

# Implémentation de stratégies de contrôle sur mesure avec MATLAB et Simulink pour composant non standard

---

MATLAB EXPO – GANYMED ROBOTICS

Margot GUILLOUARD

Blaise BLEUNVEN

## 1. Ganymed Robotics

## 2. Introduction

- a. Ganymed b2b MathWorks
- b. Environnement de travail et workflow
- c. Evolution du contrôle à Ganymed

## 3. Implémentation de nouvelles fonctions de contrôle

- a. Les spécificités d'un dispositif médical
- b. Le cycle de développement
- c. Vue d'ensemble
- d. Modélisation d'un composant non standard, boucles de contrôle, résultats, tests

## 4. Génération automatique du code

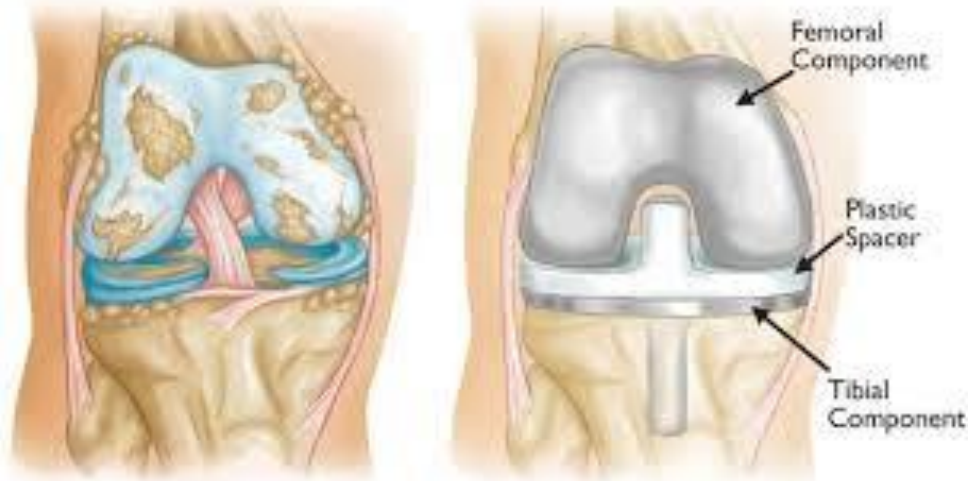
## 5. Tests

- a. Tests sur banc de test
- b. Tests d'intégration et de vérification sur robot

## 6. Conclusion

# Ganymed Robotics : Le besoin clinique

Le besoin clinique : Assister la pose totale de prothèse de genou pour traiter l'arthrose



1. Méthode conventionnelle

→ Résultats sub-optimaux

2. Méthodes technologiquement assistées

→ Adoption très faible

# Ganymed Robotics : Le projet

GANYMED ROBOTICS



UN ROBOT POUR LA  
CHIRURGIE DU GENOU

BREVETÉ, VALIDÉ SUR LE  
PLAN TECHNIQUE ET  
COMMERCIAL



Robot collaboratif



Faible encombrement  
du bloc opératoire



Faible coût



Apprentissage rapide

- ✓ 7 brevets publiés
- ✓ 12 études précliniques
- ✓ 30+ demos réalisées avec des chirurgiens renommés et des leaders industriels



## Besoins de Ganymed

- Modéliser les actionneurs du robot et leur boucle de contrôle
- Simuler le contrôle et tester sur un banc de test
- Intégrer la boucle de contrôle dans l'application embarquée de contrôle



## Solution MathWorks : MATLAB Simulink

- Modélisation de composants non standards
- Simulation de contrôle des modèles virtuels
- Génération de code C de production

# Introduction : Environnement de travail et workflow



## Environnement de travail

- Cible embarquée : STM32G4xx
- Outils ST : CubeMx et CubeIDE
- Langage de dev : code C

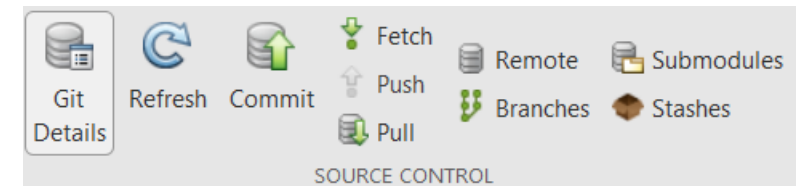
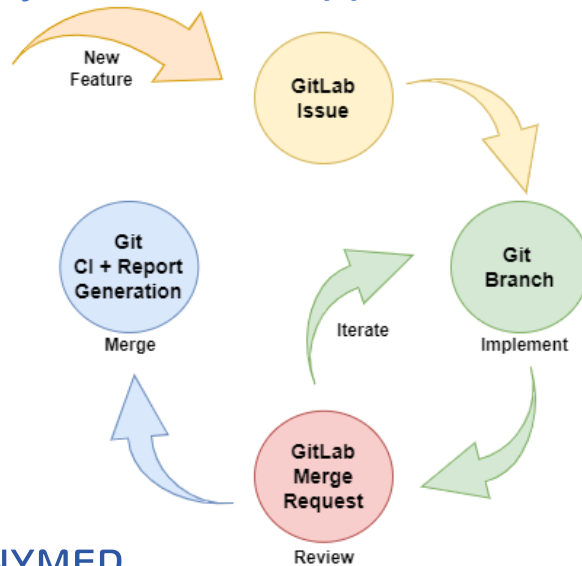


