



Le métro entièrement automatique Cityval pour la ligne b du métro de Rennes, en phase d'essais dynamiques au garage atelier – © Siemens

Automatisation des métros

Les évolutions du *Communications-Based Train Control* (CBTC)

Paul-Edouard Basse
Jean-Marie Gimenez
Thomas Vaucher de la Croix
Cécile Roy

Siemens Mobility

Deux voies du RER à Paris équivalent en capacité de transport à une autoroute de deux fois quatorze voies. Mais un tel flux de passagers doit être géré pour assurer une qualité de service et une sécurité irréprochables. C'est l'objet du système d'automatisme CBTC (*Communications-Based Train Control*) développé par Siemens Mobility et qui s'impose aujourd'hui dans le monde entier.

Introduction

Aujourd'hui, la quasi-totalité des nouveaux projets de transport en zone urbaine dense sont des métros entièrement automatiques. Siemens Mobility conçoit et développe les dernières générations de systèmes de pilotage et de

contrôle depuis son centre mondial de compétence pour les métros automatiques situé à Châtillon, en région parisienne. Siemens Mobility accompagne ses clients à travers le monde dans des projets d'automatisation de toutes tailles et de complexité diverse, en fonction des besoins des villes et des aéroports.

Pionnier et leader mondial des métros entièrement automatiques, la société a développé, depuis la réalisation du premier métro automatique à Lille en 1983 jusqu'à l'automatisation intégrale du Grand Paris Express – le plus grand projet de transport urbain en Europe –, une gamme complète de solutions dans

les automatismes de métro. La dernière génération la plus aboutie est le Trainguard MT CBTC¹, en anglais *Communications-Based Train Control*.

Après un rappel des fondamentaux du fonctionnement et des grandes fonctions du CBTC, c'est à une visite guidée des évolutions technologiques récentes du CBTC, et de ses applications que convie cet article.

Le *Communications-Based Train Control* (CBTC)

Le *Communications-Based Train Control* (CBTC) est le dernier né des systèmes de contrôle-commande ferroviaire ; il est décrit par la norme internationale IEEE 1474. Par rapport aux systèmes précédents, tels que le PA 135 (Pilote automatique 135 Hz), il repose sur un principe de détection des trains indépendamment des circuits de voie et utilise des calculateurs sécuritaires en embarqué et au sol.

De ce fait, sont nécessaires : une localisation très précise de chaque navette,

un respect de l'espacement ne reposant plus sur des cantons fixes, mais sur des cantons mobiles de haute précision, un échange de données continu et bidirectionnel entre les navettes et les automatismes au sol. Rendu indépendant des systèmes de contrôle d'occupation en voie, le CBTC permet de réduire l'intervalle entre les trains en sécurité et donc d'accroître la capacité de transport.

Aujourd'hui, plus de 2 000 km de lignes équipées de CBTC à transmission radio sont en exploitation, ou en cours de construction dans le monde.

Les systèmes CBTC se caractérisent par leur niveau d'automatisation (*Grade of Automation, GoA*) qui varie en fonction des exigences économiques, de celles du trafic et de l'exploitation, allant du simple contrôle de vitesse plafond et de franchissement au système totalement

automatique sans aucun personnel à bord comme sur les lignes 1 et 14 du métro de Paris. Le CBTC peut automatiser une ligne avec ou sans conducteur ; nous décrivons dans les paragraphes qui suivent un système CBTC le plus générique possible, même si certaines fonctions s'appliqueront plus à un système avec ou sans conducteur.

Principes de base du Trainguard MT CBTC

Les fonctions d'exploitation

Ces fonctions, orientées qualité de service, permettent :

- de fixer au système des objectifs opérationnels tels qu'un intervalle plus ou moins réduit suivant la demande ;
- de commander des mouvements de navettes spécifiques pour répondre à des besoins d'exploitation ponctuels ;

1 Marque déposée par Siemens

“Aujourd’hui, plus de 2 000 km de lignes équipées de CBTC à transmission radio sont en exploitation, ou en cours de construction dans le monde.”

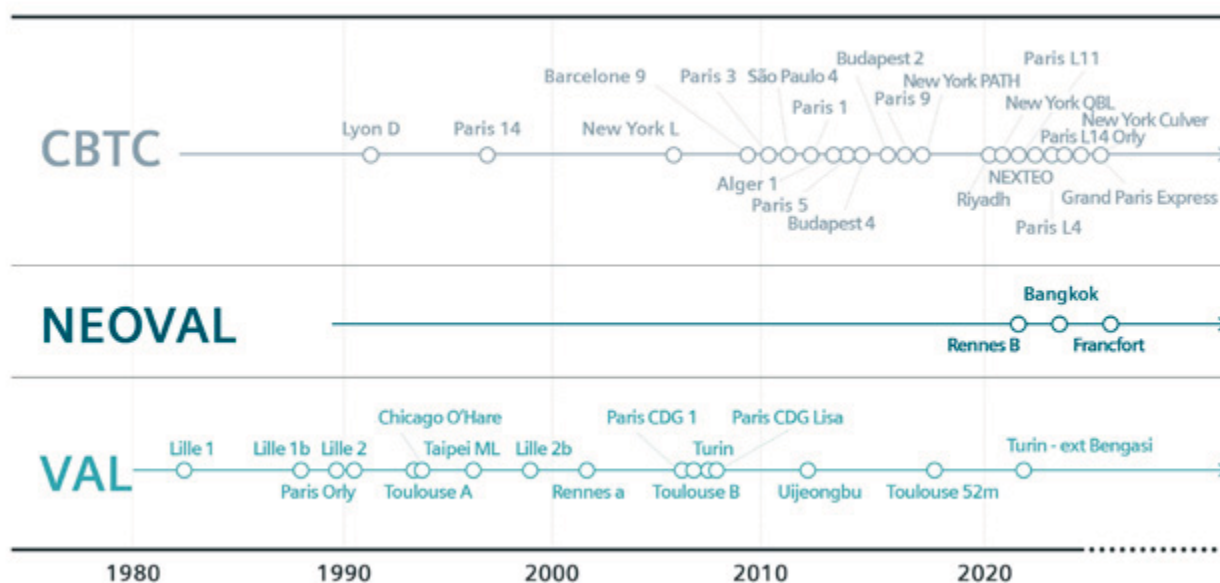


Figure 1 : Les systèmes de métro automatiques développés par Siemens Mobility dans le monde.

