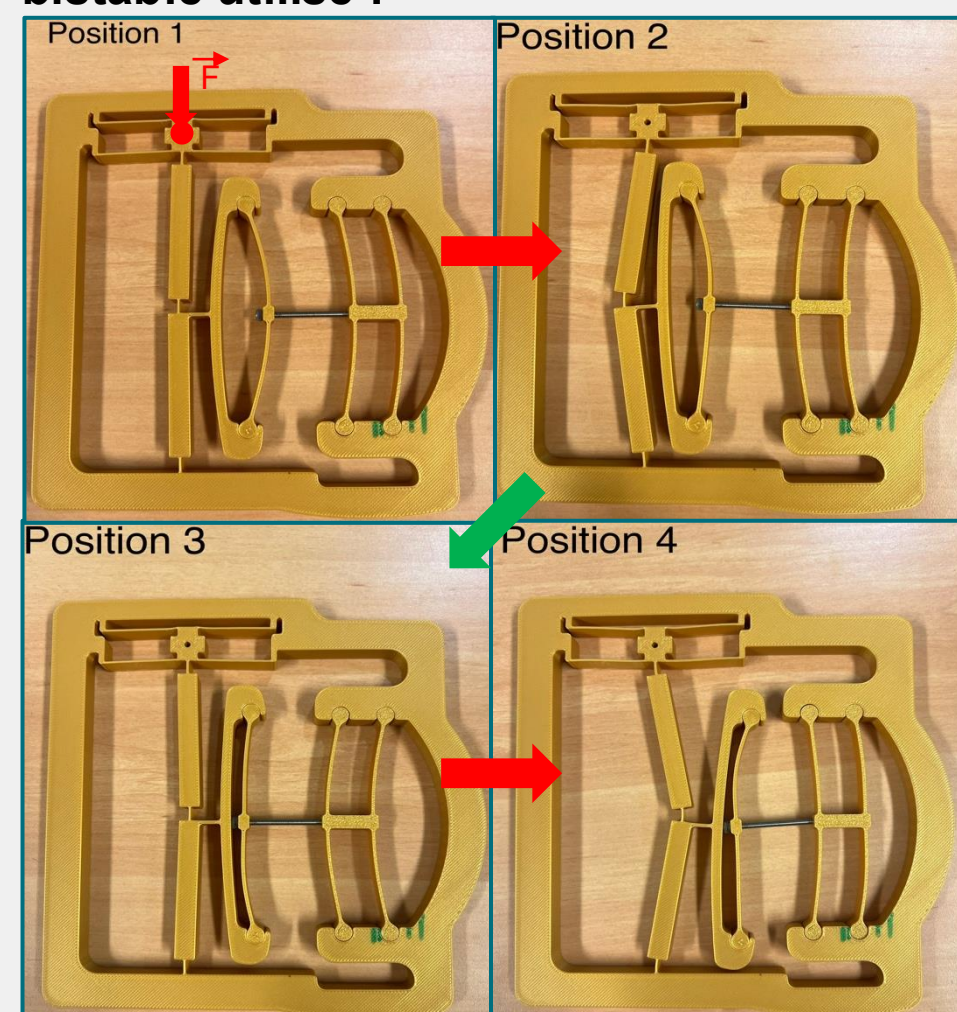
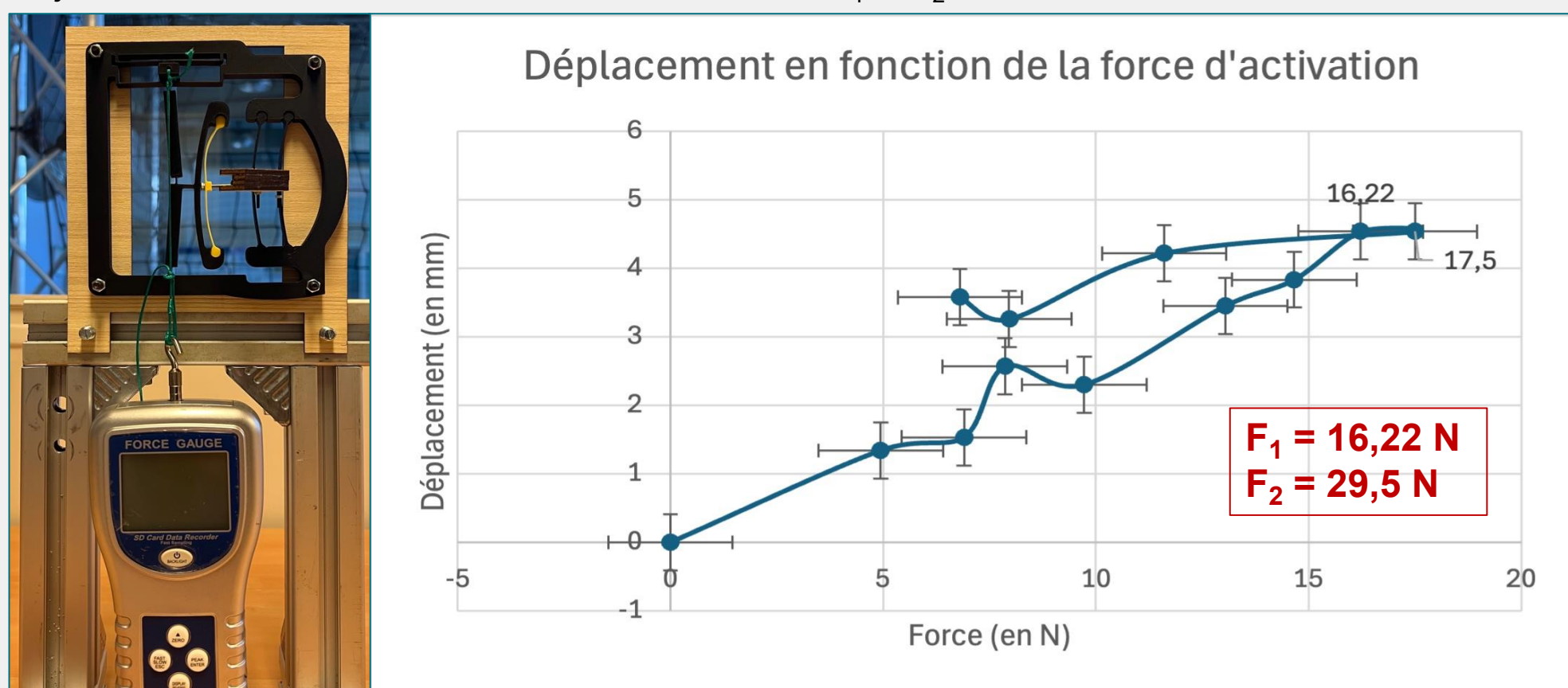


Fig 3.2 : Fonctionnement du bistable

- Application d'une force F
- Relâchement de la force F

Caractérisation du mécanisme :

Objectif : Connaître les valeurs des forces d'activation F_1 et F_2 du mécanisme

Fig 3.3 : Expérience de caractérisation du mécanisme bistable (Courbe pour F_1)

Réalisation de la plateforme accueillant le mécanisme bistable :

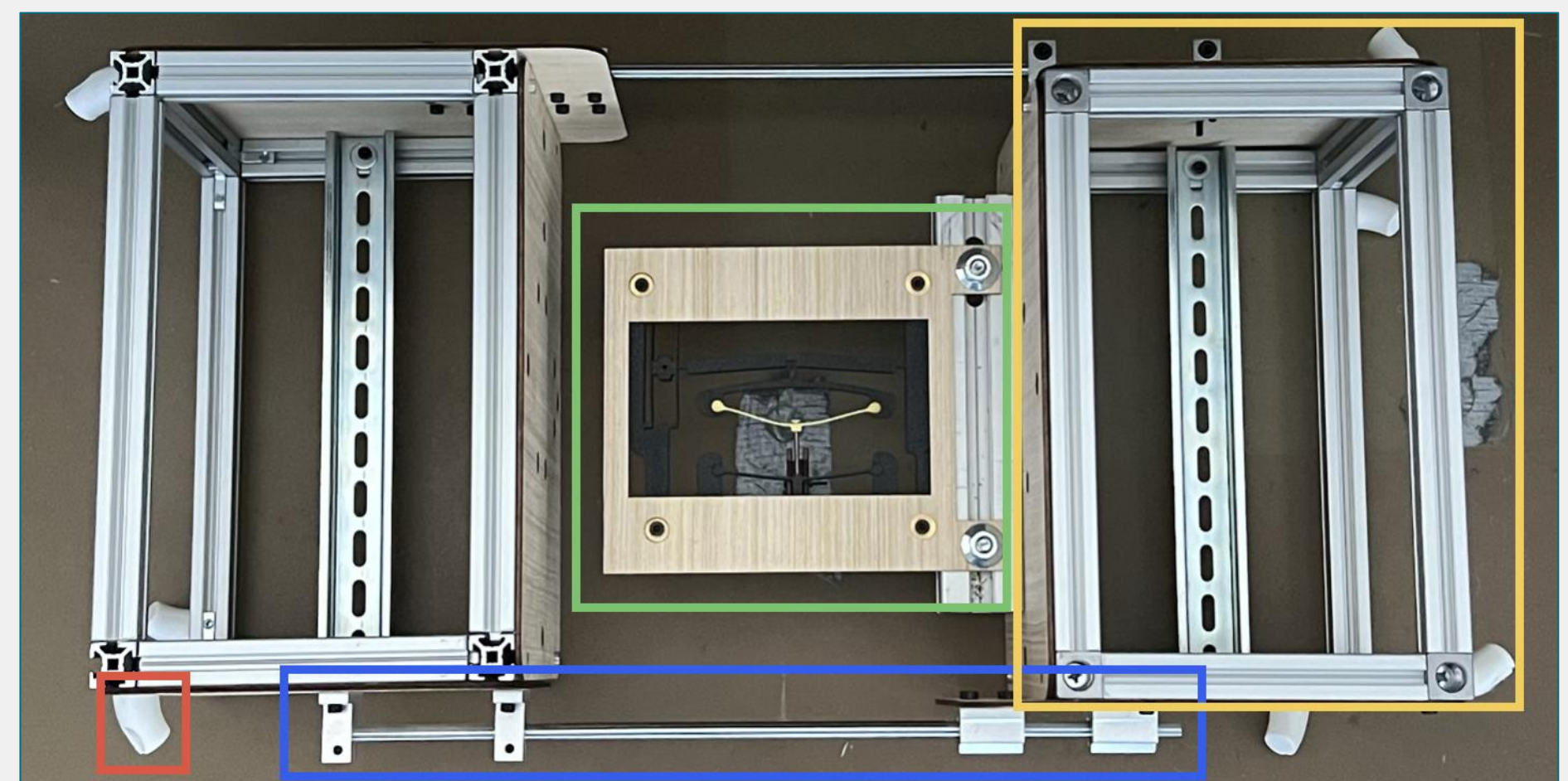


Fig 3.4 : Plateforme du robot. En jaune, la partie rigide. En bleu, guidage de la plateforme. En vert, le mécanisme bistable. En rouge, les dispositifs d'attache des câbles.

Montage d'un robot à câbles à plateforme bistable :

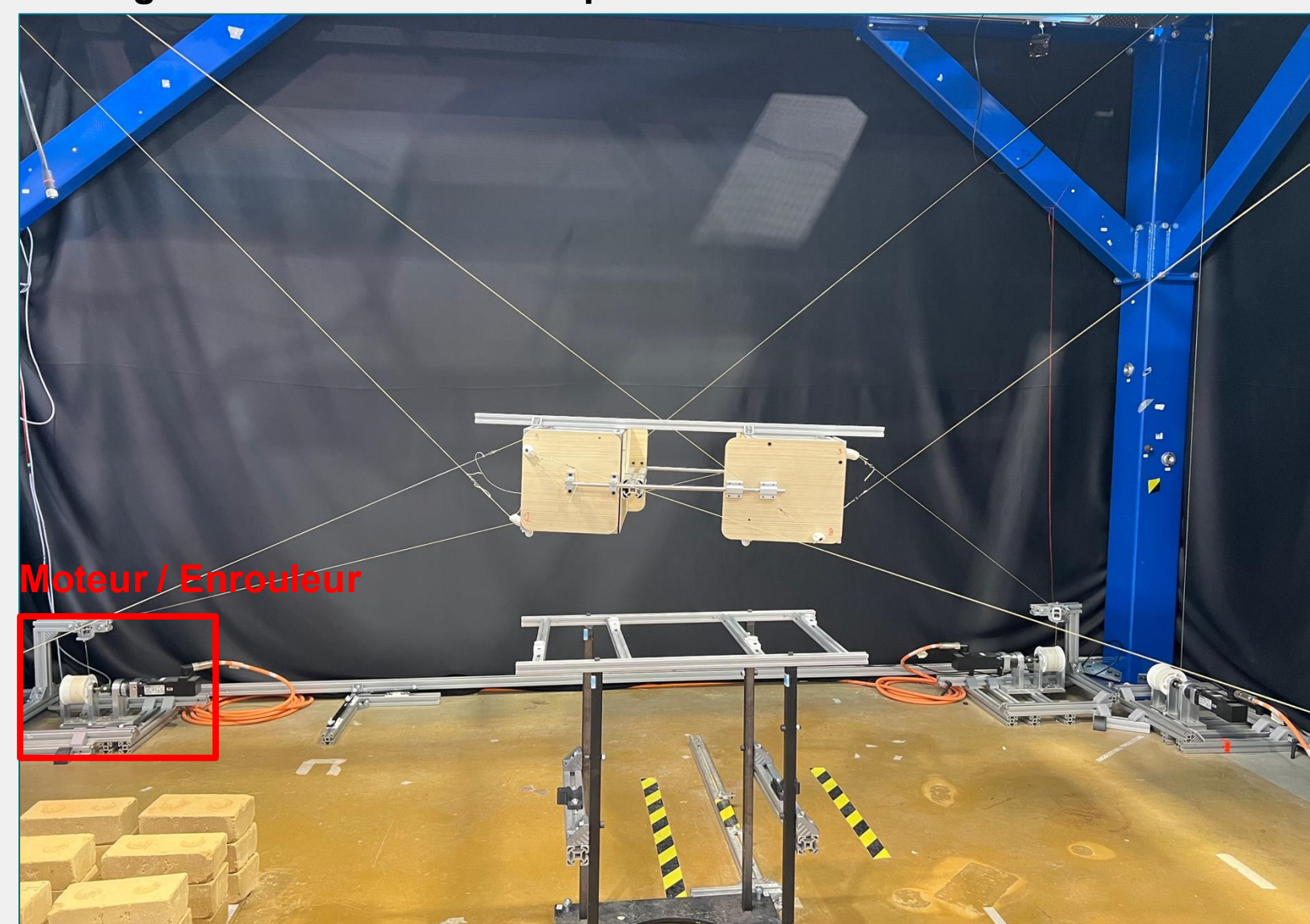


Fig 3.5 : Robot à câbles avec plateforme surélevée

Vidéos en fonctionnement



Vidéo du bistable fig 3.2



Vidéo d'un bistable commercial sur la plateforme

[1] Taha Ajnada. Bistable surfaces activation by piezoelectric materials, application to haptic feedback. Electric power. Université Paris-Saclay, 2021. English. (NNT : 2021UPAST106). (tel-04213452)

Conclusion :

- Réalisation d'un mécanisme bistable à raideur et déplacement variable
- Réalisation d'une plate-forme adaptable à plusieurs mécanismes
- Déclenchement du bistable avec le robot

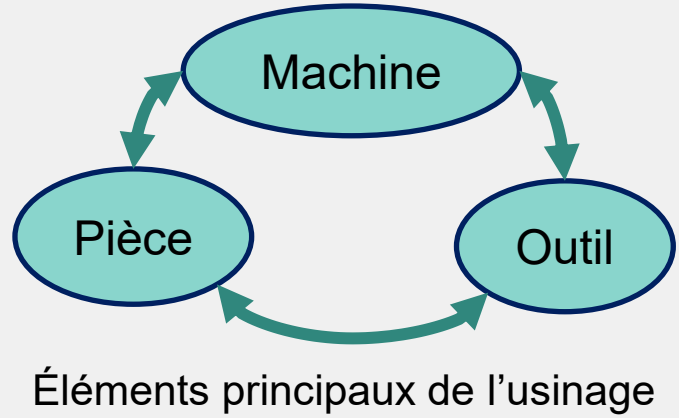
Perspectives :

- Amélioration du guidage
- Mécanisme bistable à 2 degrés de liberté
- Attraper des objets

Contexte et objectifs

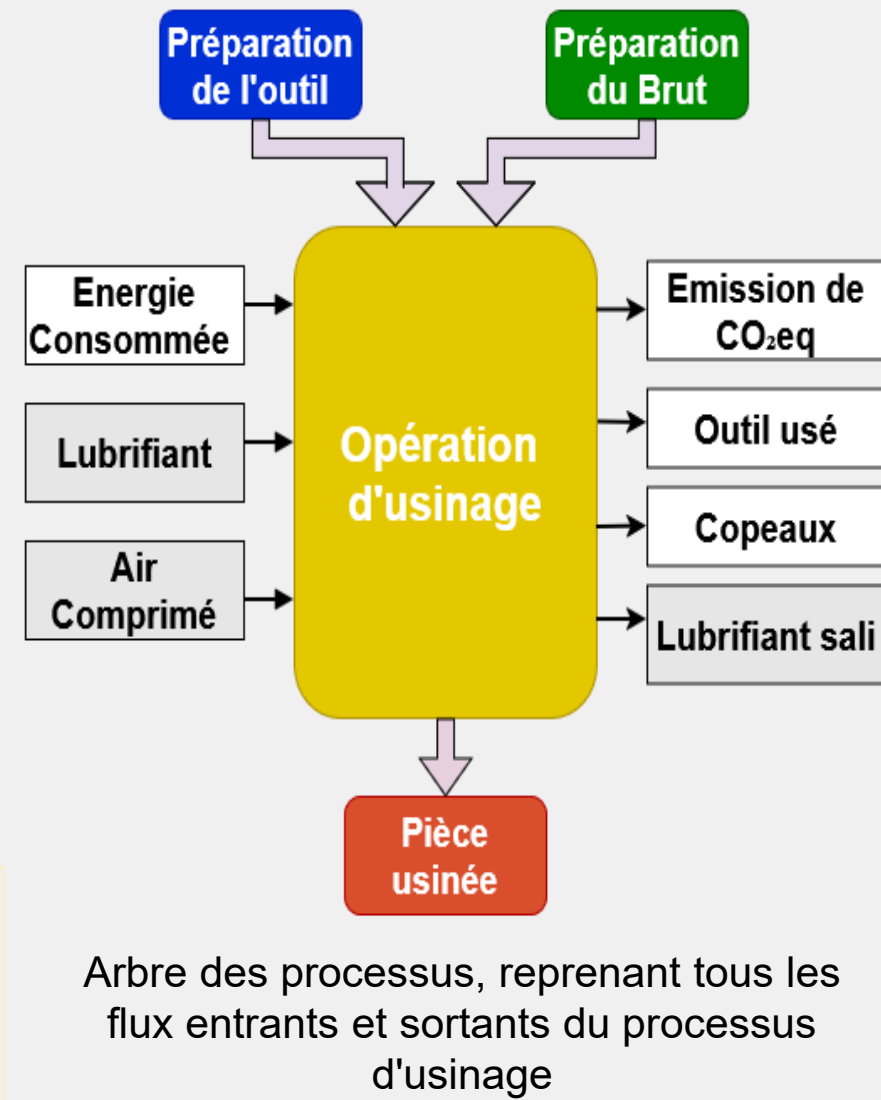
Les émissions de CO₂eq dues au secteur industriel représentent :

- A l'échelle mondiale : **12,73 GTCO₂eq**
- A l'échelle française : la **troisième source d'émission de GES (18%)**

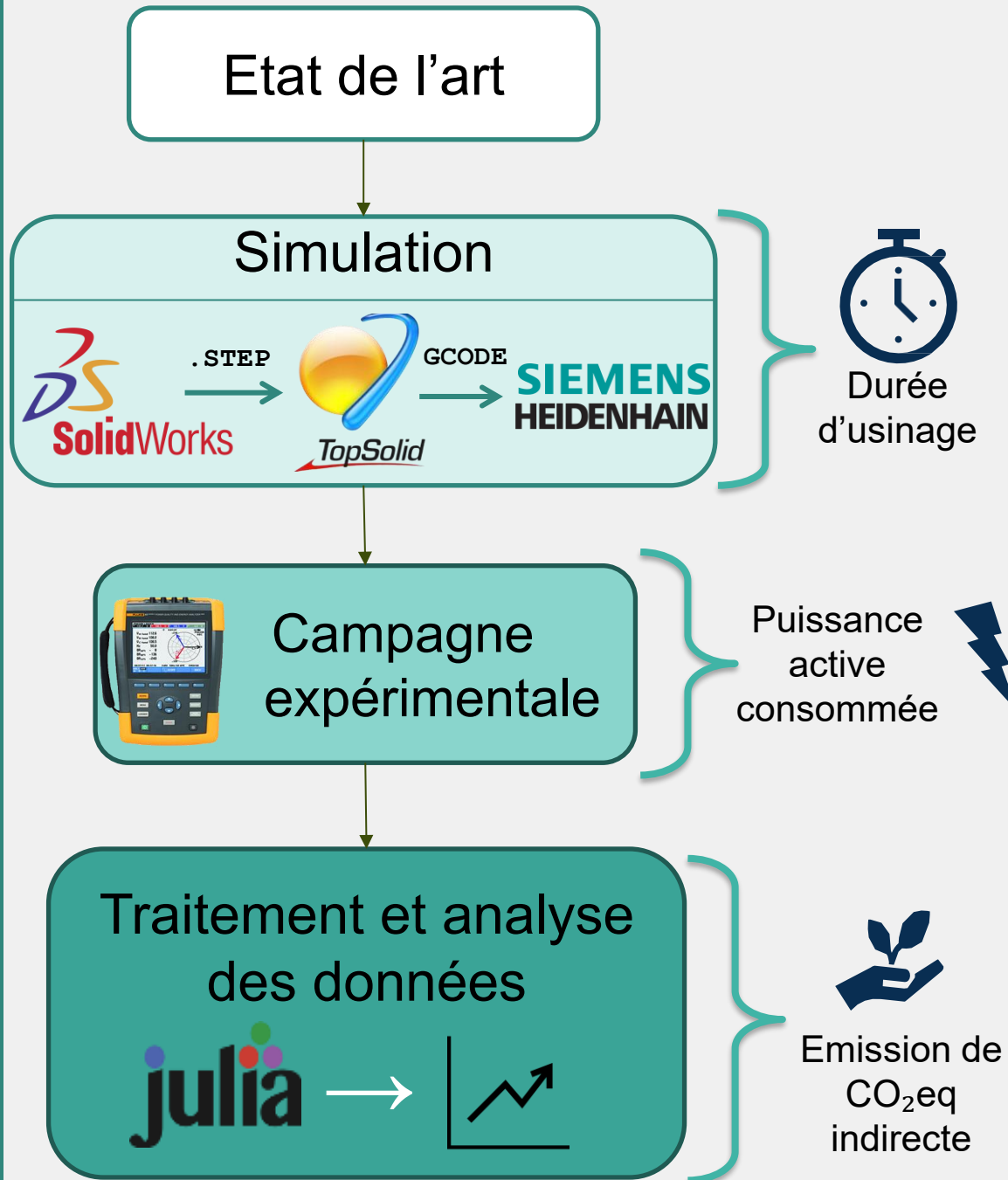


→ L'industrie manufacturière, qui comprend les activités d'usinage, doit évoluer pour atteindre une juste consommation des ressources et des énergies.

Objectif : Identifier les potentiels de réduction des émissions de CO₂eq, liées à la consommation d'énergie, en faisant varier des paramètres et stratégies d'usinage.



Démarche



Matériel utilisé :

Les machines utilisées pour l'usinage sont la **fraiseuse à commande numérique Hermle C30U** et la **KX8**, instrumentées de l'énergimètre **Fluke 434-II** et des **capteurs de courant i430 FLEXI-TF-II**

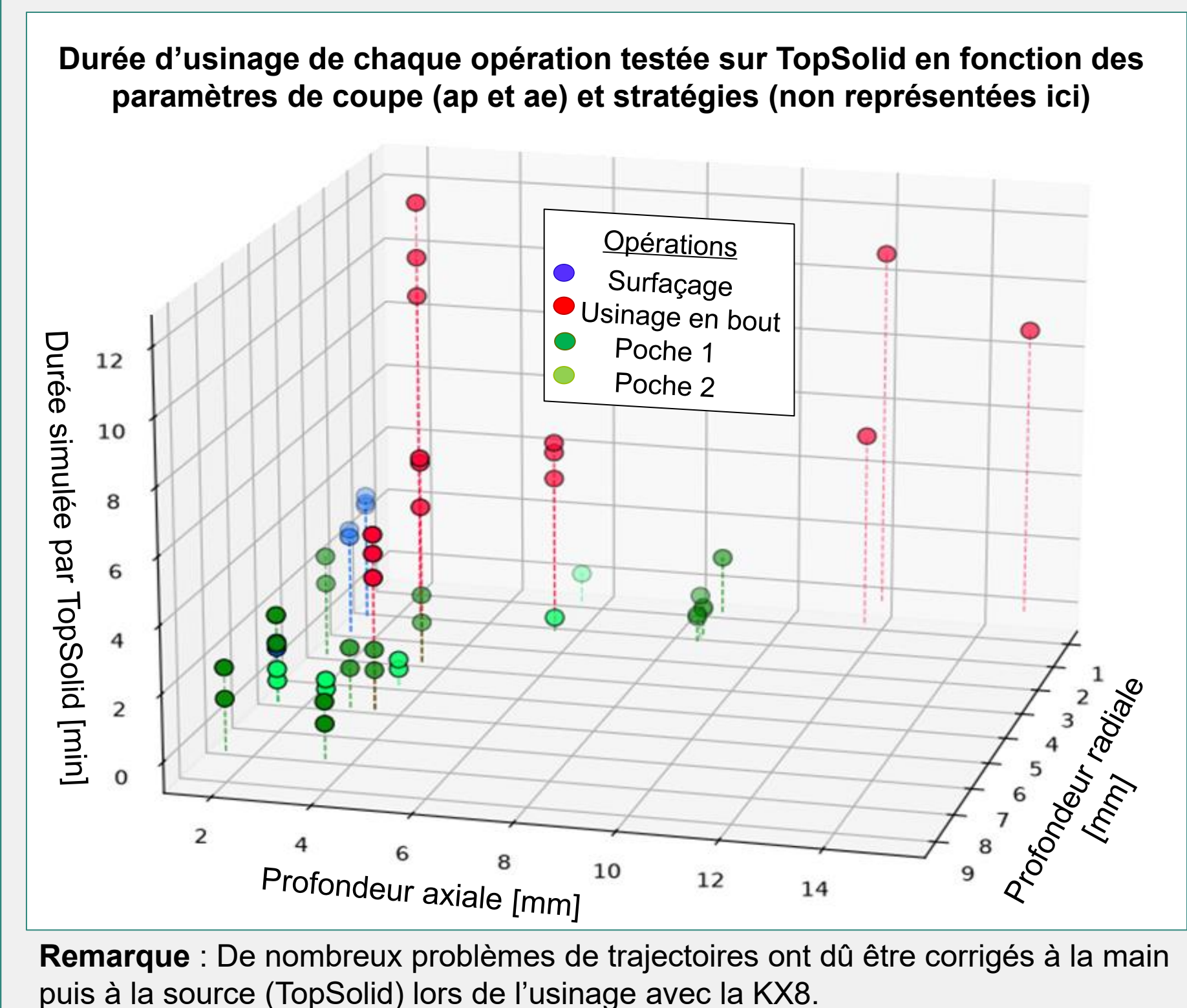
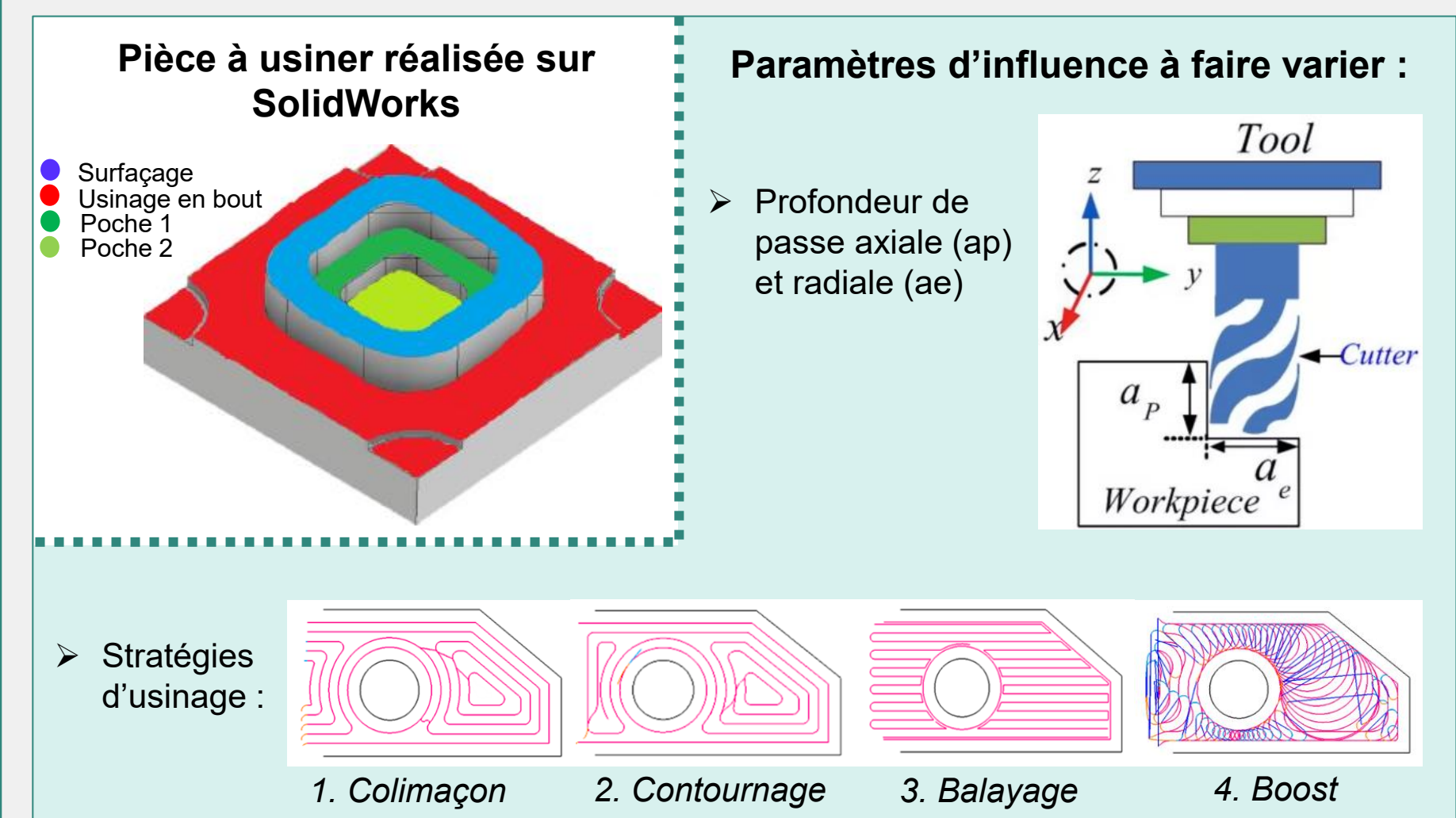


L'usinage est réalisé avec une **fraise 2 tailles monobloc en carbure (Ø10, 4 dents) à revêtement Elco.10** (réf : K2700)

Le **brut est en acier non-allié** de dimension 100*100*40 [mm].

Simulations

La simulation a permis de cibler les paramètres de coupe et les stratégies à garder pour les essais d'usinages réels. Six essais (gamme) ont été réalisés dont quatre ont été analysés : G1, G2, G3, G4.



Conclusions

Perspectives :

Métrologie : Améliorer la méthode de mesure des durées afin de réduire l'incertitude et unifier l'analyse de l'état de surface (outils et pièces usinées).

Impact environnemental : Enrichir l'étude en incluant d'autres étapes, non considérées ici, qui participent au rejet de CO₂eq (lubrifiant, outil coupant, etc.)

Plus largement : Mener de nouveaux essais pour trouver le meilleur compromis entre qualité, productivité et empreinte carbone.

Synthèse : Finalement, cette étude montre qu'il est préférable d'opter pour des stratégies douces lors d'un important taux d'enlèvement de matière (boost) et pour des paramètres d'usinage en-dessous des valeurs limites afin d'assurer une importante baisse des impacts environnementaux dus à l'usinage tout en prolongeant la durée de vie de l'outil.

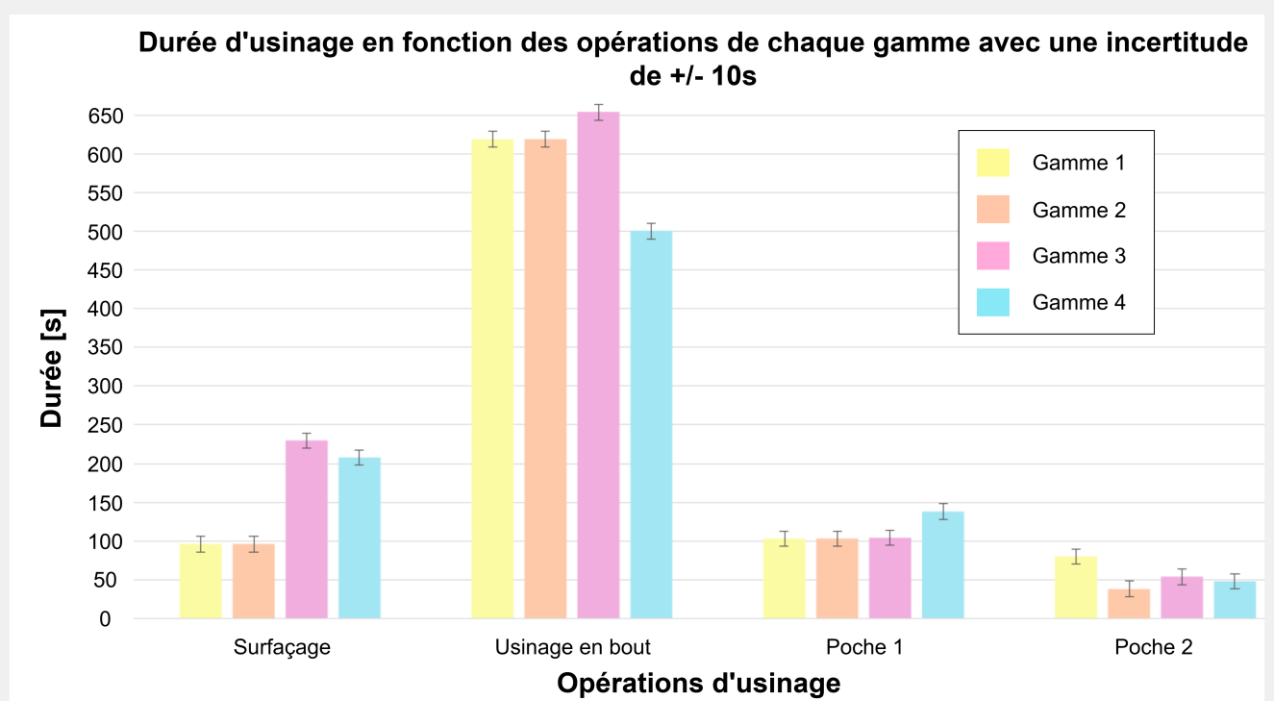
Expériences :

Les expériences ont permis d'étudier la **productivité (1)** de chaque gamme usinée (soit sa durée d'usinage réelle mesurée au chronomètre), de **réaliser une première analyse de l'état de surface des outils (microscope) et des pièces usinées (œil nu)**, de déterminer la **puissance et l'énergie consommées (2)** lors de chaque opération (traitement des données du Fluke) pour finalement calculer les **émissions de CO₂eq indirectes (3)**.

1. Productivité

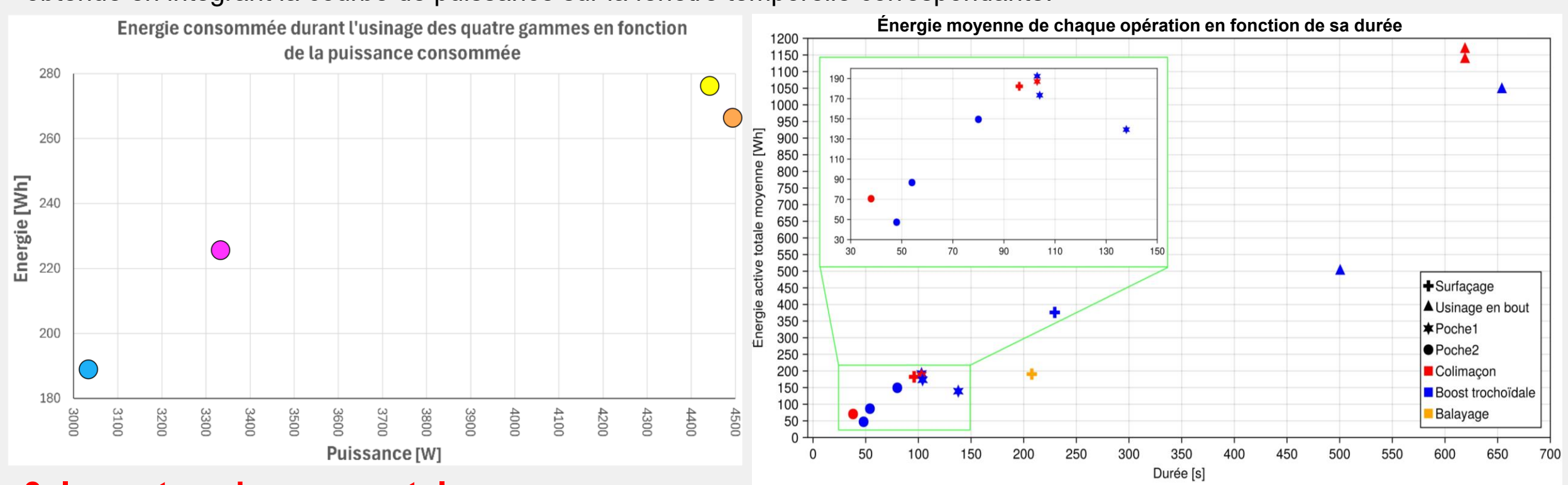
Paramètres (trajectoire / profondeur de passe : ae et ap) choisis pour l'usinage des gammes G1 à G4 (outil ident. G1-G3, neuf G4)

Opération	Paramètres	G1	G2	G3	G4
Surfaçage	Trajectoire	Colimaçon	Colimaçon	Boost	Balayage
	a _e (mm)	7	7	4	3.3
	a _p (mm)	2	2	2	2
Usinage en bout	Trajectoire	Colimaçon	Colimaçon	Boost	Boost
	a _e (mm)	3	3	1	2
	a _p (mm)	3	3	12	12
Poche 1	Trajectoire	Boost	Colimaçon	Boost	Boost
	a _e (mm)	2	7	2	2
	a _p (mm)	9	2	9	9
Poche 2	Trajectoire	Boost	Colimaçon	Boost	Boost
	a _e (mm)	2	7	2	2
	a _p (mm)	6	2	6	6



2. Etude énergétique

Pour chaque gamme, une courbe de puissance consommée a été tracée à partir des données du Fluke, pour pouvoir ensuite calculer la moyenne des valeurs de puissance sur la fenêtre temporelle correspondant à l'opération. L'énergie électrique a été obtenue en intégrant la courbe de puissance sur la fenêtre temporelle correspondante.



3. Impact environnemental

Emissions équivalente en CO₂ (gCO₂eq) :

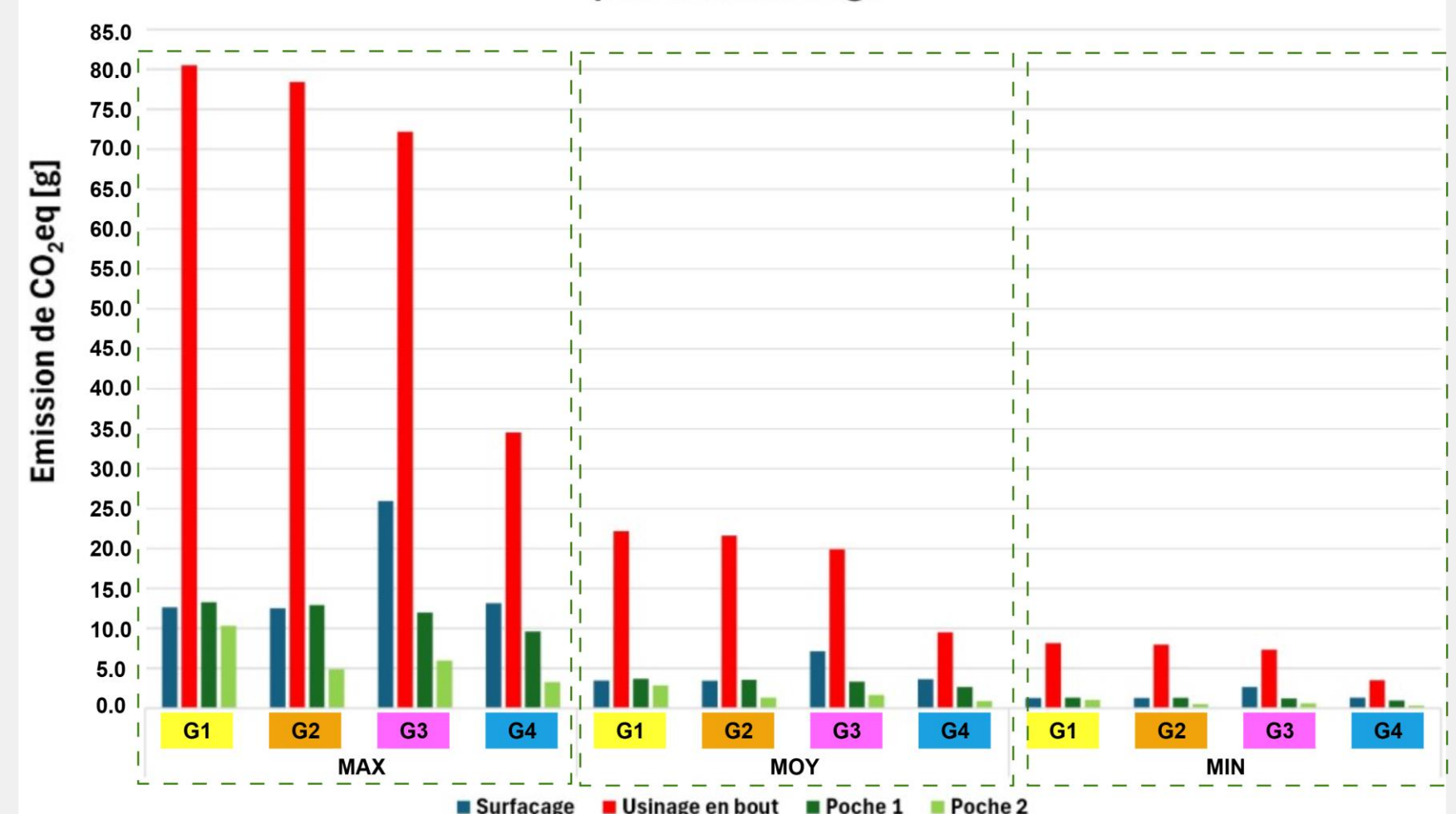
$$\text{CO}_2\text{eq} = E \times \text{Fe}$$

Fe [gCO₂eq/kWh] = facteur d'émission du mix énergétique français annuel moyen (source : RTE)

Ici les facteurs d'émission choisis sont ceux de l'année 2024 :

- **MAX** : 69
- **MOY** : 19
- **MIN** : 7

Emissions de CO₂eq liées à la consommation d'énergie électrique pendant l'usinage

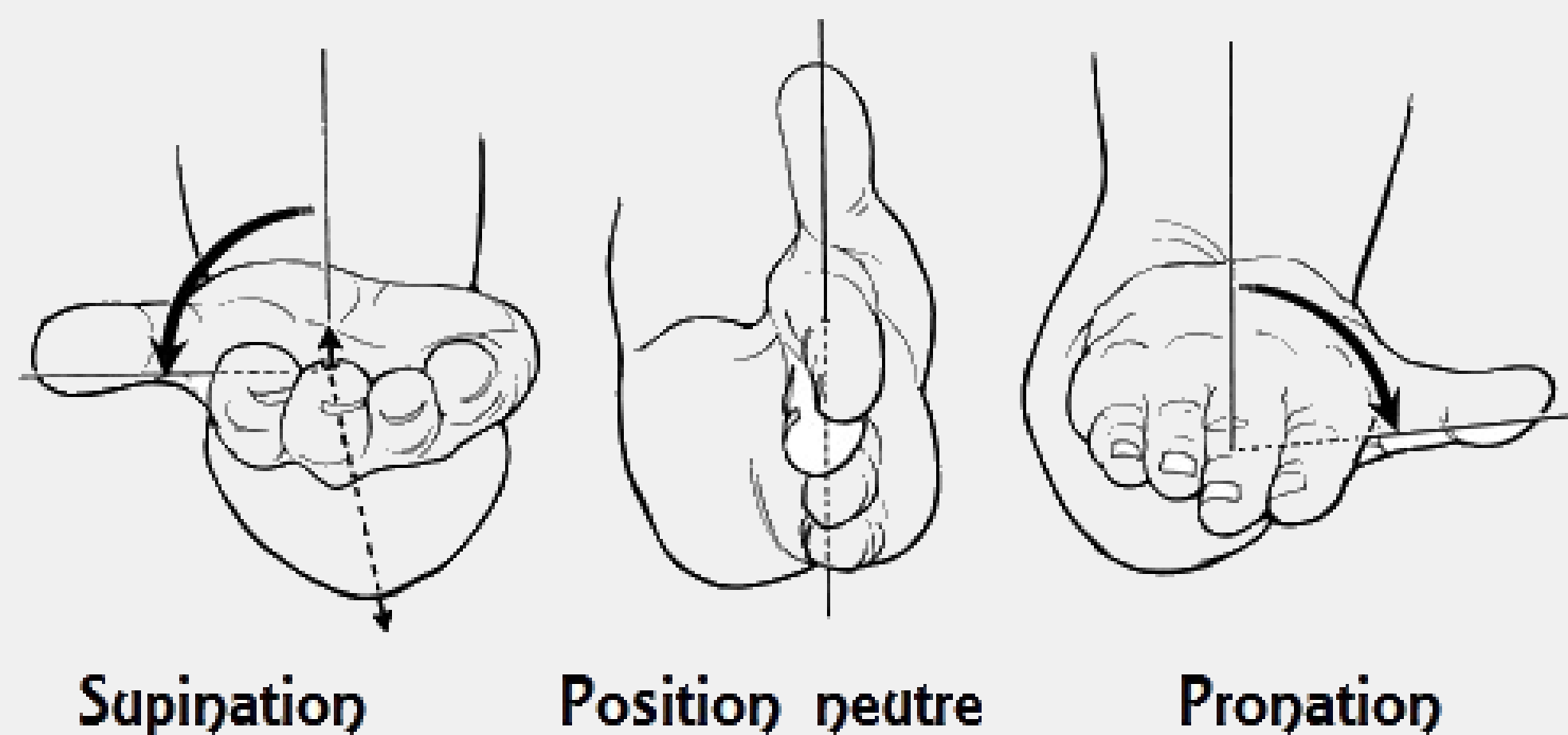


Contexte

Cible : Rééducation du poignet (pronosupination).

