

PROJET DE SECONDE ANNÉE

Rapport

Peau Artificielle appliquée à un robot par
apprentissage (IA)

PAR

MITCHEL Maël & TCHEGANG YANSE Picard

Dr Alexandre PITTI
Dr Mehdi ABDELWAHEB

Encadrant
Encadrant

PRÉSENTATION DU PROJET:	4
Présentation.....	4
Quelques applications possibles :	4
Etat de l'art :	4
Cahier des charges:.....	5
BAC.....	5
Fonction Principale et Contraintes.....	5
DIAGRAMME EN PIEUVRE.....	6
Etapas :	6
Portée du projet:.....	7
DIAGRAMME DE GANTT.....	8
Matériels choisis.....	9
QU'EST-CE QUE LA TOMOGRAPHIE ?.....	11
Cas général :	11
Application à la peau artificielle :	11
COMMANDE DU SIGNAL INJECTÉ ET TRAITEMENT DU SIGNAL REÇU.....	12
Modèle Initial.....	12
Modèle modifié :	13
Howland Current Source.....	16
Fixation de la peau.....	18
- La fixation via les pinces croco.....	18
- La fixation via le scotch en cuivre.....	19
- La fixation via les électrodes.....	19
- La fixation par ruban adhésif plus fil conducteur.....	20
CONCEPTION DU PCB.....	21
Routage.....	21
Premier Routage :	21
Tentatives suivantes :	22
SIMULATION DE LA PEAU ARTIFICIELLE VIA PYTHON.....	23
Module py.eit.....	23
CRÉATION DU DATASET.....	24
MATRICE DE KOHONEN (SOM).....	25
Résultat de l'entraînement.....	26
Résultat initiaux.....	26
Résultat après amélioration du modèle.....	28
Test sur la reconstruction des données.....	30
Limites.....	30
CONCLUSION.....	31

REMERCIEMENT

Nous exprimons notre profonde gratitude à nos professeurs encadrants pour leur soutien constant et leur disponibilité tout au long de ce projet.

Un merci particulier au Dr Alexandre PITTI pour nous avoir confié ce projet ambitieux et pour nous avoir fourni le contexte et les ressources nécessaires à sa réalisation.

Nous remercions également le Dr Mehdi ABDELWAHEB pour nous avoir ouvert les portes du laboratoire ETIS de Cy Saint Martin et pour son accompagnement précieux dans les aspects théoriques et techniques de conception de la peau artificielle, ainsi que pour son enseignement sur les réseaux de neurones.

Enfin, un grand merci à Patricia KITTEL pour sa patience et son soutien lors de la conception et de l'impression du circuit imprimé (PCB) indispensable à la concrétisation de ce projet.

PRÉSENTATION DU PROJET:

Présentation

L'application d'une peau artificielle à un robot déjà conçu vise à améliorer les capacités sociales d'interaction du robot avec son environnement.

Les principaux objectifs sont donc les suivants :

- Développer une peau artificielle capable d'évaluer la localisation des contacts physiques qui lui sont appliqués en surface.
- Permettre à un robot préalablement conçu d'adopter des réactions et des comportements nuancés en fonction des contacts physiques qui lui sont appliqués.

Pour cela, il est nécessaire de concevoir au préalable la peau artificielle qui se reposera sur le principe de la tomographie et de l'apprentissage par une carte Kohonen. Par la suite, la peau sera appliquée au robot vers qui les informations de contact (entre autres la localisation) récoltées par la peau seront transférées au robot REACHY (dont le code source est en accès libre sur internet).

Quelques applications possibles :

En robotique sociale, il pourrait enrichir l'interaction humain-robot dans des contextes tels que les soins aux personnes âgées et l'éducation. Dans l'industrie manufacturière, l'utilisation de robots dotés de cette technologie pourrait renforcer la sécurité en détectant les contacts physiques et en prévenant les incidents.

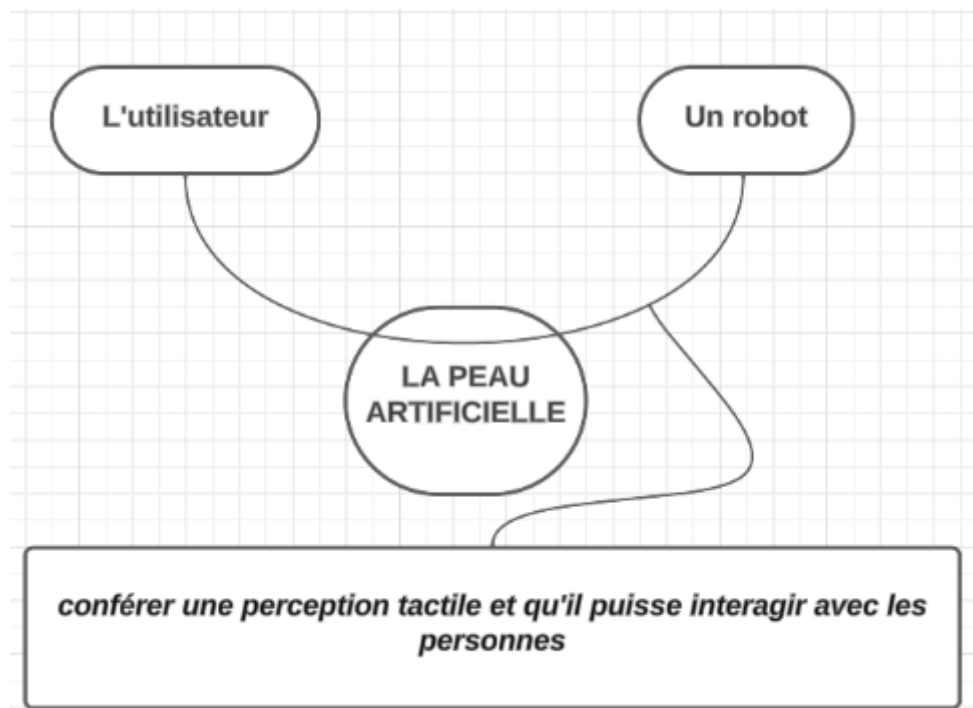
Etat de l'art :

La robotique orientée vers la sensibilité tactile progresse rapidement avec le développement de capteurs et de peaux artificielles sophistiqués. Ces avancées visent à améliorer la perception haptique des robots, leur permettant de détecter avec précision les forces, les pressions et les textures lors de contacts physiques. Les capteurs de force, les capteurs capacitifs et les matériaux intelligents sont

intégrés pour offrir une rétroaction tactile avancée. Cette technologie trouve des applications dans la manipulation d'objets délicats, la chirurgie assistée par robot, les soins aux personnes âgées, et d'autres interactions physiques complexes. L'intelligence artificielle est souvent intégrée pour permettre aux robots d'apprendre et de s'adapter en temps réel, améliorant ainsi leur adaptabilité et leurs performances dans des environnements dynamiques. Ces progrès ouvrent la voie à des interactions plus naturelles et sûres entre les robots et leur environnement.

CAHIER DES CHARGES:

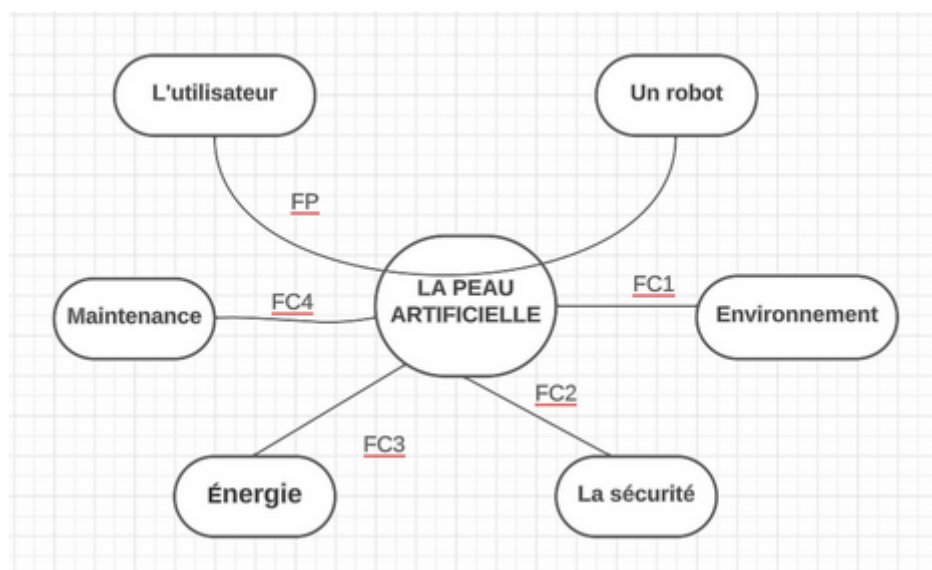
BAC



Fonction Principale et Contraintes

Fonctions	Caractérisation
FP1	Conférer une perception tactile et interaction avec des personnes
FC1	Respecter les normes environnementales
FC2	Assurer la sécurité
FC3	Doit être autonome
FC4	Doit être facilement réparable en cas de pannes