## Solution MathWorks



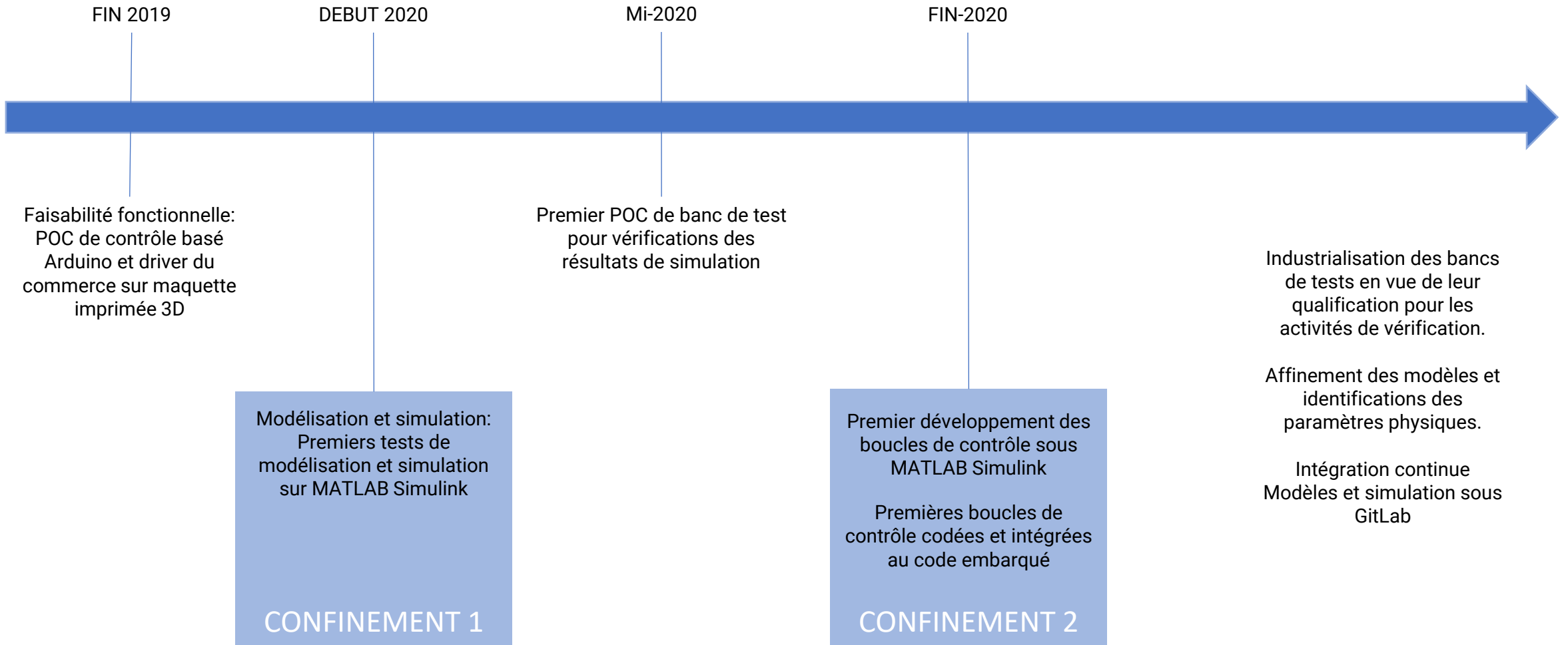
Embedded  
Coder

## Cycle de développement avec Git



MATLAB & Git

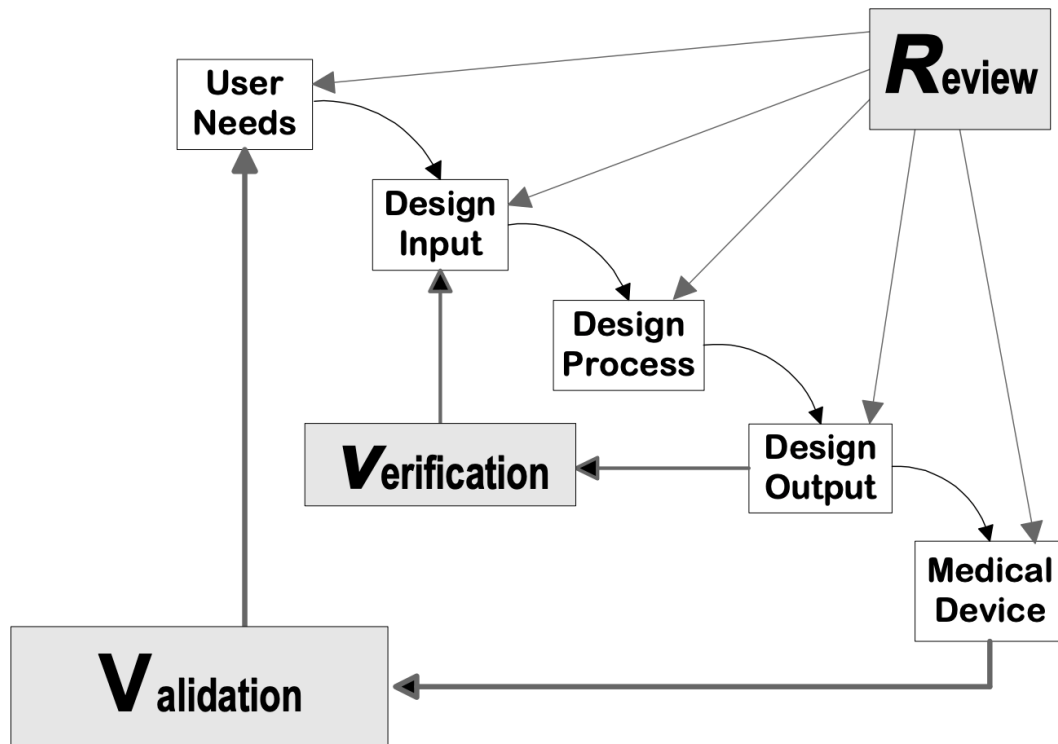
# Introduction : L'évolution du contrôle à Ganymed



# Implémentation de fonctions de contrôle : Spécificités d'un dispositif médical



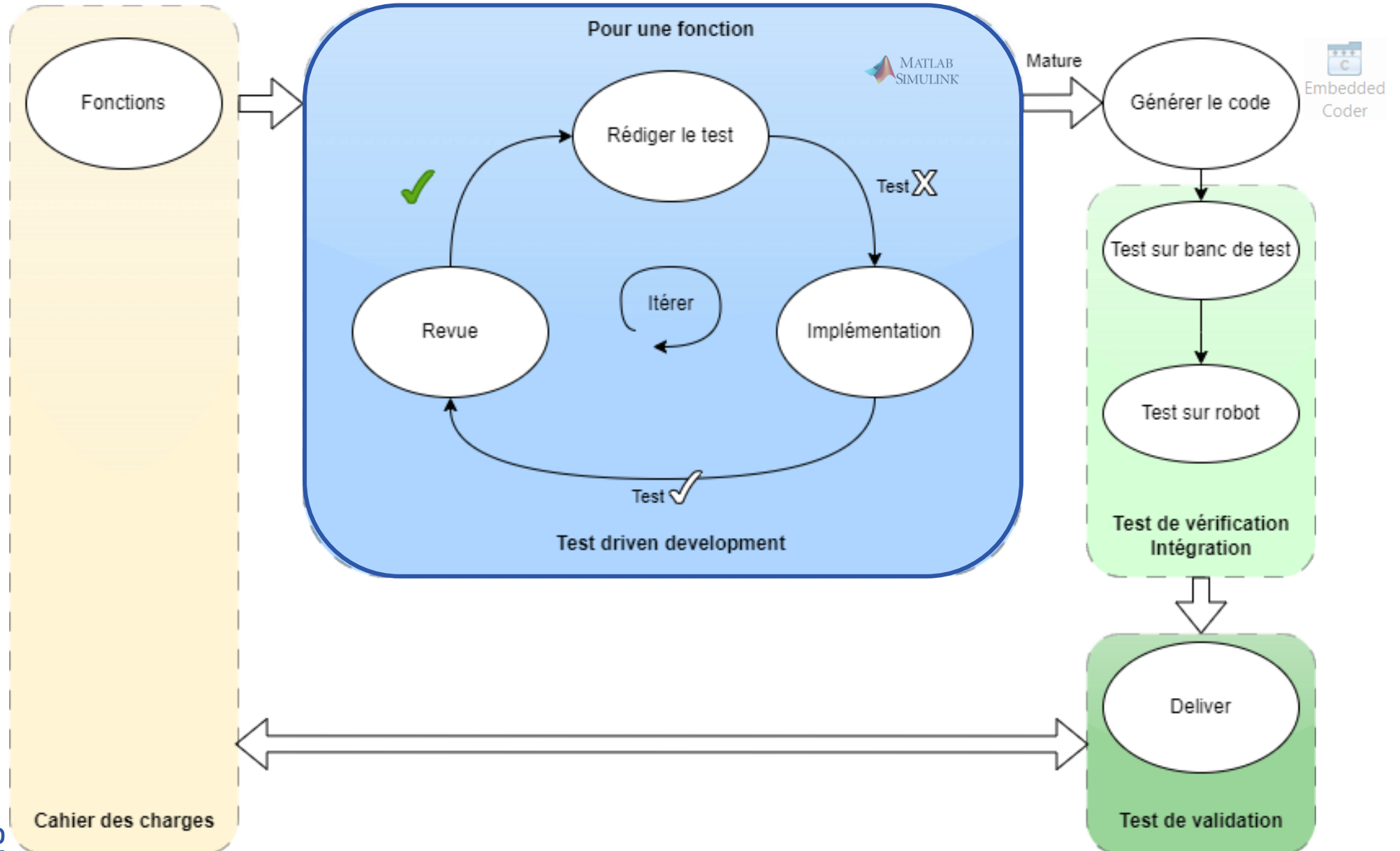
La FDA s'attend à ce qu'un dossier de soumission démontre que le dispositif médical a été développé en suivant un processus rigoureux, conforme au cycle en V, tout en respectant les normes et exigences réglementaires en vigueur. Le dossier doit fournir des preuves détaillées des tests et de la fabrication, pour garantir la sécurité et l'efficacité du dispositif.



