



# Métro Grand Paris

DOSSIER DES ÉTUDES

## Choix techniques du projet de transport du Grand Paris

(FG CONSULTANT)

SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS



# Choix techniques du projet de transport du Grand Paris

Comme tous les grands projets, le projet de transport du Grand Paris présente des enjeux importants aussi bien en termes d'aménagement et de développement de l'Ile-de-France que d'activité pour les professions concernées par sa réalisation. Il entraîne donc actuellement des réflexions sur des sujets divers dont certains concernent les choix techniques qui soutiennent le projet.

Dans ces conditions, il apparaît opportun de déterminer les conséquences stratégiques des choix techniques sur le projet pour lesquels il lui sera demandé de se déterminer.

## 1 - Le projet de transport du Grand Paris - Rappel de la situation actuelle

La Société du Grand Paris propose un réseau composé d'environ 155 kilomètres de lignes nouvelles de métro automatique.

« L'objectif est de pouvoir rejoindre, depuis l'aéroport Paris Charles de Gaulle, La Défense ou le centre de Paris, en moins de 30 minutes ; ou encore de relier l'aéroport d'Orly à la gare de Lyon en 25 minutes, Villejuif à Noisy-Champs en 25 minutes ou encore de relier les deux aéroports internationaux en moins d'une heure. A noter qu'il sera possible de rejoindre directement, depuis l'aéroport Paris Charles de Gaulle, La Défense ou le centre de Paris, en passant par le quartier Pleyel à Saint Denis, futur hub métropolitain, où il sera envisagé la création d'une nouvelle gare TGV au cœur du territoire de la Plaine Saint Denis et à 10 minutes de la Défense par le nouveau réseau métro. »<sup>1</sup>

La réflexion préliminaire a été menée sur le réseau de métro automatique en fonction de ces objectifs fonctionnels : deux liaisons directes, par métro automatique en moins de 30 minutes La Défense - CDG (ligne verte) et Paris – CDG, par un prolongement de la L14 pour cette dernière (ligne bleue).

Le « Métro Grand Paris » est constitué de trois lignes dites :

**Bleue** : prolongement au nord à Roissy et au sud à Orly de la ligne 14,

**Rouge** : rocade est reliant Le Bourget à La Défense via Noisy le Grand,

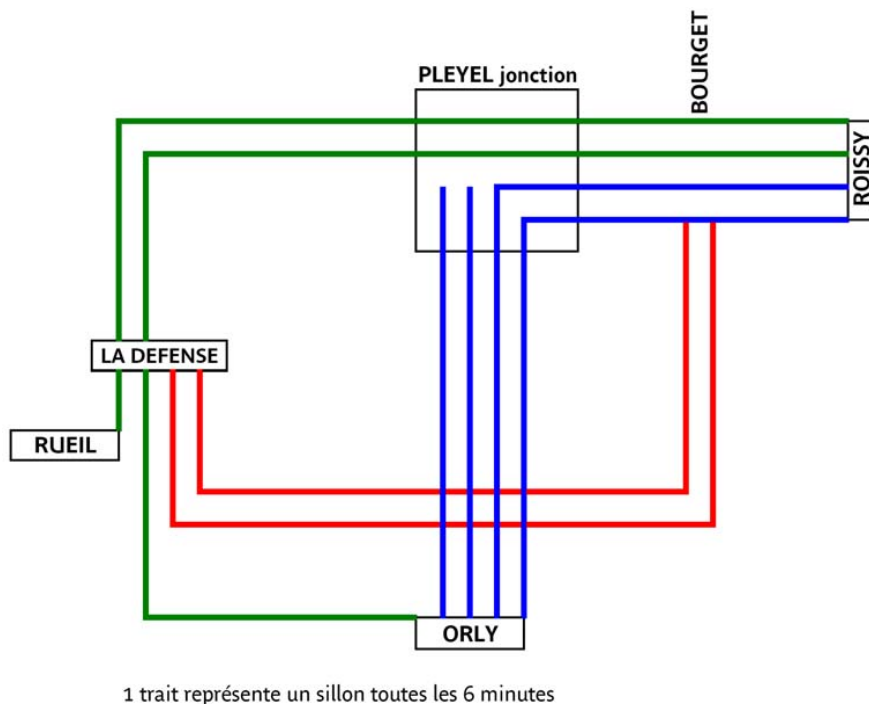
**Verte** : rocade ouest reliant Roissy à Orly via La Défense, Versailles et Massy.

