Syndicat des Transports d'Ile-de-France

PRÉFECTURE DE LA RÉGION
D'ILE-DE-FRANCE
PRÉFECTURE DE PARIS
13 FEV. 2012
Bureau du contrôle de légalité
et du contentieux

Délibération n°2012/0031

Séance du 8 Février 2012

Schéma Directeur du matériel roulant métro pneu

Le conseil du Syndicat des transports d'Ile-de-France,

VU le code des transports (Partie Législative) ;

VU l'ordonnance n°59-151 du 7 janvier 1959 modifiée relative à l'organisation des transports de voyageurs dans la Région Ile-de-France ;

VU le décret n°59-157 du 7 janvier 1959 modifié relatif à l'organisation des transports de voyageurs en Ile-de-France ;

VU le décret n°75-470 du 4 juin 1975 portant approbation du cahier des charges de la régie des transports parisiens, en application de l'article 13 du décret n°59-1091 du 23 septembre 1959 modifié portant statut de la Régie autonome des transports parisiens ;

VU le décret n° 2005-664 du 10 juin 2005 portant statut du Syndicat des transports d'Ile-de-France ;

VU le rapport n°2012/0031 ;

VU les avis de la commission de la qualité de service du 2 février 2012 et de la commission des investissements et du suivi du contrat de projet du 6 février 2012 ;

Après en avoir délibéré,

DECIDE

ARTICLE 1 : les conclusions du schéma directeur du matériel roulant métro pneu sont approuvées ;

ARTICLE 2 : la Directrice Générale est chargée de l'exécution de la présente délibération qui sera publiée au recueil des actes administratifs du Syndicat des Transports d'Ile-de-France.

Le Président du Conseil
du Syndicat des Transport d'Ile-de France

Jean-Paul HUCHON

Schéma Directeur du Matériel Métro Pneu

Rapport

egis rail
Ingénierie des transports urbains et ferroviaires

Identification du document

	projet	num. doc.	version	nb. pages	identifiant projet
identification	3275AA	RG110983	D	48	–

	établi par	vérifié par	approuvé par
prénom, nom	JF. DELSAUT E. HUOT	S. BOGLIO	E. HUOT
fonction	Ingénieur MR Chef de Projet	Ingénieur	Chef de projet
date	16/11/11	21/11/11	22/11/11

Historique des modifications

Indice	Établi par	Date	Objet de la révision
A	E. HUOT	09/11/2011	Création du document
B	E. HUOT	23/12/2011	Prise en compte des commentaires du STIF
C	E. HUOT	13/01/2012	Mise à jour de données de fréquences
D	E. HUOT	23/01/2012	Prise en compte des commentaires du STIF

Document mis en page pour une impression recto-verso

CONTEXTE DE L'ETUDE 6

A. LE RESEAU METRO PNEU 7

1. Historique 7
2. Description des lignes 10
2.1. La ligne 1 10
2.2. La ligne 4 11
2.3. La ligne 6 12
2.4. La ligne 11 13
2.5. La ligne 14 14
2.6. Synthèse 15
3. Les évolutions à très court terme 22
4. Le matériel roulant 22
5. Synthèse du réseau 23
5.1. La fréquentation 23
5.2. La problématique de la maintenance 26
6. Conclusions 27

B. SCENARIOS D'INVESTISSEMENT MR 29

1. Introduction 29
2. Présentation des scenarii 29
2.1. Scénario 1 30
2.2. Scénario 2 31
3. Mutations et acquisitions 32
4. Détail des opérations 32
4.1. Transfert de MP89cc de L1 vers L4 (en cours) 32
4.2. Transfert de MP05ca de L14 vers L1 33
4.3. Transfert de MP89ca de L14 vers L4 34
4.4. Transfert de MP05ca de L14 vers L4 34
4.5. Transfert de MP89cc de L4 vers L6 35
4.6. Transfert de MP89ca de L14 vers L6 38
4.7. Transfert de MP05 de L14 vers L6 39
4.8. Intégration/exploitation de MPNGcc sur L11 40
4.9. Intégration/exploitation de MPNG+ca sur L14 41

4.10. Intégration/exploitation de MPNGca sur L4 42

4.11. Intégration/exploitation de MPNGcc sur L6 42

4.12. Exploitation mixte de MPNG, MP05 et MP89 42

5. Synthèse des opérations 44

6. Chiffrage 44

7. Impacts sur l'âge du matériel roulant 45

8. Conclusion 46

8.1. Eléments techniques 46

8.2. Synthèse 46

INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES 47

CONTEXTE DE L'ETUDE

Le rôle du Syndicat des Transports d'Île-de-France (STIF) a été renforcé par la loi sur l'Organisation et la Régularisation des Transports Ferroviaires (loi ORTF du 8 décembre 2009), avec le transfert de propriété du matériel roulant RATP (RER, métro, tramways et autobus) à l'autorité organisatrice.