Patients : Déficits moteurs post-AVC ou traumatismes.

Solution : Exosquelette d'assistance active.



Problématique Comment **détecter l'intention** de mouvement de façon **confortable** et **fluide** pour assister la pronosupination sans **effort excessif** du patient ?

Etat de l'art

EMG

Capteur de Force

IMU

IA



Solution retenue



EMG

Intrusif



Capteur de Force

Difficulté de **robustesse algorithmique**

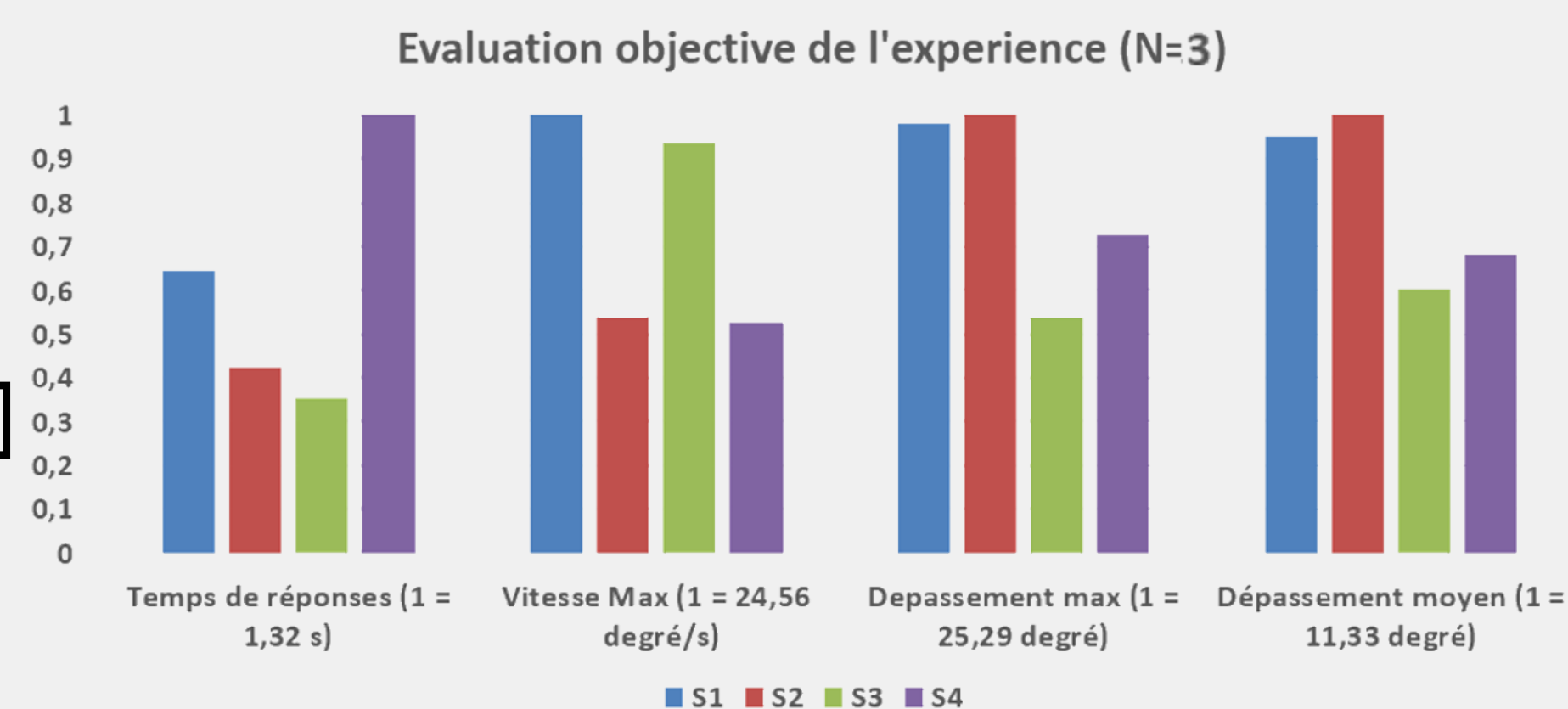
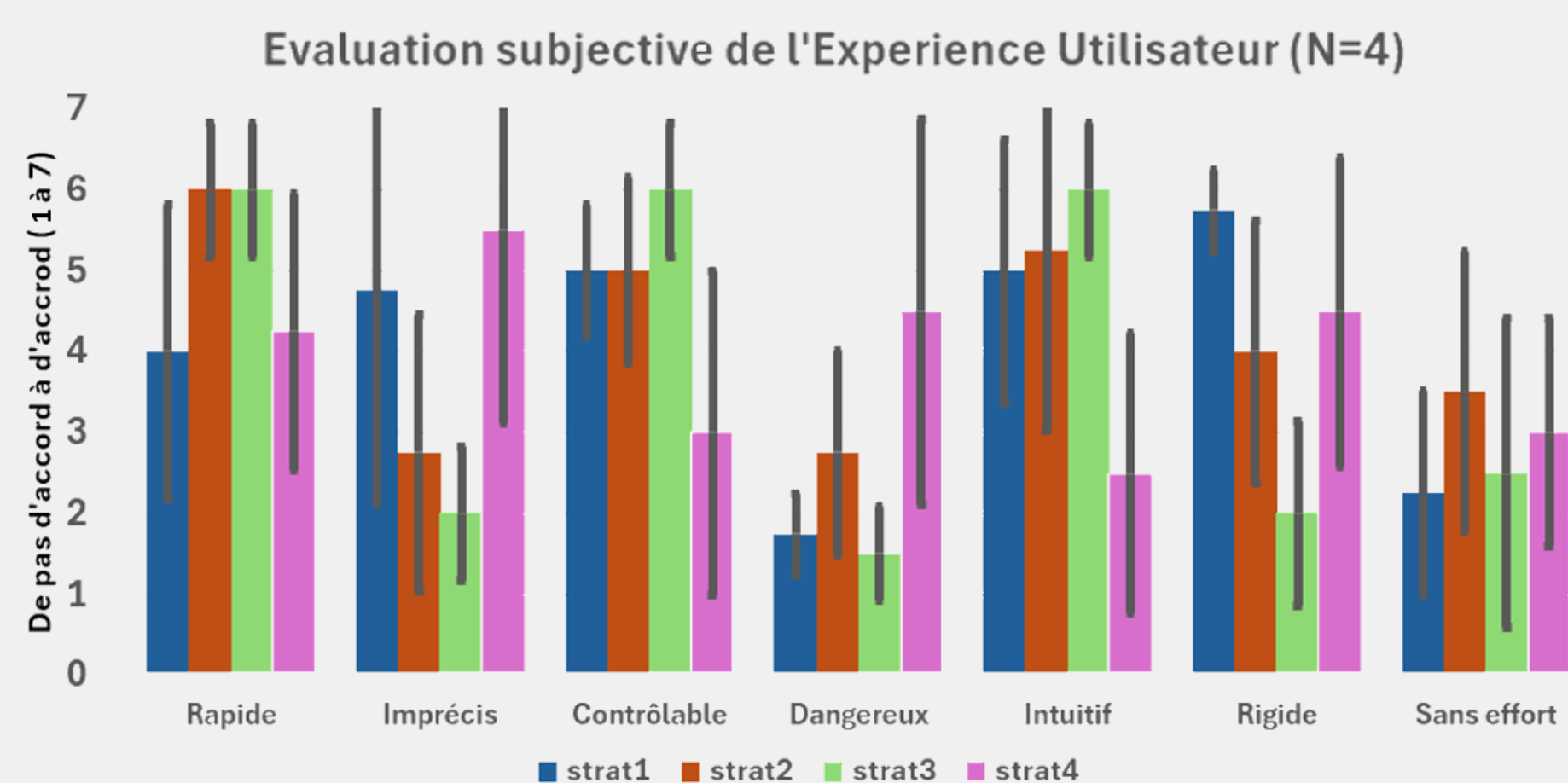
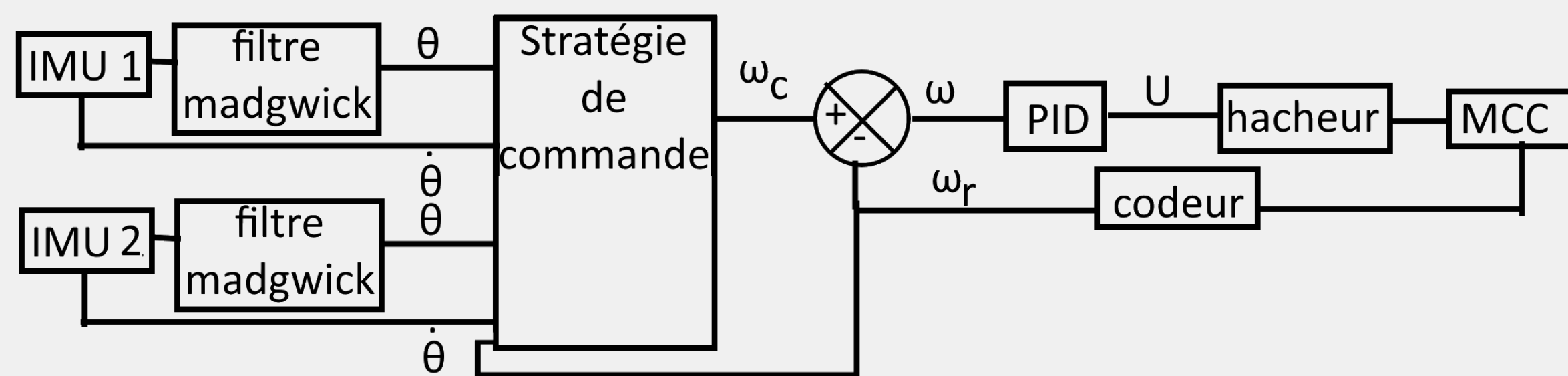


IMU

Ergonomique, filtrage standard

Résultats, analyse

Numéro	Principe	Avantage	Inconvénient
Stratégie 1	Asservissement en position issu de l'IMU	Trajectoire fluide et naturelle	Manque de réactivité
Stratégie 2	Actionnement direct fondé sur la vitesse angulaire	Très réactif	Instabilité et dérive
Stratégie 3	Combinaison de S1 et S2	Bon compromis réactivité/stabilité	Nécessite un réglage fin des gains d'asservissement
Stratégie 4	Seuil d'accélération (à-coup du poignet) pour initier le mouvement	Pas de grand déplacement / force requis	Prise en main contrastée



Bilan

- Stratégie 3 semble être le **meilleur compromis**
- Stratégie 4 **résultats très variables** selon les utilisateurs

Perspectives

- **Amélioration** et **création** de stratégie de commande
- Validation par **expérience** à plus **grande échelle**
- **Tests** de solutions avec **capteurs de force/EMG**
- **Adaptation** des gains au **profil de l'utilisateur**

Introduction

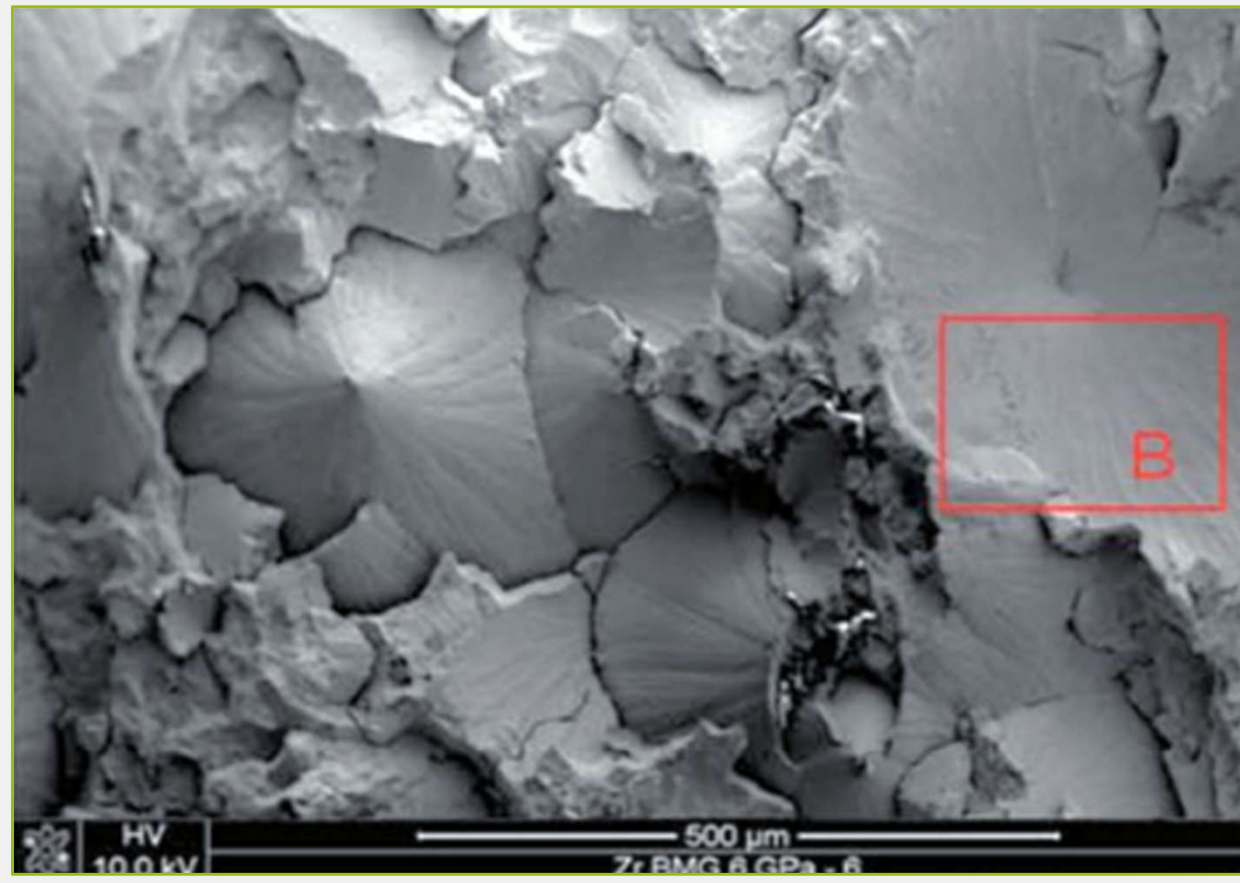
CADRE

ANR (PRC) : VMC avec l'IPR (Rennes) et les laboratoires LULI (Palaiseau), SIMAP (Grenoble) et l'Institut P' (Poitiers).

CONTEXTE

Utilisation des verres métalliques (métaux amorphes) comme blindage spatial (étude des chocs jusqu'à rupture). Les avantages des verres métalliques sont :

- Hautes limites à la rupture
- Haute ténacité
- Haute limite élastique



PROBLEMATIQUES

- Performances mal connues
- **Aucun modèle de comportement complet pour les vitesses de sollicitation visées (choc hyper vélocité : > Mach 20)**
- Difficultés de mise en œuvre d'essais réels et d'observations expérimentales : déformations plastiques in-situ, propagation d'ondes de chocs

OBECTIFS

Travailler sur un **modèle mésoscopique** permettant de simuler le comportement mécanique de ces verres :

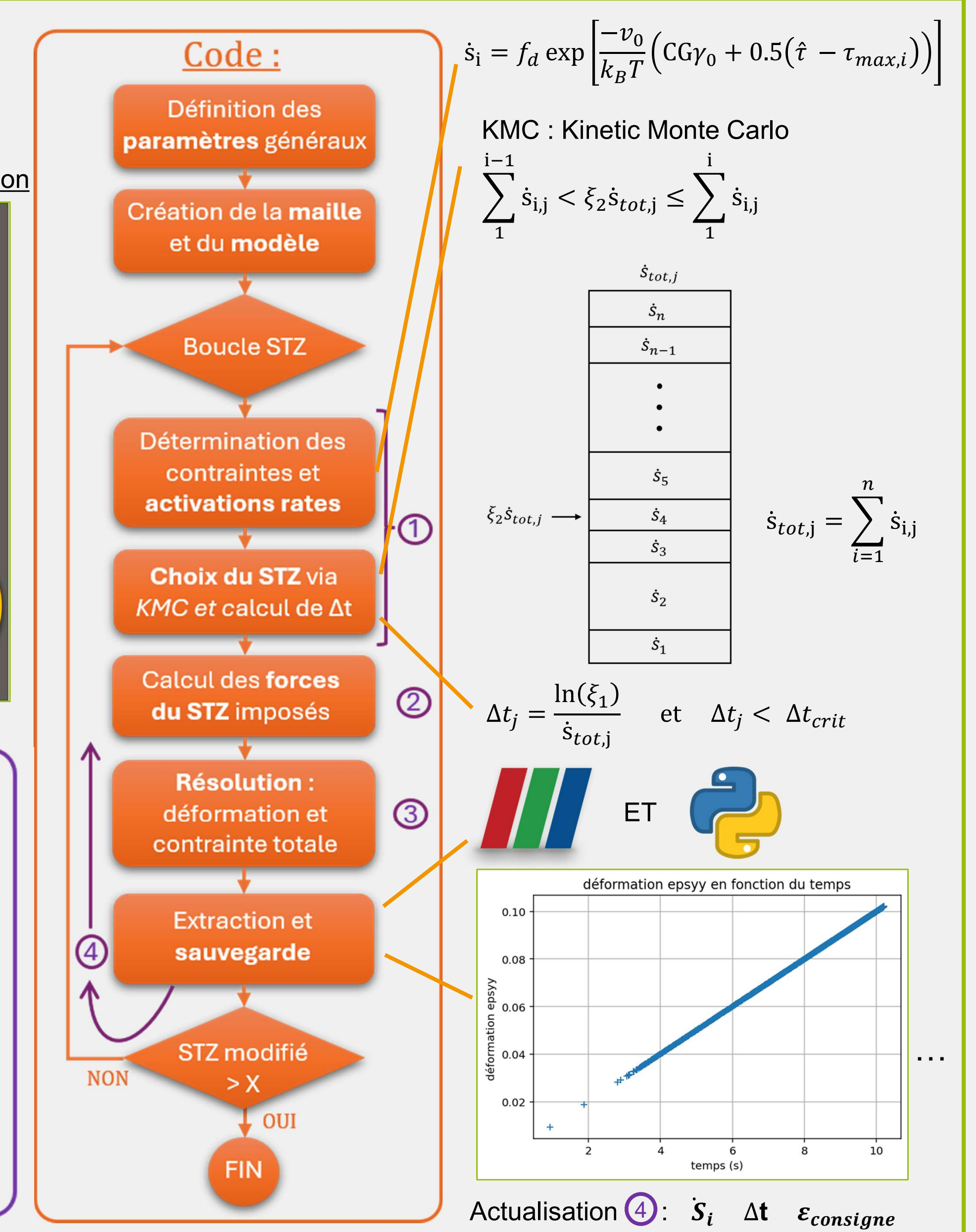
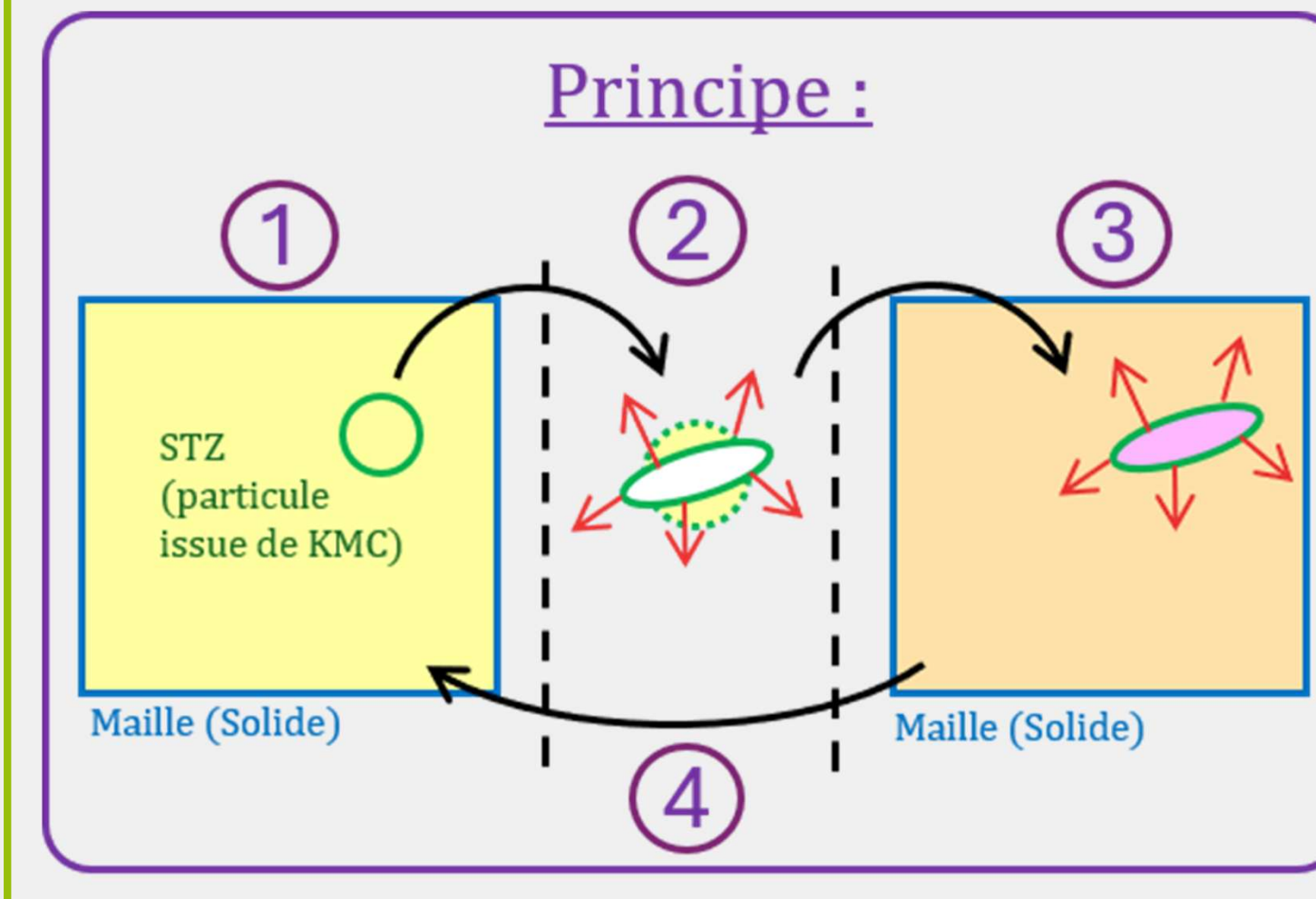
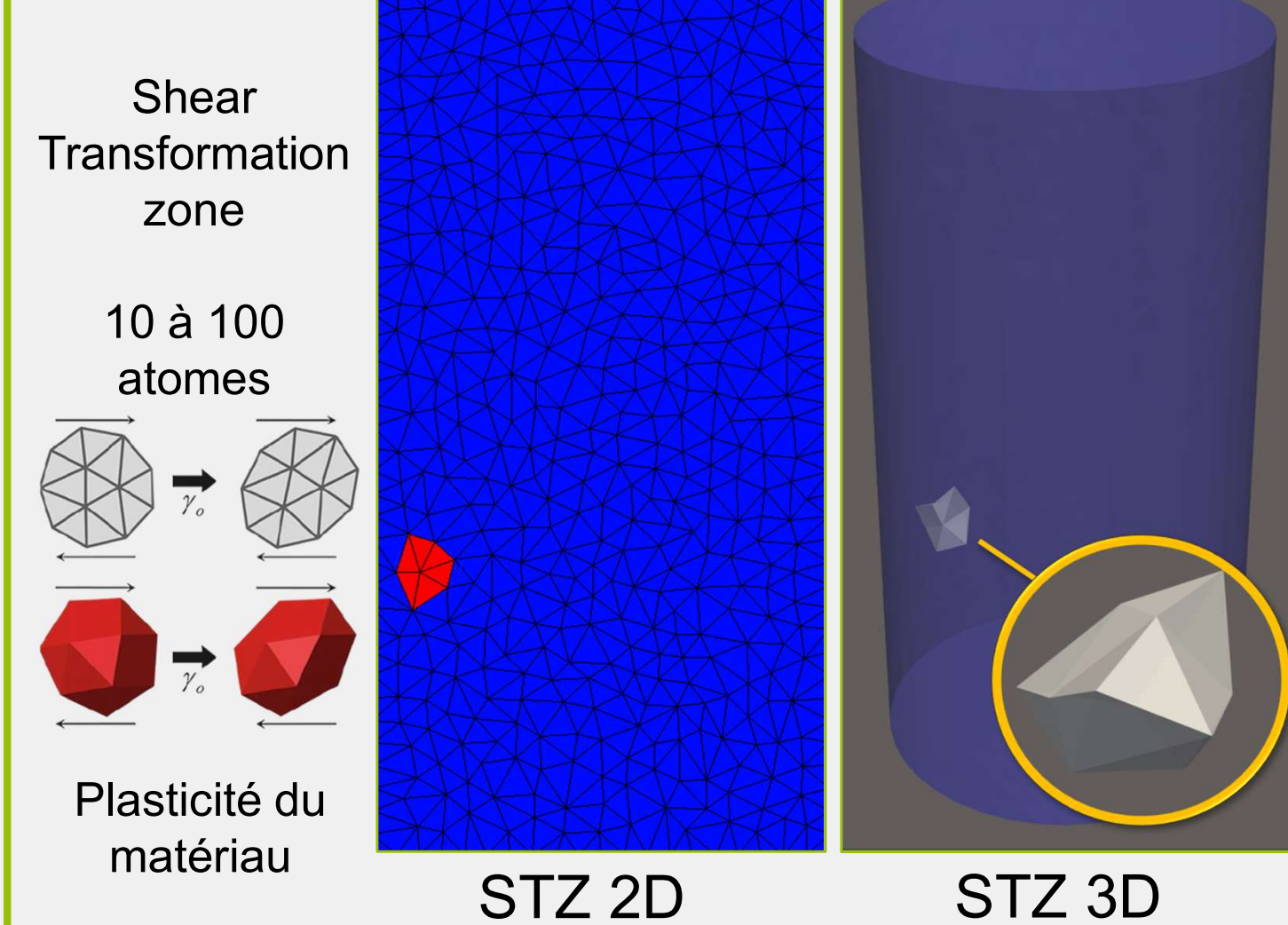
- **Développer un modèle 3D** en chargement quasi-statique (modèle 2D en partie déjà existant et données existantes dans la littérature pour vérifications)
- Adapter ce modèle 3D à des **chargements dynamiques** (choc physique à faible vitesse) : défricher les difficultés associées à ce type de simulation

Ce stage a été réalisé en collaboration avec Efflam COHELEACH

Méthode

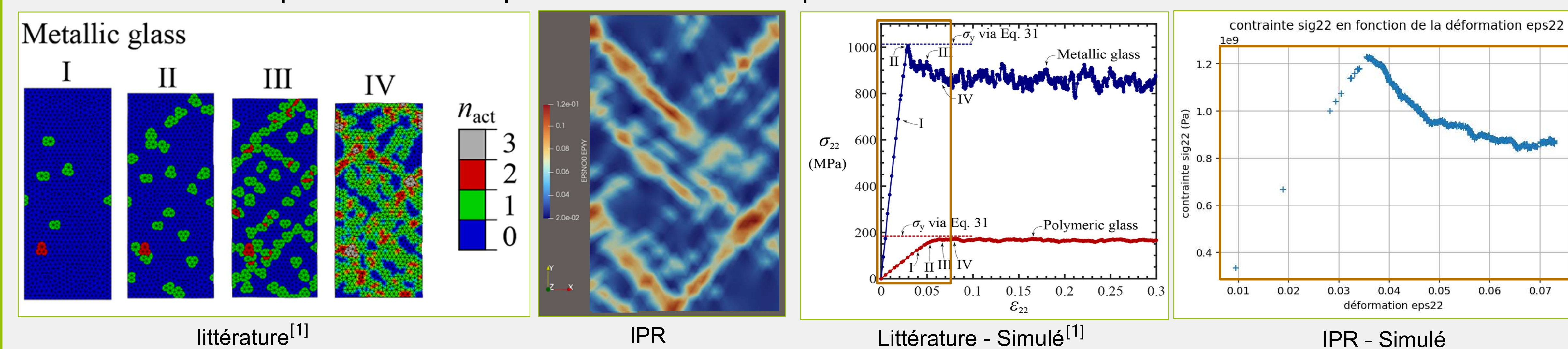
Approche numérique

STZ : réarrangement automatique local qui initie la déformation plastique



Résultats, analyse

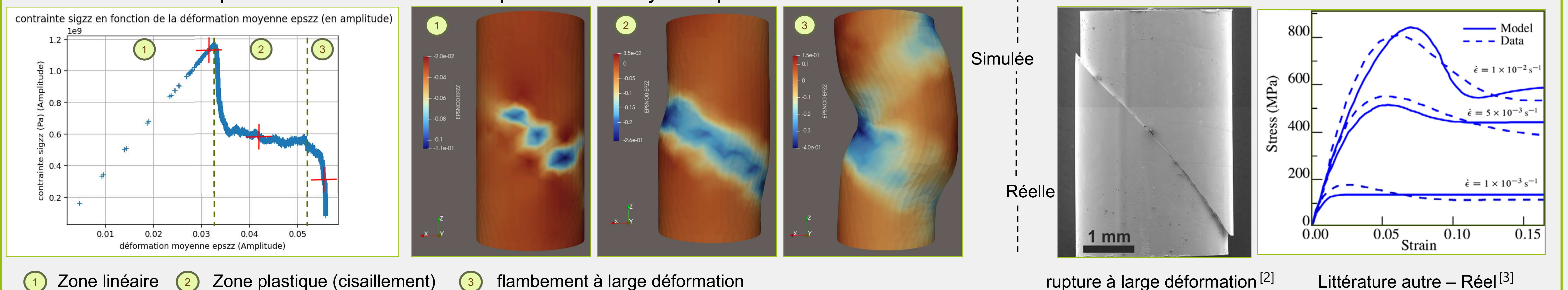
Simulation 2D : Compression dans le plan d'un verre métallique



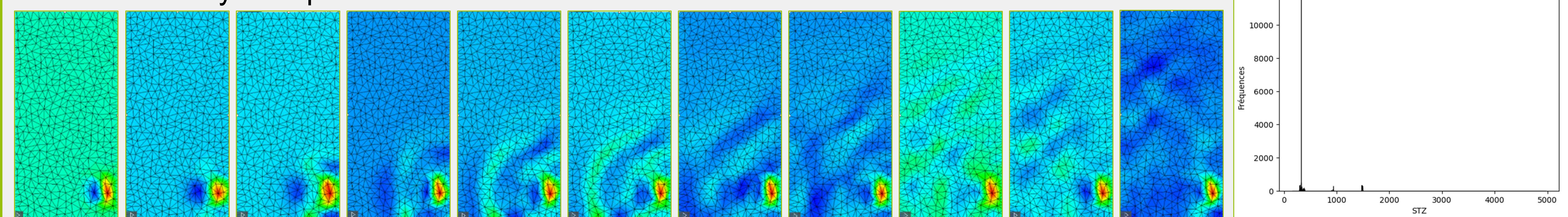
Observations :

- ✓ Pic, asymptote, module d'Young
- ✗ Déphasage et amplitude du pic
- 🧠 Géométrie et vitesse de compression

Simulation 3D : Compression d'un verre métallique de forme cylindrique



Simulation 2D dynamique: Modification d'une STZ



Observations :

- ✓ Propagation des ondes de contraintes/ déformation
- ✗ Calcul lourd et problème de choix des STZ
- 🧠 Concentration des contraintes pour les fréquences de réarrangement élevées

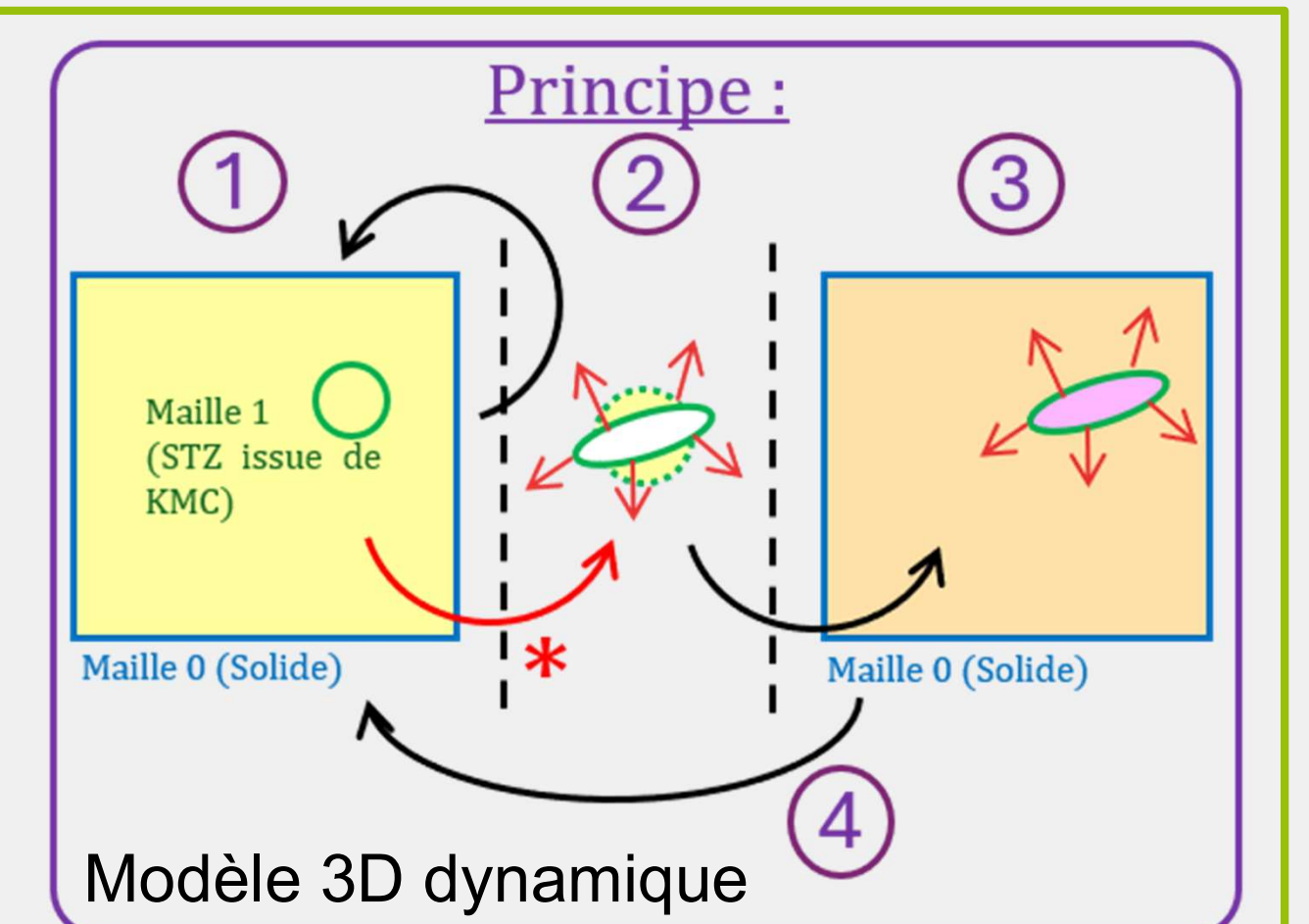
Conclusion

SYNTHÈSE

- Modèle mésoscopique des verres métalliques soumis à des charges
- 2D et 3D asservie en déformation : Code fonctionnel qui produit qualitativement les résultats expérimentaux (bandes de cisaillement, pics de contrainte)
- Code adaptable : Géométrie, matériau, CL, température, charge (vitesse, initialisation)

PERSPECTIVES

- Vérification du code avec l'expérimentale (quantitatif)
- Prise en compte de la rupture des STZ si contrainte locale trop importante
- Prise en compte du changement de la température des STZ : aspect énergétique nécessaire
- Dynamique 3D : une méthodologie de simulation mise en place, mais de nombreux verrous scientifiques à lever (objectif de thèse prochaine)



[1] Frederik Van Loock, Laurence Brassart, Thomas Pardoen - International Journal of Plasticity - volume 145 - page 10 - 2021

[2] Robert Maaß, Co. Jörg F. Löffler - Band Dynamics in Metallic Glasses - volume 25 - page 2356 - 2015

[3] Christopher A. Schuh, Todd C. Hufnagel, Upadrasta Ramamurty - Mechanical behavior of amorphous alloys - volume 55 - page 4074 - 2007

Contexte

L'objectif est de développer une gamme de fabrication innovante pour une pièce aujourd'hui usinée dans la masse en couplant deux technologies complémentaires : la fabrication additive par le procédé WAAM (Wire Arc Additive Manufacturing) qui appartient à la famille des procédés Direct Energy Deposition (DED), et avec de l'usinage.

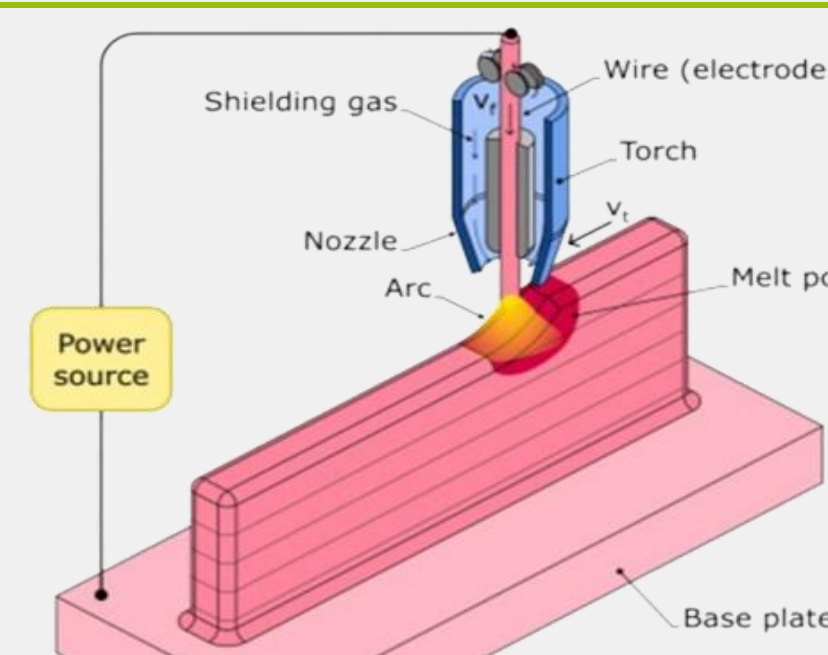


Fig 1 : WAAM

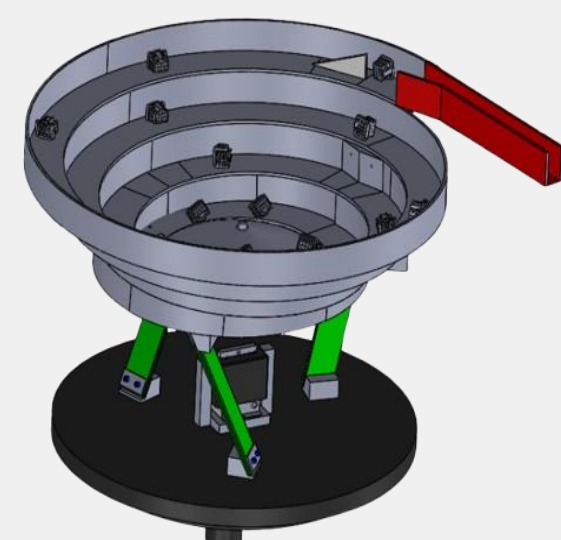


Fig 2 : système bol vibrant

2 approches pour la fabrication

Fabrication de pièce massive

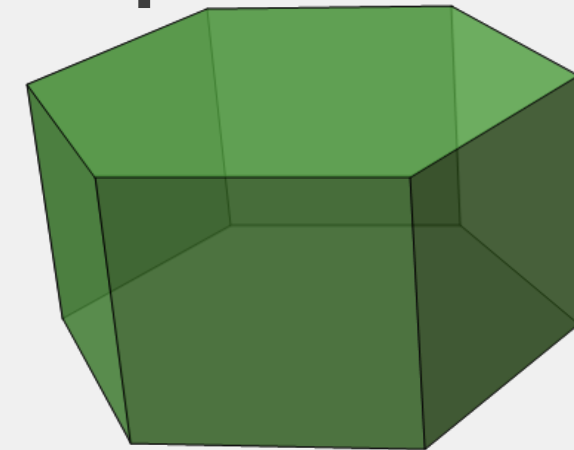


Fig 3 : pièce massive test



Fig 4 : illustration déformation du substrat

Problématique : Comment limiter la déformation du substrat en WAAM ?

Fabrication de la pièce reconçue

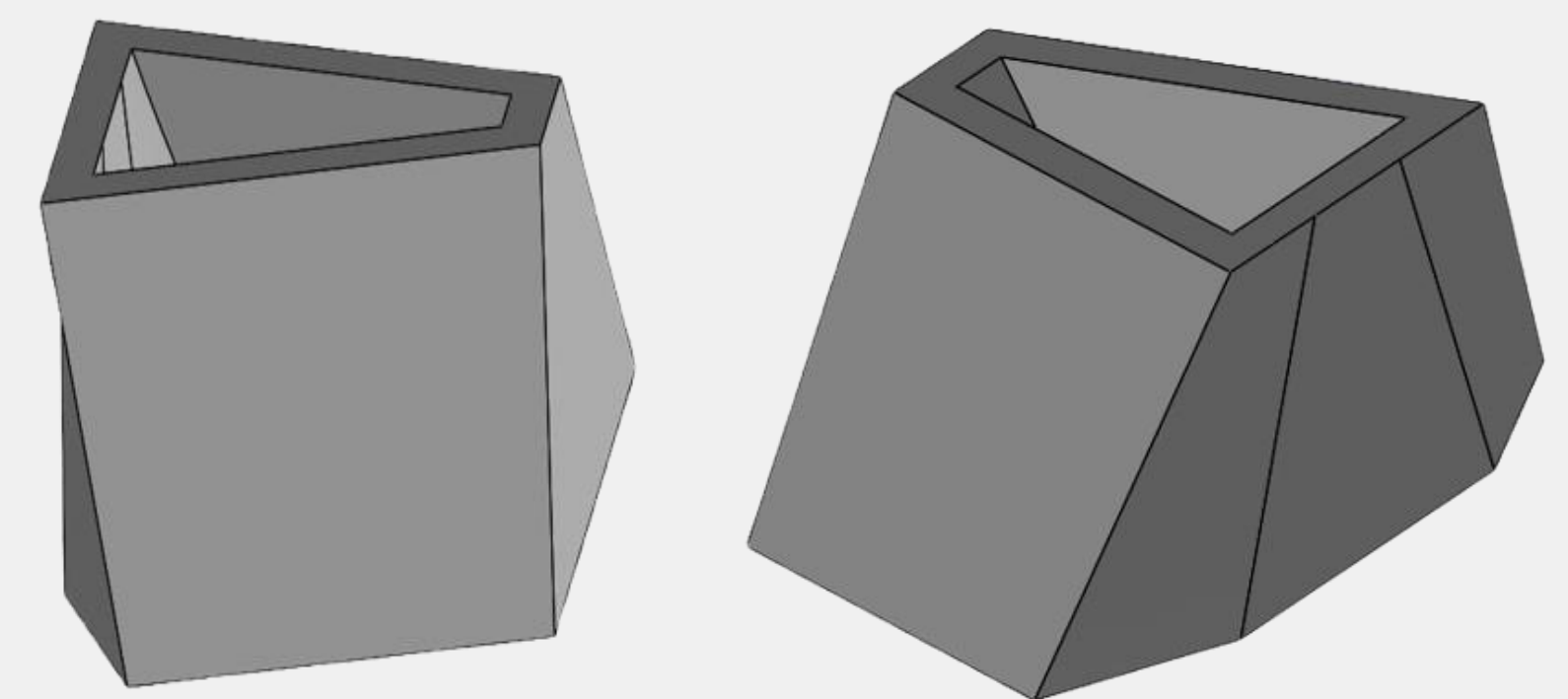


Fig 5 : élément de la reconception

Problématique : Comment fabriquer des murs épais en WAAM ?

