

Arc Express

débat public sur le métro de rocade

DOSSIER DES ÉTUDES

Étude

Solution de système de transport en synergie technique avec les réseaux ferrés RATP (RATP)





AVERTISSEMENT

Les études préalables, dont fait partie le document qui suit, ont été réalisées en 2008-2009 afin d'élaborer le Dossier d'Objectifs et de Caractéristiques Principales présenté au Conseil du STIF en juillet 2009 et qui a servi d'appui à la constitution du dossier de saisine de la Commission nationale du débat-public.

Ces études avaient pour objet premier de valider la faisabilité du projet Arc Express.

Réalisées par différents prestataires du STIF, elles ne portent pas nécessairement la position retenue in fine par le STIF dans le dossier du maître d'ouvrage élaboré pour le débat public, ce dossier étant aussi le fruit d'une maturation des sujets au sein des équipes du STIF, éclairée par ces études mais également le fruit d'échanges avec les partenaires du projet.

Dans ces études préalables, plusieurs éléments ont pu être retenus comme des postulats permettant un chiffrage du projet ou servant de base aux études de trafic. Il en va par exemple du positionnement des stations intermédiaires évoqué dans certains rapports.

Ces choix a priori n'avaient qu'une visée méthodologique. Seules les étapes de concertation à venir permettront de définir les caractéristiques et les tracés précis du projet Arc Express.

Si le STIF décide de poursuivre le projet à l'issue du débat public, de nouvelles études approfondies seront menées en vue de l'enquête publique, puis lors de l'élaboration de l'avant-projet détaillé.

Contenu du dossier des études :

- >> Perspectives de croissance urbaine (IAU) ;
- >> Etudes des enjeux transports et études de trafic (STIF) ;
- >> Etude des points de maillage potentiels (RATP) ;
- >> Etudes des pôles d'échanges SNCF/ Arc Express (SNCF) ;
- >> Etude d'une solution de système de transport en synergie technique avec les réseaux ferrés RATP (RATP) ;
- >> Etudes de systèmes de transport (SETEC TPI / XELIS) ;
- >> Etudes d'insertion de tracés, d'impact sommaire et rédaction du DOCP (SETEC TPI / XELIS / INGEROP) ;
- >> Synthèse et extraits du rapport études exploratoires des modalités de financement du projet Arc Express liées aux retombées économiques du projet s'agissant des aspects « montages contractuels » et « financement du projet » (DS Avocats / SP2000 / Paul Hastings / KPMG / Atis Real / Arcadis) ;



RAPPORT D'ETAPE

Réf. Arc Express / Système compatible RATP • 30 septembre 2008

Arc Express

Etude d'une solution de système de transport en synergie technique avec les réseaux ferrés exploités par la RATP

SOMMAIRE

| | |
|---|-----------|
| 1. Contexte et objectifs | 2 |
| 1.1 Contexte de l'étude | 2 |
| 1.2 Objet du volet d'étude confié à la RATP | 2 |
| 1.3 Contenu du document..... | 3 |
| 2. Organisation de l'exploitation ferrée à la RATP | 4 |
| 2.1 Caractéristiques générales des systèmes de transport ferrés exploités par la RATP | 4 |
| 2.2 Organisation de l'exploitation automatique | 7 |
| 2.3 Organisation de la maintenance | 8 |
| 2.4 Organisation de la formation et du contrôle de sécurité | 10 |
| 3. Pistes de synergies d'Arc Express avec les réseaux RATP..... | 12 |
| 3.1 Opportunités fonctionnelles et techniques..... | 12 |
| 3.2 Critères de pertinence et faisabilité des synergies envisageables..... | 13 |
| 4. Typologie des systèmes compatibles envisageables..... | 14 |
| 4.1 Démarche méthodologique..... | 14 |
| 4.2 Métro gabarit parisien | 15 |
| 4.3 Métro gabarit large | 16 |
| 4.4 RER | 17 |
| 5. Besoins fonctionnels pour Arc Express « embranché »..... | 18 |
| 5.1 Principes et préconisations pour l'exploitation d'Arc Express | 18 |
| 5.2 Propositions d'organisation de la maintenance pour Arc Express..... | 19 |

IDENTIFICATION DU DOCUMENT

| | |
|--------------|--|
| Référence | DAT-1421-RE-02-Arc-Express_Systeme.doc |
| Rédaction | Françoise Guillerault, Michel Lemaître |
| Vérification | Eric Tardivel, Philippe Ventéjol |

1. Contexte et objectifs

1.1 Contexte de l'étude

Une convention entre le STIF, l'Etat et la Région Ile-de-France, relative aux « **études du projet d'amélioration de l'offre de transport en proche couronne dit "Arc Express"**¹ » a été validée le 12 décembre 2007 en Conseil du STIF. Cette convention mobilise 4 millions € sur les crédits d'études inscrits au Contrat de projets Etat-Région au profit d'Arc Express (sur les 25.5M€ prévus sur la période 2007-2013, hors participation éventuelle des collectivités locales) et vise à l'élaboration du Dossier d'Objectifs et de Caractéristiques Principales début 2009 dans la perspective d'un débat public avant fin 2009.

Le **programme général d'études**² envisagé consiste en :

- Une étude globale d'opportunité sur l'ensemble de la petite couronne à l'horizon 2020/2030 dont l'objectif est de :
 - Préciser la consistance du projet de rocade ferrée : architecture (définition d'arcs en rocade, articulation des arcs entre eux et avec le réseau de transport existant), tracé, stations, système de transport (mode), passages en souterrain ou en surface... ;
 - Apprécier l'intérêt de chacun des projets ainsi définis du point de vue des enjeux de transport et des enjeux urbains, notamment en termes de densification des périmètres mutables ;
 - Apprécier les montages juridiques et financiers envisageables, notamment afin de faire financer partiellement le projet Arc Express par les effets fonciers positifs générés.
- Des approfondissements sur les fuseaux Sud-Est et Nord-Ouest comprenant une analyse fine, à l'échelle de ces territoires, des enjeux urbains et de transport et des enjeux techniques (insertion du tracé, stations, estimation des coûts).

Un certain nombre de volets d'études, en lien avec les réseaux qu'elle exploite, a été confié à la RATP. Il s'agit de :

- L'étude des pôles de correspondance entre la liaison Arc Express (fuseaux Sud-Est et Nord-Ouest) et les autres réseaux ferrés de banlieue exploités par la RATP
- L'analyse de l'intermodalité entre la liaison Arc Express (fuseaux Sud-Est et Nord-Ouest) et le réseau de surface (bus, tramway, TCSP)
- L'étude d'une **solution de système de transport en synergie technique** avec les réseaux ferrés exploités par la RATP

Les résultats du volet relatif au système de transport sont prévus pour le 4^{ème} trimestre 2008. Ce rapport d'étape présente l'avancement de ce volet d'étude à l'issue du 1^{er} semestre.

1.2 Objet du volet d'étude confié à la RATP

La présente mission porte sur les **systèmes de transport compatibles** avec ceux qu'exploite la RATP (métro, tramway, RER ou matériel hybride compatible avec les installations existantes). L'exploitation d'Arc Express étant envisagée en **conduite automatique intégrale**, le mode tramway n'est pas retenu (puisque un tramway en conduite automatique, autorisant une vitesse commerciale élevée, s'apparente à une solution type métro, cf. annexe). L'étude a pour objectif d'analyser, pour chacun des systèmes envisageables, l'**opportunité** et la **possibilité de le retenir pour l'exploitation d'Arc Express**. La description de ces systèmes s'accompagne d'esquisses d'insertion urbaine d'une station-type dans 4 contextes urbains différents : en surface (à hauteur de voirie), en aérien (viaduc), en souterrain avec terrassement depuis la surface, en souterrain avec terrassement en sous-œuvre. Ces esquisses ont pour objectif

¹ Arc Express : liaison de rocade ferrée, en grande partie souterraine, desservant les zones d'urbanisation denses et continues du cœur d'agglomération (Projet de SDRIF • février 2007)

² Cf. Convention et programme de travail des études relatives au projet "Arc Express" • STIF • déc. 2007

d'appréhender de manière pédagogique les **avantages et inconvénients des différents systèmes**, notamment par rapport aux hauteurs de quais en fonction du gabarit des véhicules.

L'étude comporte également une appréciation de **l'intérêt de la compatibilité du système de transport Arc Express avec l'outil industriel RATP**, en termes d'efficacité et d'avantages fonctionnels, économiques et techniques. Cette appréciation passe par l'explicitation des prestations pouvant être mutualisées dans le cadre d'une exploitation « embranchée » avec les réseaux exploités par la RATP, puis par une analyse dynamique, pour chaque phase de mise en service des arcs de la liaison Arc Express, des synergies dont peut bénéficier chaque composante des systèmes envisagés (matériel roulant, systèmes, alimentation électrique, infrastructures de garage et de maintenance...) au cours des phases de conception, d'investissement, d'exploitation ou de maintenance. La démonstration de la faisabilité de mise en œuvre des synergies attendues s'appuie sur :

- une étude géométrique de raccordement aux réseaux RATP existants ou en cours de développement
- une étude de la capacité à intégrer les différentes activités de maintenance et éventuellement de remisage par modernisation ou extension des installations existantes ou projetées dont la localisation peut être propice à l'accueil des rames de la ligne Arc Express

L'évaluation économique des éventuelles synergies avec les réseaux RATP a pour objectifs **d'alimenter l'estimation des coûts** des systèmes de transport envisageables et **d'apporter un éclairage sur le choix du système** de transport à retenir pour Arc Express.

