

Soutenance de thèse

Pierre-Julien CHAINE soutiendra sa thèse de doctorat préparée au sein de l'ISAE-ONERA MOIS et intitulée «*Adaptabilité de Time Sensitive Networking aux exigences de l'industrie aérospatiale*»

**Le 21 juin 2022 à 10h00,
Salle des thèses – ISAE-SUPAERO**

devant le jury composé de

Mme Claire PAGETTI	Ingénieure de Recherche ONERA	Directrice de thèse
M. Sébastien PILLEMENT	Professeur Polytech'Nantes	Rapporteur
M. Ye-Qiong SONG	Professeur Université de Lorraine	Rapporteur
Mme Alhem MIFDAOUI	Professeure ISAE-SUPAERO	
M. Jean-Luc SCHARBARG	Professeur INPT-ENSEEIH	
Mme Liliana CUCU-GROSJEAN	Directrice de recherche INRIA	

Résumé : L'industrie aérospatiale fait face à un nouveau défi : proposer de nouvelles fonctionnalités et de nouvelles missions autour de la Terre, dans le système Solaire et au-delà. Ces nouveautés ne se feront pas sans une amélioration de la performance à bord des satellites, notamment au niveau de l'architecture de communication. C'est la raison pour laquelle l'industrie aérospatiale envisage un changement radical de ses réseaux embarqués, passant du bus MIL-STD-1553 pour le trafic temps réel et Spacewire pour le trafic haut débit, à un réseau « unifié » reposant sur une technologie unique capable de transporter ces deux types de trafic. Au début de la thèse, IEEE Time Sensitive Networking (TSN), la technologie état de l'art d'Ethernet, a commencé à attirer l'attention de différents acteurs du spatial. De fait, le but de cette thèse a été de mettre en évidence l'adéquation de TSN avec les exigences de l'industrie aérospatiale.

Afin de résoudre ce problème, nous avons commencé par identifier un ensemble de technologies – Ethernet, ARINC 664, TTEthernet, Time Sensitive Networking et Spacefibre – a priori capables de répondre aux besoins des futures missions. Nous avons ensuite proposé une comparaison qualitative de ces technologies en se basant sur leur compatibilité avec les futures exigences des satellites. Cette comparaison s'est organisée autour de deux thèmes : qualité de service (i.e. performance réseau et tolérance aux fautes) et gestion du temps. Elle nous amènera à sélectionner trois candidats : TTEthernet, Spacefibre et TSN. Tandis que TTEthernet et Spacefibre étaient déjà connus et commençaient même à être intégrés dans des architectures réseaux embarqués satellite au moment d'écrire ce document, Time Sensitive Networking était lui totalement nouveau pour l'industrie aérospatiale.

Ainsi, après cette étape préliminaire, nous avons étudié en profondeur les très nombreux standards de TSN. Nous avons identifié IEEE 802.1Qbv dit Time Aware Shaper comme le standard TSN indispensable pour répondre aux exigences en performance réseau des futurs satellites. Nous avons par ailleurs discuté de l'intérêt d'autres standards TSN (i.e. IEEE 802.1Qci, 802.1CB, 802.1AS, 802.1Qbu) qui sont, avec Qbv, en voie d'être inclus dans un profil TSN dédié à l'industrie aérospatiale.

Afin de valider la compatibilité de TSN, nous nous sommes intéressés à la génération de configurations TSN. Cette tâche n'est pas aisée car chaque configuration nécessite d'instancier un très grand nombre de paramètres. De fait, ces configurations sont presque toujours générées de manière automatique. Cette automatisation est un véritable levier dans l'industrialisation du TSN, à la fois dans les satellites, et d'autres domaines d'application. Ainsi, nous nous sommes concentrés sur la configuration automatique du standard Qbv afin d'adresser les besoins en performance, considérant que les fonctions de tolérances aux fautes pouvaient être reléguées au niveau applicatif. Alors que les stratégies automatiques reposant sur des émissions planifiées à date fixe dans tous les équipements du réseau étaient très répandues dans l'état de l'art, nous avons proposé une nouvelle stratégie de configuration intitulée Egress TT. En pratique, les configurations Egress TT reposent sur des émissions planifiées à date fixe seulement dans le dernier équipement du trajet de n'importe quel flot. Le délai d'un message entre sa source et le dernier équipement dans son trajet peut être variable. En effet, il dépend de l'instant auquel le message a été émis à sa source et aux potentiels ralentissements qu'il rencontrerait dans le réseau. Néanmoins, ce délai variable est absorbé par une planification des émissions bien choisie au dernier saut. Cette nouvelle stratégie propose un meilleur passage à l'échelle que les stratégies existantes. Elle permet aussi de réduire l'effort de développement nécessaire pour la mise à jour des logiciels applicatifs vers l'architecture réseau nouvelle génération.

Mots-clés : Time Sensitive Networking, Ethernet, Réseaux embarqués, Satellite, Configuration, 802.1Qbv