



WAVESTONE

WORLD'S BEST DRIVERLESS METRO LINES 2017

ÉTUDE DU MARCHÉ DU MÉTRO AUTOMATIQUE
ET BENCHMARK DE LA PERFORMANCE DES RÉSEAUX

Dans la ville intelligente de demain, le **trajet pendulaire** des citoyens prendra une part de plus en plus importante (en France, la longueur de ce trajet a crû de **63 % entre 1982 et 2008** selon l'INSEE).

En même temps, les habitudes des citoyens en matière de transport évoluent sous la pression d'une part, de la **responsabilité environnementale** davantage présente dans leur conscience et, d'autre part, de la congestion des centres villes. Le « **mix transport** » des moyennes et grandes villes a ainsi clairement basculé de la voiture individuelle vers le **transport en commun de masse**.

Face au défi de transporter toujours plus de passagers de manière **fluide et continue**, et à celui d'augmenter la **capacité des lignes déjà saturées**, le métro automatique apporte des réponses concrètes : cadence élevée (jusqu'à 60" pour le métro de Lille), **flexibilité élevée** (adapter la fréquence de service à la demande en temps réel), **haut niveau de service** (un service 24/7 comme celui de Copenhague) et **vitesse commerciale plus élevée** (jusqu'à 44 km/h à Vancouver).

En outre, le métro automatique réduit considérablement les **coûts opérationnels** de l'exploitation (jusqu'à 40 %) en apportant principalement de la **flexibilité dans les ressources humaines**. Cela permet de **réduire significativement le prix du transport en commun** et de le **démocratiser** davantage.

En profitant de tous ces bénéfices, le métro automatique répondra **stratégiquement dans les cinq prochaines années**

aux problématiques de **décongestion** des « *megacities* » qui se profilent dans les pays émergents en **Asie, en Afrique et en Amérique du Sud** et aux enjeux de **périurbanisation** des grandes villes très denses des pays développés de l'occident.

Dans ce panorama de « **smartisation** », **d'optimisation et de fluidification** de la mobilité urbaine la **France** ressort comme fleuron opérationnel du métro automatique. Le **dynamisme de ses autorités et de ses industriels** en la matière a propulsé le pays en tête de peloton du marché mondial du métro sans conducteur.

Il en ressort également que la performance du système de transport émane des **choix stratégiques** pris sur le long terme par l'autorité organisatrice des transports et des **choix tactiques et opérationnels** pris par l'opérateur.

L'autorité organisatrice des transports, de par sa vision, fige une **offre modélisée pour plusieurs années (généralement sur 10 à 30 ans)** répondant à une demande de mobilité **qui évolue en continu**. Ce choix qui semble avoir peu d'impact sur l'exploitation d'une ligne de métro s'avère en réalité être **déterminant** pour :

/ la **qualité de la mobilité** perçue par l'usager, étroitement liée à la **densité des stations** (variant entre 0,54 station/km pour Dubaï et 2,17 stations/km pour Lausanne), à la **cadence théorique et donc à la capacité du système de transport** (variant entre 1' pour le métro de Lille et 6' pour le métro de Dubaï), à la vitesse commerciale induite par le **choix du**

WAVESTONE

www.wavestone.com

La mission de Wavestone est d'éclairer et guider ses clients dans leurs décisions les plus stratégiques en s'appuyant sur une triple expertise fonctionnelle, sectorielle et technologique.

Fort de 2 500 collaborateurs présents sur 4 continents, le cabinet figure parmi les leaders indépendants du conseil en Europe et constitue le 1^{er} cabinet de conseil indépendant en France.

*Cf. glossaire en annexe.

matériel roulant et à l'accessibilité souvent standardisée par des normes strictes ;

- / la reprise de l'exploitation par l'opérateur qui dépend de la qualité du **bien de retour cédé par l'AOT et du vieillissement** du réseau et de son matériel roulant. En conséquence, des variables d'ajustement des **investissements et des coûts opérationnels** de maintenance sont à analyser et maîtriser pour l'opérateur.

L'étude montre que **l'opérateur** a un rôle bien plus important à jouer que l'AOT dans **l'amélioration du service délivré au client : l'expérience transport**. Il peut **contrebalancer des choix** pris par l'AOT et jugés comme étant non optimaux, en assurant **une ponctualité élevée, une régularité** (variant entre 93 % pour Lausanne et 99,73 % pour Taipei) et un ensemble de **services connexes** innovants qui transforment la mobilité urbaine.

De même, le **savoir-faire de l'opérateur** est important pour garantir une exploitation **efficace, fiable et surtout rentable**, en particulier pour des réseaux et matériel roulant vieillissants comme ceux de Lille (34 ans), Lyon (26 ans), Toulouse (24 ans) ou Taipei (21 ans). L'exploitation des réseaux de ce type peut facilement générer des coûts de maintenance non maîtrisés qui se répercutent directement sur l'AOT et l'utilisateur à travers un **prix de transport plus élevé**.

La **qualité du service** de transport **perçue** par le client serait liée également à des paramètres endogènes à l'exploitation et

indépendants des choix de l'AOT. Cette perception de la qualité s'illustre par un **niveau de satisfaction** passager mesuré soit par l'opérateur lui-même, dans **une logique d'autocontrôle** de ses propres indicateurs, soit par l'autorité organisatrice qui cherche à mesurer **l'écart entre les seuils fixés dans le contrat d'exploitation et la performance perçue par les usagers**.

Wavestone a choisi de comparer les niveaux de satisfaction de l'utilisateur concernant **deux domaines** pour lesquels la **marge de manœuvre de l'opérateur** est importante : la propreté et la sûreté des personnes. Pour la première, des lignes comme Lyon, Barcelone, Rennes et Taipei arrivent en tête avec des avis positifs des usagers qui atteignent **99,3 %** pour Lyon, contre moins de **70 %** pour Vancouver et Milan. Pour la seconde, **l'effort de l'opérateur est primordial** même si **le contexte sociodémographique** de la zone desservie par la ligne a un rôle important. Pour la sûreté, les lignes de Copenhague, Dubaï et Taipei sortent du lot avec des taux de satisfaction usager qui dépassent **90%**.

Néanmoins, la comparaison de la satisfaction des usagers entre les différents réseaux demeure un exercice délicat du fait de :

- / la différence en matière de **méthodologies de mesure** entre les différentes lignes et de la nature des enquêtes réalisées ;
- / la diversité entre les **différences socio-économiques et sociodémographiques** des quartiers desservis, des villes voire des pays ;

- / la perception différente des citoyens vis-à-vis de **sujets qualitatifs** (sûreté, propreté) en fonction de leur pays ;
- / le **périmètre de l'enquête** variable en fonction de son auteur (l'opérateur, l'AOT ou l'organisme tiers). Celui de l'autorité ou de l'organisme tiers est souvent plus large que celui de l'opérateur parfois impartial.

Enfin, dans son analyse, Wavestone adopte un **facteur de pondération** qui reflète la **vieillesse de l'infrastructure et**

du matériel roulant. À performance opérationnelle similaire, un réseau ayant des contraintes d'exploitation plus fortes dues à son âge, révèle une **compétence** et un **savoir-faire** potentiellement plus avancés de l'opérateur.

La modification de ce facteur peut avoir un impact sur le classement global : en le réduisant, les meilleures lignes du classement pourraient voir leur rang baisser, mais le « scoring » ne refléterait alors plus d'une manière exacte l'excellence des opérations.

Dans le cadre du développement de son expertise dans le secteur du transport, la **practice Transports & Voyage de Wavestone** a choisi d'approfondir le sujet du transport de masse en milieu urbain en s'appuyant sur le réseau existant de nos **bureaux étrangers** pour servir la base de connaissance de nos clients **locaux et internationaux**.

Le phénomène d'automatisation qui touche l'ensemble des modes de transport (véhicule autonome, bus autonome, hyperloop, etc.) a rapidement orienté l'étude vers le **métro automatique** : une technologie mature, en pleine expansion et dont les données sont accessibles, à la différence des systèmes disruptifs qui sont nouveaux et peu présents sur le marché.

Pour réaliser cette étude, **Wavestone** a figé le périmètre à un échantillon représentatif et cohérent :

- / des lignes de métros* automatiques transportant principalement des passagers réalisant des **parcours pendulaires** ;
- / les lignes de transport collectif automatiques de type Light Rail Transit LRT*, People Mover* ou Automated Guided Transit AGT* ne font pas partie de la cible de ce benchmark étant donné que leur contexte, leur service ainsi que

leur exploitation ne sont pas comparables aux systèmes « plus lourds » de type métro ni aux mêmes usages ;

- / parmi les 40 lignes de métros automatiques recensées dans le monde à février 2017, l'étude analyse la performance de **25 lignes** pour lesquelles l'information est jugée **disponible, accessible et fiable** notamment **grâce à nos bureaux étrangers** afin de fournir les éléments nécessaires à l'analyse comparative.

La présente étude s'appuie notamment sur :

- / une **récolte documentaire** de différentes sources et supportée par les implantations Wavestone à l'international ;
- / une **série d'entretiens** menés auprès d'acteurs majeurs du transport urbain et d'experts du domaine ;
- / un **travail d'analyse** permettant de comparer les différents lignes de métros automatiques selon trois axes : la performance de l'infrastructure et du matériel roulant ; la fiabilité et la qualité du service ; l'innovation adoptée par les différents opérateurs.

*Cf. glossaire en annexe.



Philippe Menespilier

Philippe Menespilier, Associé, a plus de 20 ans d'expérience dans le conseil en stratégie et management. Il a dirigé de nombreuses missions de conseil auprès des opérateurs du transport

urbain : réorganisation, stratégie industrielle, optimisation et excellence opérationnelle.

Il a également piloté des grands programmes de transformation auprès de plusieurs acteurs de l'infrastructure ferroviaire et il mène régulièrement des réflexions au sujet de la mobilité multimodale en milieu urbain auprès d'organismes publics & privés et d'autorités organisatrices des transports.

philippe.menesplier@wavestone.com



Aurélien Gué

Aurélien Gué est Senior Manager et expert des usages qui révolutionnent notre quotidien et qui vont bouleverser le business model des industriels.

Il a notamment conduit plusieurs études stratégiques dans les nouvelles mobilités (transport aérien, mass-transit, etc.) et piloté des projets de transformation de l'expérience voyageur et des opérations pour de grands acteurs du transport et du retail.

aurelien.gue@wavestone.com



Juliano Naoufal

Juliano Naoufal est consultant au sein de la practice Energy, Utilities & Transport. Suite à ses années d'études en Transport et Développement Durable à l'Ecole des Ponts ParisTech,

Juliano a démarré sa carrière dans le domaine du transport aérien avant de la poursuivre dans le conseil en transport et mobilité multimodale.

Généraliste du transport de passagers et de fret, expert en calcul d'externalités et analyse de l'impact environnemental, Juliano travaille régulièrement sur des études et benchmarks stratégiques pour le compte d'acteurs majeurs de la mobilité en France et à l'international : opérateurs, autorités organisatrices, équipementiers, etc.

juliano.naoufal@wavestone.com



Jonathan Longo

Jonathan fait partie de la practice Energy, Utilities & Transport de Wavestone.

Suite à plusieurs expériences opérationnelles dans le secteur de l'énergie (fonds d'investissement, banque,

producteur/distributeur d'énergie), il a eu l'opportunité d'accompagner plusieurs acteurs publics et privés dans le cadre d'analyses prospectives, de réalisation de modèles d'affaires/business cases, ou encore de construction de benchmarks.

Il intervient plus spécifiquement sur des problématiques situées à l'intersection entre énergie et transports : smart city, mobilité décarbonnée, etc.

jonathan.longo@wavestone.com



Franck Benoit

Franck Benoit, Business Analyst, débute sa carrière professionnelle dans le conseil en transports et voyage. Il est diplômé de l'Institut d'Etudes Politiques d'Aix-en-Provence, par-

cours Affaires Publiques, et d'un Master en Droit des affaires du Pôle Transports d'Aix-Marseille Université.

Sa double expertise l'amène à accompagner les opérateurs publics dans la conduite de leurs projets stratégiques. Il s'intéresse particulièrement aux relations entre les opérateurs de mobilité et les autorités organisatrices.

franck.benoit@wavestone.com

09 |

Introduction de l'étude

29 |

Description du périmètre et de la méthodologie

35 |

Synthèse de l'analyse comparative des métros automatiques

57 |

Benchmark détaillé des lignes de métros automatiques analysées

97 |

Annexes



INTRODUCTION DE L'ÉTUDE

LA MOBILITÉ, UN ENJEU MAJEUR DE LA VILLE DE DEMAIN

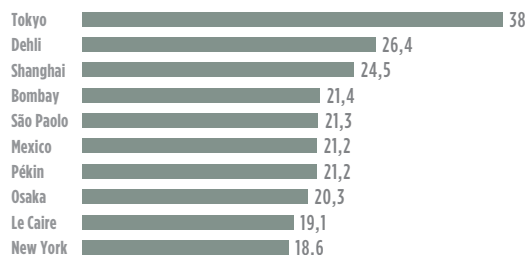
LE PHÉNOMÈNE D'URBANISATION* S'ACCENTUE AU SEIN DES MÉGAPLES MONDIALES, EN PARTICULIER DANS LES PAYS ÉMERGENTS

Le **paysage urbain mondial est en pleine mutation**. En 1950, seules les villes de New York et Tokyo dépassaient le cap des 10 millions d'habitants, en 2016 on en comptait 31 dont 6 en Chine et 5 en Inde, en 2030 elles

seront 41. Si l'on compte aujourd'hui environ 7,3 milliards de personnes dans le monde, dont plus de 54,5 % d'urbains, en 2050, la population mondiale sera d'environ 9,7 milliards, dont **plus de 65 % vivront en ville**.

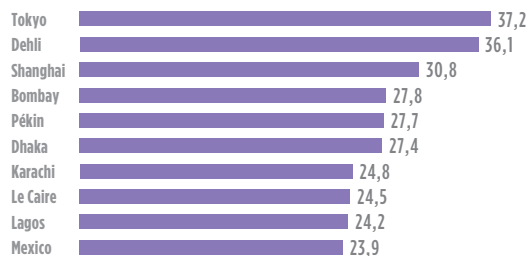
La multiplication des **mégapoles** est à l'œuvre ; cela correspond au processus d'étalement urbain qui permet à une ville de jouer le rôle d'interface grâce à un système de transport efficace :

2016 - Top 10 des villes dans le monde (population en millions d'habitants)



- La Chine (19% de la population mondiale) et l'Inde (18% de la population mondiale), ayant plus d'un milliard d'habitants chacun, sont les deux pays les plus peuplés de la planète.
- Seules 4 villes ne sont pas sur le continent Asiatique : São Paulo, Mexico, Le Caire et New York.
- Aucune ne se trouve en Europe, et seule Le Caire est sur le continent Africain.

2030 - Top 10 des villes dans le monde (population en millions d'habitants)



- Sur les 10 villes les plus habitées, 7 sont situées en Asie.
- L'Inde surpasse la Chine en tant que pays le plus peuplé au monde dès 2022.
- Le Bangladesh (Dhaka) et le Pakistan (Karachi) sont des pays très peuplés et centralisés autour de leur capitale.
- En 2050, la population du Nigéria (Lagos) surpasse celle des États-Unis et devient le 3^e pays le plus peuplé au monde.

Source : United Nations, The World's Cities in 2016.
*Cf. glossaire en annexe.

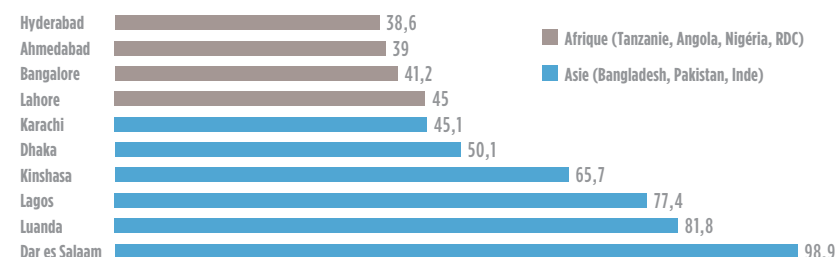
L'AFRIQUE ET L'ASIE VONT CONNAÎTRE UNE FORTE CROISSANCE URBAINE QUI PRÉFIGURE L'APPARITION DE NOUVELLES MEGACITIES DANS CES DEUX RÉGIONS

L'Asie et l'Afrique dominent le paysage des mégapoles : en 2016, sur les 31 villes de plus de 10 millions d'habitants, 17 sont

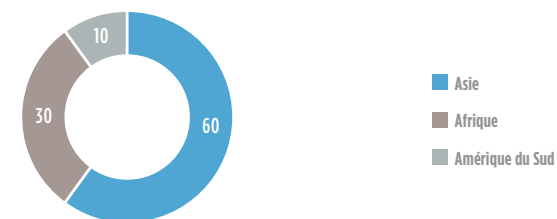
situées en Asie (55 %) et 3 en Afrique (10 %) ; en 2030, sur les 41 villes de plus de 10 millions d'habitants, 23 seront situées en Asie (56 %), et 6 en Afrique (15 %).

Les 10 nouvelles « mégacities » seront situées en Asie (Pakistan, Inde, Thaïlande, Vietnam), en Afrique (Afrique du Sud, Tanzanie, Angola) et en Amérique du Sud (Colombie).

Top 10 des villes à plus forte croissance sur la période 2016-2030 (en %)



Répartition géographique des villes arrivant dans le classement des méga-villes de plus de 10 millions d'habitants en 2030 (en %)



Source : United Nations, The World's Cities in 2016.

L'expansion rapide de ces villes, l'émergence de la classe moyenne au sein de ces régions en pleine mutation économique, placent les enjeux de la **mobilité urbaine** au cœur des problématiques de ces pays. Le **marché du transport urbain** sera davantage concentré sur ces deux régions dans les prochaines décennies

POUR ANTICIPER CETTE CROISSANCE URBAINE À DEUX CHIFFRES, LES GRANDES AGGLOMÉRATIONS VONT DEVOIR PENSER DÈS MAINTENANT À UNE MOBILITÉ DURABLE

C'est en 2007 que la population urbaine a dépassé la population rurale à l'échelle du globe. Dans ce monde des villes, le citadin qui se déplace aussi bien pour aller au travail que pour sa vie de famille et ses loisirs est en mouvement : **la mobilité est au cœur de son quotidien.**

Désormais saturée (embouteillages, pollution,...), **la métropole de demain doit cependant faire face au défi du déplacement de ses habitants, et la question du management des flux devient un enjeu de taille.** Hyperconnectée, intelligente, la ville du futur, pas si lointaine d'aujourd'hui, doit ainsi repenser la mobilité :



Une mobilité **adaptée aux caractéristiques de la ville de demain** : métropole moderne, la Smart City est un espace urbain plus grand et plus dense, lieu de mobilité 24h/24 et 7j/7, avec des pics de fréquentation qui imposent aux autorités de transport d'être adaptables.



Une mobilité **respectueuse de l'environnement** : activité aujourd'hui trop polluante, la mobilité doit être pensée dans le cadre de la réduction de l'empreinte écologique de la Smart City.



Une mobilité qui **dépasse sa définition traditionnelle et technico-fonctionnelle de « transport » pour adopter une logique servicielle, plus moderne** : les conditions de mobilité (confort et bien-être, temps d'attente, accès aux informations) deviennent primordiales, les usagers privilégiant le temps à la distance parcourue dans leur trajet quotidien.



Une mobilité qui **prend en compte la migration pendulaire**, élément caractéristique de la métropole au sein de laquelle les habitants vont-et-viennent entre deux destinations lointaines, le plus souvent domicile-travail dans la même journée.

UN TRANSPORT EN QUELQUES CLICS, EFFICACE ET PERSONNALISÉ : UNE COMPOSANTE DE LA SMART CITY POUR UNE MOBILITÉ AUGMENTÉE

Pour des raisons économiques et/ou écologiques, partout dans le monde, les grandes métropoles cherchent à basculer vers un **modèle Smart City**. Énergie, gestion des déchets, acheminement de l'eau, optimisation de l'offre de transport, etc., aucun domaine n'est laissé au hasard, et le numérique joue un rôle capital pour optimiser le fonctionnement de ces services.