A ce titre, le STIF est amené à financer le renouvellement du matériel roulant à hauteur de 50%, et l'achat de matériel roulant dans le cadre de prolongements à hauteur de 100%.

Le matériel roulant est un outil structurant pour la mise en place d'offre de transport. Il impacte en effet les niveaux de confort pour les voyageurs, la capacité de l'offre de transport mais également sa régularité de par ses performances et sa fiabilité.

Le STIF s'est engagé dans une démarche volontariste visant à la mise à disposition d'un parc de matériels roulants entièrement constitué de véhicules récents ou rénovés. Il s'agit de faire face aux besoins d'augmentation de capacité pour accompagner le développement du transport ferroviaire en Île-de-France tout en répondant aux attentes en termes de qualité, d'accessibilité et de confort.

Le présent document concerne les matériel roulants pneu du métro parisien. Cinq lignes sont concernées par ce type de matériel :

- La ligne 1
- La ligne 4
- La ligne 6
- La ligne 11
- La ligne 14

A. LE RESEAU METRO PNEU

1. Historique

Le système de métro constitue la pierre d'angle du système de transport en zone très dense. Ce système a fêté son centenaire le 19 juillet 2000.

Le matériel roulant a connu de constantes évolutions durant cette période, passant de voitures à caisses bois aux rames les plus récentes, véritables serpentins automatisés où la traction est répartie sur douze, voire même seize essieux moteurs.

Le matériel roulant a été au cœur des préoccupations techniques dès le lancement de la réalisation de la première ligne. En effet, la loi du 30 mars 1898 a imposé l'usage d'un écartement standardisé et établi le gabarit du matériel roulant à 2.40 m.

Les décennies qui vont suivre vont voir le réseau s'accroître, passant de 93 km de lignes exploitées en 1914 à 169 km en 1952. Extensions mises à part, la dernière ligne ouverte sera la 14 qui a été inaugurée le 15 octobre 1998 jusqu'à La Madeleine, le terminus de Saint-Lazare n'étant atteint qu'en 2003.

De manière générale, le matériel roulant type métro présente des caractéristiques bien spécifiques :

- adaptation à la desserte de quais beaucoup plus hauts que les quais ferroviaires classiques,
- respect des contraintes de gabarit liées aux tunnels,
- respect des valeurs de masse par essieu liées aux ouvrages d'art souterrains et aériens,
- inscription dans des courbes à faible rayon et franchissement de fortes rampes,
- freinages et accélérations efficaces et à fréquences élevées,
- conception des caisses pour des échanges voyageurs en station rapides,
- fiabilité élevée.

Différentes cotes ont donc été définies, par exemple, concernant l'écartement des essieux, l'intervalle minimal entre deux rames qui se croisent, la hauteur maximale du matériel au-dessus du rail, etc…

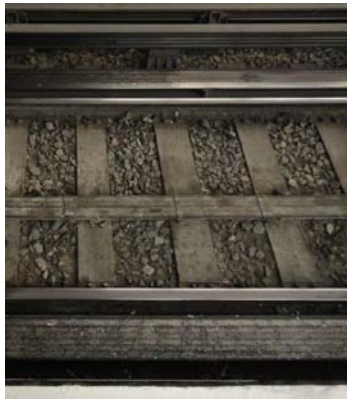

Figure 1 – Plan de roulement matériel métro pneu

L'interface avec les quais des stations est aussi un sujet à part entière. Dès les débuts du métro, les stations avaient été dotées de quais de 75m de long. Pourtant, il était des stations en courbe qui ont conduit à limiter la longueur des caisses à 11m pour éviter des lacunes trop importantes (et donc potentiellement dangereuses pour les usagers). Ainsi, la station Bastille de la ligne 1 comportait-elle une partie de ses quais en courbe de 37m de rayon, jusqu'à ce que les quais soient prolongés en alignement droit, mais au prix d'une déclivité de 4%.

Si le métro initial est directement issu de la technologie ferroviaire, l'idée d'utiliser des pneumatiques dans le domaine ferroviaire est apparue dès 1931 (avec les fameuses Michelines). Il était donc normal que la RATP s'intéressât également à ce concept technologique, ce qu'elle fit dès 1950 au profit de l'apparition de pneumatiques à armature métallique à même de supporter une charge de 4t pour un diamètre inférieur à 1m et de la mise au point d'une nouvelle méthode de guidage, combinant l'utilisation de roues horizontales prenant appui sur des barres latérales de guidage en voie courante et de boudins métalliques pour le passage des appareils de voie.

Un premier prototype fut réalisé en 1951 et dénommé « automotrice 151 ». Devant l'intérêt de cette formule (réduction des bruits, adhérence accrue permettant des accélérations et freinages vigoureux, vibrations réduites, fonctionnement satisfaisant même en mode dégradé,…), la RATP décida d'équiper une ligne entière avec du matériel roulant sur pneu (MP) : ce fut la ligne 11 en raison de son parcours difficile avec de nombreuses courbes et des rampes de 4%.

