

La normalisation des systèmes de transport intelligents

Par Michelle WETTERWALD
NETELLANY

Introduction

Les systèmes de transport intelligents

La numérisation de notre vie quotidienne concerne aussi le domaine du transport. L'apport des nouvelles technologies numériques réside dans l'amélioration de l'efficacité et de la convivialité, tout en augmentant la sécurité des personnes et des biens transportés. Tous les modes de transport sont affectés par cette révolution (CE, 2018), dont le marché global est évalué à plusieurs milliards de dollars. Par exemple, dans le transport aérien, le numérique permet de gérer l'accroissement du trafic tout en maintenant un niveau de sécurité élevé. Dans le transport maritime, il permet de protéger les vaisseaux des collisions ou des pirates. Dans le transport ferroviaire, la communication permanente entre les trains et les centres de contrôle permet d'obtenir un état instantané de chaque convoi et de surveiller le mouvement des passagers. Le numérique permet aussi de coordonner entre eux tous ces modes de transport avec le développement du transport multimodal et de la billettique.

Le transport routier intelligent

Le transport routier n'est pas en reste, loin de là. Le numérique optimise déjà le transport des biens, par exemple avec le traçage et l'identification des cargaisons dans le domaine de la logistique. Dans le domaine de la gestion et de la maintenance des flottes commerciales, certains véhicules informent le conducteur ou le gestionnaire d'un problème technique ou simplement envoient un rappel pour la révision. Les systèmes de navigation intègrent en temps réel les données reçues du réseau routier. L'opérateur routier peut suivre des véhicules connectés, connaître leur vitesse de déplacement et évaluer la densité du trafic. Le nombre des applications possibles est très important, que ce soit pour la sécurité routière, la gestion du trafic, le divertissement, l'information dans le véhicule, ou l'électromobilité.

L'amélioration de la sécurité des personnes et l'objectif de réduire drastiquement le nombre de décès dus aux accidents à l'horizon 2050 constituent l'un des objectifs des systèmes de transport intelligents coopératifs (STI-C), ou plus généralement de la mobilité coopérative connectée et autonome (MCCA). Dans les STI-C, les différentes entités du trafic routier échangent des informations pour étendre leur connaissance du trafic au-delà de leur capacité visuelle. C'est la notion d'horizon étendu.

Les différents acteurs des STI

L'élément de base de l'architecture des STI-C est la « station STI » (ETSI, 2010). Quatre types de stations (Figure 1) sont définis : le véhicule, le relais de bord de route, l'appareil personnel type smartphone, et la station centrale de gestion des réseaux routier et numérique. Elles se différencient principalement par leur type de mobilité (rapide, lente, statique) ainsi que par les fonctions qu'elles assurent dans le système de coopération.

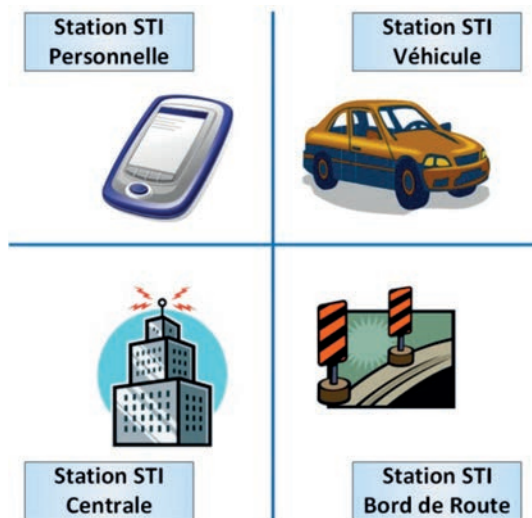


Figure 1 : Différents types de station STI

L'enjeu économique associé à ces technologies est très important. La concurrence se joue en partie au niveau de la normalisation qui, en assurant l'interopérabilité entre constructeurs, permet de favoriser certaines technologies. Les solutions et évolutions dans les STI se divisent en deux groupes : les solutions propriétaires, mises en œuvre par une entreprise en tant qu'avantage commercial pour ses clients, et les solutions normalisées, qui permettent le développement du marché et la mise en concurrence des différents constructeurs et fournisseurs de service. L'objectif des premières est de transformer un produit en norme *de facto* afin de garantir une position dominante sur le marché. Au contraire, la normalisation, lorsqu'elle est justifiée, permet l'impartialité dans l'équi-

libre et l'évolution du marché (Abdelkafi, 2018). Elle donne accès au marché aux PME, permet une amélioration des produits et de leur compatibilité, d'où une économie d'échelle, la structuration des technologies, etc. De ce fait, le périmètre des normes doit rester restreint aux spécifications de performance ou d'interface afin de ne pas freiner l'innovation.

