

## ➤ Des fréquences pour la 5G industrielle

**Le problème est posé dans tous les pays : faut-il attribuer des fréquences privées de 5G aux acteurs verticaux industriels et institutionnels, comme les grandes entreprises industrielles et les organismes de transport, d'énergie, de police et les militaires ? Si oui, quelles fréquences leur attribuer et sur quels territoires géographiques ?**

La 5G n'a pas jusqu'à présent élaboré une réponse recueillant le consensus international. Les instances de normalisation ont défini les possibilités offertes aux réseaux privés de se connecter d'une manière plus ou moins proche ou dépendante du réseau public 5G<sup>1</sup>. La façon concrète de réaliser les réseaux privés est soumise aux situations réglementaires et tarifaires nationales. De plus les réseaux privés prévoient le plus souvent de s'équiper de leurs propres stations radio e-NodeB pour lesquelles ils doivent disposer d'autorisation d'émettre. La situation de disponibilité des fréquences varie d'un pays à l'autre, en tout cas d'un continent à l'autre. Les procédures d'attribution des licences et autorisations d'émettre sont nationales.

### Aux Etats-Unis

La FCC a autorisé la 5G à émettre dans les fréquences 3,7-3,98 GHz. Elle a ordonné le déplacement des fréquences des services satellites fixes FSS entre 4,0 et 4,2 GHz et restreint la bande de garde entre les fréquences 5G et celles des radioaltimètres des avions à 220 MHz. Elle a estimé que les radioaltimètres des avions devaient se protéger mieux des interférences. Aux équipements aéronautiques de s'adapter.

### Dans l'Union Européenne

De nombreux pays ont déjà pris des mesures nationales et certains ont commencé à attribuer des fréquences, comme l'Allemagne. La commission européenne a demandé à la CEPT de travailler pour l'harmonisation de l'utilisation de la bande 3,8-4,2 GHz pour la connectivité de réseaux locaux avec une échéance en mars 2024.

Les principales difficultés à résoudre sont liées :

- à la présence de stations fixes de systèmes satellites FSS en bande C (communication descendante), qui ne doivent pas

être perturbées, ainsi qu'à de futures installations de stations supplémentaires dans cette bande, qui doivent toujours être possibles ;

- à la proximité des bandes utilisées par les radioaltimètres des avions (4,2- 4,4 GHz) qui ne supporterait pas sans danger un brouillage dans des zones autour des pistes des aéroports<sup>2</sup>. En effet, le radioaltimètre est un élément dont la fiabilité est vitale dans les procédures d'atterrissage aux instruments par faible visibilité. Notons que ce problème, découvert et quantifié par la FCC aux Etats-Unis, a entraîné des conséquences techniques et réglementaires nombreuses, dont l'une vise à augmenter les performances du filtre en entrée des radioaltimètres de tous les avions équipés pour le vol aux instruments (projet dont la réalisation nécessite une noria industrielle importante, dont la durée estimée est de plus de 5 ans).

On doit noter que certains problèmes sont déjà identifiés, comme ceux liés à la limitation de la puissance d'émission qui ne permettra pas une couverture *outdoor* facile (il faudra multiplier les points d'émission et ça sera coûteux). D'autres problèmes nouveaux apparaîtront comme les brouillages entre réseaux dus à des synchronisations TDD différentes, renforcés par des choix de répartition des canaux montants/descendants différents de celui des autres réseaux 5G, opérateurs mobiles ou verticaux. Ceci visera à offrir une capacité supplémentaire au canal montant, par exemple à usage de vidéosurveillance. Les contraintes techniques viseront à séparer de manière radioélectrique plus efficacement les réseaux ayant des synchronisations différentes, par des contraintes supplémentaires.

Les contraintes techniques déjà identifiées sont relatives aux stations sol de service satellite fixe FSS en bande C (3,8-4,2 GHz), qui sont en France une quinzaine. La décision de l'ARCEP sur ce point est d'empêcher leur perturbation en interdisant l'émission d'un champ radioélectrique en direction de l'antenne au-dessus d'un certain niveau. Celui-ci est caractérisé pour chaque antenne et pour chaque direction d'arrivée du champ électromagnétique.

Les contraintes aéronautiques dues au fonctionnement des radioaltimètres des avions sont formulées depuis 2021 et sont sous surveillance, en particulier par la FCC et l'Aviation Civile aux Etats-Unis. Cette série de contraintes, décrite par l'ANFR, s'applique dans le périmètre géographique des aéroports et à proximité dans l'axe des pistes.

1 Cf. P.Collet in REE 2021-1 « Les réseaux privés mobiles »

2 Cf. D. Manteau in REE 2022-2 « Les émissions 5G interfèrent avec les radioaltimètres des avions de ligne »

## En France

Le guichet ouvert par l'ARCEP aux entreprises « verticales » existe depuis 2020, où il attribue des fréquences dans la bande 38 en 2,6 GHz TDD.