Ligne	Mise en service Métro Pneu
Ligne 11	1957
Ligne 1	1964
Ligne 4	1966
Ligne 6	1974
Ligne 14	1998

Tableau 1 – Mise en service des lignes MP

D'autres lignes furent par la suite adaptées pour y faire circuler du MP : 1, 4 et 6. Seule la ligne 14 fut spécifiquement construite pour y faire circuler du MP.

La première génération de MP fut donc destinée à circuler sur la ligne 11 qui fut équipée dès 1957 de matériel dit MP55 (rames 4 caisses). Ce matériel circula jusqu'en janvier 1999 où la ligne bascula en équipement intégral MP59.

Les lignes 1 et 4, les plus chargées du réseau, furent ensuite choisies pour être équipées d'une nouvelle série de matériel, dite MP59, commandée en deux vagues (1960 et 1974) et se composant de rames de 6 caisses dont 4 motrices (deux motrices sans loge). Au total, 607 caisses furent livrées et employées sur ces deux lignes.

Sur la ligne 1, le MP59 circula jusqu'en juin 2000 où il fut complètement remplacé par un nouveau matériel, le MP89. Cette introduction permit de ne conserver sur la ligne 4 que les éléments les plus récents (41 rames transférées de la 1 à la 4), en parallèle à un programme de modernisation lancé en août 1989. 9 rames surnuméraires furent alors réformées. La ligne 4 est donc aujourd'hui très largement encore exploitée au moyen de MP59, ce qui illustre bien la longévité de ce type de matériel.

La ligne 6, longue de 13.6 km, a la particularité d'avoir presque la moitié de son tracé en aérien. Le principe de son équipement avec du matériel MP fut acquis lors du conseil d'administration de la RATP du 28 mai 1971. Une des motivations de cette décision fut la recherche de la réduction des nuisances sonores émises sur les viaducs empruntés, notamment dans des quartiers densément peuplés et pour certains résidentiels. Elle fut d'ailleurs bien accueillie dans l'opinion.

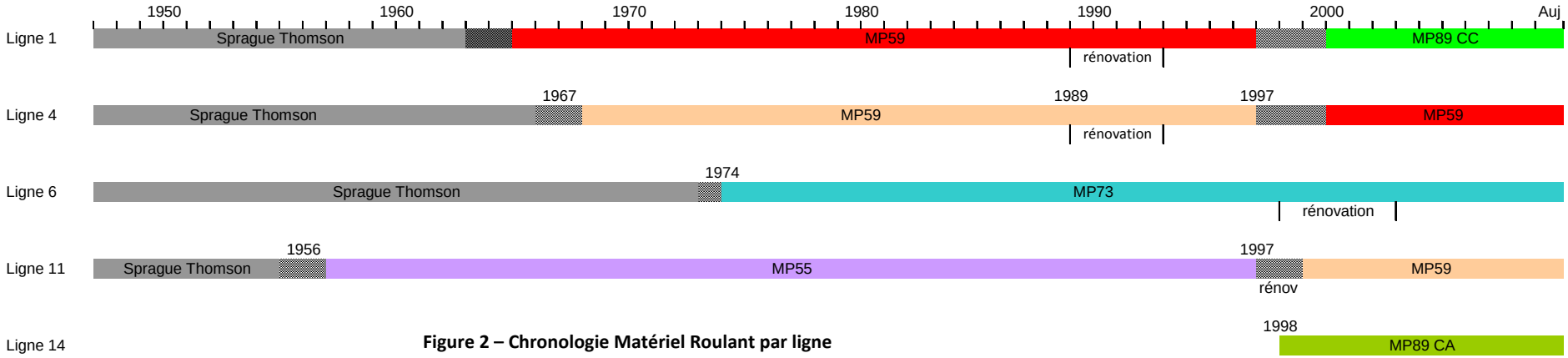

Figure 2 – Chronologie Matériel Roulant par ligne

Souce : Atlas du métro - STIF

252 caisses furent ainsi commandées en août 1971 pour équiper la ligne 6. Cette commande permettait de former 50 compositions à 5 voitures (3 motrices, dont 1 sans loge + 2 remorques) et de conserver 2 motrices en réserve. Ce matériel prit la dénomination de MP73.

La mise en place de ce matériel, dès juillet 1974, sur cette ligne particulière s'accompagna de mesures visant à améliorer l'adhérence : pneus lisses remplacés par des pneus striés (ZZ), striage de la surface de roulement des pistes en place, mise en place de cordons chauffants de 60W/m (sur le rail et sur la piste) alimentés en 750 V CC et mis en œuvre lorsque les conditions climatiques l'exigent (neige et verglas).