## 21 CFR Part 11 Compliance

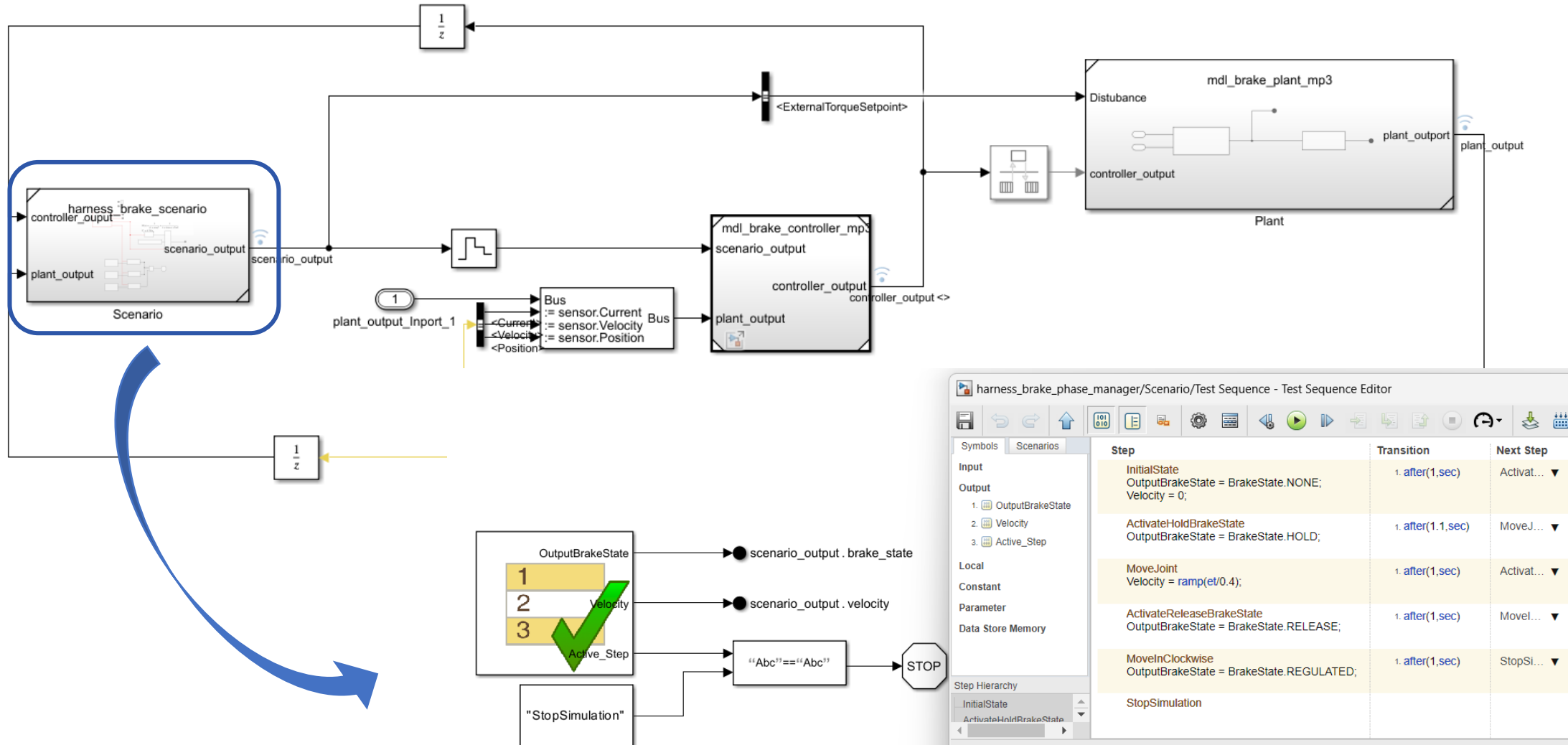


# Implémentation de fonctions de contrôle : Cycle de développement

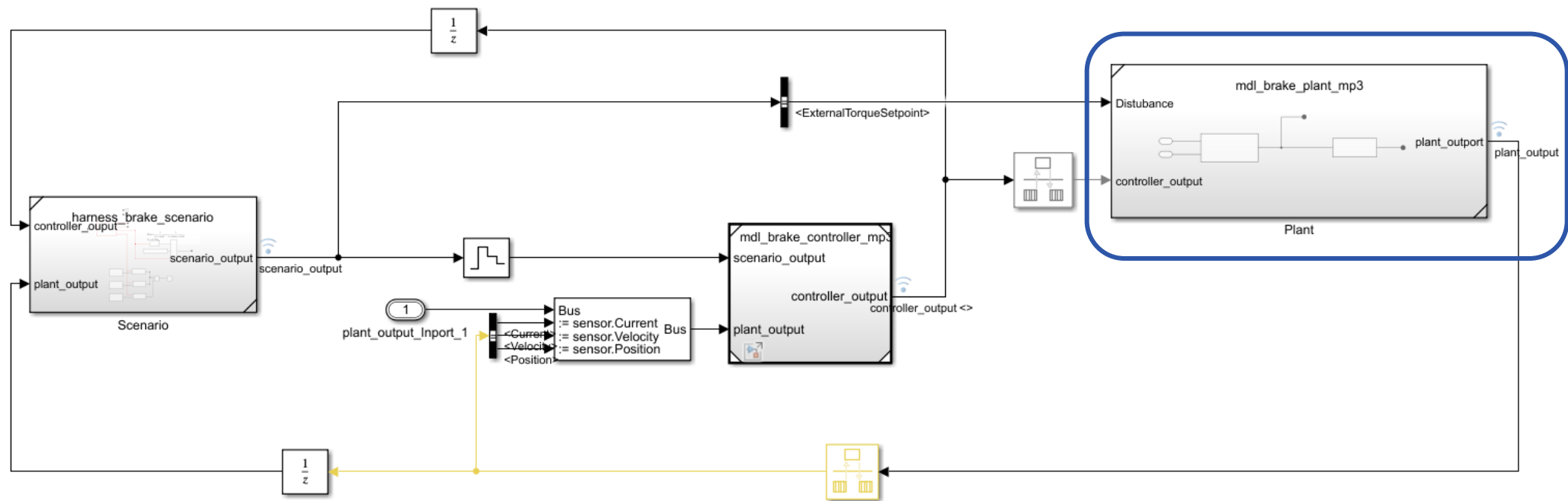


# Implémentation de fonctions de contrôle: Vue d'ensemble

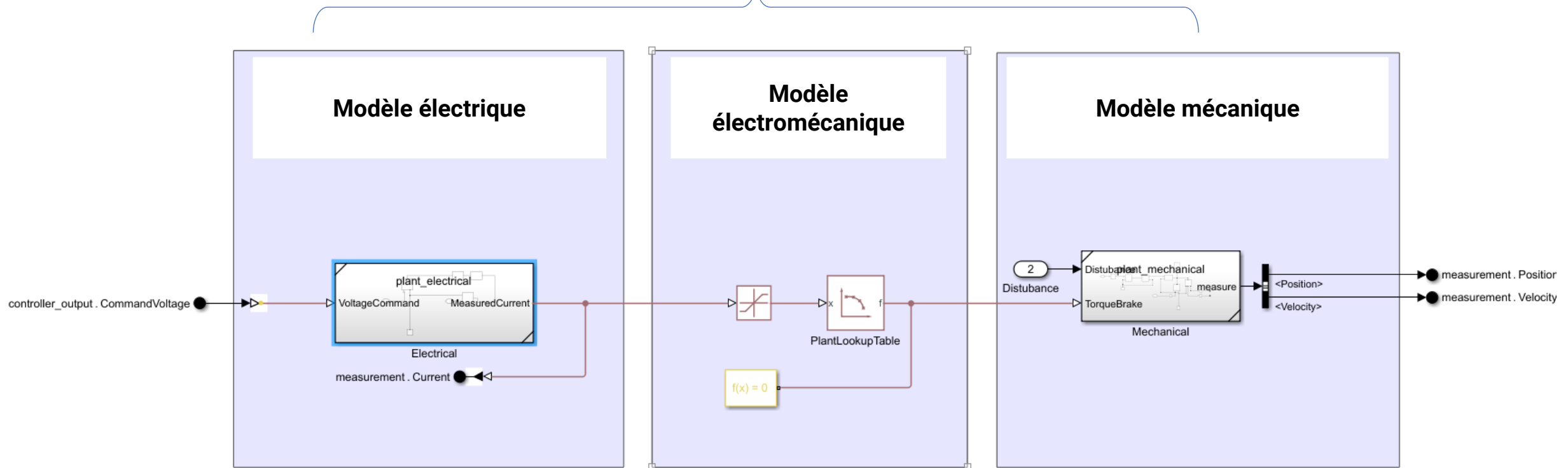
Exemple de fonction implémentée : Définir les phases du frein en paramètre de sortie du contrôleur



# Implémentation de fonctions de contrôle: Modélisation d'un composant non standard



# Implémentation de fonctions de contrôle: Modélisation d'un composant non standard

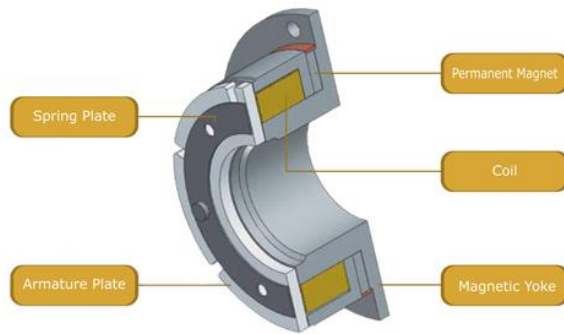


# Implémentation de fonctions de contrôle: Modélisation d'un composant non standard

## Fonctionnement physique du frein électromagnétique

### Modèle électrique

Courant passe dans la bobine = excitation magnétique



### Modèle électromécanique

Champ magnétique + friction =  $F_{freinage}(courant)$

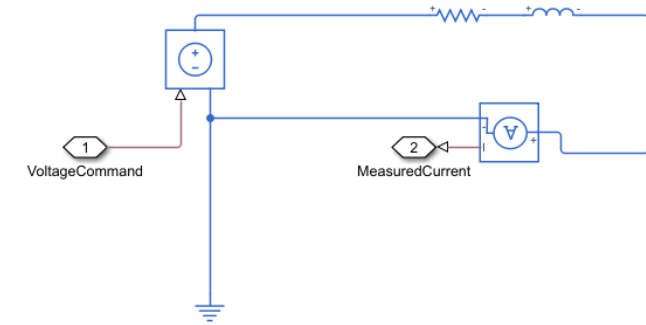
### Modèle mécanique

Couple de freinage réel dépend des paramètres suivants

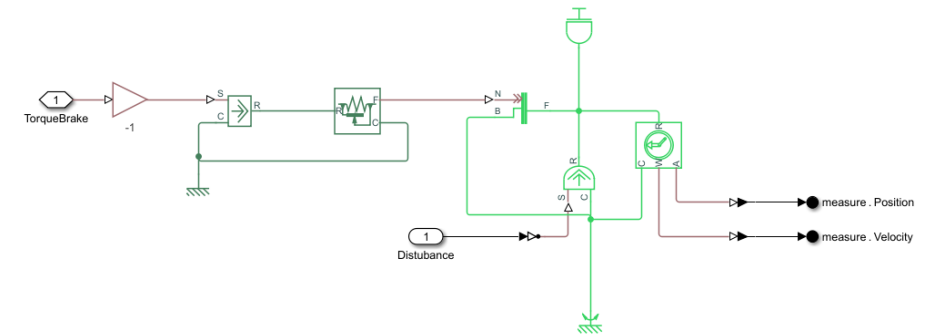
- l'inertie du robot
- couple appliqué par actuation moteur ou utilisateur