Exemples de normes

Cette partie présente une sélection de quelques normes qui contribuent au développement du domaine des STI, ainsi que la coopération et parfois la compétition entre les différentes organisations d'élaboration des normes (OEN).

IEEE : le réseau local sans fil sans point d'accès

L'IEEE est surtout connue pour sa norme 802.11 (IEEE, 2016) qui est le fondement de la technologie Wi-Fi. En pratique, les domaines d'application de la normalisation à l'IEEE sont plus nombreux : Internet des Objets, informatique de la santé, robotique, etc. La norme 802.11 permet la mise en réseau local de périphériques sous le contrôle d'un point d'accès. Cette norme permet aussi l'établissement de liens *ad hoc* entre deux ou plusieurs nœuds (réseau maillé). Cette fonctionnalité a été reprise et développée par les constructeurs automobiles pour concevoir les STI-C sous la forme d'une variante appelée « 802.11p » ou 802.11-OCB (Outside the Context of a Basic Service Set). Cet amendement permet d'établir une communication entre des véhicules (ou stations STI) se déplaçant à grande vitesse, par une adaptation des caractéristiques techniques des communications au niveau radio, physique et lien logique. En particulier, elle compense l'effet Doppler qui peut s'avérer important, par exemple lorsqu'un véhicule en croise un autre qui roule en sens inverse.

ETSI : la coopération entre véhicules

En se fondant sur la norme 802.11-OCB, le comité ITS de l'ETSI (ETSI-ITS, 2018) a développé sous le mandat M/453 de la Commission européenne (CE, 2009) un ensemble de normes qui permet la coopération entre véhicules. Ces standards sont articulés autour d'une architecture basée sur le modèle en couches de l'ISO. Le modèle (Figure 2) est divisé en quatre couches (Wetterwald, 2015) : application, Facilities (ou services), réseau et transport (des données), accès (au réseau),

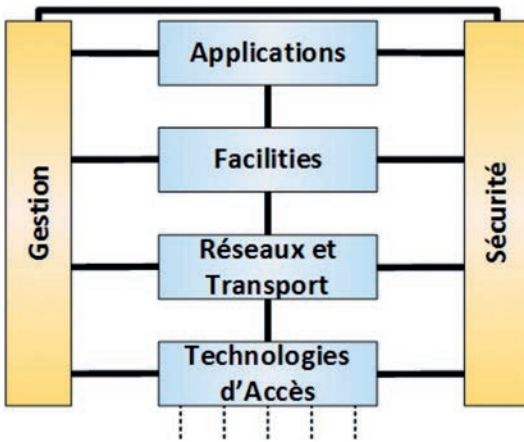


Figure 2 : Le modèle de station STI

complétées par deux entités verticales, pour la gestion de la station et la coordination entre couches, et pour la sécurité des communications. Grâce à ce modèle, des messages de conscience coopérative, de notification d'événements, de signalisation dans le véhicule etc. sont diffusés par les stations STI et augmentent la connaissance que les véhicules et les opérateurs routiers ont de leur contexte à un instant donné.

Le modèle en couches indépendantes permet de diffuser les messages sur différents protocoles de réseau, dont le GeoNetworking (ETSI, 2014) ou le protocole IP mieux connu, ou de transporter les messages sur différents types de réseaux