Le monde des transports est ainsi en plein bouleversement, avec une modification en

profondeur de l'offre et des usages suite à l'arrivée du numérique. Problématique quotidienne pour chacun des citoyens, le transport est naturellement un axe principal des efforts de développement consentis par les Smart Cities.



Les données servent à **assister les voyageurs** : les usagers ont à leur disposition une offre de transport urbain jamais encore égalée, avec des modes de transport toujours plus variés (offres collaboratives, parcs de vélos et voitures en libre-service, etc.) et accessibles en seulement quelques clics grâce aux avancées du numérique dans le secteur. Ces données de transport, très largement partagées en Open Data, sont ainsi à la source de nouveaux services comparatifs (ex. : CityMapper).



La disponibilité des données de transport permet également aux Autorités Organisatrices de la Mobilité (AOM) de **mieux planifier le développement de leurs réseaux**, en adaptant les offres de transport aux flux de voyageurs ; la dématérialisation du titre de transport permettant l'analyse des flux (étude des trajets et des correspondances, etc.).



Le partage en temps réel permet d'améliorer la réactivité de l'offre de transport et d'accompagner les voyageurs dans leur mobilité. Les

voyageurs sont de plus en plus sollicités pour fournir des informations sur le fonctionnement du réseau en temps réel (ex. : Waze, Moovit), et les informations collectées en temps réel sont fournies aux AOM via des partenariats (ex. : Waze Connected Citizens Program).

UNE TENDANCE À UN TRANSPORT URBAIN EN TRAJETS COURTS ET AUX MODES LÉGERS AUTOUR DES AGGLOMÉRATIONS DÉJÀ DENSES QUI SE DÉCENTRALISENT

La distance du trajet domicile-travail ne cesse d'augmenter. **Elle a crû de 63 % en moins de 30 ans en France.** Cela est dû principalement à une migration massive des habitants vers la zone périurbaine, qui résulte de la croissance importante des villes en terme de population et de la pression de plus en plus élevée sur les zones urbaines.

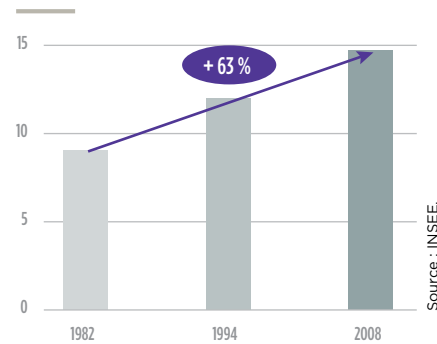
L'impact **socio-économique et écologique** de cette migration pendulaire journalière est considérable. Les actifs de la société sont d'avantage stressés, et la **productivité est en permanente baisse**, ce qui pénalise le tissu économique urbain.

Face à ce fléau, les pays, souvent développés, cherchent sans cesse à rapprocher le domicile du lieu de travail, voire de les **concentrer dans des micro-centres périurbains** (ex. : Seine Saint-Denis et Paris-Saclay autour de la ville de Paris).

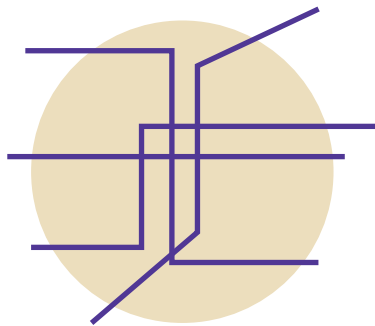
L'adoption de cette démarche au cœur des stratégies nationales des différents pays et la **multiplication de ces « micro-villes »** dont le nombre d'habitants est bien inférieur à celui de la ville, préfigure **le passage d'un réseau de transport de masse de type métro à des micro-réseaux bien plus légers de type people mover ou tramway.**

C'est au cœur de ce modèle que, par exemple, le **Grand Paris Express** apporte une **décentralisation de la ville de Paris et prépare le terrain à l'apparition des « micro-villes » périurbaines de demain.**

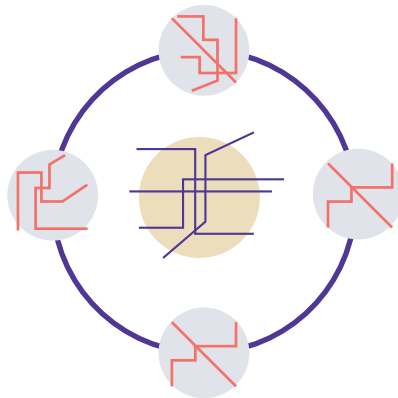
Distance moyenne domicile-travail en France (en km)



Modèle de transport urbain actuel



Modèle de transport périurbain futur



— Ligne de mass transit de type métro
 — Ligne légère de type tramway ou people mover à capacité très faible

LA VILLE INTELLIGENTE DE DEMAIN SERA IRRIGUÉE PAR UNE SOLUTION DE MASS TRANSIT PLUS PERFORMANTE : LE MÉTRO AUTOMATIQUE

Les « **nouvelles mobilités** » représentent de nouvelles façons de se déplacer, permises par des modèles et technologies émergentes et déployées par un fort taux d'adoption sur l'usage : **voitures électriques, navette autonomes, covoiturage...** Mais elles ne sont cependant pas adaptées au transport de masse qui implique une cadence élevée de voyageurs transportés sur les trajets à plus forte pression et de façon durable.

Le métro automatique incarne la **solution intelligente et innovante au mass transit.** La technologie automatique répond en effet à un certain nombre de ses enjeux : grande capacité de transport, rapidité et régularité, réduction des coûts d'exploitation, adaptabilité de l'offre et flexibilité dans les ressources humaines. Il remplit les critères d'une mobilité repensée en étant :

- ✓ **Adapté aux exigences de la ville de demain**
 > il est **intégré à l'environnement urbain** et à une demande de mobilité diversifiée, de

Copenhague à Toulouse en passant par Dubaï et Vancouver ;
 > il est **doté d'une plus grande flexibilité** dans l'exploitation tant au niveau technique qu'au niveau RH : les solutions automatiques permettent d'adapter rapidement la capacité disponible en minimisant, voire en éliminant, la contrainte liée aux ressources dédiées à la conduite.

- ✓ **Créateur d'un meilleur service aux passagers**
 > il permet de **réduire le temps d'attente à quai** en assurant des fréquences de passage et une vitesse commerciale supérieures aux métros conventionnels*, tout en maintenant une ponctualité élevée ;
 > il offre, grâce à des rames récentes et des stations rénovées, une meilleure expérience passager.

- ✓ **Un moyen de transport fiable nécessitant une expertise de pointe**
 Le métro automatique, en éliminant le facteur de risque lié à la conduite humaine, enregistre **un niveau de sécurité et de fiabilité supérieur** aux métros conventionnels* ; la mise en place de portes palières limite également les risques d'accidents et d'incursions sur la voie.

* Cf. glossaire en annexe.

À TITRE D'EXEMPLE, LE MÉTRO AUTOMATIQUE EST AU CŒUR DE LA STRATÉGIE TRANSPORT DU GRAND PARIS ET DE LA DÉCENTRALISATION DE LA VILLE

Le **premier volet** de la partie transport du Grand Paris porte sur la **modernisation et l'extension du réseau existant**. Cela comprend notamment le prolongement du RER E et de ligne de métro, la création de bus à haut niveau de service et de tramways, la modernisation des RER et l'amélioration des lignes de Transilien.

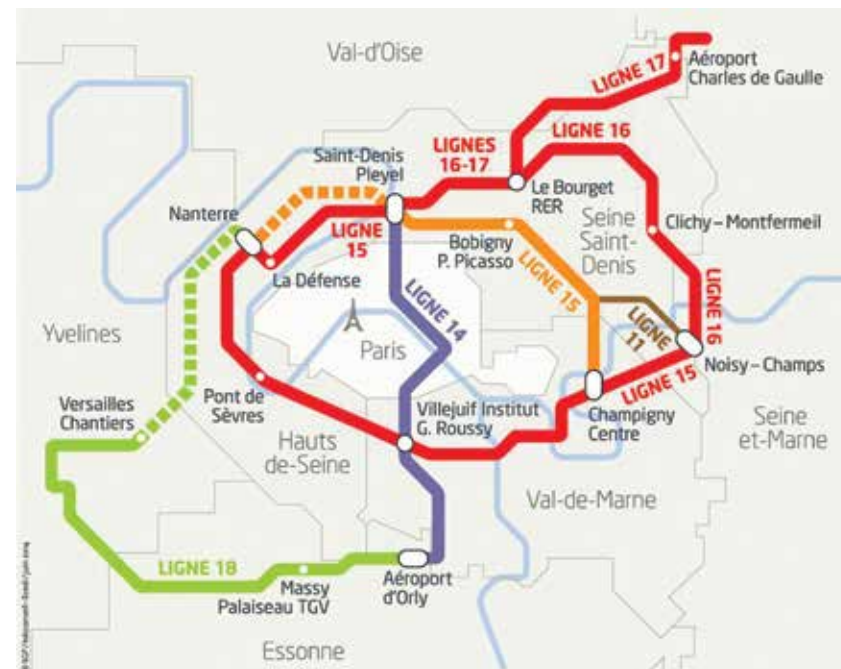
Le **deuxième volet** de la partie transport repose sur la **création de nouvelles lignes de métro automatique**, le Grand Paris Express. Il s'agit de construire 205 km de ligne de métro et 72 nouvelles gares, dont la mise en service s'échelonne entre 2018 et 2030.

À l'instar d'autres grandes métropoles, le projet du **Grand Paris Express** a été retenu dans l'objectif de décentraliser la ville, de

réduire le temps de parcours des trajets pendulaires et surtout de créer, à terme, des centres d'intérêts socio-économiques périurbains capables de désengorger la capitale.

La loi relative au Grand Paris a défini un **modèle d'organisation spécifique** pour le Grand Paris Express : il est prévu que la **gestion technique des infrastructures soient confiée à la RATP**, tandis que **l'exploitation des différentes lignes sera assurée par les opérateurs** désignés par appel d'offres.

Si la réforme de l'organisation des transports collectifs en Île-de-France **garantit à l'ensemble des opérateurs un accès au réseau dans des conditions libres et non discriminatoires** (et prévoit formellement l'étanchéité entre les activités exercées par la RATP en tant que transporteur de celles exercées en tant que gestionnaire de réseau), **les opérateurs ont manifesté leurs réserves quant au mode d'organisation retenu et l'équité de la mise en concurrence**.



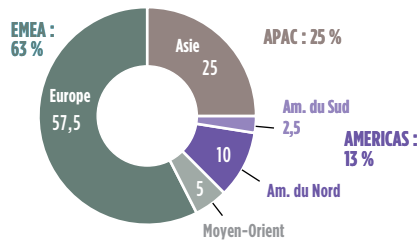
CHIFFRES CLÉS DU MÉTRO AUTOMATIQUE DANS LE MONDE ET PERFORMANCE FINANCIÈRE DE L'AUTOMATISATION

LES 40 LIGNES DE MÉTROS AUTOMATIQUES* DU MONDE SONT CONCENTRÉES DANS LA RÉGION EMEA ET DANS LE SUD-EST DE L'ASIE

Près des **3/4** des lignes de métros automatiques sont situées dans des villes à la **densité urbaine élevée** (plus de 4 000 habitants/km²).

81 % des lignes de métros automatiques sont situées dans des villes à **plus de 500 000 habitants**.

Répartition monde 40 lignes dans 26 réseaux

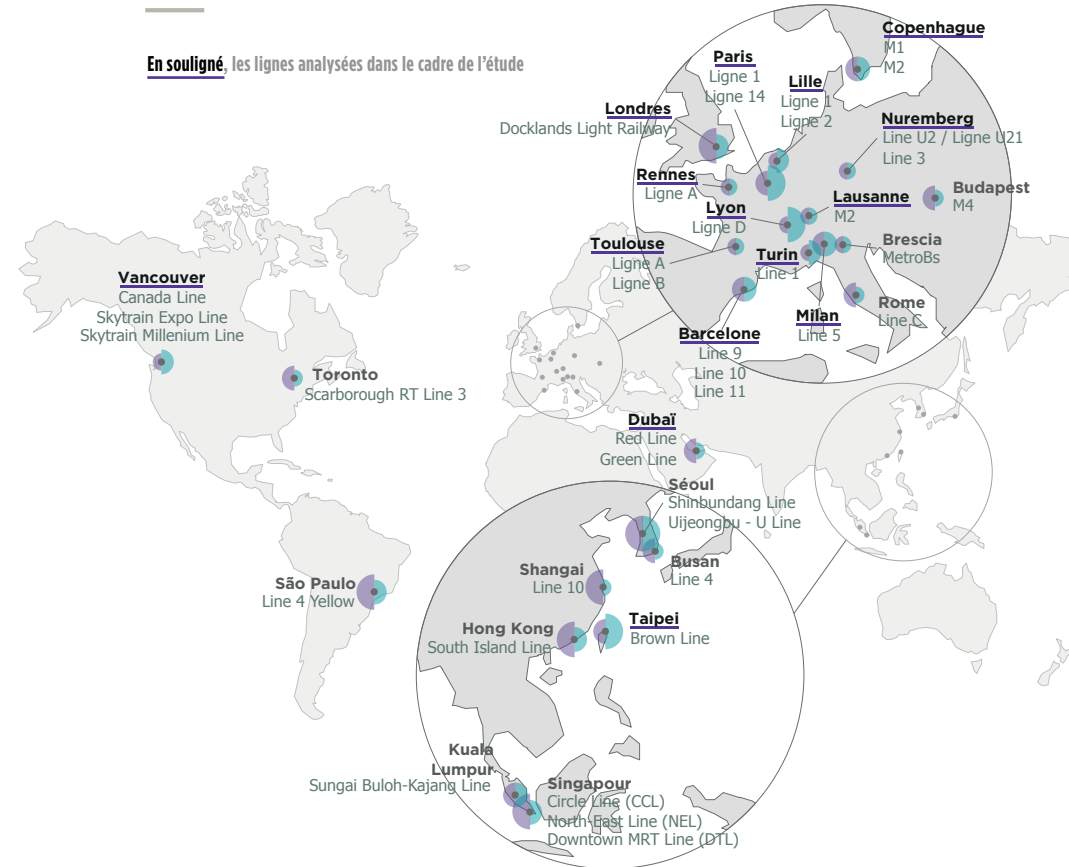


NB : l'Observatoire des métros automatiques de l'UITP comptabilise 55 lignes du fait de prendre dans son périmètre certains people mover, les systèmes LRT, les systèmes AGT, des trains à capacité > à 100 passagers/train (vs capacité > à 400 PAX/train pour l'étude Wavestone), des trains monorail (vs seulement du duo ou 3-rails pour l'étude Wavestone) ainsi que l'utilisation de la technologie Maglev (vs seulement pneumatique ou acier pour l'étude Wavestone) : les différences de périmètre avec cette Observatoire de référence s'expliquent du fait que l'étude Wavestone a pour objectif de comparer des performances opérationnelles sur des technologies et des usages de mass-transit urbains équivalents.

*Dans le cadre de cette étude, la définition du métro automatique diffère de celle adoptée par l'UITP, qui comptabilise 55 lignes. L'UITP inclut dans sa définition les peoples movers, les LRT et les AGT, ce qui n'est pas le cas de la présente étude (cf. glossaire).

Liste des lignes de métros automatiques dans le monde

En souligné, les lignes analysées dans le cadre de l'étude

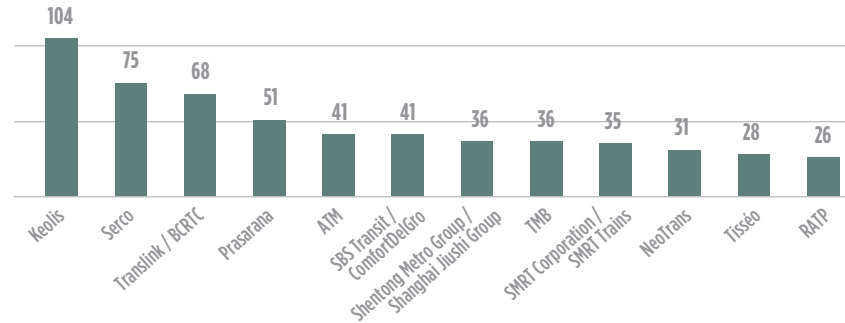


- Plus de 5 M d'habitants (population ville)
- Entre 1 M et 4,9 M d'habitants (population ville)
- Moins de 1 M d'habitants (population ville)
- Plus de 10 000 hab/km² (densité ville)
- Entre 5 000 et 9 999 hab/km² (densité ville)
- Moins de 5 000 hab/km² (densité ville)

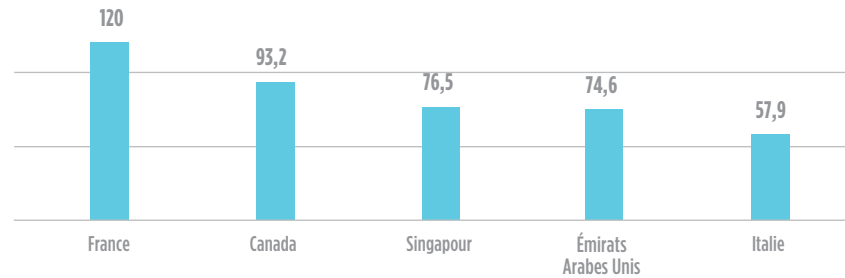
Sources : recherches et analyses Wavestone, UN data, UITP.

Panorama et chiffres clés du marché du métro automatique mondial

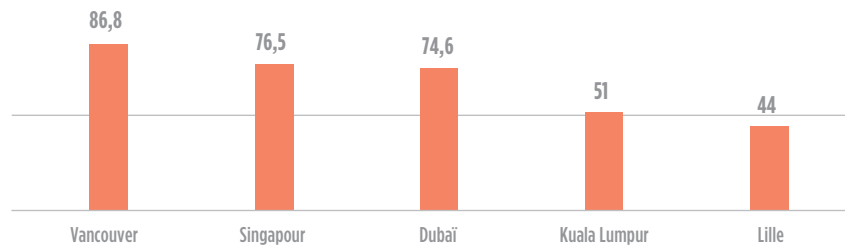
LES OPÉRATEURS QUI EXPLOITENT LE PLUS GRAND NOMBRE DE KM DE LIGNES



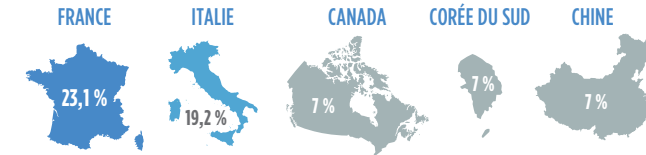
TOP 5 DES PAYS EN FONCTION DES KM DE LIGNES AUTOMATISÉES



TOP 5 DES VILLES EN FONCTION DES KM DE LIGNES AUTOMATISÉES



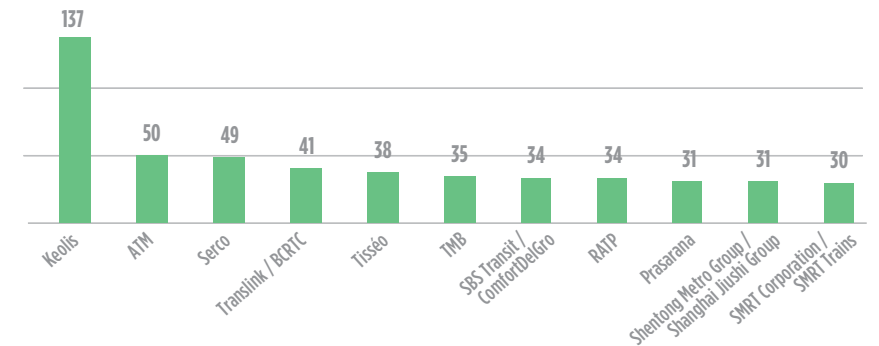
LES ACTEURS FRANÇAIS OPÈRENT PRÈS D'1/4 DES RÉSEAUX DANS LE MONDE (23,1 %) SUIVIS DE PRÈS PAR LES ITALIENS (19,2 %)



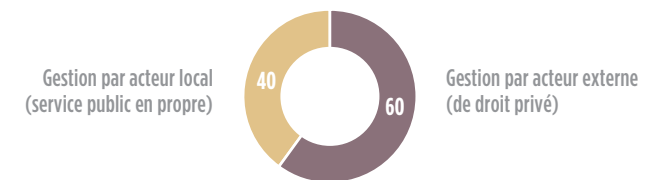
5 lignes sur 40 sont opérées par des acteurs étrangers au pays

87,5 % des lignes sont exploitées par des opérateurs nationaux

LES OPÉRATEURS QUI EXPLOITENT LE PLUS GRAND NOMBRE DE STATIONS



UNE MAJORITÉ DES LIGNES DE MÉTROS AUTOMATIQUES EST EXPLOITÉE PAR DES ACTEURS EXTERNES PRIVÉS



Vancouver est le seul réseau qui fait gérer 1 ligne par un acteur externe (SNC-Lavalin) et qui gère les 2 autres lignes en propre (Conseil municipal)

LA COMPÉTITIVITÉ DU MÉTRO AUTOMATIQUE EST SIGNIFICATIVEMENT PLUS FORTE QUE CELLE DU MÉTRO CONVENTIONNEL ET VA AUGMENTER AVEC SON INDUSTRIALISATION

Une compétitivité élevée sur le coût complet :

Matériel roulant : le surcoût lié à l'achat des rames automatiques est compensé par **un gain sur le dimensionnement du matériel roulant**, car les systèmes automatiques affichent de meilleures performances (fréquence/vitesse commerciale). Pour une même cadence, le métro automatique requiert **33 %* moins de rames**.