- - d'anticiper ou de réagir de manière efficace face à une perturbation quelconque ou à un événement extérieur.

Ces fonctions s'appuient sur les logiciels non sécuritaires du pilotage automatique et sur les logiciels du poste de commande central qui est l'outil privilégié de l'exploitant.

Les fonctions de sécurité

Ces fonctions déterminent à tout instant le domaine de sécurité du système et réagissent instantanément en cas de risque de sortie de ce domaine en provoquant une mise en sécurité adaptée à

Ces mécanismes englobent les technologies orientées sécurité suivantes :

- la technologie dite de monoprocesseur codé ;
- une méthode de développement fondée sur la méthode formelle B, internationalement reconnue ;
- des outils de développement fondés sur l'Atelier B.

Toutes les fonctionnalités du système sont classées SIL 4 (*Safety Integrity Level*) :

- le recours à la technique du monoprocesseur codé pour faire face aux défaillances aléatoires au niveau du programme fondamental et pour permettre de détecter les éventuelles

- des développements mis en œuvre par une équipe certifiée CMMI (*Capability Maturity Model Integration*) de niveau 3.

Architecture technique du système

Principes généraux

L'architecture technique repose sur quatre grandes composantes :

- les équipements de pilotage automatique, embarqués et fixes ;
- le poste central de commande (ou PCC) ;
- les moyens de transmission ;
- la logique de commande de l'énergie de traction.

Synthèse des principaux choix de réalisation

- utilisation de roues phoniques pour la mesure de déplacement sécuritaire ;
- utilisation du système de localisation Digisafe ;
- compatibilité du système avec les automatismes préexistants ;
- limitation du matériel en voie ;
- architecture centralisée ;
- indépendance maximale des communications vis-à-vis des automatismes ;
- utilisation de façades de quai de préférence pour les systèmes sans conducteur ;
- fiabilisation de la signalisation ;
- mise en œuvre d'un haut niveau de disponibilité ;
- interface avec une signalisation à relais ou informatisée, quand elle n'est pas intégrée au CBTC ;
- localisation 24 h/24 ;
- anticipation d'ouverture des portes ;
- existence si possible d'un « arrêt progressif d'exploitation » et d'un système de repli.

Les équipements de pilotage automatique embarqués

Le pilotage automatique embarqué (ou PAE) (figure 2) est en charge du mouvement de la navette, de la commande des

“L'un des grands apports de Trainguard MT CBTC est de garantir un très haut niveau de sécurité grâce au contrôle continu de vitesse et à ses composants sécuritaires et éprouvés.”

la situation : arrêt des navettes ou mise hors tension des voies. Elles sont toujours prioritaires sur les fonctions d'exploitation.

Ces fonctions sont automatiques seulement dans le sens de la mise en sécurité, la levée de la mise en sécurité nécessite obligatoirement une action humaine. Elles s'appuient sur les matériels et logiciels sécuritaires du pilotage automatique et sur des logiques à relais de sécurité pour la commande de l'énergie de traction.

L'un des grands apports de Trainguard MT CBTC est de garantir un très haut niveau de sécurité grâce au contrôle continu de vitesse et à ses composants sécuritaires et éprouvés. Il offre également une flexibilité pour réduire temporairement la vitesse d'exploitation. Les fonctionnalités fondamentales du CBTC s'opèrent à l'aide de concepts attestés comme étant à la fois adéquats et suffisamment robustes pour s'accommoder des aléas du système de transport.

erreurs dans la chaîne de production ainsi que les pannes matérielles ;

- un matériel spécifique Digisaf² répondant aux exigences de sécurité intrinsèque pour les équipements de pilote automatique embarqué (PAE) et de pilote automatique au sol (PAS) ;
- un canal de transmission radio indépendant de la sécurité globale du système : toute altération de données par la transmission radio sera détectée par le PAE ou le PAS réceptionnant l'information. Tous les messages échangés par le PAE ou le PAS sont codés dans le monoprocesseur.

En cas d'altération du code par la transmission radio, le message reçu par l'équipement radio (PAE ou PAS) sera rejeté. Par ailleurs, l'équipement destinataire étant capable d'évaluer l'heure d'envoi des messages, tout message jugé trop ancien (en raison d'une défaillance de la transmission radio) sera rejeté, même si le code est correct ;

² Marque déposée par Siemens

portes et de la surveillance des poignées d'alarmes. Il fournit au pilotage automatique fixe l'ensemble des informations permettant le suivi des navettes : position avant et arrière, sens de marche, existence ou non d'une évacuation potentielle et autorisation d'ouverture des portes palières. En retour, il reçoit les informations sécuritaires dont il a besoin :

- pour sécuriser son mouvement : cible aval (arrière d'une navette aval, feu fermé, etc.), limites de vitesse temporaires, autorisation de rouler, etc.
- pour pouvoir quitter un quai desservi : confirmation de verrouillage des portes palières, etc.

Le PAE échange avec le PCC pour acquérir l'ensemble des commandes qui lui sont destinées (données de régulation, lieu de destination et fournit à ce même PCC l'ensemble des données de supervision à présenter à l'exploitant : portes fermées ou non, freins serrés ou non, position, état opérationnel des équipements, etc.).