Fabrication de la pièce massive

Contraintes associées :

Simulation Ansys réalisé par Haris Ashley and Zafir Awan

On obtient un effort de poussée verticale de 1.4×10^6 N

Conception bridage :

Environnement :

- Effort de poussée : 1.4×10^6 N
- Accessibilité soudage laser

Evaluation concept :

- Déformation < 1mm
- Contraintes max < 335MPa

Handle :

- Nombre de nervure
- Épaisseur des différentes tôles
- Boulons (nombre, classe, dimensions)
- Géométrie

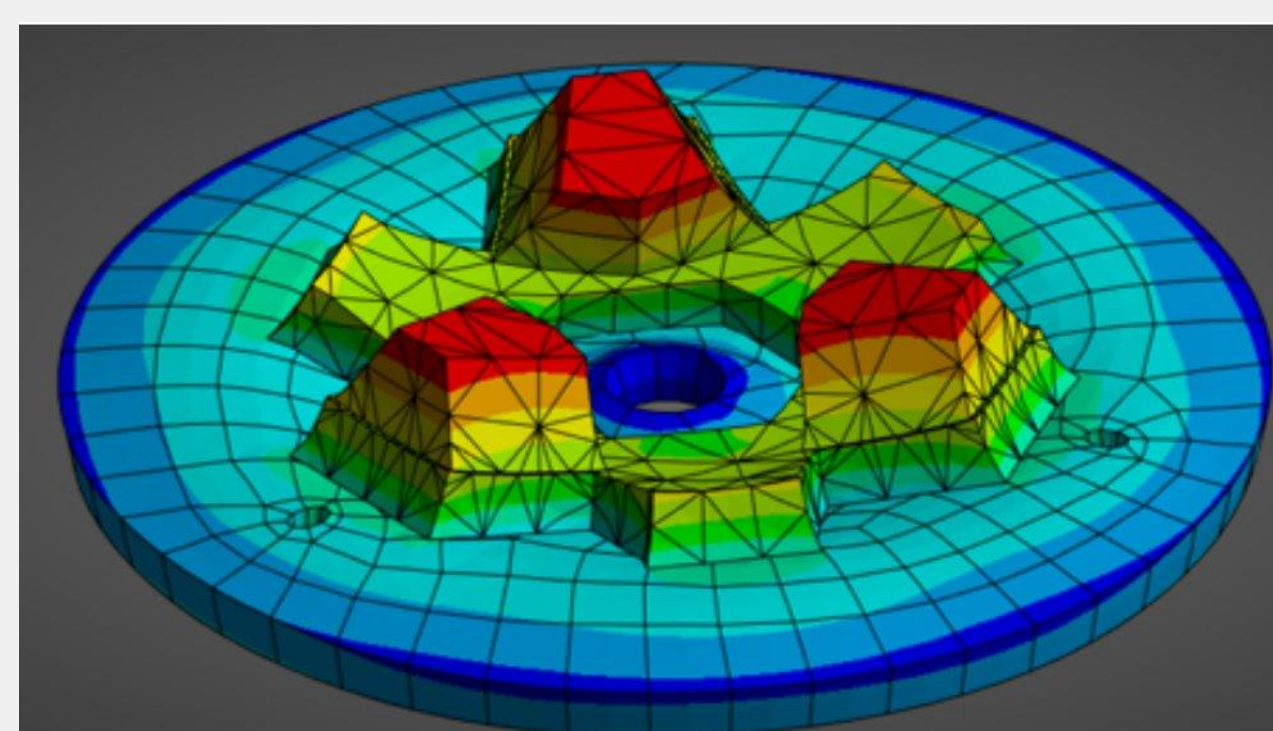


Fig 6 : simulation Ansys

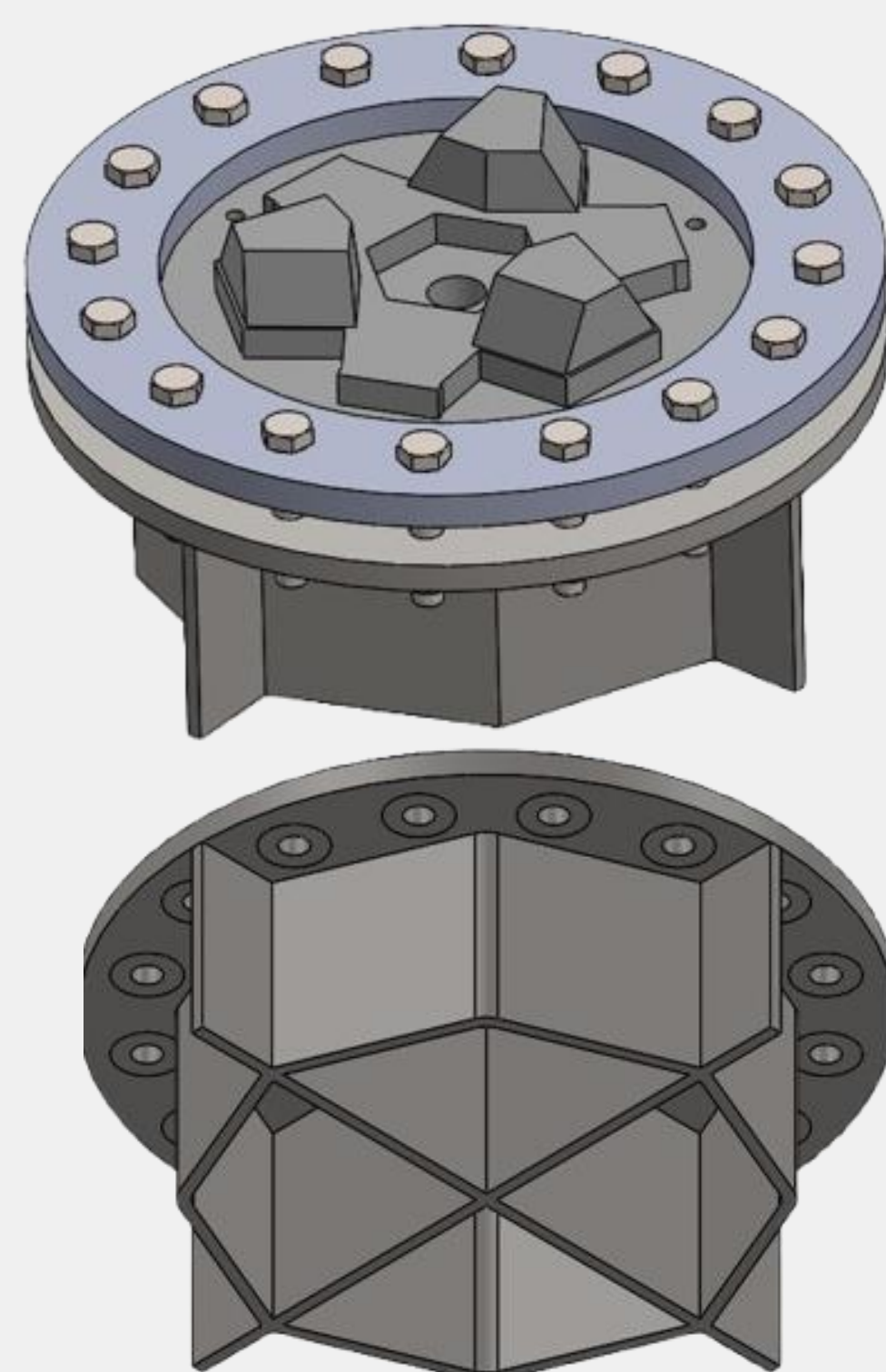


Fig 7 : modèle Solidworks

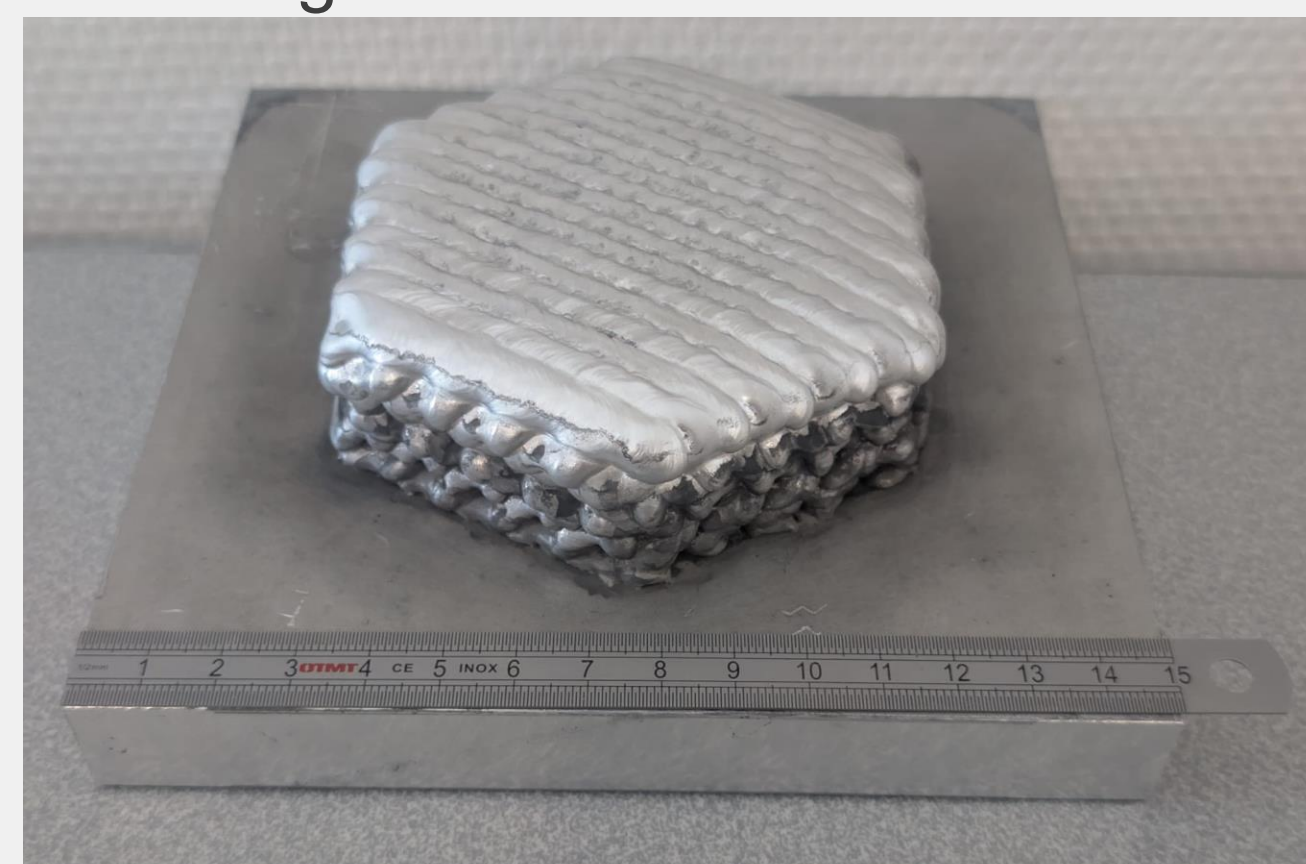


Fig 8 : essai fabrication massive

Première pièce massive :

Hexagone de 10mm de diamètre, pour 30mm de haut.

Nous avons ainsi pu réaliser une étude sur la qualité de la matière déposée, en réalisant un polissage suivi d'une attaque chimique sur des tranche de notre pièce.

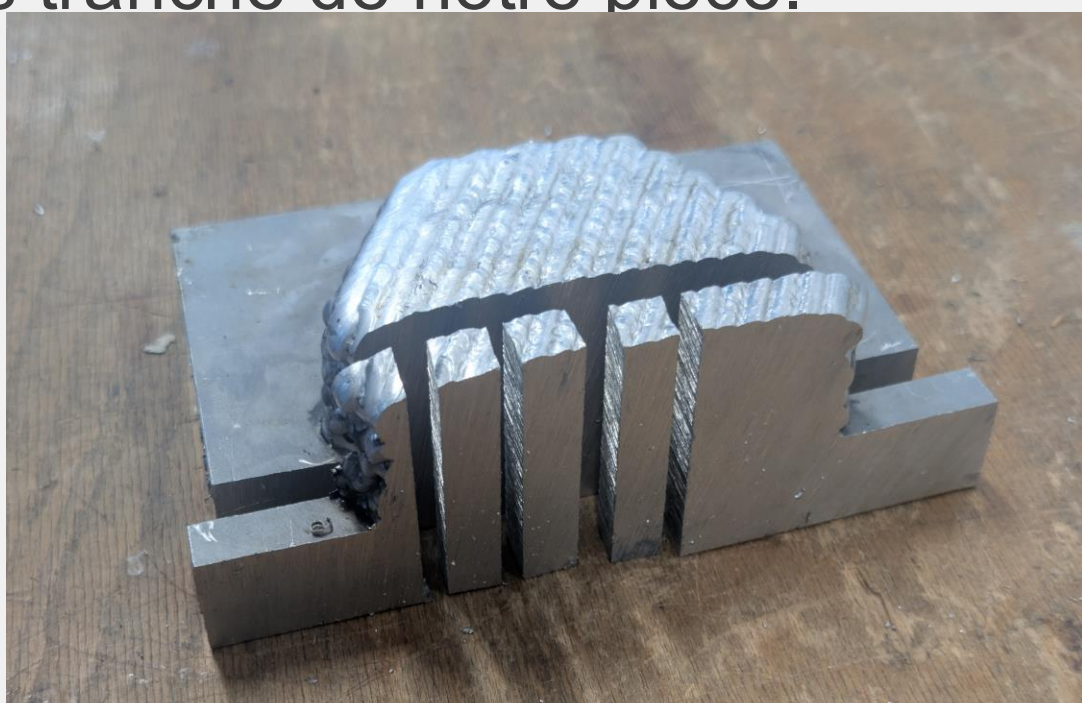


Fig 9 : préparation échantillon étude matériaux

Reconception de la pièce

Fonctionnement du weaving :

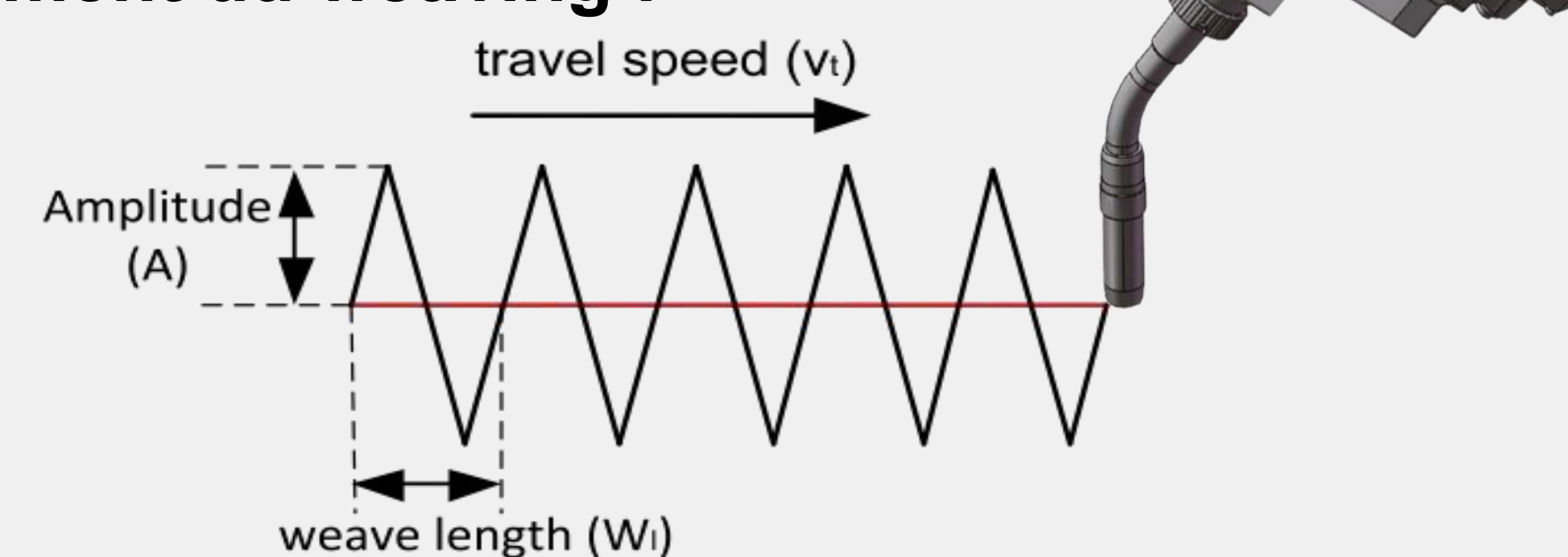
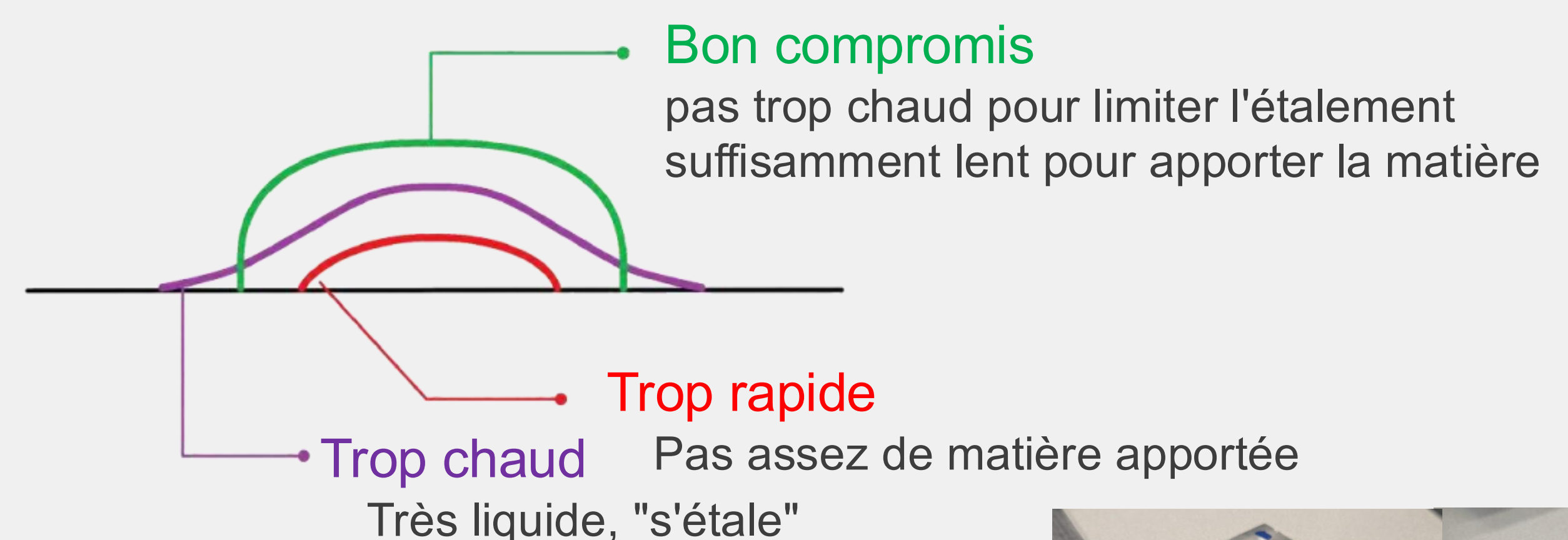


Fig 9 : Ma, G., Zhao, G., Li, Z. et al. Optimization strategies for robotic additive and subtractive manufacturing of large and high thin-walled aluminum structures. Int J Adv Manuf Technol 101, 1275–1292 (2019).

Weaving mono-cordon :



Premier essai mur weaving :

- Campagne d'essais : ~15 itérations
- Paramètres optimisés :
 - Épaisseur des couches
 - Synergie
 - Travel speed
 - Fréquence de balayage
- Validation géométrique : Application des paramètres optimaux sur des géométries complexes qu'on trouve sur notre pièce reconçue (murs inclinés, angles droits et arc de cercles).



Fig 10 : essais weaving

Première pièce weaving :

- Pale d'hydro-génératrice : L'utilisation du weaving a permis d'obtenir une géométrie plus proche des cotes finales (Near Net Shape).
- Pièce reconçue : Essais menés sur une section complexe. La réalisation d'angles droits inclinés reste un défi technique nécessitant de futurs développements.



Fig 11 : pièces weaving

Conclusion et perspectives

Weaving :

- Validation de recettes de fabrication (Al5356)
 - Amplitude 3mm et 6mm
 - Mur incliné à 63°, 51°, 45°
 - Angle droit pour a = 6mm
 - Arc de cercle pour a = 6mm Rayon = 25, 62, 100mm
- Preuve de concept pour une géométrie complexe (pale d'hydrolienne)

Pièce massive :

- Validation conception du bridage
- Validation stratégie de déposition

Perspective :

- Weaving :
 - Validation de la fabrication d'un élément de la reconception

Pièce massive :

- Fabrication du bridage
- Fabrication de la pièce complète

Contexte

- Les robots parallèles à câbles (CDPR) sont composés d'une partie mobile attachée via des câbles.
- Ils sont sur-actionnés, ils ont donc plus d'actionneurs (câbles) que de degrés de liberté (DDL).

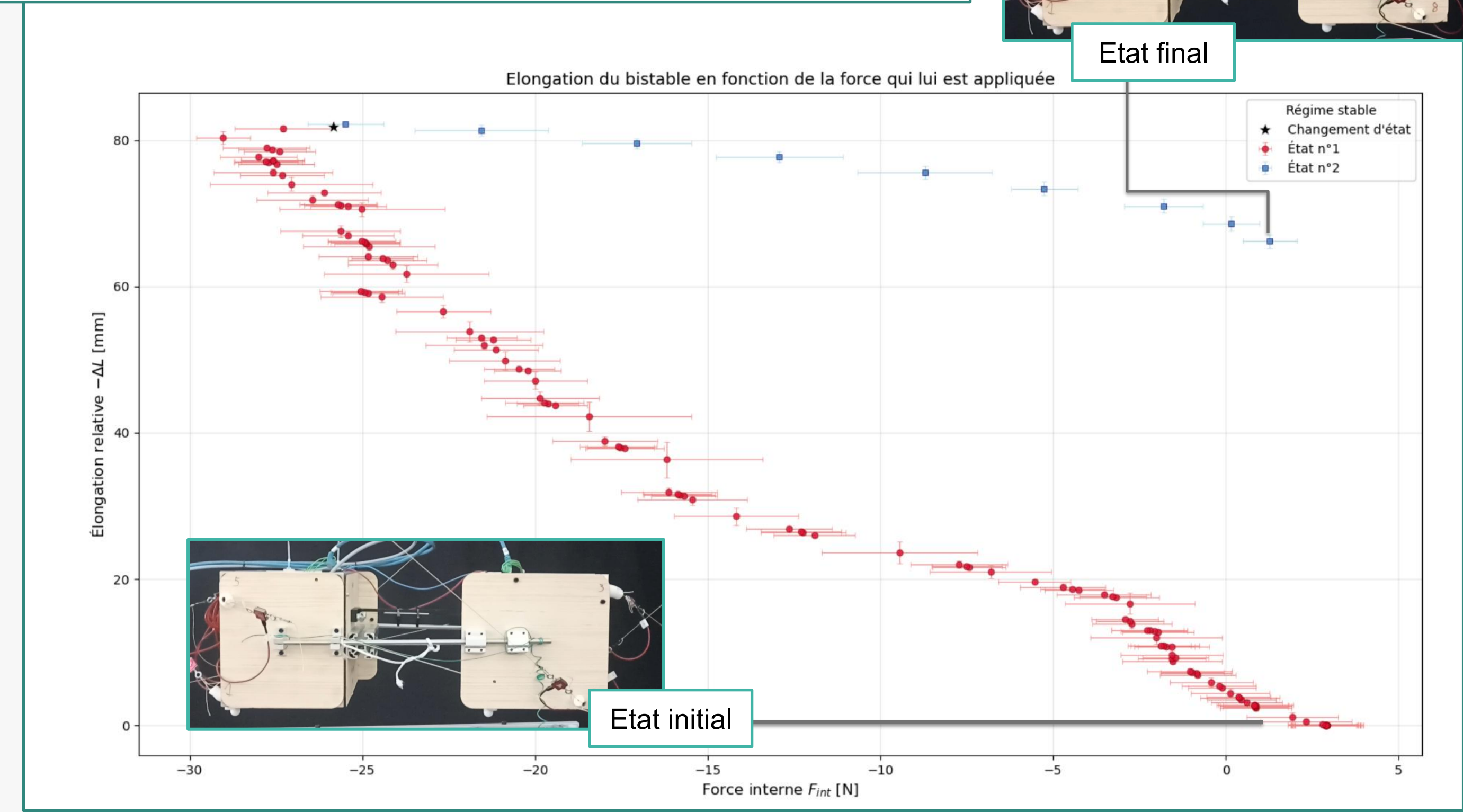
Objectifs

- Utiliser le sur-actionnement des CDPR afin d'activer un mécanisme bistable

Permet de rajouter un DDL sans rajouter d'actionneur
- Piloter les actionneurs d'un CDPR de manière à actionner un mécanisme bistable
- Etudier les effets de l'ajout d'un tel mécanisme sur les efforts applicables

Résultats

Changement d'état d'un bistable commercial



Changement d'état du bistable à lame

Etat initial – poutre en bas

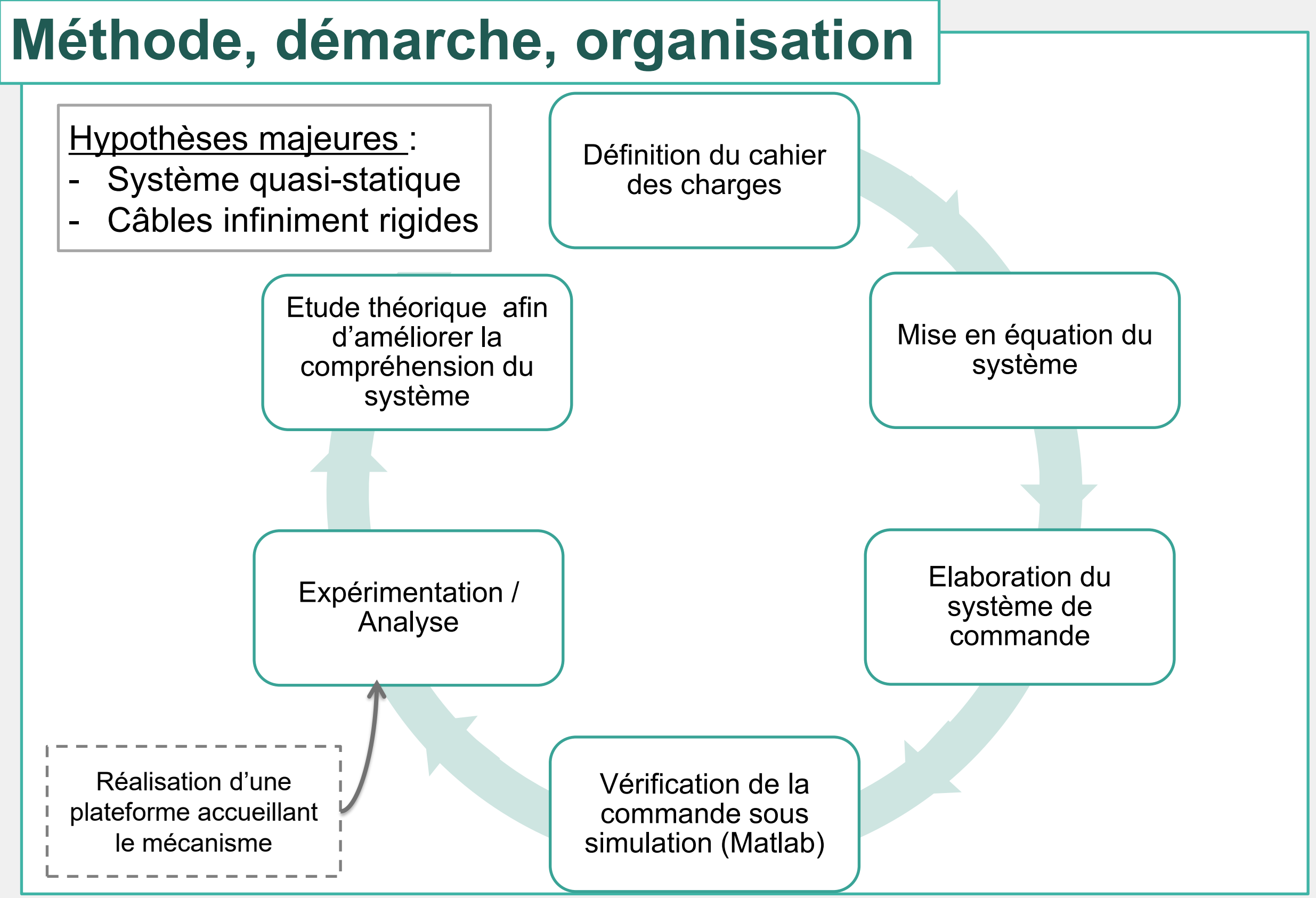
40 N

force exercée

Etat final – poutre en haut

Conclusion

- Pilotage effectif de l'état de deux bistables (commercial et prototype) via le seul suractionnement du CDPR, sans actionneur dédié.
- Formulation de la marge de capacité (cas plan) : une version exacte et approchée, peu coûteuse en calcul - sa simplicité permet une étude analytique du système, plus lisible que la résolution



Mise en contexte:

Rééducation d'un patient après un accident cardio-vasculaire



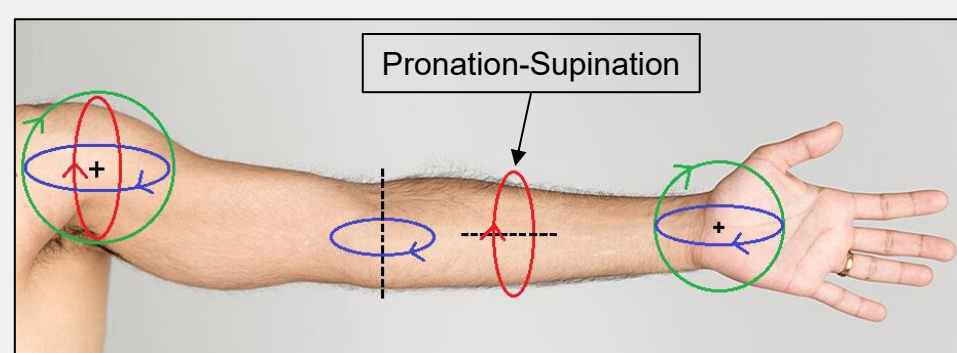
Rééducation

- Nécessite la présence d'un spécialiste
- Se fait via des rendez-vous non réguliers
- Demande un matériel spécialisé

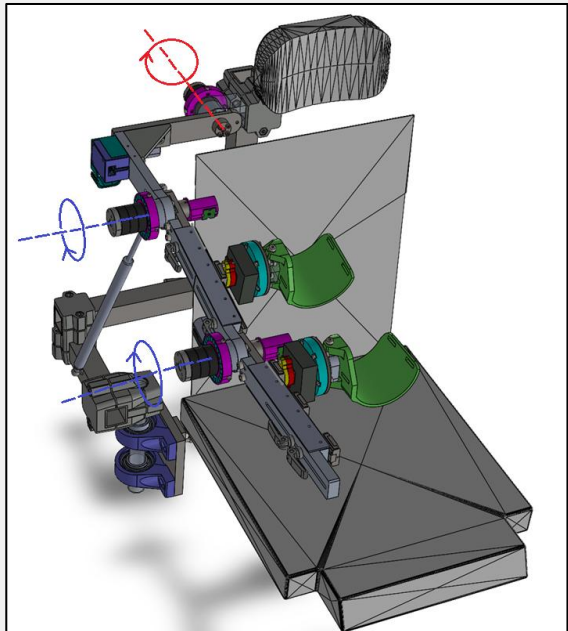
Projet global: un exosquelette facilitant la rééducation et assistant le patient au quotidien

- Epaule ✓
- Coude ✓

Avant bras: la pronation-supination

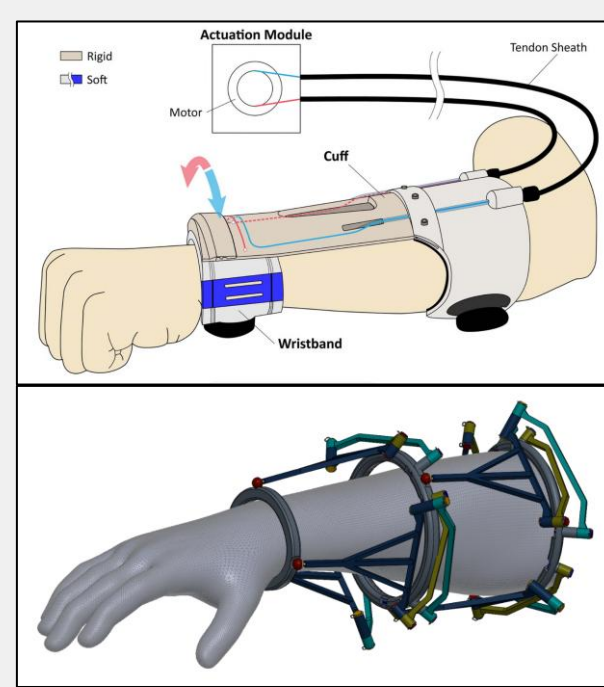


Mobilités du bras humain

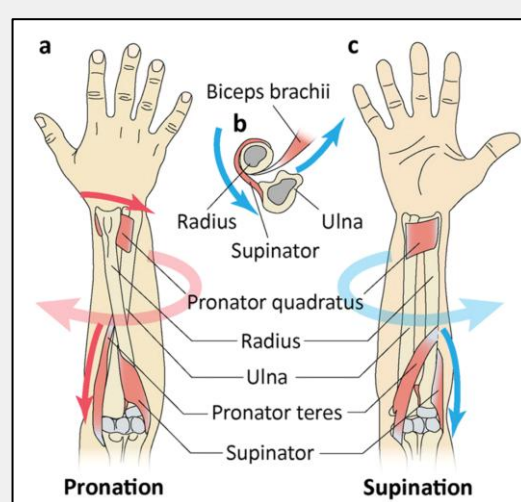


CAO actuelle de l'exosquelette

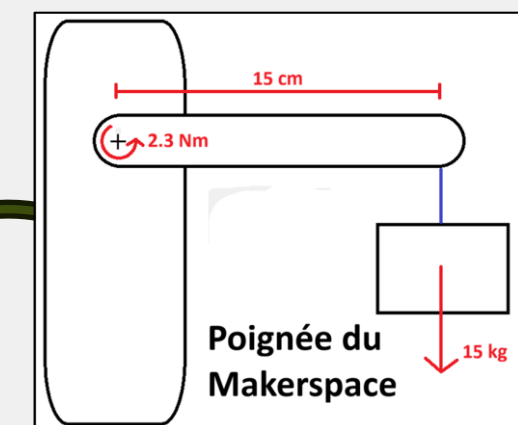
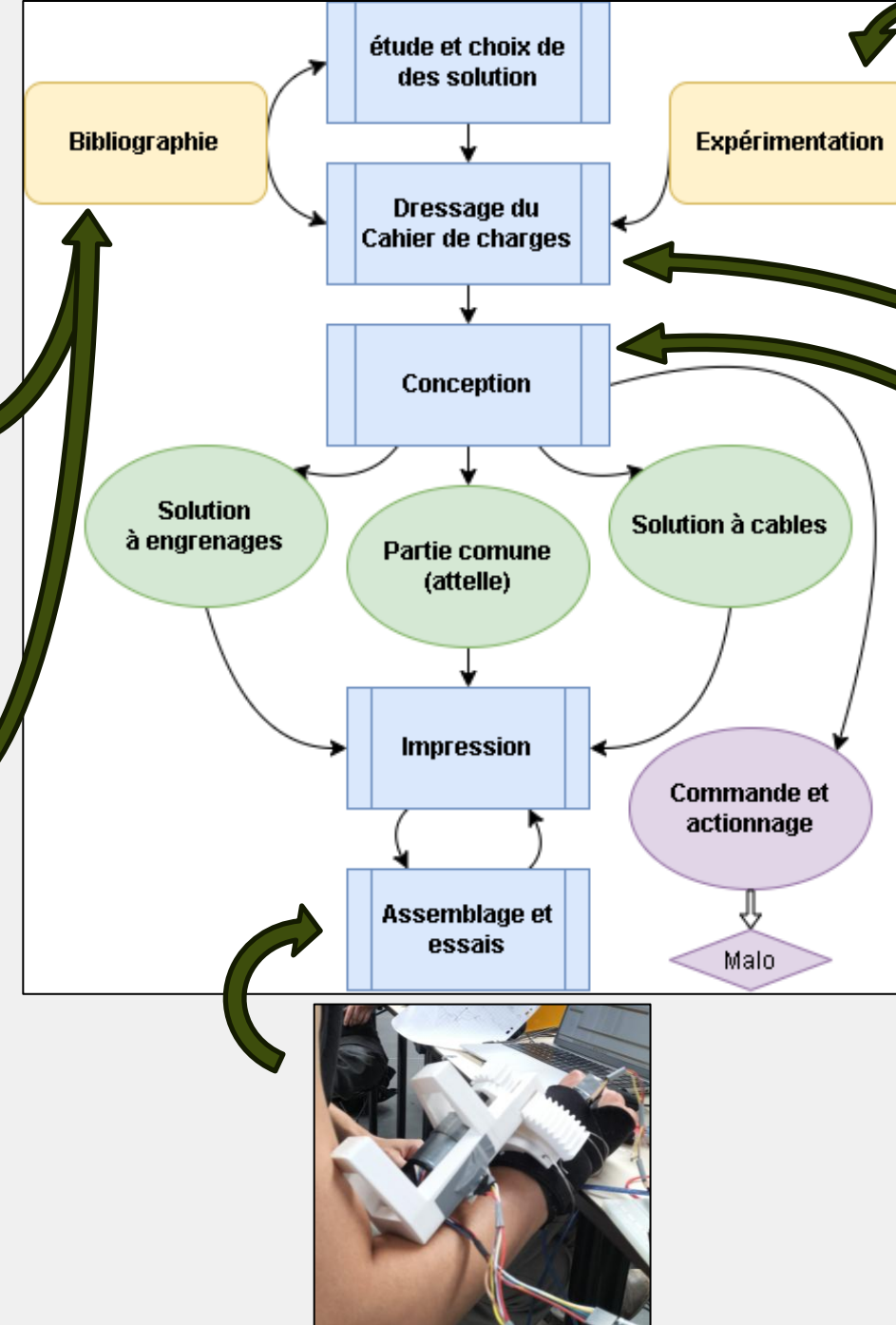
Démarche de conception



Solutions déjà existantes



Fonctionnement interne du mouvement



Détermination du critère de couple

$$C_{max\ orth} = 2.3N$$
$$V_{max} = 16.66rpm$$
$$m_{orth} < 400g$$
$$0 \leq \theta_{bras} \leq 150^\circ$$

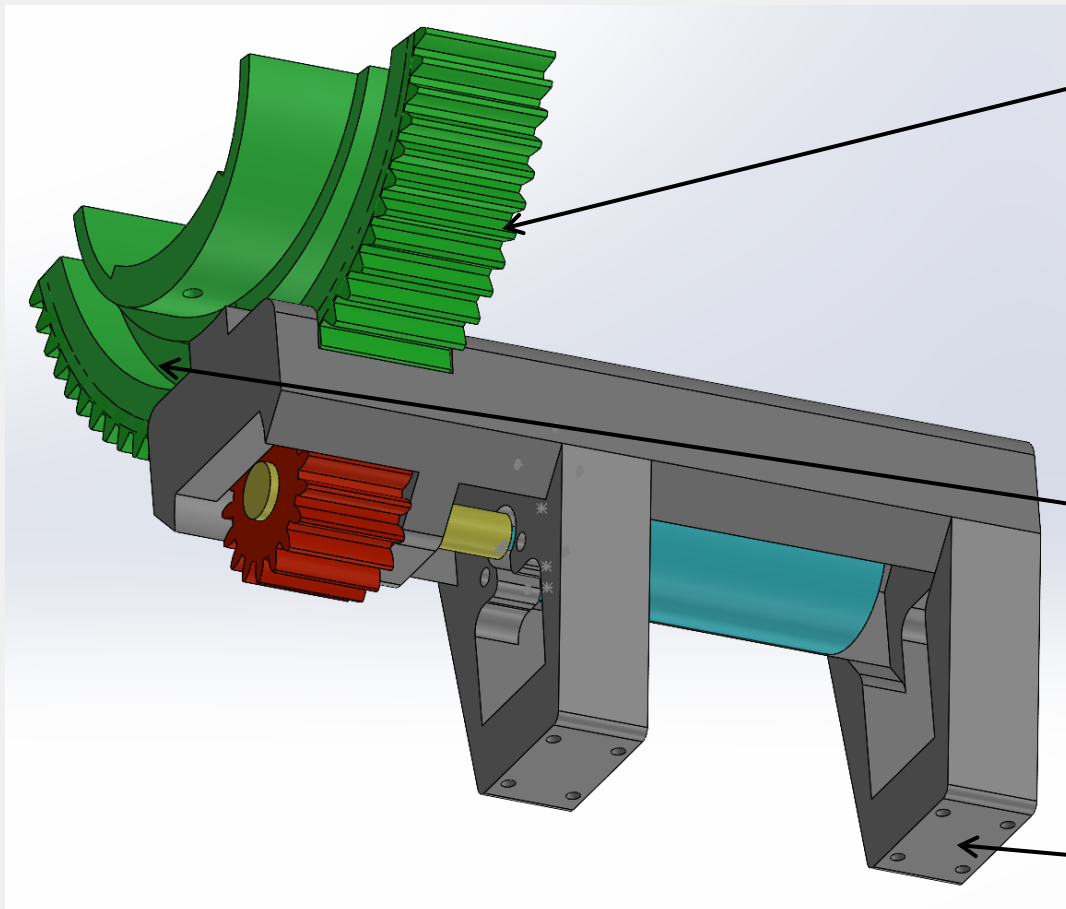


Moteur sélectionné pour l'orthèse :
37Y3530-43.8
Couple max : 1.765 Nm
Vitesse à vide : 251 tr/min
Consommation bloquée : 7A

Calibrage de la commande de l'orthèse

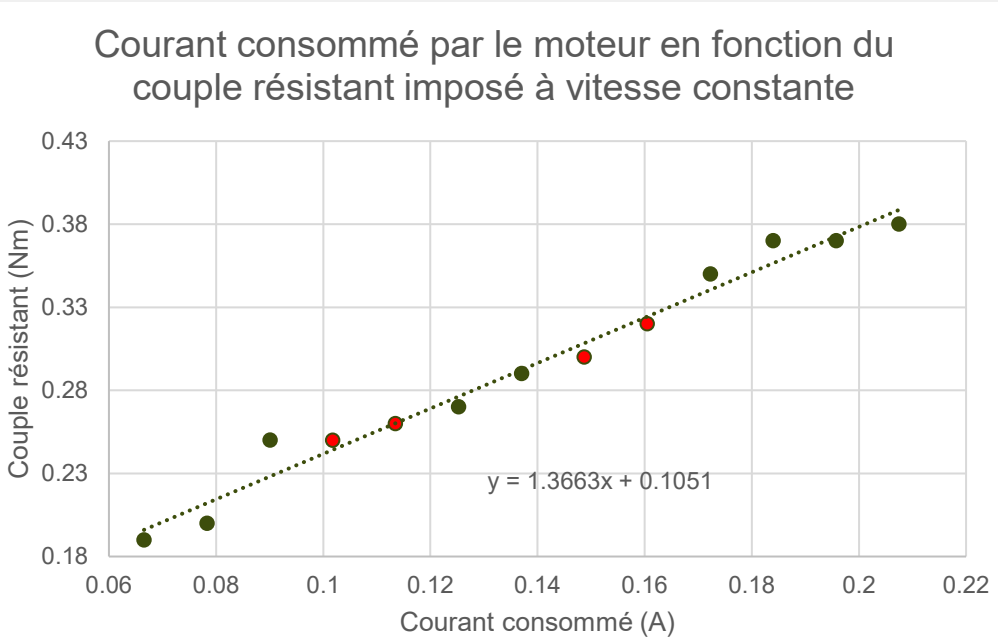
Résultats, analyse

Solution 1: mécanisme à engrenages

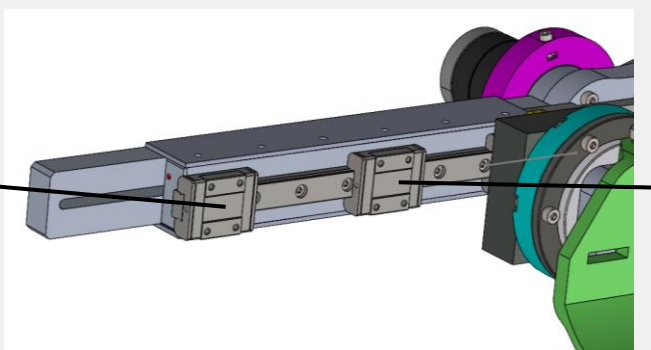


Avantages :

- Couple développé plus grand
 - Plus grande précision
 - Meilleur rendement
- #### Inconvénients :
- Pas de possibilité de déporter le moteur
 - Plus encombrant



Attache de câble pour fixation BOA



Compatible avec l'exosquelette

Diamètres des vis pour les 2 solutions:

- 3mm pour moteur et fixation à l'exosquelette
- 4mm pour les poulies et attaches du câble (solution 2)

$$i_{C\ max} = 2.3 * 1.3669 + 0.1051 = 3.24897$$
$$i_{C\ max} < i_{bloqué}$$

Contrainte de couple validée

AMÉLIORATIONS

Commune :

- Changer les matériaux des surfaces de glissement
- Réduire au maximum la quantité de matière
- Faciliter l'accès aux vis

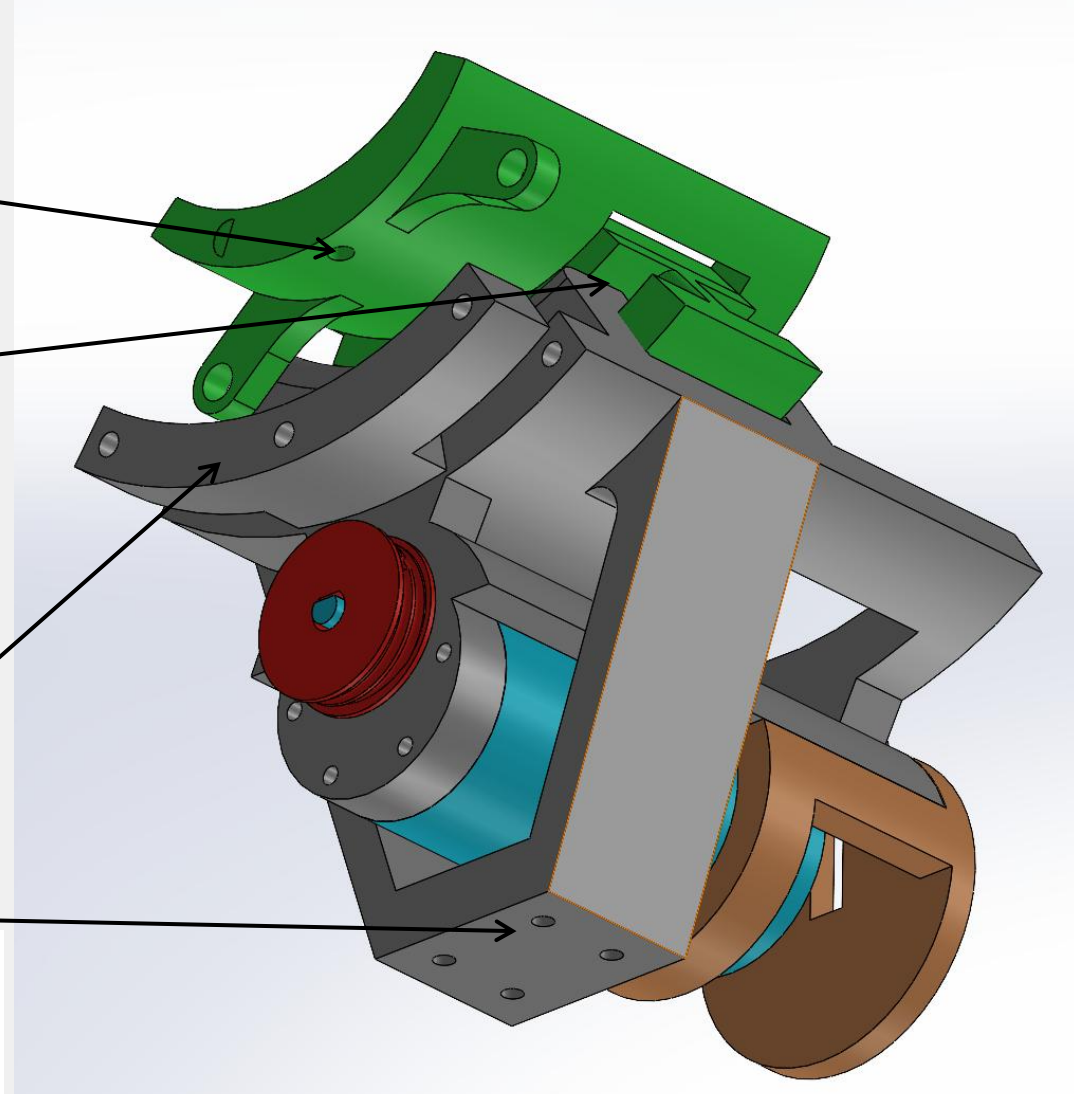
Solution 1 :

- Réduire la taille du dispositif

Solution 2 :

- Changer le matériau du câble
- Minimiser les frottements des éléments en contact avec le câble
- Renforcer la structure pour supporter la précontrainte du câble

Solution 2: mécanisme à câble



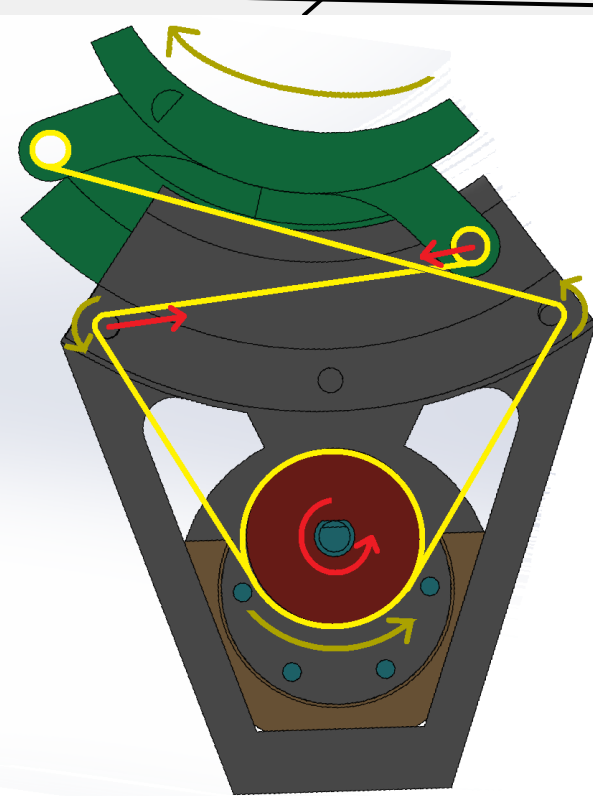
Avantages :

- Moteur déportable à l'avenir
- Moins encombrant

Inconvénients :

- Manque de précision par élasticité du fil
- Pertes énergétiques importantes et erratiques

Essais non concluants



Matériaux : fil de nylon avec précontrainte

Bilan:

- Un cahier des charges dressé pour de futures solutions alternatives
- Deux prototypes développés dont un remplissant théoriquement notre cahier des charges

Perspectives

- Rendre la solution à câble viable
- Tester notre solution pour une utilisation prolongée
- Intégration du module dans l'exosquelette
- Prochaine extension de l'exosquelette : le poignet

Cadre du stage



Thales est un groupe international spécialisé dans les technologies de défense, d'aérospatial, de cybersécurité et d'identité numérique. Au sein de la division **CDI (Cybersecurity & digital information)** les équipes développent et opèrent des solutions numériques sécurisées permettant de protéger les données, les identités et les infrastructures critiques.