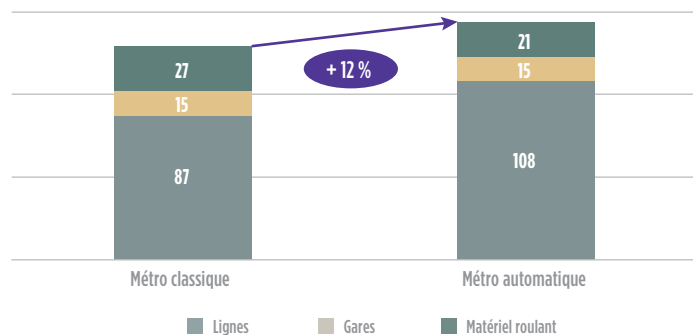
Gare : les investissements induits par la mise en place éventuelle des portes palières, sont compensés par des **espaces plus réduits** au niveau des quais pour le métro automatique et donc par des **coûts plus faibles en génie civile**. Cela est dû au niveau de service élevé du métro automatique en matière de cadence.

Ligne : les coûts des lignes automatiques sont naturellement plus élevés que ceux des lignes classiques. **La communication et la signalétique en sont, en grande partie, responsables**. En revanche, la communication de type **CBTC tend à se généraliser pour les différents types de métro**, réduisant ainsi le gradient de coût y associé.

Coûts d'exploitation : le surcoût lié à la maintenance des systèmes de protection des plateformes est **contre-balançé par les gains réalisés** sur les coûts de personnel de conduite et les coûts de l'énergie (- 15 % pour le métro automatique).

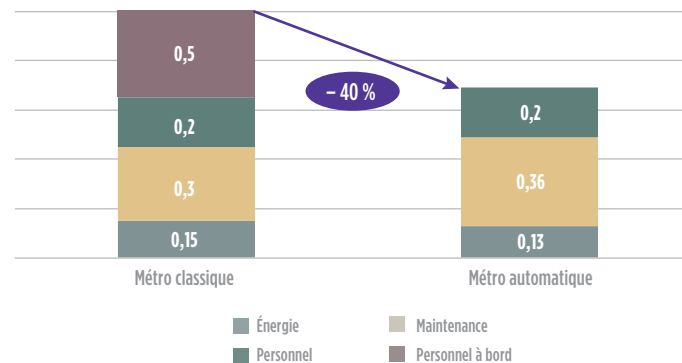
En matière de coûts globaux au km, le métro automatique est plus compétitif que le métro traditionnel pour un amortissement de l'infrastructure et du matériel roulant supérieur à 30 ans

Coûts d'investissement au km (en millions d'€)



*Constructeurs de matériel roulant, Analyse Wavestone

Coûts opérationnels au km (en millions d'€/an)



Hypothèses : Longueur moyenne d'une ligne de 14,5 km, 30 rames par ligne, 22 stations en moyenne par ligne, 200 conducteurs pour opérer une ligne

Sources : LVMT Laboratoire ville mobilité transport, *The Economic of urban transportation 2007*,

TENDANCES TECHNOLOGIQUES ET DÉFIS D'AUTOMATISATION DES MÉTROS

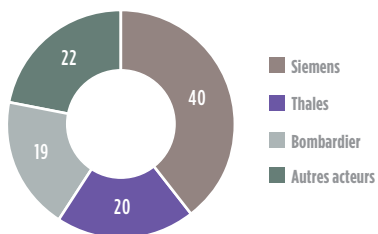
LES OPÉRATEURS DOIVENT ADAPTER LEUR SAVOIR-FAIRE À LA GÉNÉRALISATION DE LA TECHNOLOGIE CBTC

La technologie CBTC est la **solution de signalisation privilégiée avec 68 % de part de marché**. Une solution qui allie **sécurité et optimisation de la cadence**.

Le marché des fournisseurs de solutions CBTC est très **concentré** : le **top 3 des fournisseurs**, à savoir, **Bombardier, Siemens et Thales** détiennent 78 %* du marché (y compris pour les trains et métros non automatisés).

La **convergence des industriels** vers la CBTC, ainsi que **les investissements réalisés** en la matière (rachat d'Invensys par Siemens en 2013) laisse présager une **généralisation de la technologie** dans le secteur du rail en général et du métro automatique en particulier.

Part de marché* des fournisseurs de système de communication (en %)

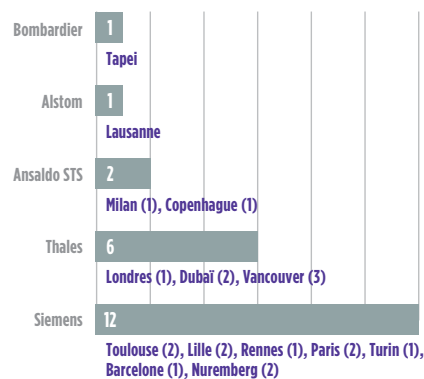


*Données Frost & Sullivan, analyse Wavestone.

L'ensemble des métros analysés dans le cadre de l'étude sont équipés de système de **signalisation et de communication CBTC**. En effet, une large panoplie de fournisseurs est représentée par le benchmark (cf. graphique ci-contre).

À noter, que le réseau Lillois est en cours de renouvellement et que le système devrait être équipé **d'Urbalis fourni par Alstom**. Néanmoins, le retard du projet (estimé à 4 ans) induit le **maintien du système actuel** (fourni par Siemens) pour les quelques prochaines années.

Répartition des équipementiers CBTC (en nombre de lignes)



Sources : World report on metro automation - July 2016, UITP.

PAR SON SAVOIR-FAIRE SPÉCIFIQUE ET DES CONTRAINTES EN MATIÈRE DE MAINTENANCE, LA PART DU PNEUMATIQUE BAISSE AU PROFIT D'UNE LIAISON ROUE-RAIL EN ACIER

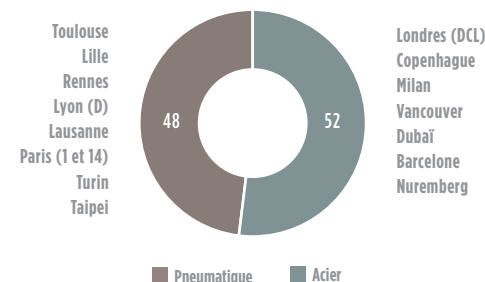
10 constructeurs fournissent du matériel roulant. **Bombardier, Alstom et Siemens, leaders avec 68 % du nombre de km installés**.

L'interface **roue-rail qui a été privilégiée** dans les km construits sur la dernière

décennie est l'**acier**, avec **70 %** des kilomètres totaux construits. En revanche, l'interface pneumatique offre un **avantage en matière de nuisance sonore et de confort des passagers à bord**.

Le **savoir-faire de l'opérateur** et la maîtrise de la technologie sont **déterminants**. En effet, chacune des deux technologies a ses spécificités en exploitation et la pneumatique requiert un **savoir-faire** en matière de maintenance. À ce titre, certains **opérateurs comme Serco et ATM semblent privilégier la liaison acier**.

Part de marché liaison acier vs pneumatique (en %)



PNEUMATIQUE

- +** Meilleure adhérence, système adapté à des villes ayant un dénivelé important
- +** Réduction du bruit à bord et meilleur confort passager
- +** Mieux adaptée au système d'automatisme en évitant le glissement des pneus
- Une solution peu économe en énergie (+1 à 3%)
- Elle induit des coûts de maintenance plus élevés
- Elle rend le système plus lourd et par conséquent davantage énergivore
- Taux de particules fines émises plus élevé que la solution acier

ACIER

- +** Consommation plus faible d'énergie, due à des frictions aux rails réduites
- +** Mieux adaptée à des métros opérés sous des conditions météorologiques difficiles (ex. : Dubaï, Pays nordiques, etc.)
- +** Technologie moins coûteuse en maintenance
- Glissement récurrent de la liaison train-rail induisant des anomalies du système de contrôle
- Réduction de la cadence due à un temps allongé de freinage et d'accélération

QUELS CHALLENGES POUR LES OPÉRATEURS EN CAS D'AUTOMATISATION ?

Sur le plan technique, les chantiers couvrent :

- / Les travaux prérequis dans les stations pour l'installation des portes palières, nécessaires pour optimiser la **sécurité des voyageurs**.
- / Le déploiement du système d'automatisation de l'exploitation des trains qui est différent selon la cadence souhaitée du métro :
 - dans le cas d'**une ligne à cadence faible**, l'opérateur peut opter pour un système de communication par blocs fixes (la position de la rame est déterminée par rapport à un tronçon du parcours). Une technique mature et utilisée par les métros automatiques et manuels. Cependant, cette technologie ne permet pas d'atteindre des cadences élevées à cause de sa précision faible ;
 - pour assurer **une cadence élevée**, l'opérateur doit mettre en place un système de communication par blocs mobiles (la position et la vitesse de la rame sont déterminées d'une manière précise). Cela suppose obligatoirement l'implémentation de technologies additionnelles : ATP*, ATC* et ATO*. Ce qui induit des risques supplémentaires (risques d'ordre technique).

/ La création éventuelle de nouveaux ateliers de maintenance adaptés à des solutions souvent spécifiques au métro automatique, comme par exemple les portes palières.

D'un point de vue opérationnel, le défi consiste à assurer :

/ La montée en charge du matériel roulant automatique pendant une phase transitoire de fonctionnement en mode mixte. Cette phase transitoire doit être gérée avec le minimum d'interruptions possibles. Cette phase de mise en service multiplie les risques en matière de qualité de service et requiert un savoir-faire spécifique de la part de l'opérateur.

Sur le plan organisationnel, les chantiers concernent notamment :

- / La réaffectation des effectifs conducteurs vers des métiers connexes (contrôle/supervision de la ligne).
- / La montée en compétence ou le recrutement des nouveaux profils requis pour assurer l'exploitation et la maintenance des lignes automatiques.

* Cf. glossaire.

QUELLES PERSPECTIVES DE DÉVELOPPEMENT DES MÉTROS AUTOMATIQUES ?

LE MÉTRO AUTOMATIQUE MONTRE DES PERSPECTIVES DE DÉVELOPPEMENT SOLIDES À L'HORIZON 2020 TIRÉES PAR DES PROJETS D'ENVERGURE

Dans un contexte d'urbanisation croissante, déjà évoqué, il devient impératif pour les systèmes de mass transit :

- / **d'optimiser les infrastructures existantes au cœur des villes**, car celles-ci sont relativement peu extensibles en terme de capacité. La solution qui s'offre alors est l'automatisation des lignes conventionnelles ;
- / **de développer de nouvelles infrastructures en périphérie**, à haute qualité de service pour les usagers, tout en maîtrisant les coûts.

Les **technologies automatiques** sont à même de proposer des **solutions répondant à ces 2 cas de figure**.

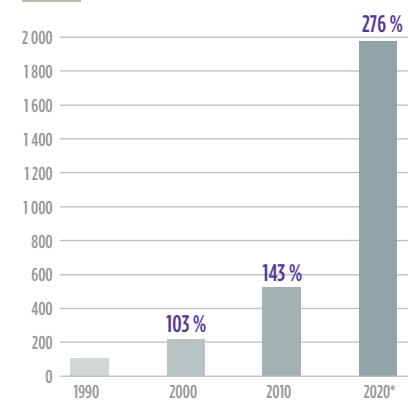
Ainsi l'UITP projette qu'**en 2025, il y aura environ 2300 km** de lignes de métro automatiques en opération (contre environ 800 km aujourd'hui).

La **généralisation de la technologie CBTC** à l'ensemble des métros automatiques et manuels, ainsi que **la hausse du niveau de vie dans les pays émergents**, vont améliorer la compétitivité des solutions d'automatisation et augmenter la demande en la matière.

En 2025, l'Asie et l'Europe devraient représenter respectivement 33 % et 30 % des kilomètres de lignes automatiques, suivi par le Moyen Orient (25 %) avec des projets ambitieux comme celui du métro de Riyad.

La **Chine a annoncé la mise en service de 2 nouvelles lignes automatiques** d'ici la fin 2017 - l'une d'entre elle étant construite uniquement avec des technologies chinoises.

Nombre de km de lignes réalisées et projetées* de métros automatiques et croissance sur 10 ans



Source : World report on metro automation - July 2016, UITP.

* L'estimation du nombre de km à l'horizon 2020 est réalisée en prenant en compte les projets de construction et/ou d'automatisation confirmés à juillet 2016.



DESCRIPTION DU PÉRIMÈTRE ET DE LA MÉTHODOLOGIE

PÉRIMÈTRE DE L'ÉTUDE

L'ACCÈS ET LA FIABILITÉ DES DONNÉES PERMETTENT D'ANALYSER 25 LIGNES DE MÉTROS AUTOMATIQUES* SUR LES 40 EXISTANTES À FÉVRIER 2017 DANS LE PÉRIMÈTRE DE L'ÉTUDE

CRITÈRES DE DÉFINITION DU PÉRIMÈTRE



Métro automatique* : circuit dédié, alimenté par les rails, usage majoritairement pendulaire, plusieurs voitures (jusqu'à 6 à 8 wagons), niveau d'accès surélevé et capacité supérieure à 400 passagers



Systèmes 'Automated People Mover*', 'Light Rail Transit**' et 'Automated guideway transit**' exclus



Contact rail pneumatique ou acier



Contact rail type Maglev et Hyperloop exclus



Systèmes duorail ou 3° rail



Systèmes monorail exclus



Niveaux d'automatisation GoA 3 et 4*



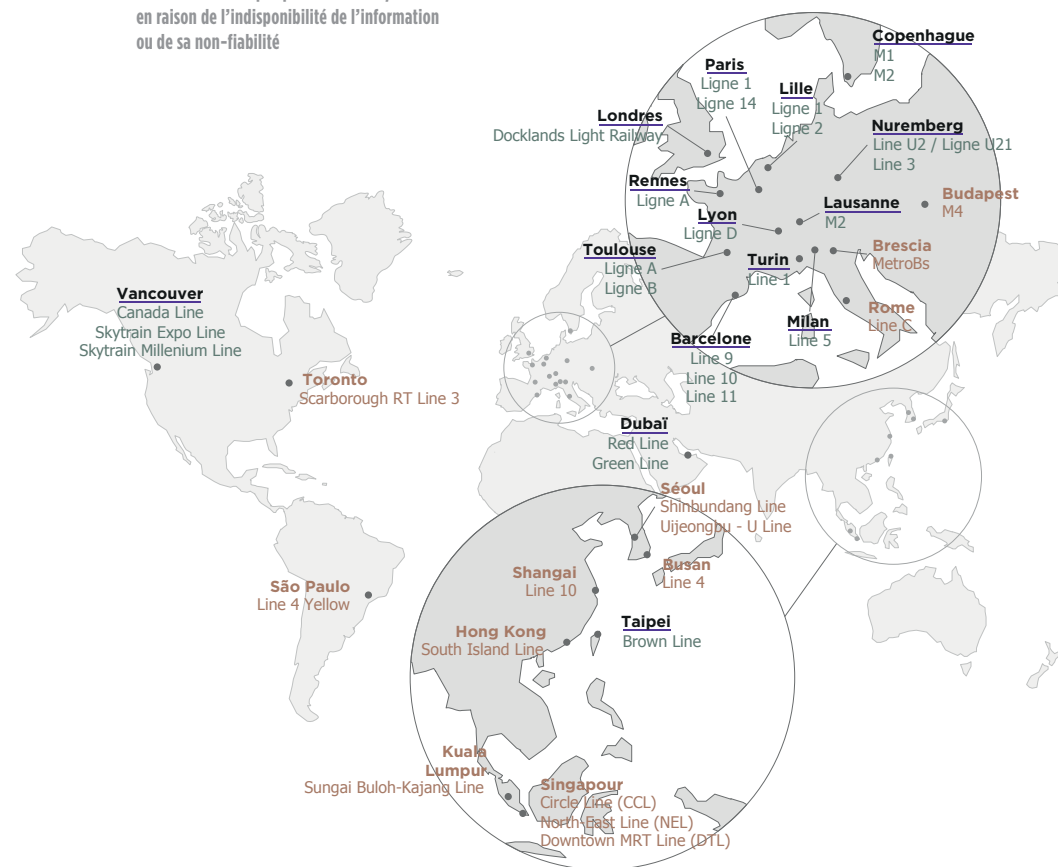
Niveaux d'automatisation GoA 1 et 2* exclus

* Définitions de l'étude disponibles dans le glossaire.

Lignes de métros automatiques dans le monde




Réseau faisant partie de l'analyse comparative

Réseau ne faisant pas partie de l'analyse en raison de l'indisponibilité de l'information ou de sa non-fiabilité



MÉTHODOLOGIE DE BENCHMARK

Domaines de performance retenus dans le cadre du benchmark

	DOMAINE DE PERFORMANCE	
1		Performance de l'infrastructure et du matériel roulant
2		Fiabilité et qualité de service
2		Services auxiliaires et innovants

Le différentiel de performance entre 2 réseaux de métro automatique s'explique en grande partie par la capacité des opérateurs à exploiter plus ou moins efficacement les lignes considérées. L'infrastructure et le matériel roulant jouent un rôle prépondérant dans la performance d'un réseau mais avec une marge de manœuvre à beaucoup plus long terme.

Repères signalant les domaines auxquels se réfèrent l'analyse de chaque page



INDICATEURS CONCERNÉS	PONDÉRATION PROPOSÉE
Vitesse commerciale Distance interstation Fréquence des trains Accessibilité Taux d'intrusion au sein du réseau	1
Ponctualité et/ou disponibilité et/ou régularité Propreté Information passagers Sûreté passagers	1,5
Réseaux de communication disponibles Service de mobilité innovant (planificateur d'itinéraire...) Nouvelles technologies (NFC, IoT, mobile)	Domaine évalué mais ne faisant pas partie de la note finale attribuée à chaque métro



SYNTHÈSE DE L'ANALYSE COMPARATIVE DES MÉTROS AUTOMATIQUES

ÉLÉMENTS DE MISE EN PERSPECTIVE

La **performance** d'un système de transport – dont le métro automatique – est **impactée par un ensemble de facteurs externes à l'organisation de l'opérateur ou de l'autorité organisatrice**.

À ce titre, il est donc indispensable de prendre en compte les **caractéristiques propres** à chaque réseau afin de contextualiser l'analyse.

Les **caractéristiques ou facteurs suivants** doivent ainsi être intégrés dans une démarche de comparaison de la performance :

L'âge du réseau : implique des coûts d'obsolescence croissants avec l'âge de l'infrastructure et du matériel roulant, et des processus de maintien en condition opérationnelle adaptés en conséquence.

