

COLLECTION INFORMATIQUE

# Prototypage rapide de logiciel pour les systèmes avioniques

*approches orientées modèle  
pour la certification de systèmes complexes*

Nicolas Larrieu et Antoine Varet



**ISTE**  
editions

---

# Table des matières

---

<b>Introduction</b> . . . . .	9
<b>Chapitre 1. Evolution des méthodes de conception orientée modèle en génie logiciel</b> . . . . .	15
1.1. Historique de la conception orientée modèle . . . . .	15
1.2. L' <i>Unified Modeling Language</i> , support des méthodes orientées modèle . . . . .	17
1.2.1. Philosophie et histoire de l' <i>Unified Modeling Language</i> . . . . .	17
1.2.2. Les diagrammes normalisés de l' <i>Unified Modeling Language</i> . . . . .	18
1.2.3. Avantages de la conception orientée modèle . . . . .	24
1.3. Les techniques de validation formelle basées sur les modèles . . . . .	25
1.3.1. <i>Model Checking</i> . . . . .	25
1.3.2. Preuves formelles . . . . .	28
1.3.3. Assertion de code . . . . .	29
1.3.4. Application à la certification de systèmes complexes. . . . .	30
<b>Chapitre 2. Méthodologie de prototypage rapide pour un logiciel avionique</b> . . . . .	33
2.1. Les spécificités du domaine avionique . . . . .	33
2.1.1. Virtualisation des systèmes : <i>Integrated Modular Avionics</i> . . . . .	34
2.1.1.1. Interface ARINC 653 APEX : <i>Application Executive</i> . . . . .	35
2.1.1.2. Bus AFDX : <i>Avionics Full-Duplex switched Ethernet</i> . . . . .	35
2.1.2. Le MILS : diviser pour mieux régner sur un monde sûr . . . . .	36
2.1.3. Traitement conjoint des aspects sûreté et sécurité . . . . .	38
2.2. La certification d'un système avionique . . . . .	40

2.2.1. Qualification d'outils pour la certification . . . . .	40
2.2.2. Les approches de développement orienté modèle dans l'aéronautique. . . . .	41
2.2.2.1. DO-178C : <i>Software Considerations</i> <i>in Airborne Systems and Equipment Certification</i> . . . . .	42
2.2.2.2. DO-331 : <i>Model-Based Development and Verification</i> . . . . .	42
2.2.3. Une méthodologie élaborée pour le développement des systèmes embarqués complexes. . . . .	42
2.3. La méthodologie de développement rapide en sept étapes . . . . .	43
2.3.1. Présentation des différentes étapes. . . . .	43
2.3.2. Avantages de la méthodologie . . . . .	45
2.3.3. Exemple de bénéfice dans l'utilisation de notre méthodologie orientée modèle . . . . .	49
2.3.4. Instanciation de la méthodologie avec différents outils. . . . .	50
2.3.4.1. Synthèse des chaînes d'outils compatibles. . . . .	50
2.3.4.2. Organisation de l'architecture de la solution logicielle. . . . .	52
2.3.4.3. Conception : modélisation avec Simulink et Stateflow . . . . .	54
2.3.4.4. Transformation avec Gene-Auto vers le langage C. . . . .	55
2.3.4.5. Exécution avec un système d'exploitation embarqué durci . . . . .	56
2.4. Résumé du chapitre . . . . .	61
<b>Chapitre 3. Mise en œuvre de la méthodologie de prototypage pour le développement d'un routeur avionique de nouvelle génération . . . . .</b>	<b>63</b>
3.1. Introduction aux domaines des communications aéronautiques de nouvelle génération . . . . .	63
3.1.1. Domaines réseaux avioniques et aéronautiques . . . . .	63
3.1.2. Standards et protocoles de communications pour l'aéronautique de nouvelle génération . . . . .	66
3.1.3. Apport d'un routeur avionique de nouvelle génération : routeur SNG (sécurisé de nouvelle génération) . . . . .	68
3.1.3.1. Interconnexion des domaines avioniques par un routeur de nouvelle génération. . . . .	68
3.1.3.2. Mutualisation des liaisons aéronautiques sol-bord par un routeur de nouvelle génération. . . . .	69
3.2. Mise en œuvre du routeur SNG . . . . .	71
3.2.1. Architecture du logiciel du routeur SNG . . . . .	71
3.2.2. Fonctionnalités de routage (IPv4) . . . . .	73
3.2.2.1. Les principes du routage pour le SNG . . . . .	73
3.2.2.2. Mise en œuvre des fonctionnalités de routage . . . . .	74

---

3.2.3. Fonctionnalités de filtrage (IPv4) . . . . .	78
3.2.3.1. Les principes du filtrage pour le SNG. . . . .	78
3.2.3.2. Mise en œuvre des fonctionnalités de filtrage . . . . .	78
3.3. Evaluation des performances du routeur SNG . . . . .	81
3.3.1. Cadre expérimental . . . . .	82
3.3.1.1. Topologie réseau considérée . . . . .	82
3.3.2. Métriques et outils d'évaluation des performances . . . . .	84
3.3.2.1. Métriques sélectionnées . . . . .	84
3.3.2.2. Outils de mesure choisis. . . . .	85
3.3.2.3. Utilisation des outils actifs pour générer du trafic de charge . . . . .	87
3.3.2.4. Plate-forme matérielle utilisée pour l'évaluation des performances du routeur SNG. . . . .	89
3.3.3. Résultats des mesures de performance . . . . .	90
3.3.3.1. Impact du nombre de flux traités par le routeur SNG sur ses performances. . . . .	91
3.3.3.2. Impact des mécanismes de sécurisation sur les performances . . . . .	94
3.3.3.3. Disponibilité du routeur sur une semaine. . . . .	95
3.3.3.4. Performances globales du système . . . . .	96
3.4. Résumé du chapitre . . . . .	97
<b>Conclusion</b> . . . . .	99
<b>Bibliographie</b> . . . . .	105
<b>Index</b> . . . . .	115