

# L6 : Rapport final

**Projet recherche et développement**

Formation Ingénieur ISEN par apprentissage

**Campus** : Bordeaux

**Étudiants** : MARCHAND Matthieu, DUPRAT Hugo,  
DUMAS Léo, VEREBELY Paul-Loup, PROUST Arthaud

## Sujet 4 : Computer vision pour le contourage, le comptage, et l'extraction de métriques de cultures cellulaires

*Analyser les images microscopiques pour contourer, compter  
et catégoriser les cellules, les associer aux enregistrements  
mesurés par les électrodes, pour en déduire les facteurs  
d'influence sur la qualité du signal.*

<b>1</b>	<b>Sujet</b>	<b>1</b>
1.1	Introduction	2
1.2	Attentes	2
1.3	Contexte	2
1.4	Reformulation et précisions	4
1.5	Hypothèses	5
1.6	Données à analyser	5
1.7	Données à produire	6
1.8	Grandes phases du projet	6
<b>2</b>	<b>Note de clarification</b>	<b>7</b>
2.1	Introduction	8
2.2	Contexte	8
2.3	Objectifs du projet	8
2.4	Portée du projet	10
2.5	Livrables	11
2.6	Approche du projet	11
2.7	Contraintes et hypothèses	12
2.8	Risques principaux et stratégies d'atténuation	13
2.9	Gouvernance / parties prenantes	14
2.10	Budget et calendrier	15
<b>3</b>	<b>État de l'art</b>	<b>17</b>
3.1	Reprise des expérimentations	18
3.2	Projets similaires	19
3.3	Outils	20
3.4	Modèles	20
3.5	Benchmark	21
<b>4</b>	<b>Rapport d'analyse fonctionnelle</b>	<b>24</b>
4.1	Expression du besoin	25
4.2	Graphe des fonctions	26
4.3	Caractérisation des fonctions	27
4.4	Hiérarchisation des fonctions	29
4.5	Conclusion et perspectives	30

<b>5</b>	<b><i>Diagramme FAST et schéma synoptique</i></b>	<b>31</b>
5.1	Diagramme FAST	32
5.2	Schéma Synoptique	32
<b>6</b>	<b><i>Conclusion</i></b>	<b>34</b>
<b>7</b>	<b><i>Retours personnels</i></b>	<b>35</b>
7.1	PROUST Arthaud	36
7.2	MARCHAND Matthieu	36
7.3	DUMAS Léo	36
7.4	VEREBELY Paul-loup	37
7.5	DUPRAT Hugo	37

# 1 Sujet

## 1.1 Introduction

Avec les réglementations européennes visant à réduire l'expérimentation animale, la recherche s'oriente vers des méthodes dites "d'organes-sur-puce" pour établir des faits scientifiques médicaux. En particulier, les tests pharmacologiques ou des tests de modèles d'organes pathologiques sont rendus possibles grâce à des systèmes micro physiologiques accueillant des cultures cellulaires variées. L'instrumentation de ces systèmes micro physiologiques permet l'acquisition de métriques représentatives de l'activité cellulaire.

Par exemple, les microélectrodes donnent un accès direct et à haute densité temporelle à l'activité électrophysiologique des cellules excitables. Cependant, les propriétés extraites de ces mesures peuvent être affectées par la culture cellulaire et le positionnement des cellules en face de la faible résolution spatiale des électrodes.

## 1.2 Attentes

Le groupe devra faciliter la détection de cellules ou de micro-organes mis en culture sur des matrices de microélectrodes, extraite à partir de photos microscopiques des métriques représentatives de la culture cellulaire, et mettre en évidence des possibles liens avec l'activité électrophysiologique mesurée sur chaque électrode.

## 1.3 Contexte

En 2022, le diabète touche 828 millions d'adultes dans le monde, 5 à 15% des personnes atteintes de diabète par cause génétique (type 1)<sup>1</sup>.

De grands moyens sont mobilisés pour étudier et proposer des réponses à cette maladie. Beaucoup d'expérimentations sur animaux ont eu lieu, mais cessent en raison des réglementations européennes. En alternative, et parce que cette méthode est plus pertinente, des études sur cellules humaines sont développées.

L'analyse porte sur le pancréas, dont la partie endocrine est formée d'îlots composés de plusieurs types de cellules. Ces îlots libèrent dans le sang des hormones qui contrôlent la glycémie : l'insuline (cellules  $\beta$ ) et le glucagon (cellules

---

<sup>1</sup> Source : *Worldwide trends in diabetes prevalence and treatment from 1990 to 2022: a pooled analysis of 1108 population-representative studies with 141 million participants*

Zhou, Bin et al.

The Lancet, Volume 404, Issue 10467, 2077 – 2093 [Consulté le 23/09/2025], disponible à l'adresse : [https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736\(24\)02317-1/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(24)02317-1/fulltext) , consulté le 23/09/2025

$\alpha$ ), modulées par la somatostatine (cellules  $\delta$ ) et le polypeptide pancréatique. Ils ajustent leur sécrétion selon le niveau de glucose ainsi que des signaux nerveux et hormonaux. En cas de stress, l'adrénaline et le cortisol produits par les glandes surrénales augmentent la glycémie et modulent cette réponse endocrine<sup>2</sup>.

Il y a un besoin d'un grand nombre d'échantillons pour déterminer une tendance.

Justement, les analyses non invasives par mesures électrophysiologiques par électrodes permettent des résultats en continu à contrario des analyses pharmacologiques par autopsie de cellules. Cependant, l'acquisition des données doit être améliorée pour être aussi utile : qualité du signal relevé, facteurs d'influence, etc.

Deux leviers permettent d'améliorer l'acquisition des données. D'une part, en travaillant le traitement du signal via des filtres et des algorithmes. D'autre part, en évaluant le lien entre analyse électrique et visuelle : propriétés cellulaires comme le positionnement sur les électrodes

Cette évaluation est actuellement manuelle, pénible, coûteuse, lente, et mène à des erreurs.

**L'objet de ce projet est donc de fiabiliser cette méthode d'évaluation en l'automatisant (Figure 1 - Schéma du contexte).**

---

<sup>2</sup> Sources :

- ASSISTANCE PUBLIQUE HOPITAUX DE PARIS, *Fonction du pancréas* [Consulté le 23/09/2025] disponible à l'adresse : <https://chirurgie-digestive-sat.aphp.fr/chirurgie/pancreatectomies/fonction-du-pancreas/>

- Discussions avec le Dr. Antoine PIROG

## Schéma du contexte

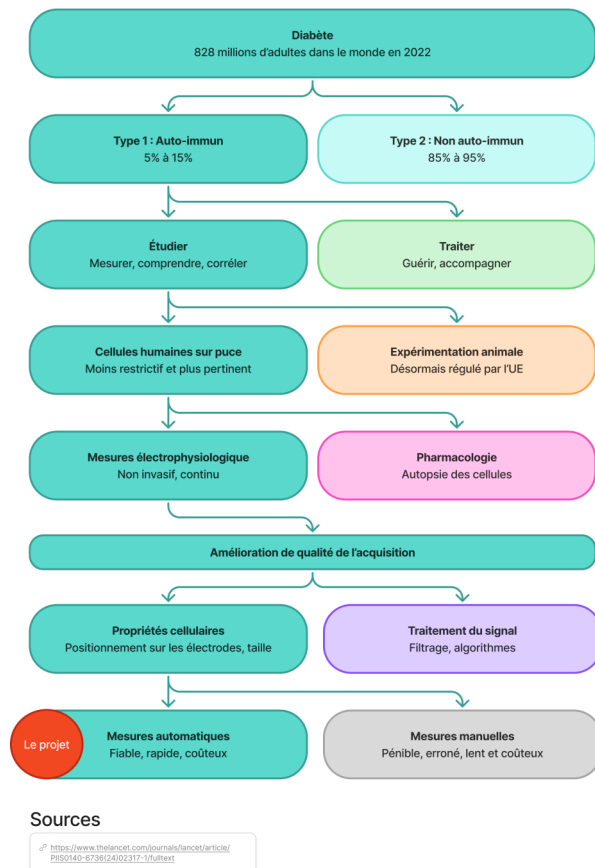


FIGURE 1 : SCHEMA DU CONTEXTE

Fichier original : <https://www.figma.com/board/8u2DFtiTy9kyuKeiqvIKtv/Sch%C3%A9ma-du-contexte?node-id=0-1&t=RMFxCdruFfDKGuxB-1>

D'autre part, l'automatisation permet de simplifier la reproduction du processus, et donc d'accroître les possibilités de mise en commun.

Ce projet de Recherche et Développement est mandaté par le docteur Antoine PIROG dans le cadre de la formation Junia ISEN en apprentissage à Bordeaux et bénéficieront aux projets de recherche ANR Diamochip, Fun-net et ANR IloBIO.

## 1.4 Reformulation et précisions

Le projet consiste en un Proof of Concept (POC) automatisant une analyse pour l'instant manuelle, pénible et coûteuse (Figure 2 - Schéma explicatif).