Les lignes bleue et verte sont en tronc commun entre Pleyel et Roissy. Elles possèdent chacune un terminus intermédiaire.

Le schéma de desserte envisagé est présenté sur la figure 1 ci-dessous.

---

<sup>1</sup> Dossier de presse Le Grand Paris- Présidence de la République 29 avril 2009



**Figure 1 – Métro automatique. Schéma de desserte envisagé**

Le schéma de desserte résulte à la fois de la construction d'une offre de transport basée sur la circulation de trains type métro de 120 m de long à roulement pneumatique, adapté à la demande de transport et de l'existence d'une infrastructure partagée entre Pleyel et Roissy pour les trains des lignes bleue et verte. En particulier, du point de vue du trafic, l'offre de transport de la ligne verte est destinée à absorber un trafic dimensionnant s'approchant de 20 000 voyageurs/heure à l'ouverture.

Trois stations intermédiaires sont systématiquement desservies par les navettes entre La Défense et Pleyel Jonction. Les stations sont équipées de portes palières et les trains sont sans conducteur.

Les trains circulent à vitesse maximale à un intervalle de 170 s pendant la période de pointe sur la ligne verte et 85 s sur la ligne bleue.

Le réseau comporte des stations très inégalement réparties sur les lignes, les tronçons entre zones denses étant parcourus sans arrêt. L'interstation varie approximativement entre 1 km et 6 ou 8 km et cette situation peut donc faire varier l'interstation moyenne suivant les lignes entre 1,5 km et plus de 3 km.

## 2 - Les analyses techniques complémentaires menées

Les études préliminaires ont été développées en considérant que les rames sont constituées d'un matériel roulant sur pneu similaire à celui qui est en exploitation sur la ligne 14, circulant en rame de 120m.

Des réflexions techniques complémentaires ont été menées par la RATP pour évaluer la faisabilité de différents scénarios techniques alternatifs et pour en analyser les conséquences

en termes de faisabilité technique et de risques sur le projet. L'une des problématiques techniques majeure est le choix du mode de roulement du futur matériel roulant, et de son gabarit transversal (largeur).

## ***2 - 1 - Avantages et inconvénients du mode de roulement sur pneumatique***

Le mode de roulement sur pneumatique a été développé sur le réseau de la RATP et existe sur les lignes 11, 1, 4, 6 et 14.

La ligne 11 a été historiquement la ligne d'exploitation expérimentale du système car elle est courte.

Les lignes 1 et 4 ont été ensuite équipées en raison de leur fort trafic, qui rend particulièrement utile le bon comportement dynamique en roulement pneu.

La ligne 6 a été équipée car elle présente de longs tronçons en viaduc à l'air libre. Elle a donc permis de disposer d'expérience dans ces conditions d'exploitation (Expérience nécessaire en France, Marseille et à l'étranger Mexico, Santiago).

Le roulement sur pneumatique a été à nouveau retenu sur la ligne 14 pour bénéficier des avantages en termes de performances dynamiques et de confort acoustique, car il s'agissait de créer au cœur de Paris une nouvelle infrastructure en souterrain et les nuisances ajoutées devaient être minimales.

