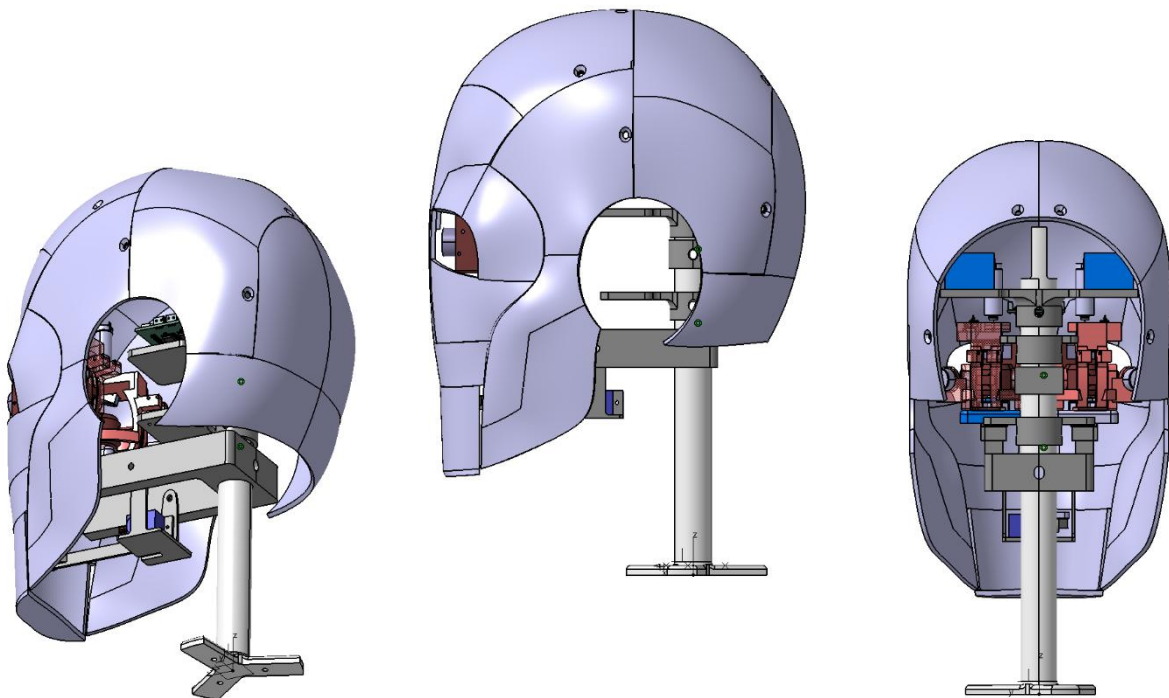


KALYSTA

INSA | INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
STRASBOURG

RAPPORT DE STAGE - HEAD UPGRADE



Rapport de Hack GAZALIOU

Directeur : Jean Claude RASSOU

Dates : Du 18/06/2025 au 23/07/2025

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier Mme. Maya SLEIMAN, CTO de Kalysta, pour avoir rendu cette expérience aussi enrichissante, ainsi que M. Samer ALFAYAD pour m'avoir permis de rejoindre l'équipe le temps de ce stage.

Merci également à tous les membres de Kalysta, doctorants et stagiaires, et plus particulièrement à Mme Maysoon Ghandour, pour son accompagnement quotidien et ses précieux conseils lors de la réalisation de mes travaux.

Je souhaite aussi remercier l'équipe pédagogique et administrative de l'INSA Strasbourg, grâce à qui ce stage a été possible. Cette expérience m'a beaucoup appris, tant sur le plan technique que sur celui de la découverte du monde professionnel et celui de la recherche.

TABLE DES MATIERES

1	Introduction	2
2	Présentation de l'entreprise.....	2
3	Tâches effectuées	5
3.1	Découverte des outils et méthodes.....	5
3.2	Revue d'état de l'art	7
3.3	Conception d'un crâne de robot humanoïde	10
4	Tâches annexes	17
5	Conclusion	19
6	Annexe.....	20
6.1	Introduction.....	21
6.2	Functional needs.....	21
6.3	Typology of mechanisms	22
6.3.1	Rigid mechanisms (servomotors + solid linkage, 1 DOF).....	22
6.3.2	Rigid mechanisms + silicone (DOF ≥ 2).....	23
6.3.3	Cable transmission systems + silicone	24
6.4	Approach comparison.....	25
6.5	Conclusion	26
6.6	References	26

1 INTRODUCTION

Dans le cadre du stage facultatif de deuxième année d'études à l'Institut National des Sciences Appliquées de Strasbourg, j'ai eu l'opportunité d'intégrer l'entreprise Kalysta Actuation pendant cinq semaines.

Ce stage avait pour moi un double objectif : d'une part, acquérir de nouvelles compétences utiles à ma formation d'ingénieur en mécatronique ; d'autre part, découvrir concrètement le monde de la recherche, domaine dans lequel je souhaite m'orienter à l'issue de mon diplôme. Grâce à ses activités, Kalysta constituait un environnement idéal pour concilier ces deux ambitions. De plus, le stage s'est déroulé dans un contexte majoritairement anglophone, ce qui a représenté une opportunité supplémentaire d'immersion, tant professionnelle que linguistique.

Dans un premier temps, il s'agira de présenter la firme ainsi que ses activités. Dans un second temps, seront décrites les différentes tâches que j'ai eues l'opportunité de me voir confier. Finalement, une conclusion viendra établir un court bilan de mon expérience et de ce que j'en ai tiré.

2 PRESENTATION DE L'ENTREPRISE

Kalysta est une start-up française créée en 2021 au sein de l'écosystème de l'Université Paris Saclay, qui développe des actionneurs électrohydrauliques compacts à haute performance. Elle appartient à la catégorie des entreprises dites *deeptech*, c'est-à-dire des sociétés construites sur une rupture technologique issue de la recherche académique et nécessitant un temps de développement long avant une mise sur le marché.