## Schéma explicatif

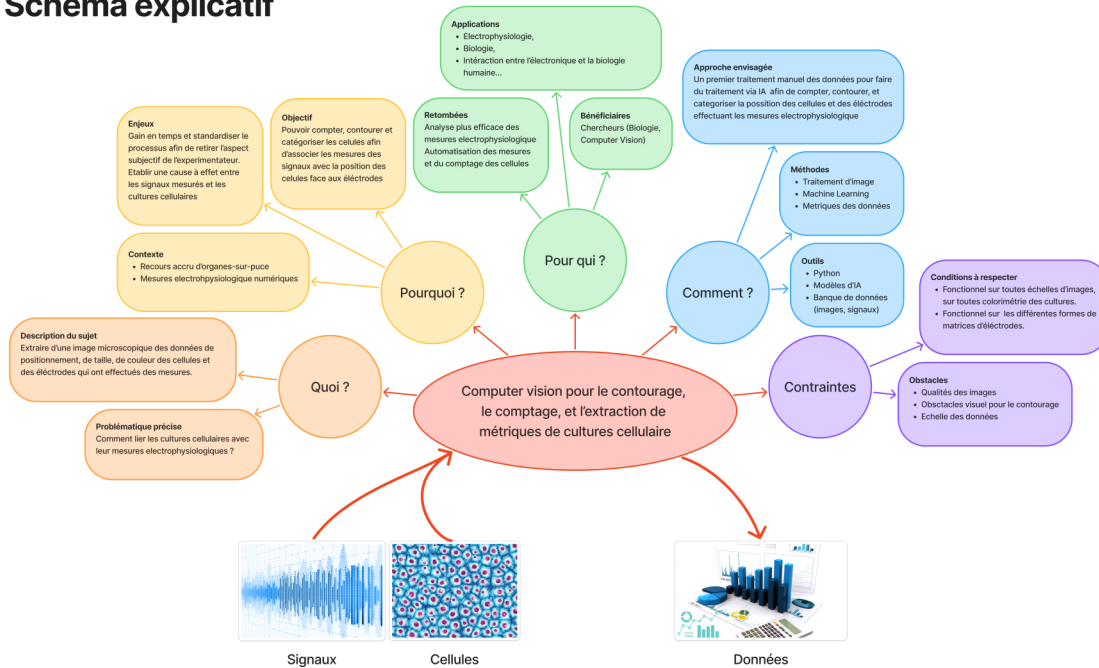


FIGURE 2 : SCHEMA EXPLICATIF

Fichier original : <https://www.figma.com/board/YjYxl8UQyVBHLHaO7Rp9Oi/Sch%C3%A9ma-explicatif?node-id=0-1&t=DNVK1KUL5cvWvYQm-1>

Cette analyse consiste dans un premier temps à extraire des métriques (taille, position et distance aux électrodes, etc.) depuis des images microscopiques de cultures de cellule sur matrices d'électrode.

Dans un second temps, l'analyse met en corrélation ces métriques d'image aux mesures électrophysiologiques par électrode afin de mettre en évidence les facteurs d'influence sur la qualité du signal.

Le POC est donc un système qui reçoit des images et des signaux, et qui retourne des données d'analyse.

## 1.5 Hypothèses

Plusieurs hypothèses à confirmer ou à infirmer ont déjà été identifiés :

- Les électrodes récoltent-elles un signal plus fort lorsqu'elles sont au bord d'une cellule ?
- La taille des cellules joue-t-elle dans la force du signal ?
- La couleur des cellules joue-t-elle dans la force du signal ?

## 1.6 Données à analyser

Le jeu de données consiste en un couple :

- Photographie au microscope des cellules positionnées sur les électrodes (Figure 3)
- Signaux mesurés par les électrodes

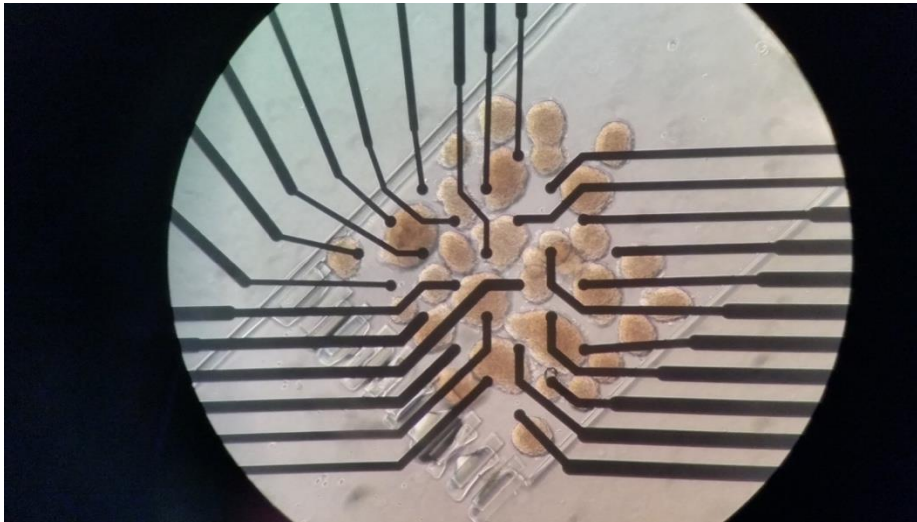


FIGURE 3 : PHOTOGRAPHIE AU MICROSCOPE DES CELLULES POSITIONNEES SUR LES ELECTRODES

## 1.7 Données à produire

Afin d'évaluer les facteurs influant sur la qualité du signal, il faut produire des données sur le maximum de variation.

### 1.7.1 Données globales à la culture cellulaire

- Nombre de cellules
- Nombre de cellules touchant une électrode
- Taille de chaque cellule
- Couleur de chaque cellule

### 1.7.2 Données spécifiques à chaque électrode

- Cellules en contact, avec facteur de confiance
- Qualité du signal mesuré

## 1.8 Grandes phases du projet

1. Récupération, compréhension des images et des signaux



2. Définition des données d'entrée et de sortie du POC
3. Sélection des technologies d'I.A
4. Développement du modèle d'I.A
5. Traitement des images et des signaux pour l'apprentissage
6. Entraînement du modèle d'I.A
7. Test du POC
8. Utilisation du POC pour mettre en lumière les facteurs d'influence sur la qualité des signaux

## **2 Note de clarification**

### **2.1 Introduction**

Les réglementations européennes encouragent la réduction de l'expérimentation animale et favorisent le développement de méthodes alternatives. Les systèmes d'organes-sur-puce représentent une technologie permettant d'obtenir des résultats scientifiques fiables tout en respectant les exigences éthiques actuelles.

Ces dispositifs miniatures reproduisent le fonctionnement d'organes humains à partir de cellules cultivées. Ils offrent de nouvelles possibilités pour les tests de médicaments et l'étude de modèles pathologiques. Leur utilisation nécessite des équipements performants et des méthodes d'analyse avancées pour extraire des mesures représentatives de l'activité cellulaire.

### **2.2 Contexte**

L'utilisation de ces systèmes micro physiologiques permet l'enregistrement de données électriques en temps réel grâce aux électrodes intégrées dans l'organe-sur-puce. Ces mesures directes de l'activité cellulaire constituent une source d'information précieuse pour la recherche biomédicale, notamment pour l'étude des îlots pancréatiques provenant de cultures de cellules humaines ou animales.

Cette approche comparative sur plusieurs modèles permet d'étudier le fonctionnement normal de la fonction pancréatique selon différents états métaboliques et espèces. Elle offre une perspective complète sur la physiologie des îlots pancréatiques sains et leurs variations naturelles selon les conditions expérimentales.

Cependant, les données extraites de ces mesures peuvent être fortement influencées par deux facteurs critiques : l'organisation de la culture cellulaire et la position des cellules par rapport aux électrodes, qui ont une précision spatiale limitée. Cette problématique soulève des questions sur le lien entre les caractéristiques morphologiques des cellules, leur position relative aux électrodes et la qualité des signaux électriques mesurés.

### **2.3 Objectifs du projet**

#### **2.3.1 Objectif principal**

Développer un système automatisé d'analyse d'images microscopiques par intelligence artificiel couplé à des mesures électrophysiologiques pour faciliter la détection et la caractérisation des cellules pancréatiques cultivées sur un organe-sur-

puce, et établir des corrélations quantitatives entre leurs propriétés morphologiques et leur activité électrique, le tout en fonction de leurs points de contact avec les électrodes.

### 2.3.2 Objectifs opérationnels

**Automatisation de l'analyse** : Remplacer le processus manuel actuel, par un système automatisé fiable et reproductible pour accélérer la vitesse de traitement et réduire les erreurs humaines.

**Extraction de métriques cellulaires** : Développer des algorithmes d'analyse d'images capables d'extraire automatiquement des métriques précises depuis les photographies microscopiques :

- Nombre total d'îlots
- Taille individuelle de chaque îlot
- Position spatiale des cellules et des électrodes
- Position des électrodes sur les îlots

**Corrélation multi-paramètre** : Mettre en évidence les liens statistiques entre les caractéristiques morphologiques extraites et l'activité électrophysiologique mesurée sur chaque électrode pour identifier les facteurs d'influence sur la qualité du signal.

### 2.3.3 Données spécifiques à produire

**Au niveau global de la culture :**

- Nombre total d'îlots
- Nombre d'îlots en contact avec les électrodes
- Cartographie spatiale des cellules

**Au niveau de chaque électrode :**

- Identification des cellules en contact avec facteur de confiance
- Évaluation de la qualité du signal électrophysiologique mesuré
- Corrélation entre proximité cellulaire et amplitude du signal

### 2.3.4 Hypothèses scientifiques à valider

Le système permettra de tester trois hypothèses principales :

- Les électrodes positionnées au bord d'une cellule récoltent-elles un signal plus fort ?
- La taille des cellules influence-t-elle l'intensité du signal électrophysiologique ?

### 2.3.5 Impact attendu

Standardiser et accélérer dans un premier temps le comptage et le détournage des cultures cellulaires pancréatiques pour faciliter la recherche comparative entre échantillons de personnes saines, patients malades et modèles animaux, contribuant ainsi à une meilleure compréhension des mécanismes physiopathologiques du diabète. Complémentairement, la détection de la position de l'électrode par rapport un îlots et l'analyse de ses paramètres par rapport aux données électriques obtenus.

## 2.4 Portée du projet

### 2.4.1 Portée du projet

Le projet se limite au développement d'un système d'analyse automatisé pour le comptage et le contourage des îlots de cellules pancréatiques et des électrodes sur matrices de microélectrodes et par la suite, l'établissement de corrélations entre propriétés morphologiques et signaux électrophysiologiques.

Le projet inclut les étapes suivantes :

- Développement d'algorithmes d'analyse d'images pour la détection et segmentation automatique des îlots de cellules pancréatiques et des électrodes
- Extraction automatisée de métriques morphologiques (taille, nombre, distance aux électrodes) sur les îlots cellulaires
- Conception d'un système de corrélation spatiale entre îlots détectés et positionnement des électrodes
- Analyse statistique des relations entre caractéristiques cellulaires, position relative des électrodes sur les îlots, et qualité des signaux électrophysiologiques mesurés
- Portage de la solution vers une plateforme embarquée pour assurer la portabilité en environnement laboratoire
- Développement d'un prototype de preuve de concept (POC) intégrant un capture vidéo en temps réel via un microscope externe par exemple.

### 2.4.2 Exclusions

Le projet **ne couvre pas** les aspects suivants :

- Développement clinique : Aucune validation clinique en environnement hospitalier ni certification pour usage diagnostique ne sera réalisée dans cette phase de recherche et développement académique car POC.