d'accès. Une autre série de normes ayant un objectif similaire a aussi été développée par le CEN TC 278 WG16 en partenariat avec l'ISO TC 204 WG18. Ces deux piles de protocoles se concurrencent pour obtenir leur adoption par le marché. La première norme de réseau d'accès mise en œuvre, spécifiée à l'ETSI par les constructeurs automobiles européens principalement, est l'accès ITS-G5, profil européen de la norme 802.11-OCB. Plus récemment, les opérateurs de téléphonie mobile ont saisi l'importance de ce marché et se sont alliés aux constructeurs de puces électroniques et de produits télécom mondiaux pour proposer au 3GPP le LTE/V2X (3GPP, 2018), une norme concurrente où l'accès est géré par des réseaux mobiles dédiés basés sur la 4G. De nouveaux acteurs extérieurs internationaux ont donc rejoint la normalisation ITS de l'ETSI pour exiger une neutralité technologique qui leur permette de concurrencer la norme initiale. Leur objectif est d'utiliser aussi les fréquences radio de la bande 5,9 GHz, réservées aux STI-C pour ce service. Cela nécessitera le déploiement d'une nouvelle infrastructure, différente de celle servant la téléphonie mobile qui fonctionne à des fréquences plus basses, et alors que les deux technologies ne peuvent pas cohabiter sur la même fréquence sans se gêner mutuellement.

ISO : la mobilité urbaine

La mobilité des biens et des personnes est un domaine important pour les villes intelligentes. En 2015, la CE a émis le mandat M/546 (CE, 2016) pour demander aux OEN européennes de développer des normes pour le transport multimodal, la gestion du trafic et la logistique urbaine. Ce mandat est exécuté principalement par le CEN TC 278 WG17. Les premières normes adressent plus particulièrement les besoins d'harmonisation de la référence géographique, la qualité des systèmes de gestion du trafic et la gestion des émissions en zone urbaine. Ces normes sont en cours de développement.

CEN : l'appel d'urgence (eCall)

Le eCall est une initiative européenne dont l'objectif est d'accélérer les secours aux personnes en cas de collision. Lorsque le dispositif détecte un choc, *via* les airbags par exemple, ou en cas d'activation manuelle, il appelle directement le 112 pour obtenir des secours (Figure 3). L'appel est accompagné d'un ensemble de données sur le véhicule, sa localisation, et même les passagers ou la cargaison embarquée. L'opérateur rappelle la voiture pour communiquer avec le conducteur et évaluer sa situation.



Figure 3 : Le système eCall, d'après (CE-eCall, 2018).

Cette technologie a été normalisée par le CEN, en coopération avec le 3GPP. Les normes spécifient le fonctionnement du système, le contenu et le format de l'ensemble minimal de données (MSD) (CEN, 2015), les méthodes de transfert de l'appel vers les services d'urgence à travers le réseau cellulaire, et les tests qui permettent de valider un équipement. Cette technologie est déjà disponible depuis plusieurs années dans des véhicules haut de gamme, vendus par BMW, PSA ou Volvo, mais

il s'agit alors de solutions propriétaires qui communiquent avec une plateforme de service du constructeur. La généralisation d'un système normalisé et interopérable sur tous les nouveaux modèles à partir d'avril 2018 (UE, 2015) permettra d'offrir ce service à l'ensemble des usagers dans l'UE.

IETF : l'Internet véhiculaire

Certains véhicules peuvent déjà se connecter à Internet, notamment *via* le smartphone du conducteur, grâce à des plateformes développées par les grandes entreprises du numérique. L'IETF a donc établi un groupe de travail, appelé IPWAVE, qui étudie comment connecter les véhicules ou autres stations STI au réseau IP (Internet Protocol). Les messages des STI-C sont conçus *a priori* pour être transmis avec des protocoles de réseau plus légers et plus adaptés à la diffusion. Sur d'autres applications, le groupe IPWAVE analyse comment adapter les différentes fonctionnalités de l'IPv6 pour supporter une topologie de réseau particulièrement dynamique (impact sur la découverte des stations voisines) ainsi qu'une connectivité très brève, parfois de quelques secondes à peine : les mécanismes de configuration d'adresse doivent être simplifiés. Dans un premier temps, ce groupe de travail étudie l'état de l'art ainsi que les problématiques associées et élabore une RFC qui indique comment utiliser IPv6 sur l'accès 802.11-OCB. Ce groupe est étroitement lié à d'autres OEN comme l'ETSI, l'ISO TC 204 ou l'IEEE P1609, dont il complète les normes.