Depuis mi-2022, le guichet traite aussi les demandes dans la bande 3,8-4,0 GHz, bande adjacente à celles attribuées aux opérateurs mobiles pour leur déploiement 5G. Le but est de permettre des déploiements de couvertures locales avec des puissances faibles ; typiquement on pourra traiter l'intérieur d'un bâtiment ou d'un campus industriel, tout en respectant des limitations dues aux interférences possibles avec les stations SATCOM du service fixe satellite et avec les contraintes aéronautiques.

### 13 licences expérimentales ont déjà été attribuées

Cette possibilité d'une licence temporaire est intéressante pour ceux des acteurs verticaux qui sont déjà fermement décidés à s'équiper d'un réseau 5G privé. Elle leur permet de lancer leurs études et donne un cadre juridique aux premières réalisations sur le terrain, en attendant les conclusions prévues en mars 2024 des travaux de la CEPT qui harmoniseront les conditions techniques dans l'Union européenne. Au pire, un rétrofit des premières installations devrait être envisagé, si les conditions d'harmonisation en 2024 sont sensiblement différentes de celles définies pour l'expérimentation.

Dans le même temps l'ARCEP a lancé une consultation des acteurs potentiels « verticaux » pour recueillir leurs avis sur des modalités de fonctionnement futures du guichet 5G « privée » dans la perspective de l'attribution de licences permanentes.

## En conclusion

On comprend que les fréquences aujourd'hui offertes aux « opérateurs verticaux » leur permettront de réaliser les réseaux dont ils ont besoin, malgré le faisceau lourd de contraintes auxquels ils seront soumis. Les établissements industriels pourraient être couverts, usine et campus *outdoor* et bâtiments *indoor*. Une certaine possibilité est ouverte pour la couverture en extérieur avec la bande 38 à 2,6 GHz TDD, qui est proposée depuis 2020, et permet des couvertures surfaciques importantes, tout en limitant le nombre de réseaux possible à un, voire deux, dans un partage d'espace radioélectrique. Ces possibilités vont se matérialiser dans les mois à venir avec la délivrance de licences et autorisations d'émettre permanentes dans la bande 3,8-4,0 GHz, ce qui permettra de grands projets comme le réseau RRF élaboré pour le ministère de l'intérieur et la Gendarmerie d'utiliser des fréquences 5G privées. ■ DM

## Nouveaux records de confinement magnétique pour la fusion

**Des centrales expérimentales développent depuis les années 1960 des réacteurs utilisant la fusion nucléaire par confinement magnétique sous le nom de Tokamak. De nombreux pays se sont lancés dans ces développements que ce soit dans un contexte national comme le MAST anglais, le KSTAR coréen ou le EAST chinois ou international comme ITER. Les Coréens notamment ont récemment annoncé des temps records de maintien en température du plasma de fusion.**

### Introduction

Parmi les futures sources de production d'énergie, la fusion nucléaire représente une alternative à l'énergie nucléaire car cette technologie a l'avantage de ne pas créer de déchets ; en revanche, elle présente l'inconvénient de nécessiter des conditions très difficiles à reproduire car les noyaux de deutérium et de tritium, qui fusionnent pour produire un noyau d'hélium, nécessitent une température d'au moins 100 millions de degrés. Il se crée alors un plasma, un état de la matière dont la densité doit être suffisante et maintenue afin que d'autres noyaux d'atomes se rencontrent et fusionnent de manière continue et produisent de l'énergie. En théorie, on obtient alors une source d'énergie peu coûteuse et inépuisable. Nous avons dans la REE (2016-4, 2021-2, 2022-2) déjà évoqué certains aspects de ces programmes et nous revenons ici pour présenter le programme coréen ainsi que l'avancement du tokamak anglais mais aussi les difficultés que rencontre le programme ITER alors que la Chine prévoit de son côté la construction d'une centrale hybride fusion et fission pour 2028.

Les progrès constants se mesurent en temps de maintien en fusion du plasma créé. Malgré les progrès réalisés ces dix dernières années par des entités publiques ou privées, aucun laboratoire dans aucun pays n'est encore parvenu à construire un réacteur produisant plus d'énergie qu'il n'en faut pour initier la réaction de fusion.

### Le tokamak coréen KSTAR

La Corée a lancé en 1995 la construction d'un dispositif de recherche sur la fusion utilisant des supraconducteurs, appelé KSTAR (*Superconducting Tokamak Advanced Research*). C'est le premier réacteur à fusion expérimental coréen à

- base de supraconducteurs (figure 1). C'est un tokamak qui utilise des aimants supraconducteurs toroïdaux et poloïdaux. L'objectif du KSTAR est d'atteindre et de maintenir une température ionique supérieure à 100 millions de degrés durant 300 secondes d'ici 2025.