DIAGRAMME EN PIEUVRE



Etapes :

→ *Identification des composants nécessaire :*

- examen du modèle existant afin d'identifier ses potentielles améliorations
- commandes des composants nécessaires aux montages de la peau

→ *Conception du PCB :*

- Création et correction du Schematic
- Vérification via simulation de la pertinence du montage
- Création du fichier Gerber
- Soudure du PCB

→ *Mise en place de la peau :*

- Assemblage de la peau avec le PCB
- Apprentissage via la carte Kohonen

→ *Mise en place de la peau sur le robot*

- Assemblage de la peau sur le robot
- Implémentation dans le code du robot des informations de la peau

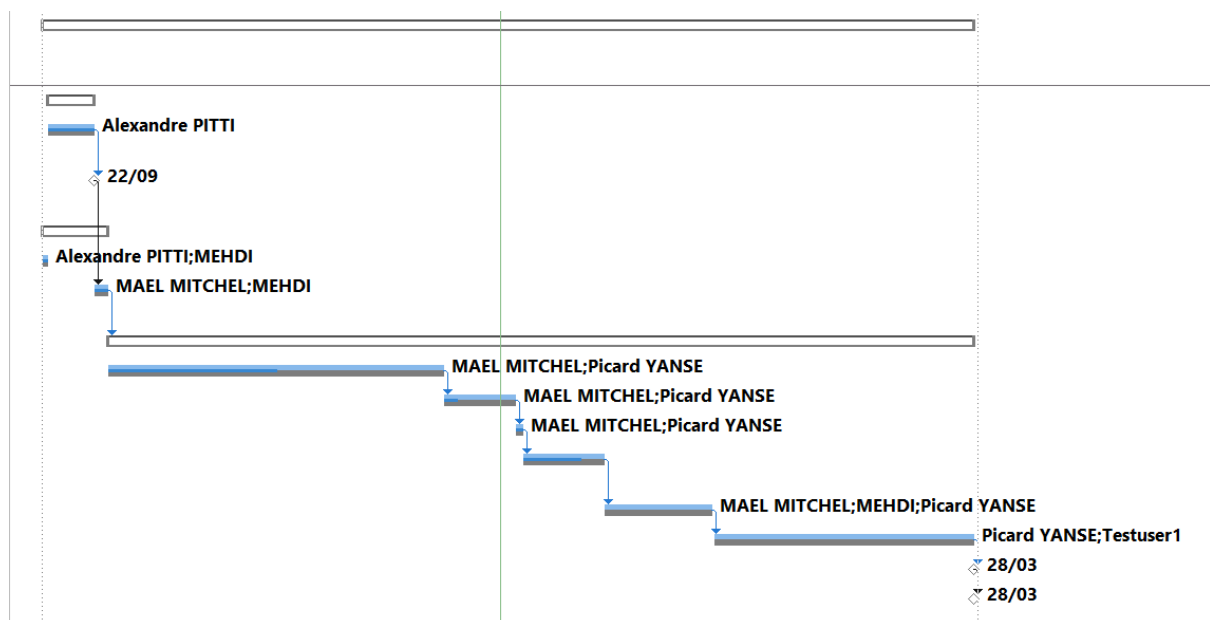
Critère de succès : localisation correcte des contacts sur la matrice Kohonen et réactions différentes du robots après un contact.

Portée du projet:

Dans ce projet seul le bras du robot sera doté d'une peau artificielle. Ainsi, les réactions du robot ne seront conditionnées que par les contacts sur le bras du robot.

DIAGRAMME DE GANTT

	Mc	Nom de la tâche	Durée	Début	Fin	Pré	Noms ressource	Coût
1		▸ Réalisation d'un robot équipé d'une peau artificielle	251 jours	Lun 11/09/23	Jeu 28/03/24			18 320,00 €
2	✓	▸ Initialisation	14 jours	Mar 12/09/23	Ven 22/09/23			1 120,00 €
3	✓	proposition de projet	14 jours	Mar 12/09/23	Ven 22/09/23		Alexandre PITTI	1 120,00 €
4	✓	Approbation du projet	0 jour	Ven 22/09/23	Ven 22/09/23	3		0,00 €
5	✓	▸ Planification	18 jours	Lun 11/09/23	Lun 25/09/23			560,00 €
6	✓	Macro planification	2 jours	Lun 11/09/23	Mar 12/09/23		Alexandre PITTI	320,00 €
7	✓	Planification détaillée	2 jours	Ven 22/09/23	Lun 25/09/23	4	MAEL MITCHEL	240,00 €
8		▸ Réalisation	233 jour	Lun 25/09/23	Jeu 28/03/24	7		16 640,00 €
9		Conception	90 jours	Lun 25/09/23	Mar 05/12/23		MAEL MITCHEL	7 200,00 €
10		Design	20 jours	Mar 05/12/23	Jeu 21/12/23	9	MAEL MITCHEL	1 600,00 €
11	✓	Devis	3 jours	Jeu 21/12/23	Ven 22/12/23	10	MAEL MITCHEL	240,00 €
12		Reception Matériels	20 jours	Ven 22/12/23	Mar 09/01/24	11		0,00 €
13		Developpement	30 jours	Mar 09/01/24	Jeu 01/02/24	12	MAEL MITCHEL	4 800,00 €
14		Test/validation	70 jours	Jeu 01/02/24	Jeu 28/03/24	13	Picard YANSE	2 800,00 €
15		Livraison	0 jour	Jeu 28/03/24	Jeu 28/03/24	14		0,00 €
16		Clôture	0 jour	Jeu 28/03/24	Jeu 28/03/24	15		0,00 €



Matériels choisis

Pour mener à bien notre projet, nous utiliserons:

- **Analog Discovery**

Nous avons choisi ce composant pour deux raisons principale:

- **Polyvalence** : L'Analog Discovery est un appareil multifonction qui combine plusieurs instruments de mesure électronique en un seul boîtier compact. Il peut être utilisé comme oscilloscope, générateur de signaux, analyseur de spectre, voltmètre, etc. Il offre donc une grande polyvalence pour effectuer une variété de mesures et de tests dans votre projet.
- **Portable et convivial** : L'Analog Discovery est conçu pour être portable et facile à utiliser. Il se connecte à votre ordinateur via USB et est contrôlé par un logiciel convivial. Cela en fait un outil pratique pour les projets sur le terrain, les laboratoires d'enseignement ou tout autre environnement où la mobilité est importante.

- **AOP**

Les AOP offrent généralement une impédance d'entrée très élevée, ce qui signifie qu'ils ne changent pas le signal d'entrée et n'interfèrent pas avec les circuits précédents. Cela permet de conserver l'intégrité du signal et de minimiser les perturbations indésirables.

Les AOP ont également une impédance de sortie faible, ce qui signifie qu'ils peuvent fournir un courant de sortie élevé sans perte de tension significative. Cela les rend adaptés à la connexion de charges, tels que des haut-parleurs ou d'autres circuits nécessitant une alimentation en courant.

- **MUX**

Le principal avantage d'un MUX est de permettre le multiplexage de plusieurs signaux sur une seule ligne de transmission ou d'entrée. Cela permet d'économiser des ressources et de simplifier la conception du circuit en réduisant le nombre de lignes nécessaires pour transmettre ou traiter les signaux.

Les MUX peuvent être utilisés pour réduire les délais de commutation entre différentes sources de signaux.

Les MUX modernes sont conçus pour être à faible résistance, à faible bruit et à haute impédance d'entrée pour préserver la qualité du signal lors de la sélection et de la transmission.

- **Peau Velostat**

La peau Velostat est un matériau sensible à la pression. Lorsqu'une force est appliquée sur la peau Velostat, sa résistance électrique change proportionnellement. Cela signifie que la peau Velostat peut être utilisée comme un capteur de pression pour détecter les variations.

La peau Velostat est généralement peu coûteuse par rapport à d'autres capteurs de pression ou de force disponibles sur le marché. Cela en fait une option économique pour les projets ayant des contraintes budgétaires.

La peau Velostat est un matériau flexible et facile à utiliser. Elle peut être découpée en différentes formes ou tailles pour s'adapter aux besoins de notre projet.

La peau Velostat est relativement robuste et durable. Elle peut résister à des pressions répétées et à des manipulations fréquentes sans se déformer ou perdre ses propriétés de détection de pression.

- **Carte Arduino**

Les cartes Arduino sont conçues pour être accessibles aux débutants en électronique et en programmation. Elles sont dotées d'une interface simple, de broches d'entrée/sortie intuitives et d'un environnement de développement convivial. Cela permet aux utilisateurs d'apprendre rapidement et de réaliser des projets sans nécessiter une expertise avancée. Le coût est abordable comparé à d'autres cartes électroniques, les cartes Arduino sont relativement peu coûteuses. Cela en fait une option attrayante pour les projets à budget limité ou pour les amateurs qui souhaitent expérimenter sans investir beaucoup d'argent.