Kalysta émerge du projet SEHA (*Servo Electro-Hydraulic Actuator*). L'idée principale de ce projet était de concevoir des modules d'actionnement hybride combinant la puissance de l'hydraulique et la simplicité d'intégration de l'électrique. En effet, les systèmes hydrauliques offrent généralement des niveaux de puissance élevés, au prix d'une architecture lourde et complexe (due au besoin de pompes externes, de réservoirs, de conduites de fluides, etc.). Les actionneurs électriques quant à eux bénéficient d'un pilotage plus simple et de niveaux d'encombrement usuellement moindres, mais peuvent se montrer énergivores lorsqu'il s'agit de délivrer des forces importantes. Kalysta cherche donc à combiner le meilleur des deux mondes en miniaturisant et en intégrant dans un seul bloc la partie hydraulique et sa commande électrique.

Ce projet académique a été accompagné par la SATT Paris-Saclay (Société d'Accélération du Transfert de Technologies), dont le rôle est de financer la maturation technologique des projets qu'elle accompagne et de protéger les inventions par des brevets, contribuant ainsi à un processus de valorisation de la recherche publique, dont Kalysta est l'un des fruits.

Le produit phare de l'entreprise est le module SEHA, un actionneur électrohydraulique compact capable de délivrer des efforts considérables malgré sa taille réduite, conformément à la vocation que se donne Kalysta. Ce dispositif consiste en une chambre de fluide, un piston et un cylindre autonome intégrant une micro-pompe hydraulique entraînée par un moteur électrique. Le tout est piloté par une électronique de commande intelligente. L'intérêt de cette technologie ne réside pas uniquement dans sa puissance brute, mais aussi dans son intégration simplifiée. Là où un système hydraulique classique requiert une pompe externe, des tuyauteries et une architecture complexe, Kalysta propose un module prêt à l'emploi. Pour l'intégrateur, c'est un gain en temps, et en place. L'entreprise propose également quelques autres produits, notamment des sous-composants de

son module SEHA, où un kit de développement logiciel. Sur son site, Kalysta encourage les acteurs industriels à solliciter ses équipes pour développer des solutions technologiques sur-mesure, ce qui témoigne de la volonté de l'entreprise de s'ouvrir à de nouveaux projets et à élargir son champ d'action.

Les marchés visés par Kalysta sont nombreux : la robotique humanoïde, où les articulations nécessitent des couples très élevés dans des espaces restreints ; les exosquelettes et dispositifs de rééducation médicale, qui requièrent des actionneurs puissants, mais portables et sûrs ; l'aéronautique, particulièrement pour les sièges d'avion où la réduction de masse est un enjeu majeur ; les simulateurs de vol ou de conduite, où il faut reproduire des efforts réalistes sans encombrement excessif. De manière plus générale, on trouve des applications possibles aux produits de Kalysta dans tout système nécessitant des niveaux de force élevés dans un volume réduit et avec un poids faible.

Sur le plan organisationnel, Kalysta est une structure de petite taille comptant moins d'une dizaine d'employés, comme beaucoup de start-up deeptech en phase de croissance. Plusieurs étudiants de master effectuent des stages en son sein, au cours desquels ils participent au développement de systèmes intégrant les produits et technologies de l'entreprise. Par ailleurs, des doctorants en mécatroniques, électronique et contrôle de systèmes automatiques y mènent leurs travaux de recherche dans le cadre de la préparation de leur thèse.

3 TACHES EFFECTUEES

Le sujet de mon stage portait sur l'amélioration d'une tête de robot humanoïde existante. L'objectif principal était de proposer et d'implémenter plusieurs modifications mécaniques et de conception afin d'en optimiser les performances et d'assurer une meilleure compatibilité avec les composants internes. Une fois la nouvelle conception validée, la tête devait être réalisée par impression 3D en matériau plastique, puis soumise à une série de tests mécaniques destinés à vérifier la qualité de l'assemblage, l'intégration des composants et la conformité fonctionnelle. Tout au long du stage, j'ai également participé à des réunions hebdomadaires avec l'ensemble de l'équipe, en présence de M. Rassou (CEO de Kalysta). Ces réunions étaient l'occasion pour moi de présenter l'avancement de mes travaux, de préciser les objectifs pour la semaine suivante et de recevoir des retours immédiats. Elles ont contribué à renforcer mon immersion au sein de l'équipe et m'ont donné une vision plus concrète de la dynamique de recherche qui anime l'entreprise.

3.1 DECOUVERTE DES OUTILS ET METHODES

Mes premiers jours de stage ont consisté en une phase de prise en main et de familiarisation avec les outils et logiciels qui m'ont plus tard été nécessaires pour accomplir les tâches qui m'avaient été confiées.

Le plus important parmi eux fut sans aucun doute le logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO dans la suite du rapport) CATIA. Ayant déjà dû utiliser d'autres logiciels du même type, dans le cadre de mon cursus académique, je n'ai pas eu de mal à transférer l'essentiel de mes compétences sur ce nouvel environnement. J'ai pour cela commencé par redécouvrir les fonctions de base (extrusion, révolution, symétries, chanfrein, etc.), et ce, en modélisant des pièces mécaniques simples (engrenages, axes, écrous, etc.). Cet exercice m'a permis de reprendre en

main l'interface et d'acquérir une aisance suffisante avant d'aborder des conceptions plus complexes directement liées au projet de stage. Cela dit, je tiens à préciser qu'en leur état à ce moment-là du stage, mes connaissances en CAO n'étaient pas suffisantes pour mener à bien le projet dans son intégralité. Il m'aura fallu apprendre de nombreuses techniques et méthodes dont je n'avais pas connaissance au moyen de vidéos et formations en ligne (comme il en sera fait mention plus tard dans le rapport).

