

DÉPARTEMENT TIN - FILIÈRE MICROTECHNIQUES  
OPTION ROBOTIQUE ET CONCEPTION MICROTECHNIQUE

---

# Conception d'un système automatisé permettant le cassage de microcapsules en verre et la libération contrôlée de réactifs chimiques

---

TRAVAIL DE BACHELOR

**ETH** zürich

**EPFL**



*Réalisé par :*  
Arnaud ARPINO

*Proposé par :*  
EPFL - Swiss Cat +  
Keyan VILLAT  
Henryk ZOLNOWSKI

*Supervisé par :*  
Giuseppe COSTANZO

Année académique 2024-2025



# Préambule

Ce travail de Bachelor (ci-après TB) est réalisé en fin de cursus d'études, en vue de l'obtention du titre de Bachelor of Science HES-SO en Ingénierie. En tant que travail académique, son contenu, sans préjuger de sa valeur, n'engage ni la responsabilité de l'auteur, ni celles du jury du travail de Bachelor et de l'École. Toute utilisation, même partielle, de ce TB doit être faite dans le respect du droit d'auteur.

HEIG-VD  
Le Chef du Département

Yverdon-les-bains, le 4 mars 2025



# Authentication

Je soussigné, Arnaud Arpino, atteste par la présente avoir réalisé seul ce travail et n'avoir utilisé aucune autre source que celles expressément mentionnées.

Arnaud ARPINO

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized 'A' followed by a series of loops and a horizontal stroke.

Yverdon-les-bains, le 4 mars 2025



# Complémentaire concernant l'utilisation d'outils d'intelligence artificielle

L'utilisation limitée d'outils dits d'intelligence artificielle ou plus particulièrement de LLM (Large Language Models) a été validée avant le début de ce travail de bachelor pour les utilisations spécifiques suivantes :

Utilisation de ChatGPT de l'entreprise OpenAI versions GPT-3, GPT-4 et ChatGPT-4-turbo pour obtenir rapidement des informations servant de double vérifications, de correction orthographique, de reformulation lors de la rédaction, d'aide pour le langage LATEX, d'aide pour les langages de programmation python et autres langages utiles à la programmation du bras robotisé robot.

Je soussigné, M. Arnaud Arpino, atteste par la présente avoir nullement utilisé de logiciels de génération de texte automatique pour la rédaction de ce document sans réflexion personnel au préalable et que toutes les ressources spécifiques utilisées se trouvent dans la bibliographie ou en annexe de ce rapport.

Arnaud ARPINO

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized 'A' followed by a series of loops and a horizontal stroke.

Yverdon-les-bains, le 4 mars 2025





# Résumé



# Table des matières

<b>Préambule</b>	<b>ii</b>
<b>Authentification</b>	<b>iv</b>
<b>Complémentaire concernant l'utilisation d'outils d'intelligence artificielle</b>	<b>vi</b>
<b>Résumé</b>	<b>viii</b>
<b>1 Introduction</b>	<b>1</b>
1.1 Contexte . . . . .	1
1.2 Description du projet . . . . .	1
1.3 Organisation . . . . .	2
<b>2 Cahier des charges</b>	<b>3</b>
2.1 Définitions . . . . .	3
2.2 Analyse du besoin . . . . .	3
2.3 Fonctions et exigences du système . . . . .	4
2.3.1 Fonctions de services . . . . .	4
2.3.2 Fonctions techniques . . . . .	4
2.3.3 Fonctions de contraintes . . . . .	5
<b>3 Catalogue des solutions et tests effectués</b>	<b>5</b>
3.1 Liste des solutions envisagées . . . . .	5
3.1.1 Canon à azote . . . . .	5
3.1.2 Implosion de la capsule . . . . .	5
3.1.3 Actionneur mécanique . . . . .	5
3.1.4 Fréquence de résonance . . . . .	5
3.2 Critères et choix de la solution . . . . .	6
<b>4 Tests des diverses solutions</b>	<b>6</b>
<b>5 Réalisation du prototype choisi</b>	<b>6</b>
<b>6 Programmation et configuration du robot</b>	<b>6</b>
<b>7 Conclusion</b>	<b>6</b>
7.1 Vérification des objectifs du cahier des charges . . . . .	6
7.2 Améliorations potentielles du projet . . . . .	6