La présente note d'étape précède la construction et l'analyse des scénarios pour les arcs de la liaison Arc Express (caractérisés par un tracé, la localisation des stations et les choix de terminus éventuels, une offre de service, un système de transport, un phasage de mise en service...). A ce stade d'avancement des études, les hypothèses de dimensionnement du système (capacité objectif, parc du matériel roulant, programme de production...) ne sont donc pas disponibles. L'étude géométrique de raccordement de la future ligne Arc Express au réseau préexistant sera menée dès lors que des familles de tracés seront envisagées. L'étude des capacités des sites de maintenance et de garage ainsi que l'analyse économique et dynamique d'une exploitation en commun avec le réseau RATP nécessitent que des scénarios de phasage et de politique d'offre soient formulés.

1.3 Contenu du document

L'objet du paragraphe précédent est de préciser le contenu et le périmètre de la mission confiée à la RATP.

La suite du document présente l'organisation de l'exploitation existante des systèmes métro et RER à la RATP, l'accent étant mis sur les conditions d'exploitation de la ligne automatique existante et sur les procédures, activités ou infrastructures bénéficiant déjà de ressources mutualisées et d'un « effet réseau ». Le 3^{ème} chapitre met en évidence les pistes de synergies pouvant être recherchées grâce à l'intégration fonctionnelle et technique d'Arc Express à l'outil industriel de la RATP. Sont ensuite présentés une typologie et la description « hors sol » des caractéristiques des systèmes de transport aptes à être maintenus dans les installations RATP, puis les premiers principes pouvant être formulés à ce stade d'avancement des études pour une exploitation « embranchée » d'Arc Express (principes de raccordement, d'exploitation, d'alimentation électrique, de garage et de maintenance, inventaire des sites de maintenance propices). Pour ce dernier point, une attention particulière est portée aux deux fuseaux qui feront l'objet d'études détaillées (Nord-Ouest et Sud-Est).

La description des éléments d'infrastructure et les esquisses d'insertion urbaine d'une station-type pour les différents systèmes étudiés font l'objet du rapport d'étude DAT-1421-RE-03-Arc-Express_Infras.

2. Organisation de l'exploitation ferrée à la RATP

2.1 Caractéristiques générales des systèmes de transport ferrés exploités par la RATP

2.1.1 Infrastructures et équipements

Les réseaux ferrés lourds de la RATP sont constitués d'un ensemble de 16 lignes de métro (200 km exploités) et 2 lignes de RER (115 km). Ces lignes comprennent 300 stations de métro et 66 gares nominales dont certaines, en correspondance avec d'autres lignes, assurent le maillage du réseau. Les stations de métro présentent une longueur utile comprise entre 75m et 120m suivant les lignes, les gares du RER ont une longueur utile de 225m.

On distingue deux types de lignes :

- les lignes où circulent des trains avec du personnel qualifié à bord, dites « lignes avec conducteurs » (cas des 2 lignes de RER RATP et de 15 lignes de métro);
- les lignes où circulent des trains sans personnel à bord, dites « lignes en conduite automatique intégrale » (cas de la ligne 14 du métro).

Les voies principales sont les voies sur lesquelles circulent normalement les trains transportant les voyageurs, les voies secondaires comprennent les autres voies. Les trains passent d'une voie à une autre à l'aide d'appareils de voie. Les tunnels souterrains sont équipés d'ouvrages de ventilation, de désenfumage et d'accès pompiers ; les stations, outre les installations de ventilation, réfrigération et compression, comportent des installations mécaniques (ascenseurs, escaliers mécaniques, portes anti-fraude...), électroniques (télévisions, téléaffichage, sonorisation, systèmes d'alarme effraction...) et des équipements de péage (vente et contrôle automatique).

2.1.2 Matériel

Le matériel roulant circulant sur le réseau Métro de la RATP s'inscrit dans un gabarit dit unifié. Le roulement du matériel roulant peut être de deux types en fonction de l'équipement des lignes :

- roulement « fer » avec roues métalliques sur voie conventionnelle (matériels actuellement en service : MF67, MF77, MF88, MF2000) ;
- roulement « pneu » avec roues pneumatiques sur pistes et roues métalliques pour assurer le guidage sur voie conventionnelle (matériels actuellement en service : MP59, MP73, MP89).

La traction est électrique et alimentée par des frotteurs captant l'énergie à partir de rails spécifiques.

Le matériel roulant circulant sur le réseau RER de la RATP s'inscrit dans un gabarit dit « UIC cinématique ». Le roulement du matériel roulant est un roulement « fer » avec roues métalliques sur voie conventionnelle (matériels actuellement en service : MS61, MI79, MI84, MI2N). La traction est électrique et alimentée par des pantographes captant l'énergie à partir de lignes aériennes de contact.

Chaque train de voyageurs est composé de plusieurs voitures : motrices avec ou sans cabine de conduite assurant la traction et remorques avec ou sans cabine de conduite. Dans le cas du RER, les trains sont composés d'un ou plusieurs éléments automoteurs constitués de motrices et de remorques. Les compositions des trains varient d'une ligne à l'autre et peuvent varier sur une même ligne de RER.

Toutes les voitures des trains sont équipées d'un dispositif de freinage. Un dispositif d'alarme, à la disposition des voyageurs en cas de danger, est généralement implanté au niveau de chacune des portes du train. Un dispositif d'inhibition du frein de secours évite l'arrêt d'un train en interstation lorsqu'un dispositif d'alarme a été actionné par un voyageur. Les voitures sont également pourvues d'un éclairage normal et d'un éclairage de secours dont l'alimentation est indépendante de l'énergie électrique de traction. Les trains sont équipés d'une sonorisation qui permet de diffuser des informations depuis la cabine de conduite ou, pour le métro, depuis le poste de commande et de contrôle centralisés (PCC).

Les trains sont remisés et entretenus dans les sites de garage et de maintenance.

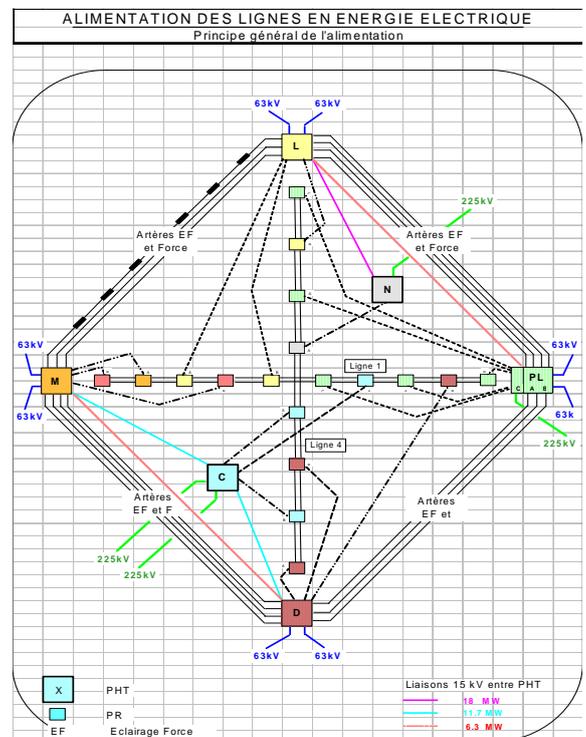
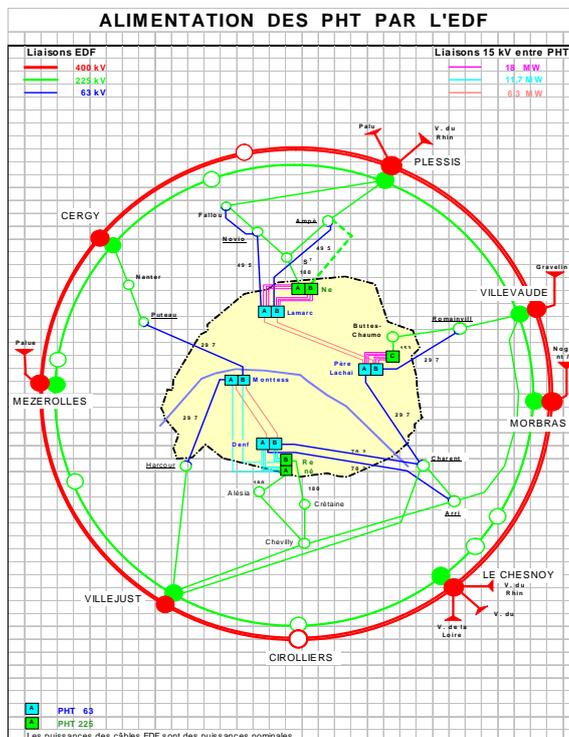
2.1.3 Alimentation en énergie électrique

Le réseau d'alimentation en énergie électrique constitue un **élément stratégique pour la continuité de service** des lignes de Métro et de RER, le maintien de la sécurité des voyageurs et la survie des installations souterraines en cas de fortes perturbations du réseau EDF. La structuration d'un réseau d'énergie électrique spécifique s'est constituée au fil des ans en lien étroit avec l'évolution des techniques de production et de transformation de l'électricité.

