

LE PROJET LOCOPROL/LOCOLOC

La protection des circulations est partout dans le monde, une tâche de première importance. Toute erreur peut conduire à une catastrophe et doit être évitée. Les normes de sécurité sont donc draconiennes et les appareils et systèmes les plus fiables sont mis en œuvre. Pour les lignes à faible trafic, un tel système de sécurité est très coûteux et pèse lourdement sur le prix de revient de la tonne transportée ainsi que sur la rentabilité de la ligne. Cela peut conduire à la fermeture de cette dernière et au report du trafic sur la route déjà surchargée. N'y a-t-il pas moyen d'atteindre le même niveau de sécurité à un prix acceptable ? Le projet LOCOPROL/LOCOLOC tente d'y apporter une réponse. Sans doute, l'emploi des satellites LEO (Low Earth Orbit) permettra d'alléger une part des investissements nécessaires, tout en garantissant la même sécurité.

Le présent article présente le pourquoi et le comment du projet. Un second article sera consacré à l'aspect technique de l'algorithme utilisé et à sa mise en pratique.

I. Historique et problématique de la sécurité de la circulation ferroviaire.

La réalisation du concept ferroviaire a apporté un profond bouleversement dans le transport des personnes et des marchandises. L'utilisation des rails comme système de guidage a permis de constituer des convois composés d'un grand nombre de véhicules accouplés et tirés par un moyen de traction. A l'origine, on roula à vue comme dans tous les autres modes de transport.

L'utilisation de rails et de roues en acier, alliée au développement de locomotives toujours plus puissantes, a permis d'augmenter fortement les charges remorquées et les vitesses mais, par contre, la faible adhérence du contact acier-acier ne permettait pas un freinage très rapide. Des vitesses plus élevées nécessitaient des distances de freinages telles que la marche à vue n'était plus acceptable pour des raisons de sécurité. Il fallut donc imaginer un système permettant d'avertir à temps le conducteur d'une situation dangereuse pour lui permettre d'encore freiner et de s'arrêter en sécurité.

L'intensification du trafic ferroviaire et l'impossibilité de s'écarter du chemin tracé par les rails ont nécessité une organisation plus rigoureuse et des mesures de sécurité plus strictes. On en vint à des doubles voies avec des voies spécialisées par sens de circulation.

Comme il fallait également augmenter la capacité des lignes, il fallait augmenter et régler la succession des trains. La ligne fut divisée en sections ou blocks d'une longueur suffisante pour permettre aux trains de freiner et de s'arrêter, en sécurité, avant d'atteindre la fin de cette section.

La règle générale de conduite fut: dans chaque section ou block ne peut se trouver qu'un seul train et l'accès à la section est autorisé par un signal ou un bâton (token en anglais). Ce principe est encore de nos jours la règle de base de la sécurité de la circulation ferroviaire. De plus, il faut encore assurer la sécurité au croisement avec les routes (passage à niveau gardé) et avec les voies navigables (ponts mobiles).

II. Normes de sécurité.

Quelques définitions au préalable

Dans le cadre des normes de sécurité, on utilise souvent certaines notions qui prêtent parfois à confusion. Ainsi parle-t-on de RAMS (reliability, availability, maintainability and safety), d'appareillages et de systèmes mais le mot intégrité revient également fréquemment.

Ci dessous des définitions de ces termes :

- **intégrité (integrity):** l'intégrité d'un système signifie qu'il fonctionne correctement ou que l'on trouve en sortie ce que l'on en attendait ;
- **fiabilité (reliability):** la fiabilité d'un système signifie qu'il ne présente pas de défaut si un

élément est défaillant. Ainsi des ordinateurs peuvent être très fiables mais n'avoir qu'une faible intégrité. Ils se bloquent (ne donnent plus aucun résultat) ou donnent des résultats erronés alors qu'ils sont techniquement en ordre. On les redémarre et tout fonctionne à nouveau correctement ;

- **disponibilité (availability):** c'est le pourcentage du temps durant lequel un système peut fonctionner sans que pour l'une ou l'autre raison il s'arrête ou doive être arrêté. Ainsi un système pour lequel des entretiens réguliers de longue durée doivent être prévus n'a qu'une faible disponibilité. Il en va de même pour la disponibilité de la réception des satellites lorsqu'on doit traverser de nombreux tunnels.
- **sécurité (safety):** cela signifie que le système est protégé contre les influences externes qui pourraient influencer son fonctionnement. Un appareil peut être protégé contre les chocs et explosions ou être blindé contre les perturbations ou les rayonnements, EMC (Electronic magnetic countermeasures), etc.
- **maintenabilité (maintainability):** cela signifie que l'appareil est facile à entretenir ou qu'en cas de défaillance d'un élément, la pièce est facilement remplaçable pour rétablir le fonctionnement.