Pour assurer une disponibilité maximale, le PAE est constitué de deux calculateurs identiques, en redondance chaude, c'est-à-dire qu'en permanence, ils acquièrent les mêmes données et effectuent l'en-

Les équipements de pilotage automatique fixes

Le pilotage automatique fixe comprend des équipements de pilotage automatique au sol (PAS) supervisant chacun une section géographique de la ligne et chargés de fournir aux PAE les informations sécuritaires nécessaires au pilotage des navettes. L'information la plus importante est celle qui indique à chaque navette le point jusqu'où elle est autorisée à avancer. Cette position est déterminée par le PAS comme le point aval le plus proche de la navette parmi, entre autres :

- l'arrière de la navette en aval ;
- un feu non franchissable ;
- l'entrée d'une zone où la marche en automatique est interdite ;
- une extrémité de voie.

Il assure le maintien de la sécurité en interdisant le mouvement des navettes en cas de suspicion d'ouverture de porte palière ou de besoin opérationnel (montée à bord d'une navette). Il garantit

Pour assurer une disponibilité maximale, les PAS sont en redondance chaude et sont souvent regroupés dans un local central pour faciliter leur maintenance. Le pilotage automatique fixe comprend également un équipement superviseur de la ligne (PAL) dont le rôle principal est de contribuer à la gestion de la commande de l'énergie de traction. Pour compléter l'ensemble, le pilotage automatique fixe comprend des équipements décentralisés, chargés des interfaces avec les équipements hors CBTC, situés en ligne, comme la signalisation à relais, les façades de quai et certains appareils de distribution de l'énergie de traction.

Le poste central de commande (PCC)

Outil privilégié de l'exploitation, c'est via l'interface homme-machine du poste central de commande (PCC) que l'ensemble du système est supervisé et commandé (figure 3). Dans un projet, le CBTC peut être fourni avec le PCC, ou s'interfacer avec un PCC externe.

“L'information la plus importante est celle qui indique à chaque navette le point jusqu'où elle est autorisée à avancer.”

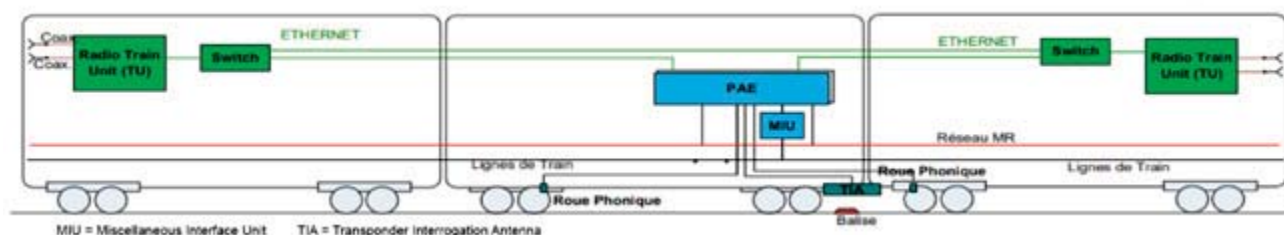


Figure 2 : Schématique du pilote automatique embarqué (PAE).

semble de leurs traitements de manière synchronisée ; les sorties, elles, sont commandées par un seul des calculateurs. Si celui-ci vient à être défaillant, c'est l'autre calculateur qui prend la main, de manière sécurisée et totalement transparente.

également la mise hors tension de tout ou partie de la ligne en cas de suspicion d'évacuation en ligne (navette arrêtée à bord de laquelle une poignée d'évacuation a été actionnée, ceci entraînant le déverrouillage des portes et la possible descente de voyageurs en voie).

Le PCC comprend un certain nombre de postes opérateurs qui offrent des fonctionnalités adaptées au profil de l'utilisateur courant du poste et un tableau de contrôle optique donnant une vue globale et synthétique de la ligne et de ses garages (photo 1).