- **Industrialisation** : L'industrialisation du système, son déploiement à grande échelle, sa commercialisation ou son intégration dans des produits commerciaux ne sont pas inclus dans le périmètre actuel limité à un cadre académique.
- **Acquisition de données primaires** : Le projet n'inclut pas la culture cellulaire, la préparation des échantillons biologiques, ni l'acquisition initiale des signaux électrophysiologiques. Les images et données électriques sont fournies par M. Antoine PIROG dans le cadre du cours.
- **Interprétation médicale** : L'interprétation des résultats dans un contexte clinique ou thérapeutique n'est pas couverte. Les analyses se limiteront aux corrélations entre données morphologiques d'images et caractéristiques des signaux électrophysiologiques, sans valider le résultat.
- **Interface utilisateur complète** : Aucune interface graphique élaborée ou plateforme web de visualisation ne sera développée dans le cas du POC. L'accent est mis sur les algorithmes d'analyse, le système embarqué portable et le prototype de preuve de concept avec acquisition temps réel, quasi-réel ou par image.

## 2.5 Livrables

### 2.5.1 Premier semestre : Phase de planification

- Reformulation du sujet avec schéma explicatif
- Note de clarification
- État de l'art sous le format d'un benchmark
- Rapport d'analyse fonctionnelle
- FAST et schéma synoptique

### 2.5.2 Second semestre : Phase de réalisation et livrables finaux

- **POC fonctionnel** : Système d'IA opérationnel traitant automatiquement les images microscopiques, extrayant les métriques cellulaires, réalisant l'association cellules-électrodes et produisant les analyses de corrélation.
- **Cahier de suivi** : Documentation technique des algorithmes, journal des tests, validation sur échantillons variés (sains, pathologiques, animaux) et interprétation des corrélations identifiées.
- **Poster** : Présentation synthétique illustrant la méthodologie automatisée, les résultats statistiques clés et les perspectives d'application en recherche biomédicale pancréatique.
- **Vidéo** : Démonstration pratique du système, processus complet d'analyse et comparaison avec les méthodes manuelles actuelles.

## 2.6 Approche du projet

Le projet sera mené suivant une méthodologie itérative en trois versions principales de développement et de validation. Cette approche permet d'ajuster progressivement la solution.

La première phase se constituera autour des images fournies. Pour ce faire, l'un des ordinateurs fournis par JUNIA pour l'entraînement d'IA permettra dans un premier temps de réaliser le comptage et le détourage des différents îlots de cellules et des électrodes. L'équipe étant divisée en deux, l'une d'elles s'occupera de faire la corrélation avec les données des enregistrements électriques et ainsi d'analyser l'effet de la position de l'électrode sur l'îlot concernant les enregistrements électriques.

La deuxième phase, se focalisera sur la portabilité de la solution par l'utilisation de la d'une plateforme embarquée. Ainsi, la solution pourra être portable et utilisable, par exemple, dans un laboratoire. Cette version utilisera encore les images, donc l'utilisateur devra les transmettre. Elle comprendra également le détourage et le comptage des îlots, sans oublier la corrélation avec les données des enregistrements électriques.

La troisième et dernière version sera un POC basé sur la deuxième phase, où un microscope ou système vidéo externe sera utilisé pour un traitement image par image ou par vidéo des îlots de cellules. Le système embarqué s'occupera de faire le comptage et le détourage.

## 2.7 Contraintes et hypothèses

### 2.7.1 Contraintes

Sur le plan technique, le système d'IA doit atteindre une précision supérieure à 90% pour remplacer efficacement le travail manuel actuel, tout en garantissant rapidité et fiabilité. La précision spatiale est également critique, avec une capacité à mesurer des distances cellules-électrodes adaptables à l'échelle. Le système doit traiter tous types d'échantillons de manière équivalente, qu'ils proviennent de personnes saines, de patients atteints d'une maladie ou de modèles animaux, comme provenant d'organes sur puce différent.

Au niveau économique, le budget disponible de 300 € limite les choix technologiques et oriente la stratégie vers une approche progressive. Les coûts incluent principalement l'acquisition du matériel embarqué pour la deuxième phase de portabilité, ainsi qu'un système de capture photo ou vidéo pour le prototype final de la troisième phase présentent dans l'approche du projet. Le calendrier académique



impose par ailleurs des contraintes temporelles strictes sur deux semestres, nécessitant une approche itérative permettant de valider chaque phase avant de passer à la suivante.

Pour les aspects matériels, l'accès aux ressources GPU des ordinateurs JUNIA pour l'entraînement initial des modèles d'IA durant la première phase constitue un atout majeur. Cependant, la transition vers la solution embarquée sur système embarqué en deuxième phase présente des défis d'optimisation et de réduction de la complexité des modèles dans le cas où le modèle est utilisé en temps réel et non en image par image. Le stockage des images microscopiques haute résolution demande une capacité importante, particulièrement lors de la troisième phase avec le traitement en temps réel ou quasi-réel.

### **2.7.2 Hypothèses**

Concernant la qualité des images microscopiques, il est supposé que les photographies fournies pour la première phase présentent une résolution et un contraste suffisants pour permettre la segmentation automatique des îlots de cellules pancréatiques. L'éclairage et les conditions d'acquisition doivent être standardisés entre les différents échantillons pour assurer la reproductibilité des analyses. Les artefacts d'imagerie tels que le bruit, le flou ou les reflets doivent rester dans des limites acceptables pour les algorithmes d'IA, tant pour les images statiques des phases 1 et 2 que pour les acquisitions en temps réel de la phase 3.

Pour la disponibilité des données d'entraînement, il est assumé qu'un jeu de données suffisant sera fourni pour l'entraînement des algorithmes de détection durant les trois phases sur les ordinateurs JUNIA. Des données de référence validées manuellement seront disponibles pour l'évaluation des performances du système, avec une diversité d'échantillons représentative couvrant les cas sains, pathologiques et animaux. Ces données annotées permettront également de valider les performances du système lors de son portage sur le système embarqué.

Les hypothèses scientifiques spécifiques supposent que les liens entre caractéristiques morphologiques et signaux électrophysiologiques peuvent être mesurés et sont statistiquement significatifs. La distance entre les cellules et les électrodes est considérée comme un facteur clé pour la qualité du signal, selon les hypothèses du projet sur les îlots pancréatiques. Ces corrélations doivent être détectées dès la première phase pour valider le développement des phases suivantes.

## **2.8 Risques principaux et stratégies d'atténuation**

Les principaux risques techniques concernent la fiabilité de la détection automatique des îlots pancréatiques. Les faux positifs peuvent identifier des structures non cellulaires comme des îlots, ce qui fausse les mesures de taille et de position. Les

faux négatifs risquent de manquer des îlots réels et de sous-estimer la densité cellulaire. Pour réduire ces risques, l'équipe testera plusieurs algorithmes de segmentation durant la première phase et utilisera des données annotées manuellement pour valider chaque détection.

Le portage sur système embarqué représente un défi technique pour la deuxième phase. Les modèles d'IA entraînés sur les ordinateurs JUNIA nécessiteront une optimisation pour fonctionner sur une plateforme aux ressources limitées, notamment pour l'analyse en temps réel. L'équipe testera régulièrement les performances sur des configurations matérielles similaires pour anticiper ce risque.

L'acquisition en temps réel durant la phase 3 constitue un risque pour le prototype final. La qualité d'image et la latence pourraient ne pas atteindre les standards requis. Pour limiter ce risque, l'équipe validera d'abord le système avec des images statiques en phase 2, puis effectuera des tests progressifs avec le microscope avant l'intégration complète.

L'absence de corrélation entre caractéristiques morphologiques et signaux électriques pourrait compromettre l'objectif principal. Si aucune corrélation n'est détectée durant la première phase, cela remettrait en question les phases suivantes. Pour prévenir cela, l'équipe diversifiera les métriques analysées dès le départ, avec une sous-équipe dédiée à l'analyse des corrélations avec les données électriques. Des ajustements des paramètres expérimentaux seront effectués si nécessaire.

## **2.9 Gouvernance / parties prenantes**

### **2.9.1 L'équipe projet**

L'équipe projet est composée d'étudiants ingénieurs spécialisés en intelligence artificielle. Elle développe un système automatisé d'analyse des cultures cellulaires pancréatiques sur matrices de microélectrodes. Elle conçoit les algorithmes d'IA de segmentation cellulaire et implémente les modèles d'apprentissage automatique.

L'équipe assure le traitement d'images microscopiques avec le développement d'algorithmes de prétraitement, l'extraction de caractéristiques morphologiques (taille, couleur, position) et la calibration des systèmes de mesure spatiale pour garantir la précision des distances cellules-électrodes.

L'équipe documente l'ensemble du développement, prépare les livrables (POC fonctionnel, cahier de suivi, poster, vidéo) et assure la traçabilité des algorithmes pour faciliter leur réutilisation dans les futures recherches. Cette approche garantit la rigueur scientifique et la reproductibilité des résultats.

L'équipe projet se divise en deux équipes (Figure 4 - Cartographie des acteurs), l'une analyse les données d'entrées et de sorties afin de traiter correctement les données

que l'on veut utiliser pour le POC et les données que nécessaire pour réaliser la partie méta-analyse des résultats fourni par le POC. La deuxième équipe, conception computer vision, s'occupe quant à elle du développement des algorithmes, du fine-tuning du modèle choisi ainsi que de son entraînement.