Les exigences inscrites dans contrat de délégation (cadence) : implique une stratégie opérationnelle de l'opérateur en mesure de délivrer une performance conforme aux exigences contractuelles.

L'architecture du réseau et sa géographie : implique une exposition inégale du matériel roulant à son environnement (souterrain, aérien) et des besoins spécifiques pour satisfaire l'offre de transport (climatisation/chauffage).

La « courbe de charge » (répartition de la fréquentation des usagers au cours de la journée) : implique des pointes plus ou moins importantes, qui peuvent avoir un impact sur la ponctualité de l'offre (incidents voyageurs...).

Les caractéristiques socioculturelles de la population usagers : implique un usage inégal des services publics, qui se répercute notamment sur le niveau de propreté et de sûreté.

* Facteur pris en compte dans la note attribuée à la ligne de métro.

** Facteur non pris en compte dans la note attribuée, mais évalué lors de l'analyse des résultats.

LA PERFORMANCE DES MÉTROS AUTOMATIQUES MONDIAUX : UN PARFAIT ÉQUILIBRE ENTRE INFRASTRUCTURE ET OPÉRATIONS AU SERVICE DU VOYAGEUR

La performance des lignes de métros automatiques se joue dans une équation complexe mêlant la **prouesse opérationnelle** à délivrer un service de transport adapté aux usages de mobilité autant que l'optimisation des **conditions de transport** de l'expérience de voyage.

/ La corrélation entre des **contraintes fortes imposées** par les AOT (cadence élevée) et la **ponctualité du service opéré** ressort comme éléments explicatifs de la performance.

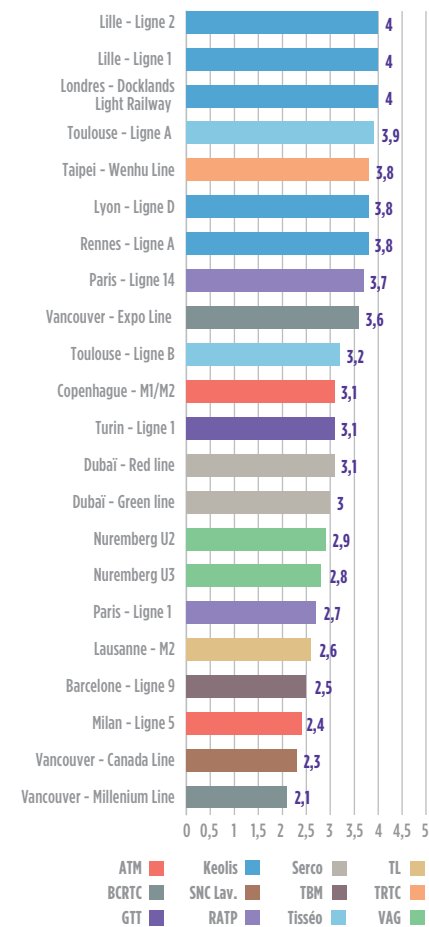
/ Le **vieillesse d'un réseau** requiert une **surperformance en matière d'exploitation** de la part des opérateurs.

/ **L'effet d'expérience et l'ancienneté** des opérateurs sur un réseau sont des **déterminants de la performance** d'une ligne de métro automatique.

La conception, la construction et la mise en service d'une ligne de métro automatique ont une **valeur ajoutée**, pour la ville et ses citoyens, aussi grande que c'est une **activité difficile** pour les autorités organisatrices et les exploitants.

Les réseaux et lignes de métros automatiques **les plus récents** démontrent généralement une **bonne fiabilité** qui sera à **maintenir dans la durée** pour se hisser en vitrine mondiale de référence.

Scoring de performance de la ligne de métro automatique (note/5) Infrastructure x Exploitation/Vieillesse du réseau



Sources : scoring et modélisation Wavestone.
Le scoring étant la somme pondérée de la performance de l'infrastructure (poids = 1), la performance de l'exploitation (poids = 1,5) et l'indicateur de vieillesse du réseau (poids = 0,5).



LES LIGNES DE MÉTROS AUTOMATIQUES LES PLUS PERFORMANTES POSSÈDENT CERTAINES CARACTÉRISTIQUES COMMUNES D'EXCELLENCE

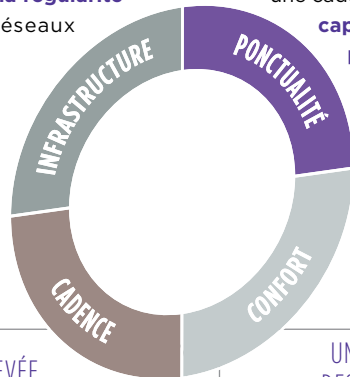
Les meilleurs services de transport en métro automatique compilent tous une très bonne performance dans 4 déterminants clés liés à l'infrastructure et à l'exploitation :

UNE BONNE GESTION D'UNE INFRASTRUCTURE VIEILLISANTE

Ces opérateurs font **preuve d'excellence** dans la gestion de vieux assets. **La disponibilité et la régularité** élevées de leurs réseaux confirment cela.

UNE PONCTUALITÉ ÉLEVÉE

C'est une des caractéristiques du métro automatique. Cependant, associée à une cadence élevée, elle confirme la **capacité de l'opérateur à respecter les obligations imposées par l'AOT**.



UNE CADENCE ÉLEVÉE DU SERVICE

La ponctualité élevée des lignes gérées par ces opérateurs, confirme l'engagement de ces opérateurs envers des **AOT exigeantes**.

UNE SATISFACTION ÉLEVÉE DES USAGERS EN MATIÈRE DE PROPreté ET DE SûRETÉ

Globalement, les enquêtes menées par ces opérateurs confirment **une bonne satisfaction des usagers**, sachant que le vieillissement de l'infrastructure **impacte négativement** la perception des passagers en la matière.



PERFORMANCE ET INFRASTRUCTURE DU MATÉRIEL ROULANT

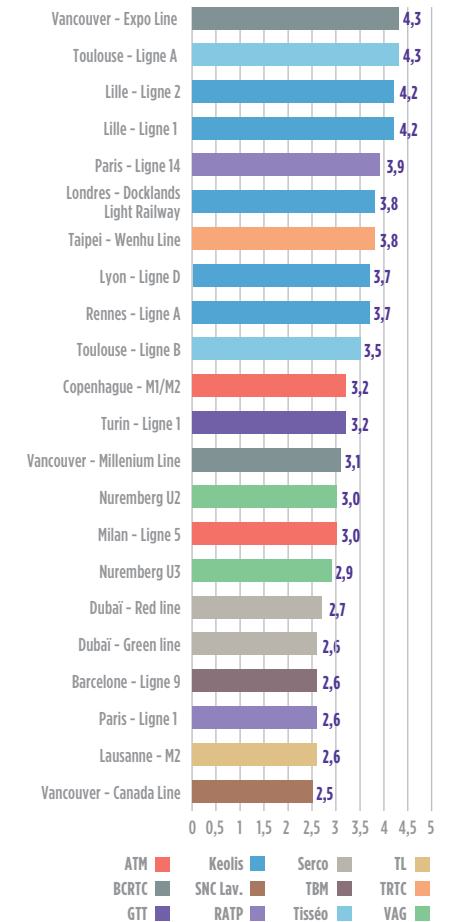
LA PERFORMANCE DE L'INFRASTRUCTURE ET DU MATÉRIEL ROULANT DES LIGNES DE MÉTROS AUTOMATIQUES MONDIALES SOULIGNE LEUR SÉCURITÉ ET LEUR CONFORT

Elle est portée par :

- / **la stratégie de gestion des flux de mobilité de la ville** : la conception d'une ligne de métro automatique, des études amont au tracé de la ligne et au choix des stations, détermine la pertinence d'une ligne et également son succès d'utilisation ;
- / **le degré d'accès au réseau** : une infrastructure facilitant l'accès aux personnes à spécificités de mobilité ou contraignant l'accès à des fraudeurs participe à la qualité de l'infrastructure ;
- / **l'adéquation entre exigences d'exploitation et usage attendu** : la définition de niveaux de services alignés à l'utilisation rend une infrastructure et un matériel roulant plus ou moins optimisés.

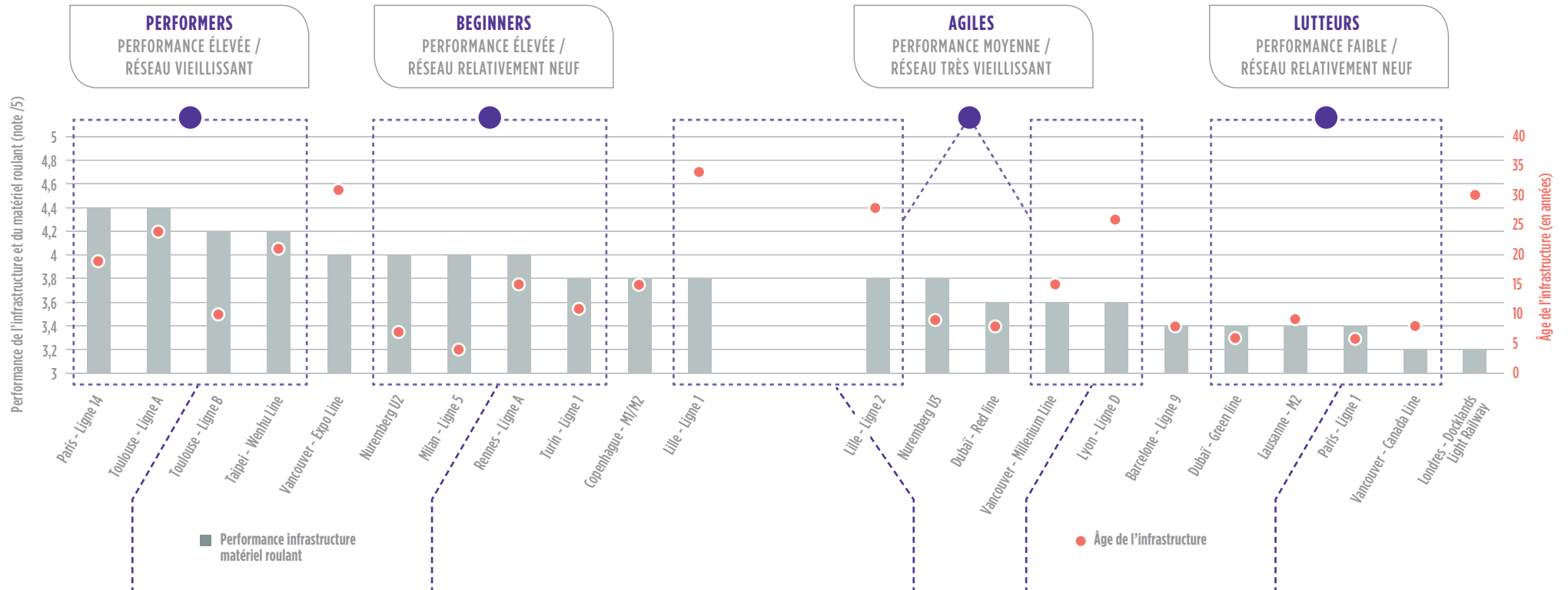
L'exploitation et la maintenance de ces infrastructures permettront de maintenir le niveau de performance dans la durée : des défis pour les opérateurs qui mettront à l'épreuve leur propre niveau de performance des opérations.

Scoring de performance de l'infrastructure et du matériel roulant* (note/5)



*Somme de la note attribuée à la performance du réseau et du matériel (pondérée de 1) et de la note attribuée à l'âge de l'infrastructure pondérée de 0,5 (5 correspond à un âge très avancé).

QUATRE GRANDES TYPOLOGIES DE PERFORMANCE INFRASTRUCTURE & MATÉRIEL ROULANT POUR LES LIGNES DE MÉTROS AUTOMATIQUES



Les acteurs de cette catégorie opèrent une infrastructure et un matériel roulant datant de **plusieurs années**. Leur performance élevée démontre une optimisation de l'exploitation de ces assets à **leur limite** qui implique de très **bonnes conditions opérationnelles** assurées de la part des transporteurs.

Les acteurs opèrent une infrastructure et un matériel roulant **globalement jeunes voire neufs**. On peut considérer que leur performance élevée est **induite** par la récence du réseau. À ce stade, la bonne performance du matériel **ne peut pas être corrélée** à une implication particulière de la part de l'opérateur.

L'implication des opérateurs faisant partie de cette catégorie est sans doute déterminante vis-à-vis de la performance des assets. En effet, l'âge très avancé du matériel, suppose une **maturité très élevée** de la part de l'opérateur en matière de **maintenance et d'exploitation**.

Les acteurs de cette catégorie ont des **difficultés** à maintenir leur **matériel en condition optimale** d'exploitation indépendamment du fait que leur matériel est neuf. Ainsi, le **vieillessement** de l'infrastructure et du matériel roulant aura des **impacts considérables sur la performance**.



LA DENSITÉ DE LA LIGNE EST UN FACTEUR DE RÉDUCTION DU TEMPS DE PARCOURS, D'AMÉLIORATION DE L'EXPÉRIENCE VOYAGEUR ET D'OPTIMISATION DE L'INFRASTRUCTURE

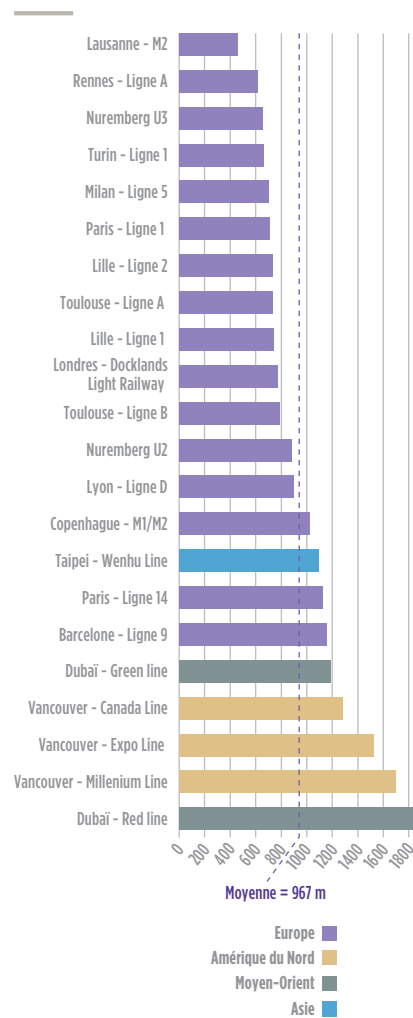
Les réseaux de métros automatiques se caractérisent généralement par des distances interstations **peu élevées**.

Les lignes **européennes** sont plus **denses** que celles à l'international, en raison principalement de l'**étendue limitée** des villes en Europe et des **habitudes des usagers** privilégiant le transport à la marche.

La densification d'un réseau ou d'une ligne implique des contraintes supplémentaires d'exploitation (i.e. plus le nombre de stations est élevé, plus le risque sur la ponctualité l'est aussi). Les **opérateurs des réseaux européens** semblent plus **exposés** à ce type de contraintes.

Les faibles distances interstations permettent aux opérateurs de conserver un temps de parcours interstations raisonnable à une **vitesse faible**. Ils limitent ainsi l'usure de l'infrastructure et **réduisent les coûts** de maintenance qui en découlent.

Distance interstation moyenne (en m)



LA VITESSE COMMERCIALE, CARACTÉRISTIQUE MAJEURE D'UN SERVICE DE TRANSPORT, CONSTITUE UN ÉLÉMENT CENTRAL D'APPRÉCIATION DE SA PERFORMANCE

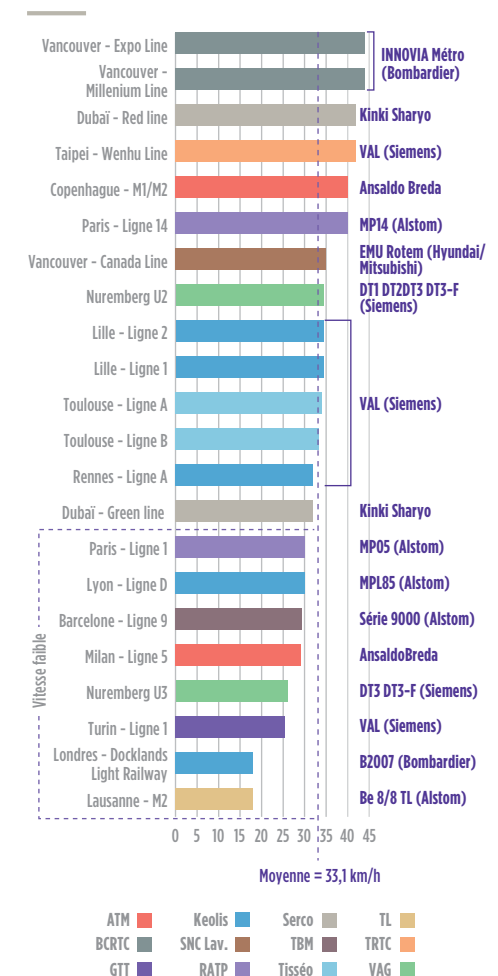
Le VAL est le matériel roulant le mieux représenté par l'échantillon étudié (**35 % des lignes**). Il est exploité avec des vitesses faibles pour certaines lignes (ex. : Turin) et élevées pour d'autres (ex. : Lille et Taipei). En outre, certains opérateurs semblent avoir un **retour d'expérience** et une préférence d'exploitation **d'un seul type** de matériel roulant (ex. : Ansaldo Breda pour ATM).

Le **temps de parcours** sur la ligne dépend principalement des **temps d'arrêt** dans les gares. La vitesse commerciale est ainsi **inversement proportionnelle** à la densité des stations sur une ligne donnée (cf. graphique page précédente vs graphique ci-contre).

En permettant d'optimiser les phases d'accélération et de freinage, le **métro automatique** permet donc d'augmenter la **vitesse commerciale** moyenne des lignes « **denses** ».

Une vitesse commerciale élevée induit des **contraintes supplémentaires** au niveau de l'exploitation. Les opérateurs gérant uniquement des **lignes à basse vitesse** pourraient avoir des **difficultés** à exploiter efficacement des lignes à **vitesse élevée**.

Vitesse commerciale moyenne (en km/h)





LES LIGNES DE MÉTROS AUTOMATIQUES OFFRENT GÉNÉRALEMENT UNE ACCESSIBILITÉ ÉLEVÉE AUX VOYAGEURS

Accessibilité faible

10 % des lignes analysées ont une accessibilité réduite : moins de 80 % des stations sont équipées pour les personnes à mobilité réduite

Accessibilité moyenne

3 % des lignes analysées présentent une accessibilité moyenne : plus de 80 % des stations sont équipées pour recevoir des personnes à mobilité réduite

Accessibilité élevée

87 % des lignes de métro analysées présentent une accessibilité élevée : le nombre de stations équipées pour recevoir des voyageurs à mobilité réduite est supérieure à 90 % du nombre total de stations

L'accessibilité des stations est généralement liée à l'infrastructure et par conséquent à la vision de l'autorité de transport en la matière. En revanche, la disponibilité des solutions mises en place relève de la performance des opérateurs. Hormis le fait que cette disponibilité reste difficile à évaluer, les métros analysés présentent globalement une accessibilité élevée liée à la construction souvent standardisée suivant les nouvelles normes, et à la bonne accessibilité du matériel roulant (distance réduite entre la rame et la plateforme).



