



SYNTHÈSE DES ATELIERS DE L'INNOVATION

SÉMINAIRE GALILEO ET VÉHICULE AUTONOME

Présidents : Thierry CHAPUIS et Gilles RABIN

DÉCEMBRE 2017

Sommaire

Diagnostic et besoins identifiés

Questions initiales soulevées dans le cadre des Assises.....	3
Diagnostic et principaux besoins identifiés	3

Orientations stratégiques proposées par le groupe

Aspects institutionnels et réglementaires	6
Aspects technologiques et industriels.....	6

Principales mesures proposées


Principales mesures	7
---------------------------	---

Annexes

Présentation générale de la démarche	8
--	---

Thierry CHAPUIS et Gilles RABIN, CNES

David COMBY, pilote du groupe de travail et coordonnateur interministériel délégué pour les programmes européens de navigation par satellite



La géolocalisation sera l'une des composantes essentielles du véhicule connecté/autonome. Le service de positionnement de ces véhicules devra répondre à des exigences strictes de précision, d'intégrité et de résilience.

Dans ce contexte, le système européen de navigation par satellite Galileo aura très vraisemblablement un rôle central à jouer car il bénéficie de réels différenciateurs vis-à-vis des autres constellations disponibles (GPS, Glonass et Beidou).

Les services initiaux de Galileo sont disponibles depuis le 15 décembre 2016 avec 18 satellites en orbite. Les services complets sont attendus pour 2020/2021. Quatre différenciateurs de Galileo seront des atouts importants pour les véhicules autonomes :

- Un service de haute précision décimétrique sera disponible à l'échelle planétaire grâce à la transmission par les satellites de la constellation Galileo de corrections applicables aux signaux Galileo et GPS.
- Un service d'authentification permettra aux usagers de s'assurer qu'ils utilisent les bons signaux et non pas des leurres et permettra également d'authentifier une position auprès d'une tierce partie.
- Des signaux améliorés augmenteront la résilience du positionnement en environnement urbain.
- Une forte interopérabilité avec le GPS fait partie des exigences poursuivies par l'Europe depuis la phase de conception du système.

Il est essentiel de fournir d'ores et déjà aux industriels des informations claires sur les performances et les échéances de disponibilité des services de Galileo, s'agissant en particulier du service de haute précision, afin qu'ils puissent le cas échéant intégrer ces services dans leurs projets de R&D et leurs opérations.

Avant le véhicule autonome, le véhicule connecté aura besoin d'informations de géolocalisation. Il semble donc pertinent d'anticiper les bénéfices de Galileo pour le véhicule du futur dès la génération du véhicule connecté.

Les travaux de ce groupe ont été l'occasion d'évaluer les niveaux respectifs de connaissance du secteur automobile quant à l'intérêt de GALILEO pour les futurs véhicules, et du secteur spatial sur les besoins techniques et les perspectives de marché du véhicule connecté/autonome. Ils ont ainsi marqué une première étape nationale dans une démarche d'alignement des feuilles de route des nombreux acteurs concernés. Ils ont enfin souligné un besoin d'expérimentation pour exploiter les bénéfices de Galileo au profit du véhicule connecté autonome.

Le mot des présidents du séminaire



Diagnostic et besoins identifiés

Questions initiales soulevées dans le cadre des Assises

Les questions initiales soulevées dans le cadre des assises portent essentiellement sur l'identification du besoin du véhicule connecté/autonome en matière de géolocalisation. Les quatre principales questions qui ont été posées sont les suivantes :

- Quels sont les besoins de performances de géolocalisation pour les véhicules autonomes, notamment en matière de précision, d'intégrité et de temps de convergence des récepteurs ?
- Comment les industriels perçoivent-ils l'évolution des performances du GNSS durant les prochaines années ?
- Quel sera le rôle du GNSS, et plus particulièrement de Galileo, dans l'avènement du véhicule connecté/autonome ?
- Quelle est l'importance de disposer d'une cartographie intègre et dynamique? Quels sont les enjeux derrière ce point ?

L'examen de ces questions a permis d'établir un premier diagnostic et de clarifier des besoins.