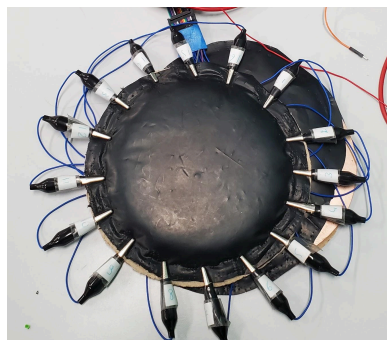
QU'EST-CE QUE LA TOMOGRAPHIE ?

Cas général :

La tomographie électrique, également appelée tomographie d'impédance électrique, est une technique d'imagerie médicale qui mesure la conductivité électrique des tissus du corps pour créer des images en coupe. Elle repose sur l'injection de courant à travers des électrodes placées sur la surface du corps et la mesure de la tension résultante à l'aide d'électrodes opposées. En variant la configuration des électrodes, on collecte des données à partir de différentes directions, permettant la reconstruction d'une image tridimensionnelle de la distribution de la conductivité électrique à l'intérieur du corps.

Application à la peau artificielle :

La tomographie électrique peut également être adaptée à des systèmes dotés d'une peau artificielle en velostat, un matériau connu pour sa conductivité électrique variable en réponse à la pression. Intégrant des électrodes, cette technique mesure la conductivité électrique variable du velostat en réponse à la pression. Les données recueillies permettent de reconstruire une image en coupe transversale de la peau artificielle, mettant en évidence la répartition de la pression.



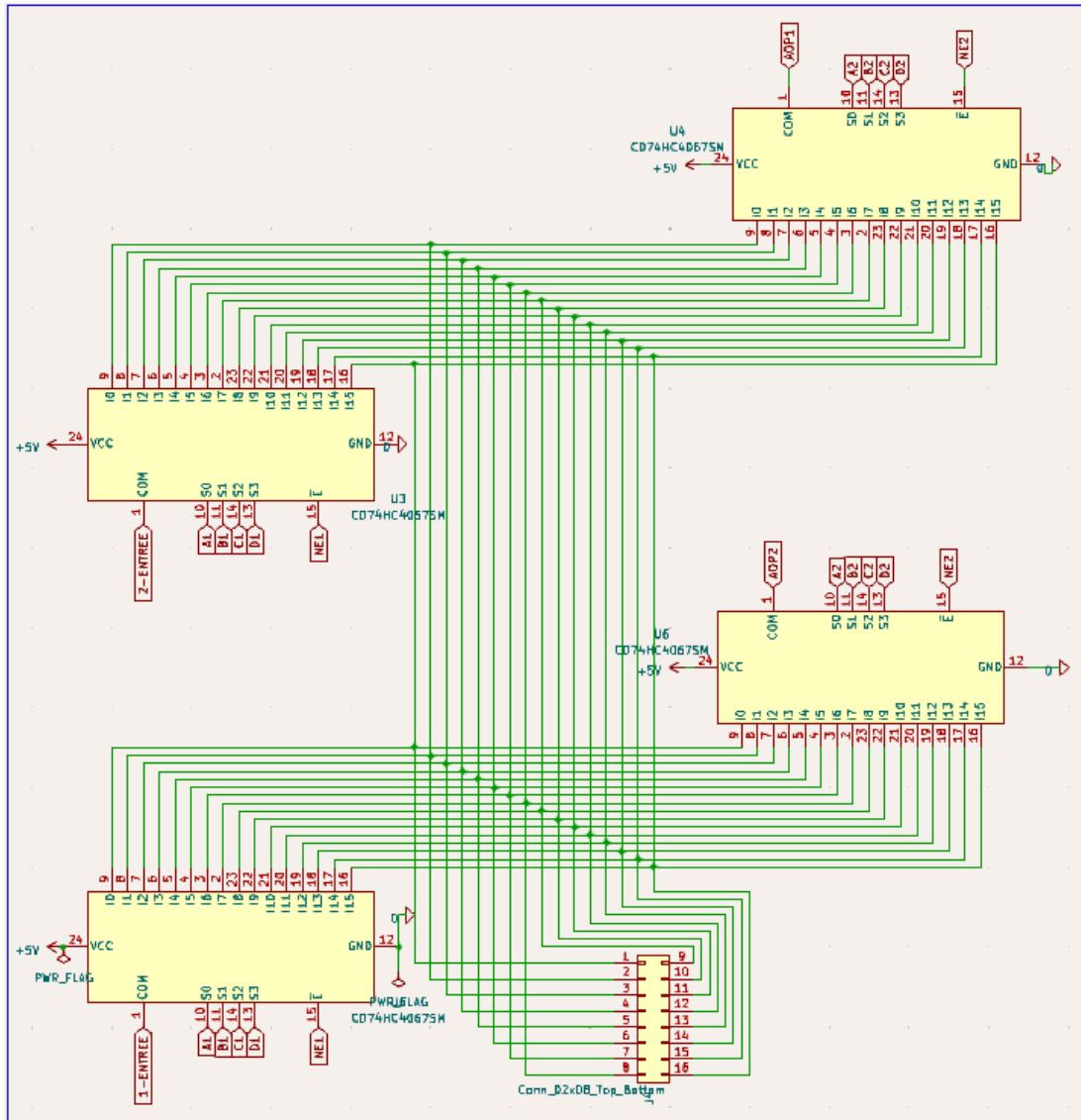
COMMANDE DU SIGNAL INJECTÉ ET **TRAITEMENT DU SIGNAL REÇU**

Modèle Initial

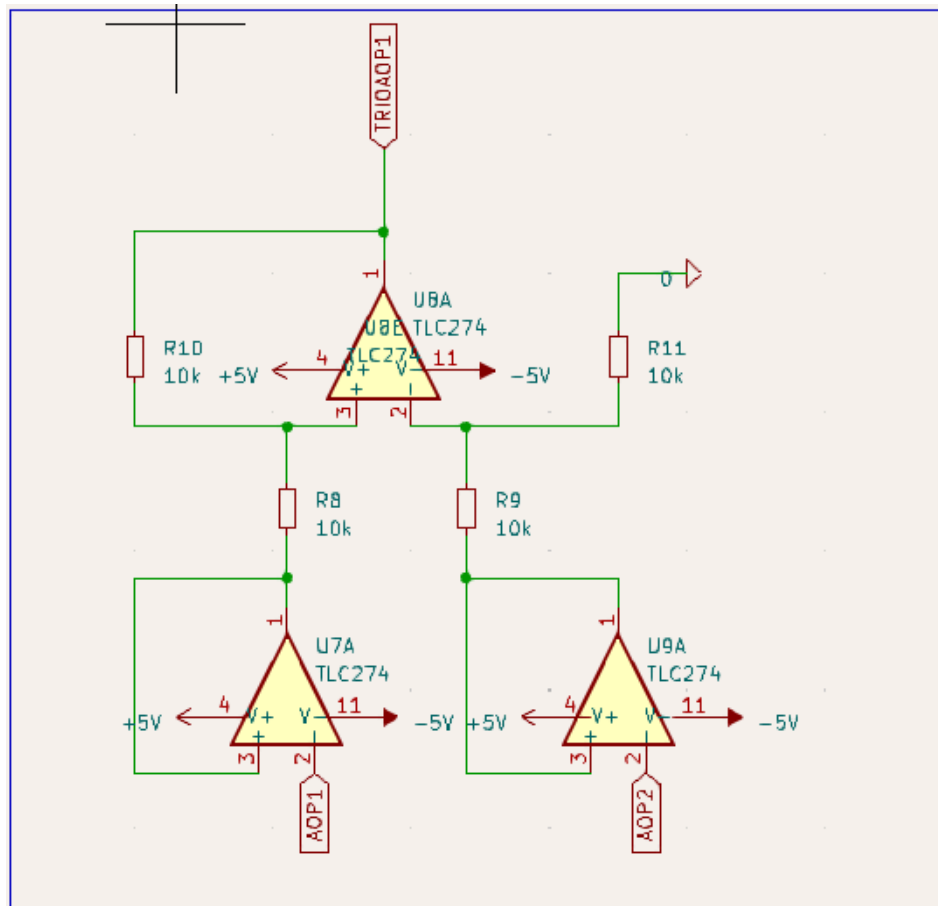
Notre système d'étude est basé sur un système déjà existant. Celui-ci est composé des éléments suivants : Une tête de balayage et une station de base. La tête de balayage contient le circuit double démultiplexeur utilisé pour appliquer le courant d'excitation sur deux des 16 électrodes, ainsi que le circuit double multiplexeur utilisé pour commuter entre les 13 autres électrodes de la surface du tissu afin de se connecter à la station de base. La tête de balayage contient également un amplificateur instrumental pour coordonner la force du signal et une source de courant pour créer le courant d'excitation. La station de base contient un microcontrôleur chargé de générer le signal de contrôle pour mettre en œuvre l'algorithme de contrôle des multiplexeurs/démultiplexeurs. L'acquisition de données est réalisée par un microcontrôleur ADC 8 bits.