Le MP73 dérivait directement du MP59 avec quelques améliorations comme des moteurs plus puissants (type MP4), un éclairage renforcé, une étanchéité confortée du fait de la circulation à l'air libre,… Le MP73 a bénéficié d'une rénovation intérieure et extérieure et assure toujours une desserte efficace de la ligne 6.

Avant-dernière génération de MP, le MP89 a longtemps constitué l'évolution la plus aboutie du métro moderne. Il présente notamment une intercirculation continue, grande innovation pour l'époque et en voie de devenir un standard pour le matériel roulant. Son design, signé Roger Talon, tranche avec les séries précédentes.

Deux versions existent :

- le MP89CC avec cabine de conduite (CC),
- le MP89CA pour conduite automatisée.

Le MP89CC a remplacé le MP59 sur la ligne 1 comme évoqué précédemment. Le parc de MP89CC se compose de 52 trains de 6 voitures (chaque train est composé de 2 remorques avec cabine encadrant 4 motrices). Les rames, longues de 90.28 m, présentent de larges portes d'accès (3 par caisse), un roulement possible en mode dégradé par des roues fer auxiliaires, une suspension nettement améliorée, des équipements anti-graffiti et anti-lacérations, une possibilité d'inscription dans des courbes de 37 m de rayon (30 m sur voies secondaires) et de franchissement de rampes de 6%.

Le MP89CC a été déployé sur la ligne 1 à compter de mars 1997, déploiement achevé en juin 2000.

Le MP89CA a été conçu pour la ligne 14, mise en service en octobre 1998. Le parc se compose de rames de 6 voitures (38 remorques sans cabine, mais dotées d'un pupitre de secours + 76 motrices). Au total, 21 trains sont engagés pour desservir cette ligne. A noter que les quais de cette ligne ont, dès le départ, été conçus pour pouvoir accueillir des compositions de 8 voitures et dotés de portes palières.

Ce matériel assure toujours un service de qualité et fiable, pouvant transporter 40 000 voyageurs par heure et par sens.

Dernière innovation en date en matière de MP, le MP05. L'arrivée de cette dernière génération de MP est à lier à la décision prise d'automatisation de la ligne 1, la plus chargée du réseau, actuellement circulée par des MP89CC. Plutôt que de se lancer dans une dispendieuse automatisation des MP89CC, le choix a été fait de commander un matériel neuf pour la ligne 1, le MP05, ce qui va permettre, par décalage, un transfert des MP89CC sur la ligne 4 et une radiation, au moins partielle, des MP59 qui y circulent actuellement. En effet, le projet de renforcement du parc de la ligne 11 par des MP59 ex-ligne 4 a été évoqué.

Le MP05 possède des caractéristiques techniques très voisines du MP89 avec quelques adaptations telles que la modernisation de l'électronique de puissance, le pré-équipement multimédia et la ventilation réfrigérée. Il forme une rame de 90.28 m, soit 6 voitures.

L'aménagement intérieur est similaire à celui des MP89 dont seules les couleurs changent : le garnissage est blanc cassé, le revêtement de sol est de couleur brique et les sièges sont recouverts de tissu à rayures multicolores. C'est donc une commande de 53 rames MP05 qui a été passée à Alstom.

Demain se présente l'enjeu de remplacement de tout le matériel pneu de première génération. C'est notamment l'objet des réflexions autour du MPNG.

2. Description des lignes

2.1. La ligne 1

La ligne 1 est constituée de 25 stations dont 1 aérienne (Bastille) sur 16,4km. L'interstation moyenne est de 656m. Elle est la première ligne du métro parisien, ouverte en juillet 1900. Tout d'abord ouverte entre Porte Maillot et Porte de Vincennes, elle est prolongée à Château de Vincennes à l'est en 1934, puis pont de Neuilly à l'ouest en 1937. En 1992 la ligne est finalement prolongée jusqu'à La Défense.

La rampe maximale constatée sur la ligne est de 60‰.

Il s'agit de la ligne de métro la plus fréquentée avec 213 millions de voyages annuels.

Station	Montées et descentes quotidiennes
La Défense	136 000
Châtelet	128 000
Charles de Gaulle Etoile	104 000

Tableau 2 – Les 3 stations les plus importantes de la ligne 1

La ligne 1 est la seconde ligne à avoir été équipée de matériel pneu après la ligne 11 et a été ouverte en 1964. Tout d'abord circulée avec du MP59, du matériel neuf l'a remplacé progressivement à partir de 1998 (MP59 cc). Le MP59 a alors été envoyé sur la ligne 4.

Au moment de la mise en place du système pneu, certaines stations ont été allongées afin de permettre la circulation de matériel roulant de 90m, qui est devenue la longueur minimale des stations, permettant des trains de 6 voitures.

Le parc de matériel roulant comprend 52 rames, 46 étant nécessaires pour assurer la circulation en heure de pointe. L'intervalle minimum en heure de pointe atteint 1min45s.