## Liste des tableaux

1	Liste des besoins du système . . . . .	4
2	Fonctions de service . . . . .	4
3	Fonctions techniques . . . . .	4
4	Fonctions de contrainte . . . . .	5

## Table des figures

1	Vue d'ensemble du laboratoire Swiss Cat + sur le campus EPFL . . . . .	1
2	Espace de travail (Glove-box) à disposition pour le projet . . . . .	2
3	Diagramme bête à corne . . . . .	3

# 1 Introduction

## 1.1 Contexte

Dans le cadre de la formation de microtechnicien, l'étudiant doit réaliser un Travail de Bachelor pour valider ses compétences. Ainsi, ce travail se déroule en collaboration avec le laboratoire Swiss Cat + de l'EPFL. Le projet doit être réalisé sur une durée de 420 heures, réparties entre mi février et la fin du mois de juillet.

Le laboratoire Swiss Cat + est "une infrastructure axée sur les données pour la découverte et l'optimisation des catalyseurs" d'après le site internet [1].

L'objectif principal du laboratoire est l'automatisation robotique à haut débit d'expérimentation dans le domaine de la chimie, combinée à une analyse avancée soutenue par l'intelligence artificielle.

Le projet est subdivisé en deux hubs l'un se concentre sur la catalyse homogène à EPFL et l'autre sur la catalyse hétérogène à l'ETHZ.

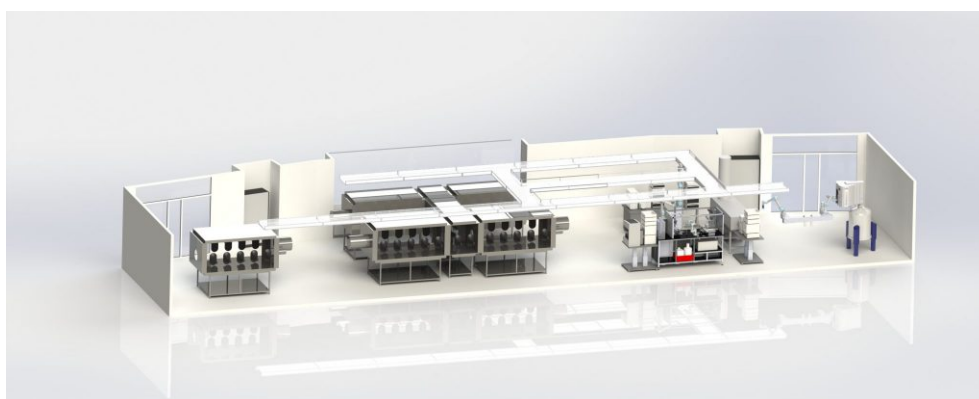


FIGURE 1 – Vue d'ensemble du laboratoire Swiss Cat + sur le campus EPFL

## 1.2 Description du projet

Le projet du TB, intervient au sein du projet StoRMS, une solution innovant visant à préparer des solutions chimiques de manière automatisé, par la manipulation de micro-capsules de réactifs chimiques solides.

Les micro-capsules permettent de stocker les différentes quantités de réactif de manière imprécise. Dans un second temps, on mesure leurs masses, puis on combine plusieurs micro-capsules pour obtenir la quantité exacte de réactif nécessaire pour la réaction chimique.

Cependant, ces micro-capsules sont celées lors de leur remplissage, il est donc nécessaire de les ouvrir pour libérer le réactif. C'est à ce moment que le système de destruction de micro-capsules entre en jeu.