ETSI : le rail urbain automatique

L'utilisation des communications sans fil, afin de fournir aux opérateurs ferroviaires un moyen de contrôler et de gérer le trafic sur leurs réseaux, est une nécessité pour rendre ce trafic sûr et durable à l'avenir. Le système de contrôle des trains basé sur les communications (CBTC) est un système de contrôle et de commande (utilisé par exemple dans le métro) qui utilise la position du train et des communications trains-voie pour assurer la sécurité de l'exploitation des trains urbains. Ce système englobe des automatismes en bordure de voie et embarqués à bord des trains qui fournissent des fonctions de protection, d'exploitation et de supervision automatiques des trains.

Le système CBTC suit globalement la norme IEEE 1474.1 (IEEE, 2014) qui définit les règles de fonctionnement du système. Les communications sont basées sur les normes IEEE 802.11, aux fréquences 2.4 GHz ou 5.9 GHz selon le déploiement. Le comité RT (Rail Transport) de l'ETSI,

qui a aussi normalisé l'utilisation du GSM pour les trains (GSM-R), étudie actuellement leur évolution vers des technologies plus récentes ainsi que les spécifications des performances radio pour le CBTC, notamment pour la coexistence avec les STI-C.

Points complémentaires de la normalisation

Cette partie présente certains aspects importants des normes pour les STI.

Validation des normes et tests d'interopérabilité

Lors de la rédaction des normes, des prototypes sont réalisés afin de valider les spécifications. Dans le cas des STI-C, plusieurs étapes de déploiement en vraie grandeur ont été réalisées avec succès, depuis les premières démonstrations de communications véhicule à véhicule (V2V) jusqu'aux projets de déploiement pilotes incluant plusieurs milliers de véhicules, comme les projets SCOOP@F (France), Eco-AT (Autriche), ou C-ROADS (Europe). L'ETSI organise aussi régulièrement des tests d'interopérabilité. En novembre 2016, la cinquième campagne de tests a permis de démontrer la maturité des STI-C lors d'essais sur les voies d'accès du port de Livourne, en Italie (ETSI-CTI, 2016). Des cas d'usage comme la signalisation de voies rétrécies, la violation d'un feu rouge, l'avertissement de risque de collision (Figure 4) ont été mis en œuvre par 25 constructeurs d'équipement et 6 fournisseurs de solutions de test. Les normes LTE/V2X n'étant pas encore développées, ces tests ont été réalisés avec des équipements aux normes ITS-G5. La prochaine campagne de tests, prévue en février 2019, se concentrera plutôt sur l'interopérabilité des mécanismes de sécurité : obtention des certificats et anonymisation des véhicules pour éviter leur traçage.

Harmonisation internationale



Figure 4 : Avertissement de risque de collision

De nombreux OEN ont des groupes de normalisation dédiés aux STI. Aux États-Unis, l'IEEE P1609 aussi a défini un ensemble de protocoles pour les STI-C, en collaboration avec le SAE (Society of Automotive Engineers). De nombreuses zones pilotes (New York, Wyoming, etc.) ont été déployées avec un nombre important de véhicules. Depuis 2009, un accord de partenariat EU-US, géré avec l'USDOT (DOT, 2018) et étendu depuis à d'autres pays comme le Japon ou l'Australie, a permis l'harmonisation du format des données transportées dans les messages. Un groupe de travail, le HTG7 (Harmonization Task Group 7), analyse les normes dans les différentes régions du globe pour identifier les manques, différences et doublons.

Échange de données et sémantique

Les STI-C permettent l'échange de messages véhiculant des données statiques et dynamiques sur le véhicule et l'infrastructure routière. Cependant, la valeur brute d'une donnée n'est pas suffisante

pour son utilisation dans le système. Il faut l'associer à une sémantique, c'est-à-dire à un ensemble de métadonnées telles que le type de donnée, l'unité de mesure, l'échelle de valeurs, etc. Il est donc important de définir une sémantique et un schéma de données communs pour les données émises par les entités STI-C et les données transférées par l'infrastructure routière, qui applique ses propres normes (CEN:DATEX II, CENELEC:RDS-TMC). Afin de permettre l'interopérabilité des plateformes provenant des différents constructeurs, les normes sont écrites en utilisant des langages formels. Par exemple, pour les STI-C, les données sont définies dans un dictionnaire de données (ETSI, 2018) qui réutilise aussi les normes de l'infrastructure. L'interopérabilité sémantique des données entre le secteur de la mobilité et des véhicules, et d'autres secteurs verticaux comme les villes intelligentes ou l'agriculture, est en cours de définition à l'ETSI.