Une interface de multiplexage polyvalente est intégrée à l'analyseur d'impédance sans fil pour offrir 16 canaux indépendamment adressables auxquels le courant peut être injecté et le potentiel de la peau en contact peut être mesuré simultanément. Au cœur de l'appareil se trouve un microcontrôleur 8 bits à faible consommation d'énergie qui pilote le dispositif et mesure le potentiel électrique de la frontière à l'aide de son convertisseur analogique-numérique (CAN) interne sur 10 bits.

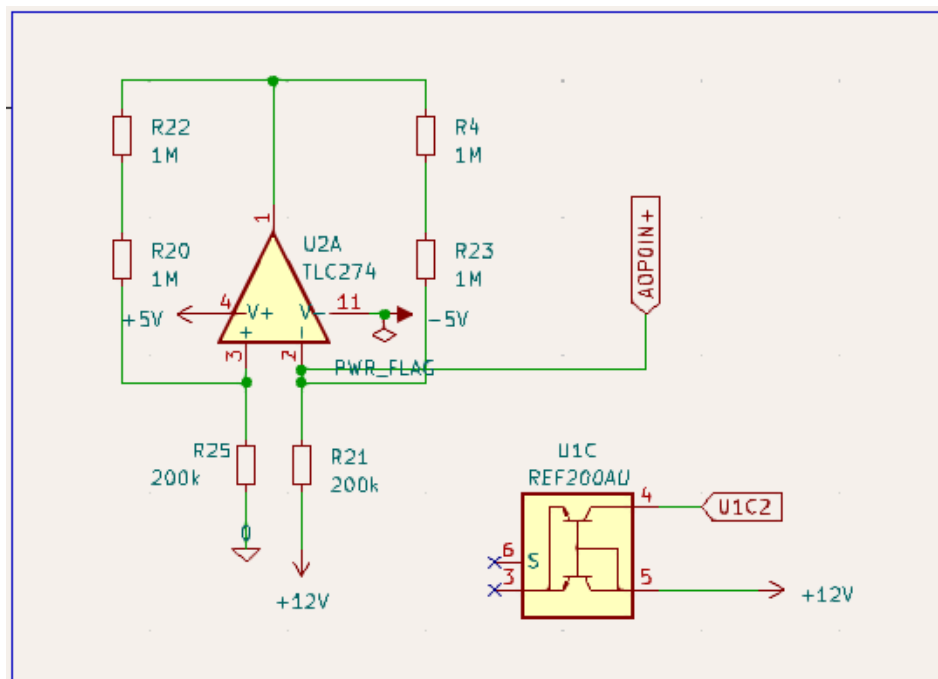
Kicad Schematic : Mux / Démux



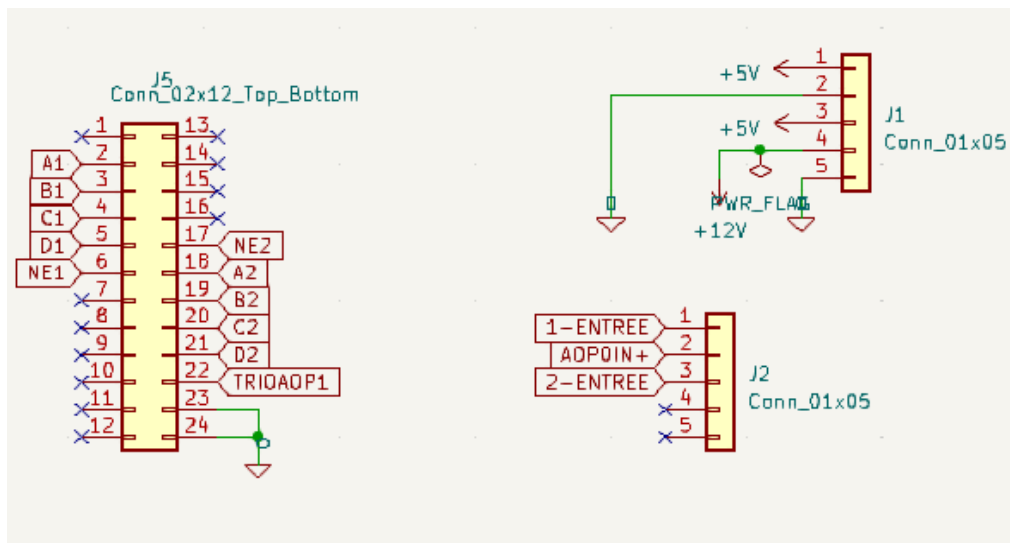
Kicad Schematic : Amplificators



Kicad Schématic : Howland Current Source

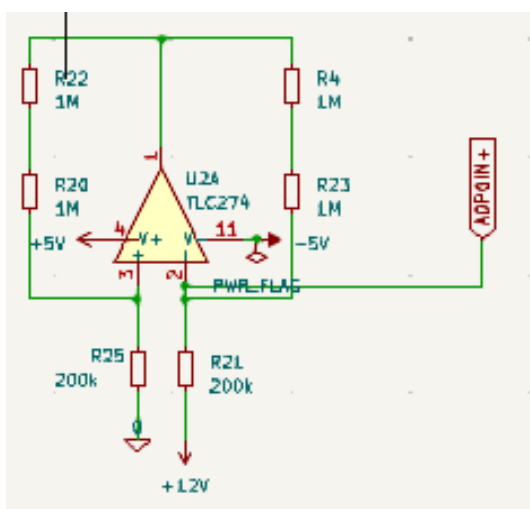


Kicad Shématic : Connecteurs



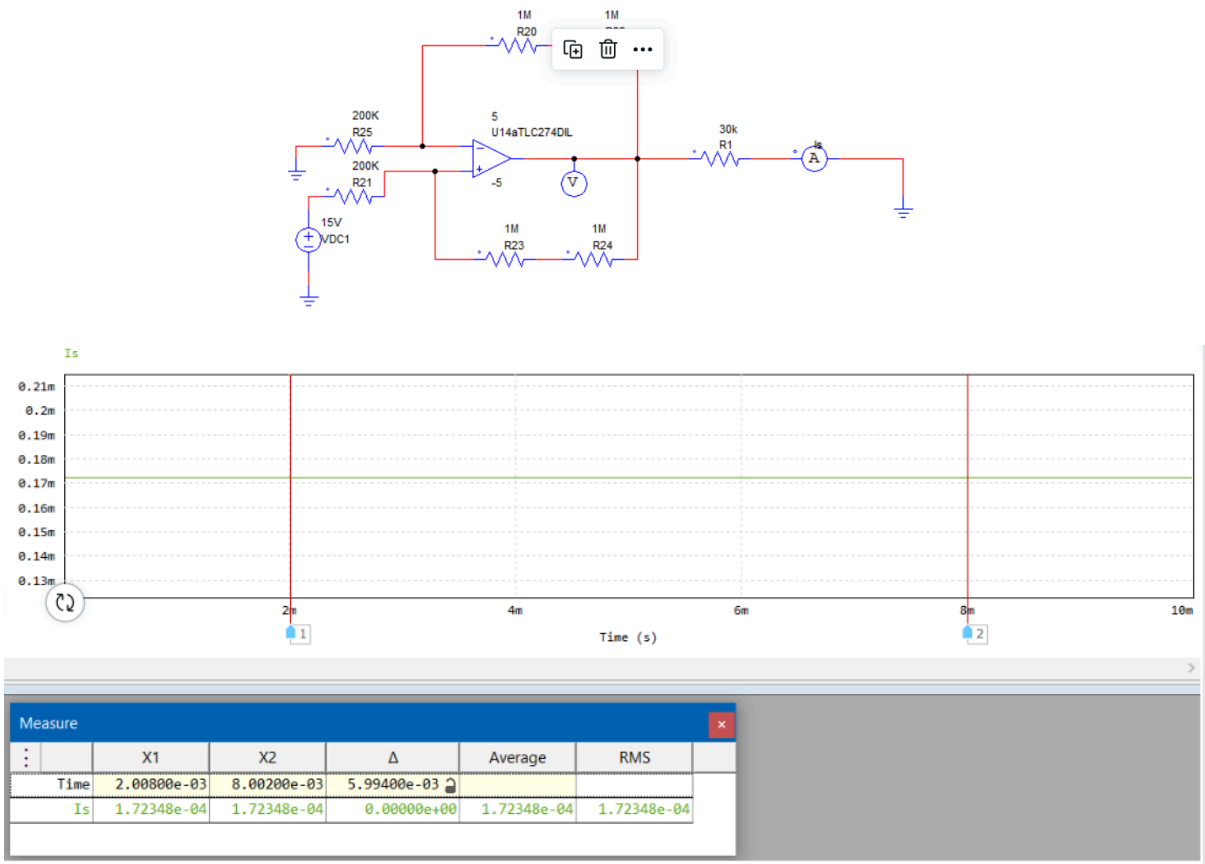
Howland Current Source

Le "Howland Current Source" (source de courant de Howland) est un circuit électronique utilisé pour générer un courant constant en réponse à une tension d'entrée. Il est particulièrement connu pour sa capacité à produire un courant de sortie constant indépendamment des variations de la charge. Ce montage est souvent utilisé dans des applications telles que les sources de courant pour les électrodes de stimulation dans les applications biomédicales, les dispositifs de mesure de courant, et d'autres applications nécessitant une source de courant précise et stable, cette particularité le rend idéal pour notre application.