Architecture du réseau Haute Tension de la RATP

L'énergie est fournie aux sept postes Haute Tension (PHT) de la RATP par des sources triphasées HTB³ 63 kV et 225 kV du gestionnaire du réseau de transport d'électricité (RTE) situées à la périphérie de Paris⁴. Les objectifs de ce principe d'alimentation, introduit dans les années 60, sont de pouvoir disposer d'une source d'alimentation fiable, d'avoir la puissance nécessaire au plus près des réseaux sur Paris et sa proche banlieue, et également de garder la maîtrise de la distribution. Les PHT reçoivent l'énergie, la transforment en 15 kV triphasé (HTA) et la distribuent aux utilisateurs (Métro, RER, Tramway, ateliers, dépôts routiers, bâtiments administratifs) par l'intermédiaire des :

- 200 postes de redressement (PR) pour redresser le courant alternatif en courant continu et transformer l'**énergie pour la traction des trains** en 750 V pour le tramway et le métro et en 1 500 V pour le RER. Les PHT alimentent les PR d'une ligne de Métro ou de RER en antenne. Certains PR sont directement raccordés au réseau EDF 20 kV et comportent alors, outre les équipements d'un poste raccordé au réseau RATP, un disjoncteur haute tension d'arrivée et des équipements de comptage. Le sous-réseau « traction » représente environ 80 % de la puissance consommée ;
- 350 postes Eclairage-Force (PEF) pour les utilisations en 380 V et 220 V nécessaires aux **installations fixes**. Les PEF, composés de 2 unités de transformation, sont alimentés par des artères à deux câbles généralement connectées à deux PHT 63 kV différents à leurs extrémités. Le sous-réseau « éclairage et force » représente environ 20 % de la puissance consommée ;
- 2 000 km de câbles 15 kV qui relient PHT, PR et PEF.



³ Le courant alternatif Haute Tension distingué HTB (tensions > 50 kV) et HTA (tension entre 1kV et 50 kV)

⁴ Les PHT 63 kV sont Lamarck et Père Lachaise AB au nord de la Seine, Montessuy et Denfert au sud. Les PHT 225 kV sont Ney et Père Lachaise C au nord de la Seine et René Coty au sud.

Certains PR et PEF peuvent être directement alimentés par le gestionnaire du RTE.

Le réseau d'alimentation (PHT, PR, artères et PEF) est supervisé par le Poste de Commande de l'Energie et de la Maintenance (PCEM) qui a été renouvelé en 2007. Il regroupe l'ensemble des commandes et des contrôles du réseau d'alimentation en énergie électrique HTA et HTB de la RATP et permet de :

- connaître en permanence l'état d'alimentation du réseau et des arrivées EDF,
- identifier et localiser les dysfonctionnements des équipements,
- reconfigurer le réseau, notamment en cas de défaillance sur le réseau EDF,
- commander et contrôler les appareils,
- contrôler les puissances consommées,
- contrôler en temps réel l'alimentation traction de chaque ligne de Métro, RER et Tramway,
- organiser les opérations de maintenance corrective et piloter en temps réel les interventions curatives.

Disponibilité du réseau de distribution d'énergie électrique

Le réseau RATP est conçu pour assurer un **haut niveau de disponibilité**, grâce à la maîtrise des schémas de distribution, depuis les sources EDF jusqu'aux utilisations en stations ou sur les lignes, en s'appuyant sur les multiples reconfigurations permises par l'architecture du réseau Haute Tension. La gestion centralisée de tous les équipements depuis le PCEM confère aux exploitants une très grande réactivité.

De façon générale, la disponibilité des équipements énergie est obtenue, pour chacun des niveaux N de la distribution électrique RATP, par des possibilités d'alimentation « normal/secours » au niveau N+1, soit par automatismes, soit par reconfiguration.

Les groupes électrogènes fixes dans les PHT (groupes thermiques et turbines) permettent de s'affranchir des pannes graves du réseau EDF en Ile de France. Les PHT situés au nord de la Seine peuvent se secourir mutuellement par l'intermédiaire de liaisons d'assistance. Il en est de même pour les PHT situés au sud.

La continuité de service liée à l'alimentation électrique des trains est, de plus, assurée :

- par un surdimensionnement des postes de redressement fournissant l'énergie aux lignes (la perte d'un PR sur un groupe de trois n'a pas, en général, de conséquence sur le mouvement des trains car la charge est alors reportée sur les PR encadrants)
- et par un panachage des sources 15 kV alimentant ces PR afin de pallier la défaillance d'un PHT ou de deux sources EDF (les PR sont connectés de manière telle que trois PR consécutifs soient toujours alimentés par des PHT différents, ou au moins par des sources EDF 63 KV ou 225 KV différentes).

Chaque PEF peut être alimenté par 6 à 7 sources 63 KV ou 225 KV EDF différentes grâce aux liaisons de secours entre PHT. D'autre part, côté utilisation de l'énergie, des circuits Basse Tension (BT), prioritaires ou délestables, sont réalisés par des bascules et des contacteurs à partir des deux tableaux BT issus chacun d'un des deux transformateurs HT/BT. En cas de défaillance d'une artère, il y a reconfiguration automatique au niveau des circuits de distribution.

Ces dispositions, ainsi que celles mises en oeuvre au niveau de la distribution de la Basse Tension, permettent de répondre au besoin de grande disponibilité exigée par les circuits prioritaires des stations et des gares. En effet, la RATP est assujettie au respect de règles de sécurité très sévères concernant les transports ferroviaires souterrains et les établissements recevant du public. Du fait de leur nature souterraine, le réseau du métro et les parties centrales du RER nécessitent de maintenir en fonctionnement permanent les installations assurant la sécurité des voyageurs (éclairage, signalisation, commandes centralisées, téléphonie haute fréquence, ventilation de désenfumage...) ainsi que celles assurant la "survie du réseau" (éclairage de secours, postes d'épuisement des eaux...).

2.2 Organisation de l'exploitation automatique

L'organisation de l'exploitation est structurée de manière à assurer dans les meilleures conditions possibles, pendant toute la durée d'exploitation du système, la **sécurité** des voyageurs, des personnels d'exploitation et des tiers. Les trains circulent tous les jours de l'année selon la desserte définie par le contrat passé avec l'autorité organisatrice des transports.

Conduite et circulation des trains

La conduite des trains de la ligne 14 en **conduite automatique intégrale** est assurée par un ensemble d'automatismes (équipements fixes et embarqués constituant le dispositif de contrôle-commande), sans que la présence à bord d'un agent habilité soit nécessaire. La mise en service des trains (préparation, vérifications, essais) est réalisée automatiquement par les équipements du système d'automatisation de l'exploitation des trains (SAET). Les conditions de mise en mouvement sont régies par les automatismes. En tout point du parcours, la vitesse peut être limitée en fonction des distances de sécurité, du rayon des différentes courbes, des caractéristiques des appareils de voie... La sécurité de la marche des trains et la protection des trains sont assurées par des informations transmises de façon continue ou ponctuelle à l'aide d'une liaison sol-train. La signalisation latérale (signaux d'espacement et signaux de manœuvre) n'est utile qu'en mode dégradé lorsqu'il est nécessaire de recourir à la conduite manuelle du train. La conduite automatique permet :

- une optimisation de la régularité du service des trains
- une maîtrise des temps de stationnement
- une adaptation de la fréquence de passage des rames à n'importe quel moment de la journée
- une grande souplesse dans le garage des rames
- une optimisation des coûts d'exploitation de la ligne.

La gestion de la circulation des trains de la ligne automatique (suivi, régulation, télédépannage...) est normalement contrôlée par des agents qualifiés à partir d'un poste de commande et de contrôle centralisés (PCC). La gestion des équipements de sécurité liés à la fonction transport d'une ligne est assurée par le personnel qualifié des terminus et du PCC.

Lorsqu'une anomalie est détectée au niveau des équipements du SAET, les dispositions nécessaires sont prises conformément aux instructions de sécurité ferroviaire. Selon le type d'anomalie, la reprise en conduite manuelle par un agent habilité peut être envisagée. En dehors des anomalies liées au matériel roulant, la circulation des trains peut être affectée par des incidents, des travaux ou des accidents d'exploitation entraînant une interdiction de circulation, une circulation partielle (« service provisoire ») ou une réduction de la vitesse des trains.

La circulation des trains de service est planifiée et concerne les déplacements de trains, les trains d'essais, les trains de travaux et de transport de matériel, les engins industriels...

Les moyens de commande et de contrôle des manœuvres (itinéraires, signaux, appareils de voie), normalement gérés depuis le PCC à l'aide des équipements centraux du SAET, peuvent être actionnés depuis des postes de manœuvre locaux ou à pied d'œuvre.

Energie électrique

L'énergie électrique de traction est distribuée aux trains par l'intermédiaire des rails de contact (3^{ème} rail de traction ou barres de guidage), qui peuvent être substitués par une caténaire rigide. Les rails de contacts sont divisés en sections distinctes pouvant être isolées les unes des autres. Un circuit de rupteurs d'alarme est disposé tout au long de la ligne. Lorsqu'un PR est mis à l'arrêt pour maintenance il n'y a généralement pas de répercussion sur l'alimentation en énergie électrique de traction de la ligne du fait du principe d'alimentation d'une ligne. En cas de perturbation de l'alimentation en énergie électrique de traction, lorsque la puissance disponible devient insuffisante pour une exploitation normale, l'emploi d'une marche adaptée et éventuellement une réduction du nombre de trains en exploitation peuvent être prescrits. Des mesures dites de délestage sont alors appliquées. La gestion de l'électricité de traction sur la ligne se fait à partir du PCC et en secours à partir de postes de commande traction ou à pied d'œuvre.

Gestion des stations

Les quais sont isolés des voies par des portes palières et des portes de secours. Les portes palières s'ouvrent et se ferment simultanément avec les portes des trains à quai.⁵

Les équipements en station (alarmes, moyens audio-visuels, ascenseurs et escaliers mécaniques, équipements de péage, sonorisation...) sont gérés depuis le poste de commande station qui peut être regroupé au PCC. Les personnels en station assurent accueil, information, confort et sécurité des voyageurs.