En parallèle de la découverte de CATIA, j'ai, pendant cette phase de prise en main, été initié à des techniques de fabrication additive. En effet, la majorité des pièces du projet imprimées en 3D étant faites en ABS (Acrylonitrile Butadiène Styrene), j'ai dû apprendre les spécificités liées à l'utilisation de ce plastique. C'est dans cette optique qu'il m'a été confié la tâche d'imprimer et d'assembler les pièces constituant le cou du robot humanoïde dont je travaillerais par la suite sur le crâne. Accompagné d'une doctorante qui préparait sa thèse chez Kalysta, j'ai donc appris à utiliser des imprimantes 3D industrielles, dédiées aux polymères techniques (en l'occurrence un Stratasys F170). Ce type d'imprimante se caractérise par la présence d'une chambre chauffée et contrôlée, qui permet de maintenir une température homogène pendant tout le processus d'impression et d'éviter ainsi les déformations ou fissures dues au refroidissement inégal du matériau. Ces machines offrent également une grande précision dimensionnelle, une fiabilité accrue et un volume d'impression élevé, ce qui les rend adaptées au prototypage avancé et à la fabrication de pièces destinées à des environnements exigeants. De plus, à la différence des imprimantes 3D classiques dans lesquels les volumes de support sont faits du même matériau que la pièce et nécessitent d'être cassés ou poncés une fois la pièce terminée, les imprimantes de calibre professionnel permettent d'utiliser un second matériau pour l'impression des supports. Ce matériau est le plus souvent soluble dans une solution alcaline spéciale (souvent à base de soude caustique et de tensioactifs) vendues par le fabricant de

l'imprimante, la pièce terminée est donc placée dans un bain chauffant contenant la solution en question. La chaleur ainsi qu'une source d'agitation mécanique accélèrent le processus de dissolution et, au bout d'un certain temps, les supports sont entièrement dissous et la pièce est laissée nette et sans trace d'arrachement.

Le nombre de pièces constituant le cou du robot étant trop important pour être toutes imprimées en une fois, plusieurs impressions étaient nécessaires. La fabrication des pièces s'est donc réalisée sur plusieurs jours, avec des cycles d'impression parfois supérieurs à vingt heures. Des problèmes d'humidité dans l'ABS utilisé ainsi que des retards d'approvisionnement en nouveau filament m'ont malheureusement empêché de finir d'imprimer le système, et donc de l'assembler dans sa totalité. Néanmoins, les étapes que j'ai pu mener à bien ont constitué une expérience formatrice.

3.2 REVUE D'ETAT DE L'ART

Avant d'entamer tout projet de conception, il est indispensable de réaliser un état de l'art. Cette étape permet d'identifier les solutions déjà existantes, d'en comprendre les avantages et les limites, et de dégager des pistes adaptées aux besoins spécifiques du projet. C'est dans cette perspective que j'ai mené une étude sur les mécanismes de bouche de robots humanoïdes, afin de disposer d'une base solide pour orienter la suite de mon travail.

Il s'agissait pour moi d'une première fois. En effet, si j'avais déjà eu l'occasion de réaliser une analyse des solutions existantes dans le cadre de projets au cours de mon cursus, je n'avais encore jamais été amené à m'engager dans une démarche d'avant-projet aussi rigoureuse. Je me suis donc d'abord renseigné sur les exigences de l'exercice, puis j'en ai discuté avec ma tutrice qui m'a précisé la forme que devait prendre le document ainsi que les éléments devant y figurer.

Puis vint une longue phase de recherche documentaire. Pour m'y prendre, j'ai d'abord cherché à dresser une liste des principaux robots humanoïdes open source dotés d'une mâchoire mobile et à en comprendre le fonctionnement dans la limite des ressources disponibles. Je me suis également penché sur différents articles issus de la littérature scientifique présentant des méthodes d'actionnement innovantes que j'ai pu identifier dans des bases de données telles que « Google Scholar » ou « ScienceDirect », ainsi que dans des revues spécialisées en robotique. Par ailleurs, j'ai consulté des sources moins académiques, comme des vidéos en ligne partagées par des passionnés de robotique qui souhaitent partager leur projet. Cette phase de recherche, bien que plus théorique et moins directement pratique que d'autres moments du stage, a constitué une étape essentielle. L'état de l'art est en effet un outil crucial car il permet de situer un travail dans le paysage scientifique existant, de mettre en évidence les approches déjà explorées et de souligner les manques ou verrous encore présents dans le domaine. Cette étape a constitué une véritable initiation à la recherche scientifique, en introduisant une démarche rigoureuse d'analyse et de comparaison des solutions existantes. Elle a ainsi permis d'enrichir le travail par une meilleure compréhension du contexte scientifique et technologique du projet.

Après avoir rassemblé suffisamment d'informations, je me suis attelé à la rédaction du rapport. J'ai commencé par y énoncer les besoins fonctionnels liés à un tel système, qui constitueraient ensuite des critères de comparaisons entre les différentes solutions trouvées. Puis j'y ai présenté les typologies de mécanismes usuelles issues de mes recherches, en les séparant en trois catégories distinctes : les mécanismes rigides à un degré de liberté, les mécanismes rigides à plus d'un degré de liberté combinés à des masques de silicones, et enfin les masques de silicones actionnés par des systèmes de transmission par câbles.

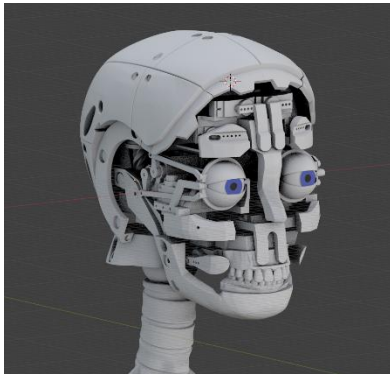


Figure 1 : Robot InMoov i2
(coupe)



Figure 2 : Robot InMoov i2

On retrouve dans chaque section un exemple illustré du type de mécanisme concerné, ainsi qu'une description de son principe de fonctionnement. Vient ensuite un tableau de comparaison des différentes approches (voir Tableau 1, section 6.4), leur attribuant une notation (low — medium — high) pour les critères d'évaluation suivants : simplicité de mise en œuvre, compacité, nombre d'actionneurs, compatibilité avec le synchronisme labial (Lip-sync). Finalement, une conclusion vient trancher sur le type de solution à retenir, considérant les critères jugés prioritaires dans le cadre de ce projet (pour plus de détails, voir l'état de l'art en annexe). Un haut niveau d'expressivité faciale et de synchronisation vocale n'était pas requis dans le cadre de ce robot humanoïde, dont l'un des objectifs principaux était de mettre en avant les qualités des actionneurs de puissance Kalysta. Le choix de solution s'oriente donc vers la première catégorie.