Basé à Gémenos, le département **IT (Information Technology)** a pour mission de fournir, maintenir, sécuriser et faire évoluer les systèmes d'information nécessaires au fonctionnement de l'entreprise. L'IT est l'acteur majeur de la transformation numérique garantissant la disponibilité, la sécurité et l'évolution des systèmes d'information du Groupe.

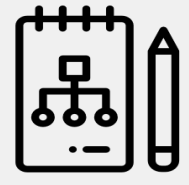
Contexte et objectif



Le CRM MSD 365 (Customer Relationship Management) permet de centraliser, suivre et analyser l'ensemble des interactions et des données avec les prospects et les clients. Il évolue continuellement afin de répondre aux besoins métier.

Chaque évolution peut introduire des régressions fonctionnelles. Ce travail a nécessité la construction complète de la démarche d'évaluation en s'appuyant sur les bonnes pratiques du testing fonctionnel. L'objectif est d'identifier une solution d'automatisation de tests de non-régression à travers une étude comparative et la réalisation de POC sur des scénarios métier réels.

Gestion de Projet et collaboration



Gestion du projet via un planning Gantt, des jalons et des livrables définis dès le lancement. Réunions régulières (daily) avec les équipes CRM et métiers pour suivre l'avancement et valider les orientations. Production d'une documentation réutilisable par l'ensemble des acteurs du projet (Architectes, AE, PO, Développement, Management). Collaboration avec plusieurs Business Lines et partenaires externes afin de collecter les données nécessaires à l'évaluation des solutions.



Microsoft



Tricentis™

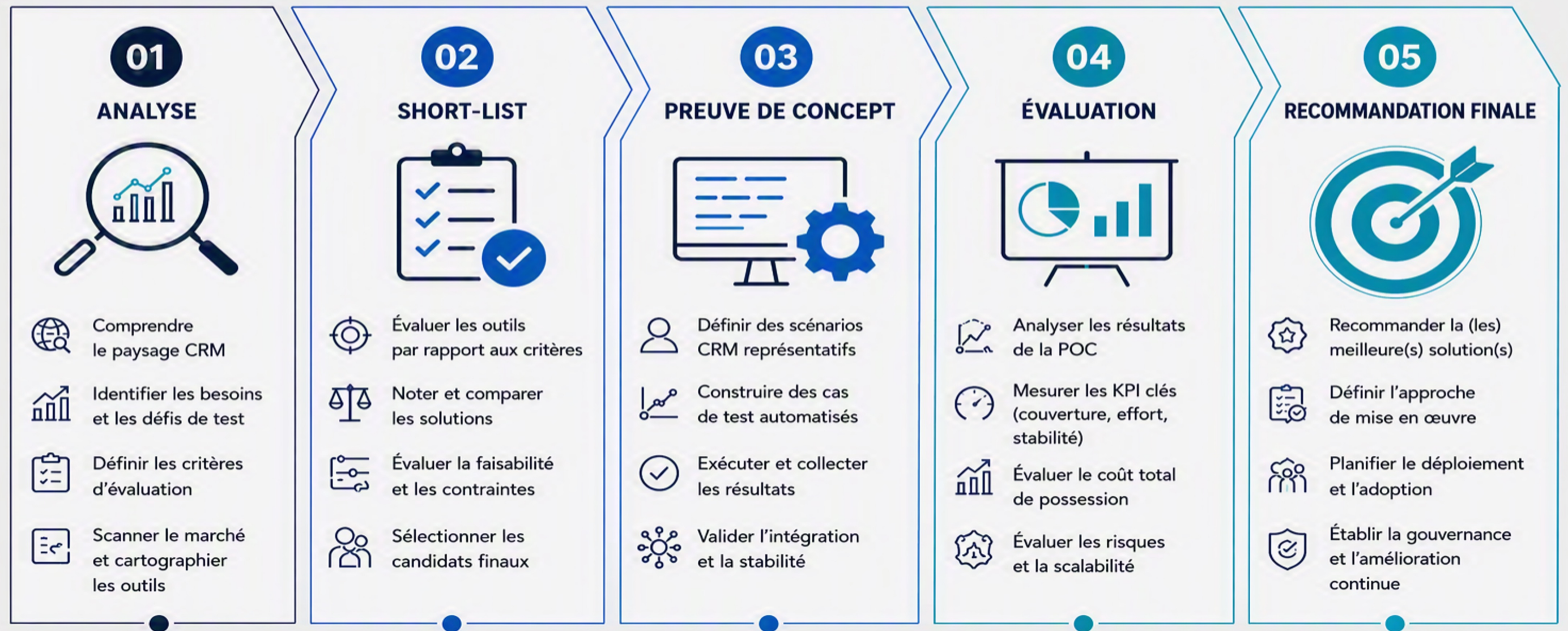


Infosys



imperva
Salesforce

FEUILLE DE ROUTE – OUTILS DE TEST DE RÉGRESSION CRM DE L'ANALYSE À LA RECOMMANDATION

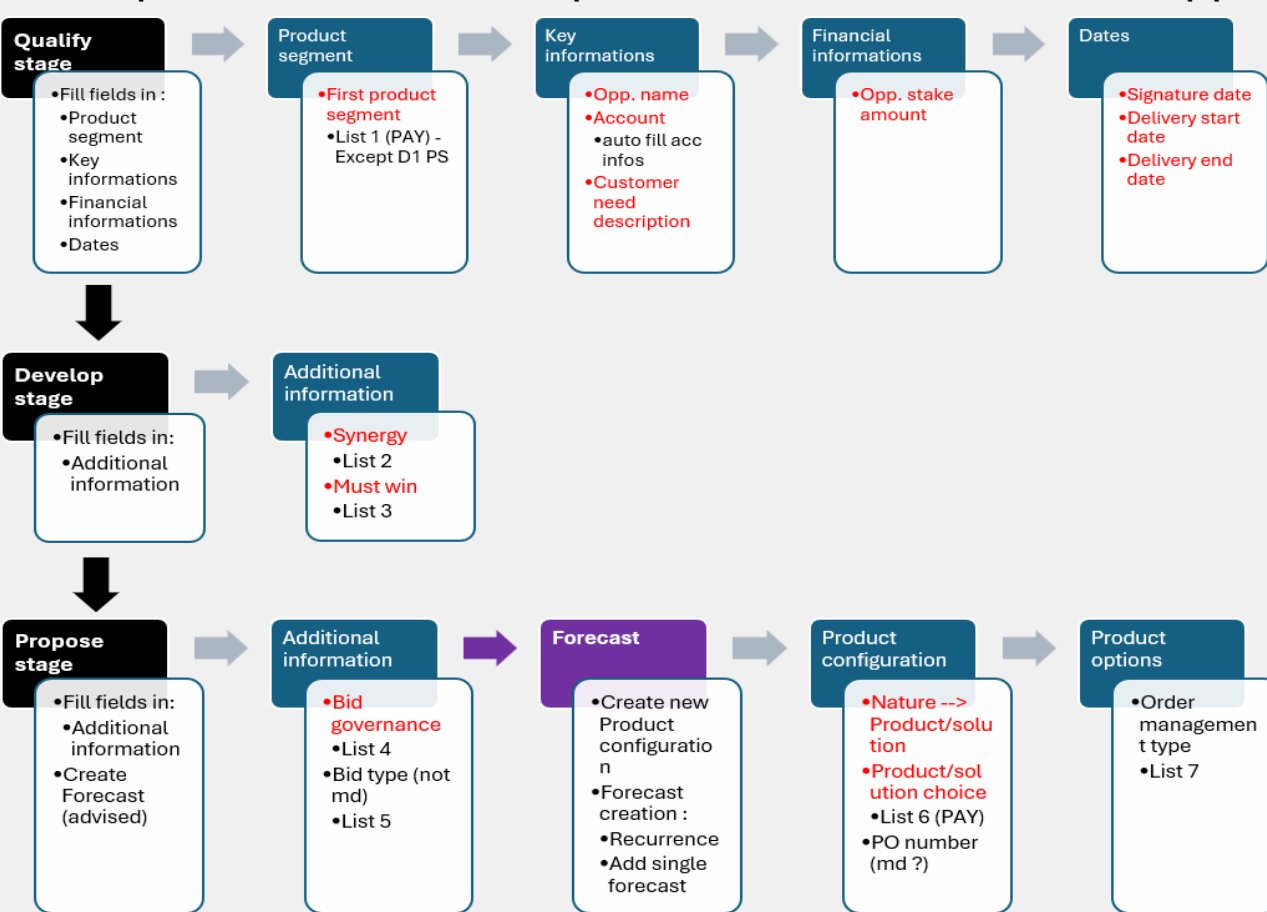


Analyse du CRM et des besoins métiers



Analyse du contexte CRM Microsoft Dynamics 365, des besoins Business, identification des enjeux et des scénarios de non-régression critiques du CRM.

Rencontres avec des utilisateurs CRM côté **Sales** chez **PAY, IBS et Marketing** pour identifier des cas et processus d'utilisation typiques. **Exemple de scénario** : étapes de test de la création d'opportunités PAY.



Critères et évaluation des outils



L'évaluation et la comparaison d'outils par une matrice de critères représentent les phases 1 et 2. Critères choisis après la recherche de *best practices* globales sur le testing fonctionnel. Contact avec une équipe chargée de faire du *regression testing* chez **Imperva** sur un CRM Salesforce.

Critère	Poids /5	Test Studio	Leapwork	Tricentis Tosca	AI Computer use	EasyRepro	Playwright	Selenium
Compatibilité CRM (Model driven)	5/5	0/5	5/5	5/5	4/5	5/5	5/5	5/5
Robustesse UI	5/5	5/5	5/5	5/5	3/5	5/5	4/5	2/5
Maintenabilité	5/5	5/5	5/5	5/5	3/5	3/5	5/5	3/5
Scénarios métier	5/5	0/5	2/5	2/5	4/5	5/5	2/5	1/5
Facilité d'utilisation	3/5	5/5	2/5	3/5	4/5	3/5	4/5	1/5
Faisabilité POC	4/5	0/5	4/5	4/5	5/5	3/5	4/5	2/5
Effort d'implémentation	3/5	0/5	3/5	3/5	2/5	2/5	3/5	1/5
Intégration et automatisation	4/5	0/5	3/5	5/5	5/5	3/5	4/5	2/5
Couverture scénarios critiques	5/5	0/5	1/5	5/5	3/5	4/5	1/5	1/5
Coût	2/5	5/5	2/5	0/5	3/5	5/5	5/5	5/5
Compétences requises et transmission	3/5	5/5	2/5	3/5	4/5	3/5	2/5	1/5

0 € 30 000 € 40 000 € Prix au prompt 0 € 0 € 0 €

outil métier outil métier outil métier outil technique outil technique outil technique

Score Test Studio 41% Score Leapwork 65% Score Tricentis Tosca 79% Score AI Computer use 73% Score EasyRepro 76% Score Playwright 70% Score Selenium 43%

La notation repose sur la capacité d'un outil à répondre ou non au critère en question d'après les documentations techniques et les démos fournies par les entreprises sur des environnements pertinents (style CRM web application)

Outils retenus → Tricentis Tosca™



→ AI Computer Use (Copilot Studio)



Microsoft
Copilot Studio

Essai de l'outil et POC



Lors des phases 3 et 4 du stage, l'outil **Tosca™** a été soumis à un essai de faisabilité et de sécurité (rapport à l'équipe). Il a alors été présenté aux équipes de plusieurs produits (CRM MSD 365 et Oracle TLS) et au management pour en faire un projet et avoir une validation budgétaire (déjà alloué).

La prise en main de l'outil a été particulièrement rapide. Cela a permis d'atteindre un niveau d'autonomie élevé dès les premières semaines et de mener le POC à son terme avec un support limité des équipes **Tricentis™**. La période de licence d'essai a été prolongée sur cet outil pour approfondir les fonctionnalités.

Ecriture d'un test dans Tosca™ pour le CRM

Action Mode	State	Duration
Input	✓	00:01:21
Select	✓	00:00:05
Select	✓	00:00:01
Select	✓	00:00:01
Input	✓	00:00:00
Select	✓	00:00:02
Select	✓	00:00:04
Select	✓	00:00:03
Select	✓	00:00:00
Select	✓	00:00:02
Input	✓	00:00:22
Input	✓	00:00:00
Select	✓	00:00:01
Select	✓	00:00:07
Select	✓	00:00:00
Select	✓	00:00:00
Select	✓	00:00:03
Select	✓	00:00:03
Input	✓	00:00:20
Input	✓	00:00:00

Hors scope – Rédaction d'US

CDI IT - NWL1001 - CRM RUN / DIST360RUN-1713
Regression R18.2 - button "Copy Opportunity"

Type: Bug
Priority: Very High
Resolution: For Version/c
Affects Version/s: None
Component/s: None
Labels: CDI
Severity: Very High
Sprint: T360Run DIS Sprint 65 R19
Story Points: 2

Description: After 18.2 release in PROD and INT we see a new/unknown button "Copy Opportunity"

User Stories (US) sur **JIRA** = Spécification fonctionnelle d'un besoin précis du CRM. Compétences abordées : rédaction du besoin fonctionnel et explication aux équipes de développement (Infosys).

Conclusion

A travers ce stage et les échanges avec les équipes, cette mission a abouti à la recommandation d'un outil de test de non-régression adapté au CRM, étude qui va conduire à l'émergence d'un futur projet. Cette expérience m'a ainsi permis d'améliorer mes aptitudes à travailler, à communiquer au sein d'une équipe et à gérer un projet. Pendant ces 3 mois, j'ai pu découvrir de nouveaux domaines d'activité et les diverses rencontres au sein de l'entreprise **Thales** ont contribué à préciser mes envies professionnelles.

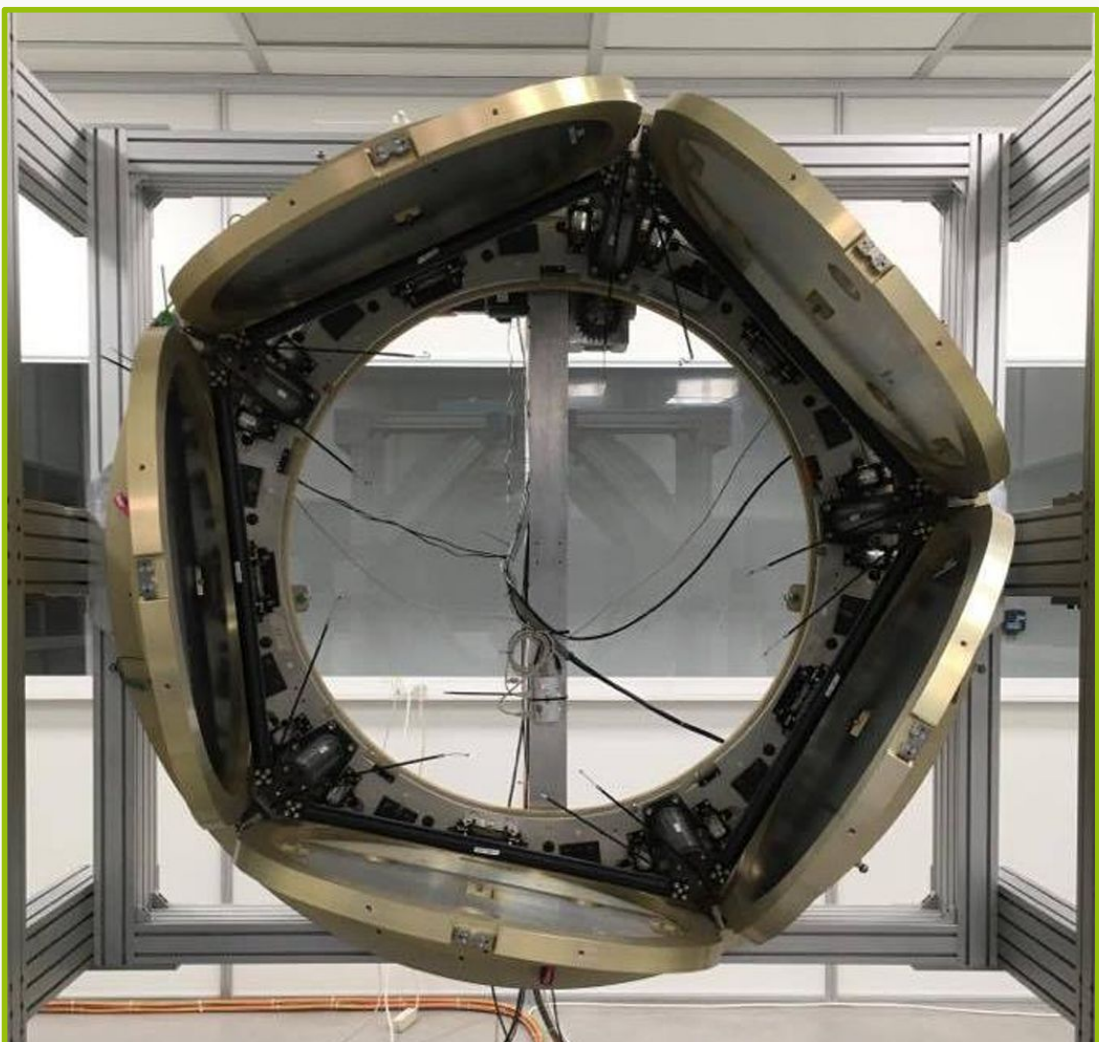
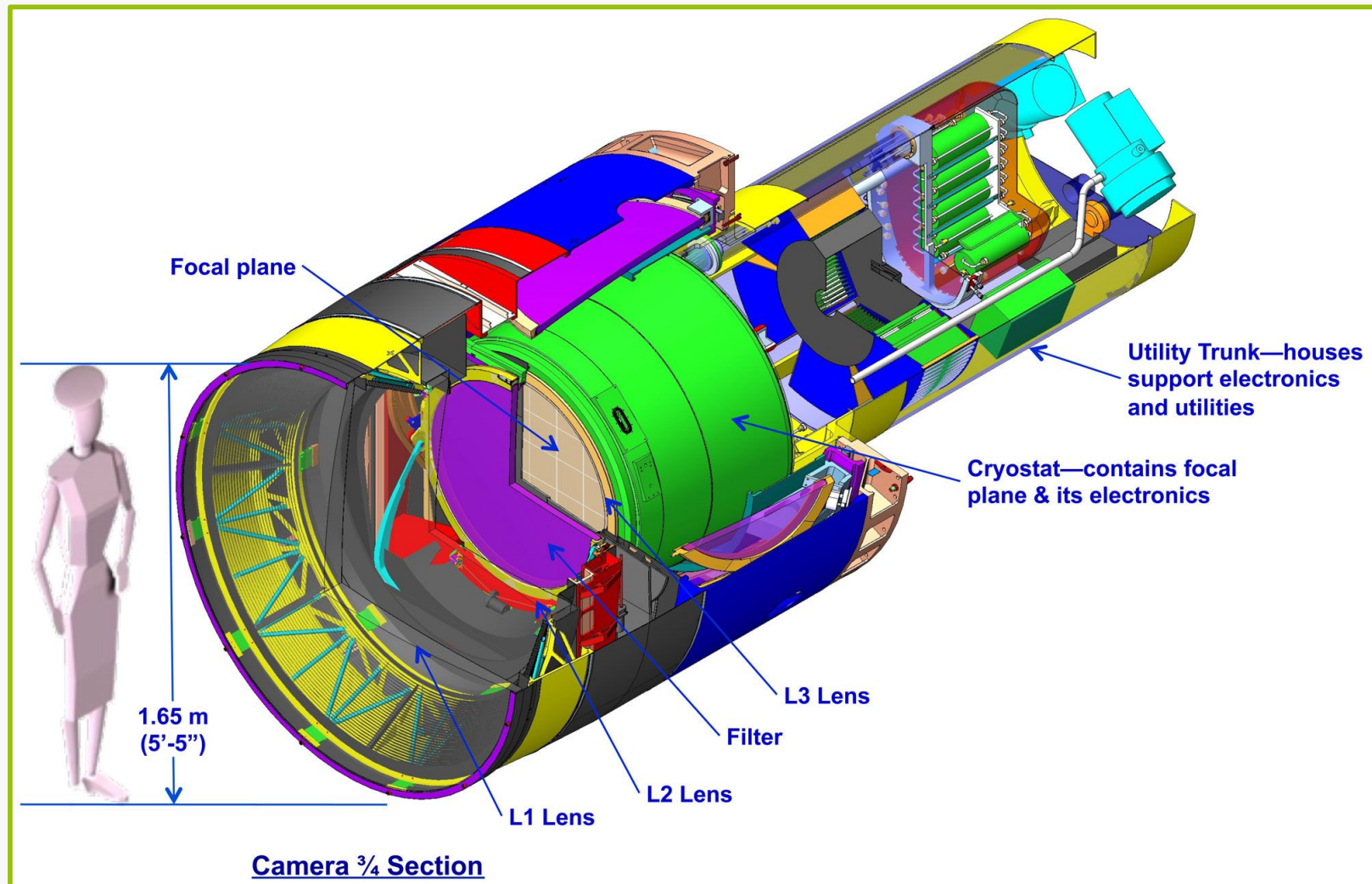
Contexte

Au sommet du Cerro Pachón (Chili), l'observatoire **Vera C. Rubin** démarre la *Legacy Survey of Space and Time* : 10 ans de relevé du ciel austral avec la plus grande caméra astronomique jamais construite (3,2 milliards de pixels). Ses **filtres optiques** (75 cm Ø, plusieurs dizaines de kg) sont échangés automatiquement par un **carrousel**. Chaque filtre y est retenu par des **clamps** : des organes de sécurité critiques, car un lâcher serait fatal au filtre et menacerait le miroir du télescope.

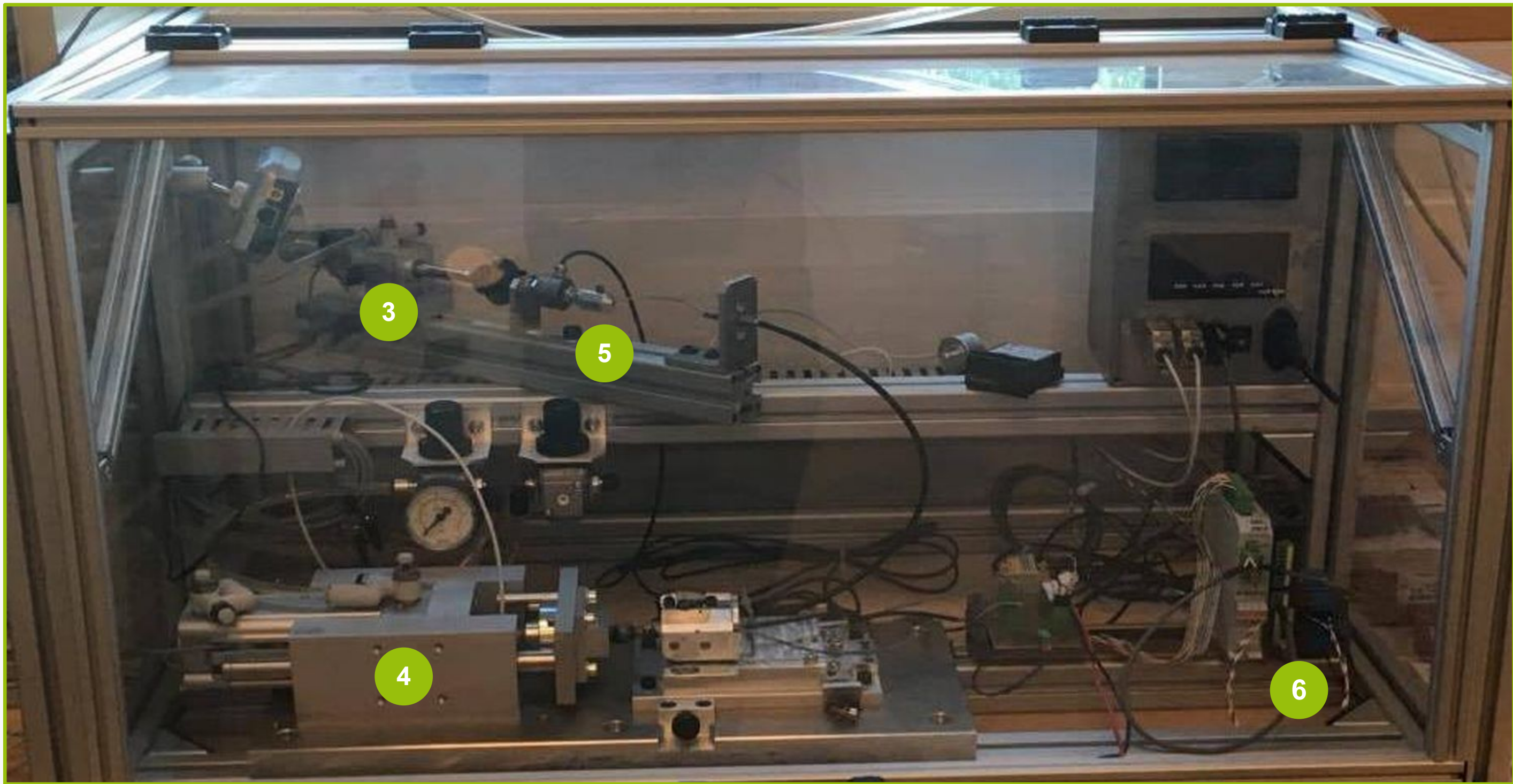


Dans l'enceinte de la LSST Cam, les clamps travaillent sous atmosphère ultra sèche, à -100 °C. Ces conditions modifient les frottements de contact entre clamps et pions : les clamps qualifiés il y a 10 ans doivent être retestés. Le banc de test conçu au LPNHE en 2007 doit donc être remis en service.

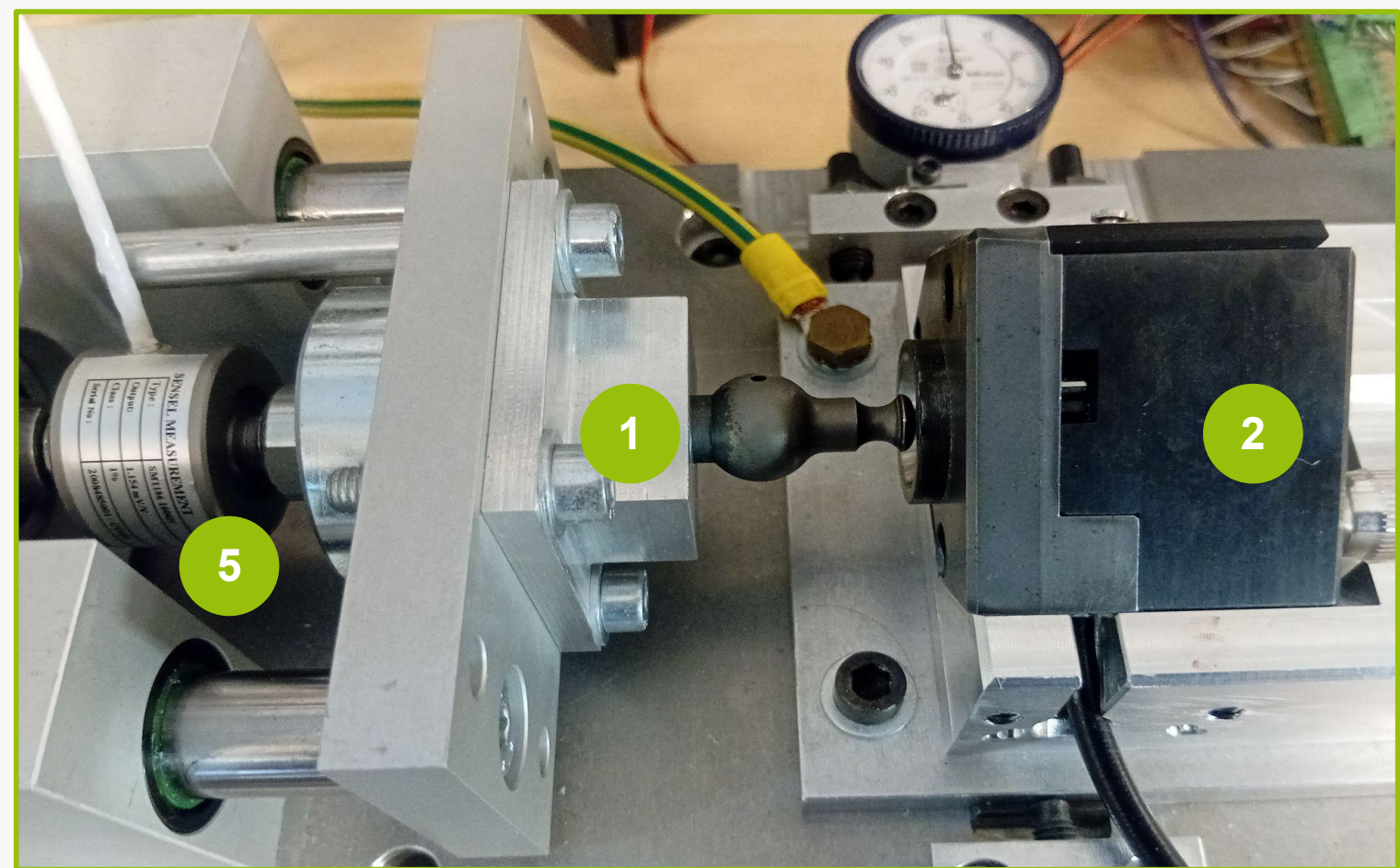
Objectif du stage : reconstruire le banc et le documenter, pour les campagnes de qualification à venir.



Le banc de test



- 1 Pion testé
- 2 Clamp testé : verrouillage à l'approche, déverrouillage par câble
- 3 Vérin Clamp: tire le câble de déverrouillage du clamp
- 4 Vérin Pion: engage l'outil à verrouiller puis tire pour tester la tenue
- 5 Capteurs
- 6 Préconditionneurs sur le bus CAN



Le cycle de test automatisé



Cette séquence est répétée un grand nombre de fois tout en relevant à chaque instant les données des capteurs de force, position, et température. Puis le pion et le clamp sont inspectés pour identifier toute trace d'usure et les données sont analysées pour déterminer la fiabilité de l'équipement ainsi que la répétabilité des essais. Une campagne de test représente plusieurs heures voire des jours de mouvement ininterrompu : le banc de test doit donc être extrêmement fiable. Pour cela un automate industriel de chez Festo est utilisé, avec un programme entièrement réalisé sur CoDeSys 2.3.



Fonctionnement

Automate, I/O et Pilotage

La partie supérieure est composée de l'automate tout à gauche, la pneumatique en noir à droite, et des modules I/O au centre. Ensemble ils pilotent l'installation et enregistrent les relevés des capteurs

Câblage et sécurité

La partie inférieure alimente l'installation, protège le circuit des incidents électriques et gère les inputs critiques tels que l'arrêt d'urgence ou les boutons *Start/Stop*

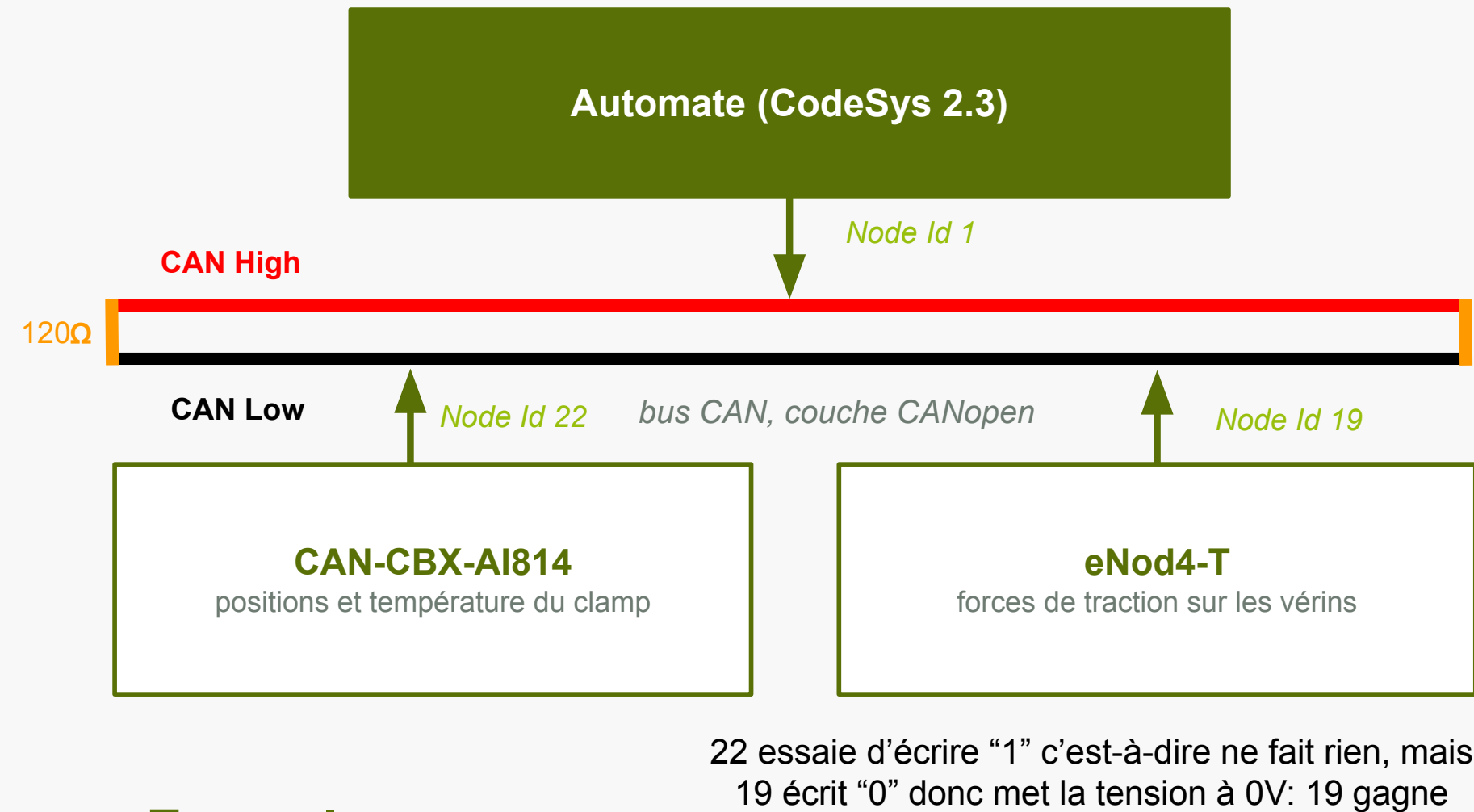


Chaîne de mesure sur bus CAN

Un bus *Controller Area Network* permet à tous les modules branchés dessus d'envoyer et de recevoir des données en même temps. Cela est permis par l'arbitrage bit à bit qui donne la priorité d'écriture sur le bus au module ayant le plus petit *Node Id*. Chaque module est relié à la masse et peut mettre la tension différentielle entre CAN High et CAN Low à 0V. Cela correspond à écrire un "0" en binaire, sinon le bus est à l'état "1".

Arbitrage bit à bit

À chaque cycle, les modules voulant écrire sur le bus annoncent leur Id bit à bit et lisent en même temps le bus. Tant que ce qu'ils lisent correspond à ce qu'ils écrivent, ils continuent d'annoncer leur Id. Sinon ils s'arrêtent et réessaient au cycle suivant.



Exemple

22	0	0	0	1	0	1	0
19	0	0	0	1	0	0	1

Livrable

Programme du banc de test

Un programme gérant l'entièreté du banc de test a été réalisé incluant : le pilotage des vérins manuel/automatique, la gestion des erreurs et des données, une interface homme-machine ergonomique, et la visualisation en temps réel des mesures.

Documentation complète

Une cinquantaine de pages de documentation et de schémas ont été produits expliquant pas à pas comment installer les différents programmes et bibliothèques nécessaires à l'exploitation du banc. Toutes les ressources ont été regroupées car le logiciel ayant 20 ans et n'étant plus supporté, la plupart sont introuvables.

Banc amélioré

Des modules ont été ajoutés au banc afin d'étendre ses capacités, les logiciels ont été portés sur une machine et un système d'exploitation plus récent, et le programme a été amélioré par rapport au programme initial afin qu'il soit plus limpide et organisé.

Conclusion et perspectives

Le banc est de nouveau opérationnel, fiabilisé et entièrement documenté : le LPNHE retrouve la capacité de qualifier ses clamps dans les conditions imposées par la LSST Cam.

Prochaine étape : la calibration des vérins. Les frottements entre les vérins et leur armature font varier la force réellement transmise selon l'ouverture des valves : une cartographie de la force mesurée en fonction de cette ouverture permettra de compenser ces frottements et de garantir des efforts de test reproductibles. Viendront ensuite les campagnes de qualification en série et l'analyse statistique des mesures : usure, dérives et seuils d'acceptation, avec un objectif final : garantir dix ans d'échanges de filtres sans incident au sommet du Cerro Pachón.

Contexte, objectifs, problématique

Au cours des conflits récents, une nouvelle arme efficace et low cost a fait son apparition : le drone. L'objectif de ce projet est de mettre au point une contre-mesure capable de défendre les troupes au sol harcelées par les drones. Mon stage consistait à réaliser un appareil capable de localiser un drone et de prévoir ses prochains mouvements en utilisant les sons qu'il émet, tout en respectant le principe de frugalité.

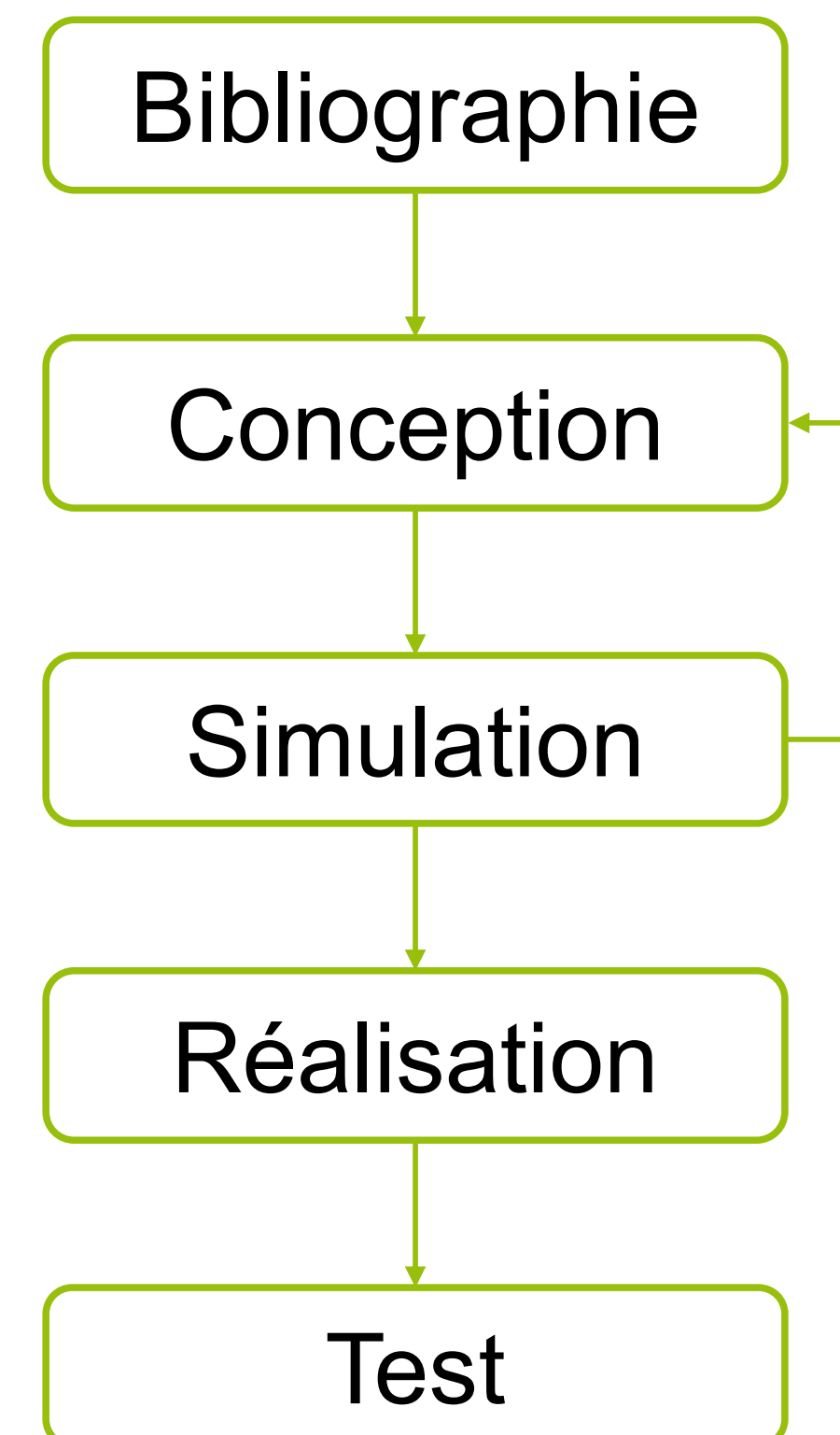


Drone Ukrainien portant une charge explosive
<https://www.rfi.fr/fr/podcasts/la-fabrique-du-monde/20260520-l-ukraine-ses-drones-et-son-avenir>

Les défis rencontrés lors de ce stage ont été les suivants :

- Fréquence élevée pour permettre le suivi dynamique des drones
- Taille réduite pour être facilement transportable sur le front
- Respect du principe de frugalité

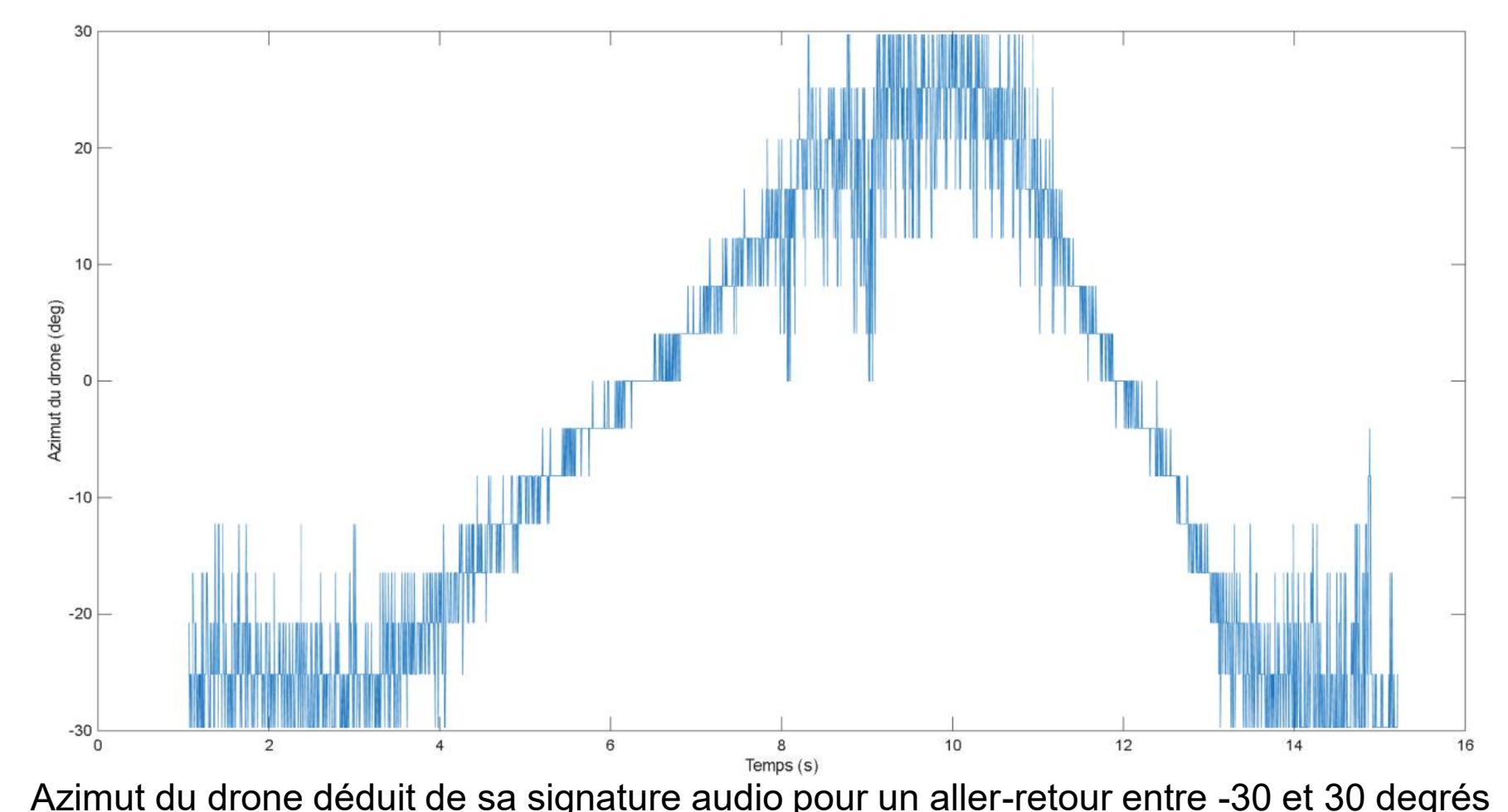
Méthode, démarche, organisation



Le système final repose sur un réseau de 6 capteurs mais avant de le concevoir une preuve de concept a été réalisé à l'aide d'un enregistreur stéréo.