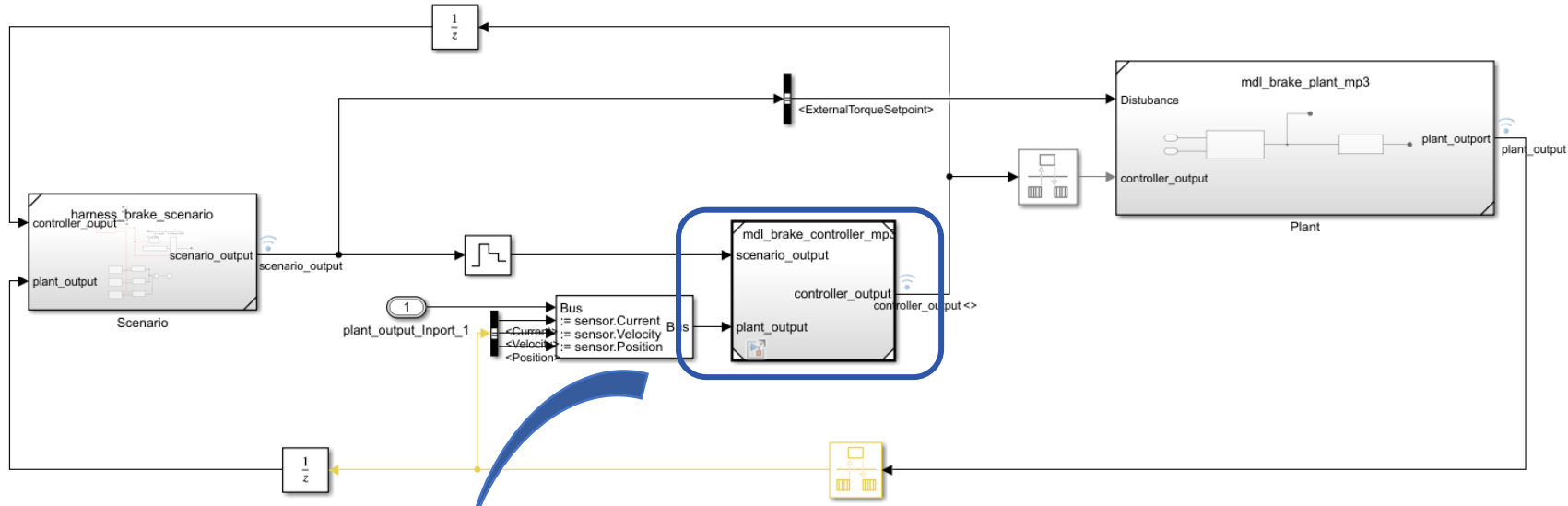
## Modélisation Simscape



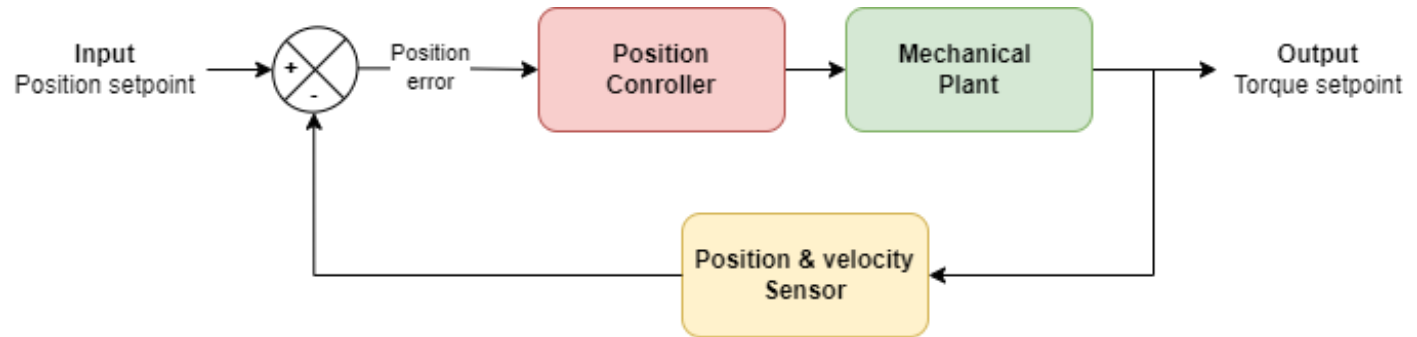
PlantLookupTable



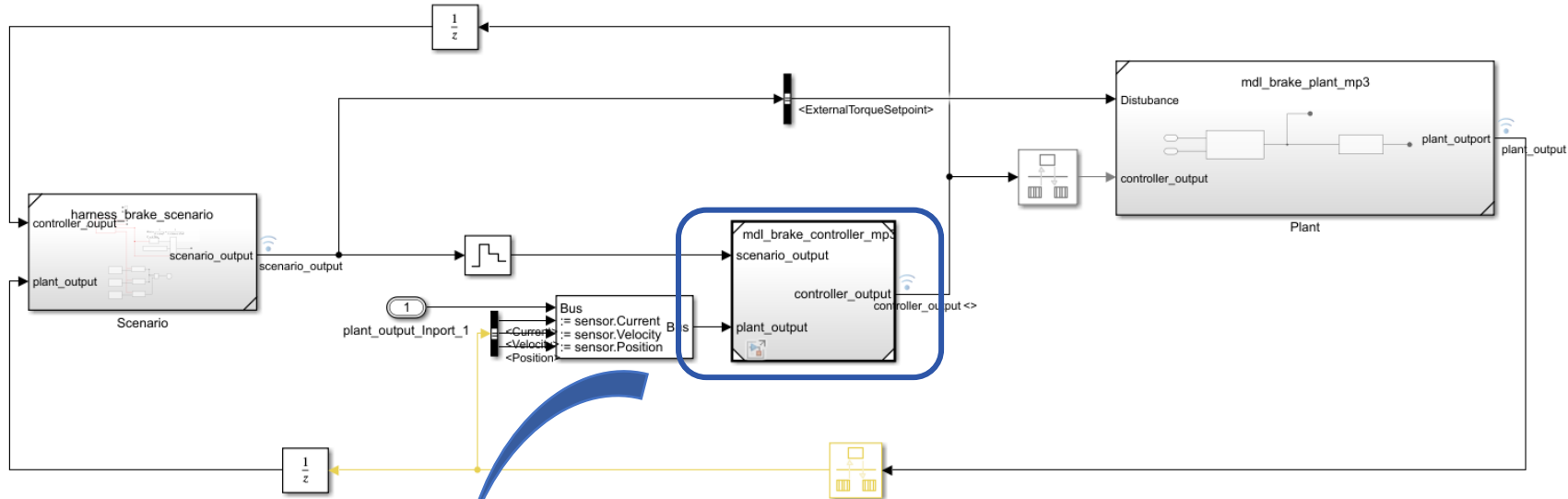
# Implémentation de fonctions de contrôle : Boucles de contrôle



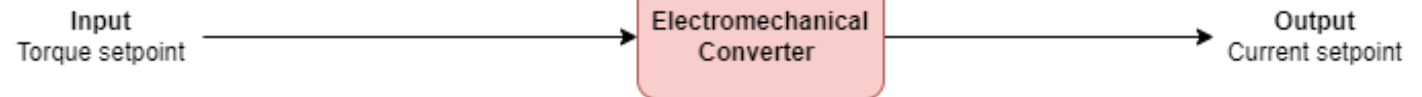
Contrôle position



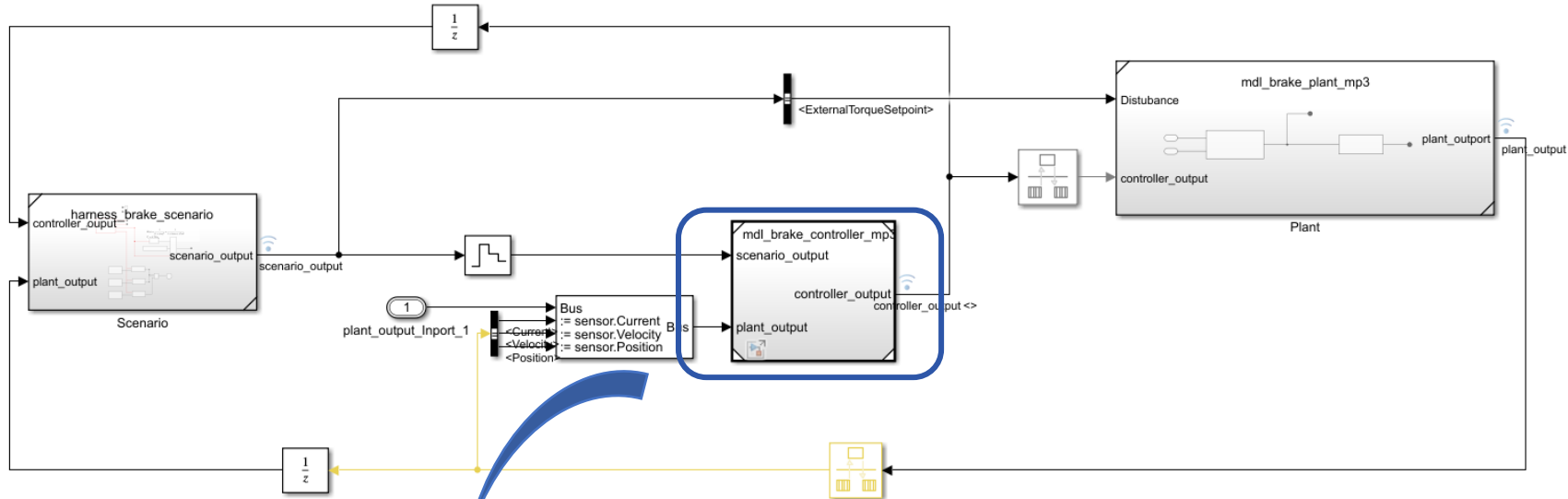
# Implémentation de fonctions de contrôle : Boucles de contrôle