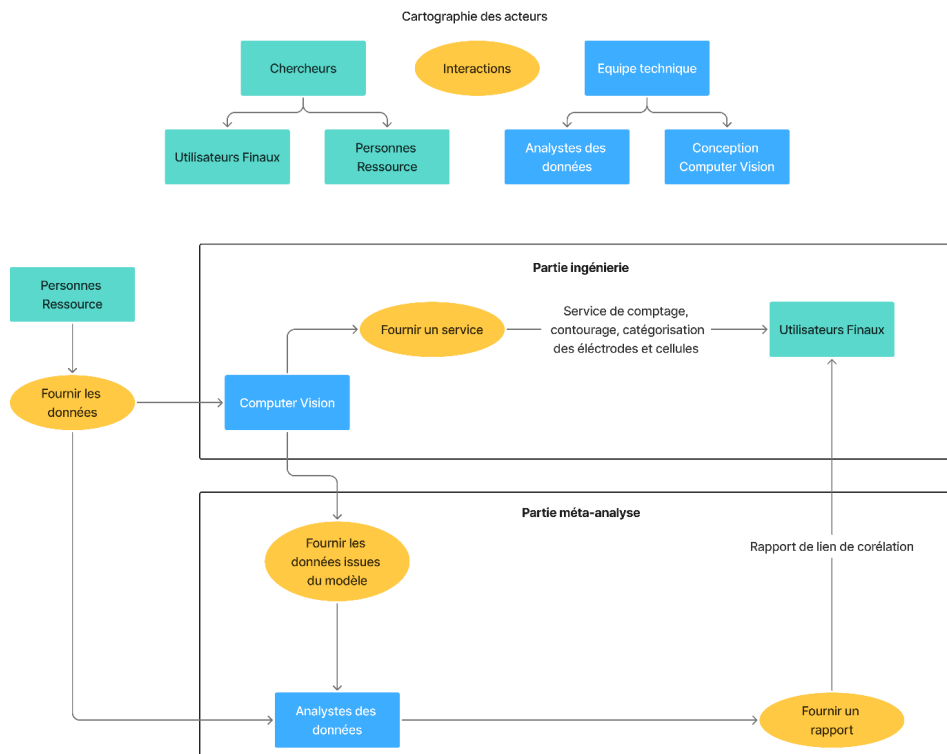


FIGURE 4 : CARTOGRAPHIE DES ACTEURS

## 2.9.2 Commanditaire

M. Antoine PIROG, étant la source de documentation principale, est également la partie fournissant les différentes images ainsi que les signaux électriques.

Il constitue par ailleurs la personne ressource en tant que commanditaire du projet par continuité de ses recherches, tout en étant responsable du cadrage en sa qualité de professeur encadrant.

## 2.9.3 Institution académique

L'institution académique encadrant ce projet de recherche et développement est JUNIA GRANDE ÉCOLE D'INGÉNIEURS, qui fournit ou finance également le matériel nécessaire ainsi que les différentes ressources dans le cadre de ce projet.

## 2.10 Budget et calendrier

### 2.10.1 Budget

Le budget total alloué au projet est de 300€, destiné à l'acquisition de composants et cartes électroniques nécessaires à la réalisation des objectifs de portabilité et d'acquisition d'images.

Répartition budgétaire (Figure 5) :

#### Matériel de calcul embarqué (≈ 200€)

- Plateforme de calcul avec capacités GPU pour l'inférence d'algorithmes d'IA en environnement embarqué
- Alimentation et connectique associée
- Support de stockage pour les modèles et données

#### Système d'acquisition d'images (≈ 100€)

- Dispositif de capture optique compatible avec microscope ou acquisition directe
- Câbles et interfaces de connexion (USB, HDMI, ou autres)
- Accessoires de montage et d'intégration au système embarqué

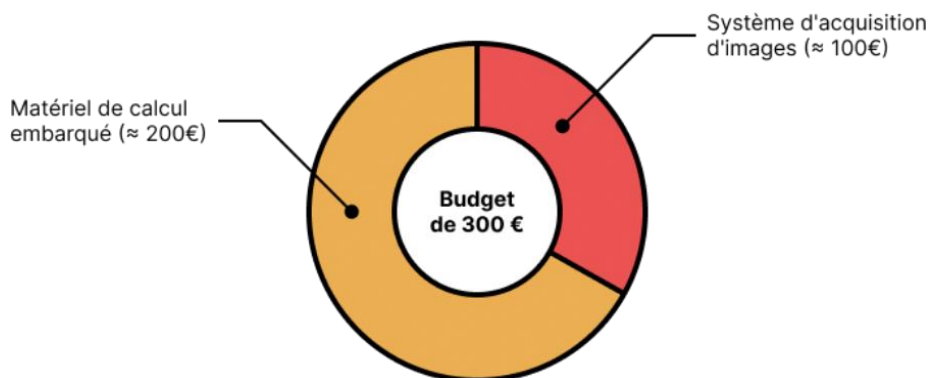


FIGURE 5 : REPARTITION DU BUDGET

### 2.10.2 Calendrier

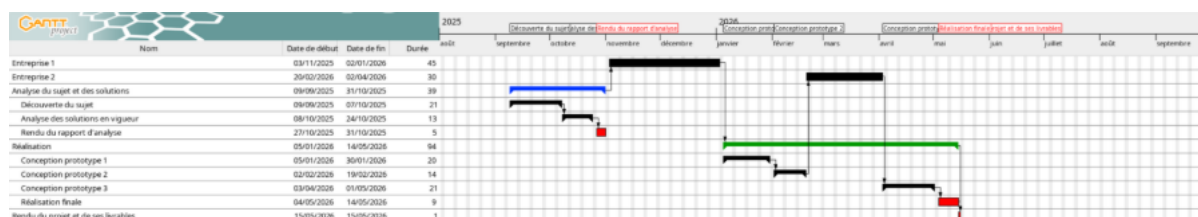


FIGURE 6 : GANTT SIMPLIFIE

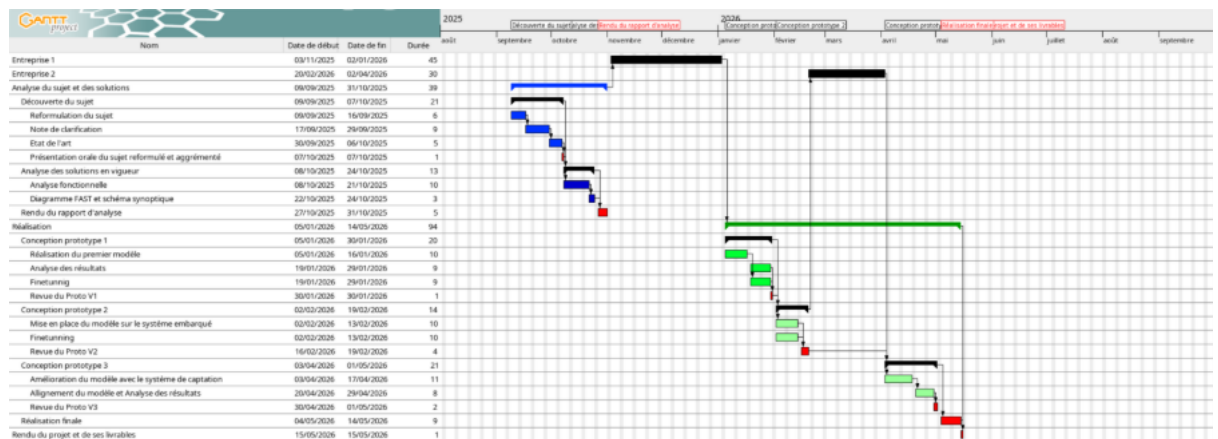


FIGURE 7 : GANTT DEVELOPPE

## 3 État de l'art

### 3.1 Reprise des expérimentations

M.GIRAUD Roland, doctorant étudiant, a commencé à travailler sur le sujet.

Les essais n'ont pas été concluant sur des outils de segmentations à base d'IA déjà entrainées comme ImageJ ou Fiji. Largement utilisés pour de l'analyse d'image, ils sont écrits en Java, ils supportent l'extension par des plugins ce qui les rend automatisable.<sup>3</sup>

La méthode la plus concluante jusqu'à présent consiste en une succession d'érosion/dilatation<sup>4</sup> pour enlever les pistes du MEA (Assemblage Membrane Électrode), pour ensuite utiliser la bibliothèque python opencv et la fonction findcontour afin de mettre en évidence les cellules.

La première étape, la détection des pistes, est la plus simple car elles se distinguent clairement du reste et ont un espacement constant. Une détection à base de seuillage avec des conditions de détection (taille, espacement) ne permet pas d'assez bons résultats. En alternative, une interface a été développée avec python pour pointer manuellement les électrodes sur les images à traiter.

La deuxième étape, la détection des cellules, est plus complexe. En appliquant la technique d'érosion/dilatation avec findcontour, les résultats sont probants 70% du temps, ce qui n'est pas utilisable non plus. En alternative, des masques sont dessinés sur le logiciel Gimp par-dessus les cellules, sur lesquels sont ensuite appliqués un seuil de détection (Figure 8 - Exemple de masquage sous le logiciel Gimp).

---

<sup>3</sup> <https://fr.wikipedia.org/wiki/ImageJ>

<sup>4</sup> Detect Cell Using Edge Detection and Morphology. Consulter en ligne : <https://fr.mathworks.com/help/images/detecting-a-cell-using-image-segmentation.html>



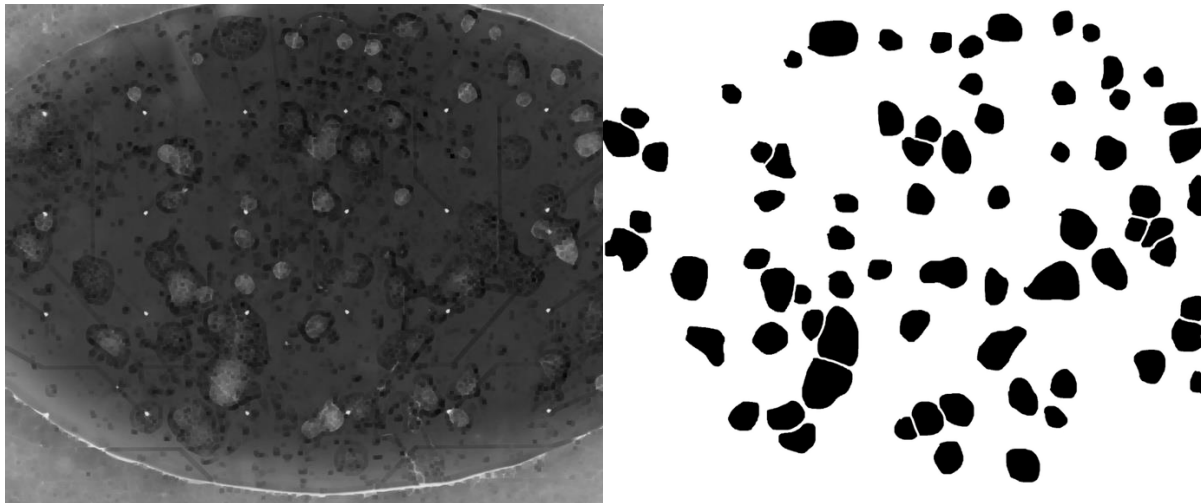


FIGURE 8 : EXEMPLE DE MASQUAGE DE CELLULE SOUS LE LOGICIEL GIMP

En conclusion, les travaux précédents montrent une piste optimiste avec des méthodes classiques de traitement d'image, mais la méthode n'est pas encore fiable au point d'être utilisable.