L'expérience KSTAR a établi son premier record mondial en 2016, lorsqu'elle est parvenue à maintenir un plasma à 50 millions de degrés pendant 70 secondes. La barre des 100 millions de degrés a été franchie en 2018, l'expérience n'a duré que 1,5 seconde. En 2019, le KSTAR a atteint un nouveau record avec 8 secondes et est passé à 20 secondes en 2020. Le 8 septembre 2022, les scientifiques de l'Institut coréen de l'énergie de fusion, où est implanté le KSTAR, ont annoncé avoir réussi à maintenir un plasma à 100 millions de degrés pendant 30 secondes ce qui constitue un nouveau record. L'amélioration de la technologie de contrôle du plasma et l'optimisation des conditions de champ magnétique ont permis de garder le plasma extrêmement chaud pendant ce temps record.

Plusieurs techniques sont utilisées pour confiner le plasma et l'amener à ces températures et différentes formes de champs magnétiques également. Certaines expériences utilisent ce que l'on nomme une « *edge transport barrier* » (ETB), c'est-à-dire une barrière autour du plasma qui provoque une diminution de la pression près de la paroi du

réacteur ce qui empêche les contacts de la chaleur du plasma avec les parois. D'autres configurations utilisent une « *internal transport barrier* » (ITB), qui crée une pression plus élevée près du centre du plasma et une moindre pression sur la périphérie.

L'équipe sud-coréenne a testé une nouvelle technique, en modifiant l'ITB de manière à ce que la densité de plasma soit beaucoup plus faible, tout en augmentant les températures au cœur du plasma. D'après leurs responsables, une faible densité de plasma, combinée à une puissance d'entrée modérée, est la clé pour établir le régime souhaité en préservant une fraction élevée d'ions rapides qui contribuent à stabiliser le plasma ; cette approche est appelée « *fast-ion-regulated enhancement* » (FIRE). L'expérience de septembre a été arrêtée au bout de 30 secondes en raison des limitations du matériel.

### Le Tokamak britannique

West Burton, dans le nord du Nottinghamshire, a été choisi comme futur site du prototype de centrale d'énergie de fusion *Spherical Tokamak for Energy Production* (STEP). Un prototype de centrale nucléaire à fusion - peut-être le premier prototype de réacteur nucléaire commercial au monde - sera construit au Royaume-Uni d'ici 2040, a déclaré le secrétaire à l'énergie et aux affaires industrielles Jacob Rees-Mogg.



Figure 1 : Le KSTAR, tokamak de la Corée du sud.

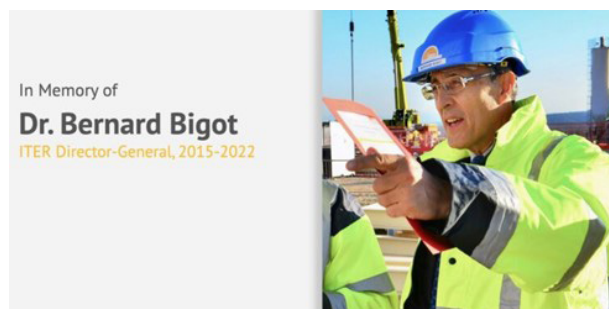


Figure 2 : Le montage du réacteur ITER se poursuit activement – Crédit photo : Juliette Raynal/La Tribune.

Il a précisé à la conférence du Parti conservateur que la centrale d'énergie de fusion qui fait partie du programme STEP de 220 millions de livres sterling, piloté par l'Autorité britannique de l'énergie atomique (UKAEA), remplacerait la centrale électrique au charbon de West Burton qui devait être fermée cette année. Le site de West Burton a été choisi parmi une liste restreinte de cinq emplacements possibles pour l'usine. Les autres sites que le gouvernement avait envisagés comprenaient Ardeer, dans le North Ayrshire ; Goole, dans l'East Riding of Yorkshire ; Moorside, en Cumbrie ; Ratcliffe-on-Soar, dans le Nottinghamshire, et Severn Edge, dans le Gloucestershire. Selon la *Nuclear Industry Association*, STEP devrait contribuer au développement d'une chaîne d'approvisionnement locale et régionale et à la création d'emplois qualifiés à long terme. Ces développements témoignent d'une solide confiance des autorités britanniques dans le développement industriel de la fusion.