Les avantages et les inconvénients du roulement sur pneumatiques sont bien connus puisque plusieurs réseaux disposent en France et à l'étranger d'une expérience de presque 50 ans et sur plusieurs générations de couples matériel roulant / voie. On peut les résumer ainsi :

Avantages :

- Forte adhérence sur les pistes de roulement et donc bonne adaptation aux profils de lignes avec des fortes rampes.
- Forte adhérence permettant des accélérations et freinages garantis plus élevés que le roulement sur fer donc une exploitation plus tendue (intervalles entre trains plus faibles et vitesse commerciale meilleure).
- Absence de transmission de bruit solidien (Pas de vibrations transmises par le sol à des structures voisines : immeubles, salles etc.)

Inconvénients :

- Charge admissible par pneumatique limitée (donc limitation du gabarit transversal)
- Consommation d'énergie de frottement pneu / piste plus importante que les roues « fer ». La part de cette énergie dissipée par frottement est d'autant plus grande par rapport à l'énergie totale nécessaire que l'interstation est longue.
- Les matériels roulants existants sont tous limités à 80 km/h en vitesse maximale. Une vitesse supérieure nécessite de concevoir une nouvelle motorisation du matériel

roulant et d'analyser le comportement des matériels roulants à des vitesses plus élevées (différentiel entre roues, échauffement, dynamique du train au passage des appareils de voie).

- Un marché industriel moins étendu

En synthèse, le pneu est particulièrement adapté pour des lignes urbaines souterraines à interstations moyennes (500 à 1200m), à fort trafic, et à niveau de service élevé (intervalles courts), pour des capacités maximales restant inférieures à 40 000 voyageurs/sens.

## ***2 - 2 - La problématique du choix du roulement appliqué au réseau de transport du Grand Paris***

Dans sa configuration actuelle, le choix du mode de roulement sur pneu résulte d'abord du fait que c'est à partir de la ligne 14 que le réseau se constitue :

- Prolongement au Nord jusqu'à Roissy Charles de Gaulle, au Sud jusqu'à Orly
- Ligne verte en superposition avec la bleue et fourche à Pleyel, donc intérêt de choisir le même matériel roulant sur pneu.
- Prolongement ultérieur possible au-delà de la Défense de la ligne verte

La logique du raisonnement repose sur le fait que la ligne 14 ne doit pas changer de type de matériel roulant (mais seulement passer à 8 voitures) et qu'il existe une fourche d'exploitation à Pleyel avec tronç commun Pleyel - Roissy.

### **2 - 2 - 1 - Peut-on passer la ligne 14 en technologie à roulement fer ?**

Les conséquences d'un passage de la ligne 14 en roulement classique ont été analysées.

On a pris l'hypothèse pratiquement certaine qu'il serait nécessaire de faire circuler en période de transition les trains automatiques actuels et des trains nouveaux à roulement fer (Sinon il faudrait considérer une fermeture de la ligne pendant plusieurs mois.)

Or la voie fer classique et la voie pneu présentent quelques différences et certaines incompatibilités :

L'écartement des rails de roulement sur fer est de 1,435 m en alignement, celui des roues métalliques de guidage est de 1,440 m.

Les rails sont posés au 1/20<sup>ème</sup> en roulement fer et à plat en roulement pneu.

Le rail d'alimentation (3<sup>ème</sup> rail) en roulement fer interfère en gabarit transversal avec la barre de roulement pneu.

Les appareils de voie sont différents car dans les appareils de voie pneu les rails ne portent pas le train mais le guide seulement par les mentonnets des roues.

Les nouvelles voitures du matériel à roulement fer devraient avoir une hauteur de plancher identique à celle de la ligne 1, donc plus élevée qu'habituellement et

un diagramme de portes compatibles avec les zones d'ouverture des portes palières.