Le partage du spectre entre les différents usages

Une bande autour des fréquences 5,8-5,9 GHz a été attribuée aux applications STI par la décision ECC(08)01, avec certaines sous-bandes réservées à la sécurité routière par la décision 2008/671/EC (Figure 5). Cette bande hors licence est utilisée pour de nombreux usages : applications STI, extension du Wi-Fi large bande, systèmes de télépéage, rail urbain ou pour les satellites. La coexistence entre les différentes applications nécessite des mécanismes de protection des accès réseaux afin d'éviter une dégradation des performances mettant en péril les STI et la sécurité des personnes. Lorsqu'une station Wi-Fi détecte une station STI, elle libère la bande de fréquence et en utilise une autre. La norme ETSI TS 102 792 (ETSI, 2015) protège les zones de péage grâce à une balise STI-C qui oblige les véhicules à réduire leur puissance d'émission. Des travaux sont en cours pour définir un mécanisme similaire permettant une protection mutuelle entre le rail urbain et les STI-C. Le problème est plus délicat pour la cohabitation entre les technologies d'accès ITS-G5 et LTE/V2X. L'accès cellulaire prévoit d'utiliser les mêmes fréquences que l'ITS-G5 pour les mêmes cas d'usage, générant un risque de brouillage mutuel, ce qui serait contre-productif.

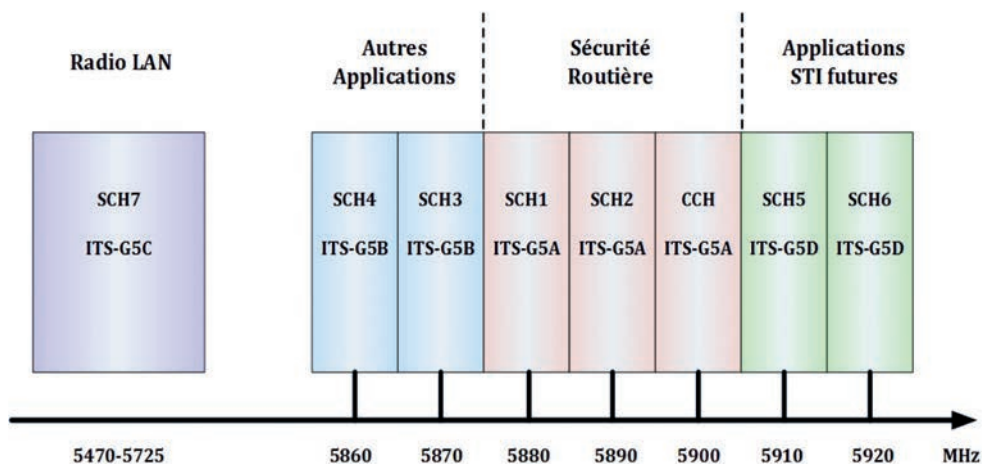


Figure 5 : Spectre de fréquences allouées en Europe.

Conclusion : le support du cadre législatif

La numérisation des transports est en cours et constitue l'une des prochaines grandes révolutions de notre société, avec des applications très nombreuses et variées et un enjeu économique considérable. Ces nouvelles technologies sont actuellement normalisées par de nombreux OEN, reflétant la dynamique des différents acteurs pour accéder à ce marché. La normalisation elle-même fait

l'objet d'une concurrence active entre les différents groupes de travail, sans qu'un consensus clair, basé sur des critères d'efficacité technique, puisse se dégager dans certains cas. Des considérations régionales, commerciales ou politiques entrent alors en jeu dans les choix, parfois confirmés par le cadre législatif. La norme eCall en est un bon exemple : elle doit son déploiement à une volonté politique obligeant légalement les constructeurs à installer ce système dans tous les nouveaux véhicules. De telles décisions et règlements ont la capacité de permettre à court terme de renforcer la sécurité des personnes et des biens grâce aux STI et de préserver des vies lorsque l'intérêt commercial des différents acteurs ne permet pas de le faire.