Ici on choisi les résistances de manière à avoir un courant de sortie de 100uA

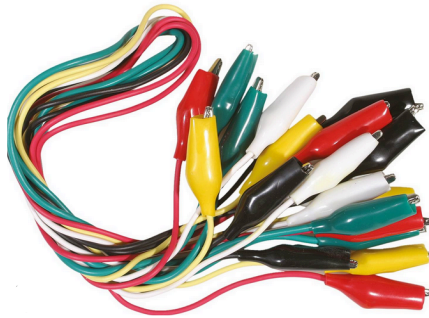
Simulation du Howland afin de s'assurer de son bon paramétrage :



FIXATION DE LA PEAU

La fixation de la peau Velostat, est une étape très sensible à réaliser car le velostat utilisé ici comme peau artificielle est très sensible à la pression, cette fixation peut être réalisée de différentes manières, notamment à l'aide de pinces crocodile, de ruban adhésif en cuivre ou d'électrodes. Voici les avantages et les inconvénients de chaque méthode de fixation de la peau :

- La fixation via les pinces croco



Avantages :

- Facilité d'utilisation : Les pinces crocodile sont faciles à attacher et à détacher de la peau Velostat.
- Réutilisabilité : Les pinces crocodile peuvent être utilisées plusieurs fois, ce qui permet de les utiliser pour d'autres projets.
- Bonne conductivité : Les pinces crocodile offrent généralement une bonne conductivité électrique.

Inconvénients :

- Risque de déformation de la peau Velostat : Les pinces crocodile peuvent exercer une pression excessive sur la peau Velostat, ce qui peut entraîner une déformation ou une altération des mesures de pression.
- Risque de mouvement : Les pinces crocodile peuvent se détacher ou glisser de la peau Velostat, ce qui peut affecter la fiabilité des mesures

- La fixation via le scotch en cuivre



Avantages :

- Facilité d'application : Le ruban adhésif en cuivre peut être facilement découpé et appliqué sur la peau Velostat.
- Conductivité électrique : Le ruban adhésif en cuivre offre une bonne conductivité électrique, ce qui facilite la transmission des signaux électriques à travers la peau Velostat.

Inconvénients :

- Risque d'irritation cutanée : Certaines personnes peuvent être sensibles à l'adhésif du ruban en cuivre, ce qui peut causer une irritation cutanée ou des réactions allergiques.
- Difficulté de réutilisation : Une fois le ruban adhésif en cuivre appliqué, il peut être difficile de le retirer sans endommager la peau Velostat ou le ruban lui-même.

- La fixation via les électrodes



Avantages :

- Fixation sécurisée : Les électrodes adhésives sont spécialement conçues pour une fixation efficace sur la peau, offrant une adhérence solide.
- Conductivité précise : Les électrodes sont conçues pour fournir une bonne conductivité électrique et minimiser les interférences.

Inconvénients :

- Coût : Les électrodes adhésives peuvent être plus coûteuses que d'autres méthodes de fixation, en particulier si elles doivent être remplacées fréquemment.
- Sensibilité cutanée : Certaines personnes peuvent être sensibles aux adhésifs utilisés sur les électrodes, ce qui peut causer une irritation cutanée.

- La fixation par ruban adhésif plus fil conducteur

Avantages :

- Facilité d'utilisation : La connexion par ruban adhésif est souvent simple et rapide à réaliser. Il suffit d'appliquer le ruban adhésif sur les composants à connecter pour les maintenir en place.
- Accessibilité : Le ruban adhésif est généralement facile à trouver et peu coûteux, ce qui en fait une solution pratique pour les connexions temporaires ou les prototypes.
- Flexibilité : Le ruban adhésif peut être utilisé pour connecter différents types de composants, qu'ils soient plats, courbes ou de tailles différentes. Il offre une certaine flexibilité dans la disposition des connexions.

Inconvénients :

- Conductivité limitée : La plupart des rubans adhésifs conventionnels ne sont pas conçus pour fournir une conductivité électrique fiable. Cela peut entraîner une résistance ou une interférence dans les connexions électriques, ce qui peut affecter les performances du circuit.
- Fiabilité à long terme : Le ruban adhésif peut se détériorer avec le temps en raison de l'exposition à l'humidité, à la chaleur ou à d'autres facteurs environnementaux. Cela peut entraîner une diminution de l'adhérence et une défaillance de la connexion.
- Difficile à re-positionner : Une fois que le ruban adhésif est appliqué, il peut être difficile de le repositionner ou de le retirer sans endommager les composants ou les surfaces auxquels il est fixé.
- Limitations mécaniques : Le ruban adhésif peut ne pas offrir une résistance mécanique suffisante, ce qui peut entraîner un relâchement des connexions en cas de mouvement ou de vibrations.

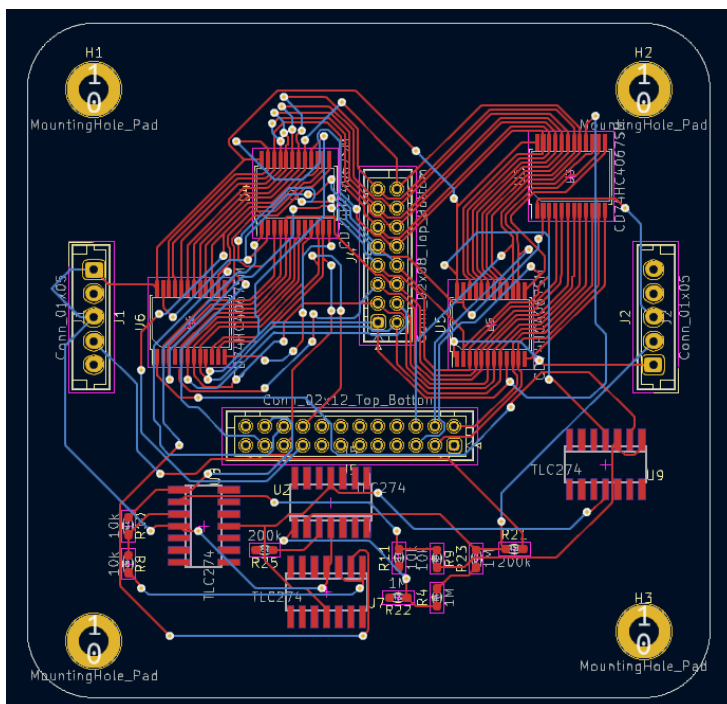
CONCEPTION DU PCB

Une fois le schematic réalisé du PCB, on procède à son routage

Routage

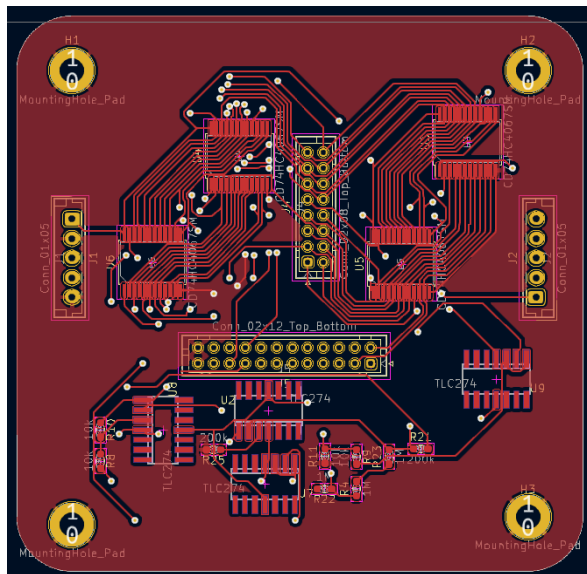
Le routage est le processus de placement et de connexion des composants électroniques sur un circuit imprimé en traçant des chemins électriques entre les broches des composants. Cela se fait en utilisant des pistes conductrices pour assurer la bonne transmission des signaux électriques.

Premier Routage :



Cependant, ce premier routage bien que théoriquement correct n'est pas compatible avec les contraintes de routages imposés par les machines de l'ENSEA.

En effet, ces contraintes imposent un espacement entre les éléments de routage et une largeur de ligne de 0.3mm minimum.