Compte tenu de ces éléments et sans rentrer dans les détails des dispositions à prendre, il faudrait :

- Développer un matériel roulant spécifique en hauteur de plancher, diagramme, captation d'énergie par frotteur latéral sur la barre de guidage,
- Meuler les rails au 1/20<sup>ème</sup> et équiper les trains actuels de frotteur de retour de courant compatible avec ce nouveau profil,
- Changer les 10 appareils de voie de la ligne actuelle (travaux en nuit longue donc restriction du service voyageurs)
- Il resterait alors deux difficultés :
  - o Les performances dynamiques en roulement fer étant inférieures à celles actuelles, cela conduirait à dégrader la qualité de service en diminuant les marges d'exploitation ou à limiter la capacité de transport à terme en augmentant l'intervalle minimum.
  - o Enfin, il y aurait réapparition de bruit solidien sur la ligne 14 au grand dam probable des riverains de la ligne qui pour l'instant ne sont absolument pas gênés. Pour atténuer ces nuisances, des travaux importants sur les voies seraient nécessaires.

La conclusion apparaît clairement : Le changement de technologie sur la ligne 14 existante serait source de dégradations du service significatives pendant les travaux, génèrerait des nuisances permanentes pour les riverains sauf à effectuer des travaux coûteux et très longs et conduirait à dégrader le niveau de service de la ligne.

Cette opération est d'autant moins nécessaire que la technologie retenue pour la ligne à savoir le roulement sur pneumatique est parfaitement adaptée au type d'exploitation de la ligne 14, comme on l'a vu plus haut.

## **2 - 2 - 2 - Circulation de métros automatiques à roulement pneu et de métros automatiques à roulement fer sur les mêmes infrastructures entre Pleyel et Roissy CDG.**

Dans la configuration actuelle du réseau (avec fourche à Pleyel et tronç commun Roissy - Pleyel de la ligne verte et de la ligne bleue), le choix d'un matériel de métro automatique à roulement fer sur la ligne verte conduirait à faire circuler en exploitation sur le tronçon Pleyel – Roissy CDG ce matériel et le matériel roulant à roulement pneu de la ligne 14 prolongée.

Certains éléments techniques concernant les différences dans les équipements de voie ont été évoqués plus haut. Pour concevoir une infrastructure parcourue durablement par les deux types de matériel roulant, des études complémentaires seraient donc nécessaires en particulier pour définir une voie « mixte » convenant aux deux types de circulation métro.

- Il conviendrait très probablement de modifier les frotteurs de retour de courant du matériel roulant sur pneu pour ne pas risquer de provoquer des usures du champignon du rail préjudiciables à la sécurité du roulement des trains fer et de modifier la captation par troisième rail du matériel à roulement fer.

- Pour ce qui concerne les appareils de voie :

La géométrie interne des appareils de voie pneu existants est incompatible avec une exploitation commerciale de trains à roulement fer car elle ne permettrait pas un transfert de charge correct sur les aiguilles et sur les pointes de cœur au franchissement des trains fer.

Il serait nécessaire de concevoir et de réaliser une nouvelle gamme d'appareils de voie métro « mixte fer pneu ».

- Les conséquences sur la conception du matériel fer sont les mêmes que celles évoquées plus haut : plancher à la même hauteur que celui des trains de la ligne 14 et diagramme de portes identique.

-

En conclusion provisoire sur ce chapitre, on peut dire que la circulation en exploitation sur les mêmes voies de matériels à roulement fer et à roulement sur pneumatiques suppose que soient conçus et validés des équipements de sécurité dont le domaine d'utilisation serait sensiblement différent de ceux dont les opérateurs et les industriels dans le monde ont l'expérience. Il y a donc, à ce stade, un risque technique certain à s'engager sur une telle disposition. Par ailleurs, cette double circulation induirait nécessairement un suivi renforcé des infrastructures donc des surcoûts de maintenance.

### **2 - 2 - 3 - La gare de Pleyel**

L'organisation de la gare de Pleyel dépend des choix d'exploitation retenus pour les liaisons Roissy – La Défense et Roissy – Châtelet (Paris centre). La spécification fonctionnelle initiale du réseau de transport porte à la fois sur le temps d'accessibilité sur ces deux liaisons et sur le fait qu'il n'y a pas de ruptures de charge. La traduction de ces principes en termes d'exploitation des lignes a conduit à proposer une exploitation des lignes verte et bleue en fourche avec tronç commun Roissy – Pleyel.