L'interstation la plus chargée en heure de pointe était en 2006 Champs-Élysées – F.D. Roosevelt avec 22 200 passagers en une heure. Dans l'autre sens la charge maximale correspond à environ 60% de cette charge.

Figure 3 – Ligne 1 / MP 89 cc – Station Hôtel de Ville

La ligne est plus chargée sur sa partie à l'ouest de Châtelet.

En tenant compte de la capacité du matériel roulant et de l'intervalle en heure de pointe, on peut estimer que 90% de la capacité sur l'heure de pointe est consommée. La ligne est donc estimée sensible.

La maintenance et la révision des rames s'effectuent à l'atelier de Fontenay. L'atelier de Fontenay, où sont réalisées toutes les révisions de matériel roulant pneu, a la particularité d'être accessible depuis la station Château de Vincennes par une voie unique. Cette voie unique étant également utilisée pour le garage des rames, l'atelier n'est pas accessible en permanence, ce qui cause de forts problèmes de gestion. L'accès est en effet neutralisé de 18h jusqu'au dernier dégarage le matin.

L'atelier de maintenance de Fontenay a été rénové 1997 en passant de 8 à 6 voies de 90m, permettant ainsi un entraxe supérieur, ce qui était nécessaire pour la maintenance des MP89cc.

La ligne 1 est connectée au réseau métro pneu avec la ligne 6 à Etoile et Nation.

La ligne 1 est en passe d'être automatisée intégralement (SAET). Pour ce faire les quais ont été surélevés et renforcés et équipés de portes palières. Le passage en exploitation automatique sera réalisé en novembre 2011.

Cette mise en exploitation automatique s'accompagne par étape du déploiement d'un nouveau matériel roulant, le MP05, avec 49 rames de 6 voitures dans un premier temps. Ce matériel est un dérivé du MP89.

Les intervalles minimum en heure de pointe devraient passer de 105s à 85s, soit un gain capacitaire potentiel d'environ 25%.

La capacité de ce matériel est de 722 passagers (4 pass/m^2) dont 144 places assises.

Parallèlement à l'automatisation de la ligne, un nouveau centre de maintenance de proximité est mis en exploitation dans la boucle de Maillot, avec un tour en fosse. Ceci permet de désaturer le centre de Fontenay.

2.2. La ligne 4

La ligne 4, longue de 10,6km, comporte 26 stations. L'interstation moyenne est de 408m. Il s'agit de la 2ème ligne la plus fréquentée après la ligne 1. Elle fut ouverte partiellement en 1908, et dans son intégralité dès 1910.

Station	Montées et descentes quotidiennes
Gare du Nord	139 000
Châtelet	136 000
Gare Montparnasse	116 000

Tableau 3 – Les 3 stations les plus importantes de la ligne 4

Elle est équipée pour du matériel pneu avec une mise en circulation en 1966, après les lignes 11 et 1. Comme pour la ligne 1, les quais sont également allongés à 90m pour permettre la circulation de rames à 6 voitures.

Figure 4 – Ligne 4 / MP 59 – Station Raspail

Elle est circulée depuis sa transformation par du MP59, cependant, à la fin des années 90, lorsqu'est déployé le MP89 sur la ligne 1, un transfert de matériel s'effectue et le MP59 présent sur la ligne 1 est réutilisé sur la ligne 4. Celui de la ligne 4 étant envoyé sur la ligne 11. Il s'agit donc du plus ancien matériel roulant présent actuellement sur le réseau parisien (48 ans).

Le parc de matériel roulant est constitué de 47 rames, 41 étant nécessaires pour les circulations en heure de pointe. L'intervalle minimum atteint 1min45s.

L'interstation la plus chargée en heure de pointe était en 2006 Gare de l'Est – Château d'eau avec 17 800 passagers par heure. Dans l'autre sens la charge maximale correspond à environ 70% de cette charge.

La ligne est sensiblement plus chargée sur sa partie centrale entre Gare du Nord et Montparnasse.

En tenant compte de la capacité du matériel roulant et de l'intervalle en heure de pointe, on peut estimer que 100% de la capacité sur la demi-heure de pointe est consommée et que la situation est critique.

La maintenance des rames s'effectue à l'atelier de Saint-Ouen, accessible depuis l'arrière-gare de la station Porte de la Chapelle, et qui est en cours de rénovation. L'atelier de Saint-Ouen, originellement équipé avec 12 voies pour recevoir du matériel fer a été scindé pour entretenir du matériel pneu sur 8 voies et du matériel fer sur 4 voies pour effectuer la maintenance lourde des MF77. La rénovation de l'atelier a permis d'augmenter l'entraxe entre les voies réduisant le nombre de voies disponibles de 8 à 6.

La ligne 4 est connectée au réseau pneu avec la ligne 6 à Raspail.

Avec le déploiement du MP05 sur la ligne 1, la ligne 4 s'apprête à nouveau à récupérer le matériel roulant de celle-ci, le MP89cc. Ce transfert est en cours. Le parc sera porté à 52 rames, permettant d'assurer la desserte des prolongements en travaux et planifiés.