3.3 CONCEPTION D'UN CRANE DE ROBOT HUMANOÏDE

Après un peu moins de deux semaines de stage, j'ai entamé le travail le plus conséquent qui m'ait été confié : la conception d'un nouveau crâne de robot humanoïde. Le précédent modèle provenait d'un scan 3D d'un crâne humain qui avait ensuite été imprimé en 3D. Bien que cette solution apporte un certain réalisme visuel, ce n'était pas l'objectif prioritaire du projet. En effet, l'approche retenue n'était pas de reproduire fidèlement une apparence humaine avec une peau artificielle, mais plutôt de concevoir une structure mécanique fonctionnelle, permettant l'intégration de tous les composants internes (mécanismes, cartes électroniques, actionneurs).

Cette démarche s'inscrit dans une logique similaire à celle de nombreux robots humanoïdes de recherche, comme RoboThespian (Figure 4), InMoov (Figure 5) ou d'autres modèles dépourvus de revêtement en silicone. Ces robots, bien qu'ayant une apparence plus « mécanique », parviennent à exprimer des émotions ou à effectuer des mouvements expressifs uniquement par la mobilité et la cinématique de leurs structures. Le réalisme du projet repose donc moins sur une imitation visuelle « peau + visage », que sur l'optimisation mécanique et l'expressivité obtenue grâce aux articulations et aux mécanismes.

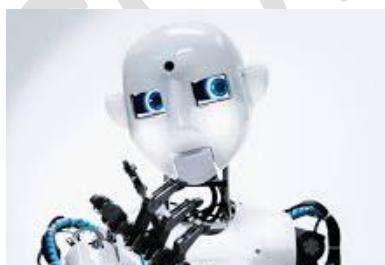


Figure 3 : RoboThespian



Figure 4 : Robot InMoov

C'est dans cette optique qu'il avait été décidé de concevoir un crâne inspiré d'un style plus classique et simplifié, cohérent avec le reste du robot, et surtout mieux adapté à l'agencement des composants internes.

Il était nécessaire pour moi de respecter plusieurs contraintes lors de la conception du crâne :

- **Prévoir un espace intérieur suffisant** : afin de pouvoir disposer l'ensemble des composants mécaniques et électroniques (cartes, moteurs, mécanismes), sans risque de collision ou de manque de place. –
- **Assurer un agencement optimisé** : pour que le centre de masse de la tête soit aligné avec l'axe principal du corps. Cela permet de maintenir la stabilité de l'ensemble et d'éviter un déséquilibre qui compliquerait les mouvements du cou.
- **Placer certains composants électroniques à des emplacements précis** : par exemple, les drivers des moteurs ou la centrale inertielle devaient être installés de manière stratégique, afin de réduire la longueur des câbles et donc limiter les pertes électriques, le risque d'interférences et la complexité du câblage.
- **Faciliter l'assemblage et la maintenance** : le découpage des différentes parties du crâne devait suivre un ordre logique d'assemblage, permettant un accès rapide aux composants internes. L'objectif était d'éviter d'avoir à désassembler l'intégralité de la structure pour remplacer ou intervenir sur un élément précis, ce qui aurait rendu le système peu pratique et chronophage à utiliser.

Ces problématiques d'articulation entre électronique, mécanique et contraintes de contrôle sont caractéristiques de la conception mécatronique, et illustrent les défis liés à l'intégration multidisciplinaire propre à ce domaine. Le respect de ces contraintes impliquait de travailler en étroite collaboration avec une doctorante en charge de l'électronique et du contrôle du cou et de la tête. Tout au long de la conception, nous avons beaucoup échangé sur les spécificités qu'il était nécessaire de prendre en compte dans ma réflexion. Lorsque des problèmes de concordance entre les éléments se sont présentés, j'ai été libre — et même encouragé — à avancer mes propres solutions techniques pour les surmonter. Cela a contribué à rendre mon expérience d'autant plus responsabilisante et stimulante.

Les fonctionnalités de conception les plus basiques de CATIA — auxquelles se limitaient mes connaissances à ce moment-là — ne permettaient pas de créer des formes aussi complexes que celles du crâne sur lequel je travaillais. Sur les recommandations de ma tutrice, je me suis donc initié à de nouveaux environnements de modélisation avancée, tels que Generative Shape Design, FreeStyle ou Wireframe and Surface Design, qui offrent davantage de flexibilité pour le travail sur des géométries complexes et organiques.

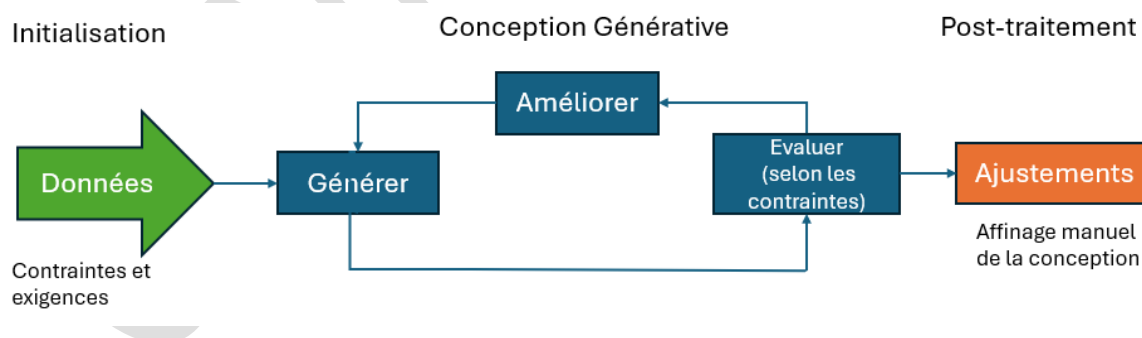


Figure 5 : Fonctionnement de la conception générative.