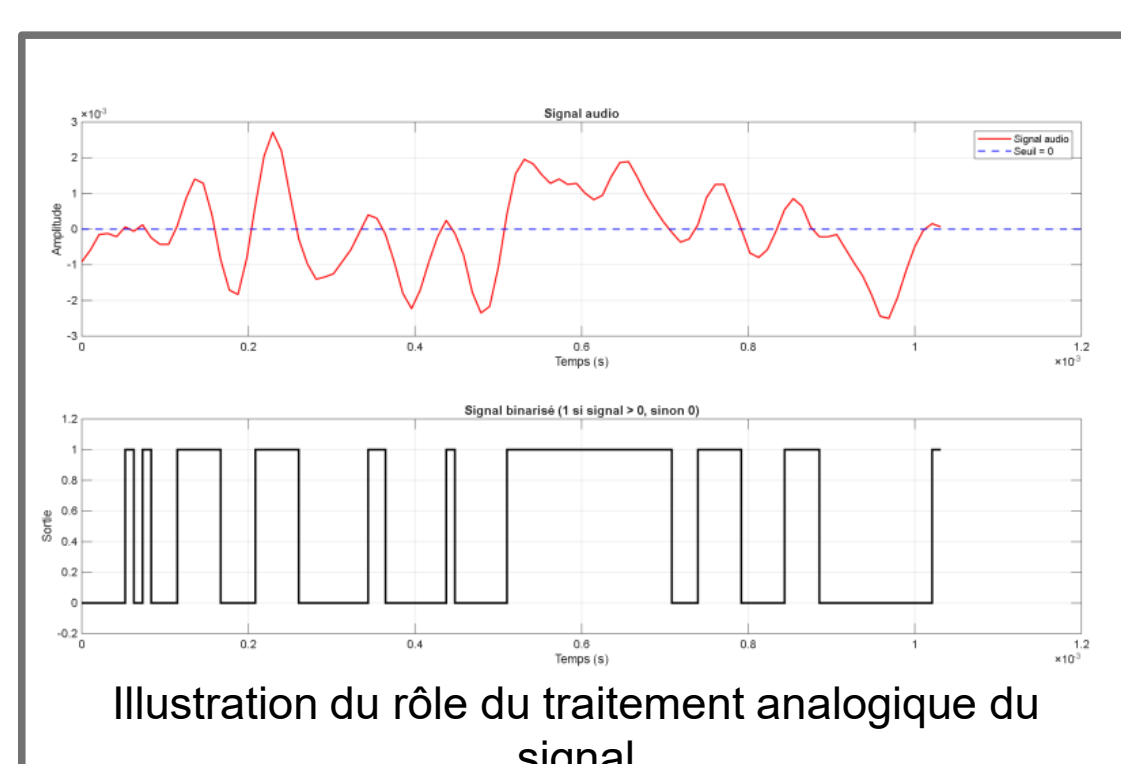
Enregistreur audio stéréo TASCAM DR-07 MKII



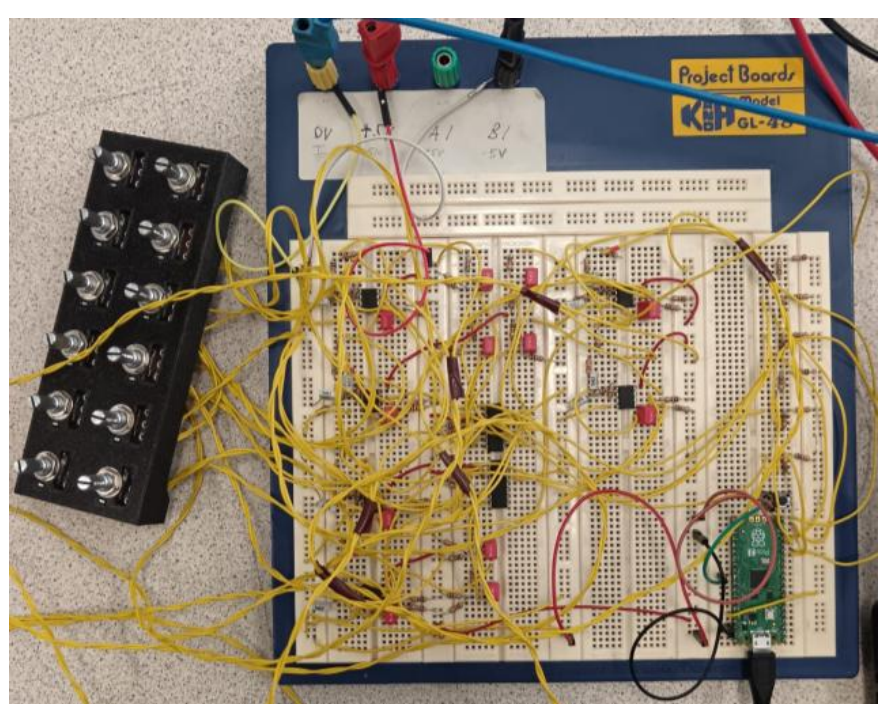
Architecture et résultats

L'algorithme utilisé pour localiser le drone nécessite de déterminer la différence de temps d'arrivée du signal émis par le drone à différents microphones espacés de distances connues. Ici, on utilise 6 microphones. On devra donc traiter simultanément autant de signaux et assurer une acquisition synchrone.

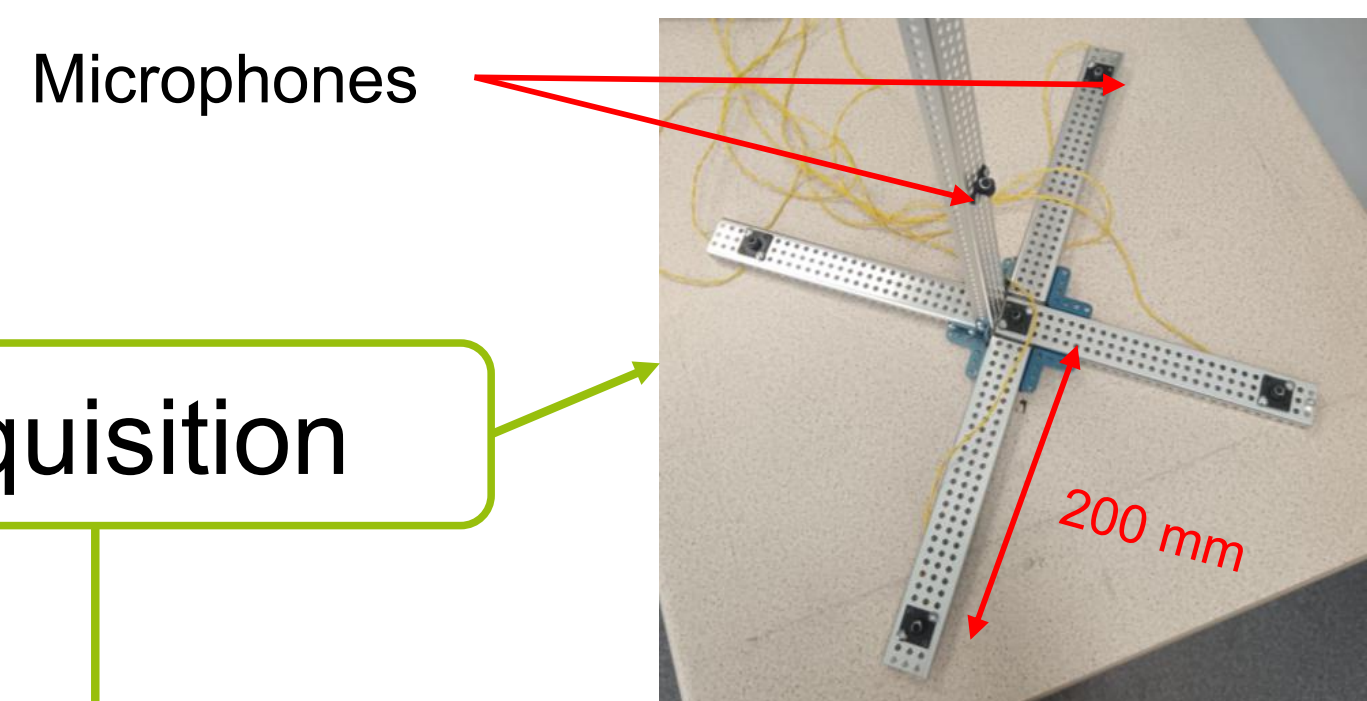
I. Pipeline



Cette étape permet de prétraiter le signal pour économiser des ressources sur le processeur.



Circuit analogique utilisé



Réseau de microphone

Acquisition

Traitement analogique

Traitement Numérique

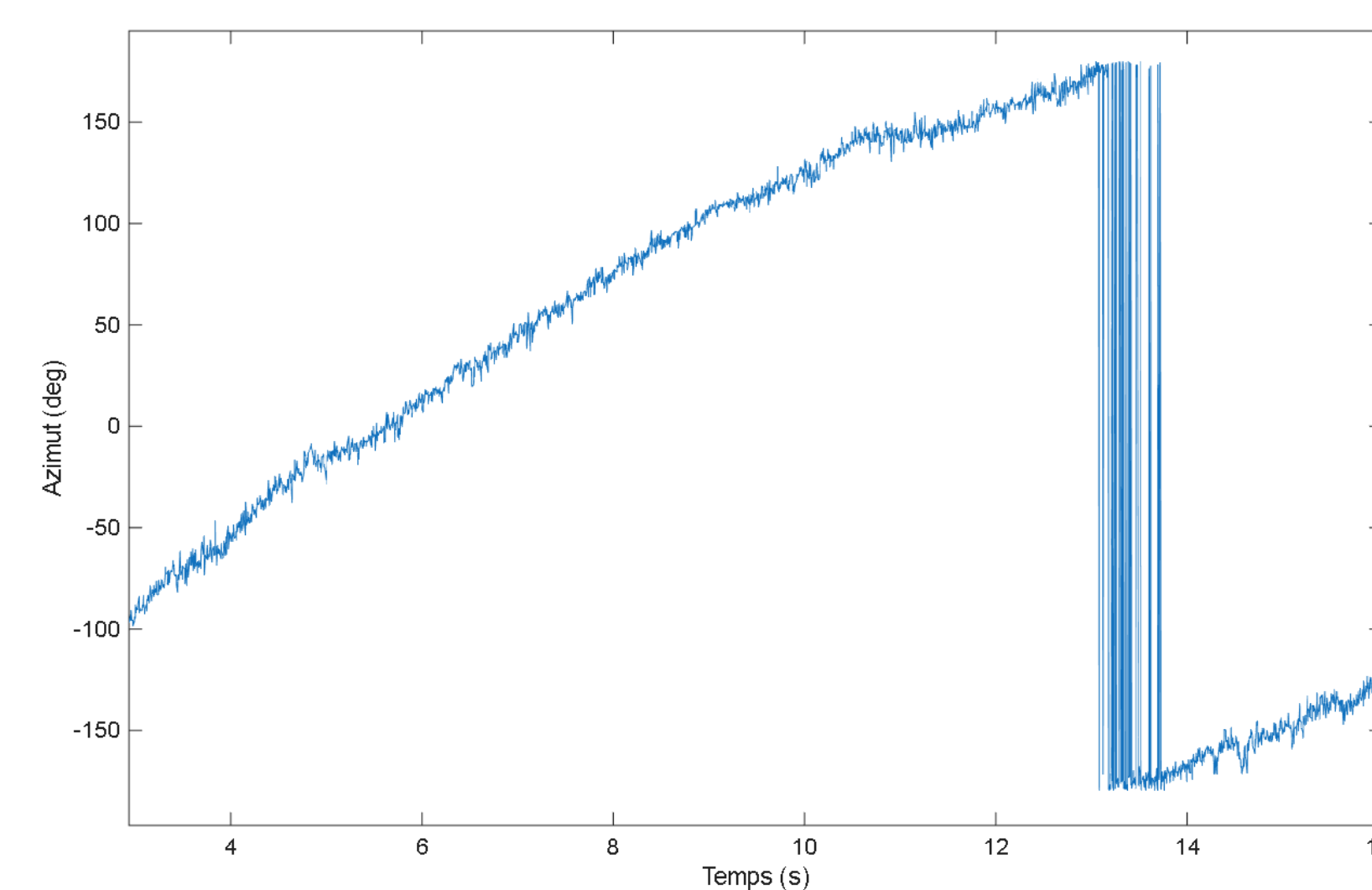
Pour déterminer le déphasage entre les différents signaux après leur binarisation, on utilise le produit de corrélation normalisée rapide (PCNR) sur une Raspberry Pi Pico 2. Le PCNR consiste à décaler, à chaque itération, un échantillon par rapport à un échantillon de référence et à exécuter un XNOR bit à bit.

référence	1	1	0	1	0	0	1
Déphasage 0 Score : 3	0	1	0	0	1		
Déphasage 1 Score : 1	0	1	0	0	1		
Déphasage 2 Score : 5	0	1	0	0	1		

Ici, le PCNR nous indique que le déphasage entre les deux signaux est de 2 échantillons.

Une fois les déphasages trouvés, on peut déterminer géométriquement la direction d'arrivée du drone (son azimut et son élévation). Le système réalisé permet de réaliser cela à une fréquence de 1000Hz

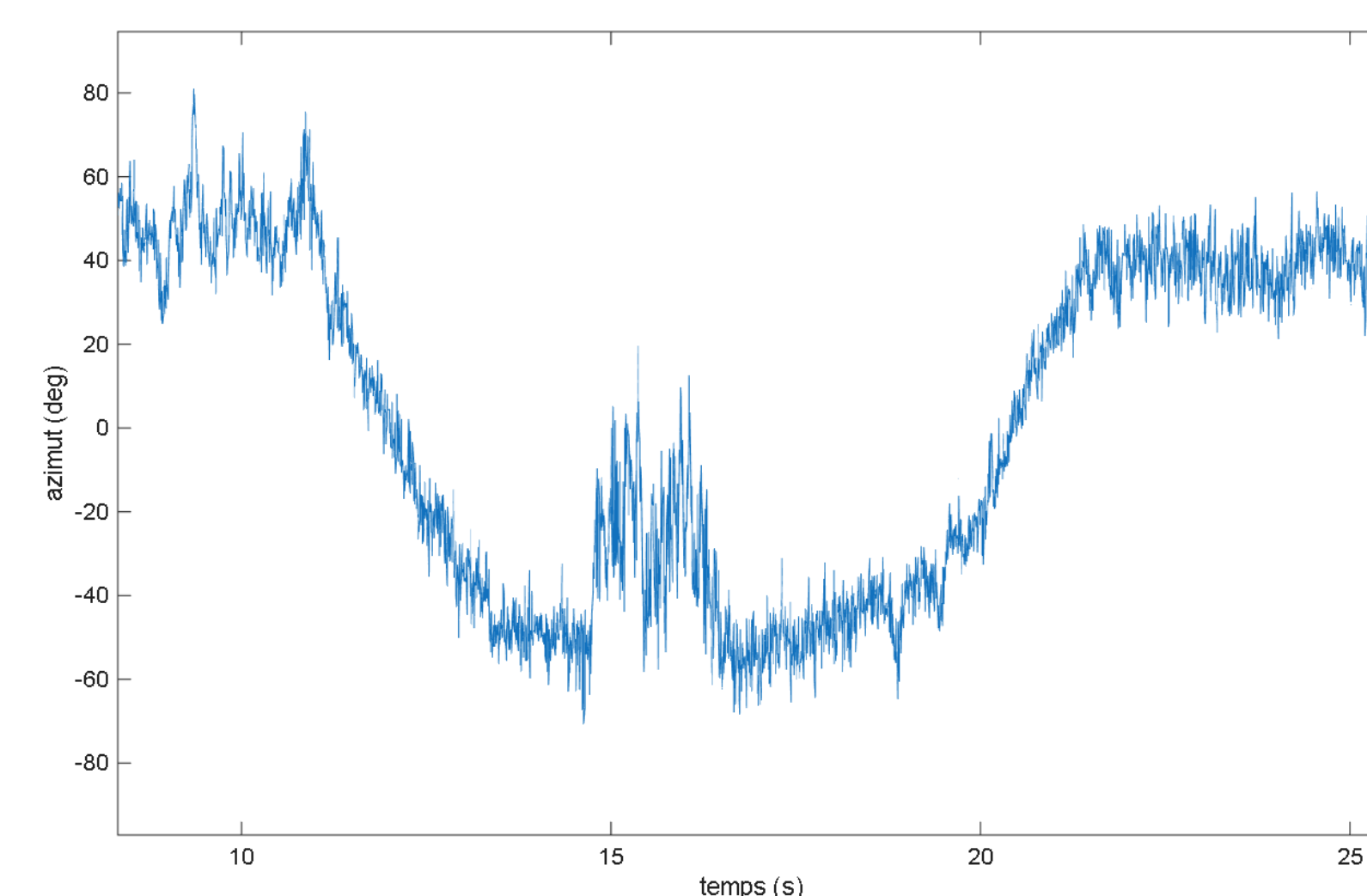
II. Résultats



Azimut renvoyé par le système pour une source acoustique ponctuelle et directive, orientée vers la source, qui réalise un tour complet autour du réseau de microphones avec un rayon de 300 mm.

Les résultats observés pour une source ponctuelle sont satisfaisants et permettent de faire une preuve de concept.

Le résultat pour un vol de drone est plus bruité et comporte des aberrations (15 s - 17 s). Cela peut s'expliquer par une trop basse sensibilité des microphones, mais aussi par des échos, car la source n'est pas directive et que les tests ont été réalisés en intérieur.



Azimut renvoyé par le système pour un drone qui réalise un aller-retour entrecoupé de phases stationnaires devant le réseau de microphones

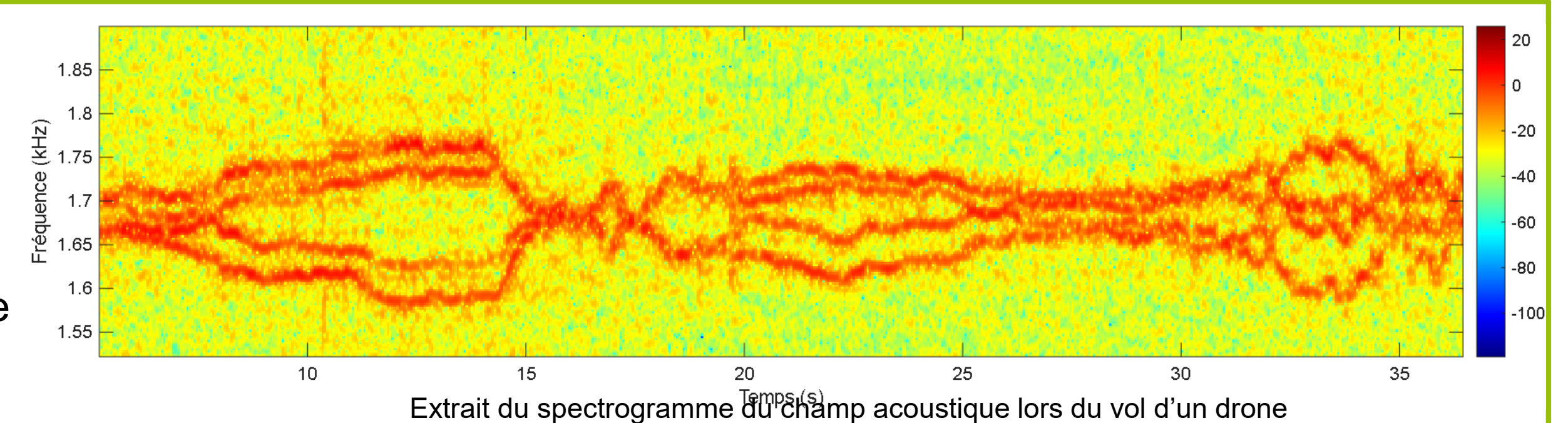
Ici, seuls les résultats pour l'azimut sont présentés, car la détermination de l'angle d'élévation ne fonctionnait pas correctement à cause de la forme du réseau.



DJI ryze tello edu utilisé pour les tests

Conclusion, synthèse, perspectives

Durant ce stage, un prototype de système de localisation de drone par ondes acoustiques a été réalisé en respectant plusieurs contraintes : la frugalité : le nombre de microphones est bas pour ce type d'application et le microcontrôleur utilisé est de faible puissance. La compacité : le système mesure 400x400x200mm. Fréquence élevée : l'estimation de position se fait à 1000Hz. Les performances du système ont été seulement superficiellement évaluées par manque de temps, mais des dysfonctionnements ont déjà été révélés. Ils pourraient être réglés notamment en améliorant la qualité des microphones, mais aussi par une analyse spectrographique de la signature audio du drone, qui pourrait permettre une meilleure détermination de la position grâce à un algorithme prédictif.



Extrait du spectrogramme du champ acoustique lors du vol d'un drone

Contexte :

- Étude de la formation de cheminées thermales sous-marines
- Conditions de pression/température extrêmes : proche de celles de l'apparition de la vie
- Interaction complexe : l'écoulement modifie la structure, qui elle-même modifie l'écoulement.



Verrou technique :

- Nécessité de visualiser la dynamique des fluides sans perturbation mécanique (mesure non-intrusive).

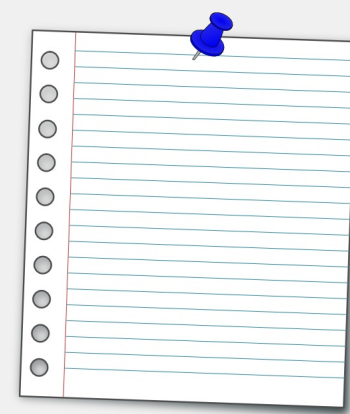
Objectif du stage :

Contribution Technique

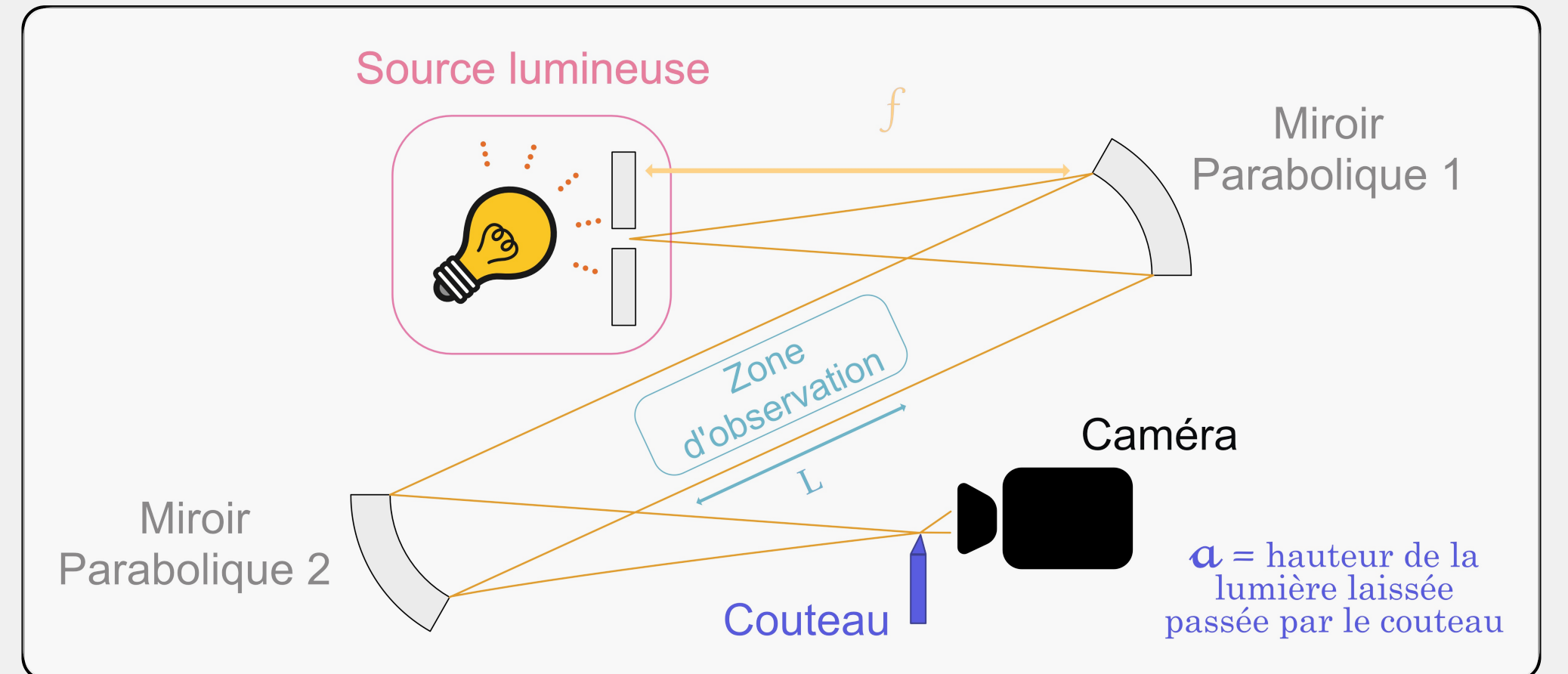
- Mise en place d'un système d'imagerie Schlieren (mesure des gradients d'indice de réfraction).
- Validation expérimentale sur des écoulements thermiques de référence en milieu aqueux.
- Vérification de l'utilisabilité pour le laboratoire.

Contribution Pédagogique :

- Rédaction d'un guide pour montage Schlieren précis
 - Thèse/Stages futurs
 - TP d'étudiants

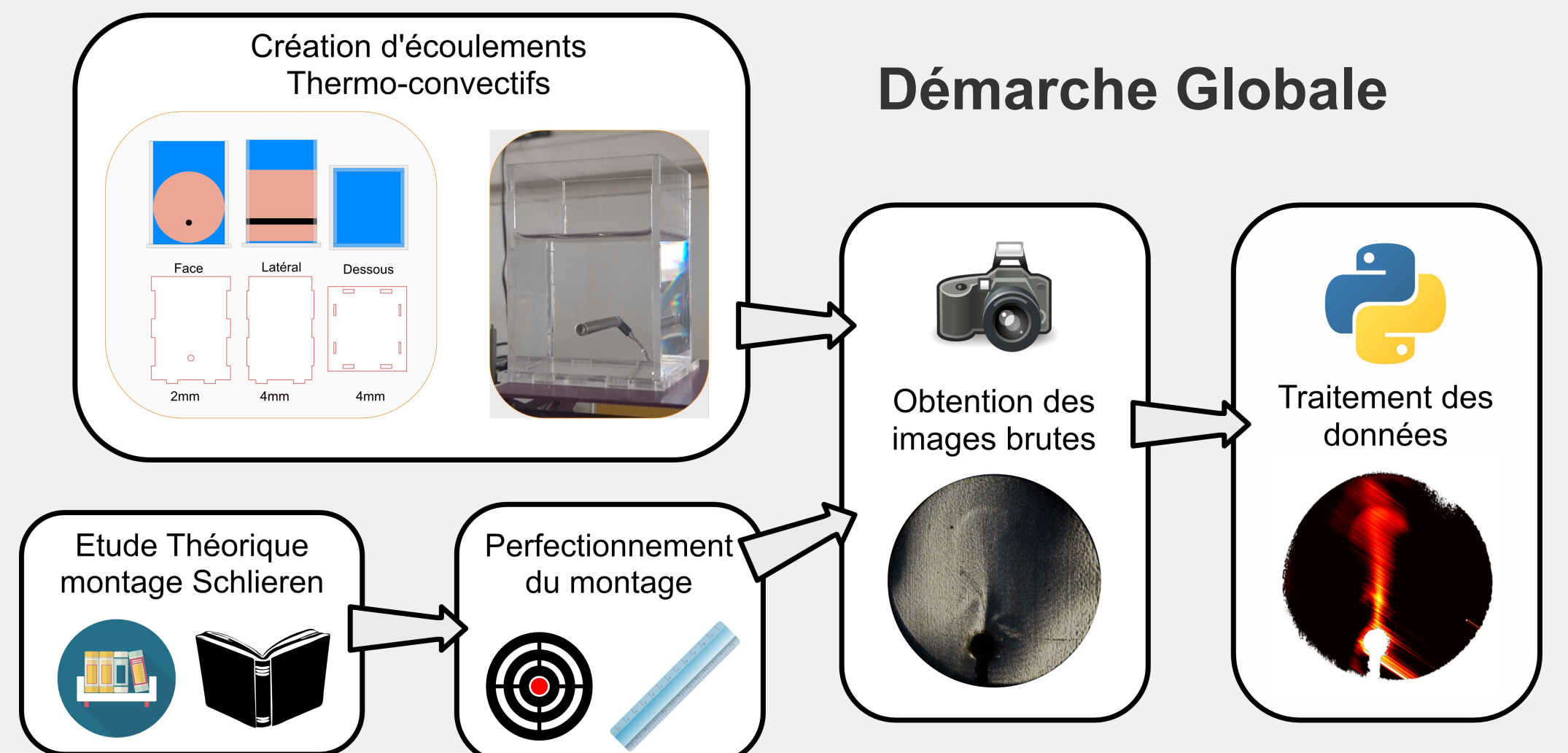


Principe du Montage Schlieren :

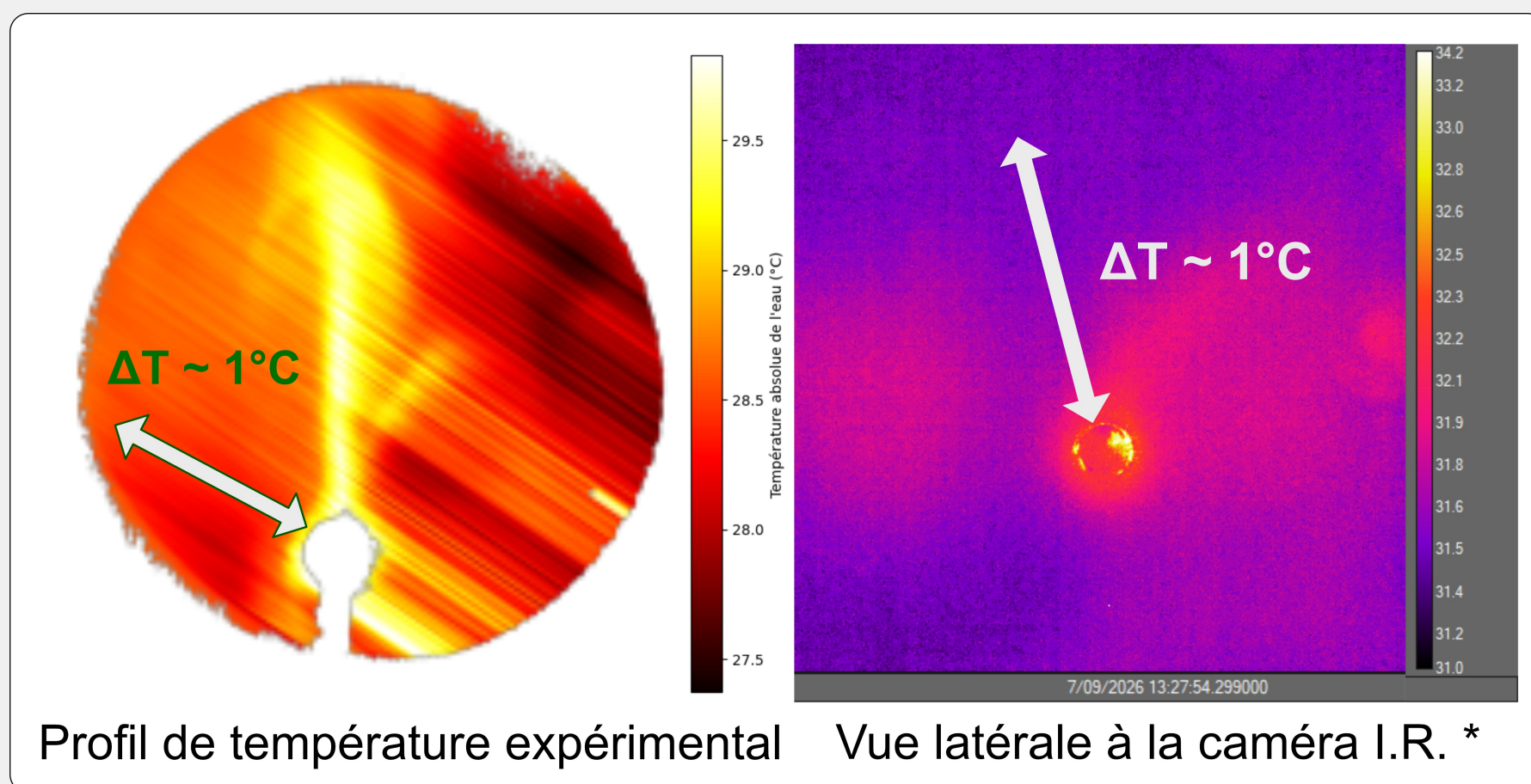


$$\frac{\Delta I}{I_0} = \frac{fL}{a} \frac{\partial n}{\partial u} + \begin{matrix} n = g(\rho) \\ \rho = h(T) \end{matrix} \Rightarrow T = f\left(\frac{\Delta I}{I_0}\right)$$

Démarche Globale



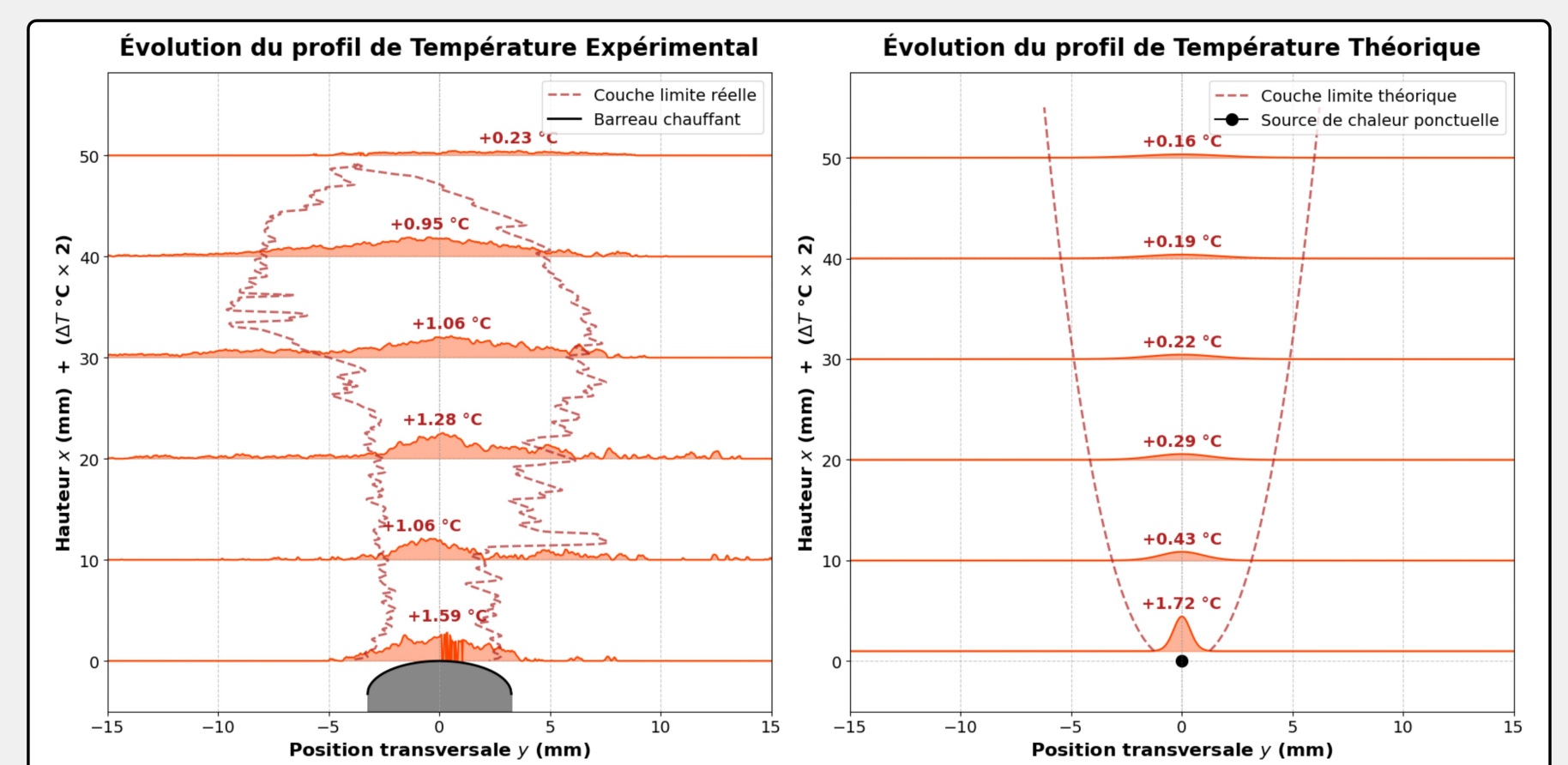
Résultats vs observation réelle



* Carte de température de la face avant en PMMA → à ∞ et sur barreau : $T_{\text{plexi}} \sim T_{\text{eau}}$

- Forme globale attendue d'un panache
- ΔT Semblable
- T absolu différent → $T_{\text{ref}} = T_{\infty}$ prise avec thermomètre
- Limite : bruit d'intégration et zones fausses

Résultats vs modèle physique



- Couche limite :
 - Base plus large → Modèle physique pour source ponctuelle (fil)
 - Effondrement au sommet : Erreur d'intégration + Surface atteinte
- Valeur de ΔT
 - Correct à la base, mais diminue moins vite
 - Surface proche et perturbation écoulement
 - mauvaise évacuation de la chaleur

Conclusion

Réalisation d'un montage d'imagerie non-intrusif :

- Visualisations globales cohérentes
- Pratique pour TP :
 - « Peu » coûteux (~1500€)
 - Installations répétable sur table optique

Limites :

- Précision encore à quantifier
- Nécessite valeurs de référence connues pour l'intégration
- Non utilisable pour des écoulements très fins

Piste d'amélioration :

- Changement des miroirs :
 - Plus grand et avec polissage plus précis pour obtenir de meilleures images brutes
- Passage à la strioscopie à contraste de phase.

Le shellac : substrat biosourcé pour des capteurs piézorésistifs flexibles

Rémi Thenaisie, Rachel Neveu, Gurvan Jodin, Florence Razan

ENS Rennes

Motivations et Objectifs

Capteurs piézorésistifs flexibles pour :

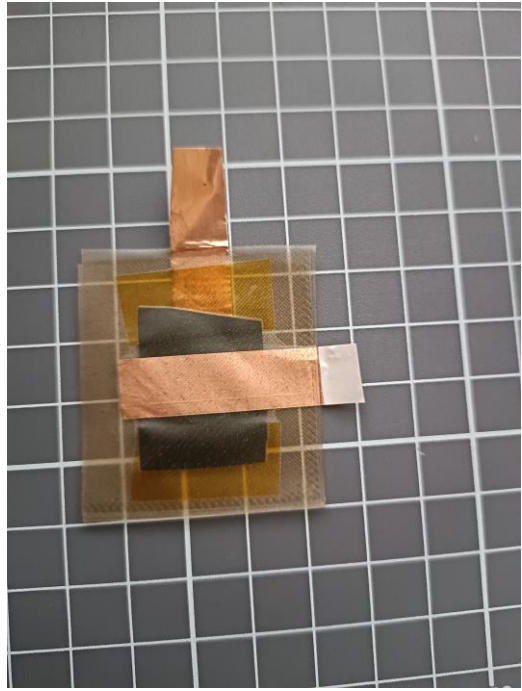
Électronique portable
Suivi biomédical et sportif
Détection de pression sur surfaces flexibles

Les performances et l'applicabilité des capteurs dépendent de :

Propriétés du substrat
Procédé de fabrication et de séchage
Conditions d'encapsulation
Stabilité mécanique et thermique

Propriétés recherchées pour un substrat flexible durable :

Matériau biosourcé et biodégradable
Capacité à former des films homogènes
Flexibilité mécanique
Stabilité thermique
Résistance à l'eau et à l'humidité
Compatibilité avec les procédés de fabrication électronique



Le shellac :

Résine naturelle
Issu de sécrétions d'insecte en Inde
Biosourcée et biodégradable
Biocompatible
Capable de former des films
Déjà utilisé dans les secteurs alimentaire, pharmaceutique et cosmétique
Encore peu étudié comme substrat structurel pour l'électronique flexible

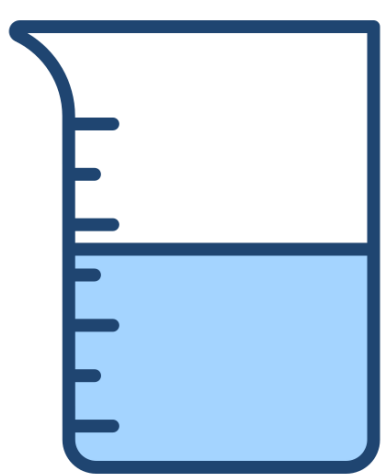
Objectif :

Développer et caractériser un substrat en shellac pour des capteurs piézorésistifs flexibles.

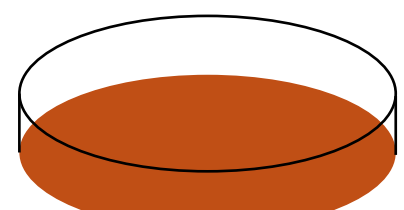
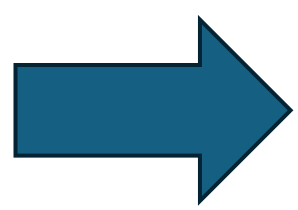
C'est-à-dire :

Optimiser la fabrication et les conditions de séchage des films
Étudier l'influence de l'épaisseur du substrat sur le temps de séchage
Évaluer la stabilité à l'eau et la température de transition vitreuse
Comparer la réponse piézorésistive avec celle de capteurs sur substrat PLA
Évaluer la faisabilité de l'impression de pistes conductrices en argent sur le shellac

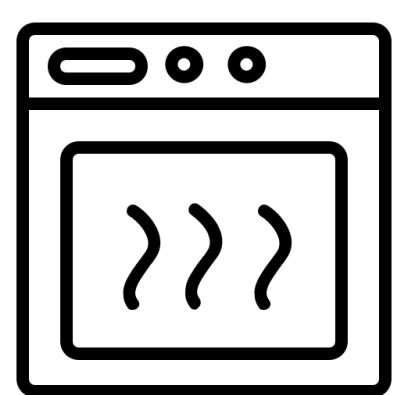
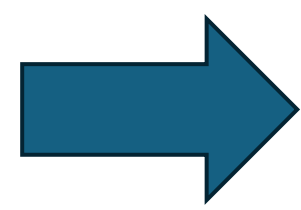
Matériaux et Méthodes



Shellac en flocon à **15 % massique** dans l'éthanol



→ Agitation : **400 rpm, 50 °C, 1 h**
→ Dépôt en boîte de Pétri



→ Séchage par **paliers de température**
→ Obtention du film de shellac

Optimisation du séchage

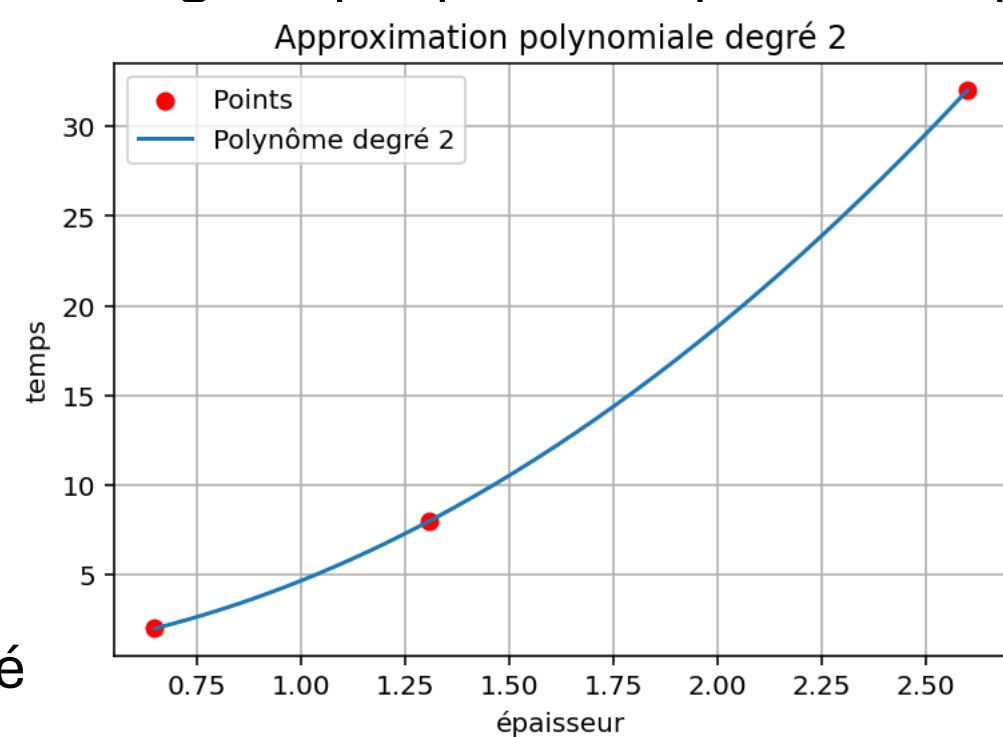
Problème : apparition de bulles pour les films épais lors d'un séchage trop rapide à trop forte température

Protocole retenu :

Ex : pour un film de 6 mm
→ 30 °C – 32 h
→ 40 °C – 24 h
→ 60 °C – 8 h

Loi pour la cuisson :

$t = 4.8788V^2 - 0.4716V + 0.2452$
avec t le temps de cuisson et V le volume de solution déposé



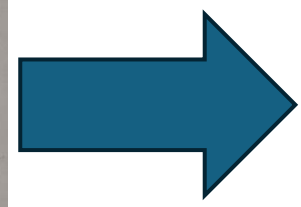
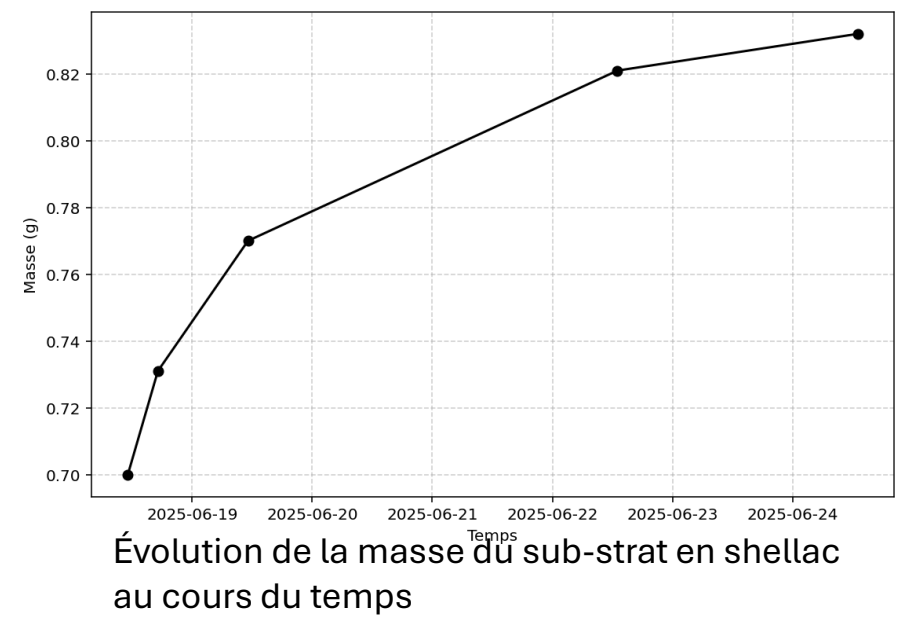
Résistance à l'eau

Immersion dans l'eau distillée.