Diagnostic et principaux besoins identifiés

En milieu urbain, le niveau de précision attendu est de l'ordre de la dizaine de centimètres. Cette précision n'est pas seulement attendue du système GNSS car d'autres systèmes seront utilisés pour la localisation de la voiture (cartographie Haute Définition, caméras, LIDAR, odomètre, capteurs inertiels...). Quant à la disponibilité, les besoins seront variables, avec cependant une exigence capitale de très forte robustesse fonctionnelle lorsque les fonctions d'autonomie seront actives. Les niveaux d'erreur acceptables évoqués actuellement sont de l'ordre de 10^{-7} et 10^{-9} erreur par heure de fonctionnement, ce qui est comparable voire plus contraignant que les niveaux exigés dans le domaine de l'aéronautique.

Au-delà de la nécessité de conduire des expérimentations, la démonstration du respect de telles exigences demandera probablement de s'appuyer sur des approches mathématiques à titre de complément avec en particulier le besoin de développer des modèles statistiques d'erreur représentatifs des divers capteurs.

La normalisation et la standardisation sont des enjeux importants. Il n'existe pas aujourd'hui de certification des véhicules autonomes. Il conviendra donc de préciser les modes de validation des systèmes et notamment le rôle des expérimentations en la matière. Le couplage de l'expérimentation et de la simulation sera un élément important à prendre en compte.

La performance de la fonction de localisation du véhicule reposera sur un ensemble de capteurs. Les exigences de performance doivent être déclinées pour chaque élément du système. S'agissant du GNSS, des techniques sont en cours de développement afin de s'assurer du niveau de performance du système, ce qui passe notamment par la simulation de la performance du récepteur. Un important travail méthodologique reste néanmoins à produire dans ce champ.

Quant à la place du GNSS dans les systèmes embarqués, une première question porte par exemple sur la fréquence requise pour le calcul de position et les informations à produire

(position, vitesse, temps, attitude du véhicule, estimation des incertitudes, etc.). L'allocation des exigences par sous-système, dans l'automobile, n'est pas figée : elle relève d'un double processus top-down mais aussi bottom-up (afin de préciser ce qui peut être fait et à quel coût). C'est la raison pour laquelle il est important de trouver un compromis entre les performances des différents senseurs de position et les besoins fonctionnels pour les fonctions de localisation et de guidage.

Le véhicule autonome a ouvert une forte compétition au plan technologique dans le secteur automobile, en particulier depuis l'arrivée des GAFAs (Google, Amazon, Facebook, Apple, auxquels il faut ajouter Tesla dans l'automobile), d'abord perçus avec scepticisme, mais qui apportent une culture de la donnée indispensable au développement du véhicule autonome et connecté.

La plupart des constructeurs ont décidé de se projeter dans cette compétition en créant autour d'eux un écosystème, plutôt que de se lancer seuls. Dans cette logique, les équipementiers apportent une compétence système qui a vocation à compléter la compétence propre au constructeur.

Le temps de convergence des récepteurs constituera, pour le véhicule autonome, une donnée fondamentale et devra absolument être inférieur à la minute. Un besoin précis devrait d'ailleurs être formulé à ce sujet compte tenu de la corrélation qui existe entre le temps de convergence et la précision de localisation.

Des essais devront être réalisés en grandeur nature dans une logique de veille technologique en tirant parti des nouveaux développements de Galileo qui sera considéré comme une des composantes de la solution.

La route pourrait être aménagée, en quelque sorte, pour améliorer la précision des récepteurs de navigation par satellite embarqués, par exemple en installant des stations différentielles tous les cinq ou dix kilomètres pour améliorer la géolocalisation par satellite. Une telle option aurait cependant un coût et il conviendrait, le cas échéant, d'en évaluer les bénéfices.

Pour obtenir un service précis, des solutions techniques existent, et sont déjà utilisées dans les expérimentations. Le frein réside dans le coût de l'abonnement et des infrastructures, avec ses répercussions sur le prix des solutions développées. Cela posera la question de leur acceptabilité par le consommateur.

La question de l'importance d'une cartographie intègre et dynamique se pose. La sécurité des usagers dépendra potentiellement d'une référence cartographique qui devra prendre en compte des événements « temps réel » tels que la fermeture de voies suite à des travaux ou à un accident ou des limitations de vitesse temporaires.

Pour l'heure, la cartographie se situe au plus bas niveau de cotation pour la sûreté de fonctionnement. Il est capital que cela change. Il reste à déterminer de quelle façon les producteurs de cartes peuvent s'engager en termes de sûreté de fonctionnement. Cette difficulté explique en partie que les développements actuels misent plutôt sur les centrales inertielles et les systèmes embarqués (capteurs).