Ce schéma illustre le principe général de la conception générative, qui repose sur un cycle itératif : à partir de données d'entrée (contraintes et exigences), le logiciel génère automatiquement des formes, qui sont ensuite évaluées selon des critères de performance. Les solutions retenues peuvent être encore optimisées par itérations successives jusqu'à atteindre un compromis satisfaisant. Enfin, une étape de post-traitement permet de sélectionner la meilleure solution et d'y apporter d'éventuels ajustements manuels.

J'ai commencé par m'appuyer sur les illustrations suivantes, fournies par ma tutrice, représentant approximativement le style de tête que l'on souhaitait obtenir.

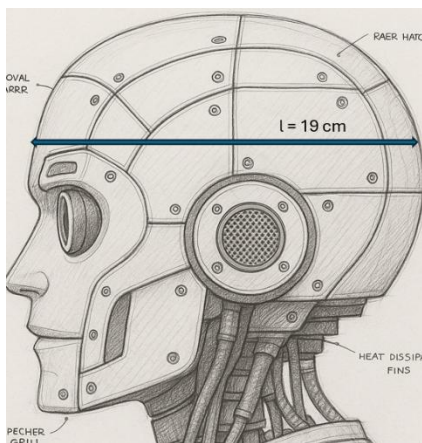


Figure 6 : Modèle – vue de profil

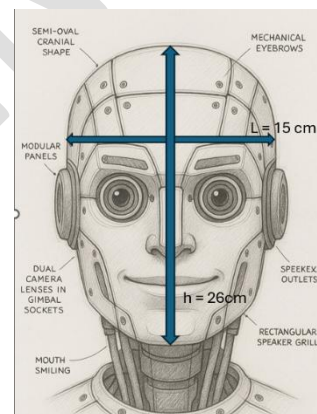


Figure 7 : Modèle – vue de face

Afin d'y apposer des dimensions réalistes et suffisamment larges pour intégrer tous les composants, j'ai relevé les mensurations de mon propre crâne à l'aide d'un ruban gradué. J'ai ensuite importé ce schéma de principe dans le module Freestyle, depuis lequel j'ai pu associer certaines dimensions à des segments spécifiques. En

me basant sur les différentes vues de la tête, j'ai créé des courbes 3D qui serviraient de support à la surface intérieure du crâne.

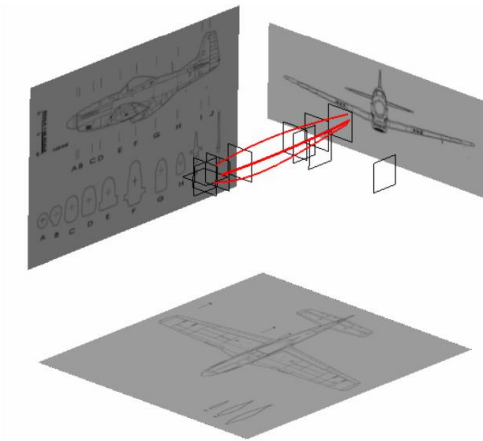


Figure 8 : Exemple d'utilisation du module "Freestyle" dans lequel on se sert de projections pour tracer des courbes 3d.

Une fois ces courbes créées, j'ai pu générer des surfaces les reliant, puis extruder ces dernières sur 3mm afin d'en faire des volumes. Ces volumes ont été segmentés de manière cohérente de sorte à faciliter leur impression.

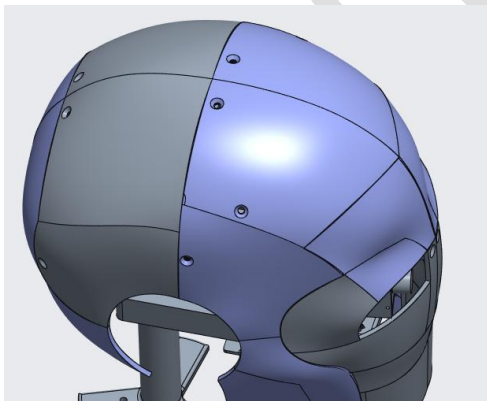


Figure 9 : Segmentations du crane issues des courbes 3d de support initiales.

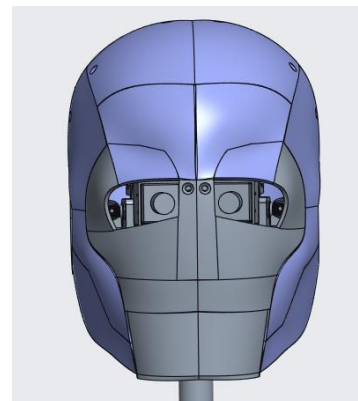


Figure 10 : Segmentations de la face

Ce processus fut particulièrement long, d'une part parce qu'il fallait travailler minutieusement pour obtenir des surfaces lisses et cohérentes lors de la jonction des courbes, et d'autre part parce qu'il s'agissait d'une approche entièrement nouvelle pour moi. J'ai donc souvent dû m'appuyer sur des exemples en ligne et reprendre certaines parties du travail à mesure que je découvrais de nouvelles méthodes. De plus, j'ai dû tenir compte des contraintes liées à l'assemblage des différentes pièces constituant le crâne. Cela m'a conduit à intégrer, au niveau des jonctions, des évidements intérieurs destinés à accueillir des écrous, de manière à garantir un assemblage à la fois robuste et démontable.