## 3.2 Projets similaires

Un papier présente une méthode pour analyser les cellules visuellement dans un environnement microfluidique<sup>5</sup>. Une capacité à analyser l'état des cellules induirait la capacité de détourner et compter les cellules alors qu'une matrice est visible sur l'image.

Dans le cadre d'une autre étude, qui vise à prédire l'évolution physique des cellules à partir de mesures EIS (Electrochemical Impedance Spectroscopy)<sup>6</sup>, des chercheurs ont entraîné un modèle sur le logiciel Cellpose pour segmenter les cellules sur des grilles d'électrode. Le document de recherche détaille la méthode utilisée pour obtenir les données de position et de taille des cellules (appelées paramètres cellulaires) à partir des images microscopiques. Ces données ont servi de vérité terrain pour entraîner le modèle d'apprentissage machine (ML).

Si aucune source de code ou de données ne sont partagées dans le papier, le

---

<sup>5</sup> Zhou, S., Chen, B., Fu, E.S. et al. Computer vision meets microfluidics: a label-free method for high-throughput cell analysis. *Microsyst Nanoeng* 9, 116 (2023). Consulter en ligne : <https://doi.org/10.1038/s41378-023-00562-8>

<sup>6</sup> Yagüe, Manuel & Zhang, Xingjian & Volpatti, Matthew & Wei, Yiming & Lebedev, Gor & Gamby, Jean & Barakat, Abdul. (2025). Noninvasive real-time monitoring of cellular spatiotemporal dynamics via machine learning-enhanced electrical impedance spectroscopy, Page 2, paragraph « Segmentation of live optical microscopy images ». Consulter en ligne : [https://www.researchgate.net/publication/393772212\\_Noninvasive\\_real-time\\_monitoring\\_of\\_cellular\\_spatiotemporal\\_dynamics\\_via\\_machine\\_learning-enhanced\\_electrical\\_impedance\\_spectroscopy](https://www.researchgate.net/publication/393772212_Noninvasive_real-time_monitoring_of_cellular_spatiotemporal_dynamics_via_machine_learning-enhanced_electrical_impedance_spectroscopy)

modèle utilisé peut fortement nous intéresser car il semble correspondre à notre besoin.

### 3.3 Outils

Similaire aux outils ImageJ et Fiji, d'autres logiciels open source comme Cellprofiler<sup>7</sup> ou QuPath<sup>8</sup> permettent de traiter un grand nombre d'images et d'identifier des cellules.

Python microscopy<sup>9</sup> permet l'acquisition d'images auprès de microscopes.

### 3.4 Modèles

En dehors des outils dans les clients lourds, des modèles sont disponibles en open-source, utilisable via python.

Le modèle généraliste YOLO11<sup>10</sup> permet de faire de la segmentation<sup>11</sup>, le modèle est gratuit sous licence éducatif.

Des algorithmes spécifiques à la détection de cellules particulières sont développés, comme des algorithmes de détection de globule blanc<sup>12</sup> ou de cellule cancéreuse<sup>13</sup>.

Introduit en 2014, le modèle R-CNN qui a été amélioré en Mask R-CNN en 2017, est notamment utilisé pour de la segmentation de noyaux<sup>14</sup>. Ce dernier, et le modèle de segmentation Unet porté sur Pytorch<sup>15</sup>, sont tous deux entraînable via fine-tuning.

D'autres algorithmes vont plus loin et prennent en compte le contexte pour détecter les cellules et les classifier<sup>16</sup>. Nous n'avons pas besoin de ce niveau de

---

<sup>7</sup> <https://cellprofiler.org/>

<sup>8</sup> <https://qupath.github.io/>

<sup>9</sup> <https://github.com/python-microscopy/python-microscopy>

<sup>10</sup> <https://github.com/ultralytics/ultralytics>

<sup>11</sup> <https://www.ultralytics.com/fr/blog/what-is-instance-segmentation-a-quick-guide>

<sup>12</sup> Cuevas, Erik, Díaz, Margarita, Manzanares, Miguel, Zaldivar, Daniel, Perez-Cisneros, Marco, An Improved Computer Vision Method for White Blood Cells Detection, Computational and Mathematical Methods in Medicine, 2013, 137392, 14 pages, 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/137392>

<sup>13</sup> Mohapatra, S., Satpathy, S. & Mohanty, S.N. A comparative knowledge base development for cancerous cell detection based on deep learning and fuzzy computer vision approach. Multimed Tools Appl 81, 24799–24814 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11042-022-12824-0>

<sup>14</sup> Source code : [https://github.com/matterport/Mask\\_RCNN/tree/master/samples/nucleus](https://github.com/matterport/Mask_RCNN/tree/master/samples/nucleus), Data Science Bowl website : <https://www.kaggle.com/c/data-science-bowl-2018>

<sup>15</sup> <https://github.com/milesial/Pytorch-UNet>

<sup>16</sup> Abousamra S, Belinsky D, Van Arnem J, Allard F, Yee E, Gupta R, Kurc T, Samaras D, Saltz J, Chen C. Multi-Class Cell Detection Using Spatial Context Representation. Proc IEEE Int Conf Comput Vis. 2021 Oct;2021:3985-3994. doi: 10.1109/iccv48922.2021.00397. Epub 2022 Feb 28. PMID: 38783989; PMCID: PMC11114143. Consulter en ligne : [https://openaccess.thecvf.com/content/ICCV2021/papers/Abousamra\\_Multi-Class\\_Cell\\_Detection\\_Using\\_Spatial\\_Context\\_Representation\\_ICCV\\_2021\\_paper.pdf](https://openaccess.thecvf.com/content/ICCV2021/papers/Abousamra_Multi-Class_Cell_Detection_Using_Spatial_Context_Representation_ICCV_2021_paper.pdf)

compréhension de la scène car nous cherchons à segmenter les cellules, pas à les classer en fonction de l'environnement.

Article	Domaine	Technologie utilisée	Contraintes / limites
<b>Machine learning meets classical computer vision for accurate cell identification (CIRCLE)<sup>17</sup></b>	- Bio-imagerie, microscopie cellulaire	- CNN (segmentation initiale) - Méthodes classiques (contours actifs)  - Post-traitement par programmation dynamique	- Données annotées nécessaires  - Sensible aux variations de coloration / contraste
<b>Multi-Class Cell Detection Using Spatial Context Representation (MCSpatNet, ICCV 2021)<sup>10</sup></b>	- Classification cellulaire multi-classes	- CNN (U-Net modifiée) - Apprentissage multi-tâches (détection, classification, prédiction contexte) - Deep clustering pour pseudo-étiquettes	- Coût de calcul élevé (multi-modules) - Besoin d'annotations ponctuelles - Hyper-paramètres difficiles à équilibrer - Généralisation à d'autres tissus incertains

FIGURE 9 : TABLEAU COMPARATIF

## 3.5 Benchmark

L'analyse des documents scientifiques (figure 10) révèle plusieurs approches pour le comptage, la catégorisation et le détournage d'îlots cellulaires. Les solutions modernes basées sur l'apprentissage profond surpassent significativement les méthodes classiques de traitement d'image, particulièrement dans les contextes dans lesquels les cellules sont disposées sur des grilles d'électrodes ou dans des environnements micro fluidiques.

<sup>17</sup> <https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2022.02.27.482183v1.full.pdf>

Solution	F1-Score	Avantages clés	Réentraînement
<a href="#">CellSAM</a> <sup>18</sup>	0.80-0.97	Fondé sur les modèles SAM <sup>19</sup> et CellFinder AnchorDETR <sup>20</sup> , promptage automatique par boîtes englobantes	Possible
<a href="#">aiSEGcell</a> <sup>21</sup>	0.66-0.93	Segmentation avec le modèle UNet	32 images minimum
<a href="#">MCSpatNet</a> <sup>22</sup>	0.66-0.74	Contexte spatial, multi-classes	Dataset complet
<a href="#">Cellpose</a> <sup>23</sup>	0.40-0.85	Généraliste sur types cellulaires multiples	Possible
<a href="#">StarDist</a> <sup>24</sup>	0.86-0.90	Détection polygones en forme d'étoile	Possible

FIGURE 10 : COMPARATIF DE PLUSIEURS SOLUTIONS DE SEGMENTATION DE CELLULES.  
LE F1-SCORE EST UN SCORE DE PRECISION ET DE SENSIBILITE (1 = MEILLEUR)

F1-Score : Un score donné à un modèle par rapport à sa précision et sa sensibilité (recall)

AnchorDETR : Detection Transformer : est un modèle de détection d'objets qui s'appuie sur l'architecture des Transformers (utilisée pour les LLM) pour trouver directement les objets dans une image. Anchor permet de rendre le prompt de la DETR plus précis.

Unet : Réseau neurone conçu pour la segmentation. Le 'U' correspond représente sa forme avec encoder et decoder

Contexte spatial : une approche qui identifie le type de chaque cellule en utilisant leurs positions, leurs relations et l'environnement autour pour avoir une analyse plus précise.

<sup>18</sup> <https://cellsam.deepcell.org/>

<sup>19</sup> <https://ai.meta.com/sam2/>

<sup>20</sup> <https://github.com/megvii-research/AnchorDETR>

<sup>21</sup> Schirmacher D, Armagan Ü, Zhang Y, Kull T, Auler M, Schroeder T. aiSEGcell: User-friendly deep learning-based segmentation of nuclei in transmitted light images. PLoS Comput Biol. 2024 Aug 23;20(8):e1012361. doi: 10.1371/journal.pcbi.1012361. PMID: 39178193; PMCID: PMC11343410.

<sup>22</sup> <https://github.com/TopoXLab/MCSpatNet>

<sup>23</sup> <https://www.cellpose.org/>

<sup>24</sup> <https://github.com/stardist/stardist>

En conclusion, si la méthode classique de traitement d'image donne de bons résultats dans les travaux précédemment menés par M. GIRAUD, et que les solutions basées sur l'apprentissage profond sont meilleures, il convient de les utiliser pour ce projet. Un couple analyse classique pour la détection des électrodes et analyse via apprentissage profond pour les cellules pourrait être une solution.

