ECE
ÉCOLE D'INGÉNIEURS
ENGINEERING SCHOOL

ING5

Synthèse de projet

Auteurs :

Sixtine GOUESSE

Vinciane DE PARCEVAUX

Axel FLAMENT

Pierre GUIGNON

Coach :

Amina NAHALI

Equipe : #PFE25-R-637

Problématique : Comment automatiser la phase de couverture de code exigée par la norme DO-178 dans un environnement de développement basé modèle ?

Contexte :
Dans les entreprises aéronautique, les logiciels embarqués critiques doivent prouver qu'ils ont été entièrement testés. Cette preuve repose sur la couverture structurelle du code (Decision, Condition, MC/DC). Aujourd'hui, cette vérification nécessite souvent une phase dédiée longue et manuelle.

Solution :
Utiliser et intégrer l'outil Simulink Coverage dans la phase de tests unitaires afin d'automatiser la couverture de code exigée par la norme DO-178.

Nombre de mots: 1805

Nous attestons que ce travail est original, qu'il est le fruit d'un travail commun et qu'il a été rédigé de manière autonome.

Paris, le 01/02/2026

Abstract

Ce projet a été proposé par Ilayda KOCER, une étudiante d'ECE en alternance chez Airbus Hélicoptère. Dans les entreprises aéronautique comme Airbus, les logiciels embarqués critiques doivent aujourd'hui respecter la norme DO-178, qui impose de prouver que tout le programme a été testé grâce à la couverture de code (instructions, décisions et conditions exécutées au moins une fois).

Aujourd'hui, cette vérification est souvent réalisée manuellement avant les tests unitaires, ce qui est une étape pénible et prend plusieurs semaines aux ingénieurs. L'objectif du projet est donc d'automatiser cette étape afin de réduire le temps consacré au processus de certification.

Après une étude des solutions existantes, nous avons présenté nos résultats à Ilayda. Suite à cet échange, nous en avons conclu qu'une solution universelle pour tous les logiciels n'était pas réaliste, et nous nous sommes donc concentrés sur l'environnement MATLAB/Simulink (qui est largement utilisé dans l'industrie) et sur son outil Simulink Coverage.

Ainsi, pour automatiser la couverture de code, notre solution était d'utiliser Simulink Test pour intégrer la mesure de couverture directement pendant les tests unitaires, de manière automatique, plutôt que d'effectuer ces deux tâches séparément (supprimant l'étape manuelle supplémentaire).

Un protocole expérimental a été défini afin de reproduire une démarche de validation proche d'un contexte industriel. Nous avons conçu un modèle représentatif nommé *FlightSafe* et réalisé une campagne de tests unitaires sous Simulink Test avec collecte automatique de la couverture. Les résultats ont ensuite été comparés à ceux d'un outil indépendant (GCOV) appliqué au code C généré.

Ces expérimentations nous ont permis d'évaluer la reproductibilité des résultats, la sensibilité des métriques et la complétude de la couverture. Les résultats montrent que les métriques évoluent correctement lorsque les tests changent, restent identiques lors d'une ré-exécution et sont cohérentes avec une analyse externe. Les cas de couverture partielle observés sont justifiables structurellement, ce qui correspond aux pratiques de certification.

Ainsi, l'intégration de Simulink Coverage dans les tests unitaires constitue une approche crédible pour automatiser la couverture dans un processus certifiable. Cette méthode pourrait réduire significativement la durée des phases de validation dans l'industrie.

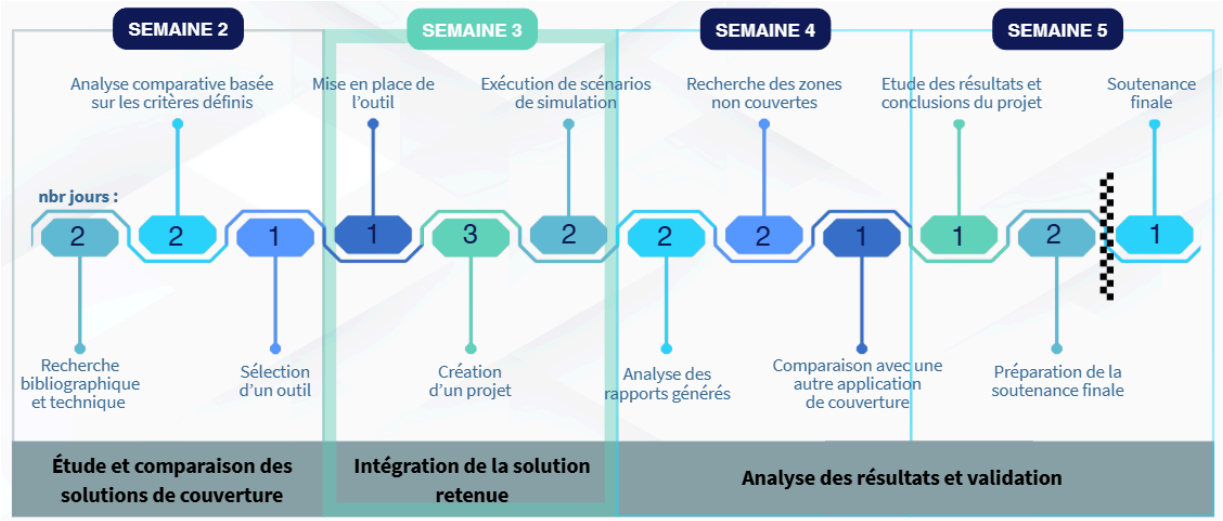
Méthodologie de travail

Ce projet de recherche traitant d'un sujet technique complexe, et proposant une solution d'où nous doutions de la validité (avant d'avoir les résultats), nous avons dû mettre en place une organisation rigoureuse et répartir les tâches efficacement.