Remarque: on utilise fréquemment l'abréviation RAIM au sujet d'un appareil. Elle a une toute autre signification à savoir: Receiver Autonomous Integrity Monitoring.

Les normes de sécurité

Les normes actuelles de sécurité sont fixées très haut. Elles sont définies par les standards CENELEC (CENELEC 50126, 50128 et 50129). En matière de signalisation, on parle également des normes SIL (Safety Integrity Level) qui varient du degré 1 au degré 4 qui est le plus draconien. Pour la signalisation, le degré 4 est exigé. La norme CENELEC 50129 fait le lien entre le degré SIL et le nombre d'erreurs admissibles par heure de fonctionnement et par fonction, c.-à-d. le THR (Tolerable Hazard Rate). SIL4 signifie que le système ne peut présenter une erreur que sur 100 millions de fonctionnements. Ces exigences conduisent à des systè-

mes de détection et de communication complexes et coûteux pour répondre aux exigences de la signalisation.

III. Réalisation pratique de ces exigences de sécurité: le système de signalisation.

Les premiers systèmes de protection étaient basés sur le système du bâton (token) accompagné de différentes procédures strictes. La sécurité de ce système, qui ne reposait que sur des comportements humains, n'était pas grande, à cause du risque d'erreur humaine. De plus, on n'avait pas une bonne vue sur l'ensemble du trafic d'une ligne. C'est pourquoi on en arriva à l'installation d'un système complexe "d'interlocking" pour délivrer des autorisations et pour régler le trafic à distance et exclure autant que possible l'erreur humaine. On en vint d'abord à des signaux mécaniques puis à des signaux lumineux pour finalement utiliser une signalisation électronique basée sur des messages émis par des antennes ou des balises.

Pour garantir actuellement la sécurité, les fonctionnalités suivantes doivent être remplies:

a) Le positionnement d'un train et la vérification de son intégrité.

Les systèmes automatiques actuels de détection basés sur des circuits de voie ou des compteurs d'essieux permettent de situer le train et de vérifier son intégrité (les wagons sont-ils toujours ensemble ?).

b) Un système "d'interlocking".

Ce système contrôle qu'avant d'envoyer un ordre vers un conducteur de train, toutes les règles de sécurité sont respectées. Jadis cela était assuré par les mécanismes d'enclenchement ensuite par des relais et maintenant par les programmes des ordinateurs.

c) La communication entre le régulateur et le conducteur.

Un système complexe de communication entre le conducteur et l'agent qui règle le trafic - le dispatcher ou le signaleur - permet de manière sûre de transmettre l'autorisation de pénétrer dans une nouvelle section.

d) Le câblage.

La transmission de l'information entre les systèmes de détection, le conducteur, le signaleur et le dispatcher nécessite actuellement de nombreux câblages. Ces câblages sont très coûteux et très vulnérables. La présence de câbles le long des voies constitue une source non négligeable de perturbation du trafic. Lors des travaux d'entretien par des équipes de la voie, ils constituent des entraves et sont parfois arrachés par mégarde. Dans les pays en voie de développement, la présence de câbles constitue une source de vandalisme et de vol pour d'autres usages.

IV. Pourquoi un système "low cost" est-il nécessaire ?

IV.1. Le coût par tonne transportée.

Comme dans tout système économique, c'est finalement le coût global par tonne transportée qui compte. Il est constitué du prix réel du transport diminué des avantages liés à ce mode de transport. Si on veut garder le transport ferroviaire rentable, il faut maintenir son prix, par voyageur ou par tonne, concurrentiel par rapport à la route, la voie d'eau ou l'avion.

IV.2 Détermination du coût.

Le coût est calculé sur base des éléments suivants:

a) l'établissement et l'entretien de la voie.