En effet, deux prolongements sont prévus :

- Porte d'Orléans – Mairie de Montrouge

  D'une longueur d'1,5 km et avec une nouvelle station terminus, ce prolongement devrait être inauguré courant 2012.

- Mairie de Montrouge – Bagneux

  D'une longueur d'1,7 km et comporte deux nouvelles stations, ce prolongement est prévu pour 2018.

2.3. La ligne 6

Le premier tronçon de la ligne 6 est ouvert en 1906 entre Etoile et Place d'Italie, ce qui explique le positionnement de l'atelier de maintenance à Place d'Italie.

Ce tronçon est d'abord connecté avec la ligne 5 jusqu'à la Gare du Nord. L'autre partie de la ligne 6 entre Place d'Italie et Nation est donc ouverte indépendamment en 1909.

C'est en 1942 que la ligne 6 prend son aspect actuel entre Nation et Charles de Gaulle Etoile, totalisant alors 13,6 km et 28 stations, avec une interstation moyenne de 486m.

Le matériel pneu est mis en exploitation en 1973 avec des MP73, qui découlent techniquement directement des MP59. Il s'agit de la dernière ligne de métro fer convertie en technologie pneu.

Station	Montées et descentes quotidiennes
Place d'Italie	103 000
Charles de Gaulle Etoile	100 000
Gare Montparnasse	96 000

Tableau 4 – Les 3 stations les plus importantes de la ligne 6

Contrairement aux lignes 1 et 4, la ligne 6 a conservé des quais de 75m et est toujours aujourd'hui circulée par des trains de 5 voitures. Le matériel roulant, le MP73, est identique depuis l'ouverture de la ligne, en système pneu.

46 rames sont affectées à la ligne et 36 sont nécessaires en exploitation à l'heure de pointe. L'intervalle minimal est de 1min55s.

L'interstation la plus chargée en heure de pointe était, en 2006, Denfert Rochereau – Raspail avec 15 600 passagers par heure. Dans l'autre sens, la charge maximale correspond à environ 70% de cette charge.

Figure 5 – Ligne 6 / MP 73 – Station Bercy

La charge de la ligne est relativement homogène avec une charge sensiblement supérieure entre Daumesnil et Trocadéro.

En tenant compte de la capacité du matériel roulant et de l'intervalle en heure de pointe, on peut estimer que 87% de la capacité sur l'heure de pointe est consommée et que la situation commence à être critique.

La maintenance du matériel roulant est effectuée à l'atelier de Place d'Italie. L'atelier comprend 9 voies et n'a pas été modernisé. L'entraxe est donc faible et le site n'est guère fonctionnel.

La révision s'effectue à l'atelier de Fontenay et la ligne 6 est connectée à la ligne 1 à Nation et Etoile.

Figure 6 – Vue aérienne atelier Italie

2.4. La ligne 11

La ligne 11 est ouverte en 1935 sur 6,3 kilomètres de longueur. Elle sert également de voie d'essais à la RATP qui y expérimentent plusieurs innovations technologiques. Des essais de métro pneu seront réalisés dès 1942, et ce sera la première ligne au monde à être équipée en métro pneu dès 1956.

Elle sera par ailleurs la première ligne du métro parisien à être équipée en pilotage semi-automatique en 1967.

Elle dessert 13 stations et l'interstation moyenne est de 485m. Elle est en pente sur quasiment tout son parcours. Les rampes atteignent 40‰.

Bien qu'équipée de quais de 75m, la ligne est desservie par du matériel roulant de 60m avec 4 voitures. L'atelier des Lilas ne permet pas, en effet, de recevoir des trains plus longs.

Station	Montées et descentes quotidiennes
Châtelet	87 000
République	82 000
Belleville	57 000

Tableau 5 – Les 3 stations les plus importantes de la ligne 11

A la fin des années 90, le matériel roulant d'origine, le MP55, a été remplacé par le MP59 provenant de la ligne 4. Il s'agit d'un matériel très sollicité en raison des caractéristiques de la ligne 4 et qu'il s'agit de remplacer rapidement.

24 rames sont dédiées à la ligne 11, dont 21 sont nécessaires en heure de pointe pour permettre des intervalles de 1min45s.

Figure 7 – Ligne 11 / MP 59 – Station Hôtel de Ville

L'interstation la plus chargée en heure de pointe était en 2006 Goncourt – République avec 13 200 passagers par heure. Dans l'autre sens, la charge maximale correspond à environ 35% de cette charge, soit un fort déséquilibre. La ligne est plus chargée sur sa partie centrale entre Jourdain et République.

En tenant compte de la capacité du matériel roulant et de l'intervalle en heure de pointe, on peut estimer que 83% de la capacité sur l'heure de pointe est consommée et que la situation peut être améliorée.