Masse : 0,700 g → 0,832 g après ~6 jours.
Le substrat blanchit et devient plus fragile et moins résistant à la torsion.

Après séchage à l'air : 0,61 g

→ perte de masse d'environ 13 % par rapport à la masse initiale.



Propriétés thermiques

Température de transition vitreuse estimée :

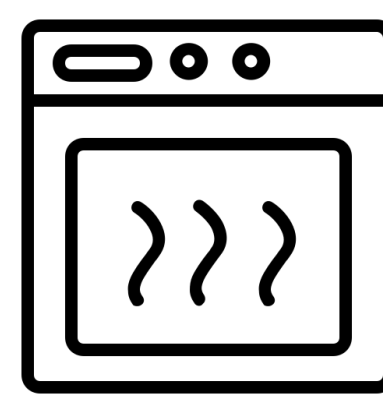
55–60 °C

Cette plage permet d'envisager une encapsulation thermique.

Deux méthodes étudiées :



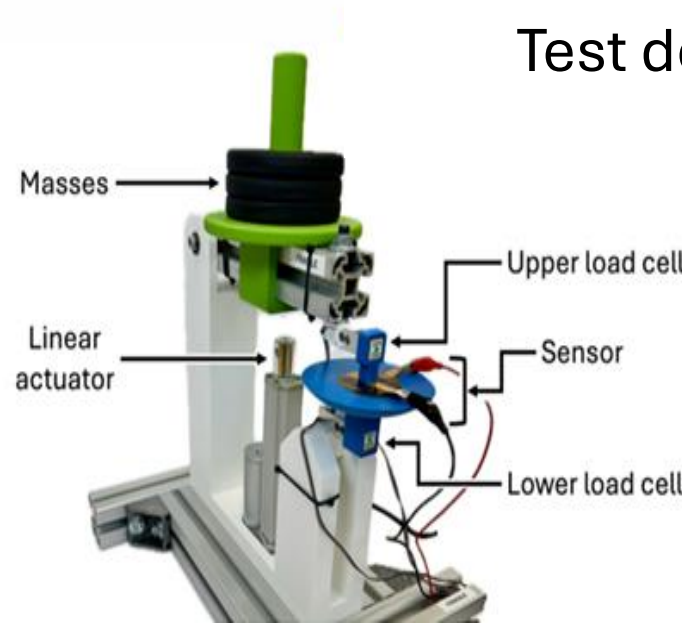
Plastification



Encapsulation à l'étuve

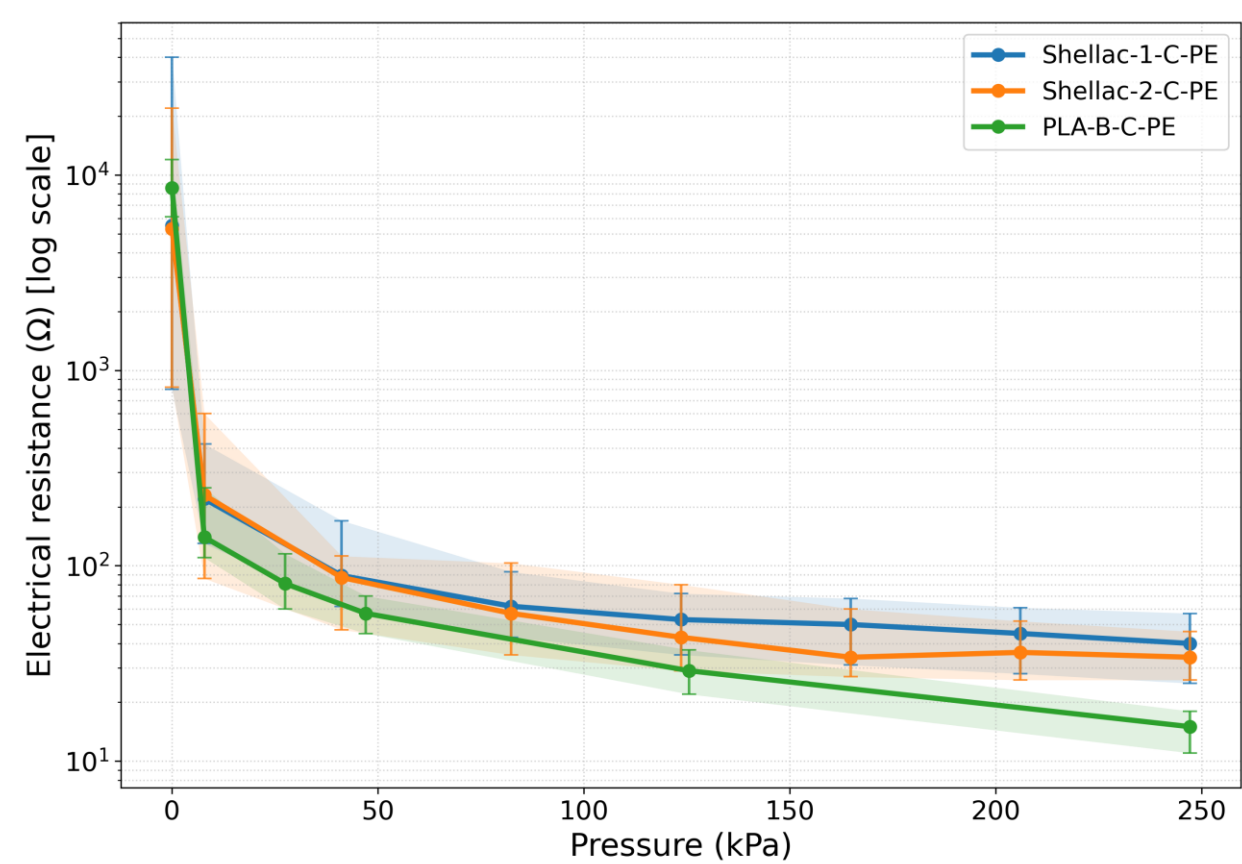
Performance piézorésistive

Test de pression sur une plage de :
24,5 → 318,8 kPa



Banc d'essai de Rachel Neveu

→ Les deux méthodes d'encapsulation donnent relativement la même allure que pour le PLA



Impression d'argent

Une piste conductrice en argent a été imprimée sur le shellac avec une **Voltera Nova**.



Paramètres d'essai :

vitesse 200
• pression 500
• hauteur 150
• gap 175

Cuisson :

45 °C – 4 h



Résultat :
remplissage et homogénéité satisfaisants

Conclusion et perspectives

Conclusion :

Le shellac constitue une alternative prometteuse aux substrats conventionnels pour l'électronique flexible.
Les capteurs sur shellac présentent une réponse piézorésistive comparable au PLA.

Limite principale : forte sensibilité à l'eau

Perspectives :

• Validation quantitative du séchage par suivi de masse.
• Étude de l'humidité et du vieillissement.
• Modification de formulation, notamment avec l'acide oléique.
• Analyse de cycle de vie et comparaison avec PLA / polyimide

Contexte :

Thèse : assistance du membre supérieur

- Robotique d'assistance :

Permettre aux personnes atteintes de troubles moteurs de préserver leur autonomie au quotidien.



prototype d'un exosquelette de pinch.

Stage : cas de la pronosupination

Pourquoi caractériser la raideur des tissus mous ?

- Problématique d'acceptabilité des exosquelettes : prévenir les lésions.
- L'interface humain-exo est à prendre en compte pour développer une stratégie de commande.

Objectifs :

- Mise en place d'un protocole d'indentation adapté à l'avant-bras
- Evaluation de la répétabilité et reproductibilité de ce protocole

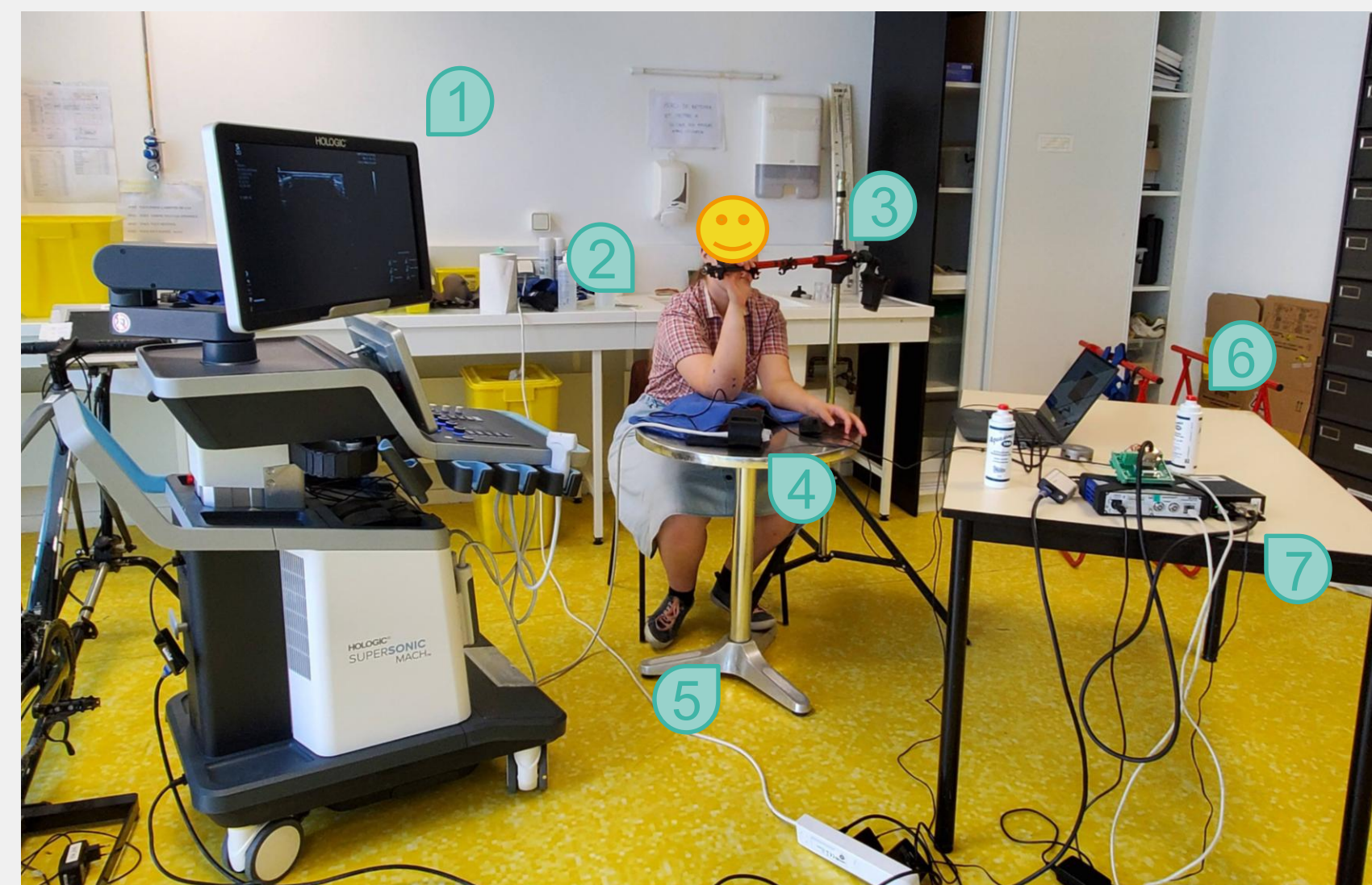
Démarche :

Indentation : protocole permettant d'évaluer la raideur d'un matériau en appuyant successivement sur un point avec un indenteur et en capturant les valeurs de force et de déplacement.

- Indentation à ultrason : méthode précise et non-invasive d'indentation.

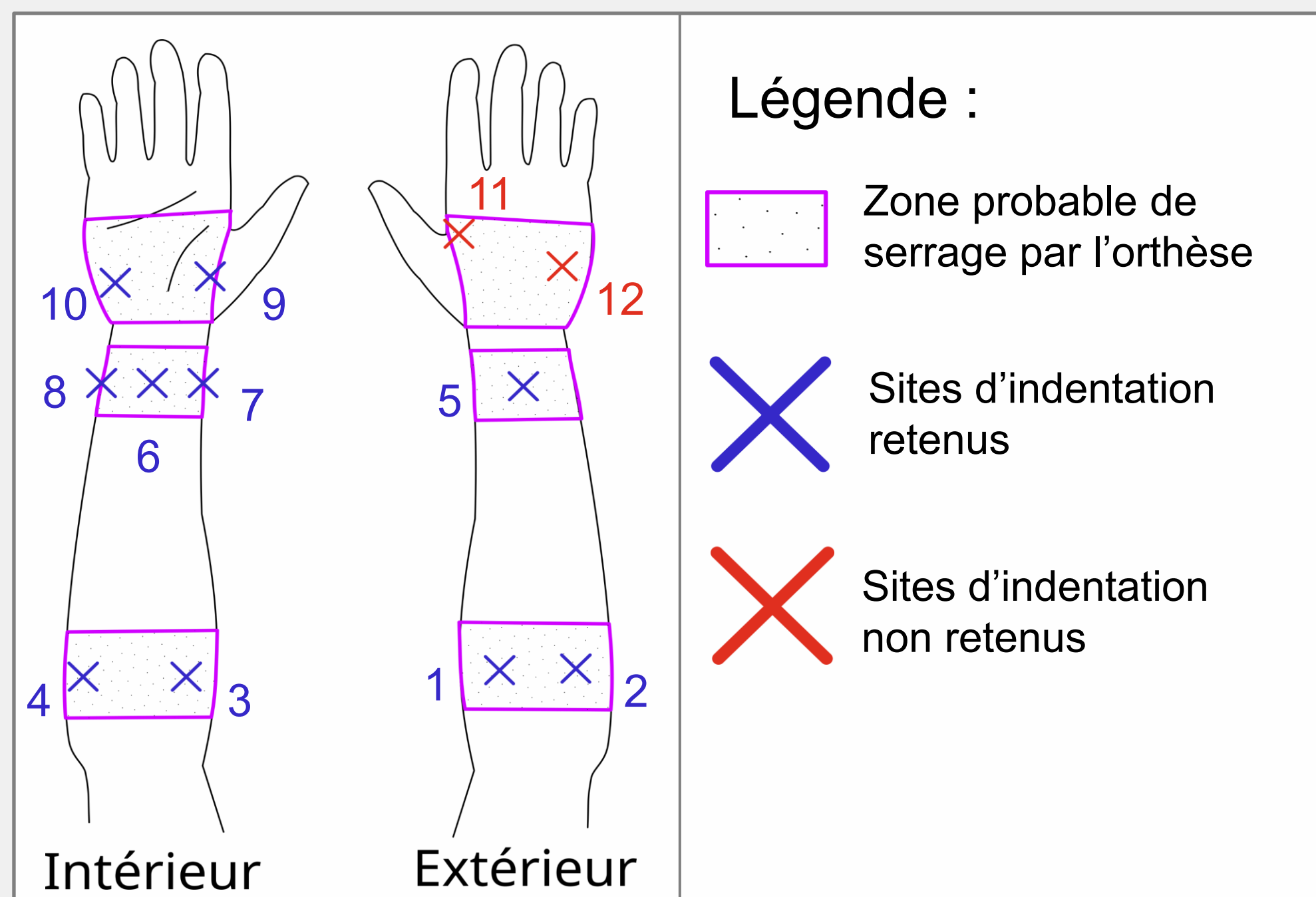
Matériel :

Photographie de la disposition d'une manipulation



- | | |
|---|--|
| 1. Echographe | 5. Table ronde |
| 2. Participant.e | 6. Gel |
| 3. Support de bras | 7. Dispositif de capture (hors échographe et capteur de force) |
| 4. Sonde échographique et capteur de force 6 axes | |

Protocole :



Localisation des sites d'indentation

Préparation :

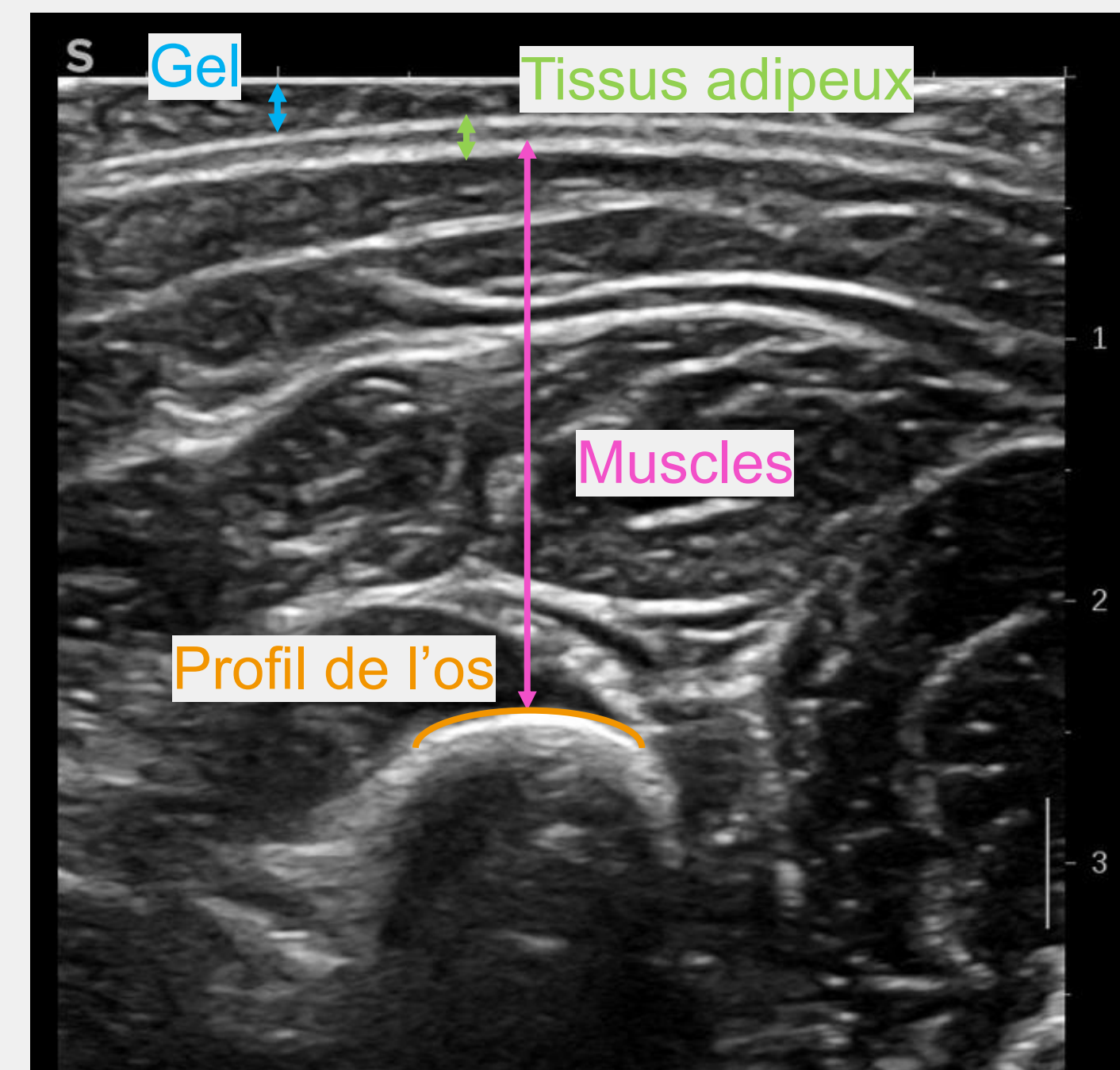
- Mesure de la longueur de l'avant-bras
- Marquage des sites d'indentation
- Réglage du support pour la main

Schéma du déroulé de l'expérience

Indentation :

Pour chaque site :

- Bras en pronation (P)
- Bras en supination (S)
- Bras en position neutre (N)



Exemple d'images capturées par l'échographe

Résultats :

Traitement des données expérimentales :

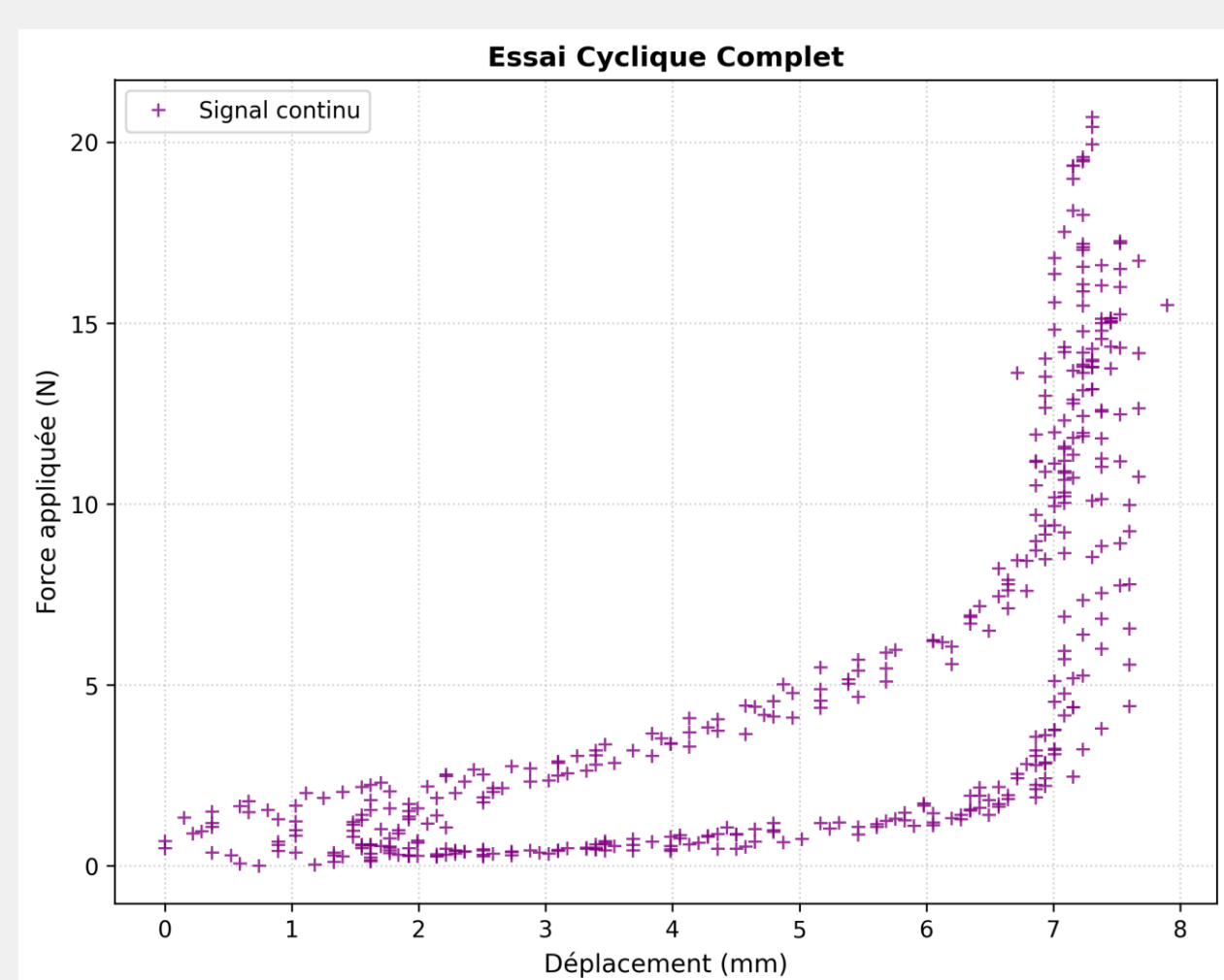


Bibliothèques openCV et scikit-image

Lecture des fichiers mesures de force

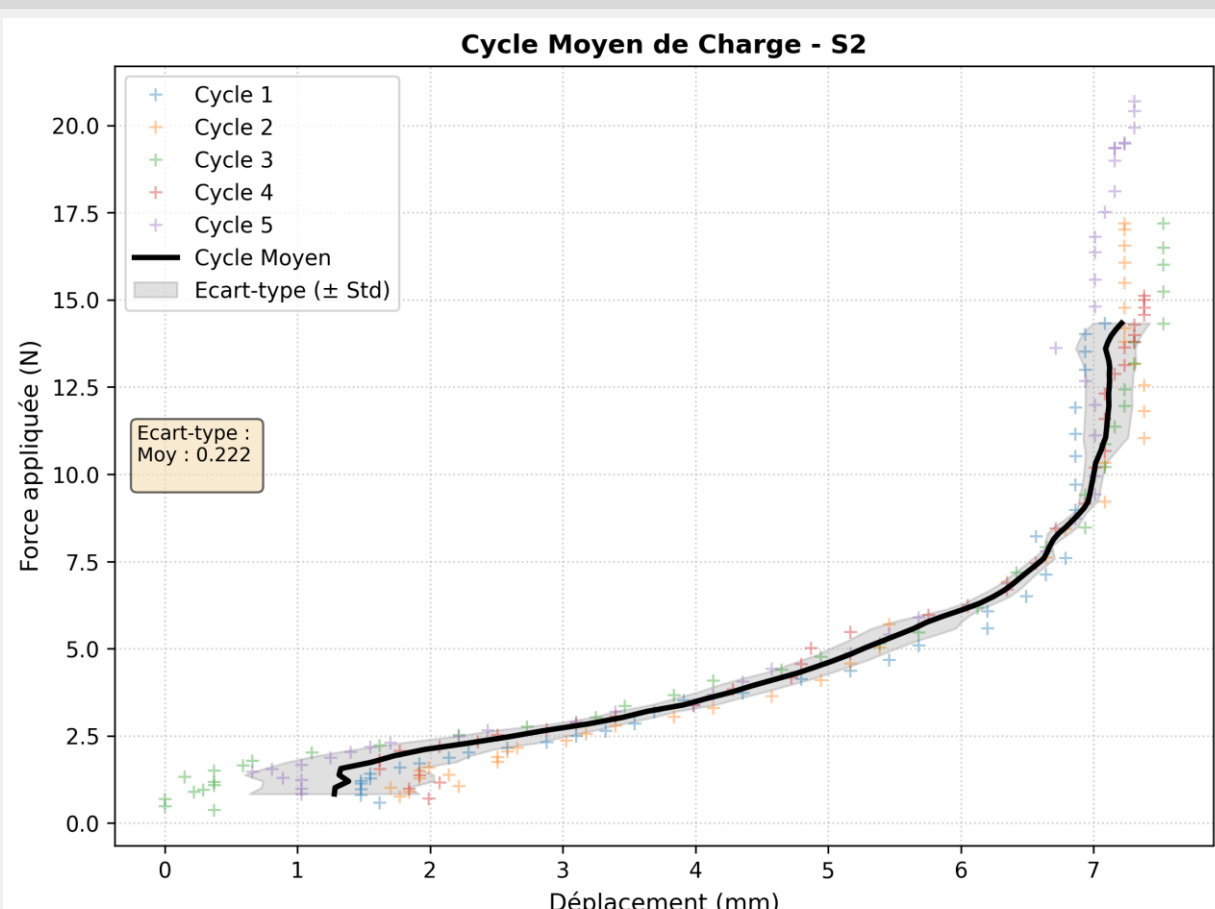


Pointage du sommet du profil de l'os automatisé par Python

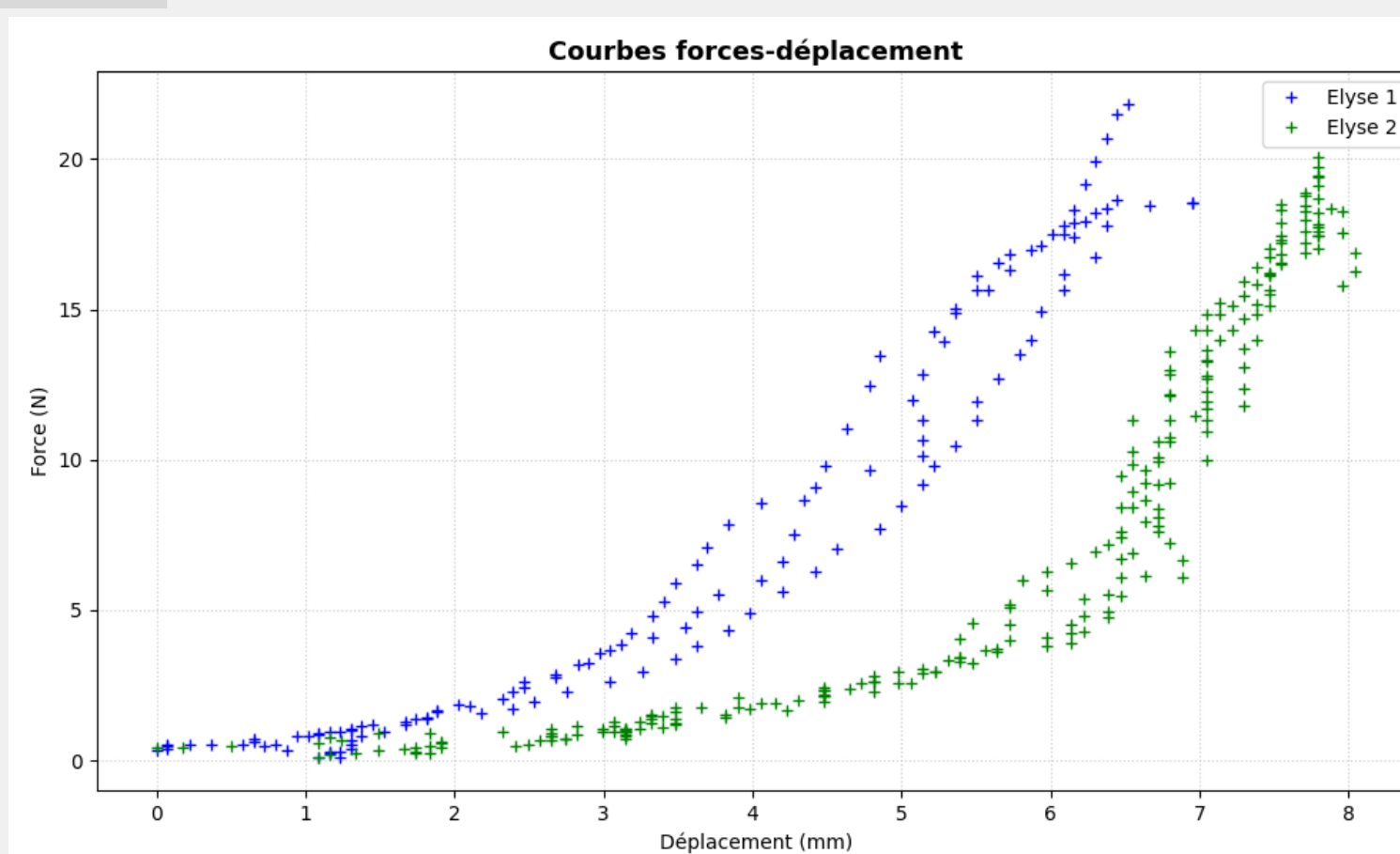


Courbe force-déplacement obtenue en S2

Analyse :



Comparaison sur chaque cycle de charge



Comparaison sur deux jours différents

Conclusion :

- On réussit à obtenir des courbes force-déplacement caractéristiques des tissus mous pour 10 sites d'indentation sur les 12 choisis.
- Bonne répétabilité du protocole d'une phase de charge à l'autre montrée par le faible écart-type entre les phases (cf la comparaison sur chaque cycle de charge).
- Protocole non reproductible temporellement (voir la comparaison sur deux jours différents).

Perspectives :

- Etudier l'influence de l'angle d'incidence des ondes sur la mesure de distance.
- Comparer la raideur des tissus en fonction du milieu (épaisseur relative par rapport à l'épaisseur maximale de tissus adipeux pour une personne, principalement muscles, principalement tendon, ...).
- Comparer la raideur des tissus mous entre sur un plus grand échantillon de personnes.

Contexte :

Les **robots continus** se déforment de manière distribuée sur toute leur longueur. Leur grande flexibilité leur permet d'accéder à des environnements confinés et de suivre des trajectoires complexes, notamment dans des applications médicales telles que **l'endoscopie ou la chirurgie mini-invasive**.

L'objectif est de concevoir et de simuler un robot capable de réaliser une courbure en S.

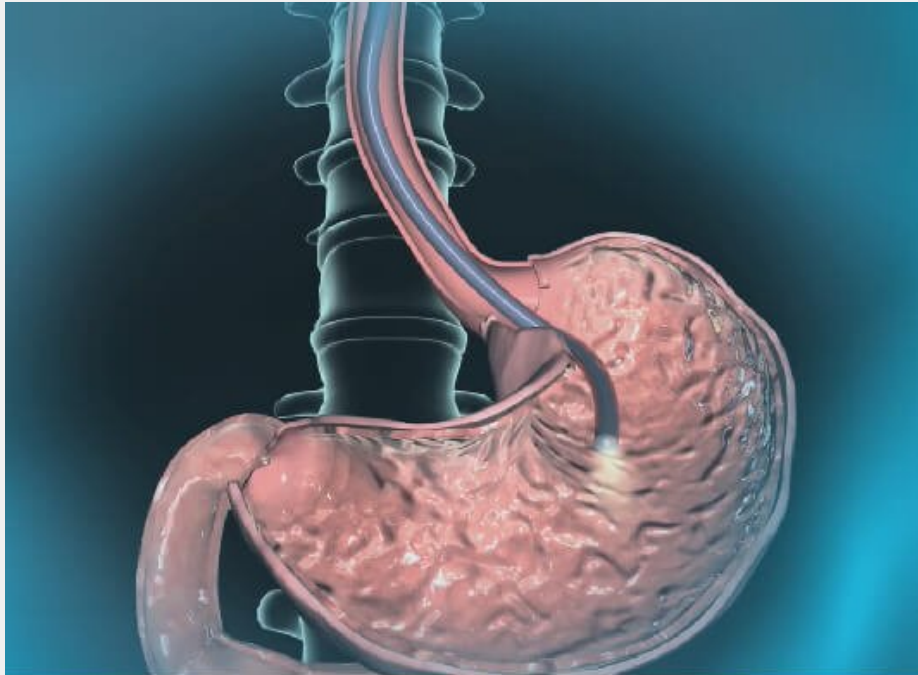


Figure 2 : Exemple d'application médicale d'un robot continu en endoscopie.



Figure 1 : Exemple de robot continu actionné par tendons
Source : Continuum Robotics Lab, University of Toronto

Problématique : Comment l'inversion du routage d'un tendon permet-elle de générer une courbure en S dans un robot continu ?

Du modèle de Cosserat au robot simulé :

La backbone est modélisée comme une tige continue dont la théorie de Cosserat décrit précisément les déformations (flexion, torsion et extension). Dans l'approche lagrangienne, le champ de déformation est approché à l'aide de fonctions de forme de Legendre :

$$\xi(X) - \xi_0 = \phi(X)q$$

Approximation du champ de déformation



$$Q_{ext} + Q_{act} - Kq = 0$$

Équilibre entre les efforts extérieurs, l'actionnement des tendons et la résistance élastique de la backbone.

L'étude s'est basée sur le papier de **Tummers et al., IEEE Trans. Robotics, 2023** — "Cosserat Rod Modeling of Continuum Robots from Newtonian and Lagrangian Perspectives"

Avec :

- * X : position le long de la backbone ;
- * $\xi(X)$: champ de déformation local ;
- * ξ_0 : déformation de référence ;
- * $\phi(X)$: fonctions de forme de Legendre ;
- * q : coordonnées généralisées décrivant la forme du robot.

Démarche :

Modélisation théorique

Théorie de Cosserat

Simulation Matlab

Calcul de la forme en fonction des efforts

Conception CAO

Disques, support, plateforme

Assemblage du prototype

Backbone, disques et tendons

Comparaison simulation / expérience

Assemblage du prototype :

Les disques de guidage maintiennent les tendons à distance constante de la backbone. Une plateforme de support assure le maintien de la base, la stabilité de l'ensemble et l'intégration future des actionneurs.

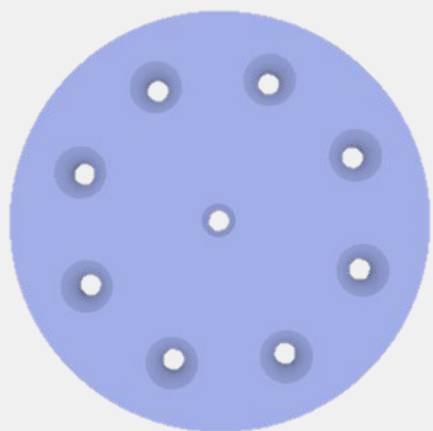


Figure 3 : CAO d'un disque de guidage. Les huit trous périphériques maintiennent les tendons autour de la backbone.

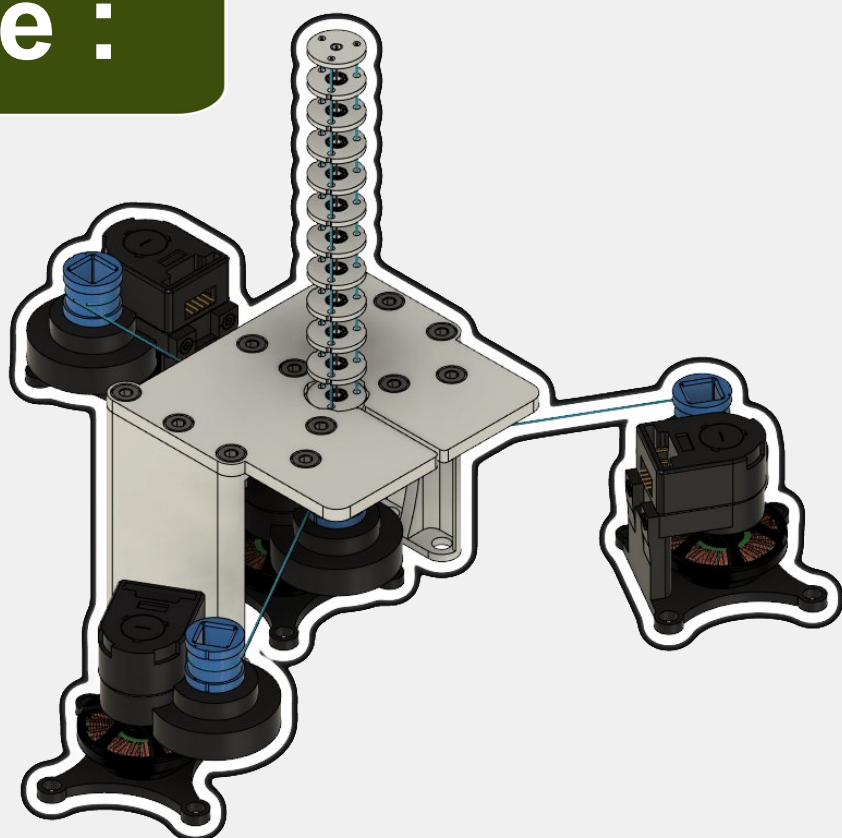


Figure 4 : Vue 3D de la plateforme expérimentale intégrant la backbone, les disques de guidage et les actionneurs des tendons

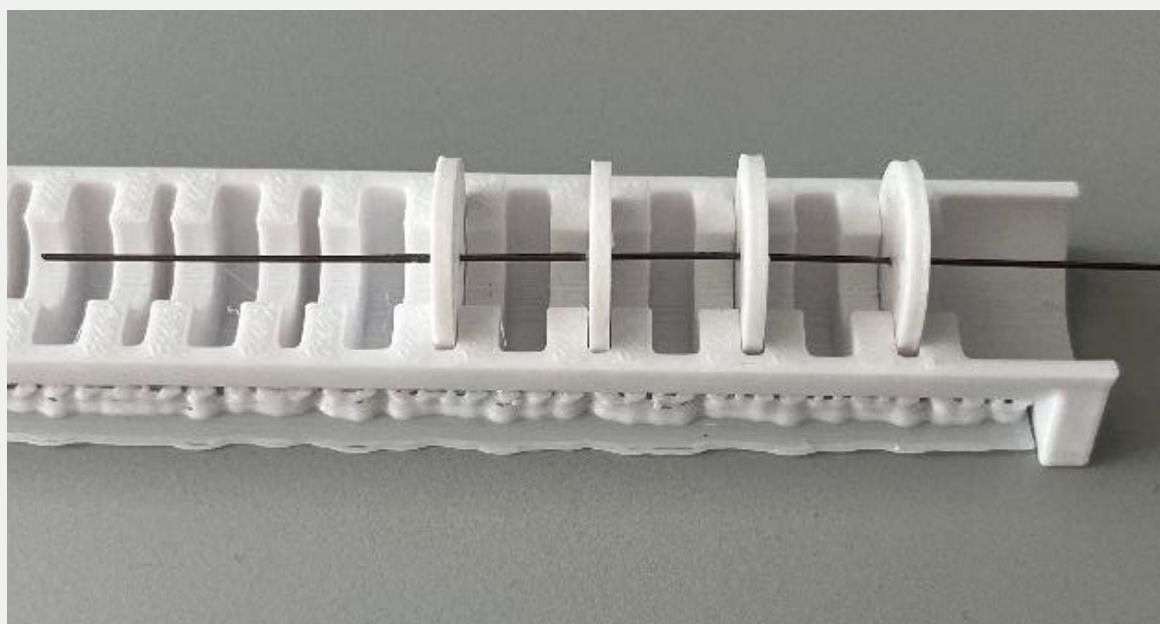


Figure 5 : Montage des disques de guidage le long de la backbone en Nitinol à l'aide d'un support d'assemblage.

Le module de Young de la backbone en Nitinol a été estimé expérimentalement par flexion d'une tige encastrée-libre. Une masse connue est suspendue à l'extrémité de la tige, puis on mesure la flèche δ :

$$\delta = \frac{mgL^3}{3EI}$$

Un routage inversé à un seul tendon a été retenu pour générer la courbure en S : les tendons changent de côté au niveau d'une zone de transition, ce qui inverse le sens du moment de flexion le long de la backbone et crée deux zones de courbure opposée.

Conclusion :

L'objectif est de concevoir une plateforme de robotique continue, depuis l'étude du modèle de Cosserat et son adaptation sous MATLAB jusqu'à la conception CAO et l'assemblage du prototype.

Les simulations obtenues permettent de prédire qualitativement la courbure en S du robot. La prochaine étape consistera à **comparer quantitativement** les formes simulées et expérimentales, puis à **motoriser** l'actionnement du tendon afin de contrôler la configuration du robot.

Résultats :

Sans tension appliquée, la backbone reste pratiquement droite. Le jumeau numérique reprend la géométrie du prototype et la disposition des disques de guidage.

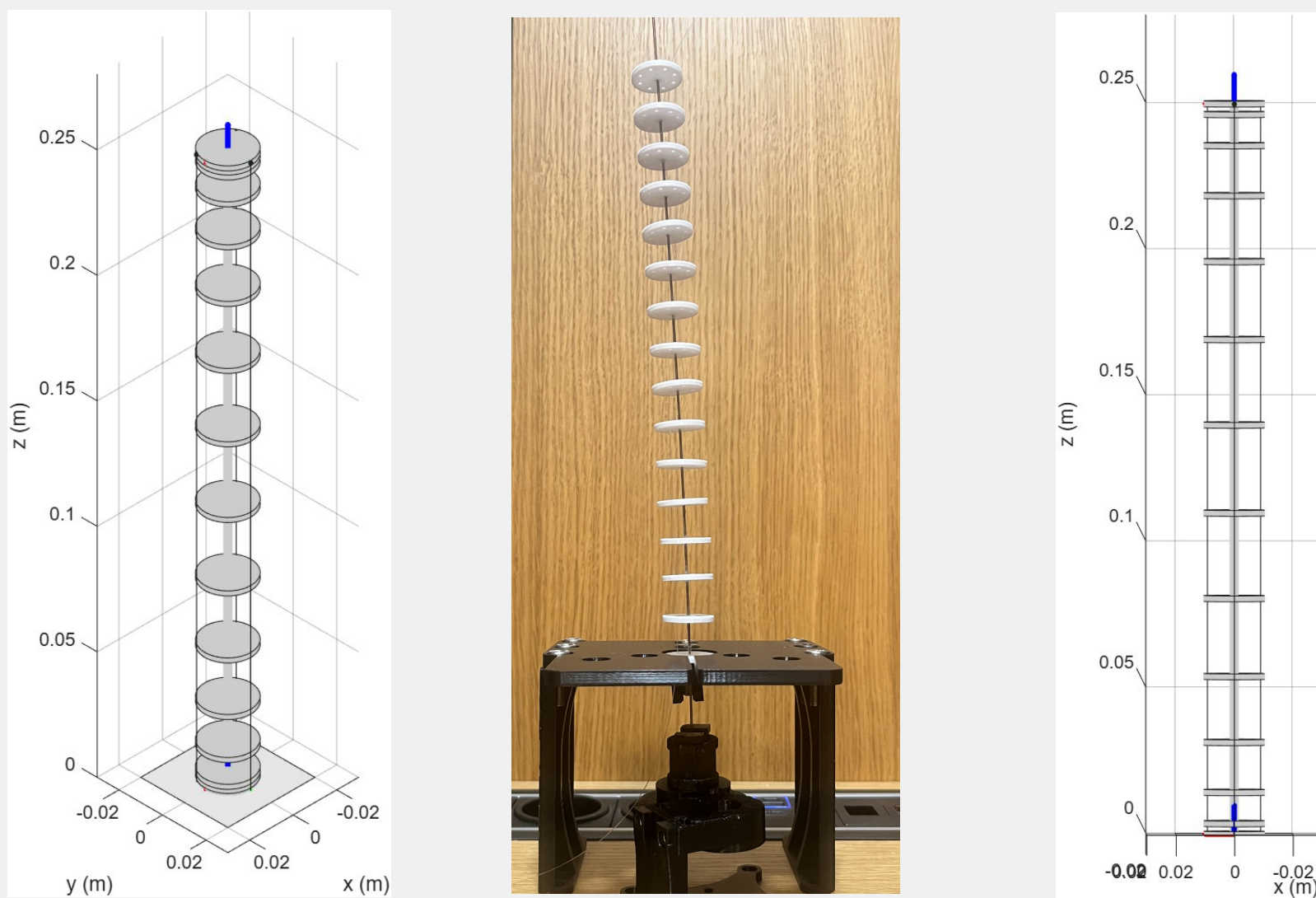


Figure 6 : Configuration initiale sans effort : comparaison entre le prototype réel et son jumeau numérique

Pour une tension donnée, l'inversion du routage entraîne un changement de signe de la courbure le long de la backbone. Le robot adopte ainsi une forme globale en S, que le modèle numérique permet de comparer à la configuration observée expérimentalement.