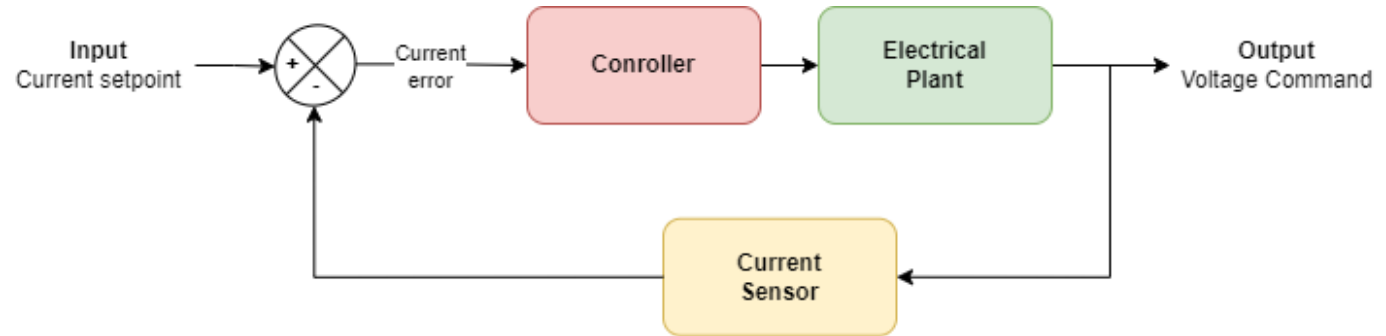
Conversion  
Couple → Courant



# Implémentation de fonctions de contrôle : Boucles de contrôle

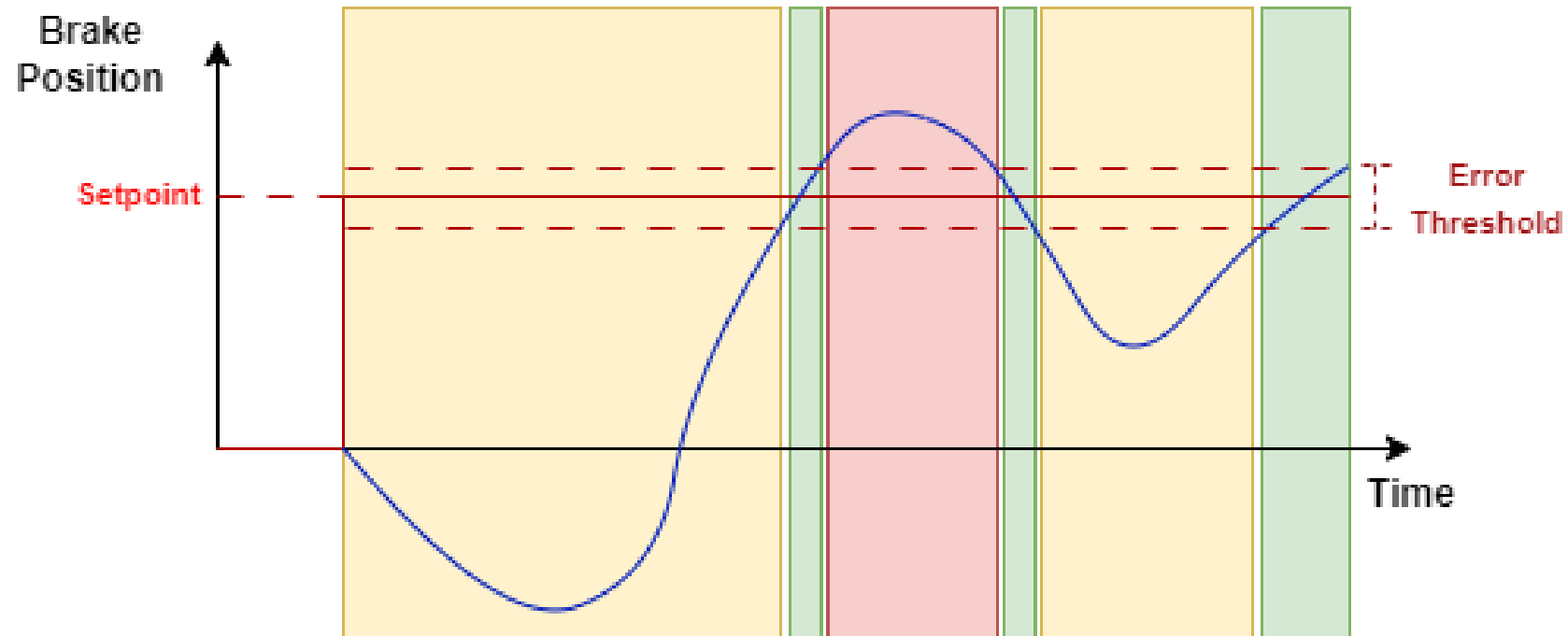


Contrôle courant





## Brake Phase Management

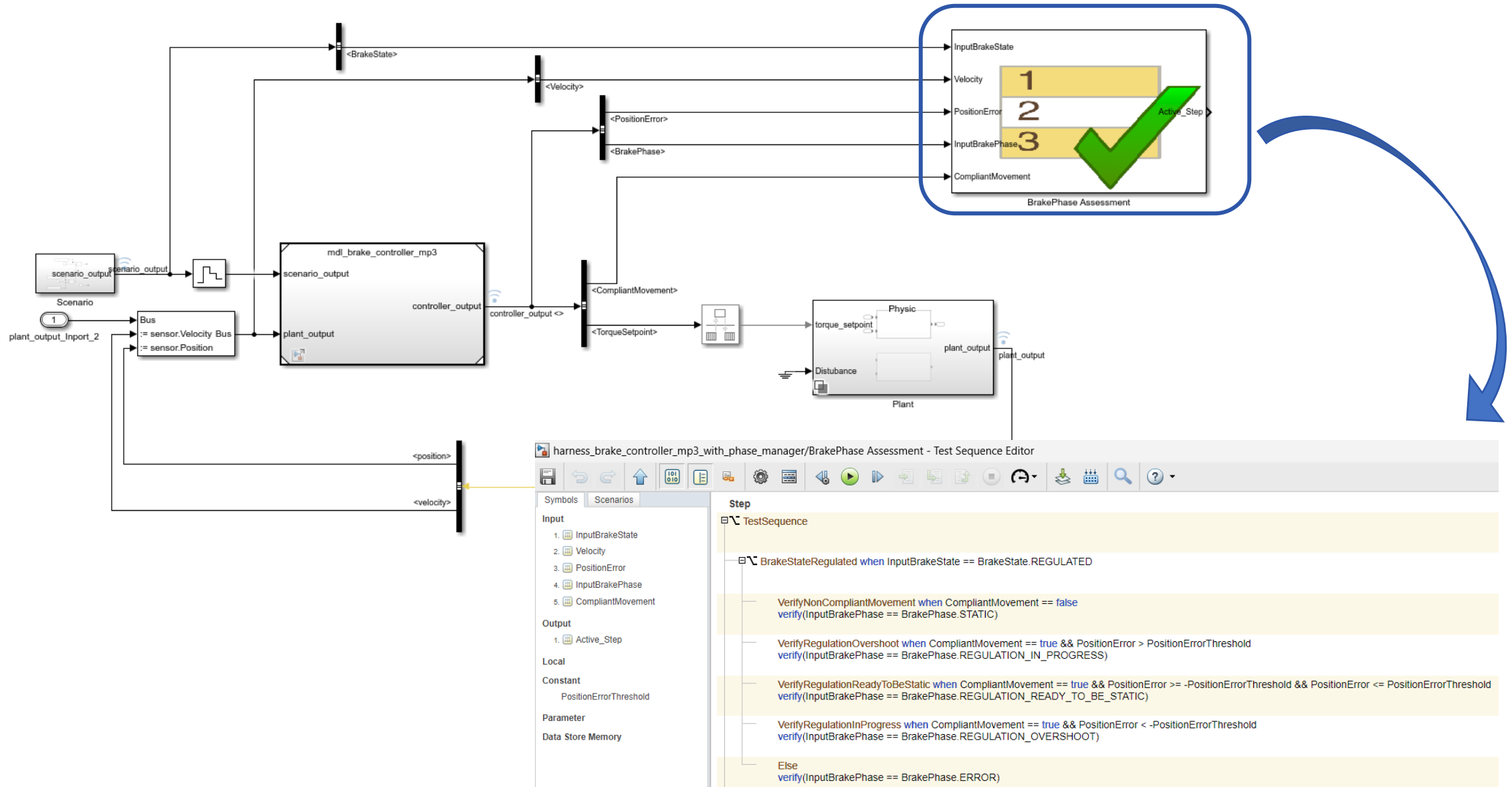


INPUT  
Position + Brake State



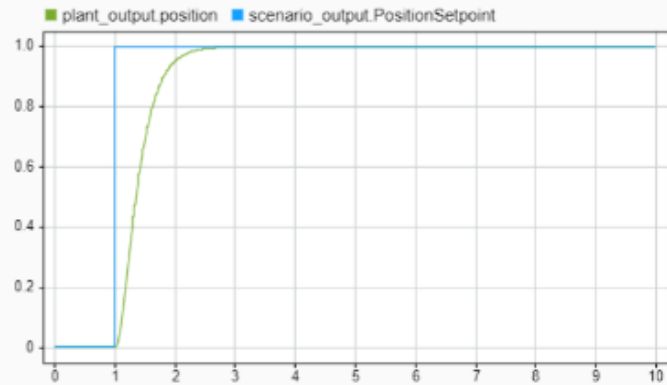
- Brake Phase - In regulation
- Brake Phase - Ready to be static
- Brake Phase - Overshoot