La maintenance du matériel roulant est effectuée à l'atelier des Lilas. Une voie est équipée de vérins permettant le changement des bogies. En effet, la ligne 11 n'est pas connectée au réseau pneu, et le site de Fontenay, où sont effectuées les révisions, n'est accessible que par le réseau fer (via la ligne 3 Porte des Lilas - Gambetta).

La ligne 11 est prévue d'être prolongée jusqu'à Rosny Bois Perrier, soit un prolongement de 5,7 km avec 5 à 6 stations. Un nouvel atelier de maintenance est prévu ce qui permettra de solutionner la problématique de capacité de l'atelier actuel et d'allonger la longueur des rames à 75 m avec 5 voitures.

Dans le cadre de ce prolongement, il a été envisagé et étudié la possibilité de remise sur fer de la ligne afin de remédier à l'isolement de cette ligne par rapport au reste du réseau pneu.

2.5. La ligne 14

La ligne 14 est la dernière ligne du métro parisien. Elle fut ouverte en 1998 tout d'abord entre Madeleine et Bibliothèque François Mitterrand. Elle fut tout d'abord prolongée à l'ouest jusque Saint-Lazare en 2003 puis jusqu'à Olympiades à l'est en 2007.

Il s'agit de la première ligne de métro à être directement conçue avec un roulement pneu (hors Orlyval) et totalement automatisée.

La longueur de la ligne est actuellement de 8,6 km pour 9 stations, soit une interstation moyenne de 956m, bien supérieure à la moyenne du métro parisien. Ceci contribue à une vitesse commerciale élevé, de l'ordre de 39 km/h, alors que les autres lignes de métro pneu ont des vitesses commerciales comprises entre 22 et 28 km/h.

Station	Montées et descentes quotidiennes
Saint-Lazare	151 000
Gare de Lyon	141 000
Châtelet	116 000

Tableau 6 – Les 3 stations les plus importantes de la ligne 14

Les quais ont des longueurs de 120m. Les 21 rames MP89cc circulant aujourd'hui ont des longueurs de 90m avec 6 voitures. Il est prévu à terme des circulations avec des rames de 120m et 8 voitures.

20 des 21 rames sont utilisées en heure de pointe afin d'atteindre des intervalles minimum d'1min40s. Le taux d'utilisation du matériel est alors très élevé.

Figure 8 – Ligne 14 / MP 89 ca – Station Olympiades

L'interstation la plus chargée en heure de pointe était en 2006 Gare de Lyon – Châtelet avec 22 500 passagers par heure. Cette charge ne tient cependant pas compte de la station Olympiades qui fut ouverte en 2007. Dans l'autre sens, la charge maximale correspond à environ 50% de cette charge.

En tenant compte de la capacité du matériel roulant et de l'intervalle en heure de pointe, on peut estimer que 70% de la capacité sur la demi-heure est consommée en 2009.

La maintenance du matériel roulant est effectuée à l'atelier de Tolbiac-Nationale, dans le prolongement de la station Olympiades. Celui-ci était auparavant situé

dans la pré-station d'Olympiades. Cet atelier comprend 3 voies de 120m ainsi que 3 voies en « arrière-station » pour la maintenance plus lourde.

La ligne 14 est connectée au réseau pneu par la ligne 6 au niveau de Bercy.

De grands projets existent pour la ligne 14 et elle est amenée à devenir un maillon central du futur réseau de métro Grand Paris Express.

Le premier prolongement prévu, sous maîtrise d'ouvrage du STIF, ira jusqu'à Mairie de Saint-Ouen et a pour objectif de désaturer la ligne 13 par le biais de correspondances sur chacune de ses fourches à Porte de Clichy et Marie de Saint-Ouen. Ce prolongement de 5,5 km comprendra seulement 2 stations et la mise en service est prévue pour 2017.

2.6. Synthèse

	Ligne 1	Ligne 4	Ligne 6	Ligne 11	Ligne 14
Longueur	16.4 km	10.6 km	13.6 km	6.2 km	8.6 km
Vitesse	27.6km/h	21.6 m/h	24.6km/h	25.6km/h	39.4km/h
Mise en service MP	1964	1966	1974	1956	1998
Conduite	Auto	Auto	Auto	Auto	SAET
MR	MP89cc	MP59	MP73	MP59	MP89ca
Nbre de voitures	6v	6v	5v	4v	6v
Capacité MR	720	700	575	464	722
Charge HP	22 200	17 800	15 600	13 200	22 500
Fréquence HP	1min45	1min45	1min55	1min45	1min40