Les coûts d'établissement sont élevés: l'assise doit être bonne pour une stabilité suffisante. Les coûts d'entretien sont quasi proportionnels au trafic qui transite sur la ligne: donc un petit nombre de trains ou un faible tonnage transporté n'entraîne qu'une faible usure.

b) l'établissement et l'entretien des installations de sécurité.

b.1) Les coûts d'investissement.

Ils sont en majeure partie déterminés par les appareillages de signalisation ainsi que par la capacité de la ligne. Les lignes à forte capacité nécessitent de courtes sections de block et donc plus d'appareillage, les lignes à faible capacité par contre peuvent avoir de longues sections et donc un appareillage plus léger mais le câblage doit subsister.

b.2) Les coûts d'entretien pour maintenir les systèmes de sécurité. Ils ne sont pas proportionnels au trafic. Le personnel de sécurité doit être présent en permanence et les signaux doivent être allumés en permanence que beaucoup ou peu de trains circulent.

b.3) Coûts de formation et autres.

En plus des coûts mentionnés ci-dessus, il faut ajouter les frais de stockage des pièces de réserve et ceux de formation du personnel pour maintenir et desservir ces systèmes de sécurité. Un gestionnaire d'infrastructure qui dispose d'un réseau étendu cherchera à utiliser un même système de sécurité sur l'ensemble de son réseau. Il pourra ainsi, d'une part, limiter le stock de pièces de rechange et, d'autre part, pouvoir utiliser son personnel de "signalisation" partout sur le réseau, les procédures de sécurité étant les mêmes.

Les besoins en formation seront plus faibles tant pour l'écolage des opérateurs des postes de signalisation que des conducteurs de trains. L'équipement technique des locomotives sera également plus léger et donc moins onéreux.

IV.3 Le coût des lignes à faible trafic.

La conséquence est que, les coûts d'entretien des petites lignes à faible trafic devenant prohibitifs par tonne transportée, logiquement on décide de les fermer. Cela entraîne un transfert modal vers la route qui à son tour entraîne des problèmes de congestion du réseau routier et d'environnement alors que le long de la route subsiste une ligne ferroviaire inutilisée. C'est pourquoi, dans de nombreux cas, les politiciens souhaitent maintenir la ligne ferroviaire en exploitation.

IV.4 Comment faire baisser les coûts?

Il faut rechercher un système qui permet de circuler en sécurité et de comprimer au maximum les coûts.

Économie sur les investissements: utilisation d'une ligne à simple voie.

Les coûts d'investissement diminuent mais l'exploitation d'une voie unique avec seulement ça et là une possibilité de croisement né-

cessite autant d'organisation et de sécurité. Le système simple et économique du bâton reste en effet tributaire de l'erreur humaine.

Économie sur les investissements : utilisation d'une signalisation très simple

Le système simple du "bâton" est très bon marché mais les problèmes de faible sécurité dus au risque d'erreur humaine subsistent.

Économie sur le câblage

Il faut chercher à remplacer le câblage coûteux par un autre système moins onéreux :

- La **transmission des signaux** peut facilement être transférée sur des **communications sécurisées par radio ou par satellite** ;

- La **localisation du train** et la **vérification de son intégrité** à bon marché: où se situe le train et est-il entier? Où se situe le dernier wagon? Est-il toujours dans la section ou vient-il de la quitter? Jusqu'à présent il n'existe pas d'autre solution satisfaisante et meilleur marché que les actuels circuits de voie ou compteurs d'essieux qui répondent aux exigences fixées par la norme.

Utilisation des satellites.

Depuis quelque temps déjà des recherches ont démarré pour résoudre le problème de localisation avec des LEO-satellites (Low Earth Orbit-satellites).

Avantages des satellites:

- le système ne connaît pas de frontières;
- aucun équipement lié à la voie n'est nécessaire, ce que l'on ne peut pas dire des circuits de voie ou des compteurs d'essieux;
- les satellites sont disponibles en permanence;
- la localisation reste absolue, il n'y a pas de dérive comme dans un INU (inertial navigation unit ou laser gyroscopique). Cet appareil très onéreux qui est utilisé dans les avions suit de manière très stable tous les mouvements et accélérations mais suite à une certaine dérive, il doit, de temps à autre, être recalibré en fonction des coordonnées exactes;
- le système est simple à installer: il suffit d'une antenne et d'un rack pour l'ordinateur.