# Implémentation de fonctions de contrôle : Tests

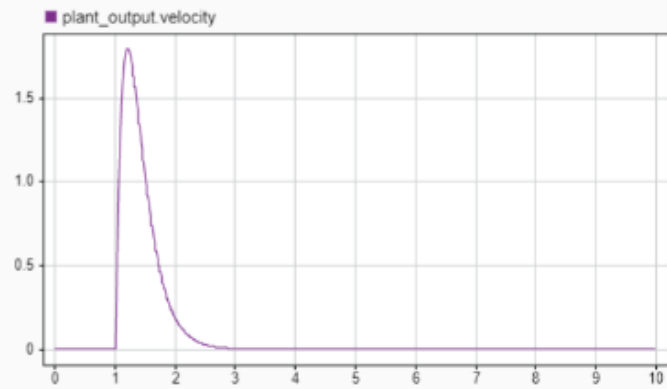


# Implémentation de fonctions de contrôle : Tests

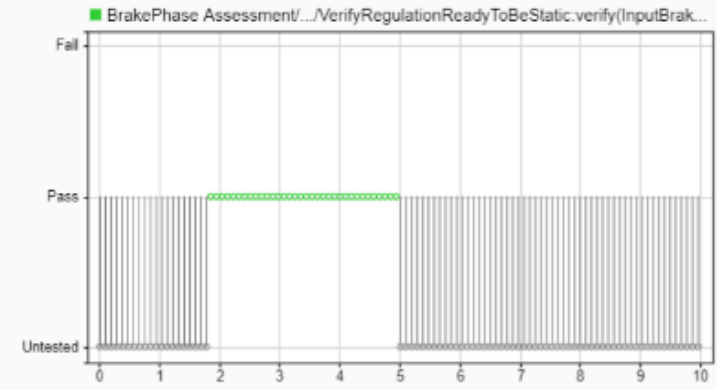
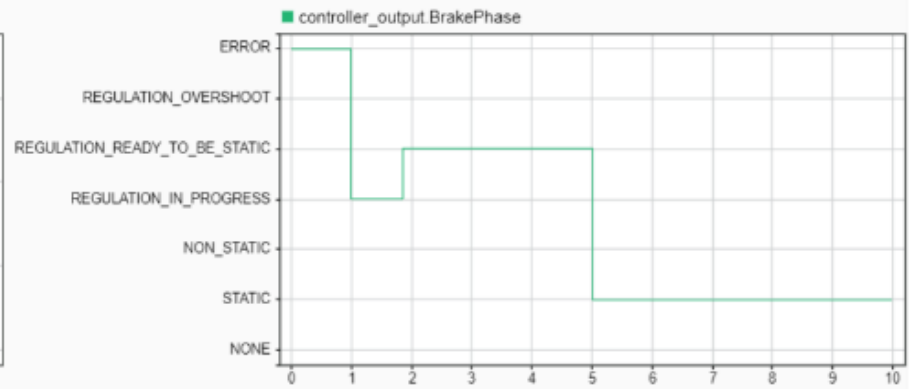
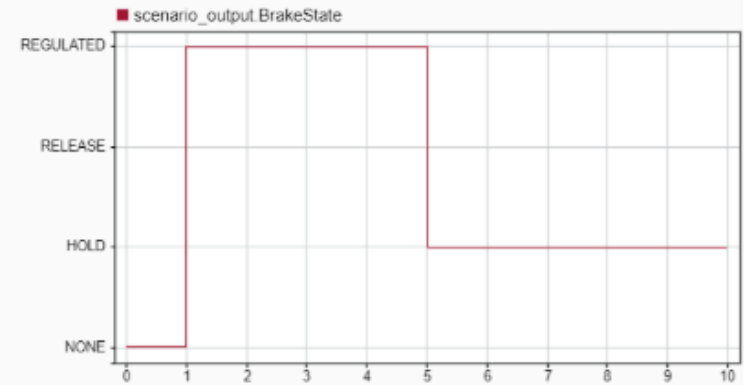
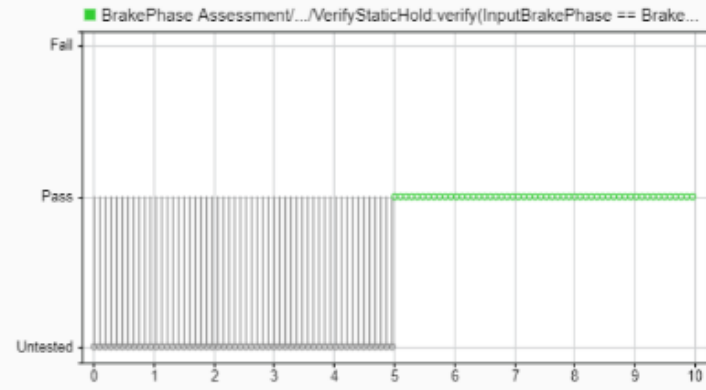
Données d'entrée  
(scenario)



Données de sortie

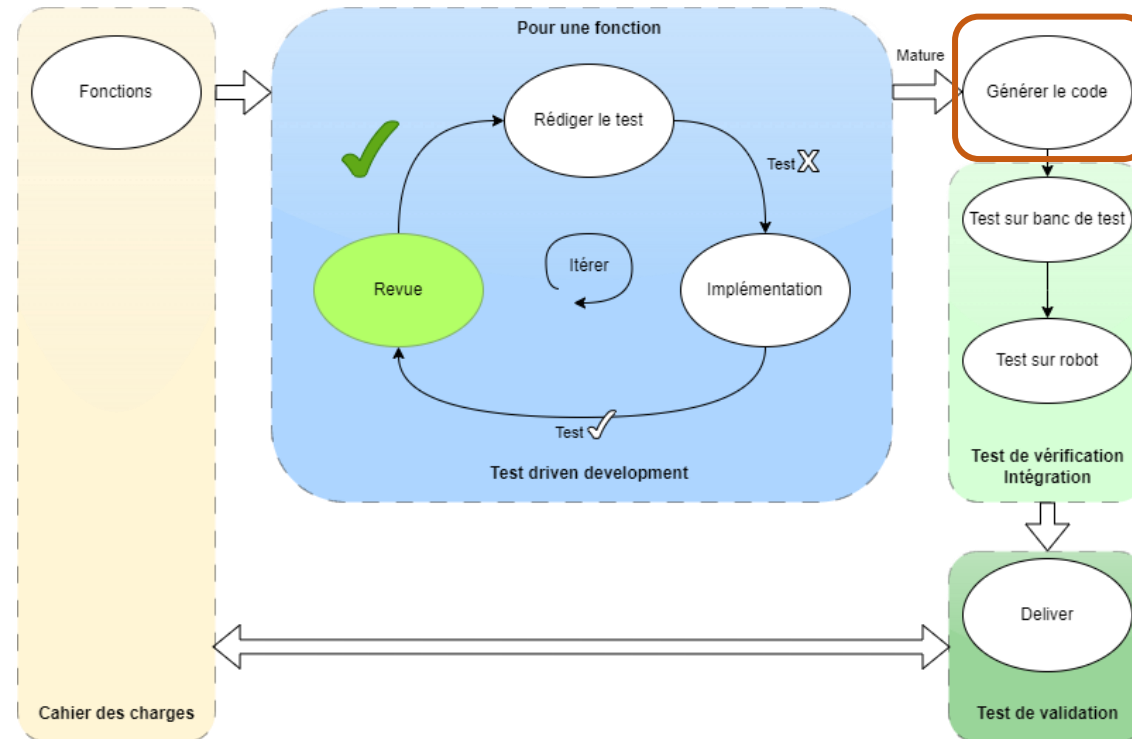
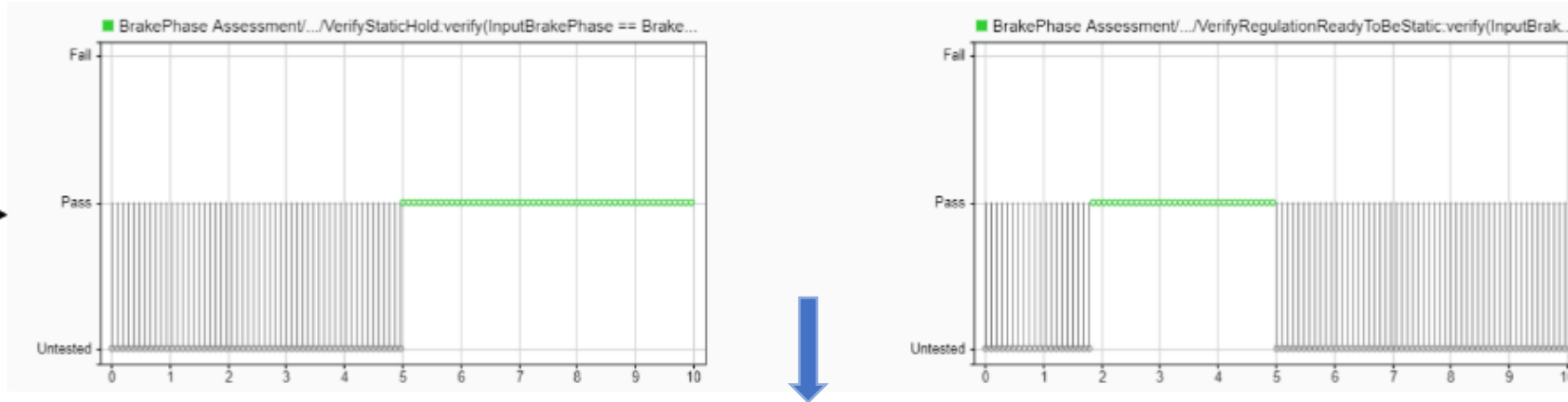


Test Assessment  
Analyse des résultats



# Implémentation de fonctions de contrôle : Tests

Test Assessment  
Analyse des résultats



# Génération de code

Code Generation Advisor - mdl\_brake\_controller\_mp3

File Edit Run Settings Help

Find: [ ] [ ] [ ]

Code Generation Advisor

- ✓ Check model configuration settings against code generation objectives
- ✓ Check for optimal bus virtuality
- ✓ Identify questionable blocks within the specified system
- ✓ Check the hardware implementation
- ✓ Identify questionable software environment specifications
- ✓ Identify questionable code instrumentation (data I/O)
- ✓ ^Identify questionable subsystem settings
- ✓ Identify blocks using one-based indexing
- ✓ Check for blocks not recommended for MISRA C:2012
- ✓ Identify lookup table blocks that generate expensive out-of-range checking code
- ✓ Check output types of logic blocks
- ✓ Check for blocks not recommended for C/C++ production code deployment
- ✓ Check for unsupported block names
- ✓ Check usage of Assignment blocks
- ✓ ^^Check for bitwise operations on signed integers
- ✓ ^^Check for recursive function calls
- ✓ ^^Check for equality and inequality operations on floating-point values
- ✓ Check for switch case expressions without a default case
- ✓ ^Check for missing const qualifiers in model functions
- ✓ ^^Check integer word lengths
- ✓ Check for missing error ports in AUTOSAR receiver interfaces
- ✓ ^Check bus object names that are used as bus element names
- ✓ ^Check usage of 'long long' data type

Code Generation Advisor

Code Generation Advisor

Analysis

Code Generation Objectives (System target file ert.tlc)

Available objectives

- ROM efficiency
- Traceability
- Safety precaution

Selected objectives - prioritized

- Execution efficiency
- RAM efficiency
- MISRA C:2012 guidelines
- Polyspace
- Debugging

Run Selected Checks

Show report after run

Report

Report: [...report\\_1.html](#) Save As...