Chaque matin à 10h00, nous faisons un appel d'équipe afin de suivre l'avancement individuel, débattre des résultats trouvés par chacun, identifier les blocages, et décider collectivement des priorités. Ces réunions ont permis de nous imposer à tous un rythme constant, et ainsi d'éviter les retards.

Vers les débuts du projet, nous avons également établi une roadmap claire (présentée lors de la première soutenance). Elle divisait le projet en quatre phases :

1. compréhension du domaine, de la norme, et étude des solutions existantes
2. proposition d'une solution et mise en place d'un protocole expérimentale
3. développement du projet et exécutions des tests
4. validation et analyse des résultats



Avant de produire des résultats, nous avons défini des hypothèses puis un protocole de validation. Cela nous a évité de faire des tests inutiles.

Les tâches ont toujours été réparties à l'avance selon les compétences et les préférences de chacun, en restant le plus équitable possible. Certaines parties demandent plus de recherche théorique, d'autres plus d'expérimentation technique.

Le projet reposait sur plusieurs outils : MATLAB Simulink / Simulink Test / Simulink Coverage / Simulink Coder / GCC et GCOV

Le rôle de l'expert industriel a été important. Ilayda (l'alternance travaillant chez Airbus) nous a permis de comprendre les attentes réelles de l'industrie et d'orienter le projet vers une solution applicable plutôt qu'une solution théorique.

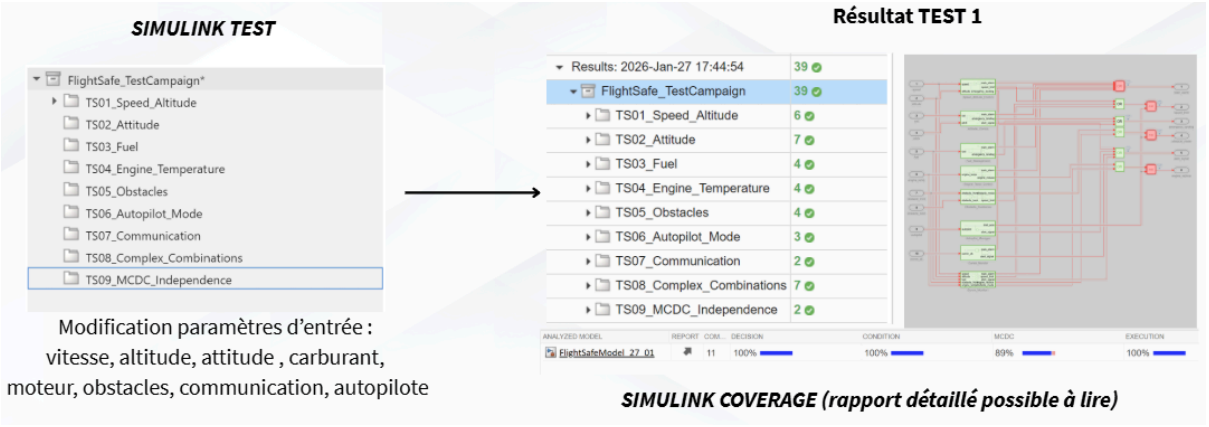
Conception et développement

Après l'état de l'art, nous avons constaté qu'une solution universelle pour automatiser la couverture dans tous les environnements n'était pas réalisable. Nous avons donc choisi une approche réaliste : se concentrer sur la solution Simulink Coverage dans l'environnement MATLAB Simulink, souvent utilisé dans l'industrie.

L'idée principale du projet était de modifier le processus de validation, afin de réaliser automatiquement la couverture de code et les tests unitaires simultanément. Pour valider cette approche, nous devions prouver que ce processus proposé est toujours certifiable malgré les exigences strictes de la norme DO-178.

Nous avons donc conçu un modèle Simulink qui simule un logiciel critique embarqué avec de nombreuses décisions logiques. Certaines combinaisons ont été volontairement rendues impossibles afin de reproduire des contraintes réalistes, et de vérifier la fiabilité de Simulink Coverage lorsqu'il repère les défaillances du système.

Avec ce modèle, nous avons procédé à une première étude : définir une campagne de tests unitaires composée de 9 suites de tests, et simuler la phase de tests unitaire en exécutant Simulink Coverage en parallèle. Les tests étaient de type baseline, ce qui correspond aux pratiques de certification DO-178.



Suite à l'exécution de nos différents tests, Simulink Coverage fournit des rapports détaillés. Nous avons comparé ces résultats avec les résultats attendus, et avons vérifié la certifiabilités de ces résultats pour la norme.