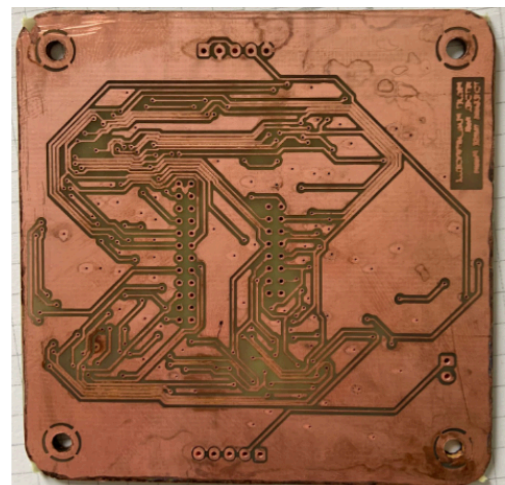
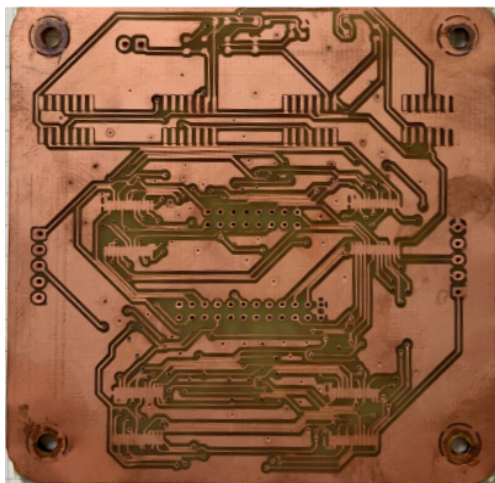


De plus, il y avait trop peu de plan de masses sur ma carte ce qui aurait eu pour effet d'altérer les propriétés du cuivre.

Zone noire = absence de plan de masse (de cuivre)

Tentatives suivantes :

D'autres tentatives de routages infructueuses ont été réalisées :



Cependant la réalisation de ce PCB n'était pas possible pour deux principales raisons :

- Les pads des MUX choisis n'étaient pas compatibles à la contrainte d'espacement imposée par les machines de l'ENSEA. En effet ces pads étaient espacés de 0.2mm.
- Le PCB à cause de son grand nombre de composants et de liaisons n'étaient pas réalisable à l'ensea car celui-ci requiert une conception en 4 couches, ce qui n'est pas réalisable dans l'école.

SIMULATION DE LA PEAU ARTIFICIELLE VIA PYTHON

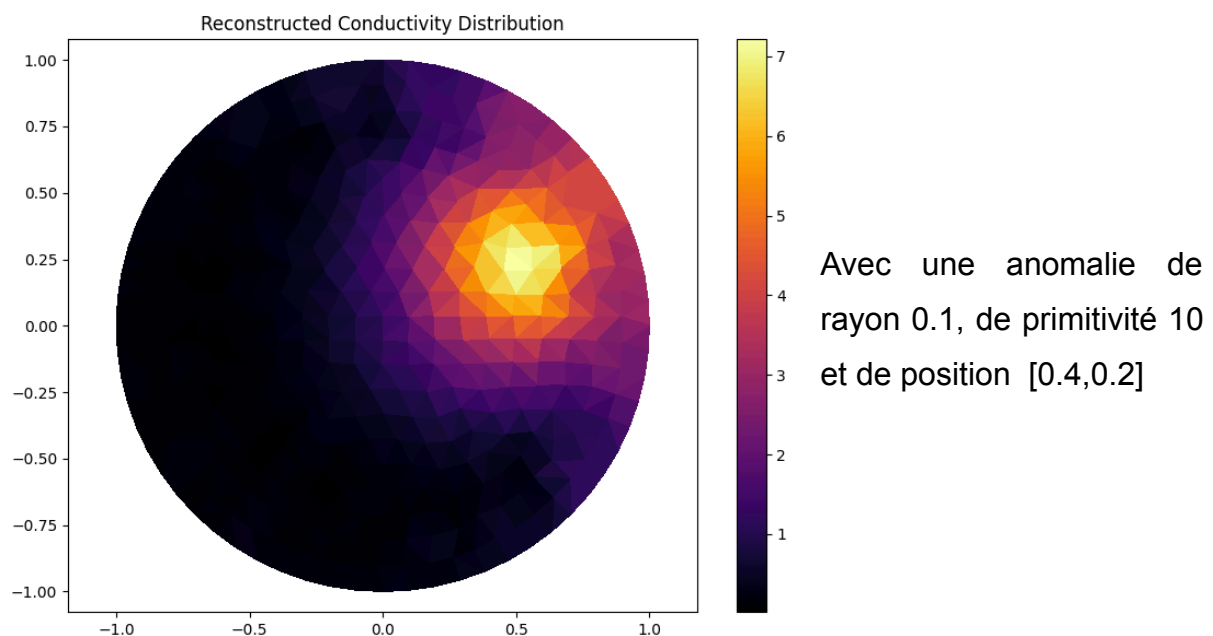
Comme expliqué précédemment il n'était pas possible de réaliser le PCB au sein de l'ENSEA et par manque de temps il n'était pas non plus possible de commander d'effectuer une commande depuis l'extérieur. Ainsi afin d'aboutir à un résultat dans l'esprit de l'objectif initial nous avons décidé de simuler les matrices d'impédances électriques que nous aurions obtenues grâce aux contacts sur la peau.

Cela est possible notamment grâce à l'utilisation du module python pyeit

Module py.eit

On initialise une surface de conductivité initiale uniforme allant de coordonnées -0.5 à 0.5

On crée ensuite des "anomalies" dans la conductivité de notre surface, ces anomalies ont pour but de simuler l'impact qu'un contact aurait eu sur notre peau artificielle. On obtient ainsi une matrice de tension comme suit



CRÉATION DU DATASET

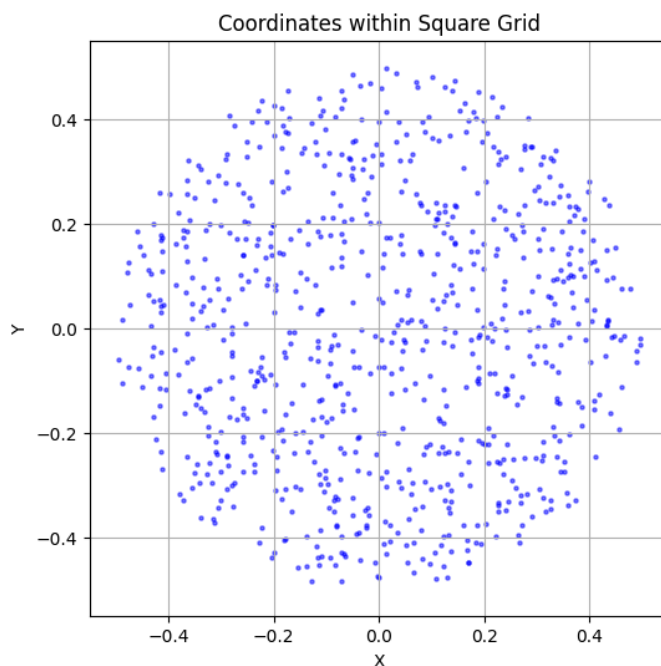
Afin de pouvoir entraîner notre matrice auto-organisatrice, nous avons besoin d'un grand nombre de matrices de tensions, provoqués par un grand nombre d'anomalies (de contacts) différents.

Ainsi on crée un dataset de 1000 anomalies ayant les paramètres suivants :

- un rayon fixe de 0.1
- une permittivité fixe de 10
- une position défini aléatoirement à chaque itérations

Ainsi, on obtient un premier dataset, Dataset_EIT qui contient les matrices de tensions de 1000 contacts de positions aléatoires.

On exportera le dataset en format pkl afin de conserver tels quel les éléments spécifiques au module pyeit et de ne pas avoir à recréer le dataset à la réouverture du notebook.



Here's a representation of the anomalies repartitions on our artificially created artificial skin. Since it was supposed to be a circular portion of skin our data are concentrated in a circle

MATRICE DE KOHONEN (SOM)

La matrice de Kohonen, également connue sous le nom de carte auto-organisatrice (Self-Organizing Map ou SOM en anglais), est un algorithme d'apprentissage non supervisé utilisé pour la visualisation et la compression de données multidimensionnelles.

La matrice de Kohonen est basée sur un réseau de neurones artificiels organisés en une grille bidimensionnelle rectangulaire dans notre cas. Chaque neurone dans la grille est associé à un vecteur de poids qui représente un point dans l'espace des données d'entrée. L'objectif de l'algorithme est d'organiser ces neurones de manière à ce que les neurones voisins sur la grille aient des poids similaires, ce qui permet de représenter les relations et les structures dans les données d'origine.

Le processus d'apprentissage de la matrice de Kohonen se déroule en plusieurs étapes :

Initialisation : On choisit une matrice de neurone en 16x16. Les vecteurs de poids des neurones sont initialisés aléatoirement ou à l'aide d'une méthode spécifique, telle que l'analyse en composantes principales.

Présentation des données : Les données d'entrée sont présentées à la matrice de Kohonen, une par une, ou en petits lots.

Calcul de la distance : Pour chaque donnée d'entrée, la distance entre la donnée et les vecteurs de poids de tous les neurones est calculée. La distance peut être mesurée à l'aide de différentes métriques, telles que la distance euclidienne.

Sélection du neurone gagnant : Le neurone dont le vecteur de poids est le plus proche de la donnée d'entrée est désigné comme le neurone gagnant.

Mise à jour des poids : Les poids des neurones voisins du neurone gagnant sont ajustés pour se rapprocher davantage de la donnée d'entrée. Cela permet d'organiser les neurones voisins de manière à refléter les structures et les relations dans les données.

Répétition du processus : Les étapes 3 à 5 sont répétées pour chaque donnée d'entrée, itérativement, afin d'ajuster progressivement les poids des neurones.