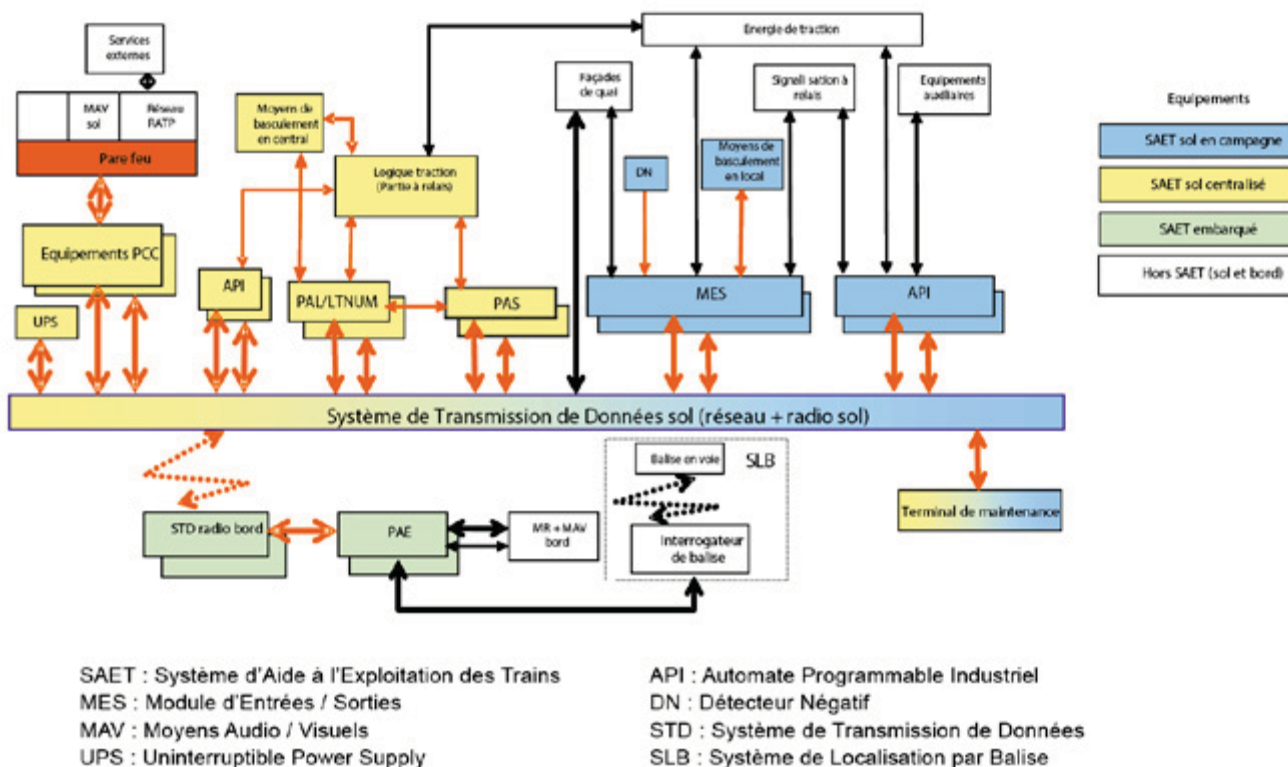


Figure 3 : SAET Ligne 4 du métro de Paris -- Architecture générale du PCC.

Quand c'est nécessaire, notamment pour les systèmes sans conducteur, les utilisateurs peuvent télécommander le système de manière sécurisée. Cela concerne soit des actions visant à restreindre le domaine de sécurité comme le fait de limiter temporairement la vitesse des navettes sur une zone donnée (travaux en cours en voie), soit des commandes permissives impliquant une levée de mise en sécurité.

Le PCC a en charge les fonctions d'exploitation liées au mouvement des trains : il commande les itinéraires pour les trains, régule le trafic en jouant sur les marches types et les temps de stationnement. Il gère également pour les systèmes automatiques les mouvements dans les garages pour assurer montées (injection) et baisses (retrait) de l'offre de transport, et s'assure de disposer à tout moment d'une réserve d'exploitation ainsi que de garages équilibrés.

Il présente l'ensemble des informations sur l'état du système, de la signalisation, des façades de quai et de l'énergie de

“Quand c'est nécessaire, notamment pour les systèmes sans conducteur, les utilisateurs peuvent télécommander le système de manière sécurisée.”

traction ; ceci inclut tout particulièrement la position des trains mais aussi des rames non équipées. En cas de situation nécessitant une action opérateur, il produit une alarme et en gère le traitement.

Les moyens de transmission

La transmission bord-sol est assurée par communication radio dans une bande dédiée aux transports. Elle utilise une redondance matérielle au sol (redondance chaude) et une redondance géographique à bord (une radio en tête et une radio en queue).

Elle est volontairement indépendante des moyens audio-visuels voyageurs : l'interphonie et la vidéo. En cas de défaillance de communication pour un

système sans conducteur, soit les navettes seront arrêtées – mais il restera alors possible de communiquer avec les voyageurs –, soit toute communication sera impossible avec les voyageurs mais les navettes continueront leur deserte.

Au sol, les échanges entre équipements numériques sont assurés par un réseau.

La logique de commande de l'énergie de traction

L'énergie de traction est distribuée via un certain nombre d'appareils tels que disjoncteurs et interrupteurs. Réalisée intégralement en logique à relais sur la L14 de la RATP, cette fonction est mise en œuvre dans le cas de la L1 et L4 de la

RATP en mariant application numérique et logique à relais.

Le recours au pilote automatique de la ligne (PAL) permet de traiter plus facilement et plus souplesment l'ensemble des appareils ; les fonctions critiques en termes de temps de réaction et de disponibilité restent traitées en logique à relais, simplifiée par rapport à la L14.

Les grandes fonctions

La localisation

Dans la voie, sont implantées des balises qui, une fois lues par le PAE, fournissent une localisation précise. Après avoir lu une balise, le PAE calcule son déplacement en comptant les tours de roue ; cette mesure est entachée d'une erreur récurrente mais elle sera « recalée » lors de la lecture de la balise suivante.

Le PAE détermine l'orientation du train et, connaissant, par paramétrage matériel, sa longueur, il est alors en mesure d'indiquer aux PAS, la position de son avant et de son arrière. Cette approche permet de traiter la circulation mixte de trains de différentes longueurs.

Pour fournir les données de localisation au sol, le PAE dispose d'une cartographie de la ligne sous forme de segments chaînés qu'il partage avec le PAS, à charge pour le PAS de transmettre au PAE la position des aiguilles.

L'espace mixte

Le PAS fournit à chaque train sa limite de mouvement, basée notamment sur la position de l'arrière du train en aval que ce dernier transmet. Lorsque le train aval est une rame non équipée (voire un train en défaut de transmission ou de localisation), l'information de position arrière n'est pas disponible. Dans ce cas, c'est la position du joint amont du premier circuit de voie aval occupé qui est utilisée si la ligne est équipée de circuits de voie. C'est moins performant mais cela permet de combi-

“En tout point, le PAE calcule une vitesse optimale, prenant en compte le point d'arrêt visé et le temps de parcours fixé par la régulation et les mesures d'économies d'énergie.”

ner suivi virtuel (via les positions arrière) et suivi matériel (via les occupations de circuits de voie).

Ce suivi mixte repose sur des hypothèses de sens de marche attendu. En cas de détection d'un mouvement à contre-sens, le CBTC d'une ligne sans conducteur déclenche une mise en sécurité avec coupure de l'énergie de traction.