Date/Time: 27-Aug-2024 15:13:27

Summary: ✓ Pass: 23 ✗ Fail: 0 ⚠ Warning: 0 📄 Not Run: 0

Tips

- To process all enabled items in this folder and generate a new report, click "Run Selected Checks".
- Right-click to select or deselect all items in this folder.
- To automatically display the report after processing, select "Show report after run".
- To display the last report generated, click the "Report" path link.
- For a list of all possible actions, right-click an item in the Task Hierarchy.
- To show or hide By Product folder, select or clear "Show By Product Folder" in the Settings > Preferences dialog box.
- To show or hide By Task folder, select or clear "Show By Task Folder" in the Settings > Preferences dialog box.

Legend

- ^ Running this check triggers an Update Diagram.
- ^^ Running this check triggers an extensive analysis.

Model Advisor

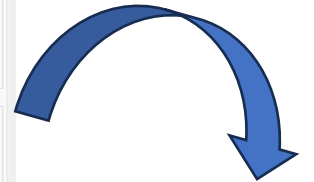
Upgrade Advisor

Performance Advisor

Help

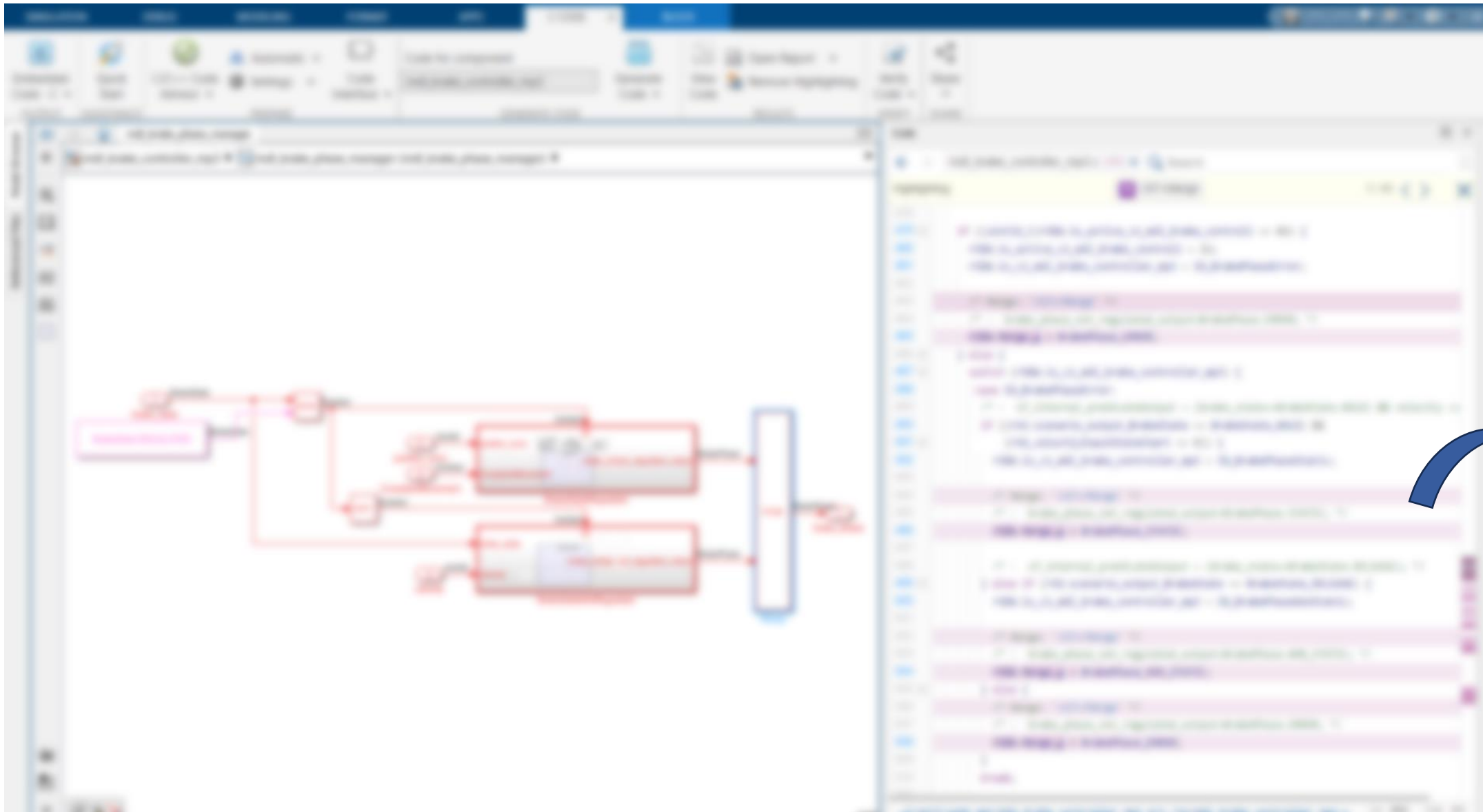


Embedded  
Coder

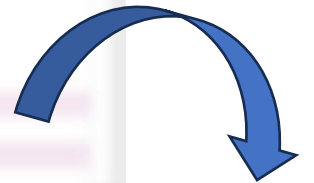


Report