LE CHOIX D'ACCÈS À L'INFRASTRUCTURE EST UN FACTEUR DÉTERMINANT DU TAUX DE FRAUDE DONT LES SYSTÈMES OUVERTS*, FAVORABLES À UNE MEILLEURE EXPÉRIENCE CLIENT, ENTRAÎNENT DE MAUVAIS RÉSULTATS

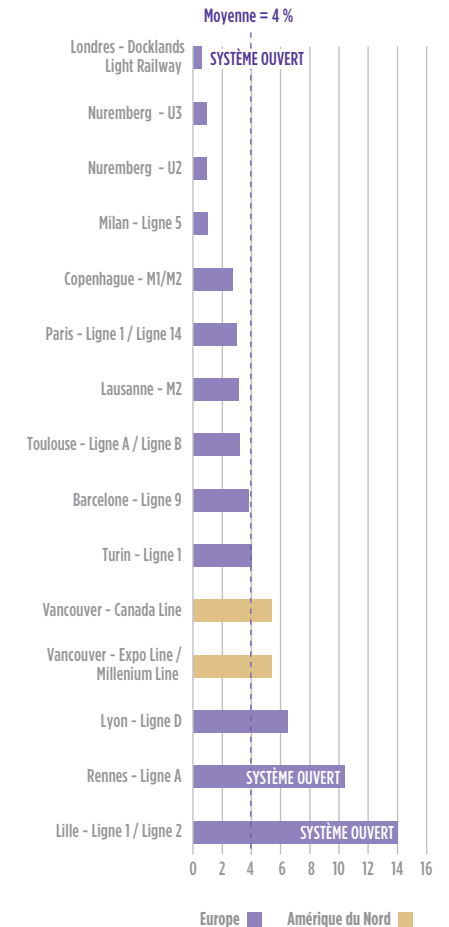
La présence de **portillons d'accès** aux quais est **déterminante** pour lutter contre la fraude.

Les 2 réseaux - Lille, Rennes - **non encore fermés** affichent un taux de fraude supérieur à 10 %, tandis que les autres réseaux affichent un taux de fraude inférieur à 7 %. Cependant la ligne DLR (Londres) sort une performance remarquable avec un taux de fraude le plus bas malgré un système ouvert également.

L'installation des portillons d'accès relève souvent d'une **décision commune** de la part de l'opérateur et de l'autorité organisatrice du transport. En effet, leur présence semble bien **plus efficace** pour **réduire la fraude** qu'une augmentation des contrôles, souvent aléatoires, réalisés par l'opérateur.

Le **caractère sociodémographique** des quartiers ou des villes desservis par une ligne de métro **ne doit pas être négligé**. En effet, sur une même ligne, le taux de fraude varie en fonction des stations. Cette variable ne relève **certainement pas** du pouvoir de l'opérateur, mais elle **pénalise** son exploitation dans la durée.

Taux de fraude estimé (en %)



* Un système est considéré comme « ouvert » si l'accès au réseau de métro n'est pas contrôlé par des barrières.



PERFORMANCE FIABILITÉ ET QUALITÉ DE SERVICE

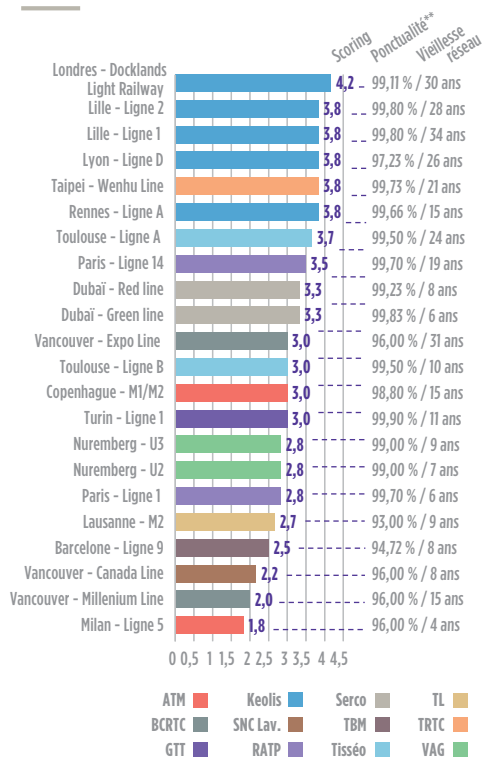
LES LIGNES DE MÉTROS AUTOMATIQUES FRANÇAISES AFFICHENT UNE EXCELLENTE FIABILITÉ CONFORTÉE PAR UN SAVOIR-FAIRE EN MATIÈRE D'EXPLOITATION DE RÉSEAUX VIEILLISSANTS

Le facteur phare de la performance d'exploitation d'une ligne de métro automatique est la fiabilité/qualité de service qui vont déterminer :

- / l'expérience vécue
- / le rythme du service rendu

Cette performance est la signature opérationnelle qui crée également la signature relationnelle du réseau : une expérience de mass transit mémorable ou au contraire détestable qui pourrait faire préférer d'autres modes de transport au client.

Scoring de performance de la fiabilité et qualité de service* (note /5)



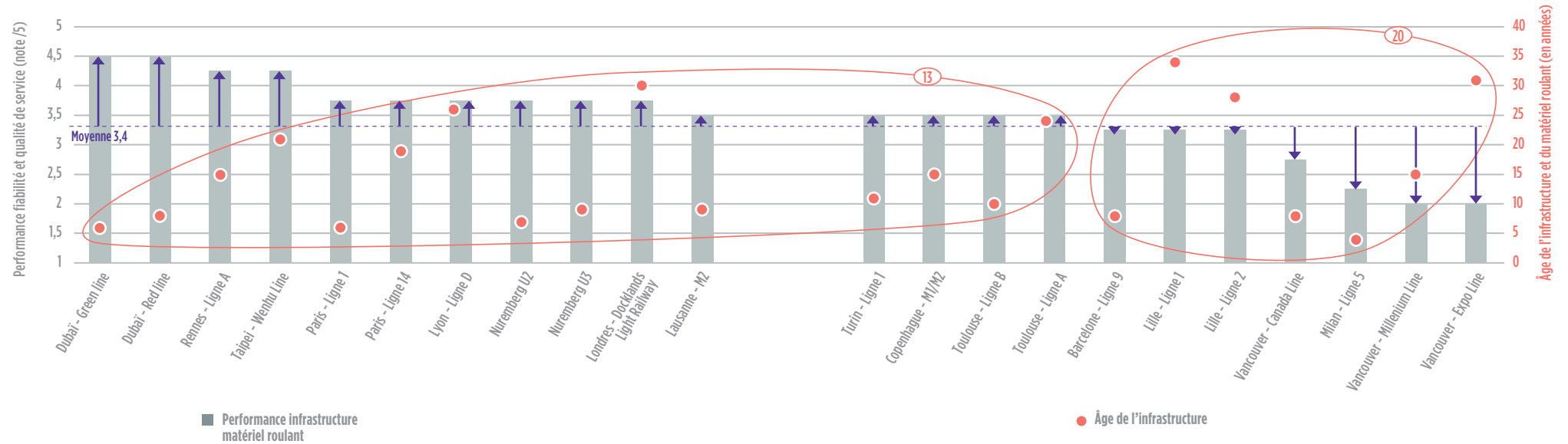
* Somme de la note attribuée à la fiabilité et qualité de service (pondérée de 1), et la note attribuée à l'âge de l'infrastructure pondérée de 0,5 (5 correspond à un âge très avancé).

** Selon la disponibilité et/ou fiabilité des données, le chiffre peut concerner la ponctualité, la disponibilité ou la régularité (cf. glossaire pour définitions).





LE VIEILLESSEMENT DU RÉSEAU ET DU MATÉRIEL ROULANT IMPACTE FORTEMENT LA FIABILITÉ DE L'EXPLOITATION



L'âge de l'infrastructure est un **élément clé** de la fiabilité du service. La **dégradation** de la qualité de service est **corrélée** au vieillissement des assets (cf. graphique ci-dessus).

Par exemple, le **vieillessement** du matériel roulant et des gares a un **impact direct** sur la **perception** des voyageurs en matière de **propreté**.

Le **vieillessement** de l'infrastructure réduit la robustesse de celle-ci et **limite la vitesse commerciale** de la ligne.

Pour assurer une **cadence élevée**, une infrastructure et un matériel roulant vieillissants supposent un **retour d'expérience** important de la part de l'opérateur. À défaut, ses **coûts** de maintenance augmenteraient considérablement.



DES NIVEAUX TRÈS HÉTÉROGÈNES D'EXIGENCES DES AUTORITÉS CLIENTES QUI FAVORISENT LA PERFORMANCE DE CERTAINES LIGNES OU EN DESSERVENT D'AUTRES

Les opérateurs ponctuels ne peuvent démontrer leur performance ponctualité que dans un contexte d'exigences faibles en matière de cadence. Les mettre sous pression pourrait dégrader considérablement cette performance.

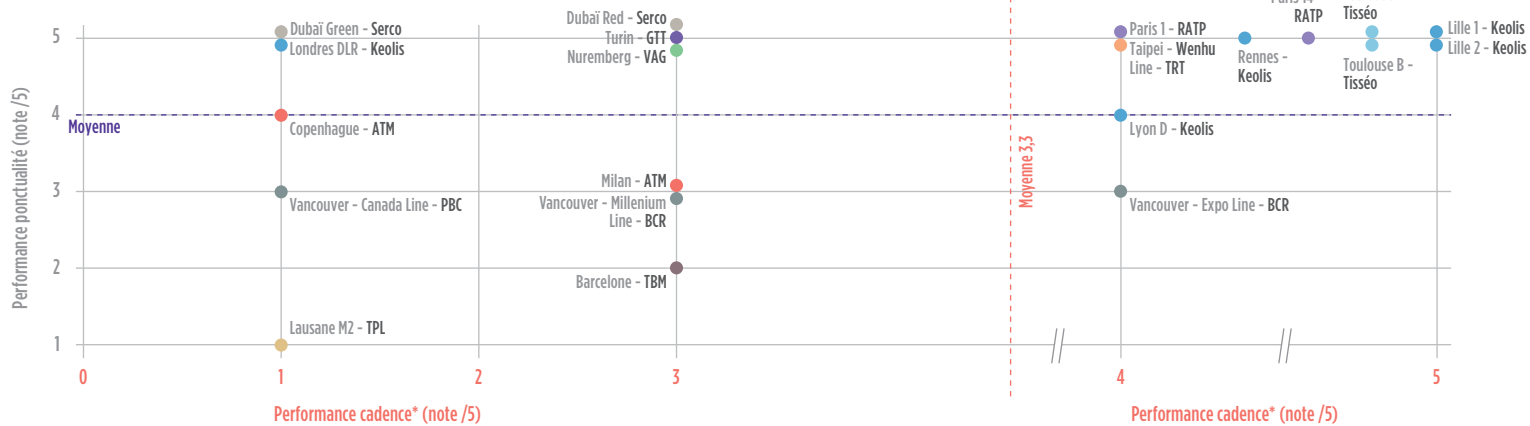
PUNCTUAL

SUPER-PERFORMERS

Les opérateurs européens, en particulier français, arrivent en tête de peloton en matière de performance-ponctualité. Leur retour d'expérience, construit en marge des exigences fortes de leur AOT respectives, leur procure un avantage important vis-à-vis des autres opérateurs.



Under-performers



Les « under-performers » n'arrivent pas à assurer une bonne ponctualité, même à cadence faible. Une éventuelle augmentation de la cadence demandée par l'AOT, impactera considérablement le niveau de service.

UNDER-PERFORMERS

TRYING TO PERFORM

La cadence élevée imposée par l'AOT semble mettre la catégorie « trying to perform » sous pression. À présent, l'opérateur BCRTC arrive difficilement à maîtriser sa ponctualité sous une cadence élevée.

Bien que la cadence des rames relève généralement de la responsabilité de l'AOT, son respect dans le cadre d'un service ponctuel démontre la capacité de certains opérateurs à délivrer un niveau de service élevé sous des contraintes fortes. Tel est le cas des deux catégories « ponctuel » et « super-performant ».

* Méthode d'évaluation : l'évaluation est réalisée d'une manière comparative entre les différentes lignes analysées. La notation maximum de 5 correspond à la meilleure cadence/ponctualité ainsi identifiée, le minimum étant 1. La répartition au sein de cet intervalle est faite d'une manière proportionnelle.



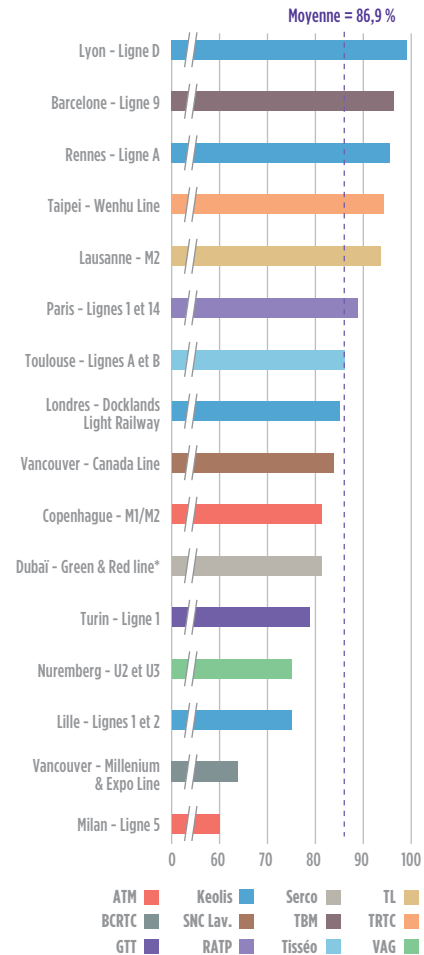
LA SATISFACTION VIS-À-VIS DE LA PROPRETÉ, BIEN QUE DIFFICILE À ANALYSER DU FAIT DE SA SUBJECTIVITÉ, CONTRIBUE FORTEMENT À L'EXPÉRIENCE VÉCUE

Le **taux de satisfaction** des usagers par rapport à la propreté du réseau et du matériel roulant est **variable**. Il est **étroitement lié à la perception**, souvent subjective, des **utilisateurs** en la matière.

Bien que le taux de satisfaction adopté dans le cadre de cette étude correspond aux personnes ayant déclaré avoir **un avis positif**, la comparaison ne peut toutefois être exacte. En effet, les enquêtes menées auprès des clients ne sont pas les mêmes pour l'ensemble des lignes et cela pourrait **biaiser la comparaison** dans une **certaine limite**.

Le **vieillessement** de l'infrastructure et du matériel roulant peut jouer un **rôle important** dans la perception affichée par les usagers. Cependant, la **performance de l'opérateur** en la matière reste **déterminante** : la preuve en est, certaines lignes récentes (ex. : Turin, Milan) affichent des taux de satisfaction médiocres.

Taux de satisfaction propreté (avis positif en %)



* Pourcentage de satisfaction estimé par observations et par comparaison aux autres lignes de métro.



LA SÛRETÉ D'UNE LIGNE DE MÉTRO REFLÈTE LA PERCEPTION DES USAGERS VIS-À-VIS DE CELLE DU RÉSEAU ET LA TYPOLOGIE SOCIODÉMOGRAPHIQUE DES QUARTIERS DESSERVIS

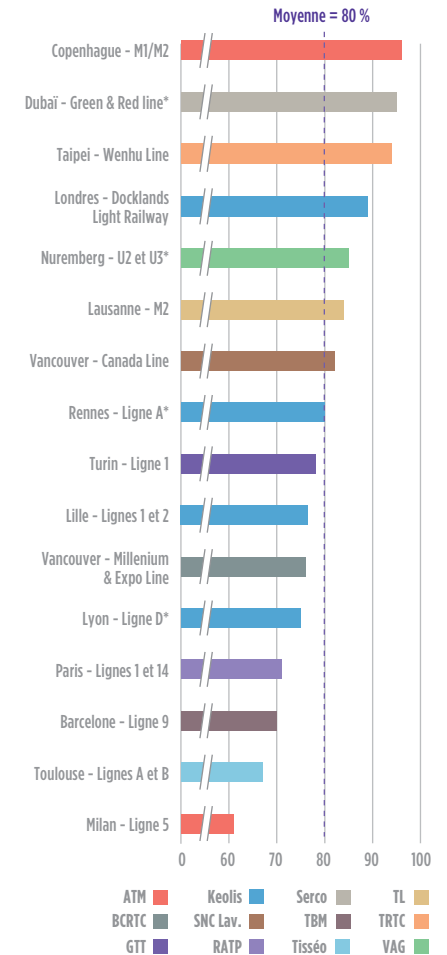
La **sûreté d'une ligne** de métro dépend **directement** du contexte qui l'entoure. La performance de la ligne en la matière est directement **liée** à celle de la **ville desservie** et plus particulièrement des **quartiers desservis**.

Des lignes comme celles de Dubaï, Copenhague et Taipei, profitent d'une **sûreté** très élevée qui règne **au-delà du métro, au niveau de la ville**.

La qualité de la sûreté est souvent jugée par les utilisateurs par rapport à **l'ensemble du réseau** : des lignes de métro comme les lignes 1 et 14, réputées unes des plus sûres du métro parisien, voient leur note pénalisée par une **mauvaise perception globale du réseau**.

Certaines lignes desservant des quartiers éloignés du centre-ville, à **caractère socio-démographique sensible**, semblent **plus exposées** à une baisse du niveau global de sûreté et en conséquence à une baisse de la satisfaction des usagers (ex. : Toulouse, Lyon et Lille).

Taux de satisfaction sûreté (avis positif en %)



* Pourcentage de satisfaction estimé par observations et par comparaison aux autres lignes de métro.



LES CANAUX DE PARTAGE DE L'INFORMATION EN TEMPS RÉEL (HORAIRES ET TRAFIC) SONT PRÉPONDÉRANTS POUR ASSURER LA QUALITÉ DE L'EXPÉRIENCE VOYAGEUR

Le partage de l'information voyageurs à **quai** est **commun** aux différents réseaux étudiés et reste un **canal privilégié** pour les opérateurs.

Cependant, les opérateurs essaient de pousser l'information trafic au-delà des

quais, à l'intérieur de la gare voire même **tout au long du parcours voyageur**.

Il s'avère important que les opérateurs **démultiplient** les supports de l'information voyageur, clé de voute d'une **expérience passager réussie**.

Dans cet objectif, l'**open data** peut être un bon moyen pour véhiculer l'information à des tiers (ex. : réseaux sociaux, affichage à l'aéroport, chatbot, etc.). Certains opérateurs travaillent là-dessus (cf. page suivante).

	À QUAI	MOBILE	STATION	À BORD	SITE WEB
Paris – Lignes 14/1	■	■	■	■	■
Barcelona – Ligne 9	■	■	■	■	■
Lausanne – M2	■	■	■	■	■
Lyon – Ligne D	■	■	■	■	■
Rennes – Ligne A	■	■	■	■	■
Toulouse (2 lignes)	■	■	■	■	■
Lille (2 lignes)	■	■	■	■	■
Nuremberg U2/U3	■	■	■	■	■
Milan Ligne 5	■	■	■	■	■
Dubaï (2 lignes)	■	■	■	■	■
Taipei – Ligne Wenhu	■	■	■	■	■
Turin – Ligne 1	■	■	■	■	■
Copenhague (2 lignes)	■	■	■	■	■
London – Docklands Light	■	■	■	■	■
Vancouver (3 lignes)	■	■	■	■	■

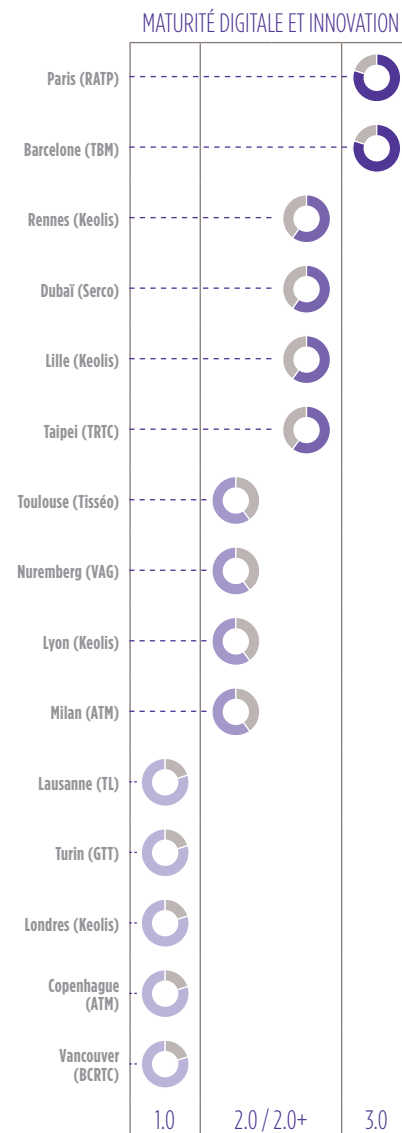
L'information trafic est un pilier de l'expérience voyageur en milieu urbain.