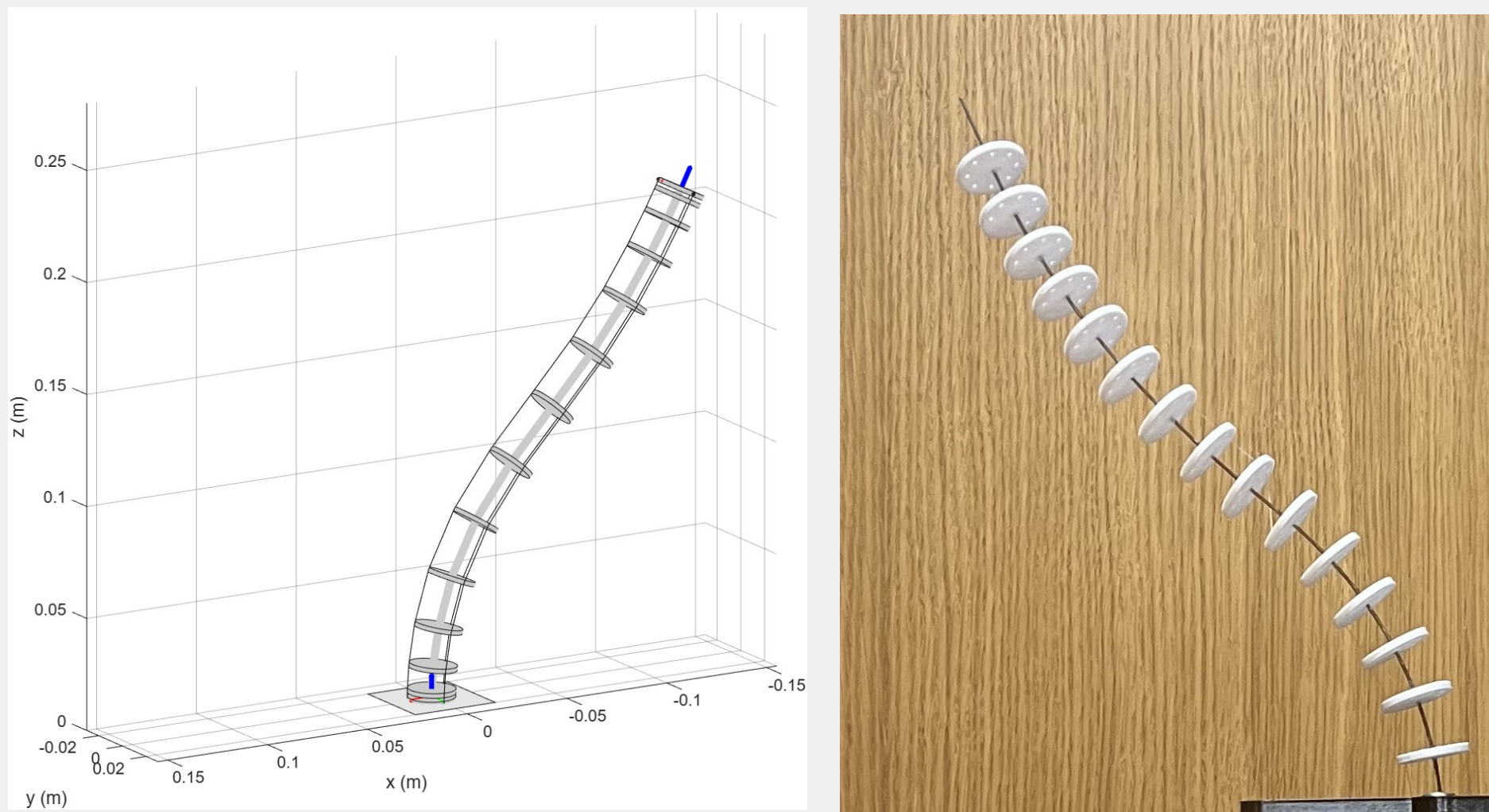


Figure 7 : Configuration sous tension : comparaison entre la déformation expérimentale et la prédiction du modèle pour une tension de 2 N.

Ces travaux constituent une première étape vers la comparaison entre le robot réel et son jumeau numérique.



Fig 1: Carte de la Polynésie française comparée à l'Europe

CONTEXTE

Alors que la variabilité climatique de l'océan ouvert est aujourd'hui bien documentée, la dynamique fine des lagons demeure largement méconnue. En Polynésie française, les lagons soutiennent des activités économiques majeures, telles que la perliculture à Mangareva, le tourisme et la pêche à Rangiroa et Tikehau. Ils abritent également des écosystèmes coralliens particulièrement vulnérables aux canicules marines, susceptibles d'entraîner le blanchissement des coraux. Combler ce manque de connaissances est donc essentiel pour améliorer la surveillance et contribuer à la préservation de ces écosystèmes face aux menaces climatiques croissantes. Ce travail vise à étudier la réponse du lagon aux forçages météo-océaniques s'exprimant à différentes échelles spatiales et temporelles.

La variabilité des lagons polynésiens reflète-t-elle celle de l'océan environnant ou révèle-t-elle une dynamique qui lui est propre ?

MÉTHODE

Analyse numérique de données environnementales

Sites d'étude



Fig 2: Cartes satellites des 3 atolls étudiés avec les emplacements des capteurs in situ

Données et outils numériques

ReefTEMPS : réseau de capteurs in situ, suivi haute fréquence de température dans les lagons et zones côtières du Pacifique

Période: mai 2018-juil 2024 (6 ans)

Validation de l'utilisation de MUR SST pour représenter la variabilité thermique du lagon

MUR SST (Multi-scale Ultra-high Resolution Sea Surface Temperature) : produit journalier de température de surface de la mer

(collaboration Tatiana Boube)
Période: janv 2018-juin 2025 (7 ans)

MJO (Madden-Julian Oscillation) : oscillation atmosphérique tropicale intra-saisonnière (30-60 jours) qui module vents, précipitations et rayonnement. Elle est caractérisée par une paire d'indice (OMI1, OMI2).

Pré-traitement des données + Analyse comparative lagon-océan

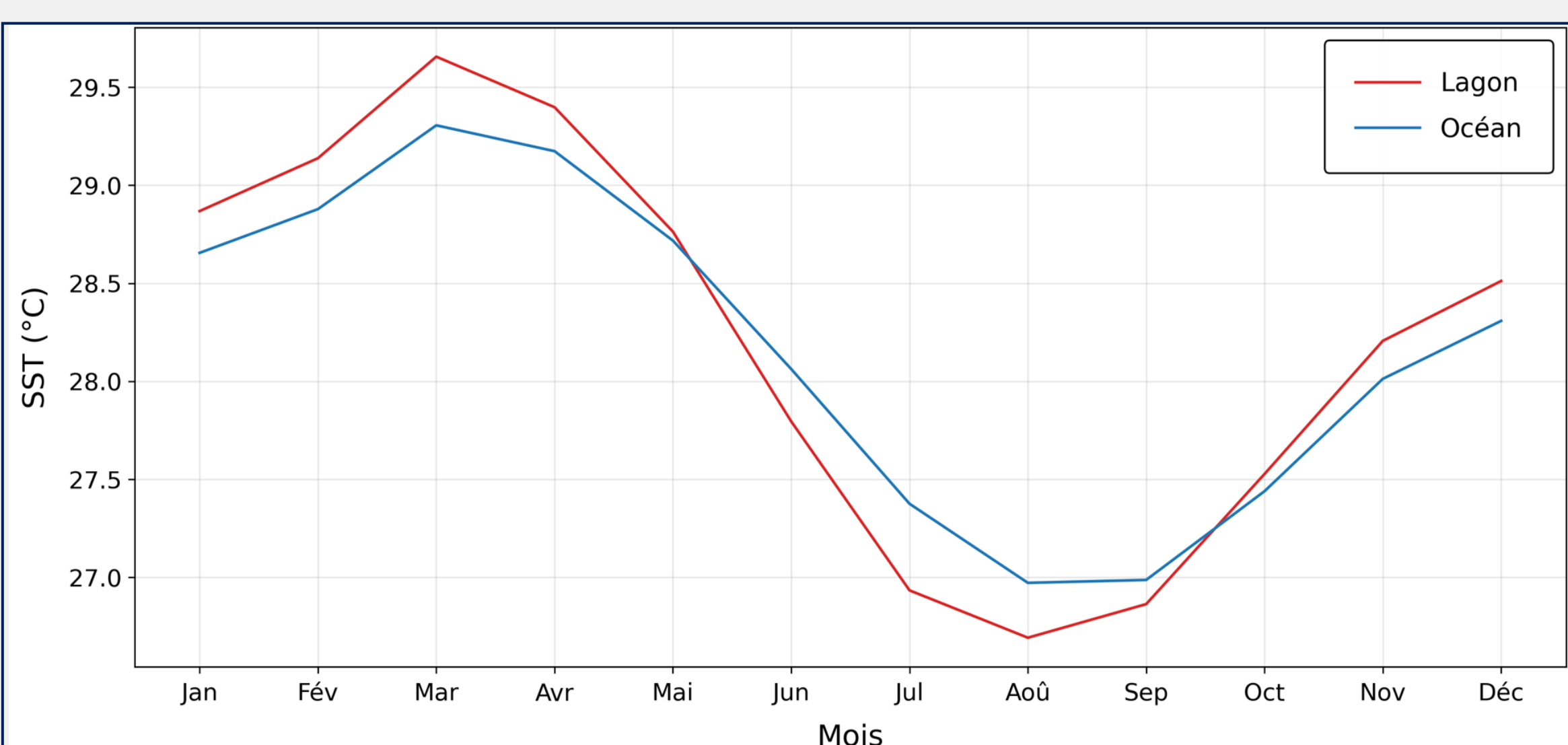
Cycles saisonniers + anomalies

Analyses spectrales

Corrélations + régressions linéaires

RÉSULTATS ET ANALYSE

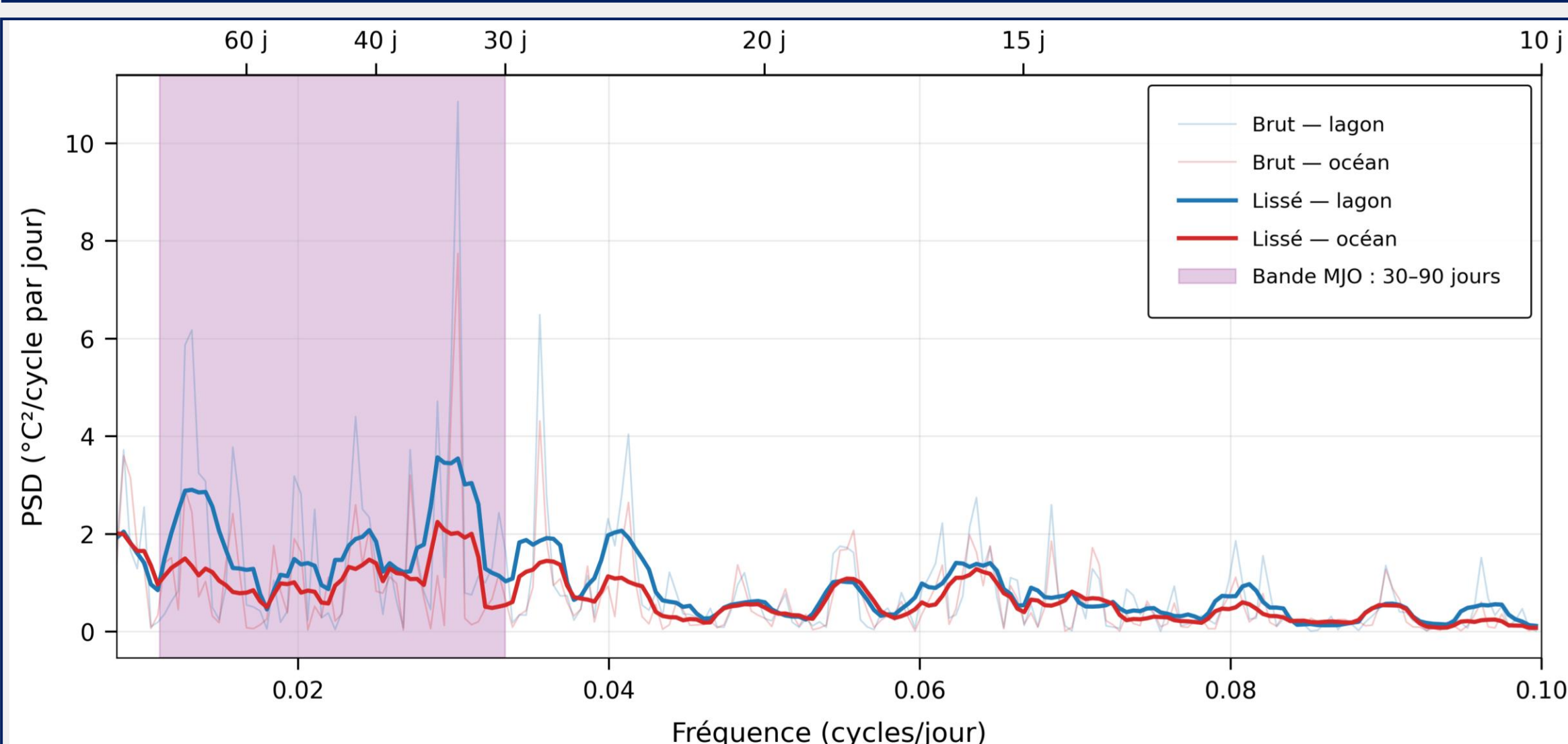
Variable étudiée : SST (données MUR SST)



→ Lagon se refroidit plus vite que l'océan en hiver austral (mai-octobre) et se réchauffe plus vite en été austral (novembre-avril)

→ Amplitude thermique + importante dans le lagon

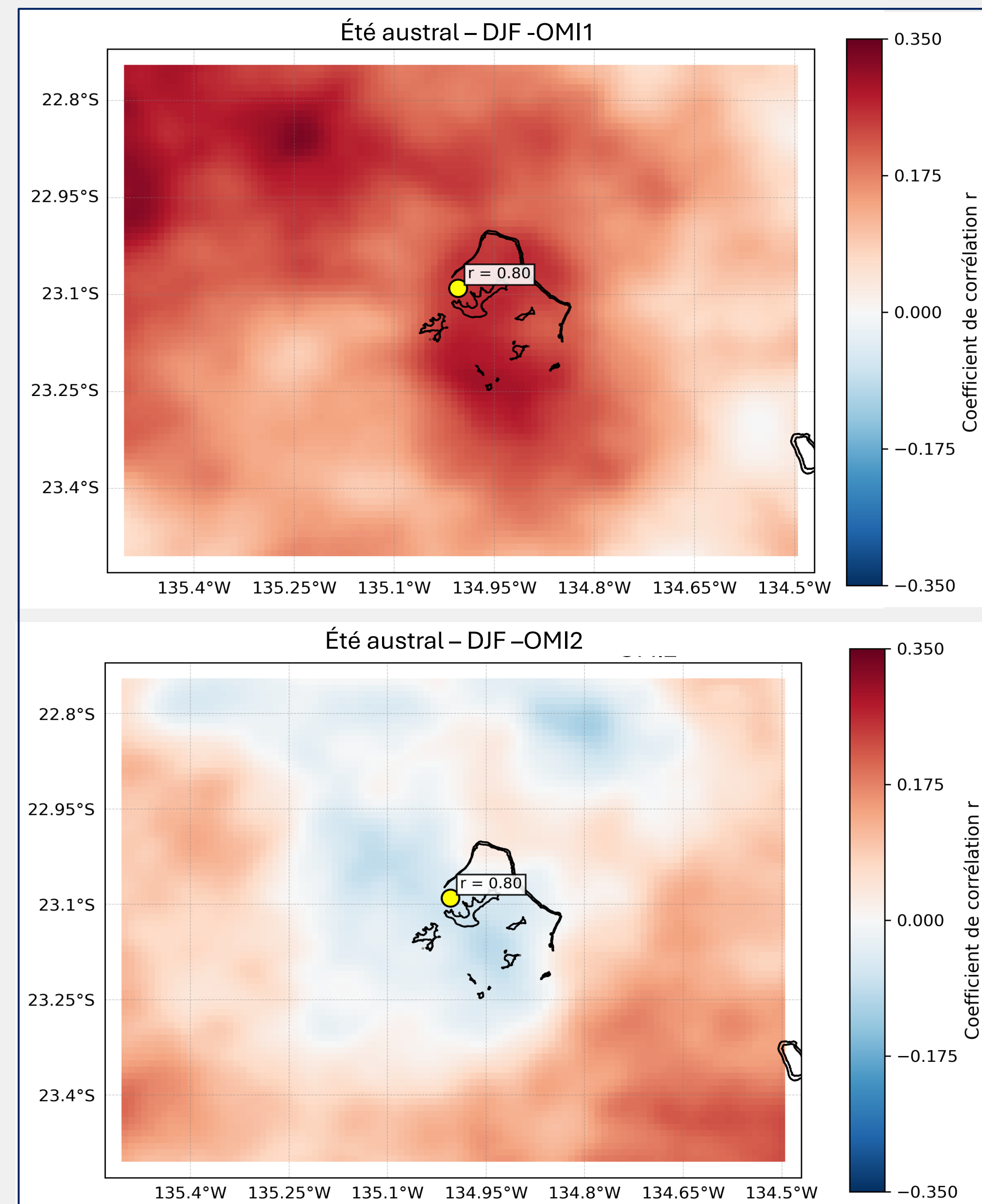
Fig 3.1: Cycle saisonnier mensuel - Rangiroa



→ Observation de 2 pics d'énergie à 35 et 75 jours

→ Énergie plus importante à l'échelle de temps de la MJO et dans le lagon

Fig 3.2: Densité de puissance spectrale des anomalies de SST - Rangiroa



→ Influence significative de l'indice OMI1 de la MJO sur la SST du lagon

→ Variabilité spatiale de la réponse océanique

Fig 3.3: Corrélations temporelles spatialisées MUR SST-OMI, anomalies de SST filtrées (20-96 jours)

r: corrélation entre les mesures in situ de température et celles de MUR SST

CONCLUSION

- Covariabilité entre les températures du lagon et de l'océan environnant (favorisée par les échanges d'eau à travers les passes et la houle franchissant le récif)
- Variation de l'intensité et de la réactivité du lagon selon sa géomorphologie:
 - Mangareva : lagon grand + ouvert → contrastes moins marqués
 - Tikehau: lagon petit + fermé → réponse plus rapide que l'océan
 - Rangiroa: lagon grand + fermé → réponse plus lente que Tikehau mais dynamique semblable
- Influence significative de la MJO sur la SST de ces lagons

Les lagons ne sont ni totalement indépendants ni de simples reflets de l'océan : leur réponse résulte d'une interaction lagon-océan modulée par leur géomorphologie

PERSPECTIVES

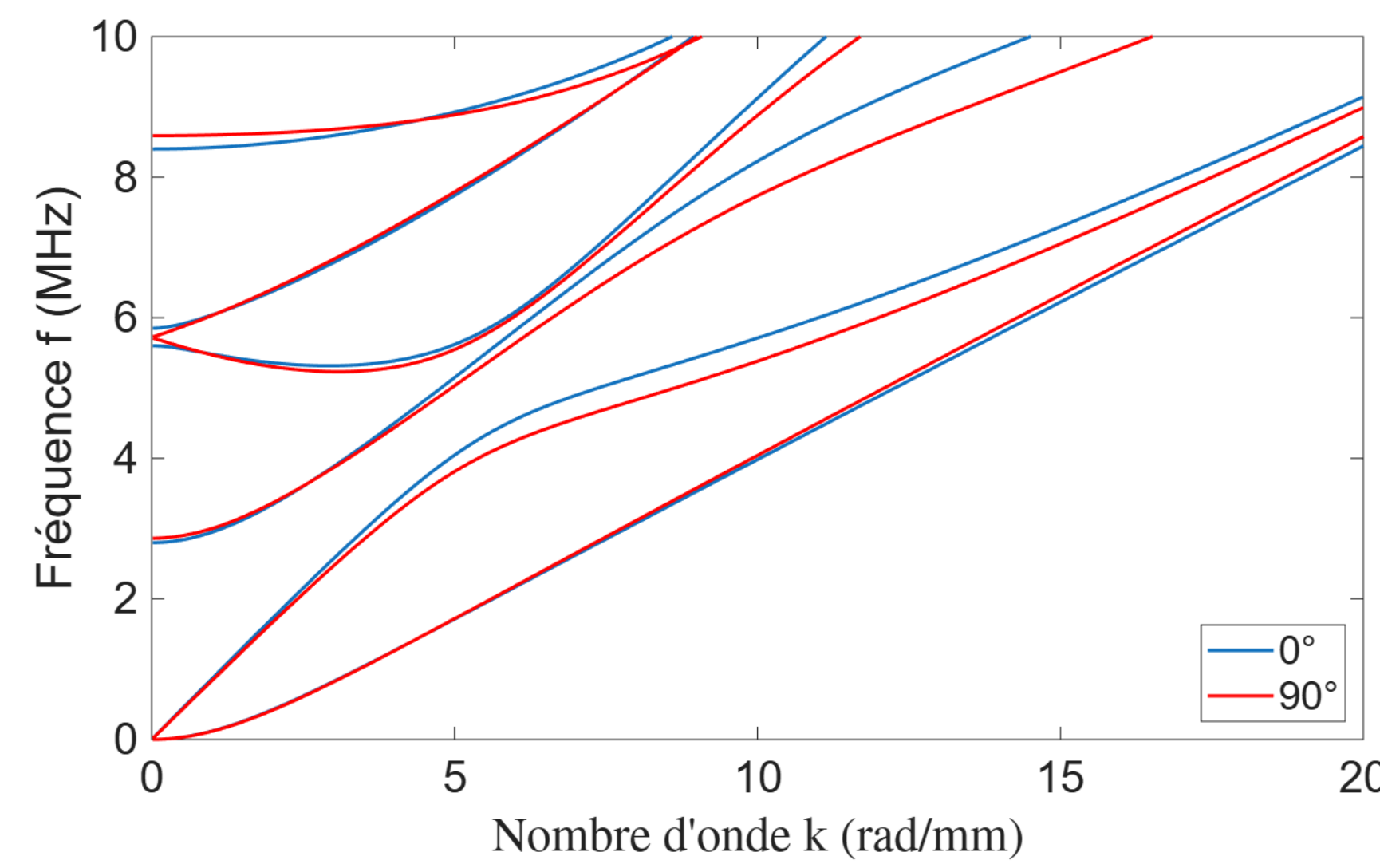
- ⚠ Limites de l'étude : lacunes d'observations in situ + durée limitée séries disponibles !
- Thèse à venir : *Dynamique biophysique des lagons, réponse aux forçages grande-échelle et impact sur la reproduction des huîtres* → étendre l'étude à l'impact del Niño/ la Niña
- Satellite SWOT : mesures hautes résolutions du niveau de la mer
- Étude de la variabilité intra-lagon pour Rangiroa (plus grand atoll de Polynésie)

Ouverture : Généralisation des résultats pour la centaine de lagons polynésiens ?

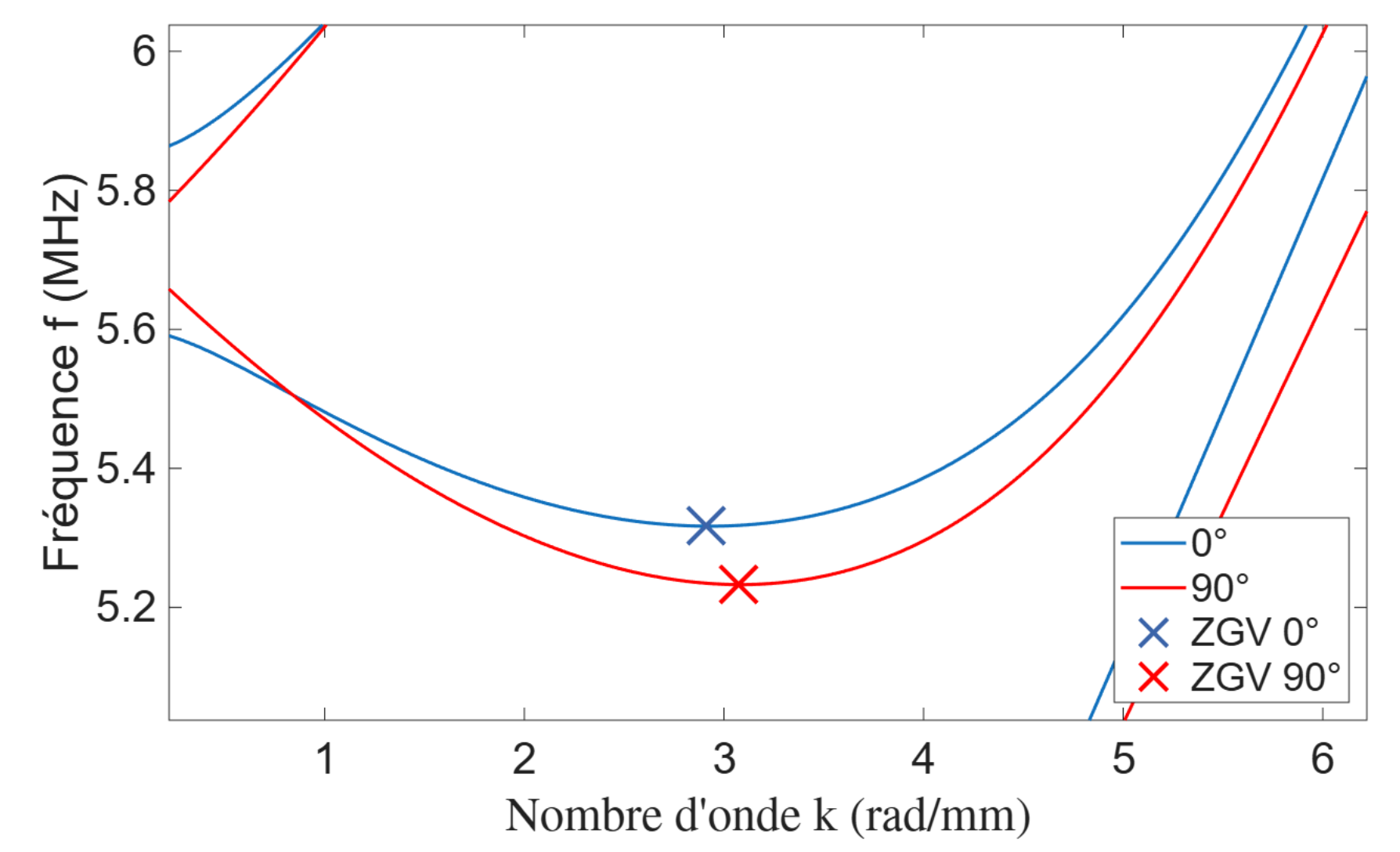
Contexte

- **Besoin** : Contrôler le champ acoustique généré par un laser pour étudier un mode de Lamb choisi arbitrairement afin de caractériser une plaque (épaisseur, anisotropie, paramètres élastiques...).
- **Idée** : Combiner un laser continu modulé en intensité à une fréquence et un Modulateur de Lumière Spatial (SLM) pour façonner la source laser, afin de sélectionner un couple (f, k) particulier sur les courbes de dispersions.
- **Remarque** : Les modes à vitesse de groupe nulle (ZGV) sont particulièrement intéressants car sensibles aux paramètres locaux.

$$\text{Zero Group Velocity} \iff v_g = \frac{df}{dk} = 0$$



Courbes de dispersion dans un acier anisotrope



Zoom sur les modes de Lamb ZGV

1 Façonnage de la source laser

- **SLM** = millions de pixels dont on contrôle le retard de phase.
→ Matrice de 1080x1920 micromiroirs adressables électriquement, qui permet de déphaser localement la phase d'un faisceau de lumière qui se réfléchit dessus.

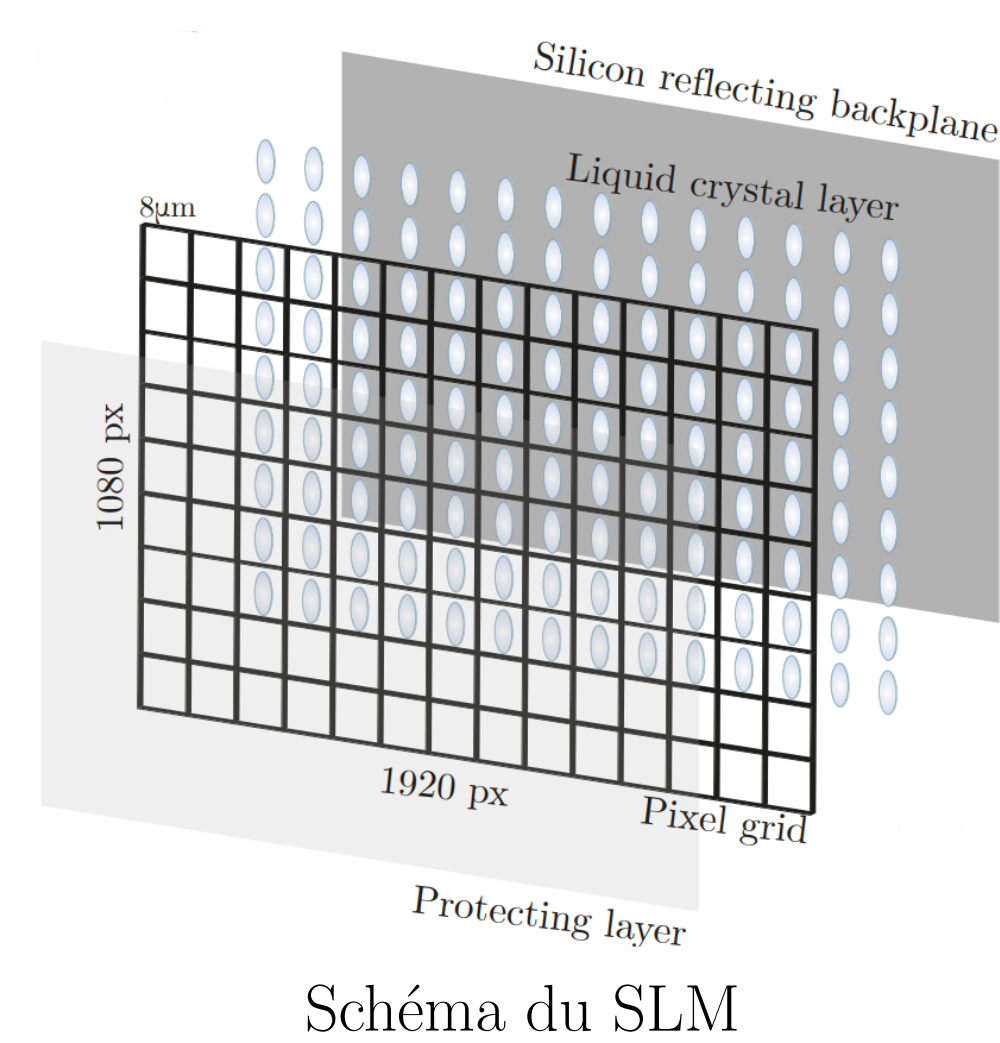
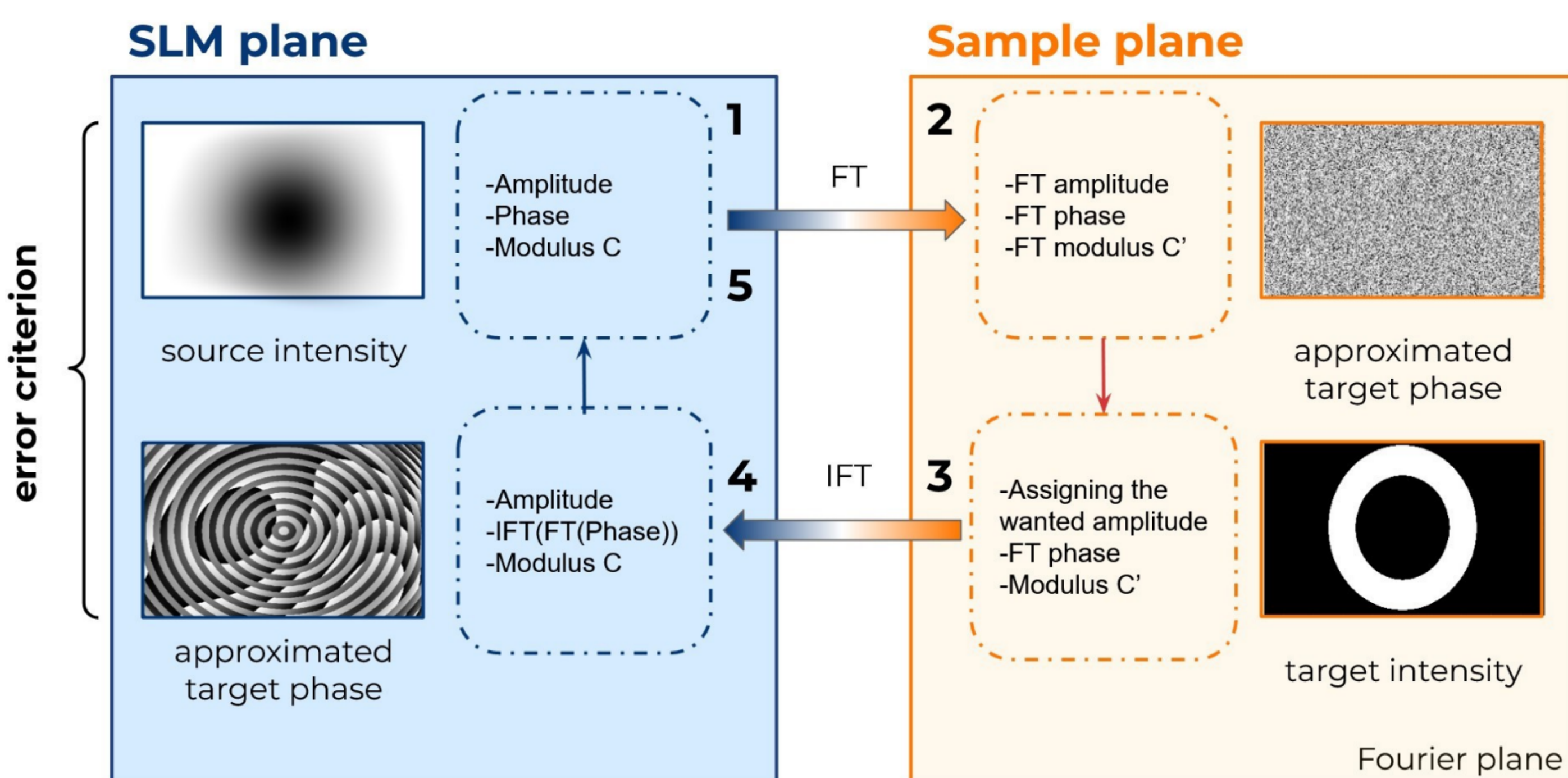


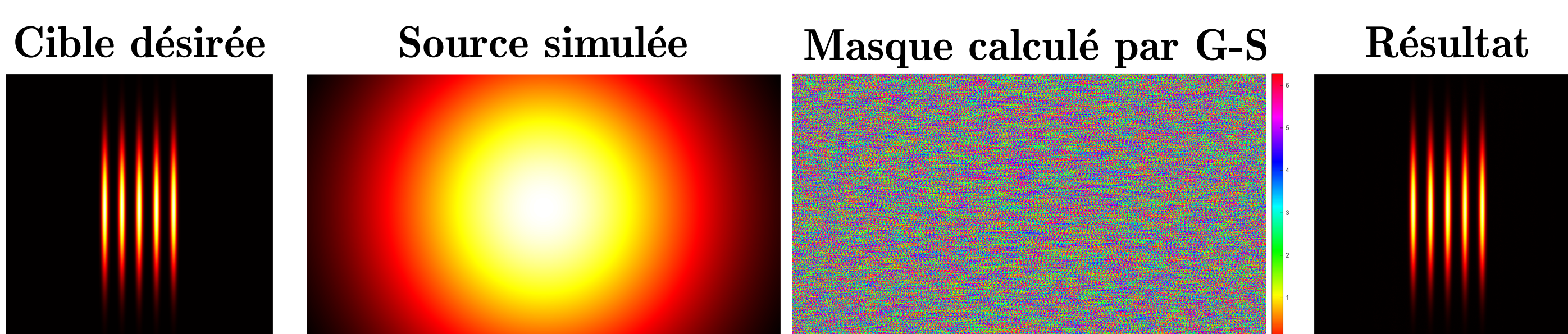
Schéma du SLM

- **Algorithme itératif de Gerchberg-Saxton** : permet de déterminer le masque de phase à appliquer sur le SLM selon la forme de la source laser souhaitée sur la plaque.



Principe de l'algorithme de Gerchberg-Saxton (G-S)

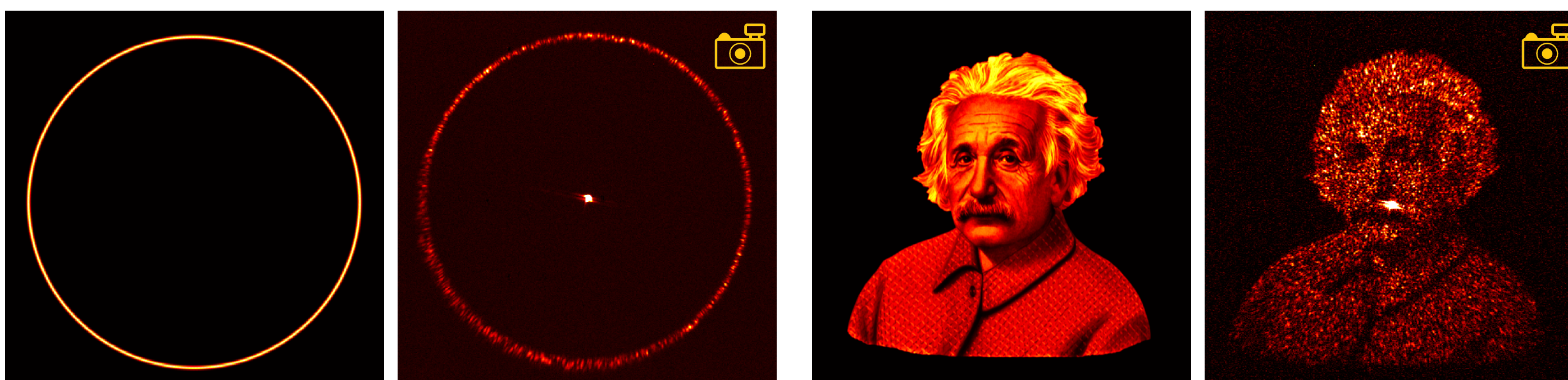
- **Mon travail** : Réalisation d'un programme permettant de déterminer le masque de phase à donner au SLM pour former la cible souhaitée sur la plaque.



Cas d'un réseau de 5 lignes, la cible reconstruite à partir de la source et du masque est fidèle à celle désirée

2 Réalisation expérimentale : caméra IR

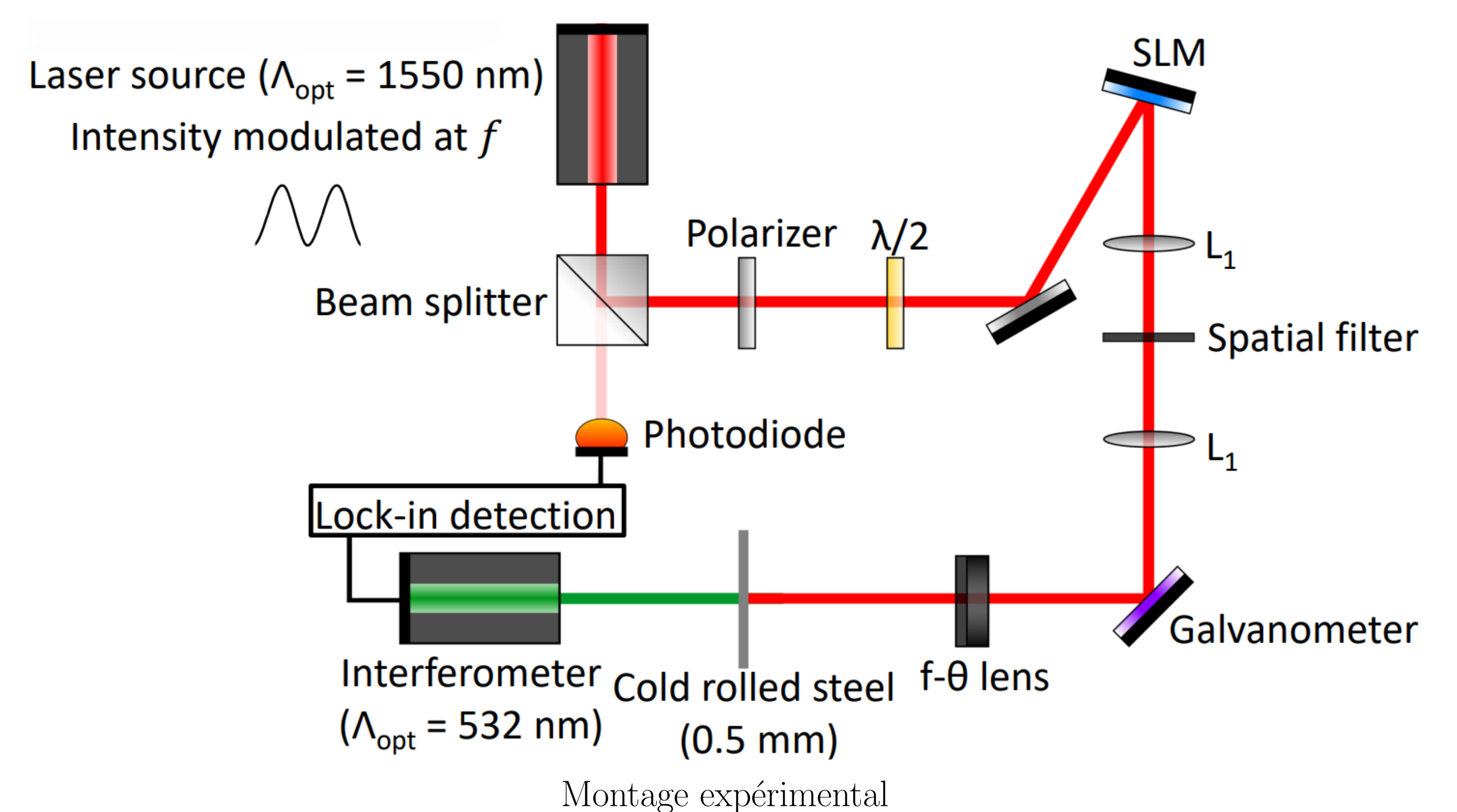
- Exemples de captures caméra (dans le plan de la plaque) :



Deux exemples de cible-désirée/image-caméra pour un anneau et une image d'Einstein

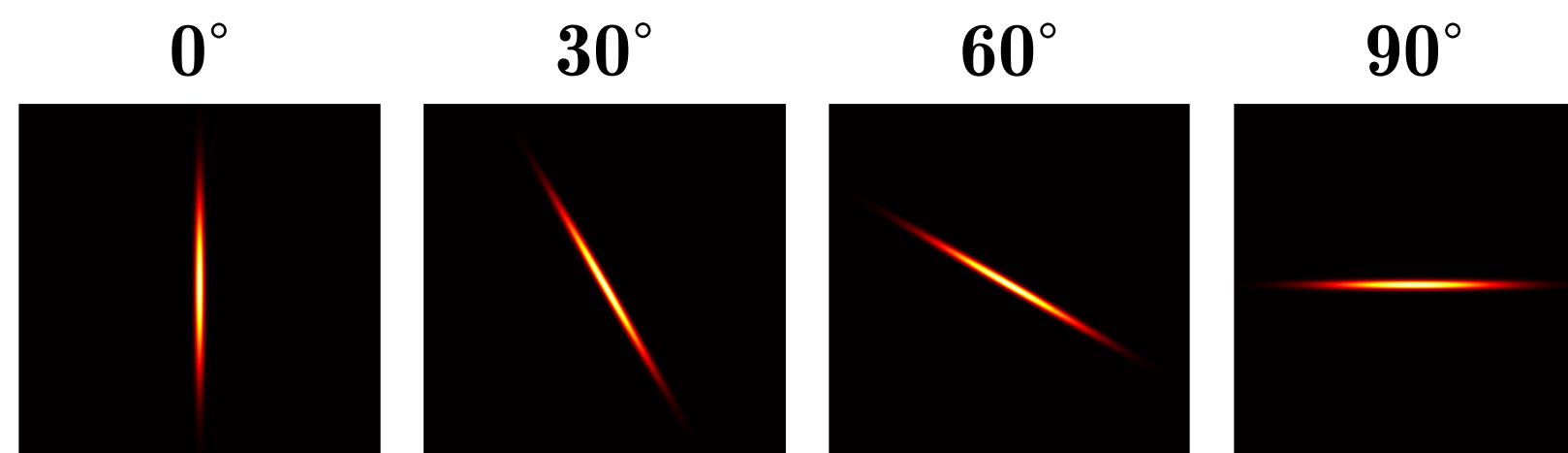
3 Caractérisation de l'anisotropie d'un acier

- **Montage** : Plaque étudiée → acier anisotrope laminé à froid, 500 μm d'épaisseur.