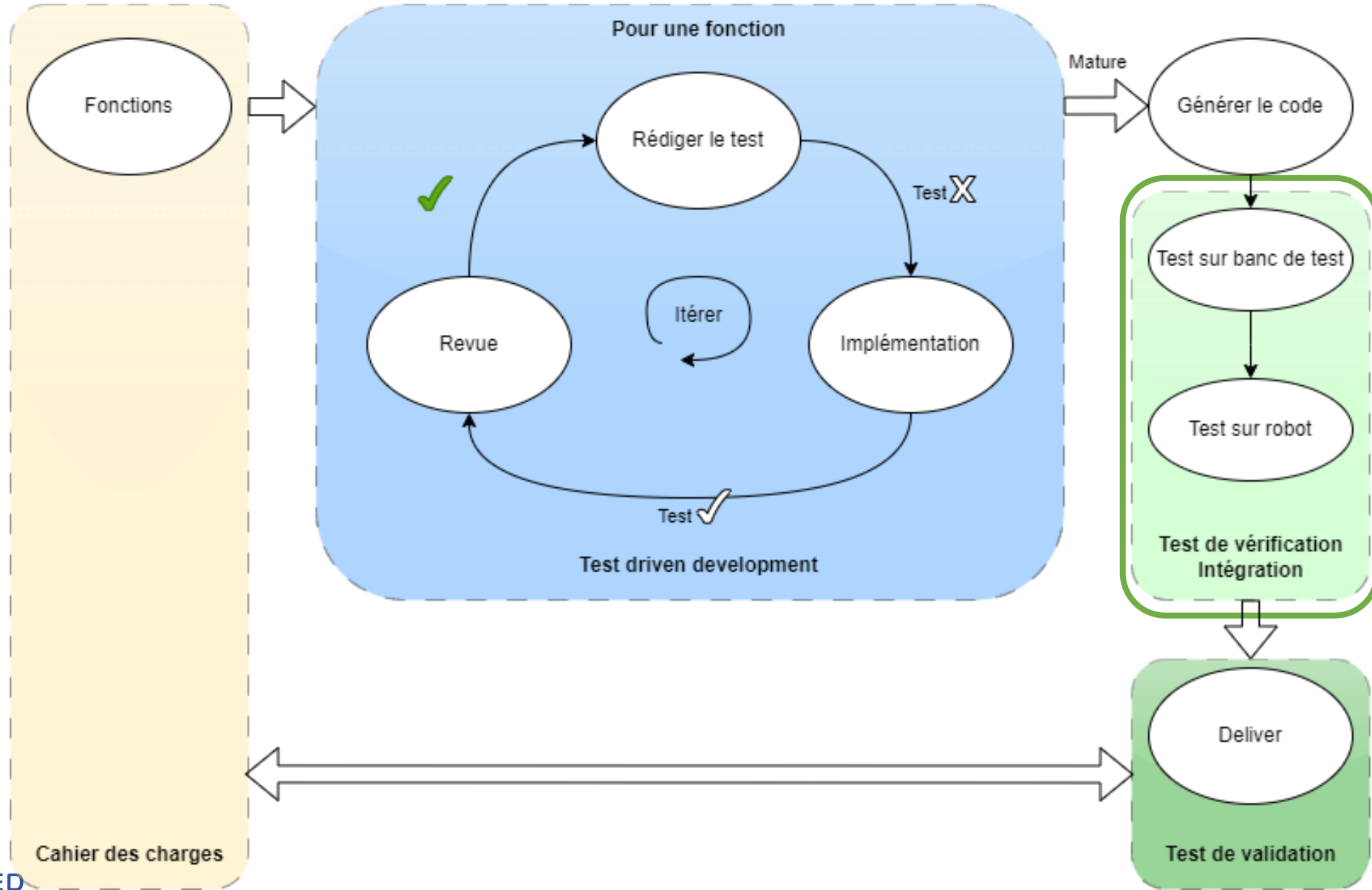
# Génération de code



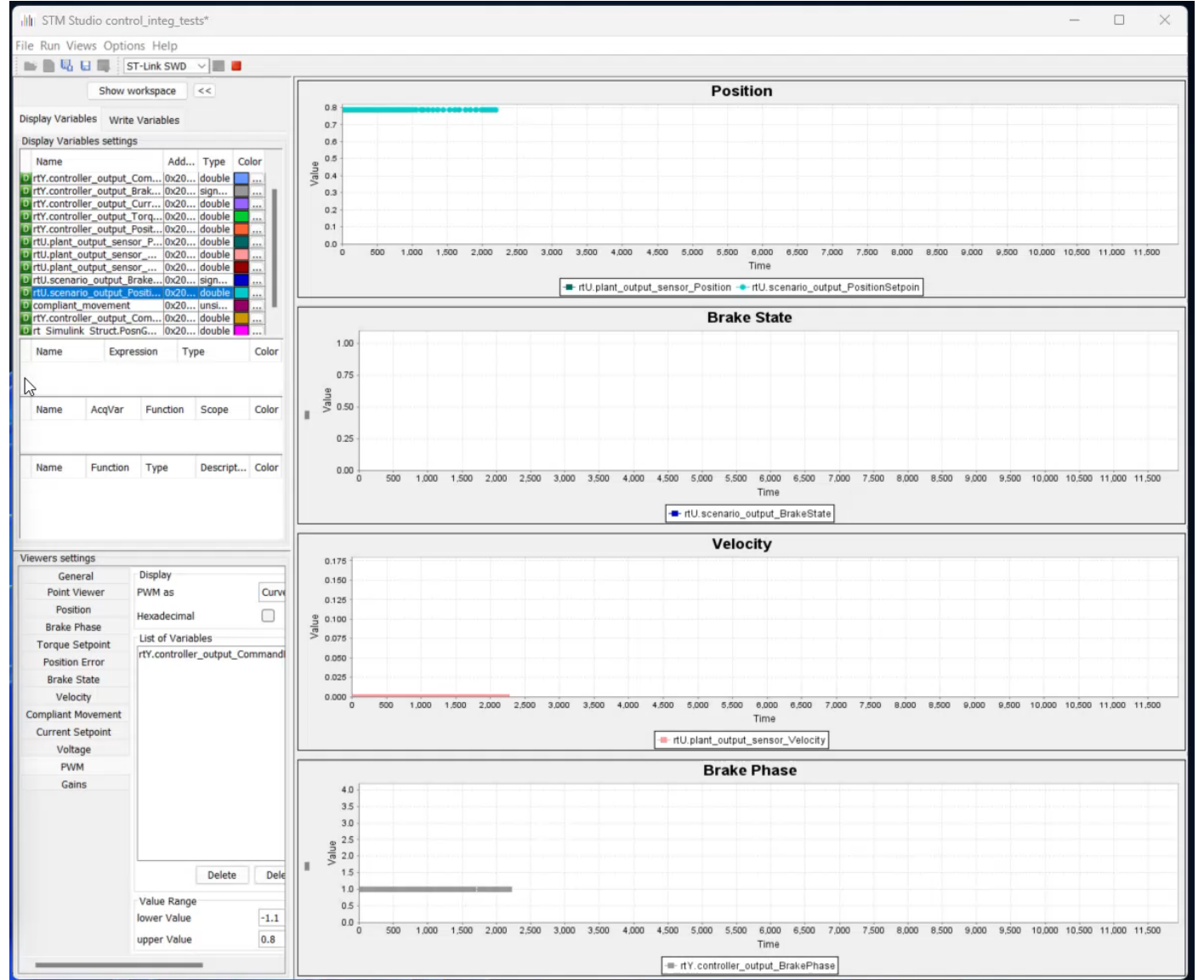
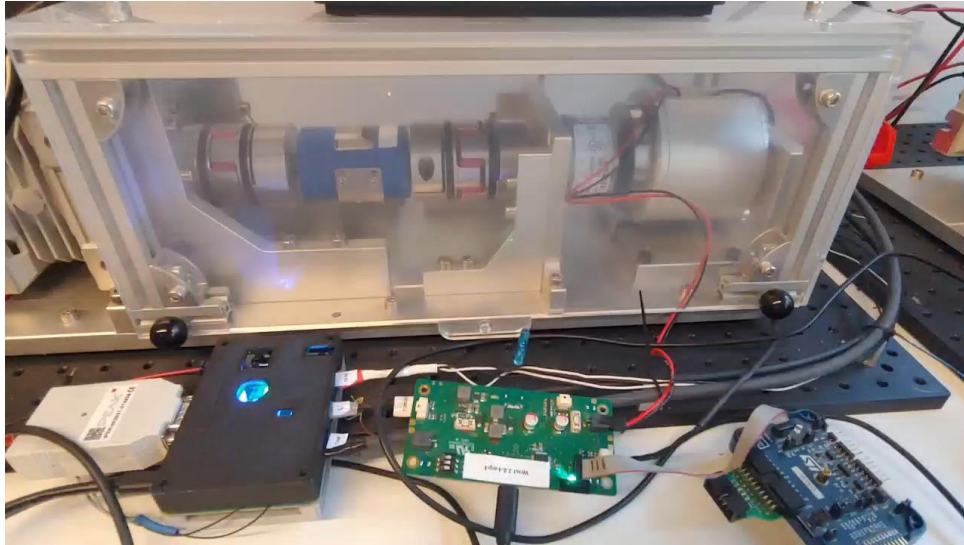
Embedded  
Coder



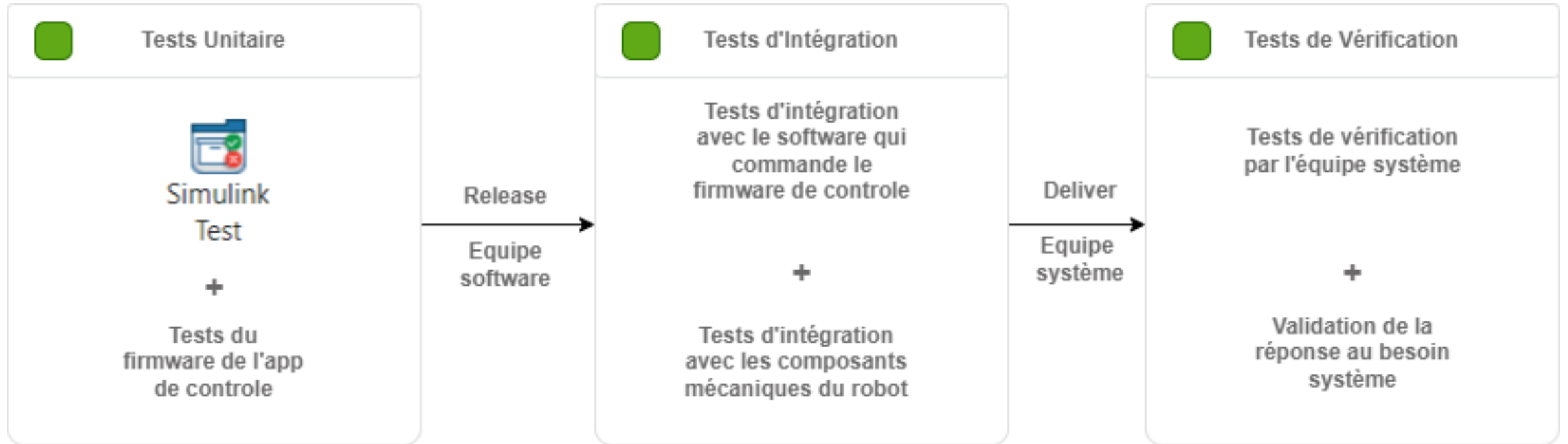
Report



# Tests de vérification sur banc de test







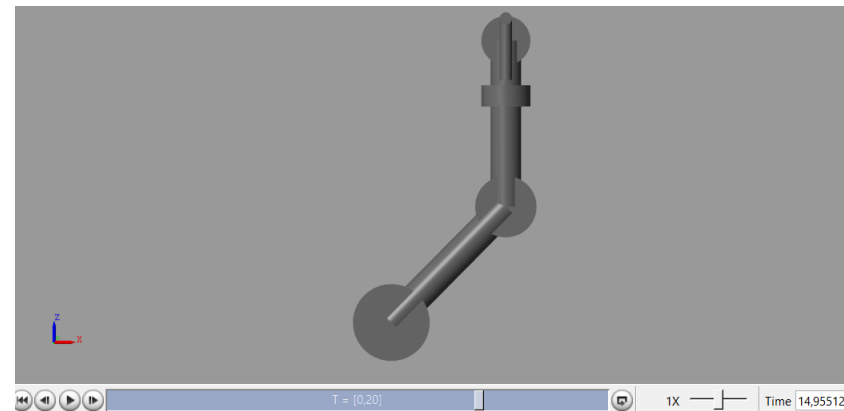
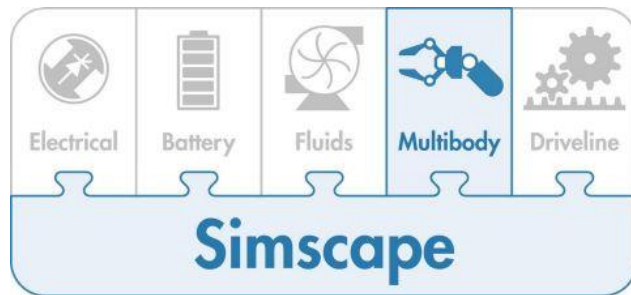
# Conclusion

## Les succès du travail avec MathWorks

- Passer d'un POC à un code industrialisable : modulaire, testable unitairement, ajout de nouvelles fonctions facilités...
- Montée en compétences en interne grâce au consulting : maîtrise du contrôleur, update réguliers des outils MathWorks disponibles

## Prochaines étapes

- Aller plus loin dans l'intégration des outils Mathworks pour affiner le modèle du robot : Simscape Multibody



- Intégrer le banc de test dans l'environnement de travail sur Simulink pour corréler les simulations et les tests sur banc

# Merci !

GANYMED ROBOTICS

Elie SAMAHA - <https://www.linkedin.com/in/elie-t-samaha/>

Margot GUILLOUARD - <https://www.linkedin.com/in/margot-guillouard/>