Il est cependant noté que les capacités perceptives des véhicules pourront relâcher les exigences en matière de précision et d'intégrité temps réel des cartes. L'approche « tout perceptif » mérite notre attention. Il faudra cependant réfléchir aussi à la puissance de calcul et au coût des équipements.

Il est important de comprendre le lien entre la cartographie et les véhicules coopératifs et automatisés. Ces véhicules s'approprient d'autant mieux le contexte environnant qu'ils embarqueront une carte statique riche et précise sur laquelle une couche dynamique se superposera en temps réel alimentée par les capteurs des véhicules et de tous ceux qui communiquent autour de lui. La Google Car utilise une cartographie qui a été générée aux

passages de la voiture. Il s'agit donc déjà d'une forme de couplage de la perception et de la simulation.

La carte intègre pourrait donc venir d'une entreprise collectant des informations et générant la carte à partir de ces données, plutôt que d'un fournisseur de cartes. Ce modèle est celui sur lequel les producteurs de cartes travaillent. Les zones de travaux constituent cependant une réelle difficulté à cet égard.

La carte aura un rôle important à jouer dans l'anticipation et l'assouplissement de la conduite du véhicule car l'espace de perception des capteurs embarqués restera limité en termes de distance. Il s'agit d'une autre fonction de la cartographie.

Il y aura très probablement un compromis à trouver entre l'emploi des cartes et la mise en place d'un concept « tout perceptif ».



Orientations stratégiques proposées par le groupe

Aspects institutionnels et réglementaires

Le premier enjeu est institutionnel et réglementaire. Dès lors qu'on aborde le sujet du véhicule autonome, on soulève des questions touchant à la sécurité routière. Aujourd'hui, elle est en grande partie assumée par les conducteurs. Demain, nous changerons totalement de paradigme : la sécurité sera assurée par des systèmes autonomes. Dans ce contexte, les autorités publiques se posent la question suivante : comment promouvoir les expérimentations sur le véhicule autonome tout en maintenant, voire en améliorant le niveau de la sécurité routière ? Car l'un des principaux défis peut paraître paradoxal : les pouvoirs publics sont à la fois garants de la sécurité routière et stimulateurs d'innovation. **Une coopération public-privé apparaît dès lors indispensable en vue d'élaborer de façon progressive, un cadre réglementaire propice à l'innovation dans lequel la sécurité doit rester totalement maîtrisée.**

Aspects technologiques et industriels

La géolocalisation du véhicule autonome devra être très précise. Nous avons de plus en plus coutume d'affirmer que la précision du système de positionnement embarqué doit être de l'ordre d'une demi-largeur de pneu, c'est-à-dire entre 10 et 20 centimètres. La précision de la position est importante, mais son intégrité, c'est-à-dire la confiance qu'on accorde à sa qualité, l'est tout autant. On évoque aujourd'hui un **besoin d'intégrité de l'ordre de 10^{-7} à 10^{-9} par heure de fonctionnement**. Ces niveaux d'exigence sont équivalents voire supérieurs à ceux mis en œuvre dans l'aviation civile. Un travail de consolidation de ces exigences, basé sur une analyse système, semble nécessaire car la complexité du processus de validation dépendra fortement du niveau d'intégrité spécifié.

La précision et l'intégrité des cartes pour le véhicule connecté/autonome sont aussi des enjeux importants à prendre en considération. **Une complémentarité devra être recherchée entre une navigation qui s'appuiera d'une part sur les systèmes satellitaires et une cartographie très précise et intègre, et d'autre part sur la capacité de perception de l'environnement du véhicule.**

Avant que les solutions techniques ne deviennent matures, il faut dès maintenant se poser la question de la certification du véhicule autonome. **Il semble de plus en plus probable qu'on s'orientera vers une certification par briques, c'est-à-dire au niveau des sous-systèmes.**