## ITER

Le programme international ITER a été endeuillé cet été par la disparition de son directeur général Bernard Bigot décédé le 14 mai 2022. Il était depuis 2005 le directeur général du projet international ITER et avait imprimé sa compétence et sa diplomatie à ce projet multinational. ITER Organisation a affirmé dans un communiqué que la disparition prématurée de Bernard Bigot sera douloureusement ressentie par la communauté mondiale de recherche sur la fusion. Après un interim assuré par le Directeur-adjoint, Eisuke Tada, le Conseil ITER a nommé le 15 septembre Pietro Barabaschi comme nouveau directeur général d'ITER.



La guerre en Ukraine était une source d'inquiétude pour le programme car la Russie fait partie du consortium ITER et devait livrer une partie de l'électro-aimant poloidal destiné à créer un champ magnétique puissant pour confiner le plasma et déclencher les réactions de fusion. Il a fallu huit ans de travail aux ingénieurs russes pour le concevoir et - bonne nouvelle - malgré le conflit, ce matériel vient de quitter Saint-Pétersbourg à bord d'un navire pour être ensuite intégré au Tokamak en cours d'assemblage.

Sur un plan national le CEA espère décrocher une enveloppe de plusieurs dizaines de millions d'euros pour financer une étude de faisabilité d'une centrale à fusion nucléaire plus compacte que le réacteur Iter. L'objectif de cette étude serait d'éviter les écueils d'ingénierie qui découlent de la dimension du tokamak ITER. Un projet national de fusion nucléaire permettrait aussi à la France d'avancer plus rapidement sur cet immense défi technologique alors que la course internationale s'intensifie.

## ●●● Le soleil chinois

Le 30 décembre 2021, l'équipe de l'*Experimental Advanced Superconducting Tokamak* (EAST), installé à l'Institut de physique des plasmas de Hefei, annonçait avoir réussi à maintenir un plasma pendant plus de *17 minutes à plus de 70 millions de degrés*. Les ambitions de la Chine en matière d'énergie de fusion semblent désormais illimitées car celle-ci vient de communiquer des plans particulièrement ambitieux. En effet la Chine prévoit de disposer de l'énergie de fusion d'ici les six prochaines années avec une centrale combinant la fusion et la fission avec une tout autre technologie que le confinement magnétique. L'énergie de fusion produite ne sera pas utilisée directement pour alimenter le réseau électrique. L'objectif est de créer un flux de particules rapides qui viendra frapper l'uranium, le combustible de la composante « fission » de l'installation. C'est donc le principe d'une centrale hybride, reposant à la fois sur l'énergie de fusion et de fission, que souhaite construire Pékin. ■ ML

## ➤ Industrie électronique : Le groupe Lacroix Electronics a inauguré sa nouvelle usine dans le Maine et Loire

**Une nouvelle usine de production inaugurée en France, qui plus est dans un secteur que l'on croyait entièrement aux mains des pays asiatiques, voilà qui témoigne des possibilités de réindustrialisation redevenues dans l'air du temps.**

Si le groupe Lacroix a été créé en 1936, avec une activité historique dans la signalisation routière, la création d'une filiale dans l'électronique, devenue Lacroix Electronics, remonte à 1971. Spécialisée en conception et production d'ensembles électroniques, comme des systèmes embarqués et des objets connectés industriels, l'activité électronique de Lacroix couvre des secteurs variés tels que : automobile, domotique, avionique civile, défense et santé. Depuis environ 20 ans, le groupe intègre la connectivité dans ses productions et a vite compris les enjeux de l'Internet industriel des objets (ou IIoT) qui offre des opportunités multiples qu'il s'agisse de la performance industrielle, de la connexion entre les machines et les systèmes d'information ou du concept de l'opérateur augmenté. Rien de très surprenant alors à ce que le groupe se soit engagé dans la construction d'une nouvelle usine qui soit une parfaite illustration de concept d'industrie 4.0 <sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Rappelons que dans son numéro 2021-5, la REE a consacré un dossier complet à l'industrie 4.0 ; voir <https://see.asso.fr/produit/ree-2021-5/>.

C'est en 2018, qu'émerge l'idée de construction d'une nouvelle usine en France pour remplacer celle de Montrevault-sur-Evre, devenue obsolète et trop à l'étroit dans ses 12 000 m<sup>2</sup>. En juin 2019, Lacroix réalise un pas déterminant en choisissant la commune de Beaupréau-en-Mauges pour accueillir le nouveau site industriel. Ce site devait répondre aux critères suivants :

- proximité d'axes routiers, de Nantes et d'Angers ;
- présence d'une zone industrielle regroupant crèches, restaurants et hôtels ;
- proximité avec l'ancien site (8 km de distance les séparent), pour maintenir les 460 emplois, et les relations avec les partenaires régionaux.