Désavantage des satellites:

- la réception n'est pas toujours garantie:

- pas de réception possible dans les tunnels et sous les ponts;

- réception très difficile dans les canyons et entre des rangées d'arbres;

- pas toujours suffisamment de satellites disponibles pour un calcul correct;

- l'intégrité des satellites n'est pas toujours garantie;

- il y a des erreurs de mesure (erreur ionosphérique, erreur troposphérique, erreur d'horloge, erreur de positionnement etc.);

- la précision est insuffisante (seule l'utilisation de GPS différentiels ou de systèmes complémentaires payants tels qu'EGNOS et WAAS permettent une plus grande précision);

- l'intégrité du train doit être garantie par un autre moyen: on ne situe que la position de l'antenne;

- un système de calcul simple n'atteint pas le niveau draconien des normes de sécurité.

Promouvoir l'interopérabilité entre les différents réseaux en trafic international.

Le fait que chaque réseau ait développé son propre système de sécurité coûte cher si on veut rouler sur plusieurs réseaux avec la même locomotive. Elle doit, en effet, être équipée de tous les systèmes qui seront rencontrés. Pour promouvoir le trafic transfrontalier, l'Union Européenne a promulgué une directive grâce à laquelle on devrait arriver, dans le futur, à un seul système de sécurité, le système ETCS/ERTMS. Tout nouveau système de sécurité que l'on développe et qu'on souhaite généraliser dans l'Union Européenne doit être également compatible avec ce système commun européen.

V. Recherche d'un système de sécurité "low cost".

De nombreux gestionnaires d'infrastructure se demandent cependant comment ils seront en mesure d'introduire ce système sur des lignes présentant de faibles chiffres en matière de trafic. Logiquement cela devrait conduire à la fermeture de ces lignes mais l'opposition au niveau politique revient pour d'autres raisons.

Conscients de cette problématique, des gestionnaires d'infrastructure, liés à l'UIC, ont mis

sur pied un groupe de travail pour rédiger, pour ces lignes, des normes de sécurité qui restent financables. Le projet est appelé "LC-ETCS" (Low-Cost ETCS). L'avancement des travaux de ce groupe est très lent et la Commission Européenne ne pouvait plus attendre et regarder passivement la fermeture des lignes "low density" les unes après les autres. Le problème n'est d'ailleurs pas uniquement européen mais mondial et, pour de nombreux pays en voie de développement, le train est le seul moyen de transport existant et fiable.

VI. Les satellites LEO comme système de navigation.

VI.1 Le système GPS et ses améliorations EGNOS et WAAS.

La mise à disposition par l'armée américaine de l'utilisation des signaux des 24 satellites qui constituent le système GPS ouvre de nouvelles possibilités pour le positionnement ou la détection d'un train.

L'armée américaine se réserve cependant le droit de déplacer les satellites et de perturber leurs signaux si cela les arrange pour des raisons militaires. De même, des données ne sont pas communiquées ou le sont tardivement quant au bon fonctionnement des satellites eux-mêmes. Les Russes ont également leur propre système: le système GLONASS mais ce système est, pour différentes raisons, encore moins fiable que le système GPS américain.

VI.2 Le Global Navigation Satellite System-1 (GNSS-1)

Un risque subsiste provisoirement pour l'utilisation de ce système comme **système de sécurité pour la signalisation**. Les problèmes liés à l'intégrité et à la précision subsistent et doivent être levés pour pouvoir satisfaire à la norme de sécurité de la signalisation SIL4.

C'est pourquoi l'ESA (European Space Agency) a lancé le satellite EGNOS. Ce satellite situé au-dessus de l'Europe permet de recevoir, contre rétribution, une correction instantanée du positionnement des satellites GPS, mais ne permet pas, malgré une amélioration du posi-

tionnement, de satisfaire complètement aux normes SIL-4. Le satellite WAAS remplit les mêmes fonctions au-dessus de l'Amérique et il en existe également un au-dessus du Japon.

VI.3 Le système GNSS-2 ou le système Galileo.

Compte tenu des défauts cités ci-dessus et pour éviter les risques liés aux modifications par l'armée américaine, l'Union Européenne a décidé de lancer un système propre basé sur environ 40 satellites. Ce système appelé Galileo aura un but purement civil et donnera également toutes les informations normales gratuitement. Des informations spécialisées seront également disponibles mais contre rétribution.