Gestion des communications et des évènements dits « importants »

Les stations, les trains et les différents postes de commande et de contrôles sont équipés de liaisons téléphoniques. Les échanges de communications nécessaires à l'exploitation sont assurés par des téléphones fixes, des téléphones haute fréquence ou des radiotéléphones.

La Permanence Générale RATP (PGR), structure permanente, est le centre névralgique de gestion des incidents importants (accident ferroviaire, incendie dans un train ou une station...). A ce titre, elle est chargée :

- de faire appel aux différents services de secours publics (sapeurs-pompiers, police, gendarmerie) conformément au plan d'intervention et de sécurité,
- de déclencher si nécessaire l'application du plan de commandement d'urgence,
- de coordonner l'intervention des départements de la RATP,
- de centraliser et mettre en place l'information multimodale aux voyageurs.

Maîtrise des espaces

La RATP dispose d'équipes dédiées qui veillent à la sécurisation des transports collectifs sur l'ensemble du réseau, en collaboration avec les effectifs de police. Des équipes d'agents de sécurité de la RATP patrouillent sur l'ensemble du réseau. Elles sont en liaison permanente avec le Poste Central de sécurité de la RATP (PC2000), qui gère l'ensemble des interventions sur les réseaux. Les lignes sont pourvues d'équipements de vidéo-surveillance qui contribuent à la maîtrise des espaces. Certains sites de garage des trains sont équipés de télésurveillance, d'autres sont gardiennés pour éviter les dégradations pendant l'interruption du service des voyageurs.

2.3 Organisation de la maintenance

La maintenance est structurée autour des différentes composantes du système de transport (matériel roulant, équipements, infrastructures ferroviaires et ouvrages d'art). Les services chargés de la maintenance définissent leurs politiques de maintenance en fonction des spécificités techniques des équipements, de l'environnement, des retours d'expérience, des contraintes réglementaires et des choix technico-économiques arrêtés par la RATP. On distingue la maintenance préventive (systématique, conditionnelle ou prévisionnelle) qui est destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien et la maintenance corrective (d'urgence ou différée) qui est exécutée après détection d'une panne.

La maintenance du matériel roulant est assurée par le département en charge du matériel roulant ferroviaire. La maintenance des équipements fixes, dont certains nécessitent des engins lourds de manutention, est assurée par différents départements en charge de ces équipements.

2.3.1 Maintenance du matériel roulant

Maintenance technique des matériels

La maintenance des trains s'organise sur 4 niveaux d'interventions, qui peuvent être assurés sur un site unique ou partiellement exportés vers un site traitant des équipements du même type :

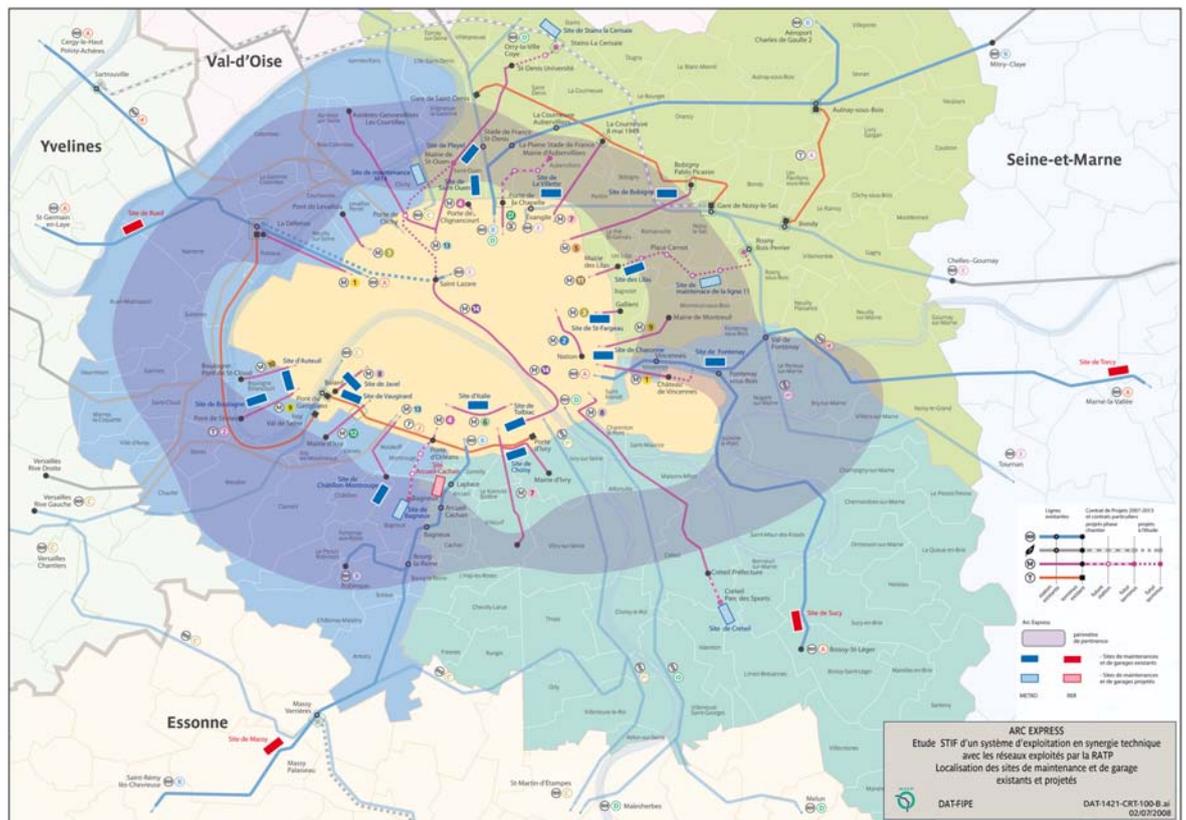
- Le **dépannage des trains** en exploitation suite à tout problème technique
Le Centre de Dépannage des Trains (CDT) implanté sur la ligne (ou en extrémité)

⁵ La mise en place de façades de quais pour les stations de la ligne 14 permet de protéger l'espace parcouru par les trains. On dénombre plus de 300 accidents corporels par an sur l'ensemble du réseau (suicides, chutes sur les voies...) entraînant dans la plupart des cas un décès ou une invalidité permanente et provoquant d'importantes interruptions de service, liées souvent à la nécessité d'enquêtes de police.

diagnostique et traite l'avarie si celle-ci peut être réparée en moins de 30 minutes afin d'optimiser l'utilisation du matériel. Une maintenance courante de proximité peut y être réalisée lorsqu'il y a 2 voies ou plus.

- La **maintenance courante**, réalisée dans les ateliers de maintenance des trains (AMT) :
 - la maintenance corrective qui consiste à traiter les pannes qui n'ont pu être réparées par le CDT. Elle est dimensionnée en fonction de la fiabilité des trains.
 - la maintenance préventive (visites techniques périodiques) : pour les matériels modernes, elle consiste en des visites partielles tous les 15 000 km et en une visite complète en fonction du kilométrage annuel réalisé par chaque train (de l'ordre de 100 à 150 000 km/an/train).
- La **maintenance renforcée**, dimensionnée par le kilométrage annuel, consiste en la dépose et pose des sous-éléments (bogies, moteur, blocs électroniques, intercirculations...) nécessitant des équipements lourds, du type tour (si roues fer), vérin en fosse ou levage coordonné. Certains de ces sous-éléments peuvent être placés en toiture, ce qui nécessite la mise en place de pont roulant sur certaines voies de maintenance. Ces ponts peuvent également être utilisés pour l'échange des sous-ensembles lourds ou spécifiques comme les intercirculations. Les équipements déposés sont déportés vers un atelier de maintenance patrimoniale (AMP) ou un atelier de maintenance des équipements (AME).
- La **maintenance patrimoniale** concerne les tâches qui contribuent à maintenir les trains en condition opérationnelle en révisant les sous-ensembles en fonction de leurs pas de maintenance. Elle consiste à démonter les équipements déposés et à remplacer les pièces usées ou défectueuses. Après avoir été révisés, les sous-ensembles sont reversés dans les stocks de pièces détachées afin d'être reposés sur des trains pour un nouveau cycle de vie. Cette maintenance est assurée dans les AMP et dans les AME qui assurent la réparation des organes mécaniques, électriques ou électroniques de plusieurs lignes.

Localisation des sites actuels et projetés de la RATP (activités de maintenance courante, renforcée et patrimoniale)



Exemples d'organisation de la maintenance technique sur une ligne exploitée par la RATP

- Cas d'une ligne de **métro pneu** : la ligne 1 (à partir de 2009)
 - Le CDT sera implanté dans la boucle de Maillot (suite à l'automatisation de la ligne 1, l'ancien CDT étant situé Porte de Vincennes)
 - L'AMT de Fontenay réalise les opérations suivantes : maintenance courante et maintenance renforcée (vérin en fosse pour les bogies, pont roulant pour les intercircularions)
 - Les organes sont maintenus dans l'AMP Fontenay, les équipements de freinage dans l'AME St-Fargeau, les équipements électroniques et informatiques dans l'AME St-Ouen
- Cas d'une ligne de **métro fer** : la ligne 8 (à partir de 2012)
 - Le CDT sera implanté à Créteil Parc des Sports (suite au prolongement de la ligne 8, l'ancien CDT étant situé place Balard)
 - L'AMT de Javel réalise les opérations suivantes : maintenance courante, maintenance renforcée (tour en fosse, levage des voitures). A ce jour, les bogies sont déposés à Javel et acheminés vers l'AMP St-Ouen par convoi ferroviaire.
 - La création d'une seconde voie de maintenance, équipée d'un vérin en fosse, dans le CDT de Créteil permettra d'assurer des tâches de maintenance préventive sur les trains garés à Créteil (correspondant à la moitié du parc de la ligne) et des tâches de maintenance renforcée
 - Les équipements pneumatiques sont maintenus dans l'AME St-Fargeau, les équipements électroniques et informatiques dans l'AME St-Ouen.
- Cas d'une ligne de **RER** : la ligne A
 - 3 CDT assurent le dépannage des trains à La Varenne, Rueil-Malmaison et Achères
 - 3 AMT (Sucy, Torcy et Rueil) prennent en charge la maintenance courante et renforcée
 - Les organes sont maintenus dans l'AMP Sucy, l'appareillage électromécanique dans l'AME Rueil et les équipements électroniques et informatiques dans l'AME St-Ouen.