L'ensemble du projet porte le nom de Symbiose <sup>2</sup>. Il ne manque pas d'ambitions en définissant « 3 axes déterminants » :

**1) La disruption technologique et digitale** pour s'imposer comme le fer de lance d'un renouveau de l'industrie en France, et comme le symbole européen d'une industrie électronique ouverte, collaborative et connectée à son environnement local, régional et international.

**2) La responsabilité environnementale.** L'efficacité énergétique de SYMBIOSE passe par le déploiement de technologies éprouvées aussi bien en termes de process industriels, de sensibilisation en interne que de concepts architecturaux présents dès la construction de l'usine (l'usine a été conçue selon les méthodes du *Building Information Modeling* ou BIM <sup>3</sup>). Pleinement connectée à son Smart Grid régional (énergie renouvelable), l'usine 4.0 intègre les solutions intelligentes et durables les plus récentes (circuits courts, recyclage des intrants dans l'usine...).

**3) L'innovation sociale.** Le projet SYMBIOSE se construit sur la base d'un travail collaboratif où l'ensemble des futurs salariés du site s'engagent pour définir leur futur outil de travail et les lieux de vie de demain. L'axe social du projet s'illustre aussi par l'accompagnement proposé aux collaborateurs : formations, qualifications, conduite du changement. Bien évidemment, cette innovation ne pourra se faire qu'avec l'aide de tout l'écosystème de start-ups, d'écoles, de centres de recherche et d'industriels du territoire.

<sup>2</sup> L'historique du projet Symbiose a fait l'objet d'une websérie en 5 épisodes : <https://www.lacroix-electronics.fr/smart-stories/smart-industry-fr/osez-symbiose-lusine-du-futur-lacroix-lance-sa-webserie-dediee-a-lindustrie-electronique/>.

<sup>3</sup> Consulter par exemple [https://fr.wikipedia.org/wiki/Building\\_information\\_modeling](https://fr.wikipedia.org/wiki/Building_information_modeling), pour en savoir plus sur le BIM.



Figure 1 : Le nouveau bâtiment récemment inauguré (source : groupe Lacroix).

Le nouveau bâtiment est d'une superficie de 19 000 m<sup>2</sup>. Sa réalisation a été possible grâce au soutien de l'Etat via les 15 millions d'euros apportés par Bpifrance. La Région Pays de la Loire a accordé une aide de 1 million d'euros et le groupe Lacroix a investi 10 millions d'euros. Avec quelques mois de retard par rapport au planning initial, situation sanitaire oblige, l'inauguration a eu lieu le 8 septembre 2022 <sup>4</sup>, en présence de Roland Lescure, ministre délégué chargé de l'Industrie.

La stratégie du groupe a été d'automatiser au maximum l'usine pour gagner en performance opérationnelle. A titre d'exemple, un des points d'orgue du site est le magasin de stockage des composants. Lacroix a fait appel à la start-up lilloise Exotec <sup>5</sup> pour mettre en place une gestion automatisée des stocks des quelques 500 millions de composants utilisés dans la préparation de commandes.

Pour le Groupe Lacroix, l'objectif est d'atteindre dans les 5 ans un chiffre d'affaires de 100 millions d'euros soit un quasi doublement par rapport à la situation actuelle. A cette échéance, le parcours client suivant devrait se rapprocher de la description suivante :

*« Les clients et partenaires se connecteront via une interface simple et intuitive pour suivre toute l'évolution du produit, de la conception à la livraison, en toute transparence. Ils pourront définir leur besoin et obtenir une estimation de prix et de délais.*

*Dès la validation de la commande, le projet sera confié aux ingénieurs des bureaux d'études. Assisté par des algorithmes complexes, le conseiller technique sélectionnera les meilleures combinaisons hardware, software et mécatronique pour obtenir le produit le plus performant. Il se projettera dans la phase de production de*

<sup>4</sup> L'évènement a été quelque peu éclipsé par le décès d'Elisabeth II, reine d'Angleterre, survenu le même jour.

<sup>5</sup> <https://www.usine-digitale.fr/article/le-lillois-exotec-va-robotiser-l-usine-4-0-de-lacroix-avec-ses-skypod.N1073029>.

*la commande grâce au clone digital de l'usine sélectionnée. En anticipant la fabrication en série du produit, tous obtiendront un gain de temps et d'argent.*

*Les machines de production seront toutes connectées au cloud, ce qui permettra de connaître l'avancement de la commande. Interconnectées, les machines se réguleront en temps réel. L'intelligence artificielle leur permettra de réaliser des analyses prédictives, ce qui contribuera à l'amélioration de la qualité et à la fiabilité des délais de livraison. Les postes d'assemblage se construiront selon les besoins, et l'opérateur sera assisté par plusieurs machines. Grâce à la réalité augmentée, l'opérateur saura précisément où positionner les pièces mécaniques. Un robot collaboratif l'aidera également pour les tâches répétitives.*