Ce nouveau système devra garantir son intégrité et le plus grand nombre de satellites devrait permettre, moyennant l'utilisation d'un algorithme spécial d'atteindre les normes de sécurité SIL4.

VII. Projets européens de promotion de l'usage des satellites.

Pour assurer la promotion de l'utilisation du système Galileo lorsqu'il sera actif, l'UE a mis en place un système de subsidiation à 50 % pour l'exécution de projets de recherche. Ces projets doivent provisoirement utiliser les systèmes GPS et GLONASS mais le futur système Galileo sera compatible avec ces deux systèmes. Les satellites émettront sur la même fréquence.

Ainsi de nombreux projets qui, via la navigation par satellite, déterminent une localisation correcte des trains, ont démarré. Nous en citons quelques-uns ci-dessous.

Le projet GADEROS: le "Galileo Demonstrator for Railways Operation System" entre dans le programme européen "Competitive and Sustainable Growth" (durée 30 mois: début décembre 2001).

Ce programme a pour but de montrer qu'un système GNSS (Global Navigation Satellite System = navigation par satellite) peut être intégré dans un système ETCS/ERTMS pour la localisation en sécurité d'un train et pour la ré-

Doppler. Cette méthode permet d'obtenir une plus grande précision. L'accélération par contre est déterminée sur base de la dérivée de la vitesse.

L'intégrité du train: elle s'est limitée à une étude théorique des méthodes existantes pour définir l'intégrité du train sans faire appel à des circuits de voie ou des compteurs d'essieux.

Une dernière mission du projet consistait en la réalisation TRAIN Servicecenter automatique grâce auquel il est possible de fournir aux clients, via internet, en temps réel des informations sur le positionnement et la vitesse du train. La partie "communication" du projet dont dépendait la sponsorship du projet par la division belge de l'ESA est réalisée.

Ce projet, entièrement sponsorisé par la participation de la Belgique à l'ESA, rentre dans le projet cadre traitant des communications et de l'utilisation du satellite. Le contrôle du travail effectué est réalisé par du personnel de l'ESA. Le coordinateur de ce projet est Alstom Transport Belgique à Charleroi et collaborent à ce projet à côté d'Alstom Charleroi et la SNCB uniquement des firmes belges comme Trasys (filiale de Tractebel) et Septentrio (Louvain). Dans un prochain Focus, Le côté technique de ce projet sera approfondi.

Le projet TRAINCOM

Pour être complet, nous mentionnons encore ce projet européen qui ne fait toutefois pas appel à la navigation par satellite mais indirectement a un rapport avec les autres. Il traite de la communication et de l'échange de données entre un train et une station au sol ou centre de dispatching. Ce projet qui touche à sa fin et auquel les grands constructeurs européens, principalement Siemens et Bombardier, mais également Ansaldo et Alstom ont collaboré, a comme but la standardisation d'un système de communication entre le réseau à bord du train, le TCN (Train Communication Network) qui reprend le bus de train et le bus des voitures, et la station au sol ou le dispatching. Le but est de relier le train, via ROGATE (Railway Open GATEway), le GSM-R et internet, à différentes stations au sol pour pouvoir diffuser les informations suivantes:

- aux passagers: diverses informations mises à jour sur les retards, les correspondances le quai à l'arrivée, etc. (DPIS: Dynamic Passenger Information System);
- au conducteur et au dépanneur: diverses informations sur l'entretien et les défauts de la locomotive (ROMAIN: remote monitoring and maintenance). Cela doit permettre d'améliorer l'interopérabilité des locomotives grâce à l'information, à temps, des conducteurs étrangers et des dépanneurs.

Ce projet concorde pour partie avec le projet LOCOLOC.

VIII. Les projets basés sur les satellites et les exigences de sécurité

Excepté le projet LOCOPROL/LOCOLOC, tous les projets mentionnés ci-dessus sont des projets "non safety". Ils visent uniquement à renforcer le fonctionnement et l'efficacité des systèmes de sécurité. Ils ne doivent pas satisfaire à la norme draconienne SIL4 mais ils ne peuvent par conséquent pas être utilisés comme système unique dans la signalisation. De là découle le risque que l'utilisation de tels systèmes ne contribuera qu'à augmenter les coûts de la signalisation.

Le système LOCOPROL/LOCOLOC est, pour l'instant, le seul qui satisfait à la norme de sécurité SIL4. De ce fait, le but principal est rencontré, à savoir, un système de sécurité simple et bon marché.