Maintenance de propreté des matériels

La maintenance de propreté concerne le nettoyage intérieur et extérieur des trains et leur éventuel dégraissage. Elle est dimensionnée en fonction des spécifications rigoureuses correspondants aux critères retenus en terme de qualité de service. La maintenance de propreté nécessite :

- un emplacement pour les machines à laver
- des zones pour le nettoyage quotidien des trains
- des zones pour les grands nettoyages.

2.3.2 Maintenance des équipements fixes

L'entretien et la maintenance des gros équipements fixes (voies, câbles, ventilateurs...) peut nécessiter l'acheminement de véhicules de maintenance des infrastructures, du type locotracteurs, draisines, véhicules de contrôle des voies, trains aspirateurs, trains meuleurs, bourreuses niveleuses...

2.4 Organisation de la formation et du contrôle de sécurité

L'organisation de la **formation** est spécifique à chacun des domaines d'exploitation et de la maintenance. Les différentes tâches de sécurité (conduite des trains, intervention en cas d'anomalie, gestion des manœuvres, gestion des circulations et de l'alimentation en énergie électrique,...) sont effectuées conformément aux Instructions de Sécurité Ferroviaire. Les personnels assurant une fonction de sécurité suivent une formation dûment validée leur permettant d'exercer leur fonction. Le maintien des compétences de ces personnels est assuré,

tout au long de leur carrière, dans le cadre de la formation continue et du suivi régulier des compétences de chaque agent.

Le contrôle interne du respect de la réglementation et l'évaluation du niveau de sécurité s'effectuent à plusieurs niveaux :

- Un premier niveau de contrôle est effectué localement et en temps réel sur chaque ligne.
- Un deuxième niveau de contrôle est effectué par une structure d'inspection dans les différents départements d'exploitation et de maintenance. D'une manière générale l'inspection a aussi la charge, dans chaque discipline (exploitation ou technique), d'analyser les incidents et d'élaborer des commentaires d'incidents constituant la « jurisprudence », contribuant ainsi à l'accumulation et à la diffusion du retour d'expérience.
- Un troisième niveau de contrôle est effectué par une structure de contrôle général de sécurité. placée directement auprès du PDG et chargée du contrôle de tous les processus concernant la sécurité, qu'il s'agisse notamment de la sécurité ferroviaire, de la sécurité incendie, de la sécurité des biens et des personnes ou de la prévention des catastrophes naturelles.

3. Pistes de synergies d'Arc Express avec les réseaux RATP

3.1 Opportunités fonctionnelles et techniques

L'intégration fonctionnelle et technique d'Arc Express à l'outil industriel de la RATP vise à :

- Réduire les dépenses frustratoires d'investissement (par anticipation et progressivité) ;
- Minimiser les coûts de fonctionnement ;
- Utiliser les savoir-faire et compétences (outils et méthodes, procédures, métiers) ;
- Accélérer les procédures de mise en œuvre ;
- Moderniser et fiabiliser l'ensemble de l'outil industriel.

Les synergies et économies d'échelle peuvent être recherchées, pour les principales composantes du système de transport, dans les procédures d'investissement et de fonctionnement :

- **Stratégies d'achat**

L'équipement d'Arc Express (matériel roulant, systèmes,...) pourrait bénéficier des marchés massifs que la RATP s'apprête à lancer dans la prochaine décennie pour le renouvellement et la modernisation de son parc de matériel roulant (MP09, MF15, MI...) et des systèmes (CCT, signalisation,...). De plus, les phases de conception et de commande, puis de réception et d'homologation se trouveraient optimisées dans le processus global.

- **Maintenance** du matériel roulant et des équipements

La maintenance du matériel roulant et des équipements pourrait être assurée entièrement ou pour partie dans les ateliers existants ou projetés à l'horizon du projet Arc Express. De plus, l'existence de voies de raccordement permettrait l'acheminement des trains voyageurs et des trains de service par le réseau existant. Cette logique s'appuie sur la mutualisation des sites de maintenance (ressources humaines communes, locaux partagés, approvisionnement et flux logistiques communs) et la mutualisation des équipements industriels lourds (véhicules de maintenance des infrastructures, systèmes de levage, ponts roulants, tour en fosse si roulement fer...).

- **Sécurité et disponibilité de l'exploitation**

L'intégration aux réseaux fédérateurs de la RATP permettrait de bénéficier des ressources communes en matière :

- d'alimentation électrique : l'architecture du réseau Haute Tension de la RATP et la gestion centralisée de l'énergie garantissent, pour un coût optimisé, le très haut niveau de disponibilité indispensable à la qualité de service et à la sécurité de l'exploitation d'un réseau ferroviaire souterrain ;
- de surveillance et de sécurité des biens et des personnes : la centralisation en temps réel des données relatives à la sécurité vers un centre de traitement et de commandement travaillant en étroite collaboration avec la police assure une rapidité d'intervention des forces de sécurité particulièrement dissuasive ; l'équipement d'Arc Express en matière de sécurité (radio, vidéo fixe et embarquée, systèmes d'alarme...) pourrait être intégré au dispositif de sécurité de la RATP supervisé par le PC sécurité ;
- d'informations et de traitement des événements affectant l'exploitation des réseaux : la centralisation des informations et la coordination des commandements à la PGR permettent un traitement réactif des incidents mineurs aussi bien que des grands événements. Il assure la mobilisation rapide des moyens d'intervention (personnel, véhicules d'intervention spécialisés,...), la mise en place rapide d'offres de transport palliatives et l'information des voyageurs sur l'ensemble des réseaux.

Ces pistes de synergie doivent être appréhendées en croisant les dimensions spatiales et temporelles, puisqu'elles sont le fruit :

- **D'opportunités géographiques** entre le tracé de la ligne Arc Express et la localisation des installations fixes et des autres lignes exploitées par la RATP ;
- **D'opportunités temporelles** entre les échéances de mise en service d'Arc Express et les programmes de modernisation des infrastructures, du matériel roulant et des systèmes d'exploitation.

3.2 Critères de pertinence et faisabilité des synergies envisageables

Les logiques de synergies fonctionnelles et techniques esquissées précédemment pourront être mises en oeuvre selon que le système de transport retenu pour l'exploitation d'Arc Express bénéficiera ou non d'un raccordement physique au réseau préexistant, d'une gestion RATP, de composantes matériel ou systèmes similaires...

Ainsi, la mise en oeuvre des synergies envisageables suppose :

- Pour la maintenance du matériel roulant dans des sites RATP
 - l'existence de capacités résiduelles dans un ou des ateliers raccordables à la ligne Arc Express
 - la compatibilité technique du matériel roulant avec la configuration et les équipements de ces ateliers
 - la compatibilité technique du matériel roulant avec les tronçons de lignes existantes sur lesquels il peut être conduit à circuler pour accéder aux sites de maintenance
- Pour des marchés de fourniture communs, en particulier pour l'acquisition de matériel roulant
 - le respect des domaines de spécifications prévus dans les programmes d'acquisition
 - la concordance temporelle des plannings et la possibilité de groupement de commandes relatives à un certain nombre de produits
 - la faisabilité des conditions de livraison et d'acheminement des rames
- Pour la maintenance de la voie et des équipements lourds
 - la possibilité d'engager, sur les voies de raccordement et sur la ligne Arc Express, les trains spécialisés nécessaires à la réalisation des opérations de maintenance lourde sur la voie et les gros équipements
- Pour l'alimentation électrique
 - la faisabilité du raccordement du projet Arc Express au réseau de distribution de l'énergie électrique de la RATP
- ...

Les études de faisabilité technique et l'évaluation des coûts et des gains attendus du raccordement d'Arc Express aux différents réseaux communs pourront être réalisées dès que seront précisées les hypothèses de tracés, de mise en service et de phasages éventuels de réalisation d'Arc Express. En effet, ces études dépendent des hypothèses de dimensionnement (parc de matériel roulant et programme de production d'Arc Express mais aussi des lignes en service à l'horizon de référence du projet), qui sont elles-mêmes le résultat de la combinaison de scénarios spatio-temporels de demande et d'offre de service.

La typologie des systèmes proposés ci-après et les premiers éléments fonctionnels qui font l'objet de cette note seront donc complétés dans une phase ultérieure. A ce stade des études, il ne s'agit pas de quantifier l'intérêt économique d'une intégration d'Arc Express à l'outil industriel RATP, mais de fournir des éléments qualitatifs sur l'opportunité de mutualiser certaines prestations.