*La commande terminée, le client pourra voir, en consultant le portail de LACROIX Electronics, la date à laquelle les produits seront livrés. »*

Rappelons enfin que LACROIX Group est une ETI familiale cotée (70 % de capitaux familiaux, 30 % de capitaux cotés sur le compartiment C d'Euronext). D'une part, cette identité confère au Groupe une agilité indispensable à l'innovation, d'autre part, elle incite le Groupe à s'ancrer dans son territoire, à transmettre et à envisager le monde sur le long terme. L'expérience du Groupe lui a permis de se projeter, depuis son siège de Saint Herblain en France, vers l'international (Belgique, Espagne, Allemagne, Pologne, Italie, Tunisie, Singapour, USA, Mexique), et d'être reconnu comme un équipementier technologique proposant son excellence technique et industrielle à un monde de plus en plus connecté.

Exprimons un regret pour terminer. L'ouverture de cette nouvelle usine se veut un exemple de la réindustrialisation pour notre pays. Dommage qu'à travers sa communication, Lacroix cède aux sirènes du volapuk linguistique à la mode ; ainsi, par exemple, le groupe met en avant « l'exploitation smart de la data ». Nul doute que cette ambition repose sur un « Project manager ». ■ JC



### Le Cityval de Siemens Mobility a été mis en service sur la ligne b du métro de Rennes

**Le Cityval représente la toute dernière génération de métro automatique conçue par Siemens Mobility. Il se caractérise par un niveau de performance élevé et dispose de nombreuses fonctionnalités innovantes. Depuis septembre 2022, Cityval équipe la deuxième ligne de métro de la métropole rennaise.**

#### Le choix de la technologie Cityval

Produit phare de Siemens Mobility, le VAL, premier métro au monde entièrement automatique et sans conducteur, a été mis en service à Lille en 1983 et en 1996 sur la ligne a du métro de Rennes, ou encore à Paris, Turin, en Corée du Sud, etc. Le VAL a ainsi déjà transporté avec plus de 1000 voitures, plus de 5 milliards de passagers en toute sécurité, dans 5 aéroports et 14 villes.

Ce savoir-faire n'a cessé d'évoluer, afin d'offrir toujours plus de capacité de transport et de flexibilité d'exploitation aux opérateurs de transport et de confort des voyageurs. Le Cityval est le dernier né de cette famille et depuis sa mise en service sur la ligne b du métro de Rennes le 22 septembre 2022, il ouvre une nouvelle page de cette histoire !

Remontons le fil de cette aventure : fin 2010, le marché est signé entre Rennes Métropole et SIEMENS Mobility SAS pour la mise en place d'un nouveau type de matériel : le Cityval. Ce système de transport a été préféré à deux autres solutions : le Val de Siemens, qui équipe déjà la ligne a, et le LIM de Bombardier.

Le système Cityval est basé sur les équipements principaux suivants :

- un matériel roulant moderne, véhicule à pneus sur voie en béton avec un guidage central, développé avec des objectifs d'optimisation des performances et des coûts de maintenance qui s'appuient sur des méthodes connues et maîtrisées ;
- le système d'automatismes CBTC «Trainguard» intégrant un système de communication radio haute performance <sup>1</sup>. Ce dernier permet d'adapter de manière dynamique et en temps réel la composition du carrousel de rames en exploitation, en fonction du trafic voyageurs. Le système d'automatismes fourni par Siemens Mobility pour le Cityval de Rennes autorise un intervalle minimum de 60 secondes, ce qui permet de proposer une offre de transport avec une fréquence élevée ;

<sup>1</sup> CBTC ; Communication based train control. Pour plus de détails sur le système CBTC développé par Siemens Mobility, le lecteur pourra se référer à l'article REE 2020-3, 150-161.



- une intégration générale du système de transport pour permettre à l'opérateur et au service de maintenance d'exploiter la ligne avec tous les moyens et toutes les informations nécessaires de façon optimisée.

Ce système garantit notamment une évolutivité de l'offre de transport, grâce à la possibilité d'ajouter au cours de son exploitation une troisième voiture, augmentant ainsi considérablement la capacité de transport.

Plus large que le Val actuellement en exploitation sur la ligne a de Rennes (2,65 m de large au lieu de 2,08 m), le Cityval est, comme le Val, accessible aux personnes à mobilité réduite. Accessible de plain-pied depuis les quais, il est doté de larges portes d'1,95 m et d'une large intercirculation entre les rames, ce qui permet d'optimiser les flux de voyageurs à l'intérieur comme vers l'extérieur, et de faciliter les échanges de passagers en station.

Grâce à un vitrage du sol au plafond, le Cityval est extrêmement lumineux. Equipé d'un système d'affichage et d'information digitale en temps réel ainsi que d'un système de vidéo-surveillance, il ajoute modernité, sécurité et confort au réseau de métro rennais.