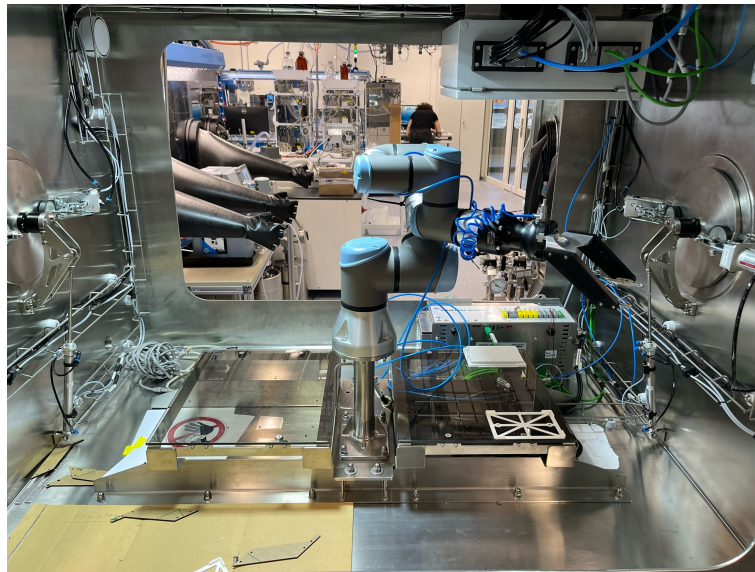


FIGURE 2 – Espace de travail (Glove-box) à disposition pour le projet

### 1.3 Organisation

Le document est divisé comme suit :

- **Introduction** : Présentation du projet et de son contexte.
- **Analyse du besoin** : Identification des besoins du système.
- **Fonctions et exigences du système** : Définition des fonctions de services et techniques du système.
- **Catalogue des solutions** : Présentation des solutions techniques envisagées.
- **Modélisation 3D et réalisation** : Description de la réalisation du système.
- **Tests et validation** : Présentation des tests effectués et des résultats obtenus.
- **Conclusion** : Bilan du projet et perspectives d'amélioration.

## 2 Cahier des charges

### 2.1 Définitions

- **Micro-capsules** : petit cylindres en verre fermés des deux côtés (borosilicate).  
Diamètre extérieur =  $2,8 \pm 0,05$  mm ;  
Diamètre intérieur =  $2,5 \pm 0,05$  mm ;  
Longueur = 10 mm
- **Réacteurs** : Flacons en verre dimension : 32 x 11.6, 1.5 ml pour plaques « Para-Dox » Référence : [2]
- **Bloc de réaction** : Plaques « Para-Dox » avec 48 positions, Gen II, pour flacons 12 x 32
- **Glove-box** : Espace de travail sous atmosphère contrôlée, rempli d'azote à température ambiante (environ 25 °C) et en surpression (+15 Pa par rapport à 1 Atm).
- **Cross contamination** : Contamination entre différents réactifs causée par des restes dans le système d'ouverture ou par projection

### 2.2 Analyse du besoin

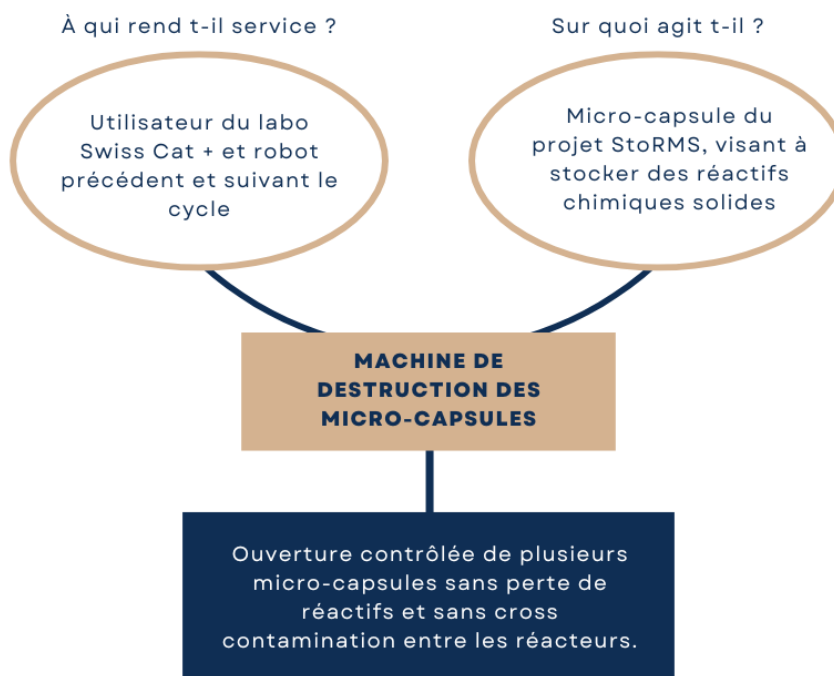


FIGURE 3 – Diagramme bête à corne



#	Besoin
1	Ouvrir des micro-capsules

TABLE 1 – Liste des besoins du système

## 2.3 Fonctions et exigences du système

### 2.3.1 Fonctions de services

Les fonctions de services correspondes aux exigences principales du produits.