Figures 11 et 12 : Éléments d'attache et logements

Enfin, cette phase de conception m'a également permis de mieux comprendre certaines limites intrinsèques des logiciels de CAO comme CATIA. Ceux-ci reposent sur des représentations mathématiques précises, en particulier les NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines), qui permettent de décrire des surfaces complexes avec une grande flexibilité. Toutefois, ces représentations imposent des conditions strictes de continuité (C_0 , C_1 , C_2 , etc.) entre les surfaces. Si ces conditions ne sont pas correctement respectées, les algorithmes de modélisation échouent et produisent des erreurs topologiques : impossibilité de générer un volume fermé, défaillance lors des opérations booléennes, ou encore incohérences de maillage. Pour un profil encore peu expérimenté comme le mien, ces contraintes ont représenté un défi majeur, car la moindre irrégularité dans mes esquisses ou

mes raccords de surface pouvait bloquer l'ensemble du processus. Une partie non négligeable des difficultés rencontrées ne tenait donc pas seulement à la complexité géométrique du crâne, mais relevait également de ces contraintes mathématiques fondamentales, inhérentes aux outils de conception assistée par ordinateur.

À l'intérieur du crâne se trouve un arbre central servant de colonne vertébrale à l'ensemble de la structure. Sur cet arbre viennent s'assembler les différents supports des composants internes (cartes électroniques, mécanisme des yeux, etc.). Sa base est fixée sur le cou à trois degrés de liberté, tandis que, sur sa hauteur, des volumes solidaires de la paroi interne du crâne assurent la liaison mécanique nécessaire pour entraîner toute la structure lors des mouvements du cou. Je me suis malheureusement laissé trop peu de temps pour finir l'impression de l'ensemble, et n'ai donc pas pu l'assembler. Cela dit, je suis content d'avoir pu finir le design et je suis assez satisfait du résultat.

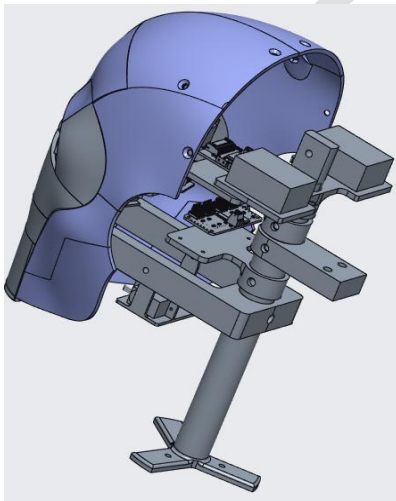


Figure 13 : Arbre central

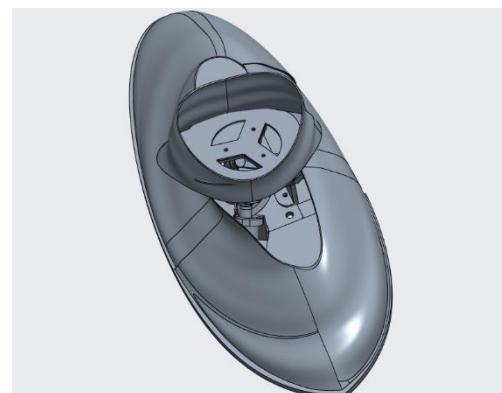


Figure 14 : Cou à 3 degrés de liberté

4 TACHES ANNEXES

Au cours de mon stage, j'ai également participé à quelques activités ponctuelles qui, bien que secondaires, ont enrichi ma compréhension du milieu de la recherche et des échanges scientifiques et pédagogiques.

Pendant le stage, deux élèves de seconde effectuant leur stage de fin d'année au sein de l'UFR des sciences d'Évry ont passé une journée dans les locaux de Kalysta. Pendant la matinée que nous avons passée ensemble, j'ai eu l'occasion de leur présenter mes travaux et de les initier à la CAO ainsi qu'à l'impression 3D. Nous en avons également profité pour échanger autour de l'orientation et des études supérieures, et je les ai conseillés en m'appuyant sur ma propre expérience. Parmi eux, l'une souhaitait devenir ingénieure en robotique, et elle a donc été particulièrement réceptive à nos échanges.

Plus tard dans le stage, l'université d'Évry a également reçu la visite d'étudiants chinois issus de la licence de sciences de la vie de l'université de HUST à Wuhan, un cursus en partenariat avec l'université Paris-Saclay, débouchant sur un double diplôme reconnu par les deux établissements. Ces étudiants ont assisté à trois présentations données à différents endroits de l'université, auxquelles je les ai accompagnés en tant que guide. Les trois interventions étaient animées par des chercheurs et enseignants-chercheurs du laboratoire IBISC : la première portait sur des solutions de rééducation combinant robotique et réalité virtuelle, la seconde sur un projet d'automatisation complète d'une voiture électrique, et la dernière sur différentes méthodes mathématiques appliquées au traitement de l'image. Bien que mon interaction avec les étudiants ait été limitée, cette expérience m'a offert une perspective enrichissante sur les pratiques scientifiques et la communication technique dans un contexte international.

Enfin, j'ai eu l'occasion d'assister à un séminaire portant sur les failles et comportements inattendus des agents d'intelligence artificielle, animé par un chercheur en IA singapourien. L'intervention a abordé notamment des exemples classiques de *prompt injection* et de *jailbreaking*, où une IA peut être amenée à produire des réponses non prévues ou à contourner certaines contraintes de sécurité. Ce séminaire m'a permis de mieux comprendre les limites actuelles des systèmes d'IA et l'importance de concevoir des protocoles robustes, tout en illustrant l'intérêt d'échanges internationaux dans la recherche, qui permettent de partager des expériences et bonnes pratiques entre équipes de différents pays.