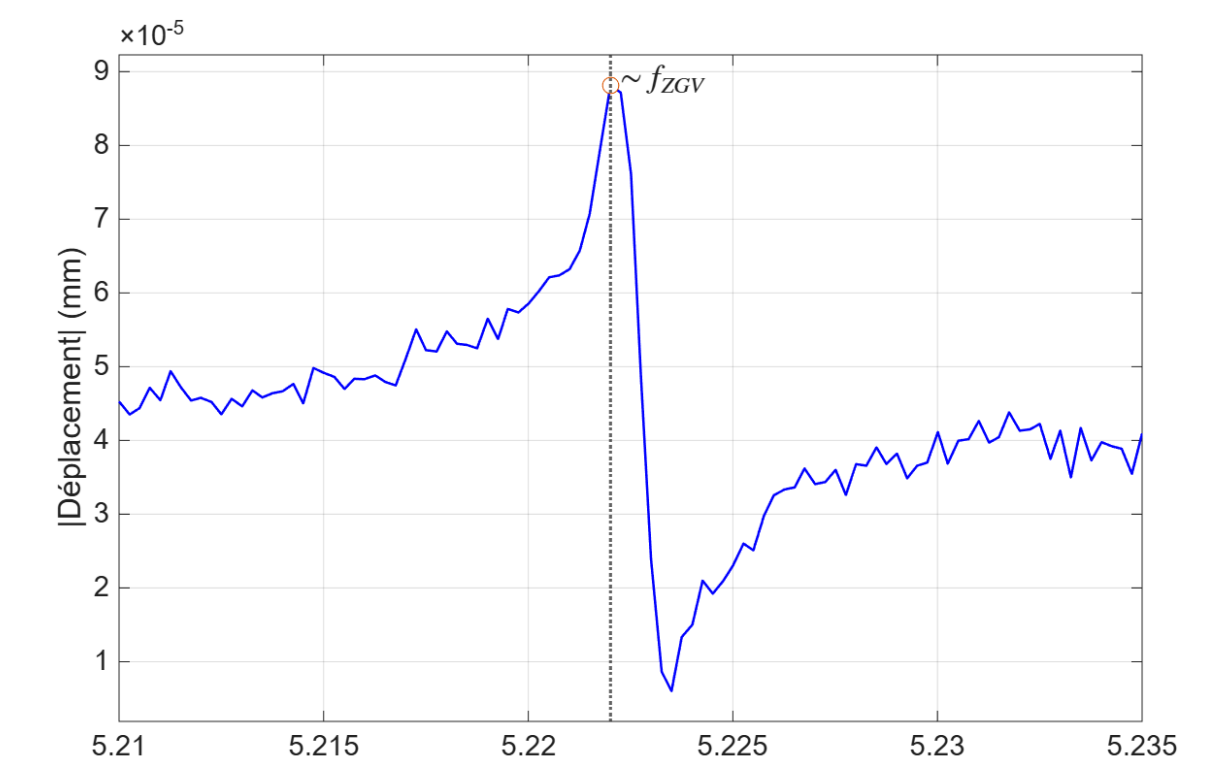


Montage expérimental

- **Protocole** : Une ligne source permet d'orienter la direction de propagation. Avec le SLM, on forme et tourne la ligne source autour de son centre par pas de 2°.

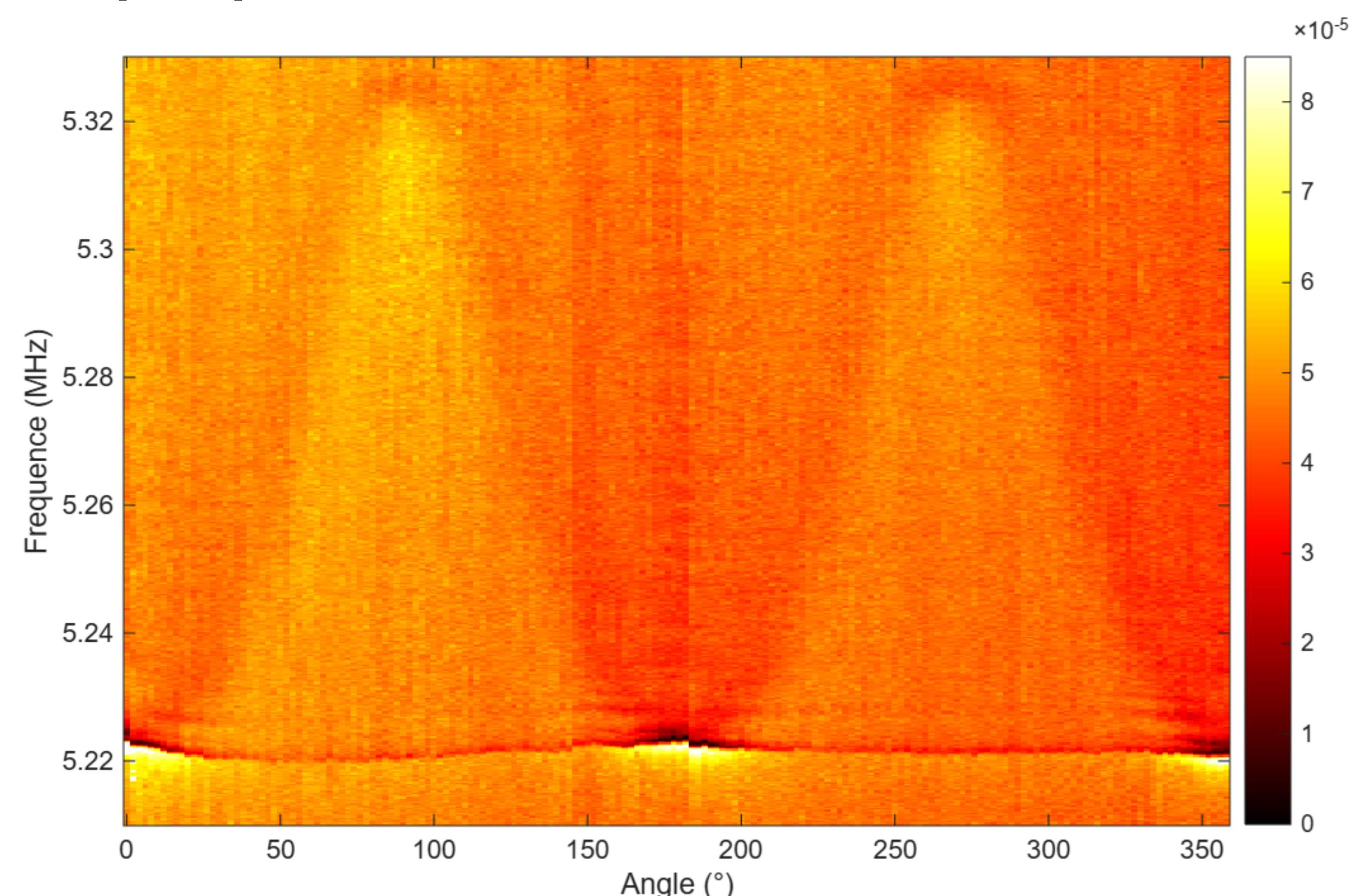


Exemples de ligne source orientée



Scan fréquentiel pour une ligne source à 0°

Pour chaque angle, un scan fréquentiel est réalisé : le déplacement est mesuré pour $f \in [5.21, 5.33]$ MHz, avec un pas fréquentiel de 250 Hz.



Évolution de la fréquence de la résonance ZGV en fonction de l'orientation de la ligne

- **Résultat** : La fréquence ZGV évolue : l'acier est effectivement anisotrope.
→ Période de 180° : l'acier est potentiellement orthotrope.

Conclusions & Perspectives

Conclusions :

- La mise en forme de la source par l'algorithme de Gerchberg-Saxton permet de contrôler la direction de propagation et de sélectionner librement un mode : objectif atteint.
- Le façonnage arbitraire de la source permet de caractériser l'anisotropie d'un matériau. La méthode utilisée peut être appliquée à d'autres plaques.

Perspectives :

- Réseau de lignes : déterminer la meilleure configuration type-longueur-nombre.
- Sélectionner 2 modes simultanément (e.g. source en forme de croix).
- Créer l'ensemble des sources pour mesurer la matrice de transmission d'un matériau.

MODÈLE NUMÉRIQUE DU COMPORTEMENT MÉCANIQUE DES VERRES MÉTALLIQUES

Efflam COHELEACH encadré par Yann GUEGUEN

Contexte :

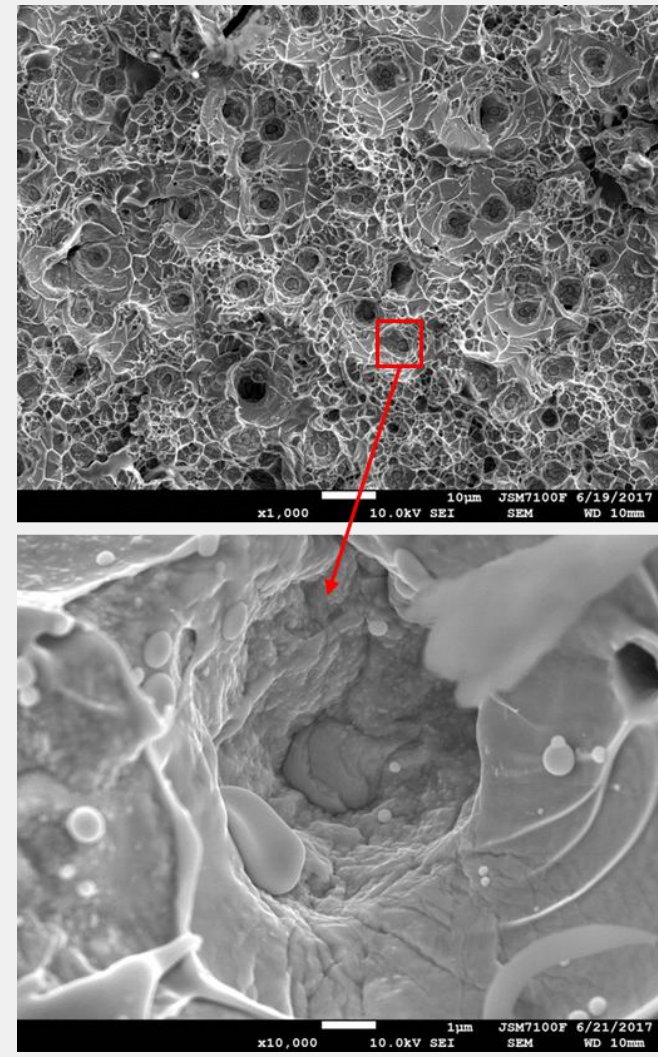
On observe un regain d'intérêt pour la modélisation du comportement mécanique non-linéaire des matériaux amorphes, notamment les verres métalliques. Ce stage porte particulièrement sur les shear transformation zone ou zone de transformation par cisaillement, nommé stz. Dans les matériaux amorphes, sous l'effet d'une sollicitation mécanique, on peut observer l'apparition de bandes de cisaillement induite par un réarrangement plastique à l'échelle mésoscopique d'une partie des atomes, entre 10 et 100, composant le matériau.

Objectif :

L'objectif de ce stage est de créer un modèle numérique 3D dynamique du comportement mécanique d'un verre métallique.

Ce stage est une étude préliminaire à une thèse qui a débutée en octobre 2026. Elle a pour but d'établir un modèle numérique du comportement d'un verre métallique pour des impacts et des chocs hypervélocs, >km/s.

Stage en collaboration avec Aurélien CANNIC.



Méthode :

1 Probabilité d'activation d'une stz :

$$\dot{\epsilon}_i = f_d \exp \left[-\frac{v_0}{k_B T} (CG\gamma_0 + 0.5(\dot{\epsilon} - \tau_{max,i})) \right]$$

Choix d'une stz à déformer avec KMC, kinetic Monte Carlo :

$\dot{\epsilon}_{tot}$
$\dot{\epsilon}_n$
$\dot{\epsilon}_{n-1}$
$\vdots$
$\dot{\epsilon}_5$
$\dot{\epsilon}_4$
$\dot{\epsilon}_3$
$\dot{\epsilon}_2$
$\dot{\epsilon}_1$

Nombre aléatoire tel que, $\xi_2 \in]0,1]$

2 Déformation plastique de la stz :

$$\bar{\epsilon}_p = \begin{bmatrix} \gamma_0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \gamma_0 \end{bmatrix} \bar{e}_I \bar{e}_{II} \bar{e}_{III}$$
$$\bar{\epsilon} = P \bar{\epsilon}_p P^T$$

3

4

Le temps pas de temps :

$$\Delta t_j = -\frac{\ln(\xi_1)}{\dot{\epsilon}_{tot}}$$

Nombre aléatoire tel que, $\xi_1 \in]0,1]$.

On répète l'opération autant de fois que l'on veut. En parallèle on vient compresser l'échantillon tel que $\dot{\epsilon}_{yy} = \alpha s^{-1}$.

Cast3M

Mésoscopique

Résultats, analyse :

2D

Statique

3D

Dynamique

Conclusion, synthèse, perspectives :

Pour conclure, notre algorithme de simulation 3D statique de la compression d'un cylindre de verre métallique fonctionne et nous permet de retrouver les résultats expérimentaux attendus. Mais lors du passage en dynamique de ce même algorithme, on observe un phénomène complètement différent de celui escompté.

L'objectif à long terme de ce projet de recherche est de simuler des impacts de l'ordre de quelque km/s, il faut donc absolument trouver un moyen de faire fonctionner la dynamique. Pour l'instant le plus gros problème de la dynamique est que la probabilité qu'une stz soit choisie évolue avec le front de propagation de l'onde de contrainte, ainsi il n'y a pas de localisation sur une bande de cisaillement particulière. Une autre perspective intéressante serait de permettre une casse le long de la bande de cisaillement, afin d'éviter de ce retrouver dans la situation de la troisième partie de la simulation en 3D statique.

Conception et fabrication d'un bras robotisé pour la caractérisation de capteurs pour l'estimation d'angles articulaires

Elouen LE BERRE + encadré par Corentin Depontailier *
+elouen.le-berre@ens-rennes.fr; *corentin.depontailier@ens-rennes.fr

1. Introduction

La caractérisation des mouvements du membre supérieur constitue un enjeu majeur par la rééducation fonctionnelle et le pilotage des exosquelettes. Dans ce contexte, de nombreuses technologies ont été développées pour mesurer l'angle articulaire [Zhenyu Shuai, Anqi Dong, Haoyang Liu, Yixiong Cui, 2022]. Cependant, leur déploiement reste limité par plusieurs contraintes : les bancs de flexion génériques ne reproduisent pas fidèlement la cinématique du coude humain [Saggio et al, 2021], les prototypes à vocations pédagogique présentent une robustesse mécanique insuffisante [Lassoued et al, 2025 ; Kayihembako Muthethe et al, 2021], tandis que les solutions commerciales performantes demeurent onéreuses [Biometrics Ltd; YostLabs]. Afin de répondre à ces limites, cette étude propose la conception et la fabrication d'un bras robotisé reproduisant la cinématique du coude humain, destiné à servir de banc d'essai pour la caractérisation de capteurs d'estimation de l'angle angulaire.

2. Conception du système

Modélisation du système par un mécanisme série à trois corps : l'humérus (le bras), l'ulna et le radius (l'avant-bras).

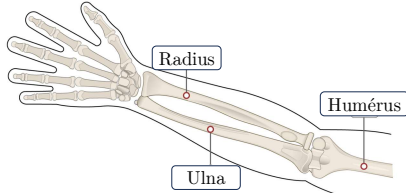


Figure 1: Représentation anatomique du coude.

Dimensionnement du couple C_{m1} (au point B) par le théorème de l'énergie cinétique :

$$\frac{dE_{\Sigma/1}}{dt} = P(Ext \rightarrow \Sigma/R_1) \quad (1)$$

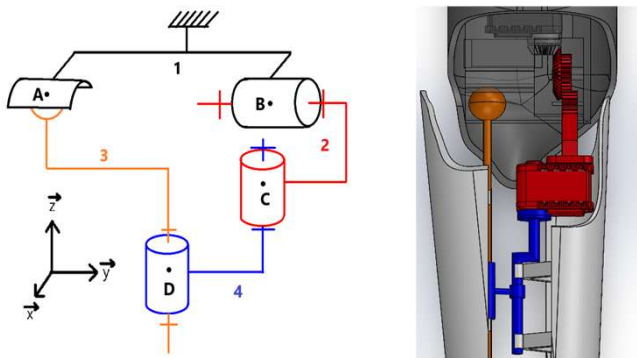


Figure 2: Schéma cinématique du mécanisme du coude.

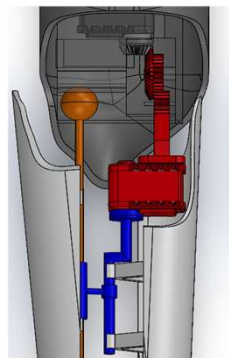


Figure 3: Modélisation du mécanisme d'un coude.

4. Commande du bras

Les deux articulations sont pilotées par des servomoteurs Dynamixel AX-12A asservis en position, commandés par le contrôleur embarqué via un bus série TTL (1 Mbit/s).

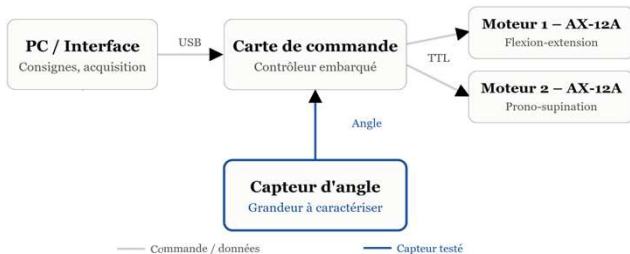
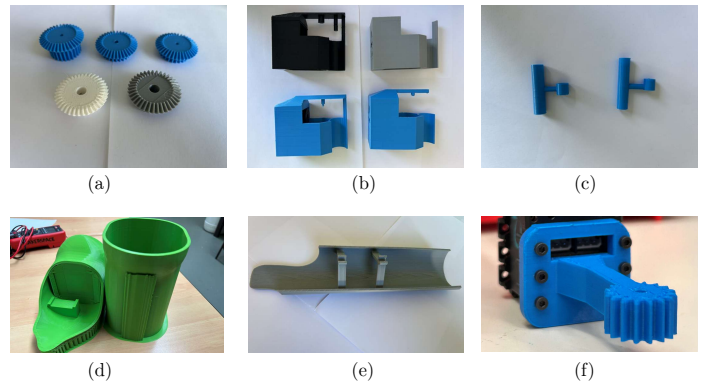


Figure 6: Synoptique de l'architecture électronique de pilotage du bras robotisé.

Pour caractériser le capteur, le bras exécute un cycle répétable de $\pm 80^\circ$ (mouvement de flexion/extension) à vitesse réduite.

3. Fabrication du bras instrumenté

Prototypage par impression 3D (PLA, Prusa MK4): itérations rapides et peu coûteuses, géométries complexes (engrenages coniques, coques).



- (a) Itérations engrenages coniques (modification l'axe, épaisseurs)
- (b) Itérations du porte-ensemble 1 (orientation d'impression et densité)
- (c) Itérations de la pièce de liaison 4 (mauvais centrage d'un axe)
- (d) Coque du bras imprimé en deux parties (volume > plateau MK4)
- (e) Demi-coque de l'avant-bras droit clipsables
- (f) Itérations de l'engrenage droit pour la flexion-extension (modification d'axe)

Figure 4: Fabrication des éléments du système.

Enjeu de fabrication :

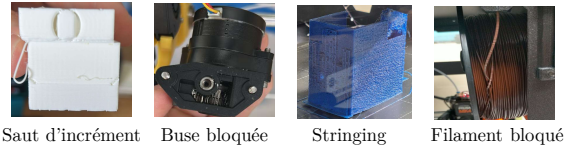


Figure 5: Plusieurs problèmes rencontrés.

5. Assemblage global du système

Validation expérimentale :

Uamplitude de 180° à 60° (flexion-extension) et d'amplitude de 60° à -60° (pronation-supination).

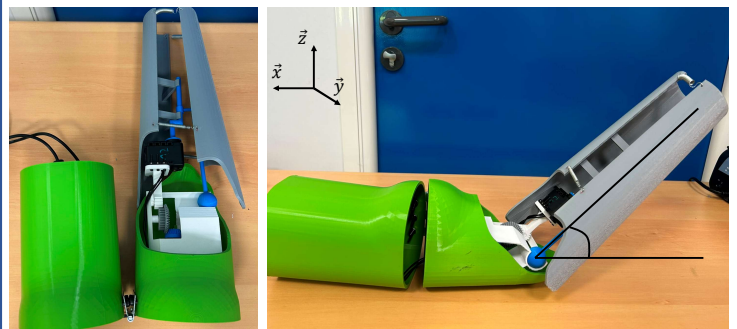


Figure 7: Assemblage final en position flexion / extension du système avec un angle de 45° imposé.

Le prototype assemblé fonctionne sans jeu ni blocage, conformément à la CAO.

6. Conclusions & perspectives

Bilan:

- Bras robotisé à 2 DDL
- Dimensionnement des couples moteurs
- La fabrication est reproductible via l'impression 3D
- Contrôle des moteurs

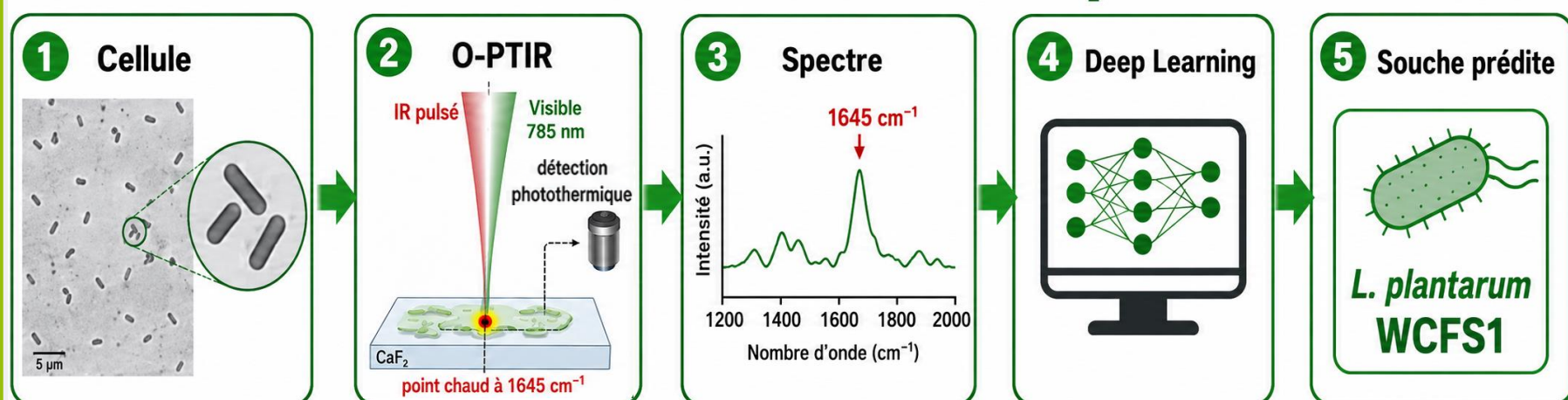
Perspectives:

- Vérification de la conformité entre l'angle imposé et l'angle réel obtenu
- Caractérisation statique et dynamique des capteurs de flexion
- Modification des coques pour différents porteurs

Contexte & problématique

Les bactéries lactiques regroupent plusieurs **espèces**, elles-mêmes divisées en **souches** difficiles à distinguer pour les microbiologistes. La **spectroscopie O-PTIR** (Optical Photothermal Infrared) fournit une signature cellulaire exploitable par apprentissage automatique.

De la cellule à la souche prédite



Jeu de données :

Base initiale : 13 souches • 1 806 spectres • ~450 variables
Focus robustesse : 4 souches de *L. plantarum* • 5 batches

VERROU SCIENTIFIQUE

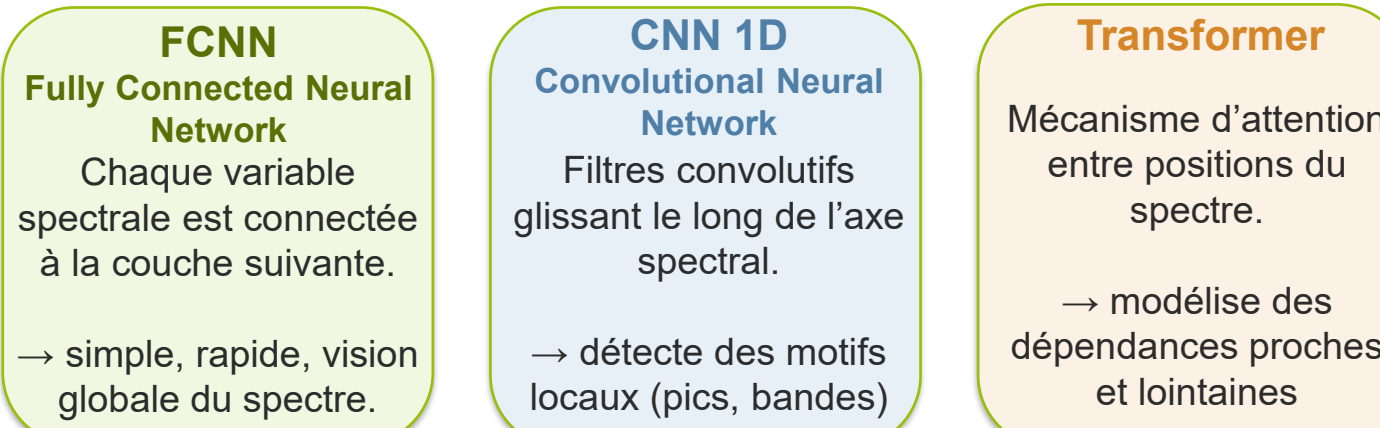
- La taille du jeu de données initial est réduite
 - Les dérives inter-lots peuvent être aussi fortes que les différences entre souches.
- ➔ Risque : mémoriser le batch plutôt que la biologie.

Problématique : Comment construire un classifieur O-PTIR qui généralise à des lots jamais vus ?

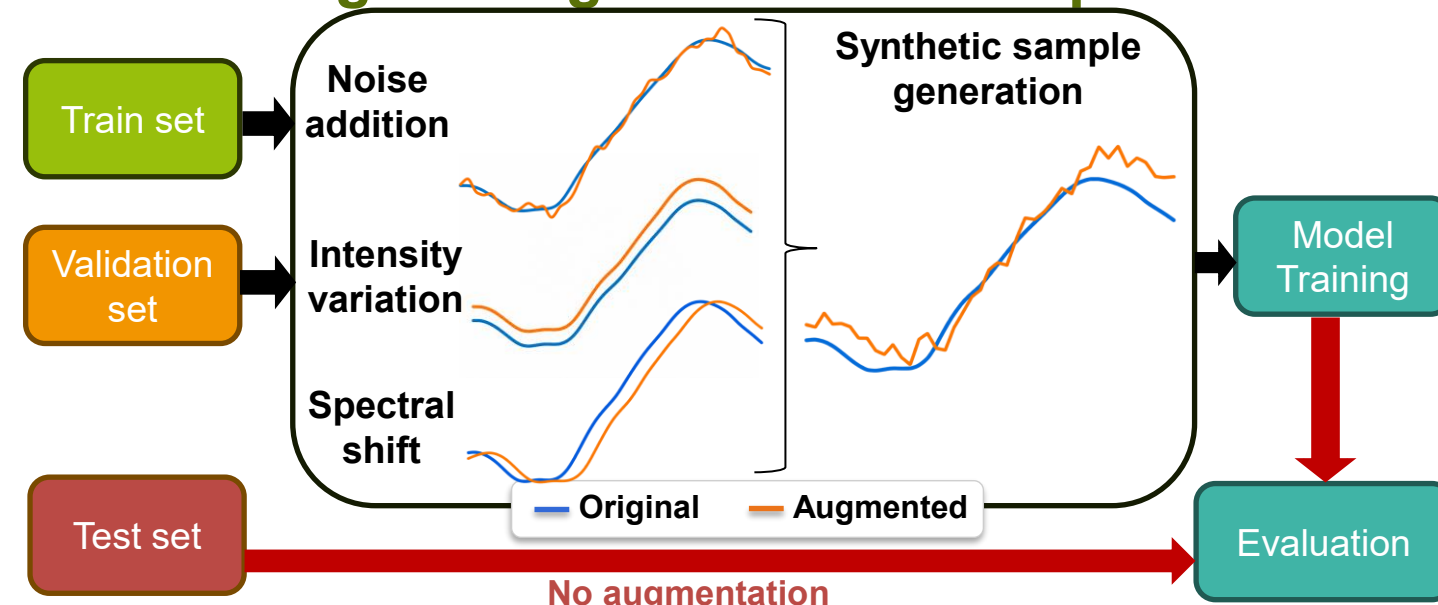
Méthode, démarche & organisation



Architectures testées :



Stratégie d'augmentation des spectres



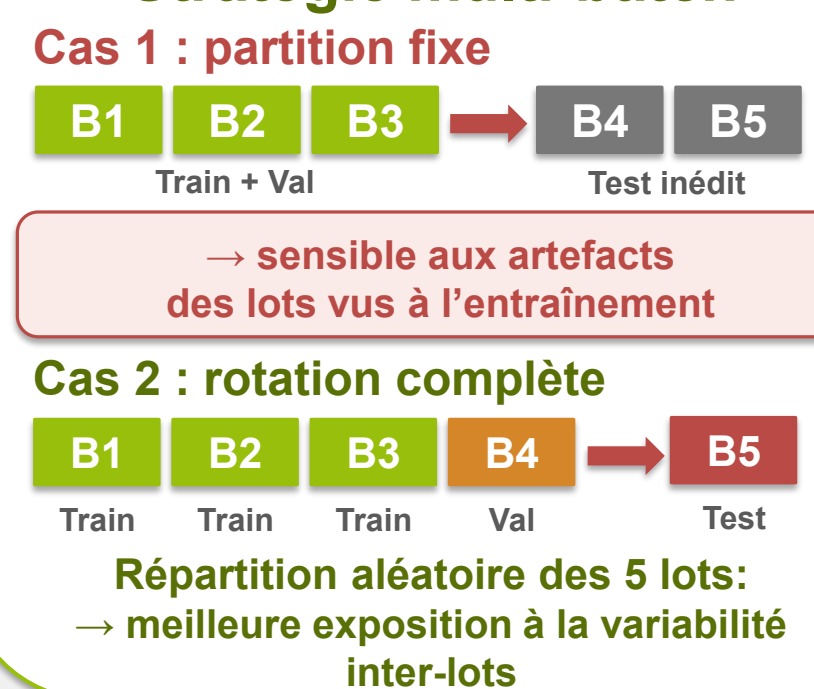
- On augmente uniquement les sets de Train et de Validation
- Un spectre augmenter ne doit surtout pas sortir de son set
- Augmentation faible → Facilite le calcul du modèle
- Augmentation trop forte → perte d'information

Évaluer avec le F1-score :

Vrai positif (TP) : spectre X prédit X
Faux négatif (FN) : spectre X prédit Y
Faux positif (FP) : spectre Y prédit X
Vrai négatif (TN) : spectre Y prédit Y'
Précision: $P = \frac{TP}{TP + FP}$
Rappel: $R = \frac{TP}{TP + FN}$
F1: $F1 = 2 \frac{P \cdot R}{P + R}$ $F1 \in [0; 1]$

Macro-F1 = moyenne des F1-scores de chaque souche

Stratégie multi-batch



Résultats & analyse

1. Comparaison des modèles

Pour comparer les modèles, les tests F1 sont effectués sur des spectres issus des même lots (Tests contrôlés)

Modèle	Paramètres	Coût calcul	F1
FCNN	237 581	1×	0,91
1D-CNN	196 429	215×	0,95
Transformer	45 901	7×	0,11

- Transformer : surapprentissage massif → abandonné,
- 1D-CNN : F1-score max MAIS coût calcul très élevé,
- FCNN : meilleur compromis performance / coût.

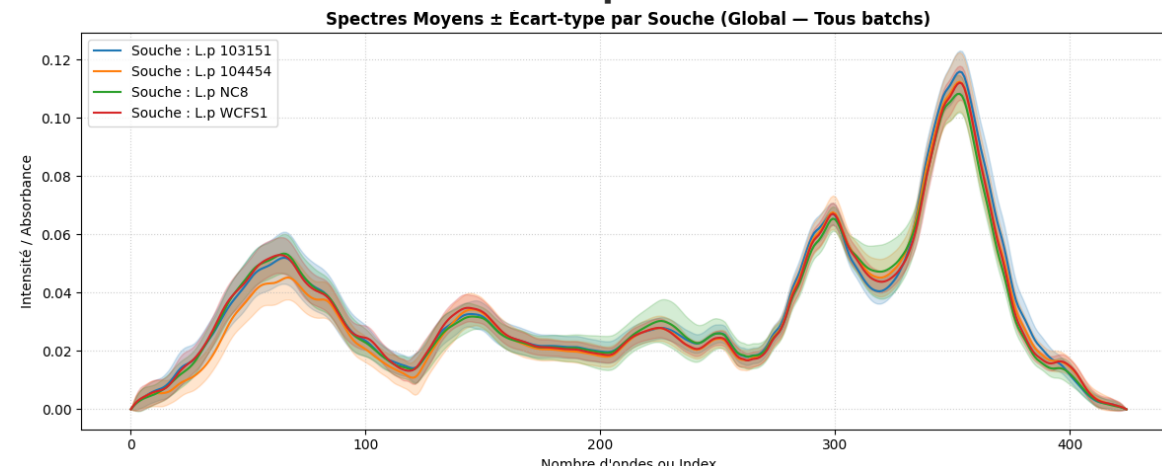
FCNN RETENU

2. Souches très proches

R inter-souches (Coefficient de Pearson entre 2 souches) $R \in [-1; 1]$

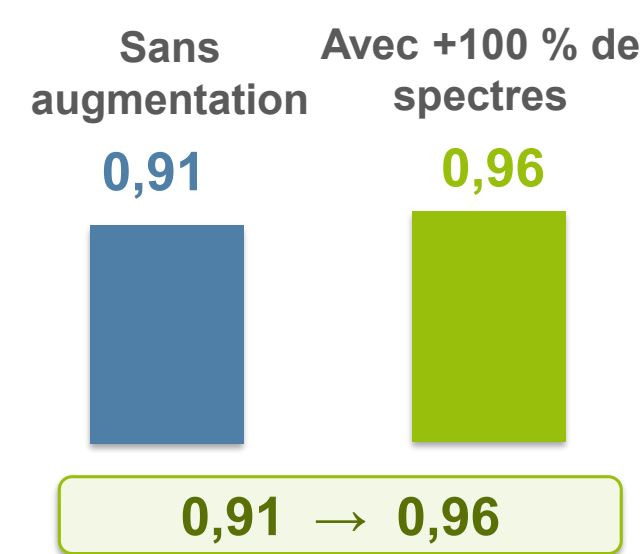
0,9913 ≤ R ≤ 0,9972

Les différences biologiques sont faibles devant la variabilité expérimentale.



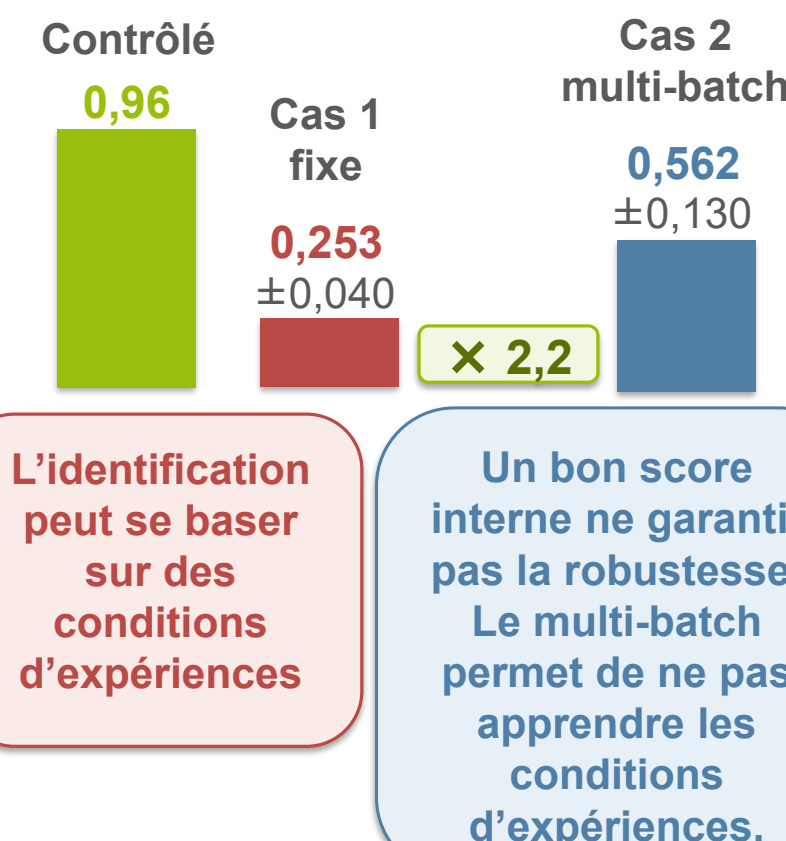
➔ Le modèle doit exploiter des variations locales très fines et stables entre sessions.

3. Validation contrôlée



L'augmentation mathématique régularise bien le modèle... tant que les conditions restent proches.

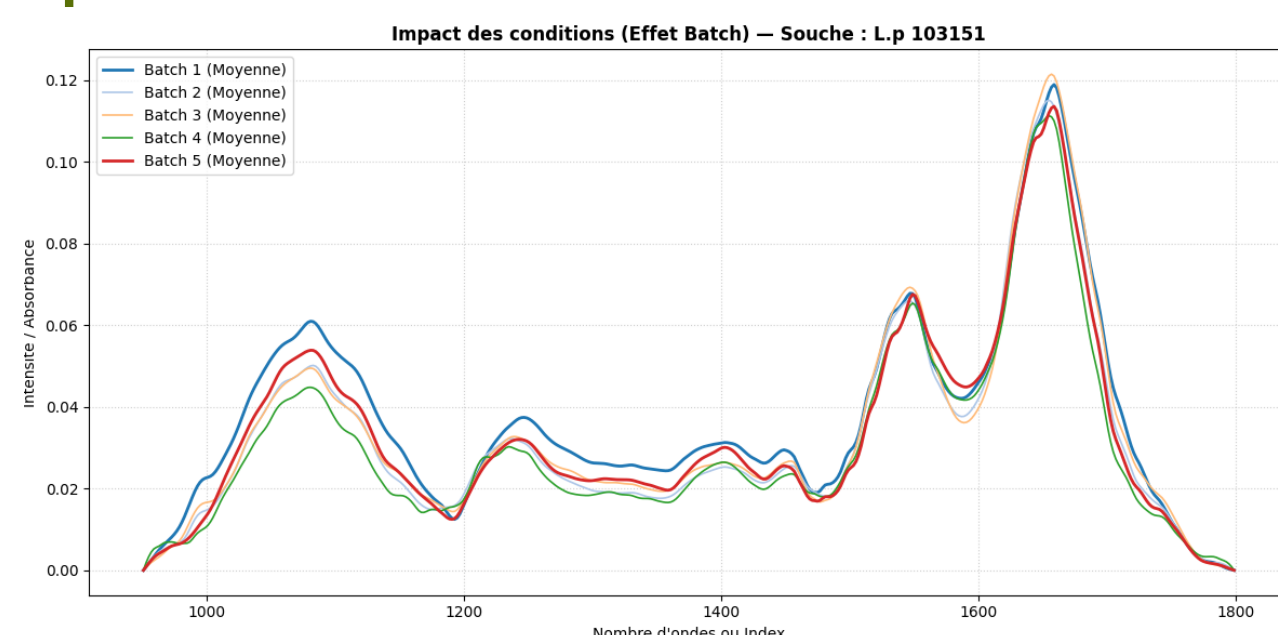
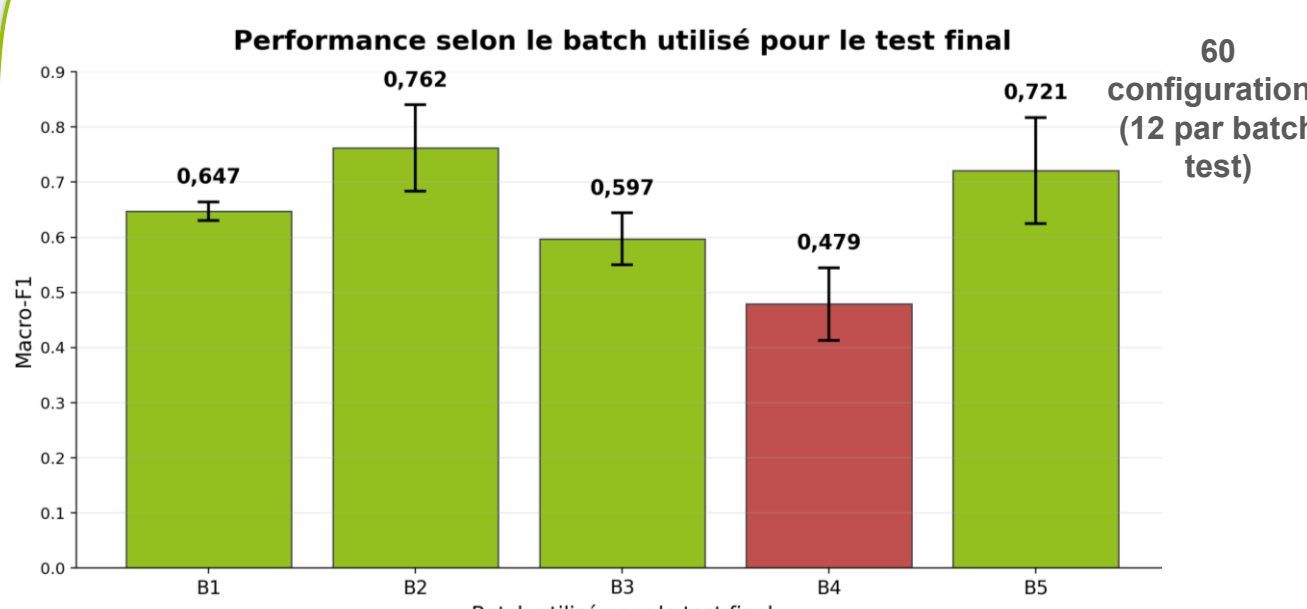
4. Tests lots inconnus



L'identification peut se baser sur des conditions d'expériences

Un bon score interne ne garantit pas la robustesse. Le multi-batch permet de ne pas apprendre les conditions d'expériences.

5. Effet de lot : la difficulté dépend du batch testé



Même souche, spectres différents selon la session

Amplitude de l'effet souche × batch

103151 : 100 % → 23,9 %

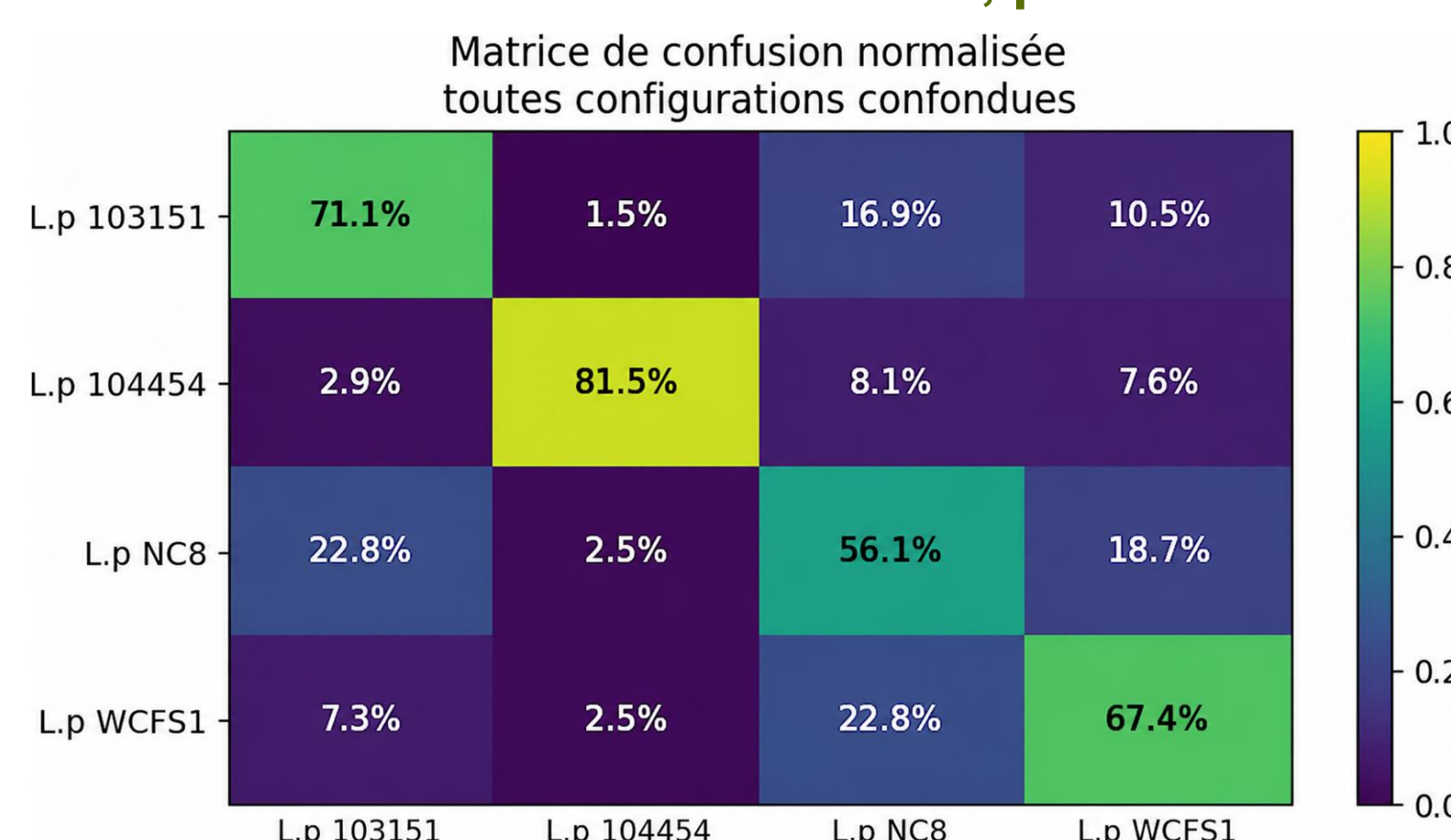
NC8 : 90,1 % → 0 %

WCFS1 : 93,5 % → 35,9 %

Macro-F1 par batch 0,479 à 0,762

Conclusion : la difficulté dépend du couple souche × batch.

6. Les erreurs sont structurées, pas aléatoires



Paires confondues

NC8 ↔ WCFS1 20,7 %

103151 ↔ NC8 19,8 %

103151 ↔ 104454 2,2 %

Erreurs très confiantes (> 94 % en moyenne).
 ➔ Pas une simple hésitation: les spectres changent assez d'un batch à l'autre pour se tromper avec confiance.

La similarité globale des spectres ne suffit pas à expliquer les erreurs : des souches très corrélées peuvent avoir des taux de confusion très différents.

Conclusion & perspectives

- Le **FCNN** est le meilleur compromis entre performance et coût de calcul.
- Grâce à la **stratégie multi-batch** qui améliore nettement la **généralisation** du modèle (F1-score : 0,253 à 0,562) et la **data augmentation mathématique** qui renforce la **robustesse** du modèle, les effets de **l'effet de lot** et du **manque de données** sont atténués. Pour identifier une souche sur un batch inédit, le modèle apprend plus la biologie que la session d'acquisition.
- Les **perspectives** sont de mieux **calibrer la quantité d'augmentation**, de tester des **augmentations biologiques** spécifiques et de valider le modèle sur **davantage de lots**.