4. Typologie des systèmes compatibles envisageables

4.1 Démarche méthodologique

Les systèmes présentés dans ce chapitre sont ceux qui permettent une synergie optimale du système envisageable pour Arc Express avec l'outil industriel de la RATP. Ils sont compatibles, similaires voire identiques aux systèmes déjà exploités par la RATP et répondent à l'**objectif d'accès aux ateliers de maintenance**. Ce sont donc ceux pour lesquels le matériel roulant est compatible avec les installations RATP en termes de gabarit, de mode de roulement, de modalité de captation du courant, de tension d'alimentation et de contrôle commande des trains. Sur la base de l'équipement actuel des réseaux RATP, 3 familles de matériel peuvent être distinguées :

- **métro gabarit parisien**
 - à roulement fer : ce type de matériel peut circuler sur toutes les lignes et être reçu dans les ateliers fer du métro parisien. Il peut être acheminé sur les lignes à roulement pneus sous certaines conditions.
 - à roulement pneu : ce type de matériel peut circuler sur les lignes pneus (1, 4, 6, 11, 14) et être reçu dans les ateliers chargés de la maintenance des trains de ces lignes. La circulation sur les lignes fer est possible mais extrêmement contraignante (nécessité d'utiliser un bogie d'acheminement).
- **métro gabarit large** à roulement fer, compatible avec le gabarit limite d'obstacle UIC : ce type de matériel est similaire au type métro parisien mais d'une largeur plus grande et peut être reçu dans les ateliers RER de la RATP.
- **matériel RER** : ce matériel proche du précédent en diffère par l'aptitude à l'interopérabilité avec le réseau RER du réseau ferré national (RFN).

Les **performances** (vitesse commerciale, intervalle minimal entre trains...) des différents matériels sont conditionnées par les caractéristiques du tracé. En termes d'offre de service, un équilibre devra être recherché entre vitesse commerciale, finesse de desserte et capacité offerte. Les caractéristiques présentées pour chaque famille sont donc mentionnées ici à **titre indicatif et « hors sol »**. Elles correspondent à des caractéristiques possibles ou constatées sur des matériels actuellement industrialisés et pourront être affinées lorsque les données d'entrée nécessaires seront établies. Ainsi par exemple, les rayons de courbure admissibles ne sont pas discriminants dans la mesure où le rayon déterminant est celui du tracé en plan de la ligne, qui impacte la vitesse maximale de circulation de la rame.

Normes de confort et calculs de capacité

La notion de standard de confort exprimé en nombre de voyageurs debout par m² n'a aucun sens pour un voyageur. Cependant, l'entassement ou la densité de voyageurs dans les véhicules représente un facteur déterminant du confort. Le confort physique et psychologique à offrir dans un matériel roulant ferroviaire, caractérisé par de grandes variations de charge, se traduit alors par trois dimensions : le confort de position (équilibre de traitement des postures assises et debout), le confort de circulation (possibilité de circuler à l'intérieur du matériel à la montée, à la descente, et pendant le déplacement grâce à l'intercirculation), le confort de relation (isolement ou possibilité de communication en fonction des attentes voyageurs qui diffèrent selon qu'ils sont seuls ou à plusieurs, selon leurs motifs, selon le moment...).

La capacité des trains définit l'offre de transport mais son calcul dépend de la norme du taux d'occupation au m² pris en référence et du diagramme intérieur (nombre d'assises et leur surface au sol, disposition des sièges dans la voiture qui influe sur la rapidité des échanges en station, intercirculation...). Le nombre de voyageurs transportés par unité de longueur utile de plancher varie peu en fonction de la taille des sièges et de la proportion de places assises, et l'élargissement du matériel n'offre qu'une augmentation modérée de la capacité par mètre linéaire. Par contre, l'évolution des attentes voyageurs, par exemple la baisse de la norme du taux d'occupation, aurait des répercussions importantes sur le calcul de la capacité offerte.

Une attention particulière doit également être portée à la conception du matériel de façon à garantir la fluidité des échanges en station (et à ce titre, un nombre d'au moins 3 portes par voiture et la présence d'intercirculations entre caisses sont recommandées).

4.2 Métro gabarit parisien

Les matériels au gabarit métro parisien (fer ou pneu) ont pour caractéristiques communes :

- une capacité d'environ 115 places par caisse de 2,4 m de largeur sur 15 m de longueur soit une capacité de 7,6 à 8 personnes au mètre linéaire, à 4 personnes debout au m².
- une alimentation électrique en 750 Vcc par troisième rail.

D'autres caractéristiques permettent des choix plus ouverts :

- la composition des trains : tous les ateliers du métro peuvent recevoir des trains de 5 voitures (75 m); les ateliers en charge du matériel des lignes 1, 4 et 14 (Fontenay, St-Ouen ligne 4 et à terme Bagneux, Tolbiac Nationale 2) peuvent recevoir des trains de 6 voitures (90 m) ; St-Ouen ligne 14 devrait permettre l'accueil de trains de 8 voitures (120m)
- les déclivités maximales en profil en long sont aujourd'hui de 4% sur les lignes à roulement fer et de 5,5% sur les lignes à roulement pneu. Le renforcement des capacités de traction et de freinage peuvent permettre d'augmenter si nécessaire ces valeurs comme en témoigne l'existence d'une rampe de 12% sur le futur métro de Lausanne équipé de trains MP 89 à adhérence totale (proches de ceux de la ligne 1 et de la ligne 14 de Paris). La valeur maximale de 6% permet un compromis entre les objectifs de vitesse commerciale et de coûts énergétiques. Si des valeurs de déclivité supérieures à 6% étaient retenues, il conviendrait d'en étudier les conséquences en matière d'utilisation des trains de maintenance.

| | Type Métro au gabarit parisien | |
|--|--------------------------------|--|
| Type de guidage | Rail 1,435 m | |
| Roulement possible | Pneu | Fer |
| Largeur d'une voiture | 2,45 m | |
| Longueur d'une voiture | 15 m | |
| Longueur totale de la rame | 30 - 90 m * à 120m | |
| Composition | 2 - 6 voitures * à 8 voitures | |
| Capacité | 240 - 720 * à 960 passagers | |
| Hauteur de la voiture | ± 3,50 m | |
| Nbre de portes par voiture | 3 | |
| Tension d'alimentation | 750 V cc | |
| Captation | barre de guidage | 3 ^{ème} rail classique ou composite |
| Vitesse maximale | 80 km/h | 70 km/h |
| Accélération nominale de service | 1,25 m/s ² | 0,90 m/s ² |
| Freinage nominal de service | 1,20 m/s ² | 1,00 m/s ² |
| Hauteur de plancher | 1,12 m | 1,02 m |
| Accessibilité PMR | oui | |
| Charge à l'essieu (à 4 p./m ²) | 7,90 T | 8,30 T |
| Pentes franchissables (à 4 voitures) | 8% | 6 % |
| Rayon de courbure admissible en plan | 40 m * ¹ | |
| Rayon de courbure admissible en profil | 500 m | |

* ces valeurs sont celles de métros en service actuellement
1- en voies principales, en charge. 30 m en voies de services, à vide.

4.3 Métro gabarit large

Les matériels Métro au gabarit large, non exploités par la RATP mais dont la maintenance peut être envisagée dans les ateliers du RER, ont pour caractéristiques communes :

- le roulement fer
- une capacité linéaire par caisse de 2,65 à 2,90 m de largeur sur 17 à 25 m de 8 à 9 personnes au mètre linéaire, à 4 personnes debout au m².
- l'alimentation électrique en 1 500 Vcc par ligne aérienne de contact.

D'autres caractéristiques permettent des choix plus ouverts :

- la composition des trains : les matériels actuellement sur les marchés offrent des possibilités de 2 à 9 voitures.
- les déclivités maximales en profil en long sont aujourd'hui de 5% sur les lignes à roulement fer et de 5,5% sur les lignes à roulement pneu. Le renforcement des capacités de traction et de freinage peuvent permettre d'augmenter si nécessaire ces valeurs (cf. rampe de 12% sur le futur métro de Lausanne). La valeur maximale de 6% permet un compromis entre les objectifs de vitesse commerciale et de coûts énergétiques. Si des valeurs de déclivité supérieures à 6% étaient retenues, il conviendrait d'en étudier les conséquences en matière d'utilisation des trains de maintenance.

| | Type Métro au gabarit RER |
|--|-------------------------------|
| Type de guidage | Rail 1,435 m |
| Roulement possible | Fer |
| Couple largeur x longueur d'une voiture | 2,65 x 23,6 m / 2,90 x 17,5 m |
| Longueur totale de la rame | de 52 à 225 m |
| Composition | 2 à 9 voitures |
| Capacité | 8,4 passagers/ml |
| Hauteur de la voiture | 3,7 m |
| Nbre de portes par voiture | 4 |
| Tension d'alimentation | 1 500 V cc |
| Captation | LAC ou PAC ¹ |
| Vitesse maximale | 100 km/h |
| Accélération nominale de service | 1,00 m/s ² |
| Freinage nominal de service | 1,30 m/s ² |
| Hauteur de plancher | 1,11 m |
| Accessibilité PMR | oui |
| Charge à l'essieu (à 4 p./m ²) | 8,00 T |
| Pentes franchissables (à 4 voitures) | 4% |
| Rayon de courbure admissible en plan | à préciser |
| Rayon de courbure admissible en profil | à préciser |

1- Ligne Aérienne de Contact ou Profilé Aérien de Contact

4.4 RER

Les matériels RER ont pour caractéristiques communes :

- le roulement fer
- une capacité d'environ 220 places par caisse de 2,80 m de largeur sur 26 m de longueur soit une capacité de 8,2 personnes au mètre linéaire
- la longueur maximale des trains de 225m