Les conséquences sont multiples :

- circulation entre Roissy et Pleyel des matériels roulants de la ligne bleue et de la ligne verte sur les mêmes infrastructures,
- nécessité d'insérer un ouvrage de convergence entre les deux lignes après la gare de Pleyel,
- nécessité de concevoir un terminus intermédiaire pour la ligne bleue à Pleyel, car les prévisions de charge impliquent ce type d'exploitation,



- géométrie contraignante du raccordement entre tronç commun et chacune des lignes pour tenir les intervalles prévus, qui conduit à rechercher une vitesse de franchissement des appareils de voie en voie déviée de 60 ou 80 km/h.

L'exploitation des lignes bleue et verte dans une telle configuration est certes possible mais sa stabilité devra être confirmée par des études poussées.

Au stade actuel des réflexions, le cahier des charges initial élaboré, qui ne prévoit de rupture de charge ni sur le parcours Roissy - La Défense ni sur Roissy – Châtelet, introduit une complexité dans l'exploitation du réseau de transport.

Dans la suite des études du réseau de transport du Grand Paris, il serait souhaitable d'introduire des schémas variantes dans lesquels la ligne bleue est en correspondance aménagée avec la ligne verte à Pleyel. Compte tenu des faibles intervalles existants sur chacune des lignes, un aménagement de qualité de cette correspondance permettrait de limiter considérablement la pénibilité de ce transfert sans dégrader significativement le temps de parcours total.

### **3 - Faut-il choisir aujourd'hui entre roulement fer et roulement sur pneu ?**

- 1 - Au stade préliminaire actuel du projet de transport, l'option technique de référence, qui utilise la technologie pneu pour les lignes bleue et verte, satisfait totalement au cahier des charges fonctionnel émis par le Secrétariat à la Région Capitale et minimise les risques techniques en particulier les risques d'interface avec la ligne 14 prolongée.
- 2 - La circulation de trains automatiques de 120 m de long à un intervalle minimum de 85 s permet de satisfaire des charges dimensionnantes par sens de l'ordre de 40 000 voyageurs par heure. La solution proposée présente une réserve de capacité suffisante pour les infrastructures nouvelles construites, compte tenu des prévisions à la mise en service. Le gabarit transversal retenu pour toutes les lignes du projet (celui de la ligne 14) peut donc convenir.
- 3 - Le roulement sur pneumatique est parfaitement adapté à la ligne 14 actuelle prolongée au Nord à Pleyel et au Sud à Villejuif puis Orly.
- 4 - Le roulement sur pneumatique n'est pas spécifiquement adapté sur les autres lignes ou tronçons de ligne et en particulier sur la ligne verte qui présentera (même en supposant que quelques stations seront ajoutées par rapport au projet de référence actuel) une interstation moyenne importante : L'énergie dissipée par frottement serait élevée.
- 5 - La faisabilité de l'exploitation du tronçon commun Roissy CDG – Pleyel en mode mixte fer – pneu est difficilement envisageable à ce stade des études, car les référentiels techniques du pneu et du fer sont suffisamment différents pour que leur superposition fasse apparaître de nombreuses difficultés.
- 6 - L'exploitation en fourche des lignes verte et bleue, conséquence de la non rupture de charge à Pleyel sur la ligne bleue ne permet pas une optimisation de la desserte

en fonction des trafics (Le tronc commun Roissy CDG – Pleyel est à plus faible trafic, donc la capacité offerte sera excédentaire par construction).

Bien entendu, ce n'est que sur un projet stabilisé en termes de services à offrir, avec une bonne connaissance des charges de trafic de dimensionnement sur chaque tronçon que l'optimisation technique effective du projet pourra être menée.