### **3.5.1 Bibliographie du benchmark**

Machine Learning Algorithms, Applied to Intact Islets of Langerhans, Demonstrate Significantly Enhanced Insulin Staining at the Capillary Interface of Human Pancreatic  $\beta$  Cells

<https://www.mdpi.com/2218-1989/11/6/363>

Unsupervised Deep Learning Method for Cell Segmentation of Confocal Microscopy Images

<https://ieeexplore.ieee.org/document/10820479>

Application of Computer Vision Based on Deep Learning in Automatic Recognition of Pathological Images

<https://ieeexplore.ieee.org/document/10796071>

BetaBuddy: An automated end-to-end computer vision pipeline for analysis of calcium fluorescence dynamics in  $\beta$ -cells

<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0299549>

Comparative microelectrode array data of the functional development of hPSC-derived and rat neuronal networks

<https://www.nature.com/articles/s41597-022-01242-4>

Real-Time Monitoring of Levetiracetam Effect on the Electrophysiology of an Heterogenous Human iPSC-Derived Neuronal Cell Culture Using Microelectrode Array Technology

<https://www.mdpi.com/2079-6374/11/11/450>

## A Foundation Model for Cell Segmentation

<https://arxiv.org/pdf/2311.11004>

aiSEGcell: User-friendly deep learning-based segmentation of nuclei in transmitted light images

<https://journals.plos.org/ploscompbiol/article?id=10.1371/journal.pcbi.1012361>



## 4 Rapport d'analyse fonctionnelle

### 4.1 Expression du besoin

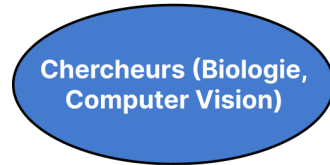
Les réglementations européennes encouragent la réduction de l'expérimentation animale et favorisent le développement de méthodes alternatives. Les systèmes de matrice de microélectrode représentent une technologie permettant d'obtenir des résultats scientifiques tout en respectant les exigences éthiques actuelles. Ces dispositifs miniatures reproduisent le fonctionnement d'organes humains à partir de cellules cultivées et offrent de nouvelles possibilités pour les tests pharmacologiques et l'étude de modèles pathologiques.

L'utilisation de ces systèmes permet l'acquisition de métriques de l'activité cellulaire. Par exemple, les microélectrodes donnent un accès direct à l'activité électrophysiologique des îlots de cellules excitables. Cependant, les propriétés extraites de ces mesures peuvent être affectées par la culture cellulaire et le positionnement des cellules par rapport aux électrodes.

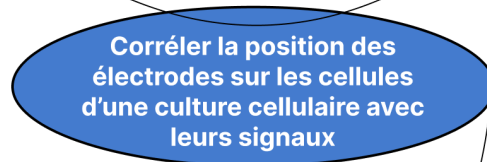
Dans ce cadre, projet vise à automatiser le détournage et le comptage des îlots de cellules par vision par ordinateur, puis à associer chaque îlot à son signal électrophysiologique pour une analyse approfondie (Figure 11 - Bête à cornes).

Un POC (Proof Of Concept) permettra de standardiser ce processus, d'accélérer l'analyse et de réduire les erreurs humaines. Ce document, rédigé durant la phase d'analyse, a pour objectif d'identifier et de formaliser les diverses fonctions principales et secondaires en fonction de leur priorité.

À qui rend-il service ?



Sur quoi agit-il ?



Dans quel but ?



FIGURE 11 : BÊTE À CORNES

## 4.2 Graphe des fonctions

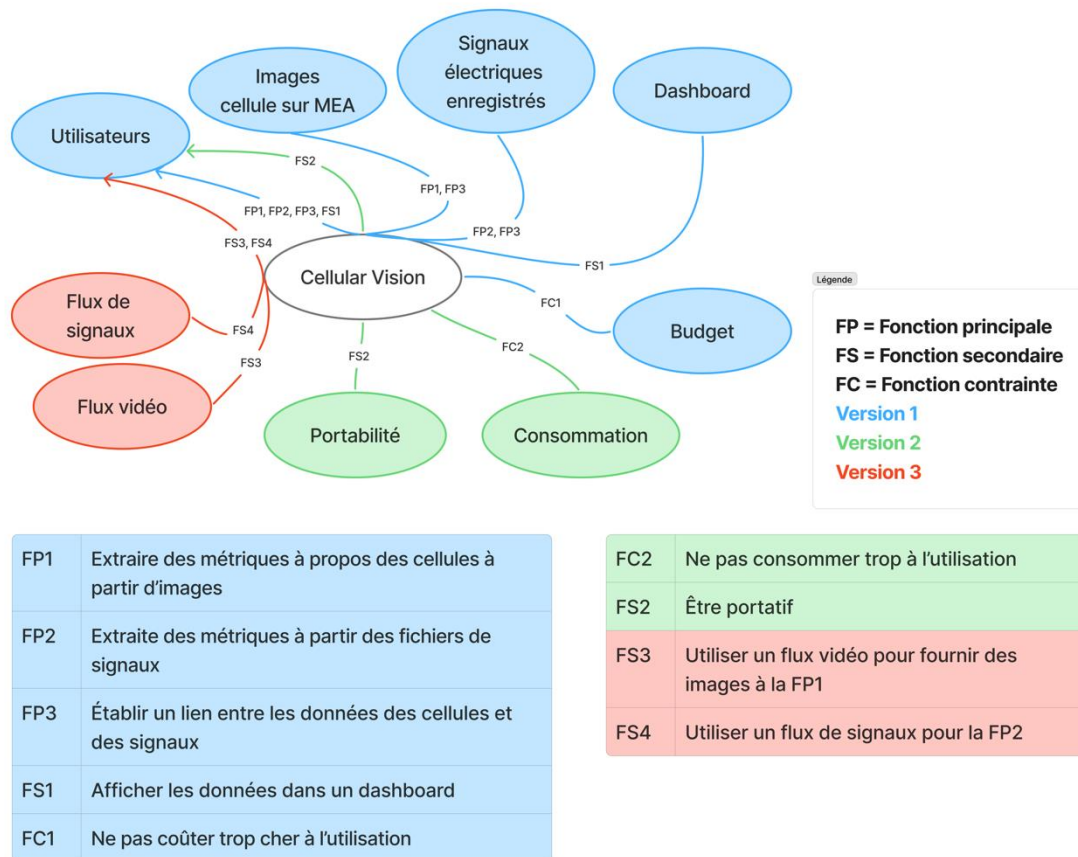


FIGURE 12 : GRAPHE DES FONCTIONS

Dans le graphe des fonctions ci-dessus (Figure 12), plusieurs versions sont décrites. En bleu, la première version (Version 1), qui contient les fonctions principales. Celles-ci permettent de mettre en relation les différents acteurs : les utilisateurs (chercheurs), les images des îlots de cellules et les enregistrements électriques de ces mêmes îlots.

Pour la deuxième version du PoC (Proof Of Concept), en vert, deux nouveaux éléments apparaissent. D'une part, la contrainte de ne pas être trop consommateur en électricité. D'autre part, une fonction secondaire est ajoutée pour rendre la solution portable.

Finalement, une dernière version est ajoutée (en rouge), permettant d'intégrer un flux de signaux et un flux vidéo afin de les traiter depuis un système portable.

## 4.3 Caractérisation des fonctions

Fonction	Description	Critères	Niveaux	Flexibilité
FP1	Extraire des métriques à propos des cellules à partir d'images	Fiabilité nombre total d'îlots Fiabilité détournement de la cellule Fiabilité position des électrodes Fiabilité numérotation des électrodes	Non Evaluable	F1 F1 F1 F1
FP2	Extraire des métriques à partir des fichiers de signaux	Fiabilité de l'analyse de la qualité du signal Durée du signal Samples par secondes (1, 2) Nombre de canaux (1, 3) Nombre de bit de résolution (1, 4)	Non Evaluable >10min 10k 64 16	F1 F2 F1 F1 F1
FP3	Établir un lien entre les données des cellules et des signaux	Fiabilité d'association entre cellule et signal	Non Evaluable	F1
FS1	Afficher les données dans un dashboard	Perte de données	0.01`	F0
FC1	Ne pas coûter trop cher à l'utilisation	Prix (5)	<300€	F0
FS2	Être portable	Poids (6) Volume (7) Tension alimentation (8)	<=2kg 20 000 cm3 230v	F3 F3 F1
FC2	Ne pas consommer trop à l'utilisation	Consommation (9)	250 W	F2
FS3	Utiliser un flux vidéo pour fournir des images à la FP1	Qualité (10)	>=720p	F2
FS4	Utiliser un flux de signaux pour la FP2	Samples par secondes (1, 2) Nombre de canaux (1, 3) Nombre de bit de résolution (1, 4)	10k 64 16	F1 F1 F1

FIGURE 13 : CARACTERISATION DES FONCTIONS

Le tableau de Caractérisation des fonctions (Figure 13) complète le graphe en spécifiant les exigences techniques du projet.

Son rôle est de traduire chaque fonction (principale, secondaire ou contrainte) en objectifs concrets et mesurables, en définissant pour chacune :

### Définition des Quatre Niveaux

- F0 - Flexibilité nulle (Niveau impératif)
- F1 - Flexibilité faible (Niveau peu négociable)
- F2 - Flexibilité moyenne (Niveau négociable)
- F3 - Flexibilité forte (Niveau très négociable)

### 4.3.1 Sources du tableau de Caractérisation des fonctions

1. 10 000 samples/seconde (10 kHz), 64 canaux, 16 bits sont des données qui ont été données par M. Pirog.
2. Les 10 kHz permettant de capturer des événements rapides tout en respectant le théorème de Nyquist-Shannon.
3. Les 64 canaux, correspond à la configuration typique des systèmes Multi-Electrode Array (MEA)
4. Les 16 bits correspondent à la résolution standard po 96 d (6 dB par bit), permettant une distinction fine entre les niveaux de signal.
5. Prix : Budget du projet de recherche et développement de Junia.
6. Poids : à titre de comparaison :
  - Spectromètres XRF portables : 1.5 kg
  - Ordinateurs portables : 1.87-2 kg
7. Volume : 20 000 cm<sup>3</sup> correspond à une boîte d'environ 27x27x27 ce qui est largement suffisant, car ce volume devra être le maximum accepté, puisque restant inférieur à ce qui est présent à Junia, avec l'oscilloscope "Rigol ds1054z"
8. Tension d'alimentation sur prise classique 230V [Engie - Les normes et les prises électriques à l'étranger](#)
9. Concernant la consommation annuelle en kWh, prenons comme référence ([Engie - Quelle est la consommation d'un ordinateur et comment la réduire ?](#))
  - Un ordinateur portable consomme 22-88 kWh/an
  - Un PC fixe haut de gamme : 375-600 kWh/an
  - [Un ordinateur de calcul miniature](#)
10. Norme usuelle 720p

## 4.4 Hiérarchisation des fonctions

La hiérarchisation des fonctions est effectuée à l'aide d'une matrice de tri croisé (figure 14).