Sa mise à disposition en temps réel, ainsi que sa fiabilisation constituent deux éléments importants de la fidélisation du client par une expérience augmentée du transport.

En outre, l'ouverture des lignes de métro à la concurrence, et l'arrivée de nouveaux modes de transport, mettront les opérateurs devant l'obligation de se différencier : une information passager multicanale et temps réel représente un facteur de différenciation.



LA TRANSFORMATION DIGITALE ET L'INNOVATION EST AU CŒUR DE LA STRATÉGIE GROUPE DE CERTAINS OPÉRATEURS



Le benchmark des lignes de métros automatiques permet d'identifier **cinq tendances** en matière d'innovation :

- / La fiabilisation et le partage d'une **information voyageur** et de l'état du trafic. Donnée déterminante du parcours voyageur.
- / Mettre à disposition du passager une **application mobile** de plus en plus **riche** fonctionnellement, et l'utiliser comme un canal de vente.
- / Le déploiement d'un réseau de **connexion fiable** (avec un basculement net vers la 4G au détriment de l'intérêt affiché des opérateurs télécom dans ce domaine) qui couvre l'ensemble des **gares et le trajet**. L'essentiel du temps passé par un voyageur étant en cours de trajet.
- / L'**open data** qui offre une opportunité unique à l'opérateur de démultiplier l'innovation en ouvrant ses systèmes au monde externe.
- / Le **big data** pour un TAAS (Transport As A Service). Connaître davantage le voyageur, permet à l'opérateur de proposer une **nouvelle expérience voyageur** multimodale et personnalisée. En effet, l'analyse du flux passagers en gare permet d'ajuster l'offre au plus juste de la demande.







BENCHMARK DÉTAILLÉ DES LIGNES DE MÉTROS AUTOMATIQUES ANALYSÉES

BARCELONE : LIGNE 9

Ancienneté du réseau

8 ans

	CARACTÉRISTIQUES	ÉVALUATION*
1	<p>Infrastructure et matériel roulant</p>  <ul style="list-style-type: none"> Vitesse commerciale moyenne (29 km/h) et distance interstation importante (> 1 000 m) Une cadence faible, de 3' en heure de pointe Accessibilité : élevée pour les PMR (> 80 % des arrêts accessibles) Taux de fraude : < 4 % 	3,4
2	<p>Fiabilité et qualité de service</p>  <ul style="list-style-type: none"> Régularité : 94,72 % (il s'agit de l'objectif contractuel) Propreté : un taux de satisfaction pour les rames et stations de 9,9 sur 10 Information passager : information en temps réel diffusée en station et horaires théoriques/info trafic sur le site Web de TMB 	3,25
3	<p>Services auxiliaires et innovants</p>  <ul style="list-style-type: none"> Application de planification d'itinéraire avec informations en temps réel (appli TMB) Couverture de l'ensemble de la ligne 9 en 4G L'opérateur TMB a mis en place une plateforme open data avec 6 interfaces. Dans ce domaine, il reste moins mature que des opérateurs comme la RATP et Keolis TMB utilise déjà le big data pour modéliser les flux des passagers en gare et adapter en conséquence et d'une manière prédictive l'exploitation En 2015, TMB a introduit le paiement par mobile/NFC sur l'ensemble du réseau urbain 	

POINTS CLÉS À RETENIR

- La ligne 9 est la première ligne automatique sur le territoire espagnol. Elle est constituée à ce jour de 2 tronçons (L9 nord et L9 sud) ; une fois ces deux tronçons reliés, il s'agira de la plus longue ligne de métro automatique en Europe.

* Notes /5 brutes, non pondérées par l'ancienneté du réseau.


Ville, Pays	Barcelone, Espagne
Ligne	Ligne 9
Type de roue	Acier
Degré d'automatisation	GoA4
Opérateur	Transports Metropolitans de Barcelona
Autorité organisatrice	Metropolitan Transport Authority
Passager par heure et par direction (PPHPD)	38 500
Signalisation	TrainGuard MT CBTC - Airlink
Longueur du réseau en km	30
Nombre de stations en opération	24
Date de mise en service	2009
Passagers par voiture	895 (passagers par train)
Constructeur / modèle	Alstom Série 9000
Vitesse commerciale moyenne	29 km/h

*Ancienneté du réseau en nombre d'années d'opération de lignes automatisées.

COPENHAGUE : LIGNES 1 ET 2

Ancienneté du réseau*

15 ans

	CARACTÉRISTIQUES	ÉVALUATION*
1	Infrastructure et matériel roulant  <ul style="list-style-type: none"> Vitesse commerciale élevée (40 km/h) et une distance interstation moyenne (1 000 m) Une cadence moyenne, de 2' en heure de pointe au maximum Accessibilité : élevée pour les PMR (> 80 % des arrêts) Taux de fraude : 2,7 % 	3,8
2	Fiabilité et qualité de service  <ul style="list-style-type: none"> Respect du nombre de départs : 98,7 % Propreté : plus de 80 % des usagers déclarent être satisfaits ou très satisfaits de la propreté en station ou dans les trains Information voyageurs : information en temps réel en station et horaires théoriques sur le site Web de Metro Services (80 % des personnes se déclarent satisfaites ou très satisfaites de la mise à jour de l'information) Sûreté passager : plus de 95 % des usagers se déclarent en sécurité 	3,5
3	Services auxiliaires et innovants  <ul style="list-style-type: none"> La 3G est disponible sur l'ensemble de la ligne de métro, incluant les 22 stations Le réseau de Copenhague ne possède pas d'application mobile dédiée 	

POINTS CLÉS À RETENIR

- L'opérateur (Metro Service) est constitué sous forme de joint venture ente ATM et AnsaldoSTS.
- Le constructeur est donc susceptible de fortement accompagner ATM dans les processus de maintenance du matériel roulant. L'actuel contrat d'exploitation et de maintenance expire le 31 décembre 2018 et le nouveau contrat concerne la période 2019-2024.
- Le métro de Copenhague a reçu le prix "World's Best Driverless Metro award" en 2008, 2009 et 2010.
- Le métro de Copenhague est opéré 24/7.

* Notes /5 brutes, non pondérées par l'ancienneté du réseau.





Ville, Pays	Copenhague, Danemark	
Ligne	M 1	M 2
Type de roue	Acier	
Degré d'automatisation	GoA4	
Opérateur	Metro Service	
Autorité organisatrice	Movia	
Passager par heure et par direction (PPHPD)	12 000	
Signalisation	Ansaldo STS driverless solution - CBTC	
Longueur du réseau en km	21,5	
Nombre de stations en opération	22	
Date de mise en service	2002	
Passagers par voiture	200 (34 trains 3 voitures par train)	
Constructeur / modèle	Ansaldo Breda	
Vitesse commerciale moyenne	40 km/h	

*Ancienneté du réseau en nombre d'années d'opération de lignes automatisées.

DUBAÏ : LIGNE RED

Ancienneté du réseau*

8 ans

	CARACTÉRISTIQUES	ÉVALUATION*
1	Infrastructure et matériel roulant  <ul style="list-style-type: none"> • Une vitesse commerciale élevée (42 km/h) mais une distance interstation importante (> 1 800 m) • Une cadence faible, de 3' en heure de pointe • Accessibilité : totale pour les PMR • Taux de fraude : non connu • Parcs relais gratuits dans 3 stations 	3,6
2	Fiabilité et qualité de service  <ul style="list-style-type: none"> • Une ponctualité élevée (> 99 %) • RTA ne communique pas d'élément sur le niveau de satisfaction des passagers concernant la propreté, mais de nombreux avis témoignent d'un niveau de propreté élevé • Information passager : information en temps réel diffusée en station, à quai, à bord et fréquences théoriques sur le site Web de RTA 	4,5
3	Services auxiliaires et innovants  <ul style="list-style-type: none"> • Couverture totale du réseau de téléphonie mobile • Accès Wifi sur l'ensemble du réseau • Paiement NFC par téléphone mobile disponible depuis 2013 • Le métro de Dubaï se différencie par le niveau élevé de connectivité à bord : Wifi de très bonne qualité et connectivité 4G tout au long du parcours 	

POINTS CLÉS À RETENIR

- SERCO a obtenu le renouvellement du contrat d'exploitation et de maintenance (expirant en 2019) pour 2 années supplémentaires.
- Au-delà de proposer une offre plus compétitive, SERCO s'engage à opérer un transfert de compétences en recrutant notamment davantage de nationaux sur les métiers de l'exploitation, la maintenance et la supervision.

* Notes /5 brutes, non pondérées par l'ancienneté du réseau.





Ville, Pays	Dubaï, EAU
Ligne	Red Line
Type de roue	Acier
Degré d'automatisation	GoA4
Opérateur	Serco
Autorité organisatrice	RTA
Passager par heure et par direction (PPHPD)	26 000
Signalisation	SelTrac CBTC - UTO
Longueur du réseau en km	52,1
Nombre de stations en opération	29
Date de mise en service	2009
Passagers par voiture	110 - 62 five-car trains (550 pass cap)
Constructeur / modèle	Kinki Sharyo
Vitesse commerciale moyenne	42 km/h

*Ancienneté du réseau en nombre d'années d'opération de lignes automatisées.

DUBAÏ : LIGNE GREEN

Ancienneté du réseau*

6 ans

	CARACTÉRISTIQUES	ÉVALUATION*
1	Infrastructure et matériel roulant  <ul style="list-style-type: none"> • Une vitesse commerciale moyenne (32 km/h) et une distance interstation importante (> 1 100 m) • Une cadence très faible, de 6' en heure de pointe • Accessibilité : totale pour les PMR • Taux de fraude : non connu. Estimé par des observations 	3,4
2	Fiabilité et qualité de service  <ul style="list-style-type: none"> • Une ponctualité élevée (> 99 %) • RTA ne communique pas d'élément sur le niveau de satisfaction des passagers concernant la propreté, mais de nombreux avis témoignent d'un niveau de propreté élevé • Information passager : information en temps réel diffusée en station et fréquences théoriques sur le site Web de RTA 	4,5
3	Services auxiliaires et innovants  <ul style="list-style-type: none"> • Couverture totale du réseau de téléphonie mobile • Accès Wifi sur l'ensemble du réseau • Paiement NFC par téléphone mobile disponible depuis 2013 • Le métro de Dubaï se différencie par le niveau élevé de connectivité à bord : Wifi de très bonne qualité et connectivité 4G tout au long du parcours 	

POINTS CLÉS À RETENIR

- SERCO a obtenu le renouvellement du contrat d'exploitation et de maintenance (expirant en 2019) pour 2 années supplémentaires.
- Au-delà de proposer une offre plus compétitive, SERCO s'engage à opérer un transfert de compétences en recrutant notamment davantage de nationaux sur les métiers de l'exploitation, la maintenance et la supervision.

* Notes /5 brutes, non pondérées par l'ancienneté du réseau.

Ville, Pays	Dubaï, EAU
Ligne	Green Line
Type de roue	Acier
Degré d'automatisation	GoA4
Opérateur	Serco
Autorité organisatrice	RTA
Passager par heure et par direction (PPHPD)	26 000
Signalisation	SelTrac CBTC - UTO
Longueur du réseau en km	22,5
Nombre de stations en opération	20
Date de mise en service	2011
Passagers par voiture	110 - 25 five-car trains (550 pass cap)
Constructeur / modèle	Kinki Sharyo
Vitesse commerciale moyenne	32 km/h

* Ancienneté du réseau en nombre d'années d'opération de lignes automatisées.

LAUSANNE : LIGNE M2

Ancienneté du réseau*

9 ans

	CARACTÉRISTIQUES	ÉVALUATION*
1	<p>Infrastructure et matériel roulant</p> <ul style="list-style-type: none"> • Une vitesse commerciale faible (18 km/h) – présence de dénivelés important avec une pente atteignant 12 % - mais une distance moyenne interstation peu élevée (< 500 m) • Une cadence moyenne de 2'30 s en heure de pointe • Accessibilité : élevée pour les PMR • Taux de fraude : - 3 % • 1 parc relai 	3,4
2	<p>Fiabilité et qualité de service</p> <ul style="list-style-type: none"> • La régie ne partage pas de donnée chiffrée sur la ponctualité mais communique un taux de satisfaction des usagers, qui s'établit à 93/100 • Propreté : le taux de satisfaction des usagers s'établit à 95/100 • Information voyageurs : information en temps réel en station et horaires théoriques/info trafic sur le site Web de TL (Taux de satisfaction sur l'information : 94 %) • Sécurité passager : un taux de satisfaction de 84 % 	3,5
3	<p>Services auxiliaires et innovants</p> <ul style="list-style-type: none"> • Application de planification d'itinéraire avec informations en temps réel (appli TL live) • TL a choisit le paiement par SMS au détriment de la technologie NFC 	

POINTS CLÉS À RETENIR

- La ligne M2 est la première et unique ligne de métro automatique de Suisse, ouverte en 2008. En 2012, la société Métro Lausanne-Ouchy SA, détentrice de la concession et exploitant historique, est radiée du registre du commerce, ses actifs sont repris par les Transports publics lausannois. Ce changement d'opérateur fait suite à des problèmes d'engorgement du métro, dû à un sous dimensionnement de la fréquentation lors des études amont.
- Un projet d'augmentation de la capacité est en cours, grâce à un programme de requalification des automatismes.

* Notes /5 brutes, non pondérées par l'ancienneté du réseau.

Ville, Pays	Lausanne, Suisse
Ligne	M2
Type de roue	Pneumatique
Degré d'automatisation	GoA4
Opérateur	Transports publics lausannois
Autorité organisatrice	-
Passager par heure et par direction (PPHPD)	5 600
Signalisation	Urbalis 300 CBTC
Longueur du réseau en km	6
Nombre de stations en opération	14
Date de mise en service	2008
Passagers par voiture	222 - 15 x 2-car trains
Constructeur / modèle	Alstom
Vitesse commerciale moyenne	18 km/h

* Ancienneté du réseau en nombre d'années d'opération de lignes automatisées.

LILLE : LIGNES 1 ET 2

Ancienneté du réseau*

Ligne 1 : 34 ans
Ligne 2 : 28 ans

	CARACTÉRISTIQUES	ÉVALUATION*
1	<p>Infrastructure et matériel roulant</p> <ul style="list-style-type: none"> Vitesse commerciale élevée (35 km/h) au regard de l'âge du matériel roulant/distance moyenne interstation faible (750 m) Cadence en heure de pointe la plus élevée au monde : - 66 s Taux de fraude élevé (- 14 %) car réseau ouvert. Devrait diminuer tendanciellement avec l'installation de portillons d'accès sur l'ensemble du réseau d'ici à 2020 Accessibilité totale pour les PMR 	3,8
2	<p>Fiabilité et qualité de service</p> <ul style="list-style-type: none"> Disponibilité : 99,8 % / Respect du temps de parcours : 99 % Propreté : le taux de satisfaction atteint 78 % pour les arrêts et 82 % pour les rames Information passager : information en temps réel en station et horaires théoriques/info trafic sur le site Web de Transpole. Le taux de satisfaction atteint 86 % pour la disponibilité de l'information et 66 % pour les informations en situation perturbée Services passagers : magasins, connexion Internet aux services publics Sûreté passager : le taux de satisfaction atteint 73 % pour les arrêts, et 80% dans les rames 	3,25
3	<p>Services auxiliaires et innovants</p> <ul style="list-style-type: none"> Application de planification d'itinéraire avec informations en temps réel (appli Transpole) Lancement de Moodi, une application conçue pour créer une cartographie en temps réel de la météo émotionnelle des usagers (le passager peut donner son ressenti, signaler une incivilité, une agression) La 3G/4G sera disponible en 2018 sur l'ensemble des deux lignes L'opérateur mise sur la technologie NFC en mettant à disposition des clients une application capable de recharger le titre de transport via téléphone mobile. Un pas de plus vers la dématérialisation Une application « PlanBookTicket » accompagne le voyageur dans une logique de transport multimodal 	

POINTS CLÉS À RETENIR

- Lille est le premier réseau de métro automatique urbain au monde, mis en service en 1983.
- Transpole dispose d'un excellent retour d'expérience sur le matériel roulant permettant d'optimiser les processus de maintenance.
- Les coûts de maintenance diminuent tendanciellement, tandis que le MKBF (Mean Kilometer Between Failure) est en hausse continue depuis plusieurs années (à ce jour ~ 5 600 km).

* Notes /5 brutes, non pondérées par l'ancienneté du réseau.





Ville, Pays	Lille, France	
Ligne	Ligne 1	Ligne 2
Type de roue	Pneumatique	
Degré d'automatisation	GoA4	
Opérateur	Transpole	
Autorité organisatrice	Métropole Européenne Lilloise	
Passager par heure et par direction (PPHPD)	11 000	
Signalisation	TrainGuard MT	
Longueur du réseau en km	12,6	31,5
Nombre de stations en opération	18	44
Date de mise en service	1983	1989
Passagers par voiture	156	
Constructeur / modèle	Alstom/Siemens - VAL 208 / VAL 206	
Vitesse commerciale moyenne	34 km/h	

* Ancienneté du réseau en nombre d'années d'opération de lignes automatisées.

LONDRES : LIGNE DOCKLANDS LIGHT RAILWAY

Ancienneté du réseau*

30 ans

	CARACTÉRISTIQUES	ÉVALUATION*
1	Infrastructure et matériel roulant  <ul style="list-style-type: none"> • Distance moyenne interstation faible (750 m) • Cadence faible, de 5' en heure de pointe • Accessibilité : élevée pour les PMR (> 80 % des arrêts) • Taux de fraude : 0,6 %, en fort recul depuis le gain de la franchise par Keolis Amey 	3,2
2	Fiabilité et qualité de service  <ul style="list-style-type: none"> • Ponctualité : 99,11 % • Propreté : l'indicateur composite de propreté atteint 88/100 • Information voyageurs : information en temps réel en station et horaires théoriques/info trafic sur le site Web de TFL • Sécurité passager : 89 % 	3,75
3	Services auxiliaires et innovants  <ul style="list-style-type: none"> • Des reportings mensuels disponibles sur la performance du réseau communiqués par TFL • Une information trafic et horaire disponibles en temps réel via site de l'autorité organisatrice TFL 	

POINTS CLÉS À RETENIR

- La reprise de la concession de cette ligne est récente (2014) par le groupement Amey et l'acteur Français du transport urbain Keolis. Par conséquent, les indicateurs de performance de cette ligne pourraient évoluer rapidement dans le futur.

Ville, Pays	Londres, Royaume Uni
Ligne	Docklands Light Railway
Type de roue	Acier
Degré d'automatisation	GoA3
Opérateur	KeolisAmey Docklands
Autorité organisatrice	Transport for London
Passager par heure et par direction (PPHPD)	6 000
Signalisation	SeITrac CBTC (Thales)
Longueur du réseau en km	34
Nombre de stations en opération	45
Date de mise en service	1987
Passagers par voiture	284
Constructeur / modèle	Bombardier
Vitesse commerciale moyenne	18 km/h


* Notes /5 brutes, non pondérées par l'ancienneté du réseau.

* Ancienneté du réseau en nombre d'années d'opération de lignes automatisées.

LYON : LIGNE D

Ancienneté du réseau*

26 ans

	CARACTÉRISTIQUES	ÉVALUATION*
1	Infrastructure et matériel roulant  <ul style="list-style-type: none"> Vitesse commerciale moyenne (30 km/h) et distance moyenne interstation relativement faible (890 m) Une cadence moyenne, de 2' en heure de pointe Accessibilité élevée pour les PMR (supérieure aux objectifs contractuels) Taux de fraude : - 6,5 % (réseau fermé) 	3,6
2	Fiabilité et qualité de service  <ul style="list-style-type: none"> Ponctualité : 97,23 % (supérieure à l'objectif contractuel) Propreté : Stations métro : 99,54 % / Voitures métro : 99,20 % (supérieur à l'objectif contractuel) Information voyageurs : information en temps réel et perturbations communiquées en station et horaires théoriques/info trafic sur le site Web de Sytral (Stations métro : 99,54 % / Voitures métro : 99,20 %, supérieur à l'objectif contractuel) Sûreté passager : estimé à 75 % 	3,75
3	Services auxiliaires et innovants  <ul style="list-style-type: none"> Application de planification d'itinéraire avec informations en temps réel (appli TCL) Déploiement du Wifi d'ici fin 2017 sur dans les stations (mais pas sur l'ensemble de la ligne) + de 15 API disponibles via la plateforme open-data du Grand Lyon 	

POINTS CLÉS À RETENIR

- La ligne D a été la première ligne de métro automatique sans conducteur du monde dont l'espacement des trains est assurée par un système CBTC. Il est proposé une augmentation de capacité de 15% en heure de pointe à l'horizon 2020 (dans ce cadre, SYTRAL et Keolis Lyon ont expérimenté en 2015 l'exploitation d'un train composé de 4 voitures, contre 2 habituellement).
- Le principe d'une automatisation intégrale la ligne B du métro en 2019 a été retenu par le SYTRAL.