Lorsque l'apprentissage de la matrice de Kohonen est terminé, les neurones de la grille représentent une projection des données d'entrée dans un espace de dimension réduite. Cette projection conserve les relations topologiques et les structures des données d'origine. La matrice de Kohonen peut être utilisée pour la visualisation des données, la classification, la détection de motifs ou la compression de données.

Résultat de l'entraînement

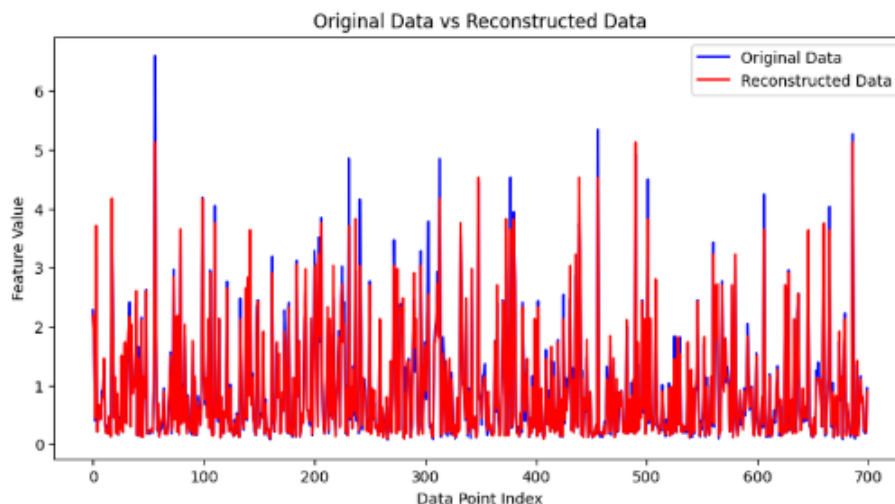
Résultat initiaux

Nos paramètres initiaux pour l'entraînement étaient les suivants :

- un taux d'apprentissage de 0.1
- fonction de voisinage : gaussienne
- un sigma (étalement de la fonction de voisinage) : 0.1
- nombre d'epoch (itérations) : 1000

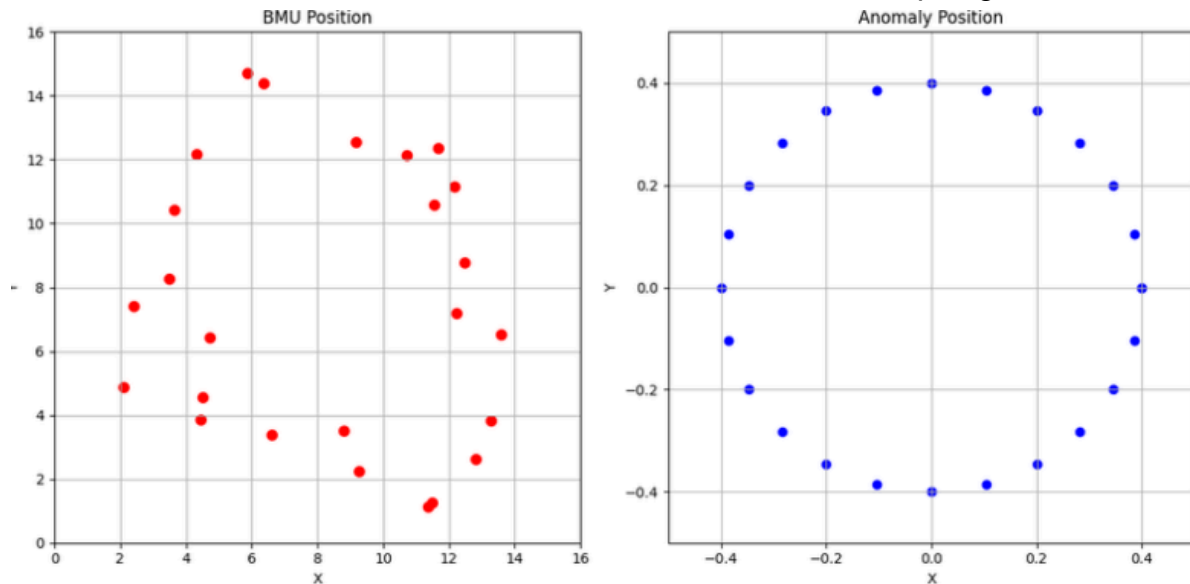
Au départ le modèle présentait des performances peu convaincantes, en effet, notre modèle révélait une erreur de quantification (quantization error en anglais) au-dessus de 3. Ce qui traduit une erreur de positionnement entre les neurones activés et les positions des anomalies très élevées, donc une restitution de la topologie peu fidèle à l'original. Cependant, la reconstruction des matrices de tensions était, quant à elle, très bonne : avec une Erreur quadratique moyenne (MSE en anglais) d'environ 0.007.

QUANTIZATION ERROR: 3.8192276667700416



MSE : 0.007142857142857143

On effectue un test sur la topologie en envoyant à la matrice kohonen des anomalies formant un cercle afin d'observer ou non la conservation de la topologie :



Comme on peut l'observer, la topologie d'entrée (en bleu) est peu respectée par la matrice de kohonen. Il nous faut donc améliorer notre modèle

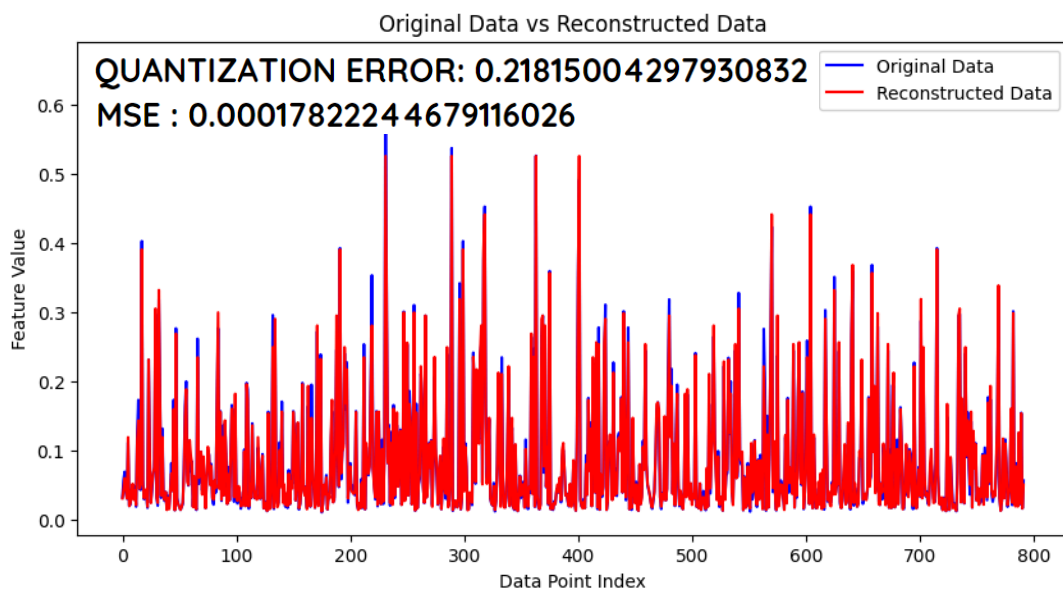
Résultat après amélioration du modèle

Les paramètres précédents ont été ajusté de la manière suivante :

- un taux d'apprentissage de 1
- fonction de voisinage : gaussienne
- un sigma (étalement de la fonction de voisinage) : 1
- nombre d'epochs (itérations) : 10000

Un autre ajustement primordial a été la normalisation des données de matrices de tensions avant passage dans le modèle.

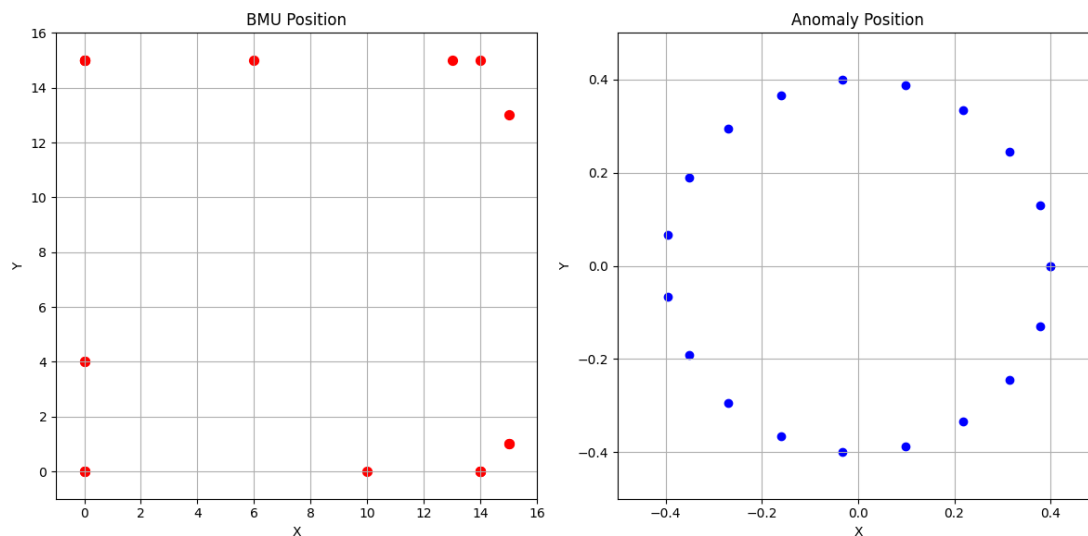
On obtient ainsi les résultats suivants :