	FP1	FP2	FP3	FS1	FS2	FS3	FS4	FC1	FC2			Fonction	Points	% priorité
FP1		FP1 - 1	FP1 - 2	FP1 - 3	FP1 - 3	FP1 - 3	FP1 - 3	FP1 - 2	FP1 - 3			FP1	20	24.1
FP2			FP2 - 2	FP2 - 3	FP2 - 3	FP2 - 3	FP2 - 3	FP2 - 2	FP2 - 3			FP2	19	22.9
FP3				FP3 - 3	FP3 - 3	FP3 - 3	FP3 - 3	FP3 - 2	FP3 - 3			FP3	17	20.5
FS1					FS1 - 2	FS1 - 3	FS1 - 3	FS1 - 2	FS1 - 3			FS1	13	15.7
FS2						FS2 - 2	FS2 - 2	FC1 - 1	FS2 - 2			FS2	6	7.2
FS3							FS3 - 1	FC1 - 1	FS3 - 1			FS3	2	2.4
FS4								FC1 - 1	FC2 - 1			FS4	0	0
FC1									FC2 - 2			FC1	3	3.6
FC2												FC2	3	3.6
													83	100

FIGURE 14 : TABLEAU DE HIERARCHISATION DES FONCTIONS

Les résultats (Figure 15) permettent de confirmer que les fonctions principales FP1, FP2 et FP3 ainsi que la fonction secondaire FS1, sont les plus importantes. Aussi, le versionnage des fonctions est bien représenté : les fonctions de la version 1 sont plus importantes que celles de la version 2 et 3.

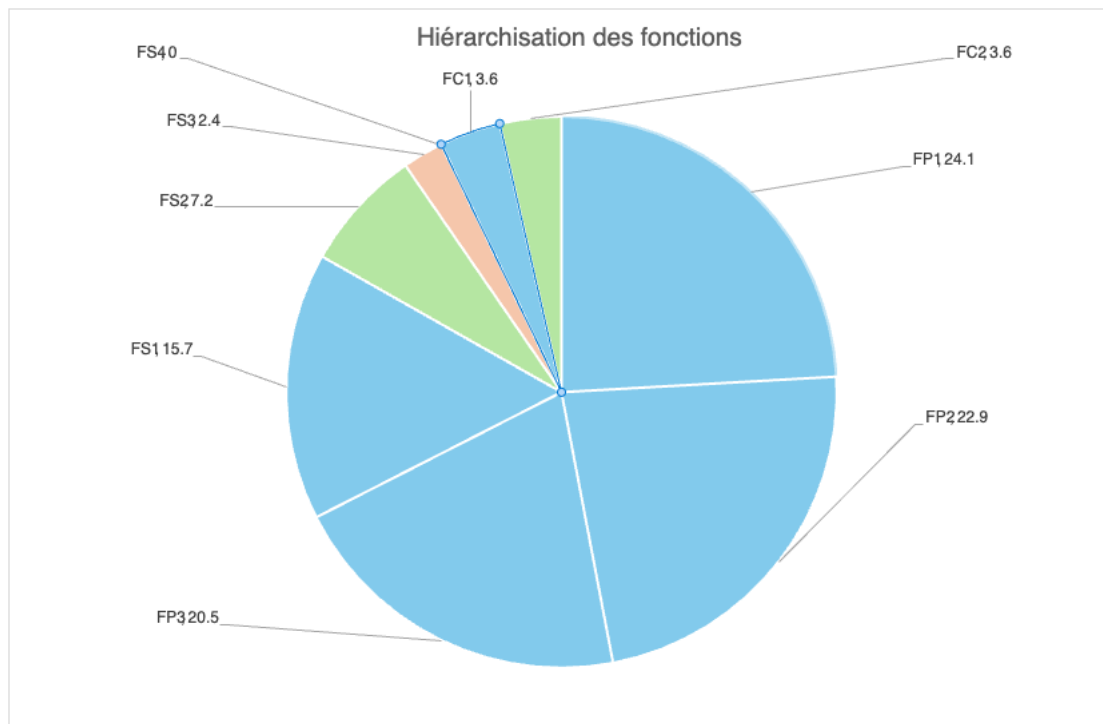


FIGURE 15 : RESULTAT DE LA HIERARCHISATION DES FONCTIONS

## 4.5 Conclusion et perspectives

Les besoins du projet et ses fonctions essentielles ont été identifiées grâce à l'analyse fonctionnelle.

Les fonctions principales (FP1, FP2, FP3) se concentrent sur le détournage, le comptage des îlots de cellules et des électrodes, ainsi que sur la mise en relation entre les données visuelles et les signaux récoltés. Ces fonctions répondent directement aux objectifs scientifiques du projet, en garantissant une analyse rapide, fiable et reproductible. Elles sont donc essentielles au POC.

Les fonctions secondaires, telles que la visualisation via un tableau de bord ou la portabilité du système (FS1, FS2), apportent quant à elles une valeur ajoutée en termes d'ergonomie et de déploiement.

Enfin, les fonctions contraintes comme le budget et la consommation électrique à l'utilisation (FC1, FC2) illustrent des objectifs à atteindre pour faciliter l'utilisation du POC lors d'expériences futures. Ces fonctions ne sont cependant pas essentielles au projet.

À la suite de la hiérarchisation, il est retenu que les fonctions au cœur du POC à réaliser sont les fonctions principales FP1, FP2 et FP3, ainsi que la fonction secondaire FS1.

Les perspectives à venir consistent en la traduction des exigences fonctionnelles en exigences techniques via le schéma synoptique, puis à la réalisation du POC. Enfin, des tests seront menés pour évaluer les résultats.

## 5 Diagramme FAST et schéma synoptique

### 5.1 Diagramme FAST

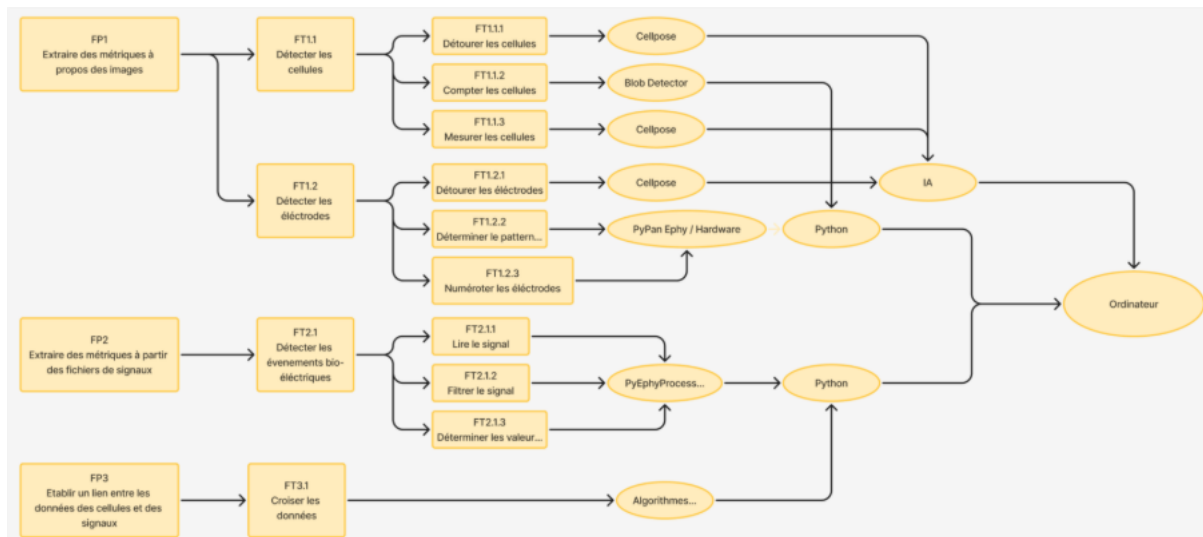


FIGURE 16 : DIAGRAMME FAST

**Le diagramme FAST** détaille les 3 fonctions principales :

- Extraction des métriques à partir des images fournis, cette fonction est coupée en 2 parties l'une concerne les cellules dont on récupère grâce à cellpose la taille, le nombre et le détourage de celle-ci et l'autre partie concerne les électrodes ici aussi grâce à cellpose on détourne et on récupère les positions des électrodes afin de déterminer grâce à des librairies python (**PyPan Ephy / Hardware**) à quel pattern de MEA elles correspondent.
- Extraction des métriques à partir des fichiers de signaux, grâce à l'utilisation des librairies python **PyEphyProcessing** on filtre et détermine certaines métriques utiles à l'analyse des signaux et des cellules.
- Enfin, établir un lien entre les données des cellules et des signaux grâce à des algorithmes de corrélation en python afin de croiser les données récupérées par les deux premières fonctions.