* Notes /5 brutes, non pondérées par l'ancienneté du réseau.





Ville, Pays	Lyon, France
Ligne	Ligne D
Type de roue	Pneumatique
Degré d'automatisation	GoA4
Opérateur	Keolis Lyon
Autorité organisatrice	SYSTRAL
Passager par heure et par direction (PPHPD)	15 000
Signalisation	TrainGuard MT CBTC
Longueur du réseau en km	12,5
Nombre de stations en opération	15
Date de mise en service	1991
Passagers par voiture	291
Constructeur / modèle	Alstom MPL 85
Vitesse commerciale moyenne	30 km/h

* Ancienneté du réseau en nombre d'années d'opération de lignes automatisées.

MILAN : LIGNE 5

Ancienneté du réseau*

4 ans

	CARACTÉRISTIQUES	ÉVALUATION*
1	Infrastructure et matériel roulant  <ul style="list-style-type: none"> Vitesse commerciale peu élevée (30 km/h) mais une distance interstation faible (700 m) Une cadence relativement faible, de 3' en heure de pointe Une accessibilité élevée pour les PMR (> 80 % des arrêts) Un taux de fraude faible (- 1 %), qui s'explique par la présence de portillons de validation en entrée et sortie du réseau 	4
2	Fiabilité et qualité de service  <ul style="list-style-type: none"> Une régularité élevée (> 99 %) Pas d'engagement contractuel sur le niveau de propreté dans le contrat de délégation. Le niveau de propreté est mesuré via une enquête de satisfaction qui doit respecter un seuil minimum Information passager : information en temps réel diffusée sur les quais et horaires théoriques/info trafic sur le site Web d'ATM Sûreté passager : 61 % sur les derniers taux connus et disponibles 	2,25
3	Services auxiliaires et innovants  <ul style="list-style-type: none"> Application de planification d'itinéraire avec informations en temps réel (appli ATM) La 3G est disponible sur l'ensemble des lignes de métro Titre de transport dématérialisé via application mobile (non NFC) 	

POINTS CLÉS À RETENIR

- La ligne 5 fait l'objet d'un contrat de concession entre la Ville de Milan et la société Metro 5 SpA par lequel la Ville concède le financement, la conception, la réalisation et l'exploitation-maintenance à l'entreprise privée Metro 5 SpA. ATM, pour le compte de la société Metro 5 SpA, assure l'exploitation et la maintenance de la ligne 5 avec un contrat de type gross cost qui s'applique pour toute la durée de la concession, soit jusque fin 2040.
- ATM prend en charge l'ensemble des activités de maintenance régulières du matériel roulant (les activités d'Ansaldo se limitent à des interventions exceptionnelles définies dans la garantie).

* Notes /5 brutes, non pondérées par l'ancienneté du réseau.

Ville, Pays	Milan, Italie
Ligne	Ligne 5
Type de roue	Acier
Degré d'automatisation	GoA4
Opérateur	Azienda Transporti Milanesi
Autorité organisatrice	Azienda Transporti Milanesi
Passager par heure et par direction (PPHPD)	10 700
Signalisation	Ansaldo STS driverless solution - CBTC
Longueur du réseau en km	12,6
Nombre de stations en opération	19
Date de mise en service	2013
Passagers par voiture	134 - 21 trains, 4 voitures par train (536 passagers par train)
Constructeur / modèle	Hitachi Rail Italy (anciennement Ansaldo Breda) / Driverless Metro
Vitesse commerciale moyenne	30 km/h

* Ancienneté du réseau en nombre d'années d'opération de lignes automatisées.

NUREMBERG : LIGNE U2

Ancienneté du réseau*

7 ans

	CARACTÉRISTIQUES	ÉVALUATION*
1	<p>Infrastructure et matériel roulant</p> <ul style="list-style-type: none"> Vitesse commerciale élevée (34,4 km/h) et distance moyenne interstation relativement faible (880 m) Cadence en heure de pointe relativement faible : ~ 3 min. Taux de fraude très faible de 0,9 % (top trois des réseaux en la matière au périmètre de l'étude) Accessibilité totale pour les PMR 	4
2	<p>Fiabilité et qualité de service</p> <ul style="list-style-type: none"> Ponctualité élevée de 99 % Propreté : le taux de satisfaction atteint 80 % pour les gares et le matériel roulant Information passager : l'information voyageur est largement disponible, VAG met même à disposition une interface communiquant la géolocalisation temps réel des différents trains Sûreté passager : les passagers sont généralement satisfaits du niveau de sûreté du réseau de Nuremberg, cependant quelques incidents 	3,75
3	<p>Services auxiliaires et innovants</p> <ul style="list-style-type: none"> Application de planification d'itinéraire avec informations en temps réel VAG travaille en collaboration avec T-System sur un projet de big data au service de l'analyse du flux passagers sur l'ensemble du réseau de transport Le réseau wifi est disponible en gare et dans les trains 	

POINTS CLÉS À RETENIR

- La ligne U2 du métro dispose d'une ponctualité élevée et d'un taux de fraude très faible, caractéristique des réseaux allemands.

Ville, Pays	Nuremberg, Allemagne
Ligne	Ligne U2
Type de roue	Acier
Degré d'automatisation	GoA4
Opérateur	VGN / VAG
Autorité organisatrice	Transport public de l'agglomération de Nuremberg
Passager par heure et par direction (PPHPD)	12 800
Signalisation	TrainGuard MT
Longueur du réseau en km	13,2
Nombre de stations en opération	16
Date de mise en service	2010
Passagers par voiture	128
Constructeur / modèle	Siemens Munich A
Vitesse commerciale moyenne	34,4 km/h

* Notes /5 brutes, non pondérées par l'ancienneté du réseau.

* Ancienneté du réseau en nombre d'années d'opération de lignes automatisées.

NUREMBERG : LIGNE U3

Ancienneté du réseau*

9 ans

	CARACTÉRISTIQUES	ÉVALUATION*
1	<p>Infrastructure et matériel roulant</p> <ul style="list-style-type: none"> Vitesse commerciale faible (26 km/h) et distance moyenne interstation relativement très faible (650 m) Cadence en heure de pointe relativement faible : ~ 3 min. Taux de fraude très faible de 0,9 % (top trois des réseaux en la matière au périmètre de l'étude) Accessibilité totale pour les PMR 	3,8
2	<p>Fiabilité et qualité de service</p> <ul style="list-style-type: none"> Ponctualité élevée de 99 % Propreté : le taux de satisfaction atteint 80 % pour les gares et le matériel roulant Information passager : l'information voyageur est largement disponible, VAG met même à disposition une interface communiquant la géolocalisation temps réel des différents trains Sûreté passager : les passagers sont généralement satisfaits du niveau de sûreté du réseau de Nuremberg, cependant quelques incidents 	3,75
3	<p>Services auxiliaires et innovants</p> <ul style="list-style-type: none"> Application de planification d'itinéraire avec informations en temps réel VAG travaille en collaboration avec T-System sur un projet de big data au service de l'analyse du flux passagers sur l'ensemble du réseau de transport Le réseau wifi est disponible en gare et dans les trains 	

POINTS CLÉS À RETENIR





- La ligne U3 du métro dispose d'une ponctualité élevée et d'un taux de fraude très faible, caractéristique des réseaux allemands.

Ville, Pays	Nuremberg, Allemagne
Ligne	Ligne U3
Type de roue	Acier
Degré d'automatisation	GoA4
Opérateur	VGN / VAG
Autorité organisatrice	Transport public de l'agglomération de Nuremberg
Passager par heure et par direction (PPHPD)	12 800
Signalisation	TrainGuard MT
Longueur du réseau en km	6,5
Nombre de stations en opération	11
Date de mise en service	2008
Passagers par voiture	128
Constructeur / modèle	Siemens Munich A
Vitesse commerciale moyenne	26 km/h

* Notes /5 brutes, non pondérées par l'ancienneté du réseau.

* Ancienneté du réseau en nombre d'années d'opération de lignes automatisées.

PARIS : LIGNE 1

	CARACTÉRISTIQUES	ÉVALUATION*
1	Infrastructure et matériel roulant  <ul style="list-style-type: none"> Vitesse commerciale moyenne (30 km/h) et une distance interstation faible (660 m) Une cadence maximale élevée, de 2' en heure de pointe Accessibilité : faible pour les PMR (< 70 % des arrêts) Taux de fraude : 3 % sur l'ensemble du réseau (réseau fermé) 	3,4
2	Fiabilité et qualité de service  <ul style="list-style-type: none"> Disponibilité : > 100 % (% du nombre réel de métros en circulation aux HP par rapport au service commandé) La RATP ne communique pas d'élément sur le niveau de satisfaction des passagers concernant la propreté, mais le STIF indique que 89,6 % des gares conformes à un niveau de service de référence Information passager : information en temps réel diffusée en station et horaires théoriques/info trafic sur le site Web de la RATP 	3,75
3	Services auxiliaires et innovants  <ul style="list-style-type: none"> Application de planification d'itinéraire avec informations en temps réel (appli RATP) Couverture de la plupart des stations de la ligne 1 en 3G et 4G Une console d'API comportant plus d'une vingtaine d'interfaces Le big data et l'IoT sont des sujets d'ordre stratégique pour la RATP et s'inscrivent au cœur de la stratégie globale du groupe RATP mène des tests de simulation et prédiction des flux voyageurs en gare, en utilisant le big data 	

POINTS CLÉS À RETENIR

- La ligne 1 a été l'une des premières lignes de métro au monde à faire l'objet d'une automatisation en 2011.
- La ligne 1 a démontré son adaptabilité à l'été 2015 pour accueillir l'afflux de voyageurs pendant l'interruption du service sur un tronçon du RER A. Les intervalles ont atteint 100 s entre les trains, pour cela la ligne 1 a bénéficié d'un renfort temporaire de 4 navettes destinées à rejoindre la ligne 14.

* Notes /5 brutes, non pondérées par l'ancienneté du réseau.

Ancienneté du réseau*

6 ans





Ville, Pays	Paris, France
Ligne	Ligne 1
Type de roue	Pneumatique
Degré d'automatisation	GoA4
Opérateur	RATP
Autorité organisatrice	STIF
Passager par heure et par direction (PPHPD)	25 000
Signalisation	TrainGuard MT CBTC
Longueur du réseau en km	16,5
Nombre de stations en opération	25
Date de mise en service	2011
Passagers par voiture	120 (6 voitures par train)
Constructeur / modèle	Alstom
Vitesse commerciale moyenne	30 km/h

* Ancienneté du réseau en nombre d'années d'opération de lignes automatisées.

PARIS : LIGNE 14

Ancienneté du réseau*

19 ans

	CARACTÉRISTIQUES	ÉVALUATION*
1	Infrastructure et matériel roulant  <ul style="list-style-type: none"> • Vitesse commerciale élevée (40 km/h) et distance interstation moyenne (1 000 m) • Une cadence maximale élevée, de 85 s en heure de pointe • Accessibilité : élevée pour les PMR (> 80 % des arrêts) • Taux de fraude : 3 % sur l'ensemble du réseau (réseau fermé) 	4,4
2	Fiabilité et qualité de service  <ul style="list-style-type: none"> • Disponibilité : > 100 % (% du nombre réel de métros en circulation aux heures de pointe par rapport au service commandé) • La RATP ne communique pas d'élément sur le niveau de satisfaction des passagers concernant la propreté, mais le STIF indique que 89,6 % des gares conformes à un niveau de service de référence • Information passager : information en temps réel diffusée en station et horaires théoriques/info trafic sur le site Web de la RATP 	3,75
3	Services auxiliaires et innovants  <ul style="list-style-type: none"> • Application de planification d'itinéraire avec informations en temps réel (appli RATP) • Couverture de la plupart des stations de la ligne 1 en 3G et 4G • Une console d'API comportant plus d'une vingtaine d'interfaces • Le big data et l'IoT sont des sujets d'ordre stratégique pour la RATP et s'inscrivent au cœur de la stratégie globale du groupe • RATP mène des tests de simulation et prédiction des flux voyageurs en gare, en utilisant le big data 	

POINTS CLÉS À RETENIR





- Première ligne 100 % automatique à grand gabarit dans le monde lors de sa mise en service, la ligne 14 va bénéficier de prolongements qui doivent relier le centre de la capitale, le pôle d'affaires de Saint-Denis Pleyel, au nord, et l'aéroport d'Orly, au sud.
- Ces prolongements seront réalisés en conservant les caractéristiques actuelles de la ligne, avec une vitesse supérieure à 40 km/h.

Ville, Pays	Paris, France
Ligne	Ligne 14
Type de roue	Pneumatique
Degré d'automatisation	GoA4
Opérateur	RATP
Autorité organisatrice	STIF
Passager par heure et par direction (PPHPD)	25 000
Signalisation	TrainGuard MT CBTC
Longueur du réseau en km	9,2
Nombre de stations en opération	9
Date de mise en service	1998
Passagers par voiture	720 (passagers par train)
Constructeur / modèle	Alstom
Vitesse commerciale moyenne	40 km/h

* Notes /5 brutes, non pondérées par l'ancienneté du réseau.

* Ancienneté du réseau en nombre d'années d'opération de lignes automatisées.

RENNES : LIGNE A

	CARACTÉRISTIQUES	ÉVALUATION*
1	Infrastructure et matériel roulant  <ul style="list-style-type: none"> Vitesse commerciale moyenne (32 km/h) et une distance moyenne interstation faible (610 m) Cadence élevée, de 1'40 s en heure de pointe Accessibilité totale pour les PMR Taux de fraude élevé (- 10,4 %) car réseau ouvert, avec une fermeture prévue pour 2019/2020 	4
2	Fiabilité et qualité de service  <ul style="list-style-type: none"> Ponctualité : 99,66 %, taux de disponibilité du système : 99,72 % Propreté : le taux de satisfaction atteint 94,4/100 Information passager : information en temps réel en station et horaires théoriques/info trafic sur le site Web de Tisséo. Le taux de satisfaction atteint 95/100 pour l'état et la disponibilité de l'information Sûreté passager : estimé à 80 % 	4,25
3	Services auxiliaires et innovants  <ul style="list-style-type: none"> La 4G des quatre opérateurs de téléphonie mobile sera disponible dès Juin 2017 sur l'ensemble de la ligne A Une solution de mobilité client (application mobile) est mise à disposition. Elle propose un moyen de planification d'itinéraire et une information trafic temps réel En collaboration avec OpenDataSoft, Keolis met à disposition une plateforme open-data riche comportant plus d'une trentaine d'API à destination de développeurs tiers. 	

POINTS CLÉS À RETENIR

- La construction d'une deuxième ligne de métro automatique (employant la variante CityVal du Neoval) est en cours avec une mise en service programmée en 2020.
- L'actuel contrat de délégation expire fin 2017, et doit être revu avant la mise en service de la deuxième ligne de métro, qui va significativement modifier l'offre de transport rennais.

* Notes /5 brutes, non pondérées par l'ancienneté du réseau.

Ancienneté du réseau*

15 ans





Ville, Pays	Rennes, France
Ligne	Ligne A
Type de roue	Pneumatique
Degré d'automatisation	GoA4
Opérateur	Keolis Rennes
Autorité organisatrice	Rennes Métropole
Passager par heure et par direction (PPHPD)	6 000
Signalisation	TrainGuard MT CBTC (Siemens)
Longueur du réseau en km	8,56
Nombre de stations en opération	15
Date de mise en service	2002
Passagers par voiture	156
Constructeur / modèle	Siemens
Vitesse commerciale moyenne	32 km/h

* Ancienneté du réseau en nombre d'années d'opération de lignes automatisées.

TAPEI : LIGNE WENHU (BROWN LINE)

Ancienneté du réseau*

21 ans

	CARACTÉRISTIQUES	ÉVALUATION*
1	Infrastructure et matériel roulant  <ul style="list-style-type: none"> Vitesse commerciale élevée (42 km/h) et la distance interstations importante (1,1 km) Cadence maximale de 2" pendant les heures de pointe Niveau d'accessibilité aux PMR élevé Taux de fraude : non connu 	4,2
2	Fiabilité et qualité de service  <ul style="list-style-type: none"> Ponctualité : 99,73 % Propreté : taux de salification de la propreté supérieur à 95/100 Information passager : information en temps réel sur les quais et dans les trains, et service client hotline 24/7 	4,25
3	Services auxiliaires et innovants  <ul style="list-style-type: none"> Le Wifi est accessible dans l'ensemble des stations La technologie sans contact NFC fût déployée sur l'ensemble du réseau à partir de 2012 Le métro de Taipei dispose d'une plateforme open data, mais qui ne communique pas des données temps réel. Cette interface est plutôt utilisée pour partager des statistiques mensuelles MRT met à disposition une application mobile qui donne des informations offline, sans planificateur de parcours 	

POINTS CLÉS À RETENIR





• Le métro de Taipei est jugé d'après plusieurs sources de presse locale, comme faisant partie des top 4 (Hong Kong, Séoul et Singapour) des réseaux les plus performants dans le monde. Cela est dû à un niveau de ponctualité très élevé, un très bon état de l'infrastructure et un niveau de propreté élevé.

Ville, Pays	Taipei, Taiwan
Ligne	Wenhu line
Type de roue	Pneumatique
Degré d'automatisation	GoA4
Opérateur	Taipei Rapid Transit
Autorité organisatrice	-
Passager par heure et par direction (PPHPD)	28 400
Signalisation	Bombardier CityFlo
Longueur du réseau en km	25,2
Nombre de stations en opération	24
Date de mise en service	1996
Passagers par voiture	114
Constructeur / modèle	Alstom-Bombardier / VAL
Vitesse commerciale moyenne	42 km/h

* Notes /5 brutes, non pondérées par l'ancienneté du réseau.

* Ancienneté du réseau en nombre d'années d'opération de lignes automatisées.

TOULOUSE : LIGNES A ET B

	CARACTÉRISTIQUES	ÉVALUATION*
1	Infrastructure et matériel roulant  <ul style="list-style-type: none"> Vitesse commerciale moyenne (33 km/h), mais une distance moyenne interstation relativement faible (740 m) Cadence élevée, de 1'20 s en heure de pointe Taux de fraude faible -3,2 % (réseau fermé) Accessibilité élevée pour les PMR (+ de 80 % des arrêts sont accessibles) 	4,4 Ligne A 4,2 Ligne B
2	Fiabilité et qualité de service  <ul style="list-style-type: none"> La régie ne partage pas de donnée chiffrée sur la ponctualité, le niveau de propreté et l'information passager Ces indicateurs sont néanmoins conformes à l'engagement qualité défini avec l'AFNOR, qui a décerné à Tisséo la certification NF Service Information passager : information en temps réel en station et horaires théoriques/info trafic sur le site Web de Tisséo Sûreté passager : estimé à 67 % 	3,5
3	Services auxiliaires et innovants  <ul style="list-style-type: none"> Application de planification d'itinéraire avec informations en temps réel (appli Tisséo) La 4G des quatre opérateurs de téléphonie mobile sera disponible dès octobre 2017 sur l'ensemble des lignes A et B Une plateforme open data est disponible. Cependant, le nombre d'API reste limité (10 interfaces). 	

POINTS CLÉS À RETENIR

- L'exploitation est assurée en régie par l'établissement public à caractère industriel et commercial Tisséo-Réseau Urbain.
- Du fait de l'expansion démographique et économique et des besoins en mobilité de l'agglomération toulousaine, il est prévu de doubler la capacité de la ligne A du métro d'ici à 2019.