### Les atouts du système Cityval

Le système permet une très forte capacité d'accélération ainsi qu'une insertion urbaine facilitée grâce aux caractéristiques du matériel qui supporte des pentes très élevées (8 %) et des courbes serrées. Le concept Cityval permet également d'optimiser le dimensionnement de l'infrastructure et la taille du garage atelier tout en assurant la capacité de transport attendue avec un haut niveau de performance en exploitation.

Les innovations apportées notamment au niveau de la dalle béton, du rail de guidage et des aiguillages permettent une optimisation des coûts sur l'ensemble de la durée de vie du projet, coûts d'infrastructure et coûts de maintenance, ainsi qu'une flexibilité plus grande dans les tracés définis.

## Le Cityval de Siemens Mobility en chiffres

**22,4 m** de longueur totale (pourra atteindre 33,6 m avec une troisième voiture)

**2,65 m** de largeur

**179** places dont 26 assises ; 8 sièges relevables et 1 emplacement pour fauteuil roulant

**80 km/h** de vitesse maximale

**67 km/h** de vitesse de croisière, **36 km/h** de vitesse moyenne d'exploitation (arrêts compris)

**21 minutes** environ de temps de trajet entre les terminus

**21 rames** aux heures de pointe sur un parc total de 25 rames composées de 2 voitures

**60 secondes** d'intervalle minimum entre deux trains

**40 ans** d'expérience dans les solutions de métros automatiques

### Caractéristiques environnementales

Le Cityval est un matériel conçu dans un souci de diminution des impacts environnementaux :

- sa consommation d'énergie a été réduite grâce à la gestion du mouvement des trains automatisés permis par le système CBTC, mais aussi à un système innovant de stockage et de réutilisation de l'énergie embarquée ;

- le système de freinage 100 % électrique jusqu'à 0 km/h permet des économies d'énergie de l'ordre de 15 % et une quasi absence d'émission de particules ;

- Le matériel roulant est recyclable à 95 %.

### Les fournitures du marché rennais

Dans un premier temps, chaque rame est constituée de deux voitures non séparables d'une longueur totale de 22,4 mètres, avec la possibilité de circuler d'une voiture à l'autre. ●●●



- À plus long terme, l'augmentation de fréquentation de la ligne au-delà de 9 000 personnes transportées par heure et par direction (soit 200 000 voyageurs par jour avec une fréquence de l'ordre d'un train par minute aux heures de pointe) nécessitera l'évolution des rames par l'adjonction d'une troisième voiture pour former un triplet, ainsi que la mise en adéquation des équipements associés au triplet : portes palières et automatismes.

Le système, y compris avec la troisième voiture, s'intègre dans les stations de 35 m de portes palières des quais de stations.

Dans le cadre de ce marché, il est prévu que Siemens Mobility fournisse un système complet comprenant :

- 25 rames de 2 voitures ;
- un système d'automatismes permettant une circulation automatique des rames en toute sécurité avec une excellente performance et une supervision du trafic et de l'ensemble des événements qui se produisent sur la ligne de métro (à bord comme au sol) pour créer un lien optimal entre l'exploitation et la maintenance ;
- l'infrastructure de voie : dalle de béton, rail de guidage et d'alimentation, aiguillages, passerelles d'évacuation pour permettre la circulation des rames et des personnes en toute sécurité ;
- les postes électriques haute et basse tension pour livrer l'ensemble de l'énergie nécessaire à tous les équipements connectés à la ligne b. L'ensemble du dimensionnement a été prévu pour aller jusqu'à la capacité ultime du métro sans changement majeur d'architecture ou de travaux de génie civil ;
- les façades de quai pour assurer une sécurité importante aux voyageurs tout en garantissant les performances attendues ;
- un système multimedia permettant au centre de contrôle d'avoir sur un seul poste l'accès à tous les moyens audio-

visuels de la ligne à bord comme au sol. Une intégration avec le système d'information voyageur de la ville a également été réalisée pour permettre une circulation intermodale fluide des voyageurs ;

- les équipements de dépôt et de l'atelier afin d'assurer au maintien de l'ensemble des outils et procédures nécessaires pour effectuer une maintenance efficace du système de transport ;
- toutes les activités transverses nécessaires à l'intégration générale du système (gestion de projet, gestion des interfaces, études de sécurité, fiabilité, tests de mises en service).

### Un projet français de coopération européenne

La nouvelle génération de transport automatique urbain sur pneus, Cityval, est née des recherches menées en France par Siemens Mobility et son partenaire de l'époque, Lohr Industrie, dans le cadre du programme de recherche et développement Neoval lancé en 2004. Fruit du savoir-faire de plusieurs entreprises françaises qui ont participé à la fabrication de ses pièces (mécanique, électrique, électronique), le Cityval est un projet d'envergure européenne développé afin de répondre aux enjeux de mobilité des villes d'aujourd'hui et de demain.