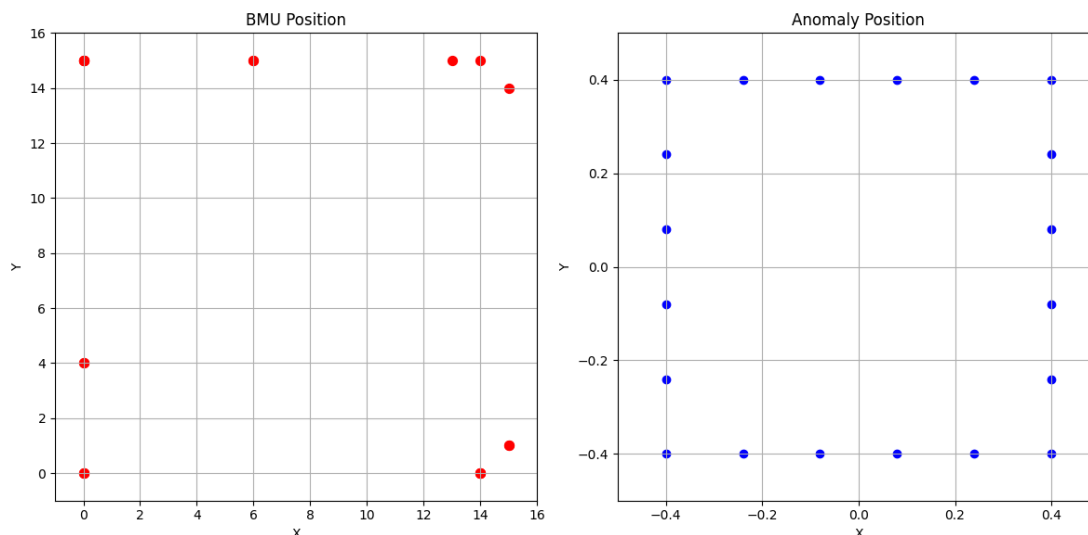
On remarque que les résultats aussi bien en erreur quadratique qu'en erreur de quantification sont bien meilleurs.

Observons maintenant la conservation ou non de la topologie :

Anomalies sous forme de cercle



Anomalies sous forme de carré



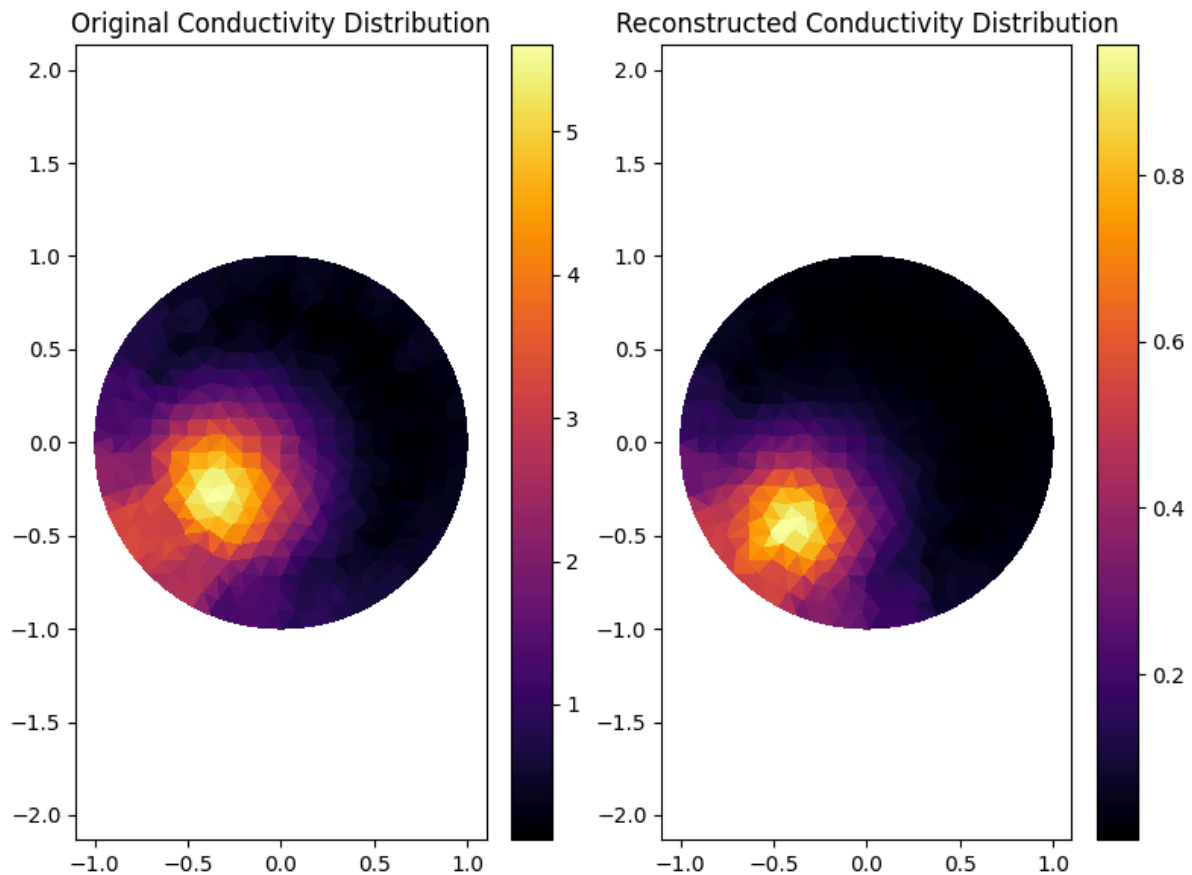
Comme on peut le voir, on conserve la topologie, cependant 2 choses sont à observés :

- La matrice de kohonen ne présentant pas de topologie de neurones sous forme circulaire, un cercle se traduit en anomalie d'entrée se traduit par un carré pour les neurones d'activations. Nous pouvons donc nous satisfaire de la forme du résultat présenté.
- Le nombre de neurones activés ne correspond pas au nombre d'anomalies présenté en entrée. Cela s'explique par la résolution en 16 par 16 choisie initialement qui ne permet pas d'attribuer à chaque point un neurone d'activation différents.

Test sur la reconstruction des données

Enfin on étudie la reconstruction des données, en affichant l'évolution dynamique de la distribution de la conductivité associée aux données induites par les anomalies en entrée et celles reconstruites par la matrice de kohonen.

Position de l'anomalie initiale :



La reconstruction est plutôt fidèle à l'original, cependant les limites en termes de résolution expliquent le décalage de position.

Limites

Il n'était malheureusement pas possible avec les versions actuelles de py.eit d'afficher la distribution de conductivité de plus d'une anomalie.

CONCLUSION

En conclusion, l'application de peau artificielle sur un robot, combinée à l'apprentissage par intelligence artificielle (IA), ouvre de nouvelles perspectives passionnantes dans le domaine de la robotique. La peau artificielle permet au robot de percevoir et d'interagir avec son environnement de manière plus proche de ce que les humains considèrent comme naturel.

Bien qu'il ne nous ait pas été possible d'aboutir à l'objectif initial du projet à cause d'un manque de temps et de ressources, nous avons pu effectuer toutes les étapes du projet à l'exception de l'implémentation des données du Kohonen au robot, tout en proposant des solutions quant aux problèmes rencontrés. Pour ce qui est de cette dernière étape, celle-ci aurait consisté à accéder au programme du robot reachy, disponible sur internet en open source et lui permettre de réagir aux contacts générées dans la dernière partie en fonction de la zone de contact, son intensité et sa surface.

Cette combinaison de peau artificielle et d'IA offre plusieurs avantages. Tout d'abord, elle permet au robot d'interagir de manière plus sûre et plus précise avec son environnement, en évitant les collisions et en adaptant ses mouvements en fonction des stimuli tactiles. Cela est particulièrement utile dans des domaines tels que la manipulation d'objets fragiles ou la collaboration homme-robot.

De plus, la peau artificielle appliquée à un robot doté d'IA peut améliorer l'interaction sociale entre les robots et les humains. En permettant au robot de ressentir et de réagir aux contacts humains de manière plus naturelle, cela peut favoriser une communication plus intuitive et une meilleure compréhension des intentions et des émotions humaines.

Cependant, il convient de noter que des défis subsistent. La conception et l'intégration de peau artificielle complexe sur un robot nécessitent une expertise technique avancée. De plus, l'apprentissage par IA pour interpréter les informations sensorielles de la peau artificielle peut nécessiter des ensembles de données volumineux et une calibration précise.