La vitesse

En tout point, le PAE calcule une vitesse optimale, prenant en compte le point d'arrêt visé et le temps de parcours fixé par la régulation et les mesures d'économies d'énergie. Il calcule également une vitesse imposée par les contraintes de sécurité qui intègre les limitations imposées par la voie, par les opérateurs du PCC ou par la présence en aval d'un point d'arrêt sécuritaire. Il s'asservit sur la plus faible de ces deux vitesses.

Le transfert voyageur

Lorsque le PAE se sait en approche d'un quai à desservir : il doit s'arrêter et effectuer un échange voyageur. Les séquences suivantes se déroulent alors de façon automatique :

- le PAE cherche à respecter le point arrêt à quai ;
- il vérifie qu'il s'est arrêté correctement (fonction de sécurité) et, si c'est le cas, il garantit de façon sécuritaire le non-redémarrage du train ;
- il commande l'ouverture des portes du train tout en demandant, via le PAS, l'ouverture synchronisée des portes palières le cas échéant ;
- il attend l'échéance du temps de stationnement (fourni par le PCC) ;
- une fois ce délai échu, le PAE commande la fermeture des portes du train tout en demandant, via le PAS, la fermeture synchronisée des portes palières le cas échéant ;



Photo 1 : PCC RATP de la ligne 1 du métro de Paris.



Photo 2 : Station et portes palières sur la ligne 14 de la RATP.

- - lorsqu'il a constaté que les portes du train sont fermées et qu'il a été informé par le PAS que les portes palières sont fermées, le PAE commande le démarrage avec une accélération conditionnée par la marche type et les fonctions d'économies d'énergie.

Réveil et sommeil des navettes sans conducteur

La nuit, dans les applications métro (en application aéroportuaire, l'opération est souvent continue 24/24) les navettes sont endormies : elles sont garées sur des voies hors tension et la quasi-totalité des équipements embarqués est également mise hors tension pour économiser les batteries.

Plusieurs minutes avant le début de l'exploitation, le PCC propose un programme pour la journée basée sur sa typologie : semaine, samedi ou dimanche, période de vacances scolaires ou non, etc. Ce programme peut être modifié par l'opérateur en cas d'événement particulier prévu (affluence ponctuelle en un lieu par exemple). Dès

“ Plusieurs minutes avant le début de l'exploitation, le PCC propose un programme pour la journée basée sur sa typologie : semaine, samedi ou dimanche, période de vacances scolaires ou non, etc.”

que l'opérateur approuve le programme (éventuellement après modification), il met sous tension les zones hors tension et valide le lancement de la journée. Le PCC va alors commander aux navettes de se réveiller : dans chaque navette, le seul équipement resté sous tension est la radio ; c'est lui qui va déclencher la mise en route des équipements de la navette, notamment les motrices pour alimenter l'ensemble des équipements qui vont se mettre sous tension au fur et à mesure. Après une phase d'initialisation et d'autotest, le PAE déclare le train prêt.

En fin de journée d'exploitation, le PCC va progressivement sortir du service les navettes selon un programme préétabli puis va les mettre en sommeil, la quasi-totalité

des équipements embarqués étant mise hors tension. Enfin, l'opérateur met la ligne hors tension.

Les travaux en voie

Le PCC fournit une aide importante aux opérateurs pour les travaux de nuit :

- limitation temporaire de vitesse ;
- télécommande agissant sur les phares et le klaxon pour permettre aux trains de se signaler en avance ;
- cahier informatisé des consignations : outil de saisie des demandes de consignation, télécommande sécurisée de mise en sécurité des sous-sections électriques concernées, fonction de condamnation des télécommandes ;
- cahier informatisé des condamnations.

Interfaces

Les automatismes du CBTC permettent également de :

- fournir les informations nécessaires aux différents systèmes de communication voyageurs : moyens audiovisuels bord et sol, motif départ, système d'information en ligne ;

- remonter au PCC les états relatifs à la maintenance des équipements en interface afin de centraliser les données pour le diagnostic (matériel roulant, signalisation, façades de quai, etc.) ;
- gérer les grilles, systèmes de protection incendie, machines à laver.

Le CBTC continue à évoluer

Le CBTC s'adapte au contexte de chaque projet

Chaque projet amène généralement ses spécificités : matériel roulant, enclenche- ●●●

Des métros automatiques, partout dans le monde

En France, Siemens Mobility accompagne la RATP dans ses projets d'automatismes : de la ligne 14, première ligne de métro à grand gabarit exploitée en mode entièrement automatique dans une capitale, aux rénovations des automatismes des lignes 3, 5, 9 et 11, à l'automatisation complète de la ligne 1, et à celle de la ligne 4, actuellement en cours.

Pour l'extension de la ligne 14 vers Saint-Denis Pleyel, au nord, et vers l'aéroport d'Orly, au sud, la RATP a passé commande du système d'automatisation de l'exploitation des trains (SAET) basé sur la dernière technologie du CBTC sans conducteur et d'une option pour des prestations de maintenance sur la durée de vie du système.

D'une longueur de 28 kilomètres, le nouveau tracé de la ligne 14 comprend 21 stations. A sa mise en service avec l'ensemble de ses prolongements, la ligne 14 aura une capacité de 40 000 passagers par heure et par direction, contre 30 000 aujourd'hui, ce qui en fera la ligne la plus fréquentée du métro parisien. Elle permettra de rallier directement l'aéroport d'Orly depuis le centre de Paris et desservira le nord de Paris jusqu'à Saint-Denis Pleyel. Grâce à la dernière génération du CBTC, la RATP pourra garantir le maintien des performances d'exploitation, avec un train de huit voitures toutes les 85 secondes.