## 5.2 Schéma Synoptique

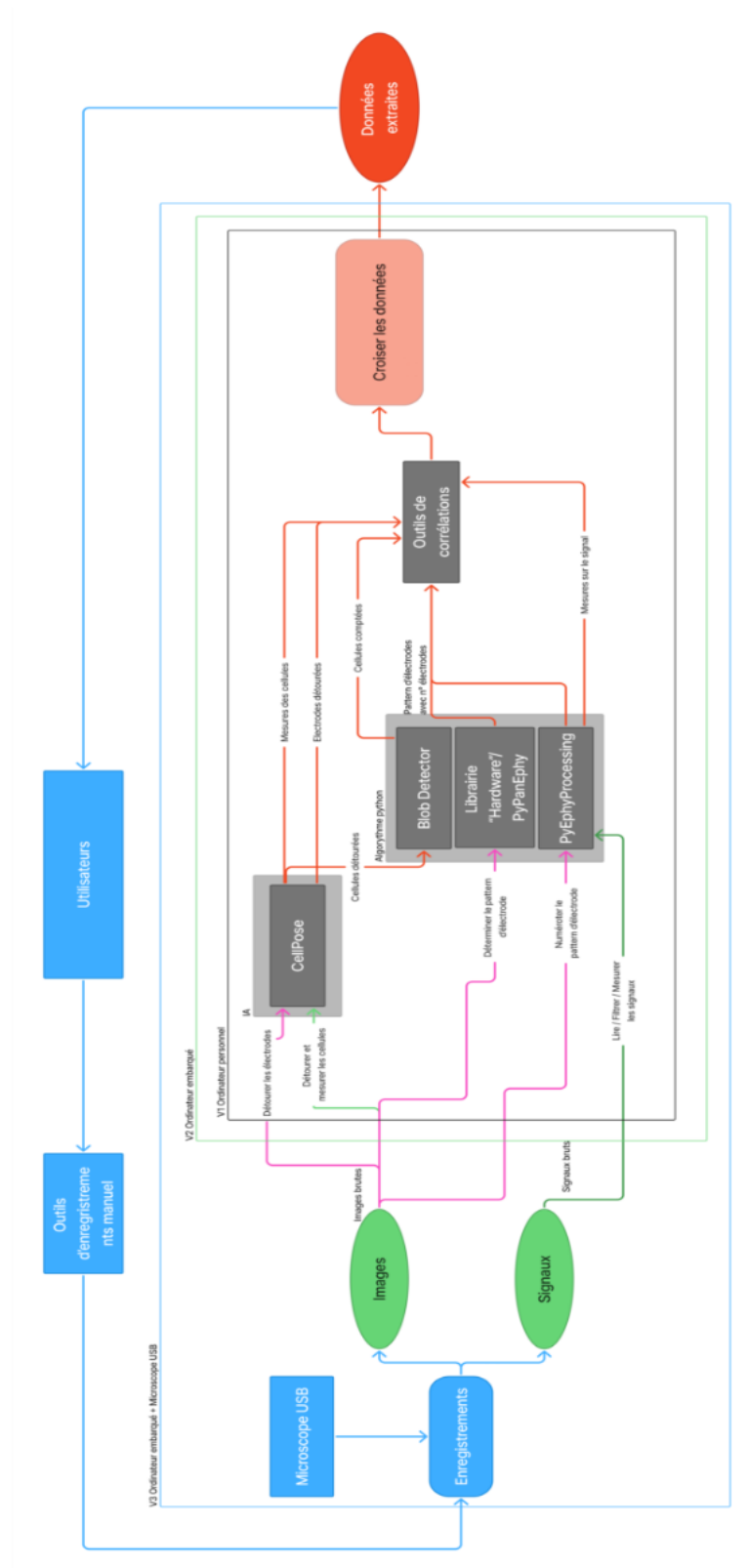


FIGURE 17 : SCHEMA SYNOPTIQUE (POUR PLUS DE VISIBILITE [Schéma synoptique.pdf](#))

Le schéma synoptique représente l'architecture du projet, en présentant ses éléments principaux, leurs relations et les actions de ceux-ci, ainsi que les évolutions entre chaque version.

L'analyse du diagramme révèle deux grandes étapes :

1. La transition V1 à V2 est une évolution purement matérielle. Le fonctionnement applicatif est conservé à l'identique, tandis que l'environnement d'exécution passe d'un ordinateur personnel à un système embarqué spécialisé.
2. La version V3 introduit une modification fonctionnelle majeure en automatisant les sources d'entrée. L'apport manuel d'images et de signaux par l'utilisateur est remplacé par une acquisition directe via un microscope USB et des capteurs connectés à l'ordinateur.

On peut retrouver aussi les deux blocs du programme, la partie IA composé uniquement de cellpose, et la partie algorithme python avec différentes librairies et outils dont Blob détection et Hardware ainsi que PyEphyProcessing.

## 6 Conclusion

Ce projet de R&D de JUNIA s'inscrit dans la dynamique européenne de réduction de l'expérimentation animale et mobilise les approches d'organe-sur-puce utilisé par des scientifiques afin d'étudier des pathologies comme le diabète, en mettant l'accent sur l'analyse d'îlots pancréatiques couplée à des enregistrements sur MEA (matrices de microélectrodes). L'objectif est de livrer un POC d'analyse automatisée qui segmente les îlots sur MEA, extrait des métriques morphologiques (taille, position, etc) et les met en corrélation avec l'activité électrophysiologique provenant des électrodes, afin de standardiser, accélérer et de fiabiliser un processus jusqu'ici manuel, pénible et source d'erreurs humaines. Le cadrage, l'analyse fonctionnelle et l'état de l'art convergent vers une solution hybride combinant des méthodes classiques pour la détection des électrodes et des modèles d'apprentissage pour la segmentation cellulaire, par leurs performances supérieures dans des contextes comparables. Les fonctions principales de la V1 ciblent FP1 (métriques morphologiques à partir d'images), FP2 (métriques de qualité des signaux MEA) et FP3 (corrélations quantitatives morphologie-activité), sous contraintes de précision visée > 90%, budget 300 € et calendrier en deux semestres, avec des livrables clairement définis (POC, cahier de suivi, poster, vidéo).

Ainsi, à court terme, la priorité est de faciliter, accélérer et réduire les erreurs dans le comptage et le détournage des îlots cellulaires et des électrodes, ainsi que dans l'association systématique des enregistrements électrophysiologiques aux îlots et électrodes correspondantes, sans interprétation des résultats.

Version 1 (court terme) : développer et valider FP1, FP2 et FP3 sur les données fournies, en quantifiant les corrélations et en atteignant la précision opérationnelle requise pour substituer les étapes manuelles.

Version 2 (moyen terme) : porter la solution sur une plateforme embarquée, avec optimisation des modèles pour ressources contraintes afin de rendre l'outil portable et utilisable en environnement laboratoire.

Version 3 (long terme) : intégrer une acquisition image/vidéo au microscope pour un traitement en temps réel ou quasi-temps réel, en bouclant la chaîne depuis la capture jusqu'à l'analyse corrélée.

# 7 Retours personnels

## 7.1 PROUST Arthaud

Travailler sur un projet de recherche a permis de se confronter aux critères rédactionnels (plan clair, annexes, bibliographie), à la méthode scientifique (sourcer, analyser, factueliser), et à la compréhension globale d'un problème (par les discussions avec les encadrants, la recherche de l'état de l'art, ...).

Le fonctionnement par livrable similaire aux cours de gestion de projet du Dr. Chrystelle GAUJARD permet de mettre en pratique la théorie des documents comme la note de cadrage ou le rapport d'analyse fonctionnelle : il est important que l'équipe ait la même définition des termes du projet. En effet, il y a eu quelques quiproquos rapidement résolus grâce à ces livrables, qui ont par la suite constitué une source de vérité écrite et validée.

Enfin, travailler sur un sujet qui m'est inconnu (l'I.A) m'a sorti de ma zone de confort et j'ai beaucoup appris dessus lors du benchmark.

## 7.2 MARCHAND Matthieu

Rédiger ce rapport m'a permis de comprendre l'importance de la structuration et de la méthode dans un projet de recherche. Avant même de passer à la partie technique, j'ai réalisé à quel point un bon cadrage conditionne la réussite du travail à venir. Les échanges au sein du groupe et la confrontation de nos idées autour de la reformulation du besoin ou de la note de clarification ont aussi montré la valeur d'une communication précise et d'une compréhension commune des termes employés.

Ce travail m'a également familiarisé avec la démarche scientifique et la rigueur attendue dans un document de recherche : citer ses sources, analyser objectivement l'état de l'art, et ne pas se contenter de généralités.

Enfin, même si nous n'en sommes qu'à la phase préparatoire, ce projet m'a donné un aperçu concret de ce qu'implique un vrai travail de R&D : anticiper les difficultés, identifier les risques et transformer une idée en plan d'action structuré. J'ai hâte de passer à la mise en pratique pour confronter nos hypothèses aux résultats réels.

## 7.3 DUMAS Léo

Ce type de projet, différent des travaux scolaires habituels, a été une véritable immersion dans le monde de la recherche, notamment en biologie et en computer vision. Bien que le sujet soit complexe, mêlant des domaines que je maîtrise peu comme la biologie cellulaire et l'intelligence artificielle, cette phase préparatoire m'a permis de mettre en pratique et de renforcer les compétences en gestion de projet acquises l'année dernière. La recherche bibliographique, de l'existant et l'analyse du besoin initial m'ont obligé à élargir mon champ de compétence et à adopter une démarche plus rigoureuse. La structuration du travail autour de livrables clairs, s'est avérée essentielle pour aligner l'équipe et construire une base de travail solide et partagée.

Cette première étape de recherche a permis de définir précisément notre objectif et de valider la faisabilité technique du projet. Permettant ainsi de partir sur de bonnes bases pour la réalisation du POC.

## 7.4 VEREBELY Paul-Ioup

Ayant la volonté de continuer les études après le diplôme d'ingénieur, cette matière est une réelle chance. Non seulement d'un point de vue accomplissement personnel, se dire que je contribue à un projet qui va potentiellement être utilisé dans la recherche scientifique est une chance qu'il faut saisir. De plus cela me permet de consolider mes connaissances en matière de gestion de projet, et je vois une application encore plus directe de mes connaissances que dans les années précédentes.

Durant cette première période j'ai pu consolider mes compétences d'analyse, de bibliographie, de synthèse de documents et mes connaissances générales en ordinateur vision. Cela m'a permis aussi d'en apprendre plus sur la recherche biomédicale et mon engouement pour le projet ne fait que grandir.

J'ai très hâte de pouvoir passer à la phase de prototypage afin de voir en application tous ce travail de groupe.

## 7.5 DUPRAT Hugo

Ces travaux de recherche dans le domaine de la **computer vision** ont suscité un réel engouement autour du projet et m'ont conforté dans l'idée de peut-être poursuivre mes études. Ce projet, ayant un véritable objectif et des applications

concrètes dans la recherche sur l'**analyse d'organes sur puce**, apporte un aspect très immersif et renforce la motivation et l'engagement dans le travail.

Les compétences acquises en matière d'analyse d'un sujet, de capacité à choisir et défendre une idée, ainsi qu'à structurer un projet de recherche, sont d'une grande aide, aussi bien dans le cadre scolaire qu'en entreprise, où ces qualités représentent un vrai atout.

Cette première phase de recherche étant terminée, il sera très intéressant de voir comment la partie réalisation va se dérouler et à quoi ressemblera le **POC** de ce projet.