D'autres caractéristiques permettent des choix plus ouverts :

- la tension d'alimentation des lignes RER est aujourd'hui de 1,5kVcc (domaine RATP) et de 1,5kVcc et 25kVca 50hz (domaine RFF). Un matériel bi-tension serait envisageable avec une utilisation en 1,5kVcc en atelier et sur le raccordement et en 25kVca 50hz en ligne. Toutefois, les contraintes d'implantation et de dimensionnement des équipements 25kVca en tunnel et des équipements bi-tension sur le matériel roulant conduisent à préférer un équipement 1,5kVcc.
- la déclivité maximale est aujourd'hui de 4% sur la ligne B (inter gare Luxembourg – Saint Michel).

| | Type RER |
|--|-------------------------|
| Type de guidage | Rail 1,435 m |
| Roulement possible | Fer |
| Couple largeur x longueur d'une voiture | 2,80 / 2,90 m |
| Longueur d'une voiture | 23 m à 26 m |
| Longueur totale de la rame | Jusqu'à 225 m |
| Composition | par élément de 112 m |
| Capacité | 8,2 passagers/ml |
| Hauteur de la voiture | 4,2 m |
| Nbre de portes par voiture | 3 à 4 |
| Tension d'alimentation | 1 500 V cc |
| Captation | LAC ou PAC ¹ |
| Vitesse maximale | 140 km/h |
| Accélération nominale de service | 1,10 m/s ² |
| Freinage nominal de service | 1,30 m/s ² |
| Hauteur de plancher | 1,19 m |
| Accessibilité PMR | oui |
| Charge à l'essieu (à 4 p./m ²) | 16,5 T |
| Pentes franchissables (à 4 voitures) | 4% |
| Rayon de courbure admissible en plan | 150 m ² |
| Rayon de courbure admissible en profil | 500 m |

1- Ligne Aérienne de Contact ou Profilé Aérien de Contact
 2- en voies principales, en charge. 100 m en voies de services, à vide.

5. Besoins fonctionnels pour Arc Express « embranché »

La démarche de conception du système de transport dans le cadre de la présente mission relève essentiellement de :

- la recherche d'une optimisation entre génie civil et matériel roulant (pertinence et équilibre entre notamment longueur / largeur des stations et fréquence de passage proposée)
- la recherche d'un niveau de synergie avec l'appareil industriel actuel et projeté le plus économique et rationnel possible, permettant une plus grande rapidité de mise en œuvre et garantissant si possible une évolution dans le temps du service rendu sans nouvel investissement important.

Les liens entre les caractéristiques principales des grandes composantes des systèmes de transport peuvent être schématisés comme suit.

| Matériel roulant | Gabarit (largeur et longueur unitaire) | Guidage et roulement, performances | Mode conduite et automatismes | Composition | | Nombre de trains (parc total) |
|--|--|---|---|--|--|---|
| | | | | Longueur totale | Alimentation électrique traction | |
| Infrastructures | Ø, largeur, rayons tunnel / viaduc | Plateforme voies | PCC terminus et garage | Stations | PR PEF (stations et ateliers) PHT | Ateliers maintenance |
| Équipements <i>(liste non exhaustive)</i> | Ouvrages de ventilation et désenfumage | Rails et appareils de voie, véhicules de maintenance industrielle (VMI) | Équipements du SAET, signalisation et contrôle commande | Façades de quai, équipements électriques et électromécaniques, informatique industrielle | rail de contact ou caténaire, câbles et circuits de distribution | voies de maintenance, dispositif de levage ou vérin fosse, machine à laver, TEF, pont roulant |

Les interactions sont évolutives et dépendent de la politique de service et des scénarios de phasage retenus pour Arc Express. Ainsi, la composition des trains, le dimensionnement du parc de matériel roulant et la production kilométrique dépendent de la capacité offerte qui est ajustée à la demande de déplacements, elle-même étant liée aux performances du système (vitesse commerciale et intervalle, tracé...).

Les premiers éléments de programme sont énoncés ci-après pour les fuseaux nord-ouest et sud-est, supposés indépendants et exploités d'un seul tenant, et pour lesquels les points de maillage potentiels avec les autres lignes existantes sont connus. Les besoins fonctionnels pour la liaison complète nécessitent de connaître les hypothèses d'architecture globale, d'articulation des arcs entre eux et de phasage de mise en service.

5.1 Principes et préconisations pour l'exploitation d'Arc Express

La future ligne Arc Express doit pouvoir être exploitée en conduite automatique intégrale. Les équipements embarqués du SAET doivent être compatibles avec celui de la ligne à laquelle la rocade sera raccordée.

L'intervalle minimal possible entre les trains est la somme de l'intervalle dynamique des trains et des temps de stationnement qui sont fonction des flux d'échange. En première approche, l'intervalle minimal dépend essentiellement de la longueur des trains, les performances étant réglées sur les conditions de confort et donc a priori indépendantes du type de matériel. On retiendra à ce stade un intervalle possible d'environ 80 secondes pour des trains ≤ 60 mètres et de 90 sec pour des trains ≤ 90 mètres. Ces éléments pourront être précisés à partir des données sur le trafic attendu et la composition du matériel roulant retenue.

Les principes d'exploitation sur les arcs sud-est et nord-ouest reposent sur la conception :

- De terminus avec 2 voies à quais prolongées par 2 voies en tiroir en arrière-gare accessibles par une communication croisée qui suffisent à assurer l'intervalle minimal en mode automatique.
- De services provisoires permettant le retournement des trains en mode dégradé doivent être implantés de façon appropriée au tracé et à proximité des stations d'échanges voyageurs.

L'automatisme intégral impose qu'un dispositif de sécurité interdise la pénétration dans l'espace parcouru par les trains ou la détecte et provoque l'arrêt des trains et la coupure du courant de traction. Actuellement, deux types de systèmes de protection sont utilisés :

- système à détecteurs de personnes et d'objets sur les voies et au niveau des portes (type ligne D à Lyon), ...
- système de façades de quai (type ligne 14 à Paris, Singapour, Val)

La mise en place de façades de quais apparaît comme la solution la plus apte à garantir la maîtrise des aléas de l'exploitation.

Le garage des trains est simplifié grâce à l'automatisme intégral :

- possibilités de positions de garage en ligne (en arrière-gare de terminus et en station durant les périodes hors exploitation)
- positions hors ligne sur un site raccordé à la ligne.

L'évaluation précise des besoins en alimentation électrique doit faire l'objet d'une simulation dont les données d'entrée seront :

- le profil en long de la ligne
- la signature électrique du matériel roulant retenu
- les objectifs de service (vitesse et intervalle entre les rames)

Cette simulation permettra d'évaluer la puissance installée nécessaire, le nombre et la localisation des postes de redressement, ainsi que les points d'injection (les points d'arrivée du courant) sur la ligne. En fonction du tracé et des étapes de réalisation envisagées, les solutions optimales pour l'alimentation des postes de redressement (PR) et des postes Eclairage-Force (PEF) (raccordement au réseau, création de PHT) seront analysées.

En première approche, on peut retenir comme nécessaire l'implantation :

- d'un PEF par station souterraine dont au moins une unité de transformation est raccordée au réseau RATP, d'une surface de 150 m² et d'une hauteur de 3 m pour les alimentations "nobles" et de secours et d'un Poste Force pour l'alimentation des appareils électromécaniques
- d'un Poste de Redressement tous les 1,7 à 2,1 km (à répartir finement en fonction des besoins d'alimentation : profil, terminus, garage,..) d'une puissance de 2 à 4 MW
- d'un Poste de Redressement (0,9MW) et d'un PEF par atelier (alimentation EDF possible).

5.2 Propositions d'organisation de la maintenance pour Arc Express

La réalisation du projet par arcs isolés successifs et l'articulation des arcs entre eux et avec le réseau de transport existant conditionnent les quantités maximales et la localisation des parcs de rames à prendre en compte pour les scénarios de remisage et de maintenance :

- En mutualisant les moyens de maintenance courante et renforcée avec des sites existants ou projetés sur le réseau RATP, pour les schémas en arcs isolés.
- En examinant les capacités d'accueil d'autres sites de maintenance patrimoniale pour des activités de maintenance transférable et/ou à partir d'un seuil de parc correspondant au développement progressif du projet de rocade.

Les conditions de mise en oeuvre spécifiques à prendre en compte pour la maintenance par grande famille de matériel sont les suivantes :

- Conditions de livraison et d'acheminement du matériel, i.e possibilités de raccordement au réseau existant (il s'agit d'une contrainte très structurante voire incontournable pour toute solution de maintenance intégrée).
- Maintenance courante mutualisable en fonction du parc et des caractéristiques d'exploitation sur un site compatible avec l'accueil du nouveau matériel roulant d'un tronçon de la future ligne.
- Maintenance renforcée conditionnée par le mode de roulement et la conception du matériel pour le dimensionnement des équipements industriels (VEF, TEF...) et leur implantation en solution mutualisée ou les solutions déportées vers un autre atelier.
- Dans l'hypothèse d'une maintenance « mixte » faisant coexister des trains à roulement fer et pneu, la mise en oeuvre d'un système de levage coordonné (avec bogies suspendus, faisabilité MF2000) est à examiner.
- Maintenance patrimoniale nécessitant une zone spécifique de manutention pour des fonctions complètes ou des sous ensembles particuliers du matériel (coffres en toiture, intercirculations...).
- Besoins spécifiques liés à une exploitation automatique, tels que les zones de transfert et de machine à laver en entrée d'atelier...