Pour SNCF Réseau, Siemens Mobility réalise le projet NEXTEO en fournissant les automatismes basés sur sa dernière génération de CBTC, dans le cadre du projet Eole. Toujours pour SNCF Réseau, Siemens Mobility met en œuvre le projet « ATS+ » : ce nouveau système de contrôle-commande et supervision des trains en Ile-de-France va concerner, pour commencer, le RER E. Il vient compléter NEXTEO. NEXTEO assurera le contrôle de vitesse et le pilotage automatique, tandis que l'ATS+ supervisera l'ensemble des trains.

En 2018, la Société du Grand Paris (SGP) a choisi le Trainguard MT CBTC, pour l'automatisation des futures lignes 15, 16 et 17 du Grand Paris Express. D'une envergure inégalée en France et en Europe avec, à terme, plus de 200 km de voies et 68 nouvelles gares, le projet Grand Paris Express permettra aux Franciliens de se déplacer plus rapidement, de désenclaver des zones aujourd'hui encore mal desservies et de créer une dynamique nouvelle pour la croissance économique.

À l'étranger, Siemens Mobility France équipe également de nombreuses lignes en CBTC, notamment aux Etats-Unis. Ainsi, à New York, Siemens Mobility a déployé la technologie CBTC pour plusieurs clients :

- sur la ligne Canarsie (« L ») du NYCT pour le client MTA ;

- également pour le client MTA sur le réseau PATH, qui assure la liaison entre New York et l'Etat voisin du New Jersey ;

- pour le client PATH, sur la zone géographique Queens Boulevard (QBL) du NYCT. D'une longueur de 43 kilomètres, cette zone recouvre quatre services qui en font le faisceau de lignes le plus long du réseau de métro new-yorkais.

Dernièrement, quatre nouveaux contrats CBTC ont été signés, confirmant le potentiel du marché américain pour les automatismes ferroviaires :

- l'équipement CBTC de la ligne Culver, de Downtown Brooklyn vers le Sud pour rejoindre Coney Island ;

- les équipements de localisation (balise et lecteur de balise) et de radio des lignes Culver et 8th Ave et pour les trains R179 et R211 ;

- les équipements bord CBTC de 73 trains R179 destinés à circuler sur les lignes de la division B du métro new-yorkais ;

- un pilote CBTC interfacé à une localisation avec technologie Ultra Wide Band.

Le Trainguard MT CBTC est enfin déployé à Barcelone, Alger, Sao Paulo, Budapest, et est en cours de déploiement à Riyadh, Rennes, Frankfurt, Bangkok.

Outre les automatismes de métros urbains, le Trainguard MT CBTC équipe également les systèmes de métros automatiques clefs en main VAL, et dans leur dernière version, Cityval et Airval. Le centre mondial de compétence pour les métros automatiques sans conducteur est situé à Toulouse, en France.

Une dizaine de lignes Val ont été construites dans le monde : à Lille et à Toulouse, bientôt à Rennes, à Turin, à Taïpeh et à Uijeongbu, en Corée. Côté aéroport, à Chicago, à Paris (l'Orlyval et les deux lignes de Roissy (CDGVAL) en opération depuis 30 ans pour la plus ancienne).

La solution Airval a par ailleurs été choisie par les aéroports de Frankfurt et Bangkok, et la solution Cityval a été choisie pour la seconde ligne de métro tout automatique de l'agglomération de Rennes.

Scope of delivery

SIEMENS
Ingenuity for Life

System Integration
Safety
Cybersecurity
RAM
EMC
BIM



Figure 4 : Composition du système Neoval.

ments, interfaces externes avec d'autres systèmes. Sur le projet d'automatisation de la ligne 4 de la RATP, le CBTC s'adapte à trois types de trains différents, et à deux PCC différents pendant la migration.

Sur le réseau PATH de New-York, le CBTC gère la composition variable des trains (de 3 à 11 voitures couplées). Les trains sont recomposés chaque jour à partir d'un nombre variable de voitures équipées d'automatismes et de voitures non équipées.

A Riadh, pour les lignes 1 et 2 du futur réseau, une fonction de gestion automatique de compositions de trains variable est développée, pour l'adaptation de la capacité de transport aux besoins d'exploitation (accostage/scindage de rames sans conducteur).

Enfin, le CBTC s'adapte aussi aux contraintes d'interopérabilité : à New York, sur les Queens Boulevard Lines, un référentiel d'interopérabilité « I2S » permet au NYCT de faire appel à plusieurs industriels.

“ Sur le projet d'automatisation de la ligne 4 de la RATP, le CBTC s'adapte à trois types de trains différents, et à deux PCC différents pendant la migration. ”

Le CBTC facilite la fluidité de l'exploitation et de la maintenance

La RATP et Ile-de-France Mobilités préparent la migration de la L14 sans interruption de trafic d'un système d'automatisme sans conducteur CBTC vers un autre système d'automatisme sans conducteur CBTC.

La Société du Grand Paris prépare quant à elle la gestion automatique de zones de chantier et des trains de travaux sur les futures lignes 15, 16 et 17.

Enfin les contrats incluent de plus en plus souvent des engagements en termes de maintien en condition opérationnelle sur la durée de vie des systèmes (30 à 50 ans), ainsi que des engagements en termes de maintien en condition de sécurité.

Le CBTC gagne encore en performance

L'architecture du système CBTC continue d'évoluer pour gagner en performance. Ainsi, pour le projet d'extension de la ligne 14 de la RATP jusqu'à Saint-Denis Pleyel et jusqu'à Orly, la logique d'énergie de traction et de sécurité est intégrée dans le CBTC (gestion des mises en sécurité de la distribution électrique et de leurs enclenchements). De même, pour les projets des lignes 15, 16 et 17 du Grand Paris Express, la logique d'enclenchement d'itinéraires et la logique d'énergie sont intégrées au CBTC. Il en résulte des gains en performances (temps de réponse), des réductions de coûts d'acquisition, d'ingénierie et de maintien en condition opérationnelle.