Ainsi, après plusieurs séries de tests et d'essais mécaniques, effectués notamment à Strasbourg, Siemens Mobility a repris la responsabilité complète du design et la conception du matériel. Le Cityval est assemblé à l'usine Siemens de Vienne, en Autriche, qui est en charge de l'activité internationale du Groupe pour les métros, les trams et les Val (véhicules automatiques légers).

Les équipes d'ingénierie et de développement du Cityval sont basées à Toulouse, où se trouve le centre de compétences mondial de Siemens Mobility pour les métros automatiques légers. Près de 250 personnes sur ce site concourent à mettre au point les projets utilisant les technologies VAL et Cityval.

Les automatismes inclus dans la technologie Cityval sont développés depuis le site de Châtillon, en Ile-de-France, qui constitue également un centre de compétences mondial de Siemens Mobility dédié aux automatismes ferroviaires. Près de 500 collaborateurs œuvrent au développement des systèmes CBTC pour équiper les métros automatiques partout dans le monde.

### Une première mondiale

Rennes est la première ville du monde à bénéficier de cette nouvelle technologie, avant les aéroports de Francfort et Bangkok qui verront leur mise en service dans les toutes prochaines années. ■ **FG et AB**

## ► Un trou noir dans notre basse-cour

**On découvre de plus en plus de trous noirs dans l'espace, jusque dans notre propre galaxie, notamment depuis la mise en service du télescope James West. Celui qui est décrit ici, sans rayons X émis, n'a pu être détecté que de façon indirecte (trou sombre) et c'est par ailleurs le plus proche de notre planète rapporté à ce jour.**

La découverte d'un trou noir d'environ 12 fois la masse du soleil et 100 millions de fois plus petit n'a rien de nouveau. Elle est rapportée dans « *Astrophysical Journal* » par le Dr Sukanya Chakrabarti, professeur de physique à l'Université de l'Alabama à Huntsville. Ce qui est en revanche remarquable est sa proximité toute relative à l'échelle cosmique, il est situé à 1 500 années-lumière de la Terre. Pour comparaison l'étoile la plus proche du soleil est à 4 années-lumière et le soleil à 8 minutes, mais ces 1 500 années-lumière ne représentent que 1 % de la taille de notre galaxie.

Les trous noirs sont difficilement observables car, bien que les étoiles et autres objets proches subissent leur attraction gravitationnelle, aucune lumière ne peut s'en échapper. Par conséquent, ils ne peuvent pas être détectés de la même manière que les étoiles visibles. On ne peut les détecter qu'à partir de l'émission de rayons X qui se produit dans leur environnement.

Pour mettre en évidence ce trou noir, le professeur Chakrabarti et son équipe de scientifiques américains ont

analysé les données de près de 200 000 étoiles binaires publiées au cours de l'été par la mission satellite Gaia de l'Agence spatiale européenne. Ils ont cherché des objets doubles de grande masse mais dont la luminosité pourrait être attribuée à une seule étoile visible équivalente au soleil. Ainsi la masse du partenaire de cette étoile qui est sombre peut se révéler être un trou noir. Cette méthode d'investigation a conduit à la découverte de ce trou noir à proximité de la Terre.

Mais il est remarquable non seulement parce que c'est le plus proche de la Terre jamais découvert mais surtout parce que c'est le premier trou noir vraiment sombre. Les vingt autres trous noirs connus jusqu'ici dans la Voie lactée sont tous en train de dévorer des nuages de gaz ou une

étoile proche, ils sont donc relativement faciles à détecter en observant les rayons X émis lors de ce très violent phénomène. Mais ici ce trou noir dort, les télescopes ne voient absolument aucune lumière. On se demande même s'il n'y a pas en fait deux trous noirs rapprochés qui tournent l'un autour de l'autre.

Le simple fait que celui-ci soit le plus proche de la Terre laisse penser que les trous noirs dormants sont plus nombreux que

les actifs. L'équipe scientifique estime pouvoir en trouver rapidement une douzaine d'autres à partir des données de Gaïa qui sont en cours d'analyse. Les modèles prédisent qu'il y a encore 100 millions de trous noirs dans notre galaxie. Jusqu'à présent on n'avait observé que les plus actifs.

« Si tu laisses entrer ton ennemi dans ta basse-cour, tu risques de le retrouver un jour dans ta cuisine » dit un proverbe chinois. ■ AD



■ Figure 1 : Image montrant l'emplacement du trou noir détecté -Source : Sloan Digital Sky Survey.