Fonctions de service		Exigences	
<b>FS 1</b>	Doit être en mesure d'ouvrir plusieurs micro-capsules dans un réacteur.	<b>E 1</b>	Ouverture jusqu'à 5 micro-capsules par réacteur, sans contrainte sur la présence de débris de verre.
<b>FS 2</b>	Doit effectuer la fonction sur tout les réacteurs de la plaque para-dox.	<b>E 2</b>	Répétabilité de la tâche 48 fois par plaque.
<b>FS 3</b>	Doit s'assurer de la libération du réactif lors des essais.	<b>E 3</b>	La masse de réactif libéré est précise à 0.01 mg.

TABLE 2 – Fonctions de service

### 2.3.2 Fonctions techniques

Les fonctions techniques corresponde aux caractéristiques techniques que doit intégrer le produit.

Fonctions techniques		Exigences	
<b>FT 1</b>	Doit fonctionner dans un environnement contrôlé.	<b>E 5</b>	Glove box rempli uniquement d'azote à température ambiante (environ 25 °C) et en surpression (+15 Pa par rapport à 1 Atm).
<b>FT 2</b>	Doit être dépannable facilement.	<b>E 6</b>	Accessibilité simple et adapté à un laborantin de chimie.
<b>FT 3</b>	Doit alerter l'utilisateur en cas de défaillance et éviter l'endommagement des appareils.	<b>E 7</b>	Capteurs ou système de sécurité en cas de défaillance ou conditions anormale.
<b>FT 4</b>	Doit assurer la sécurité de l'utilisateur en cas de défaillance.	<b>E 8</b>	Protection contre les débris de verre.

TABLE 3 – Fonctions techniques

### 2.3.3 Fonctions de contraintes

Les fonctions de contraintes correspondent à des exigences imposé par le client ou par la configuration des lieux.

Fonctions de contrainte		Exigences	
FC 1	Doit éviter la cross contamination entre les réacteurs.	E 9	Système anti-projection.
FC 2	Doit s'assurer de la répétabilité du système.	E 10	Sur 100 capsules, cassage systématique.
FC 3	Doit effectuer un cycle complet dans un temps raisonnable.	E 11	Temps de cycle max 1h
FC 4	Doit s'assurer de l'intégrité des réactifs après cassage.	E 12	Mesure effectuée durant les phases de test.

TABLE 4 – Fonctions de contrainte

## 3 Catalogue des solutions et tests effectués

### 3.1 Liste des solutions envisagées

#### 3.1.1 Canon à azote

Principe de la solution

Tests et simulations

Conclusion

#### 3.1.2 Implosion de la capsule

Principe de la solution

Tests et simulations

Conclusion

#### 3.1.3 Actionneur mécanique

Principe de la solution

Tests et simulations

Conclusion

#### 3.1.4 Fréquence de résonance

Principe de la solution

Tests et simulations

Conclusion

3.2 Critères et choix de la solution

4 Tests des diverses solutions

5 Réalisation du prototype choisi

6 Programmation et configuration du robot

7 Conclusion

7.1 Vérification des objectifs du cahier des charges

7.2 Améliorations potentielles du projet

Signature

Yverdon, 4 mars 2025

Arnaud Arpino

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized 'A' followed by a series of loops and a horizontal stroke.

Remerciements

## Références

- [1] Prof. Dr. Christophe Copéret & Prof. Dr. Nicolai Cramer (EPFL). *SwissCAT+*. 2022. URL : <https://swisscatplus.ch/>.
- [2] LABSPHERE. *SKU : 11 09 0519*. <https://distributionls.com/products/la-pha-pack-11-09-0519>. Consulté le 28 février 2025.