Le CBTC évolue pour apporter une meilleure résilience en cas de modes dégradés

Le CBTC répond à des exigences très élevées de disponibilité, proches de 100%, comme l'a montré, depuis bientôt 10 ans, l'exploitation de la ligne 1 de la RATP en mode sans conducteur. Néanmoins, si une panne devait arriver, l'exploitant doit avoir les moyens de redémarrer correctement le système.

C'est pourquoi Siemens Mobility a développé une fonction de réinitialisation automatique d'un équipement CBTC sol (à la suite d'une perte d'alimentation ou d'une panne complète) sans avoir besoin de recourir à des conducteurs. Ceci permet d'améliorer la résilience du système en cas d'incident d'exploitation.

Sur la L14 de la RATP est prévue également la mise en place automatique de marches rétrogrades sans conducteur, en cas d'incident en ligne, malgré la conservation d'une logique d'enclenchement existante conçue pour le sens unique.

Il est prévu également sur cette ligne le maintien possible d'une exploitation automatique de terminus à terminus, même en cas de destruction de locaux techniques de stations intermédiaires : résilience à la suite d'un incendie, une inondation, un attentat, etc.

Sur les lignes 15, 16 et 17 du Grand Paris Express, une réinitialisation automatique des compteurs d'essieux est prévue en cas de dérangement : résilience face à la circulation de trains rail-route ou de modes dégradés. Les compteurs d'essieux sont alors utilisés comme détection secondaire minimaliste, réservée aux modes dégradés, et pour les phases d'extension de lignes successives.

La supervision des trains par le PCC évolue également

Siemens Mobility développe avec la SNCF, dans le cadre du projet « AT5+ », un nouveau système de contrôle commande et de supervision des trains, avec une exploitation

mixte (trains équipés/non équipés) et en environnement suburbain plus ouvert que celui du métro. Un outil d'aide à la décision et de résolution de conflits est en particulier développé, avec des algorithmes d'intelligence artificielle, pour optimiser l'exploitation, même dans le cas d'une mixité de trafic.

Les équipes de Siemens Mobility travaillent à l'automatisation avancée des tâches répétitives : commande automatique et contrôle des itinéraires pour toutes les circulations, détection et résolution des conflits, gestion de la protection des travaux et des consignations.

Par ailleurs, les derniers développements du PCC associé au CBTC permettent d'offrir des solutions numériques d'analyse de données très poussées – big data, connectivité, data monitoring, data analysis, machine learning – qui aident l'exploitant à mieux comprendre le fonctionnement de ses systèmes complexes et à en optimiser l'utilisation. Ils aident également le mainteneur à mieux comprendre les pannes et à travailler sur des modèles prédictifs. Ces outils permettent à nos clients d'augmenter la disponibilité de leurs systèmes.

Les innovations se poursuivent

Sur la ligne E du RER parisien, il est prévu dans le cadre du projet NEXTEO une transition automatique et dynamique en entrée et sortie de domaines ERTMS <>CBTC et KVB <> CBTC. Ce sera le premier projet au monde à mettre en service une telle fonction.

Autre domaine d'innovation : le système de localisation. Afin de libérer la voie des balises, et pour rendre les trains plus autonomes, un démonstrateur « U-



Paul-Edouard Basse

est responsable grand compte chez Siemens Mobility France, en charge plus particulièrement de la RATP. Il est diplômé de l'Ecole polytechnique et a travaillé chez Matra et Siemens depuis 1997 dans différents postes de business development, marketing stratégique et exécution de projets. Il a été notamment chef de projet lors de la mise en service de l'automatisation de la ligne 1 du métro parisien en 2011.



Jean-Marie Gimenez

est responsable produit des automatisations de métro CBTC chez Siemens Mobility France. Centralien, il a commencé sa carrière chez CGEE ALSTHOM en 1984 et, après divers projets et missions tant en France qu'à l'étranger au sein de Cegelec et d'Alstom, a rejoint les activités de signalisation ferroviaire de Siemens en 2008.

tra Wide Band » a été développé sur la Canarsie Line de New York : utilisation de la technologie UWB pour la localisation des trains, en lieu et place des sys- ●●●

“Siemens Mobility a développé une fonction de réinitialisation automatique d'un équipement CBTC sol (à la suite d'une perte d'alimentation ou d'une panne complète) sans avoir besoin de recourir à des conducteurs.”



Thomas Vaucher de la Croix

est ingénieur diplômé de l'Ecole centrale de Nantes. Il a rejoint Siemens Mobility France en 2018, en tant que responsable technique sur les offres Neoval en France et à l'international. Depuis 2019, il est également responsable des produits VAL et Neoval chez Siemens.



Cécile Roy

est diplômée de l'Institut d'études politiques de Paris. Elle est responsable de la communication chez Siemens Mobility France depuis 2018. Précédemment, elle a occupé des postes similaires aux Etats-Unis, dans le groupe Crown Cork & Seal, puis chez JCDecaux et Aéroports de Paris, en France.



Photo 3 : Airval – Aéroport Suvarnabhumi de Bangkok.

Le CBTC est au cœur du nouveau système Neoval

Siemens Mobility a décidé d'intégrer la technologie Trainguard MT CBTC au sein du système VAL pour former le Neoval, décliné en deux applications : une déclinaison urbaine avec le Cityval et une déclinaison aéroportuaire avec l'Airval.