CONFIDENTIAL

5 CONCLUSION

Ce stage au sein de Kalysta Actuation a constitué une expérience formatrice à plusieurs niveaux. Il a permis d'aborder des problématiques concrètes de conception mécatronique dans un environnement dans lequel les contraintes techniques et organisationnelles sont particulièrement exigeantes. La modélisation du crâne humanoïde, en particulier, a mis en évidence les difficultés liées au travail sur des géométries complexes. De manière plus générale, cette tâche m'a placé dans une situation où j'ai dû rapidement acquérir de nouvelles compétences et méthodes, une expérience représentative des exigences du travail en R&D où il faut s'adapter et apprendre constamment pour avancer efficacement sur un projet.

Au-delà des aspects techniques, j'ai également pu découvrir la dynamique d'une start-up deeptech, en interaction constante avec le monde académique, et mesurer à quel point ce type d'environnement favorise l'innovation et la coopération internationale. La réalisation de l'état de l'art m'a introduit à une démarche scientifique structurée, tandis que les échanges réguliers avec les doctorants et chercheurs m'ont montré l'importance du travail collaboratif et pluridisciplinaire en mécatronique.

En définitive, je retiens de ce stage un double apport : d'une part, l'acquisition de compétences techniques et méthodologiques solides, directement utiles à ma formation d'ingénieur ; d'autre part, une confirmation personnelle de mon intérêt pour la recherche appliquée, qui correspond à mes aspirations professionnelles. Je suis convaincu que cette expérience a marqué une étape importante dans mon parcours et qu'elle m'apportera des bases précieuses pour mes projets futurs.

KALYSTA

HeAD UPgRADE PRoject

Mouth mechanism - State of the art

GAZALIOU Hack

Intern at: Kalysta Actuation

Date: 19/06/2025

6.1 INTRODUCTION

In the field of humanoid robotics, reproducing human facial expressions is crucial for improving human- machine interaction. Among these expressions, mouth movements play a central role in both verbal communication (articulation, speech) and non-verbal communication (emotional expressions). This state-of-the-art review aims to analyze the different mechanical approaches used to model and fabricate functional mouth mechanisms in humanoid robots.

6.2 FUNCTIONAL NEEDS

- Realistic opening and closing of the jaw.
- Compactness and fast action within the robot's head.
- Expressive deformation of the mouth to convey emotions (possibly).
- Lip synchronization with potential audio stream (possibly).

6.3 TYPOLOGY OF MECHANISMS

6.3.1 RIGID MECHANISMS (servomotors + SOLID LINKAGE, 1 DOF)

Examples:

- **InMoov robot (ref 1):** This mechanism combines a hinge, a threaded piston and a servo motor embedded within the piston as shown in Figure 1. When the servo rotates, it drives the threaded piston, which lifts the hinge and causes the jaw supports to pivot up and down (3D animation [here](#)). The jaw motion is thus actuated by a single motor.

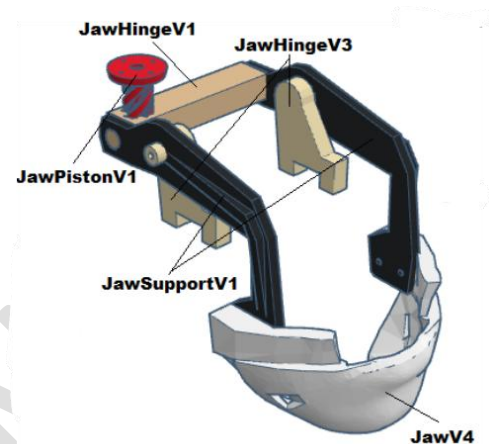


Figure 1: InMoov robot's jaw mechanism

- **Biomimetic humanoid robotic head (ref 2):** This humanoid-robot jaw design features a symmetrical design actuated by two servomotors connected to four connecting rods (two primary drive rods and two auxiliary rear rods). The servos move the jaw up and down through these linkages, enabling a wide opening angle thanks to the mechanical leverage.

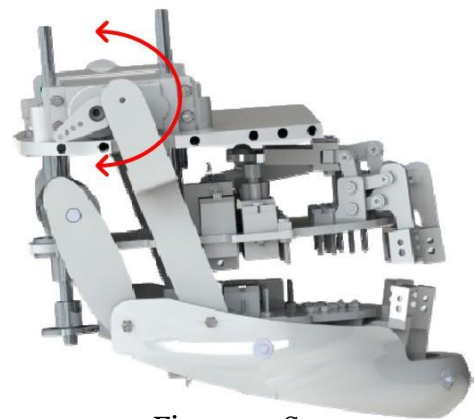


Figure 2: Servo + rods rigid design

This type of mechanism offers the advantage of simplicity and precise control. However, when used on its own, it provides limited realism and expressiveness compared to more complex systems with additional degrees of freedom.

6.3.2 RIGID MECHANISMS + SILICONE (DOF ≥ 2)

Example: InMoov i2 head (ref 3): This enhanced version of the first mechanism introduces two additional servo motors dedicated to actuating the cheek pullers. The system relies on a layer of silicone attached at multiple anchor points across the face. When the servo motors rotate, they pull on the cheek pullers, which in turn deform the silicone surface. This deformation enables the robot to display a variety of facial expressions in a smooth and lifelike manner.