Galileo est un excellent candidat pour fournir une géolocalisation performante. Mais bien que Galileo soit désormais une réalité, il y a encore beaucoup de travail à réaliser pour que ses services soient intégrés dans les architectures des véhicules. L'organisation de l'industrie est à cet égard un autre enjeu à signaler. En effet, le véhicule autonome a ouvert une très forte compétition au plan technologique dans le secteur de l'automobile, en particulier depuis l'arrivée des GAFAs qui apportent une culture de la donnée, indispensable à son développement. Dans ce contexte, force est de constater que la plupart des constructeurs automobiles ont décidé de se projeter dans cette compétition en stimulant autour d'eux un écosystème plutôt que de se lancer seul. Il y a donc aujourd'hui **une réelle opportunité d'innovation pour les start-up et les PME.**

Principales mesures

Un fort besoin d'expérimentations a été identifié, d'une part, pour que les industriels progressent dans l'innovation sur les véhicules autonomes, d'autre part, pour que les pouvoirs publics puissent disposer d'un volume suffisant de données afin de légiférer sur de bonnes bases. Sans être exhaustif, les quelques thèmes d'expérimentation suivants sont jugés pertinents :

- expérimentations sur la complémentarité des senseurs (Galileo, autres GNSS et senseurs non GNSS) pour une géolocalisation précise et robuste ;
- expérimentations sur la complémentarité entre une navigation qui s'appuiera d'une part sur les systèmes satellitaires et une cartographie très précise et intégrée et d'autre part sur la capacité de perception de l'environnement du véhicule.
- expérimentations sur le positionnement relatif entre véhicules (ITS coopératifs) ;
- expérimentations pour définir des protocoles de tests et de certification ;
- expérimentations pour définir des modèles de cartographie HD (Haute Définition) et pour définir les protocoles de certification des cartes.

Le séminaire a souligné les effets potentiellement positifs d'un service gratuit de haute précision de Galileo au profit du véhicule connecté/autonome.

Annexe : Présentation générale de la démarche

Méthode de travail retenue

Le groupe de travail s'est réuni une demi-journée le 26 octobre 2017 sur les sites du CNES-Paris et du CNES-Toulouse qui, pour l'occasion, étaient reliés par un système de vidéoconférence.

Composition du groupe d'experts :

ABBAKI Sadok LATMOS - CNRS	GRELIER Thomas - CNES
AUTISSIER Jean-Baptiste MTES - DGITM/SAGS/MTI	GRONIER Pierre - IGN
BARBIERO Franck - CNES	LEBLAN Xavier - GUIDE-GNSS
BARDY Thierry - Orange	LEJARD Marie-Catherine - DGE
BESSOU Laurent - Vinci-Autoroutes	LEMINH Marc - CLS
BETAILLE David- Ifsttar	LEQUEUX Jean-Louis - Vedecom Tech
BLETE Jean-Guy -Thales	MAFRICA Stefano - PSA
BOURQUIN Frédéric - ifsttar	MARECHAL Jean - CNES
CHAMBON Paul - TERIA	MEZERETTE Adrien - CLS
CHAPUIS Thierry - CNES	MICHOU Philippe - CEREMA
COMBY David - MTES - CGDD/DRI	PAGNY Roger - Atec-ITS France
COUPE Séverine - ASTech Paris Region	PAOLA Testa - Noveltis
CURINGA Steeve - EDF	PERSON Thierry - IGN
DESCLAUX Fabrice - Actia Telecom	PICRON Vanessa - Valeo
DESPLATS Romain - France Brevets	POLLINA Marc - M3 Systems
DEZEN Patrice - ELTA	PRUNIER Thierry- Académie de l'Air et de l'Espace
DI RENZO Patrick - Exagone	RAYNAUD-MARTIN Françoise - THALES
DUFOUR Francois - CNES	RODRIGUEZ Catalina - CNES
DUMONPatrick - CNES	ROSSO Raymond - Académie Air et Espace
ETCHEVERRY Marc - GEOSAT	SCARCELLA Laurent - SGAE
FAYOLLE Eric - CNES	SPIERO François - CNES
FERREIRA Thibaut - MEIN - DGE	SPIGAI Marc - Thales Alenia Space
GARAYTBruno - IGN	VALACHS Anne - SERCE
GOUGEON Philippe - Valeo	VINCENT Paul - Innovative Business Partners

www.assisesdelamobilite.gouv.fr
#AssisesMobilite

**Ministère de la Transition
écologique et solidaire**
Direction générale des Infrastructures,
des Transports et de la Mer
Tour Sequoia
92055 La Défense cedex



MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
ET SOLIDAIRE

MINISTÈRE
CHARGÉ DES
TRANSPORTS