Ensuite, nous avons procédé à une seconde étude : avons exporté le modèle en code C avec Simulink Coder puis analysé la couverture avec GCOV pour comparer les résultats avec un outil indépendant.

Cette méthodologie reproduit la logique d'une validation industrielle : cohérence interne, robustesse et vérification indépendante.

Défis rencontré

La principale difficulté du projet a été la compréhension de la norme DO-178 et de s'assurer que notre processus respectait toujours ces exigences.

Cette norme est très stricte et utilise un vocabulaire précis. Au début, nous pensions par exemple qu'il suffisait d'atteindre 100 % de couverture pour être conforme. En réalité, ce n'est pas toujours possible, et il faut alors prouver qu'une combinaison logique est impossible dans notre cas précis. Nos recherches nous ont permis de comprendre que la certification repose autant sur la justification que sur la mesure.

Un autre défi a été de concevoir un modèle suffisamment simple pour être étudié mais suffisamment complexe pour être représentatif. Plusieurs versions du modèle *FlightSafe* ont été ajustées avant d'obtenir un bon compromis.

Enfin, il a fallu éviter de transformer le projet en simple démonstration d'outil. Nous devions démontrer une méthode fiable et utilisable. Pour cela, nous avons construit un protocole expérimental le plus rigoureux possible, avec plusieurs runs et une comparaison indépendante, malgré les contraintes de temps.

Ces difficultés ont été résolues par les recherches approfondies de chacun, les discussions régulières en équipe, et une amélioration progressive de notre protocole.

Résultats & livrables

Notre projet étant un projet de recherche, les résultats de notre projet sont :

➢ L'étude des solutions existantes concernant l'automatisation de la couverture de code pour les différents environnements (état de l'art)

➢ Une solution permettant d'améliorer le processus des entreprises, en automatisant la couverture et réduisant le temps de certifications (répond directement à la problématique initiale du sujet), pour l'environnement Simulink.

Les résultats obtenus montrent :

- Decision : 100 %
- Condition : 100 %
- MC/DC : 89 % (justifié structurellement)
- résultats reproductibles
- métriques sensibles aux changements
- cohérence avec GCOV

La couverture MC/DC partielle n'est pas un échec. Elle correspond à des combinaisons impossibles du modèle. Dans un contexte de certification, cela est acceptable et justifié. L'expérimentation démontre donc que Simulink Coverage peut produire des preuves fiables directement pendant les tests unitaires.

Le livrable principal du projet est donc :
Une démarche, validée expérimentalement suite à un protocole strict, qui démontre qu'une phase manuelle de couverture peut être supprimée pour l'environnement Simulink

Selon la taille d'un projet industriel, cette approche pourrait faire gagner plusieurs semaines de validation, même pour un petit projet.

Analyse critique

Nous avons atteint notre objectif principal : démontrer qu'il est possible d'automatiser la couverture dans un processus compatible DO-178 à l'aide de Simulink Coverage.

Cependant, notre étude reste académique. Ilayda (l'alternance chez Airbus ayant proposé le sujet) à donner un retour positif à nos recherches et à souligner la rigourosité de notre démarche. Mais pour définitivement confirmer son applicabilité réelle, il faudrait présenter nos résultats à des ingénieurs industriels, comme son manager. Eux seuls peuvent confirmer que la méthode s'intègre efficacement dans leurs processus de certification.

Une autre limite est le périmètre outil. Nous nous sommes concentrés sur Simulink car il est largement utilisé. SCADE aurait pu être étudié mais son accès est plus limité et moins pertinent dans le temps du projet.

Ainsi, notre travail constitue une preuve de faisabilité pour l'environnement Simulink qui est largement répandu, mais ce n'est pas encore une validation industrielle complète.

Conclusion

Ce projet avait pour objectif d'étudier l'automatisation de la couverture de code dans un contexte avionique soumis à la norme DO-178.

Nous avons montré qu'en intégrant Simulink Coverage directement aux tests unitaires, il est possible d'obtenir des preuves de couverture fiables, reproductibles et cohérentes avec une analyse indépendante. Cette nouvelle approche permettrait aux entreprises de ne plus avoir à effectuer cette phase manuelle longue du processus de validation, mais de la faire automatiquement à la place.

Au-delà des résultats techniques, ce projet nous a appris à raisonner rigoureusement, comme les ingénieurs dans leur quotidien : comprendre un besoin industriel, construire un protocole scientifique et analyser de manière critique les résultats.

Cela nous a également appris à adapter sa méthode de travail à un processus de certification d'une norme stricte, qui est un enjeux très courant en entreprise et auquel nous serons très probablement confrontés dans une de nos futures professions.

Comme perspective future, il serait intéressant d'appliquer la même démarche à d'autres environnements comme SCADE afin d'évaluer sa faisabilité, malgré ses contraintes.

Nous remercions Ilayda, qui travaille chez Airbus, pour avoir proposé ce sujet, et avoir gentiment accepté d'échanger plusieurs fois avec nous, au fur et à mesure de notre avancement sur le projet.