* Notes /5 brutes, non pondérées par l'ancienneté du réseau.

Ancienneté du réseau*

Ligne A : 24 ans
Ligne B : 10 ans

Ville, Pays	Toulouse, France	
Ligne	Ligne A	Ligne B
Type de roue	Pneumatique	
Degré d'automatisation	GoA4	
Opérateur	Tisséo	
Autorité organisatrice	Tisséo-EPIC	
Passager par heure et par direction (PPHPD)	7 000	
Signalisation	TrainGuard MT CBTC	
Longueur du réseau en km	12,5	15
Nombre de stations en opération	18	20
Date de mise en service	1993	2007
Passagers par voiture	200	
Constructeur / modèle	Siemens (VAL 206 / VAL 208)	
Vitesse commerciale moyenne	34 km/h	33 km/h

* Ancienneté du réseau en nombre d'années d'opération de lignes automatisées.

TURIN : LIGNE 1

Ancienneté du réseau*

11 ans

	CARACTÉRISTIQUES	ÉVALUATION*
1	Infrastructure et matériel roulant  <ul style="list-style-type: none"> Vitesse commerciale faible (25,5 km/h), mais distance interstation peu élevée (660 mètres en moyenne) Cadence moyenne peu élevée, de 3' en heures de pointe Niveau d'accessibilité aux PMR très élevé Un taux de fraude de 4 %, légèrement élevé pour un réseau fermé 	3,8
2	Fiabilité et qualité de service  <ul style="list-style-type: none"> La disponibilité du service est très élevée et avoisine les 99,9 % Informations voyageurs classiques disponibles dans chaque station 	3,5
3	Services auxiliaires et innovants  <ul style="list-style-type: none"> Une application est disponible pour mobile. Elle dispose de fonctionnalités de calcul d'itinéraire mais ne disposant pas d'information trafic temps réel 	

POINTS CLÉS À RETENIR

- Le réseau de métro de Turin est récent, l'infrastructure est neuve et bien entretenue. Cela expliquerait en partie la fiabilité du service et la satisfaction élevée des clients en matière de propreté.
- Le taux de fraude est considéré comme légèrement élevé dans un contexte de réseau fermé. En effet, ce taux ne se situe pas dans l'intervalle moyen en la matière en Italie qui semble varier entre 1 et 3 %.

* Notes /5 brutes, non pondérées par l'ancienneté du réseau.





Ville, Pays	Turin, Italie
Ligne	1
Type de roue	Pneumatique
Degré d'automatisation	GoA4
Opérateur	Gruppo Trasporti Torinesi
Autorité organisatrice	-
Passager par heure et par direction (PPHPD)	23 000
Signalisation	TrainGuard MT CBTC
Longueur du réseau en km	13,2
Nombre de stations en opération	21
Date de mise en service	2006
Passagers par voiture	200
Constructeur / modèle	Siemens / VAL 208
Vitesse commerciale moyenne	25,5 km/h

* Ancienneté du réseau en nombre d'années d'opération de lignes automatisées.

VANCOUVER : LIGNE CANADA

Ancienneté du réseau*

8 ans

	CARACTÉRISTIQUES	ÉVALUATION*
1	Infrastructure et matériel roulant  <ul style="list-style-type: none"> • Vitesse commerciale élevée (35 km/h) mais une distance moyenne interstation importante (1 300m) • Une cadence faible, de 6' en heure de pointe • Une accessibilité élevée pour les PMR (> 80 % des arrêts) • Taux de fraude : 5,4 % 	3,2
2	Fiabilité et qualité de service  <ul style="list-style-type: none"> • L'opérateur ne communique pas de chiffre sur la ponctualité, mais celle-ci est jugée satisfaisante ou très satisfaisante par 92 % des passagers • Propreté : 87 % des passagers attribuent une évaluation bonne à excellente sur la propreté à bord et en station • Information passager : information en temps réel diffusée en station et fréquences théoriques sur le site Web de Translink • Sécurité passager : 82 % des passagers attribuent une évaluation bonne à excellente sur la sécurité à bord 	2,75
3	Services auxiliaires et innovants  <ul style="list-style-type: none"> • Pas d'application dédiée, mais un planificateur d'itinéraire développé pour le mobile 	

POINTS CLÉS À RETENIR

- Canada Line a été construit dans le cadre d'un partenariat public privé. SNC Lavalin en est l'opérateur pour une durée de 35 ans, avec une fréquentation minimum garantie par Translink.

* Notes /5 brutes, non pondérées par l'ancienneté du réseau.

Ville, Pays	Vancouver
Ligne	Canada Line
Type de roue	Acier
Degré d'automatisation	GoA4
Opérateur	Protrans BC
Autorité organisatrice	Autorité des Transports du Grand Vancouver
Passager par heure et par direction (PPHPD)	15 000
Signalisation	SelTrac CBTC - UTO
Longueur du réseau en km	19,2
Nombre de stations en opération	16
Date de mise en service	2009
Passagers par voiture	334
Constructeur / modèle	Hyundai Rotem
Vitesse commerciale moyenne	35 km/h

* Ancienneté du réseau en nombre d'années d'opération de lignes automatisées.

VANCOUVER : LIGNE EXPO / LIGNE MILLENIUM

Ancienneté du réseau*

Expo Line : 31 ans
Millenium Line : 15 ans

	CARACTÉRISTIQUES	ÉVALUATION*
1	Infrastructure et matériel roulant  <ul style="list-style-type: none"> Vitesse commerciale élevée (45 km/h) mais une distance interstation importante (> 1 500 m) Une cadence moyenne de 2' en heure de pointe sur Expo Line Taux de fraude : 5,5 % 	4 Expo Ligne 3,6 Millenium Ligne
2	Fiabilité et qualité de service  <ul style="list-style-type: none"> L'opérateur ne communique pas de chiffre sur la ponctualité, mais celle-ci est jugée satisfaisante ou très satisfaisante par 81 % des passagers Propreté : 71 % des passagers attribuent une évaluation bonne à excellente sur la propreté à bord et en station Information passager : information en temps réel diffusée en station et fréquences théoriques sur le site Web de Translink Sûreté passager : 76 % des passagers attribuent une évaluation bonne à excellente sur la sûreté à bord 	2
3	Services auxiliaires et innovants  <ul style="list-style-type: none"> Pas d'application dédiée, mais un planificateur d'itinéraire développé pour le mobile 	

POINTS CLÉS À RETENIR

- British Columbia Rapid Transit Company Ltd (BCRTCTC), pour le compte de TransLink, exploite et assure la maintenance des 2 lignes Skytrain.

* Notes /5 brutes, non pondérées par l'ancienneté du réseau.

Ville, Pays	Vancouver	
Ligne	Skytrain Expo Line	Skytrain Millenium Line
Type de roue	Acier	
Degré d'automatisation	GoA4	
Opérateur	British Columbia Rapid Transit Company	
Autorité organisatrice	Autorité des Transports du Grand Vancouver	
Passager par heure et par direction (PPHPD)	16 000	15 000
Signalisation	SelTrac CBTC - UTO	
Longueur du réseau en km	28,9	15
Nombre de stations en opération	20	
Date de mise en service	1985	2002
Passagers par voiture	500 (passagers par train)	200
Constructeur / modèle	Bombardier Transportation	Siemens (VAL 206 / VAL 208)
Vitesse commerciale moyenne	44 km/h	33 km/h

* Ancienneté du réseau en nombre d'années d'opération de lignes automatisées.

ANNEXES

MÉTHODOLOGIE D'ÉVALUATION DES INDICATEURS

Une gradation de la performance selon 5 niveaux, permettant d'établir, pour chaque indicateur, la performance relative de chaque réseau du benchmark

NIVEAU DE PERFORMANCE	ÉVALUATION SUR 5	ATTRIBUTION DE LA NOTE
Performance médiocre Réseau le moins performant du périmètre	1	L'attribution de la note est systemiquement objectivée par les données quantitatives recueillies Lorsque des données quantitatives n'ont pu être collectées, la note s'appuie sur l'ensemble des éléments qualitatifs complémentaires en mesure d'éclairer l'analyse
Performance insuffisante	2	
Performance moyenne	3	
Bonne performance	4	
Excellente performance Réseau le plus performant du périmètre	5	

L'ANALYSE COMPARATIVE DES MÉTROS SE BASE SUR DES INDICATEURS QUI PRENNENT EN COMPTE L'INFRASTRUCTURE, LA QUALITÉ DU SERVICE ET LE VIEILLISSEMENT DES ASSETS

- ✓ Vitesse commerciale
- ✓ Distance inter-station
- ✓ Fréquence des trains
- ✓ Accessibilité
- ✓ Taux d'intrusion au sein du réseau

Performance de l'infrastructure et du matériel roulant

Σ



Performance globale de la ligne de métro



Σ



Fiabilité et qualité de service

- ✓ Ponctualité
- ✓ Propreté
- ✓ Information passagers
- ✓ Sécurité passagers

Effet vieillissement de l'infrastructure et du matériel roulant

Σ



Scoring de performance de l'infrastructure et du matériel roulant



Scoring de performance de la ligne de métro automatique



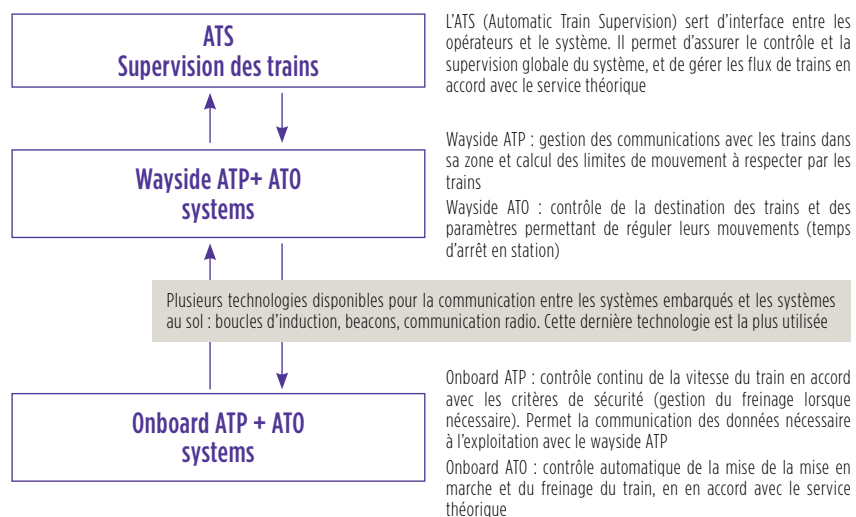
Scoring de performance de la fiabilité et qualité de service



ARCHITECTURE D'UN SYSTÈME DE GESTION DES TRAINS BASÉE SUR LA COMMUNICATION (CBTC, COMMUNICATIONS-BASED TRAIN CONTROL)

Les principales caractéristiques d'un système CBTC (Communications-based train control) sont :

- une localisation des trains indépendante des circuits de voie ;
- une transmission bidirectionnelle haut débit entre les équipements au sol et les trains ;
- un système constitué par des ordinateurs situés à la fois au sol et dans les trains.



ATP : Automatic Train Protection/ATO : Automatic Train Operation

GLOSSAIRE

ATP, ATC, ATO : systèmes embarqués aidant respectivement à éviter la collision, contrôler l'acheminement des trains et contrôler l'accélération et la décélération des rames.

Automated Guideway Transit AGT : un système similaire au métro, dans le sens qu'il roule sur un circuit dédié sans interférence avec d'autres modes de transport. Cependant, l'AGT est souvent constitué d'une rame à une voiture, dont la capacité ne dépasse pas 100 passagers. Du fait de son design simple, l'AGT ne présente pas les mêmes contraintes opérationnelles que celles du métro.

Disponibilité : indicateur quantifiant l'écart entre le nombre de kilomètres réalisés et le nombre de kilomètres théoriques. La disponibilité est calculée comme le ratio entre le nombre de kilomètres réalisés et le nombre de kilomètres théoriques.

GoA 1 (« grade of automation » 1) correspond à une exploitation 100% manuelle, dans le cadre de laquelle le conducteur assure le démarrage et l'arrêt du train, le contrôle des portes et des incidents d'exploitation.

GoA 2 (« grade of automation » 2) correspond à une exploitation semi-automatique, dans le cadre de laquelle le démarrage et l'arrêt du train sont automatisés, mais le conducteur assure le contrôle des portes et des incidents d'exploitation, et conduit éventuellement le train lorsque nécessaire.

GoA 3 (« grade of automation » 3) correspond à une exploitation sans conducteur, dans le cadre de laquelle le démarrage et l'arrêt du train sont automatisés, mais un opérateur (qui n'est pas un conducteur) assure le contrôle des portes et des incidents d'exploitation, et conduit éventuellement le train lorsque nécessaire.

GoA 4 (« grade of automation » 4) correspond à une exploitation sans ressource humaine présente à bord, dans le cadre de laquelle le démarrage et l'arrêt du train, le contrôle des portes et des incidents d'exploitation, sont entièrement automatisés.

Light Rail Transit LRT : système opérant sur un circuit qui pourrait être partagé avec d'autres mode de transport (ex : voiture), souvent alimenté par une caténaire et dont la rame dispose d'un nombre très limité de voitures (1 à 2). Le tramway en fait partie.

Métro : système de transport collectif opérant sur un circuit dédié en sous-sol ou bien en surface. Généralement, la rame est composée de plusieurs voitures (jusqu'à 6 à 8 wagons) et dispose d'un niveau d'accès surélevé.

Métro automatique (tel que défini dans le cadre de l'étude) : système de transport collectif opérant sur un circuit dédié en sous-sol ou bien en surface, alimenté par les rails et transportant des passagers faisant majoritairement des trajets pendulaires. Généralement, la rame est

composée de plusieurs voitures (jusqu'à 6 à 8 wagons), dispose d'un niveau d'accès surélevé et possède une capacité supérieure à 100 passagers. Sa conduite est entièrement effectuée d'une manière automatique sans intervention d'un conducteur (grade 3 ou grade 4). Les systèmes LRT, AGT ou People Mover décrits ultérieurement dans ce glossaire n'en font pas partie.

Méto conventionnel (tel que défini dans le cadre de l'étude) : un méto (cf. définition ci-dessus) dont la conduite est entièrement ou partiellement assurée par un conducteur (grade 1 ou grade 2).

Niveau d'automatisation : le niveau d'automatisation est défini en fonction de la répartition des responsabilités, entre le système et les ressources humaines, des activités liées à l'exploitation du service.

Opérateurs de méto automatique : TL (transport public de la région Lausannoise), ATM (Azienda Transporti Milanesi), BCRTC (British Columbia Rapid Transit), GTT (Gruppo Torinese di Transporte), TMB (Transports Metropolitans de Barcelona), TRTC (Taipei Rapid Transit).

People mover (transport hectométrique) : système de transport léger par rail entièrement automatisé. Le terme est généralement utilisé uniquement pour des navettes surélevées à crémaillère simple desservant des petites étendues telles que

des aéroports, des parcs d'attractions ou des zones urbaines très limitées.

Ponctualité : indicateur quantifiant l'écart entre l'horaire de passage réalisé et la grille horaire théorique. La ponctualité peut être calculée comme le pourcentage de trains respectant la grille horaire théorique.

PPHPD : le nombre de passagers par heure et par direction est une mesure de la capacité d'un système de transport public. Le PPHPD permet de déterminer les exigences de capacités du matériel roulant (et donc les CAPEX et OPEX associés au projet).

Régularité : indicateur quantifiant l'écart entre la cadence réalisée et la cadence théorique. La régularité peut être calculée comme le pourcentage de trains respectant la cadence théorique.

Système de gestion des trains basé sur la communication (système CBTC) : système de contrôle automatique du trafic ferroviaire (train ou méto) qui se base sur la communication continue entre le train et des ordinateurs chargés de piloter le trafic.

Urbanisation : le phénomène de déplacement des habitants des zones rurales en zones urbaines, ou bien la transformation des zones rurales en zones urbaines denses.

EXTRAIT DU RÉFÉRENTIEL DE SOURCES

« The trend to automation », London Seminar, UITP 2013

« Metro automation - facts and figures », UITP

« Observatory of automated metros 2013 »

« UTO Metros opportunities and challenges », Arts et métiers

« The automation control systems for the efficiency of metro transit lines »

« Impacts of Unattended Train Operations on Productivity and Efficiency in Metropolitan Railways », Judith M Cohen, Alexander S Barron, Richard J Anderson, Daniel J Graham, 2015, Transportation Research Board

« The impacts of moving block signaling on technical efficiency : An application of propensity score matching on urban metro rail Systems », Shane Canavana, Daniel J. Graham, Patricia C. Melo, Richard J. Anderson, Alexander Barron and Judith M. Cohen, 2015, Railway and Transport Strategy Centre, Centre for Transport Studies, Dept of Civil and Environmental Engineering, Imperial College London

« Future of rail 2050 », ARUP

« Copenhaguen metro - The best metro in the world 2010 », Ansaldo STS

« The world cities in 2016 », Nations Unies

« The economic of public transportation 2007 », Taylor & Francis

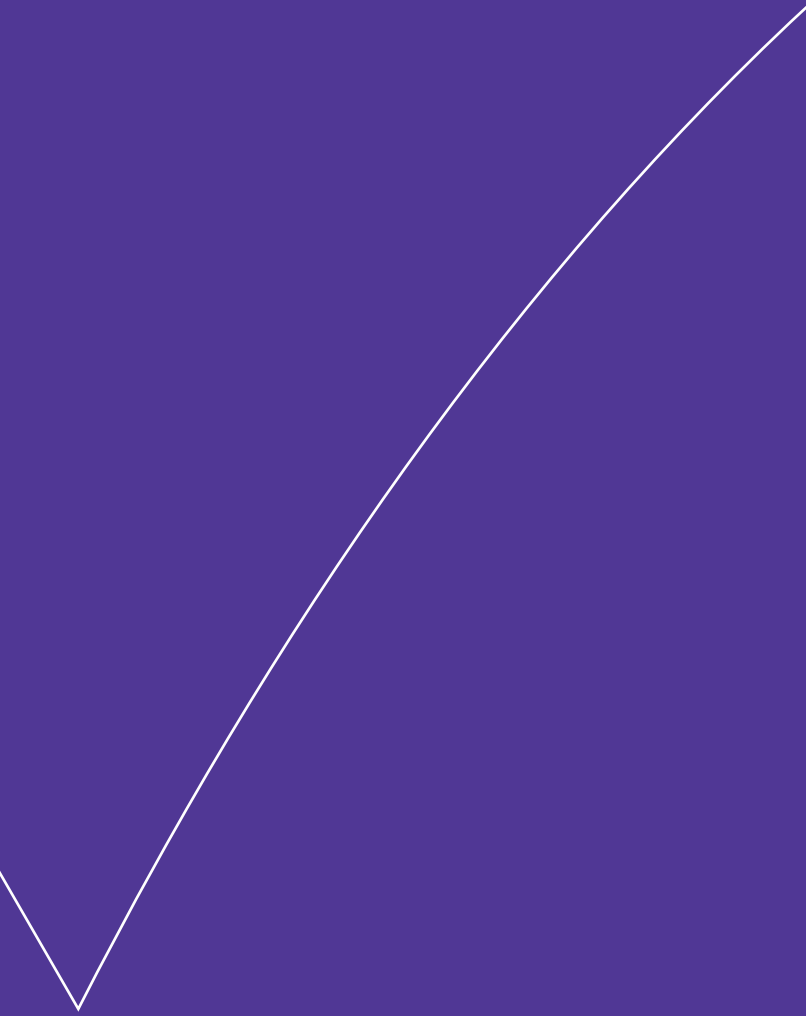
« The future of Transportation 2015 », Siemens

Rapports annuels d'activité des opérateurs de méto et des équipementiers 2015

Communications INSEE

Communications LVMT Laboratoire Ville, Mobilité et Transport

Articles de presse spécialisée : Streetsblog, CityLab, Nordbayern, Railway Technology, Gulf News, Think Railways, MarktSpiegel, Business Insider...



WAVESTONE

www.wavestone.com