Bibliographie

3GPP (2018), *Architecture enhancements for V2X services* (Release 14), TS 23.285.

ABDELKAFI N. *et al.* (2018), *Understanding ICT standardization: principles and practice*, ETSI, <http://www.etsi.org/standardization-education>

COMMISSION EUROPÉENNE (2008), *Commission Decision 2008/671/EC of 5 August on the harmonised use of radio spectrum in the 5875-5905 MHz frequency band for safety related application of Intelligent Transport Systems (ITS)*.

COMMISSION EUROPÉENNE (2009), *Mandat de normalisation M/453 adressé au CEN, au CENELEC et à l'ETSI dans le domaine des technologies de l'information et de la communication en appui à l'interopérabilité des systèmes coopératifs pour le transport intelligent dans la communauté européenne*.

COMMISSION EUROPÉENNE (2016), *Mandat de normalisation M/546. Demande de normalisation adressée aux organismes européens de normalisation en ce qui concerne les systèmes de transport intelligents (STI) dans les zones urbaines, à l'appui de la directive 2010/40/UE du Parlement européen et du Conseil du 7 juillet 2010 concernant le cadre pour le déploiement de systèmes de transport intelligents dans le domaine du transport routier et d'interfaces avec d'autres modes de transport*.

COMMISSION EUROPÉENNE (2018), *Mobility and Transport, Transport modes*, https://ec.europa.eu/transport/modes_en

COMMISSION EUROPÉENNE (2018), *The interoperable EU-wide eCall*, https://ec.europa.eu/transport/themes/its/road/action_plan/ecall_en

CEN (2015), *Systèmes de transport intelligents - ESafety - Ensemble minimal de données (MSD) pour l'eCall*, EN 15722:2015.

US-DOT (2018), *Page ITS du DOT (Department of Transport) américain*, <https://www.its.dot.gov/index.htm>.

ECC (2015), *ECC Decision of 14 March 2008 on the harmonised use of the 5875-5925 frequency band for Intelligent Transport Systems (ITS), approved 14 March 2008 and amended 3 July 2015*, ECC Decision (08)01.

ETSI (2010), *Intelligent Transport Systems (ITS) – Communications architecture*, EN 302 665.

ETSI (2014), *Intelligent Transport Systems (ITS) – Vehicular Communications – GeoNetworking – Part 4: Geographical addressing and forwarding for point-to-point and point-to-multipoint communications – Sub-part 1: Media-independent functionality*, EN 302 636-4-1.

ETSI (2015), *Intelligent Transport Systems (ITS); Mitigation techniques to avoid interference between European CEN Dedicated Short Range Communication (CEN DSRC) equipment and*

Intelligent Transport Systems (ITS) operating in the 5 GHz frequency range, TS 102 792.

ETSI (2018), *Intelligent Transport Systems (ITS); Users and applications requirements; Part 2: Applications and facilities layer common data dictionary*, TS 102 894-2.

ETSI CTI (2016). *5th ITS Cooperative Mobility Services Plugtests Report*; Livorno, IT, 9 - 18 November 2016.

ETSI ITS (2018), *page de l'ETSI ITS*, <http://www.etsi.org/index.php/technologies-clusters/technologies/intelligent-transport>.

IEEE (2004), *IEEE Standard for Communications-Based Train Control (CBTC) Performance and Functional Requirements*, IEEE 1474.1-2004.

IEEE (2016), *IEEE Standard for Information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - Specific requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*, IEEE 802.11-2016.

UNION EUROPÉENNE (2008), *Plan d'action pour le déploiement de systèmes de transport intelligents en Europe*, Communication de la Commission COM/2008/0886.

UNION EUROPÉENNE (2015), *Règlement (UE) 2015/758 du Parlement européen et du Conseil du 29 avril 2015 concernant les exigences en matière de réception par type pour le déploiement du système eCall embarqué fondé sur le service 112 et modifiant la directive 2007/46/CE*.

WETTERWALD M. (2015), *Les normes européennes dans les STI coopératifs*, Dossier n°TRP1007, Base Documentaire : Technologies Avancées et Système de Transport, Les Techniques de l'Ingénieur.