IX. La genèse du projet LOCOPROL/LOCOLOC

IX.1 Quelques conditions auxquelles un projet européen doit satisfaire pour être subsidié

Pour obtenir un subside de l'Europe, il faut, compte tenu de scandales liés à des projets précédents, satisfaire à tout un ensemble de règles. Les principales sont:

- le projet doit s'inscrire dans un des programmes de recherche proposés par l'UE;
- le dossier relatif au projet doit être établi

scrupuleusement. Il constitue une sorte de contrat qui doit satisfaire à une série de règles. Ainsi le projet doit constituer une avancée dans le domaine de la recherche.

- le projet doit, à un stade ultérieur, constituer une plus value pour l'industrie et doit avoir des débouchés commerciaux. Cela doit permettre à d'autres firmes de profiter de cette avancée.

- l'ensemble du projet doit être dirigé par un coordinateur et chaque projet est divisé en "workpackages" avec un "leader"

- des réunions d'avancement doivent être tenues régulièrement pour chaque "workpackage" et la commission doit recevoir copie du rapport;

- des rapports trimestriels doivent être rédigés;

- une série de "délivrables" doit être fournie pour la commission. Ils sont définis dans le contrat et leur valeur est estimée par la Commission. S'ils sont jugés insuffisants, ils doivent être retravaillés. Certaines publications doivent être diffusées à l'intention des universités et de la recherche dans d'autres entreprises. Les articles publiés doivent être consultables sur un site internet. Ceux de LOCPROL/LOCOLOC sont www.locoprol.org et www.locoloc.org ;

- un planning doit être établi et tout retard doit être justifié à la commission;

- annuellement, l'avancement du projet est contrôlé par un comité d'externes qui sont experts en la matière; ce n'est qu'après leur approbation que les subsides sont alloués et que le projet peut être poursuivi.

IX.2 La naissance du projet LOCOPROL

Face à l'UE et à l'UIC, l'industrie ferroviaire, secteur signalisation, ne pouvait pas garder les bras croisés car celui qui est le premier sur un marché en tire le plus de profit. Tenant compte du fait que, d'une part, la Commission européenne, dans un but de promotion du système Galileo, proposait des fonds pour R&D via le 5^e programme cadre IST (Information Society Technology) et que, d'autre part, les grands concurrents étaient déjà partants dans des projets tels que GARDEROS et INTEGRAL,

ALSTOM TRANSPORT, Division signalisation, décida de tenter également sa chance. Ils voulurent développer quelque chose qui répondrait aux exigences SIL4 et dans lequel on prendrait comme hypothèse que le train est toujours sur une voie. Cette hypothèse réduit le système à une inconnue: où? Il était dès lors possible d'utiliser un algorithme bien connu l'algorithme unidimensionnel ou 1-D.

IX.3 La formation du consortium.

Secrètement, des contacts furent recherchés avec d'autres entreprises européennes pour constituer ensemble un consortium et introduire auprès de la Commission européenne une proposition de projet R&D allant dans ce sens. De plus, deux compagnies de chemin de fer furent approchées: la SNCB et RFF, avec la SNCF comme sous-traitant, dans le but de pouvoir tester sur le terrain la programmation et les appareillages développés.

La SNCB était impliquée pour la partie localisation du train et la SNCF pour les tests du système complet et son lien avec le système européen ETCS/ERTMS. Ensuite RFF a décliné sa participation à la partie "tests du système global" et une petite compagnie CFTA (Chemins de fer de Provence) qui exploite une petite ligne touristique entre Nice et Digne a été associée pour effectuer les tests de l'ensemble du système.

Le nom retenu fut LOCOPROL. La rédaction de l'ensemble du dossier qui finalement constitua le contrat avec l'UE prit environ un an et, après son approbation, le travail effectif pouvait commencer et le consortium rendu public.

L'objectif est, dans les 4 ans c'est-à-dire pour la mi-2005, d'avoir développé suffisamment de "R&D" pour en arriver à un système utilisable qui reste compatible avec les normes européennes: **un système "low cost" innovant pour la signalisation qui, grâce à l'utilisation de la navigation par satellite, répond aux normes SIL4 et qui est compatible ou interopérable avec le système prédéfini ETCS/ERTMS et le futur système LC-ETCS.**