Le système Neoval (figure 4) comprend non seulement le matériel roulant et les automatismes de conduite mais également le centre de contrôle, le multimédia, la voie, l'alimentation électrique, les façades de quais et les équipements nécessaires à l'exploitation et à la maintenance. Tout a été conçu pour optimiser les interfaces et les performances, et tout spécialement l'interface entre le matériel roulant et les automatismes de conduite.

Le matériel roulant est conçu pour assurer des freinages 100 % électriques jusqu'à l'arrêt complet du train, ce qui permet de réduire de façon très importante la pollution de l'air générée par les particules de plaque de freins et de récupérer une énergie maximale, donc de réduire la consommation énergétique.

Le matériel roulant a été conçu en ayant une connaissance très approfondie des automatismes de conduite ce qui permet d'opti-

miser le système dans son ensemble et d'atteindre des performances équivalentes ou supérieures à celles des systèmes VAL existants.

L'intervalle théorique entre les trains peut descendre en dessous des 70 secondes (retournements inclus), ce qui représente une performance exceptionnelle avec des systèmes complexes. Ce travail collaboratif a permis de faire évoluer le système VAL d'une technologie analogique à une technologie digitale, et ainsi d'en tirer tous les avantages en ce qui concerne l'exploitation et la maintenance. En effet, les données remontées pour permettre aux opérateurs d'effectuer les opérations de maintenance en préventif, voire en prédictif, sont extrêmement nombreuses. Bénéficiant toujours d'une vision « système de transport » prise dans son ensemble, les systèmes offrent une forte valeur ajoutée aux opérateurs.

L'inclusion du CBTC dans les produits VAL a également permis une avancée majeure pour le CBTC Siemens en ce qui concerne la logique d'enclenchement. En effet, sur le VAL, la logique, dite de manœuvre, est incluse dans les automatismes de conduite au sol, ce qui évite la multiplication des équipements et donc améliore les temps de réponse et réduit les coûts d'investissement et de maintenance sur la durée. Aujourd'hui, cette logique de manœuvre

●●● tèmes traditionnels à base de balises de localisation et de capteurs d'odométrie embarqués.

Par ailleurs, les innovations se multiplient dans le domaine de la sécurité informatique : l'application de la loi de programmation militaire en France, et de façon plus générale le respect des normes IEC 62443 Security Level 3 dans le monde, apportent une valeur ajoutée importante dans le domaine de la lutte contre la cybercriminalité.

“ L’intervalle théorique entre les trains peut descendre en dessous des 70 secondes (retournements inclus), ce qui représente une performance exceptionnelle avec des systèmes complexes. ”

intégrée (LMI) est en cours de déploiement sur les lignes du Grand Paris Express, ce qui permettra de supprimer les postes d’enclenchement d’itinéraires : le CBTC contrôle directement les aiguilles et les itinéraires nécessaires au mouvement des trains. Les automatismes du CBTC ont ainsi apporté d’importantes améliorations au système VAL et vice-versa.

Le Cityval est aujourd’hui dans sa phase finale de test à Rennes dans le cadre de la ligne b du métro dans sa version Cityval

(voir photo en tête d’article). La version Airval est en cours de déploiement dans les aéroports de Bangkok et Francfort.

Conclusion

L’automatisation des systèmes de transport a beaucoup évolué depuis les premières applications au début du 20e siècle, en progressant dans le sens de plus de performance, de plus de flexibilité offerte aux exploitants et aux mainteneurs, de plus de qualité de service offerte aux passagers, tout

en augmentant dans le même temps leur niveau de sécurité.

Les systèmes de pilotage automatique Trainguard MT CBTC :

- garantissent des intervalles courts sur les lignes en service commercial ;
- s’appuient sur des technologies de base reconnues pour leurs très grandes sécurité et fiabilité dans les lignes sans conducteur ; des processus de développement et de déploiement éprouvés et maîtrisés. La digitalisation, prise en compte à tous les étages de la conception des produits, est un vecteur d’optimisation de l’exploitation et de la maintenance, avec le bénéfice d’un retour multi-réseaux, accélérant la mise en place des solutions de maintenance prédictive les plus pertinentes ;
- offrent un haut niveau de disponibilité et de maintenabilité perçues parmi les meilleures au monde. ■

Résumé

Dans toutes les grandes métropoles, les besoins de transport des biens et des personnes augmentent et nécessitent des systèmes de transport en commun toujours plus performants. Aujourd’hui, et encore pour longtemps, le métro et les trains urbains sont les réponses offrant le plus de capacités : un train peut transporter jusqu’à 3 000 personnes et deux voies de RER à Paris équivalent à une autoroute de deux fois quatorze voies. Le défi est alors d’optimiser, accélérer, fluidifier, flexibiliser et rendre plus robuste la circulation de ces métros et trains en zone urbaine dense, ceci en garantissant la plus haute sécurité. Pour cela, la solution développée par Siemens Mobility appelée CBTC (*Communications-Based Train Control*) devient, par son architecture et son logiciel, la véritable intelligence de la circulation des trains. Siemens Mobility continue à faire évoluer cette solution en fonction des besoins des clients, pour leur fournir des systèmes d’automatismes toujours plus performants. ■



Abstract

The saturation of large cities is creating a growing need for efficient public transit systems. Today, and for the foreseeable future, metro and urban trains offer the biggest transit capacity: one train can carry up to 3,000 people, and two RER tracks in Paris are equivalent to a motorway with two times fourteen lanes. The challenge is therefore to optimize, accelerate, make these metros and trains run more smoothly, flexibly and robustly in highly populated urban areas, while guaranteeing the highest possible safety. The solution developed by Siemens, called «Communications-Based Train Control», becomes, through its architecture and software, the true intelligence of train traffic. Siemens Mobility continues to conceive and develop this mobility solution based on its customer needs, in order to deliver ever more efficient urban transport systems. ■