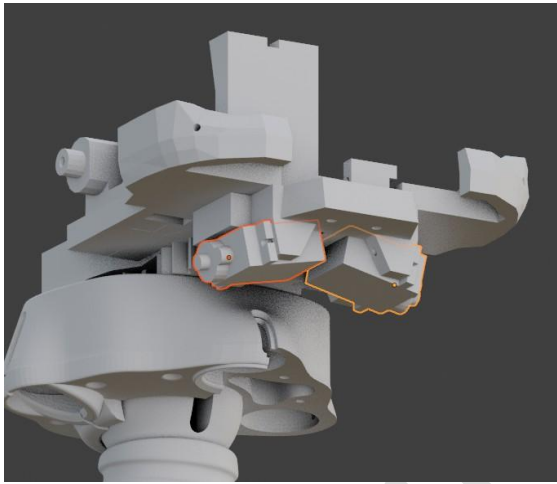


Figure 3: i2 mouth mechanism model – motors highlighted

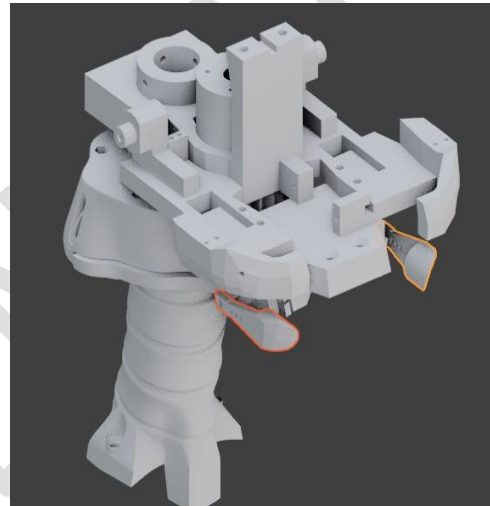


Figure 4: i2 mouth mechanism model – "cheek pullers" highlighted

This type of mechanism is quite compact and adds significant motion variability to the head. Nevertheless, it cannot be used with fully plastic faces and requires the entire head to be adapted for the addition of a silicone layer.

6.3.3 CABLE TRANSMISSION SYSTEMS + SILICONE

Example: Robot Eva (ref 4): This type of system relies on a silicone mask supported by a 3D-printed skull, which maintains its shape and prevents deformation when the cables are actuated. Both the lips and the jaw are controlled using steel cables connected to MG90S servomotors, enabling a wide range of mouth movements and facial expressions. The jaw, specifically, is actuated by two servomotors mounted on the fixed part of the skull, allowing rotation around their shared axis. The placement of the actuators is shown in Figures 5 and 6.

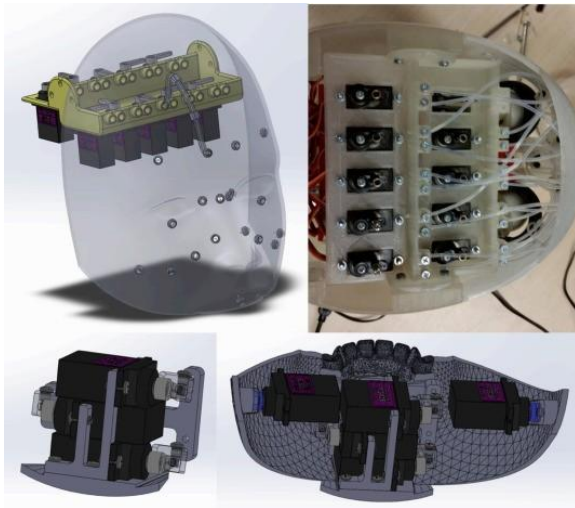


Figure 5: Actuation of the face

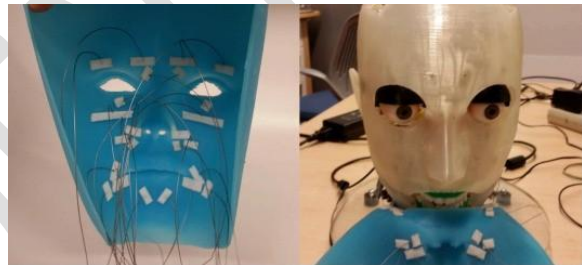


Figure 6: Cable attachment system inside the silicone mask

However, this configuration results in considerably greater bulk compared to the previous systems, due to the large number of servomotors and the structural elements required to support them.

6.4 APPROACH COMPARISON

Type	Simplicity	Expressiveness	Compactness	Actuators	Lip-sync*
Rigid (1 DOF)	High	Low	Medium–High	1	Low
Rigid + Silicone (DOF ≥ 2)	Medium	Medium	Medium	3	Medium
Cable + Silicone	Low	High	Low	≥ 8	High

Table 1 : Comparison of mouth mechanism types

Since this study focuses solely on the mouth mechanism, it is difficult to access precise data regarding the overall weight and cost of each complete system. However, considering that the main cost and weight contributors in these mechanisms are the servo motors, the silicone layer, and the plastic materials used, it is reasonable to assume that the third system (cable-driven with silicone) is significantly more expensive and heavier than the first two.

*This refers to how compatible the mechanism is with accurate lip sync.

6.5 CONCLUSION

Each mechanism offers distinct advantages: rigid systems are simple and compact, while cable-driven designs provide superior expressiveness at the cost of complexity. The most suitable approach appears to depend on the required level of expressiveness and realism of the robot. If the mouth mechanism is to be integrated into a humanoid robot whose main objectives include vocal synchronization and a high degree of facial expressiveness, the cable-driven solution with silicone appears to be the most appropriate.

However, in our case, these constraints are not a priority. The dominant design criteria are weight and the spatial footprint of the system. Therefore, simpler mechanisms (such as those presented in the first section) are preferred, as they are more compact and lightweight due to their minimal number of actuators. Additionally, they offer better control over mass distribution within the head. A mechanism similar to the second system mentioned (servo motors + rods) could be a suitable option. Considering that the two main sources of weight in the head are the mouth and eye mechanisms, this solution offers an additional advantage: by positioning the servomotors toward the back of the head, it helps counterbalance the forward weight caused by the eye system. This results in a more balanced overall mass distribution, which aligns well with our design criteria. Moreover, since this mechanism requires relatively few attachment points to the fixed part of the skull, it is likely easier to integrate into an existing system compared to solutions like the piston-and-hinge design.

6.6 REFERENCES

1. <https://inmoov.fr/head-3/>
2. Nguyen. M & Nguyen. T. (2024). *Advanced Design and Implementation of a Biomimetic Humanoid Robotic Head Based on Vietnamese Anthropometry*, University of Economics, Ho Chi Minh City. Available at: [MDPI](#)
3. <https://inmoov.fr/headi2/>
4. Faraj. Z et al. (2020). *Facially expressive humanoid robotic face*. Columbia University. Available at: [ScienceDirect](#)