Contextes spécifiques des arcs Nord-Ouest et Sud Est

La présente analyse est établie sur la base des capacités disponibles à l'horizon 2018-2020 et en considérant acquis la possibilité d'établir des raccordements ferroviaires avec le réseau Métro et le réseau RER RATP (lignes A et B).

- fuseau Nord Ouest :
 - Solutions de type métro en mode automatique Fer ou Pneu (avec l'hypothèse de travail de réalisation du prolongement de la ligne 14 à Mairie de Saint Ouen) : possibilité de mutualisation des activités de maintenance courante et renforcée avec le site de maintenance de proximité projeté dans le cadre du prolongement de la ligne 14 à Mairie de Saint Ouen, sur l'emprise identifiée « Docks de Saint Ouen ». Dans l'hypothèse d'un système sur roulement Fer, le site sera doté d'un tour en fosse. *Pour un matériel à roulement fer, la faisabilité d'un transfert d'activités vers l'atelier de Pleyel est évoquée dans le cas d'un prolongement de la Ligne 13 à Stains La Cerisaie, mais ce scénario reste à confirmer.*
 - Solutions de type grand gabarit en mode automatique (type Métro large ou RER) : Il ne s'agit pour l'instant que d'approfondir un faisceau d'hypothèses (conditions de passage du mode d'exploitation automatique à une conduite manuelle et faisabilité d'une zone de raccordement au réseau RER). Les capacités d'accueil et le niveau de saturation en charge de maintenance du site RER de Rueil doivent être confirmés.
- fuseau Sud Est :
 - Solutions de type métro en mode automatique Fer ou Pneu (avec l'hypothèse de travail du prolongement de la Ligne 4 jusqu'à Bagneux) : possibilité de mutualisation des activités de maintenance courante et renforcée avec le site de maintenance de proximité la ligne 4 prolongée sur l'emprise identifiée « Bagneux Sud ». Compte tenu de la problématique d'acquisition de cette emprise, la solution optimale de maintenance de proximité et renforcée pour un parc couvrant les besoins de l'arc séparé et l'articulation ultérieure possible avec le site de maintenance de l'arc Nord Ouest doit être d'ores et déjà prise en considération. La proximité du site de maintenance de Châtillon-Montrouge (ligne 13) peut également offrir une possibilité de synergie de maintenance dans une hypothèse de type métro fer.

- Solutions de type grand gabarit en mode automatique (type Métro large ou RER) :
Il ne s'agit à ce stade que d'approfondir un faisceau d'hypothèses (conditions de passage du mode d'exploitation automatique à conduite manuelle et faisabilité d'une zone de raccordement au réseau RER). Les capacités d'accueil et le niveau de saturation en charge de maintenance du site RER de Sucy doivent être confirmés.

A titre indicatif, sur la base des hypothèses de travail formulées précédemment, un principe d'organisation de la maintenance peut être présenté pour les 2 arcs Nord-Ouest et Sud-Est

| | | | Hypothèse première phase (mise en service) | | | | | |
|------------|--------------------------------------|---------------------|--|----------------------|--|--|------------------|----------------------------------|
| Arc | Famille de système | Raccord au réseau | Parc (rames) | Livraison | Maint ^{ce} courante | Maint ^{ce} renforcée | Nb voies dédiées | Maint ^{ce} patrimoniale |
| NORD-OUEST | Métro pneu rames de 4 voitures (60m) | Ligne 14 | 30 à 40 | par ligne 14 | AMT sur l'arc commun avec L14 (Docks) | AMT Ligne 14 (Docks St Ouen) | 3 | AMP/AME existants |
| | Métro fer rames de 4 voitures (60m) | Ligne 14 | 30 à 40 | par ligne 14 | AMT sur l'arc commun avec L14 (Docks) | AMT Ligne 14 (Docks St Ouen) + TEF | 3+1 à plat | AMP/AME existants |
| | Métro large ou RER rames de 90m | Ligne A | 20 à 30 | par ligne A | AMT dédié sur l'arc | AMT ligne A (Rueil) | à définir | AMP/AME existants |
| SUD-EST | Métro pneu rames de 4 voitures (60m) | Ligne 4 | 30 à 40 | par la ligne 4 | AMT sur l'arc commun avec CDT L4 (Bagneux) | AMT Ligne 4 (St Ouen) | 3 | AMP/AME existants |
| | Métro fer rames de 4 voitures (60m) | Ligne 4 ou ligne 7 | 30 à 40 | par la ligne 4 ou 7 | AMT sur l'arc commun avec CDT L4 (Bagneux) | AMT Ligne 7 (Choisy) ou sur l'arc (Bagneux)+ TEF | 3 ou 3+1 à plat | AMP/AME existants |
| | | Ligne 4 ou ligne 13 | 30 à 40 | par la ligne 4 ou 13 | AMT sur l'arc commun avec L13 (Châtillon) | AMT Ligne 13 (Châtillon) | 3 ou 3+1 à plat | AMP/AME existants |
| | Métro large ou RER rames de 90m | Ligne A ou ligne B | 20 à 30 | par ligne A ou B | AMT dédié sur l'arc | AMT Ligne A (Sucy) ou Ligne B (Massy) | à définir | AMP/AME existants |

En première approche et pour les deux fuseaux « prioritaires » :

- Pour les solutions de type métro parisien, une synergie de maintenance paraît possible avec les choix des ateliers types retenus dans le cadre des prolongements de lignes projetés (lignes 4 et 14), sous réserve d'affermir les hypothèses structurantes pour l'intégration au réseau et la mutualisation des moyens, concernant :
 - Les parcs concernés et les hypothèses d'articulation ultérieures du projet en arcs successifs.
 - La compatibilité du mode automatique en zone atelier

- La faisabilité de la « mixité » d'une maintenance de matériel Fer dans un site dédié au pneu et la complémentarité des installations de maintenance renforcée (tour en fosse et moyens de levage groupé en particulier)
- Le cas échéant, la spécificité d'acheminement d'un matériel alimenté en 1500 Vcc sur une voie du réseau existant.
- Pour une solution de type grand gabarit, et dans l'optique d'un schéma de maintenance « embranché » et intégré, l'étude se situe au stade d'investigation sur la faisabilité :
 - Des zones de transition automatique/manuel et de raccordement à une voie type UIC permettant l'acheminement vers un site de maintenance RER
 - De la saturation de ces installations de maintenance dans une logique de mutualisation et compte tenu du phasage ultérieur du projet d'arcs en rocade

L'étude sera précisée sur la base d'hypothèses établies de tracé et de parc.

LEXIQUE DES SIGLES UTILISES

| | |
|------|---|
| AME | Atelier de maintenance des équipements |
| AMP | Atelier de maintenance patrimoniale |
| AMT | Atelier de maintenance des trains |
| CDT | Centre de dépannage des trains |
| HTA | Haute tension de niveau A |
| HTB | Haute tension de niveau B |
| PCC | Poste de commande et de contrôle centralisés |
| PCEM | Poste de commande de l'énergie et de la maintenance |
| PEF | Poste éclairage force |
| PGR | Permanence Générale RATP |
| PHT | Poste haute tension |
| PML | Poste de manoeuvre local |
| PR | Poste de redressement |
| RFN | Réseau ferré national (ensemble des lignes françaises de chemin de fer RFF) |
| RTE | Réseau de transport d'électricité (filiale EDF) |
| SAET | Système d'automatisation de l'exploitation des trains |
| TEF | Tour en fosse |
| UIC | Union internationale des chemins de fer |
| VEF | Vérin en fosse |
| VMI | Véhicules de maintenance des infrastructures |

ANNEXE

La solution Tramway

Hypothèses de travail

- Matériel roulant type « Tramway »
- Objectif de vitesse commerciale : 40km/h
- Evolution en site protégé
- Inter modalité avec les équipements RATP existants
- Présence de zones souterraines et aériennes

Eléments d'analyse

Le mode Tramway est adapté à une insertion de type métro léger.

Les tramways qui circulent actuellement sur le réseau d'Ile-de-France en milieu urbains(et en site propre) ont une vitesse commerciale limitée à :

- 17 km/h sur T1
- 31 km/h sur T2 (en site propre intégral)
- 20 km/h sur T3 sud (objectif)
- 24,5 km/h sur T4

La conduite manuelle en marche à vue ne semble pas permettre de garantir un intervalle entre les trains inférieur à 4 min sans engager la sécurité.

Pour augmenter la vitesse commerciale, c'est-à-dire tendre vers l'objectif de 40 km/h, et réduire l'intervalle entre les trains, il conviendrait d'installer soit une signalisation d'espacement soit un système de conduite automatique intégrale (et dans ce cas le tracé ne pourrait se concevoir qu'en site clos).

Les équipements voie pour un tramway ne sont pas d'un coût notablement moins élevé que ceux d'un métro fer. Compte tenu de la vitesse commerciale visée, du gabarit du matériel roulant à prévoir en adéquation avec la capacité voyageurs à atteindre et le profil de la ligne, les postes de redressement à installer seraient du type métro (puissance 2 MW environ, alimentation par source HT en antenne,...). De plus, des postes éclairage force seraient à prévoir pour alimenter les installations fixes en sections souterraines et pour les équipements sensibles (automatismes, signalisation,...). Le niveau d'équipements serait alors équivalent à ce qui est mis en œuvre pour une ligne de métro.

Conclusion

Une solution tramway, en site propre intégral, avec signalisation ou en automatisme intégral, présentant des parties souterraines, s'apparente tout à fait à une solution type métro.