Tableau 7 – Tableau de synthèse de caractéristiques des lignes

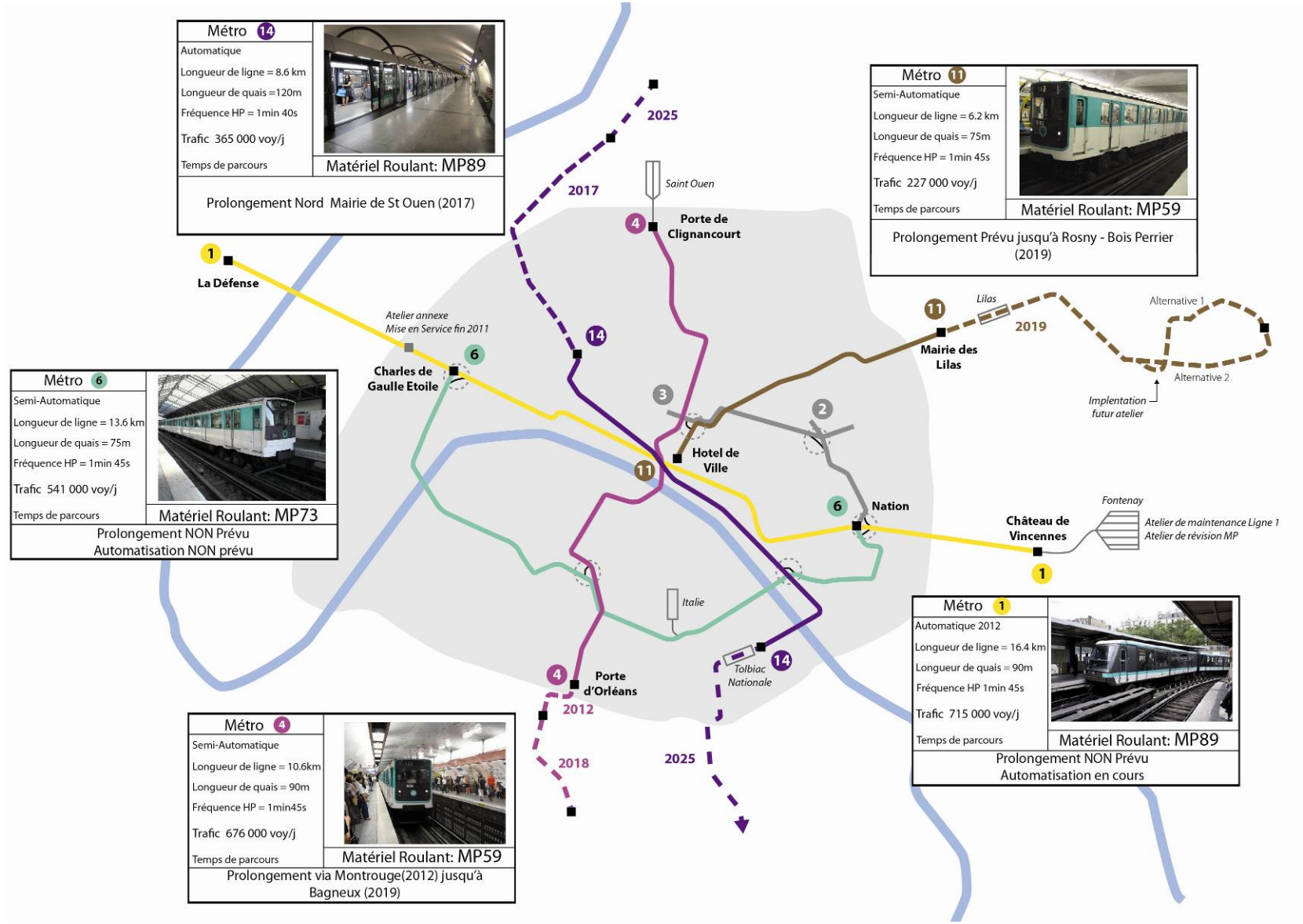

Figure 9 – Carte du réseau Métro Pneu avec Ateliers et connexions entre les lignes

Ligne 1

Caractéristiques de la ligne	
Longueur	16.7 km
Longueur commerciale	16.4 km
Nombre de stations	25
Longueur des quais	90 m
Vitesse commerciale	27.6 km/h

Caractéristiques du MR	
Matériel Roulant	MP89cc
Nombre de rames	52
Mise en circulation	1997
Longueur des rames	90 m
Vitesse maximale	80 km/h
Accélération (0-30km/h)	1.35 m/s2
Nombre de places assises	242
Nombre de places totales	720

Fréquentation	
Fréquentation journalière	715 000
Charge à l'heure de pointe	22 200

Exploitation	
Intervalle minimum HP	105s
Intervalle technique	90s
Réalisation offre HP	91.5%
Km/parcourus par rame	472 800
Rames nécessaires HP	45 + 1
Taux de réserve	11.5%
Fréquence d'incident	nd
Fréquence maintenance	nd
Fréquence révision	nd
Atelier maintenance	Fontenay
Atelier révision	Fontenay

Caractéristiques
Ligne en cours d'automatisation (11/2011) - Remplacement des MP89cc par des MP05 (52) Nouvel atelier de maintenance à Porte Maillot

Projets
RAS

Ligne 4

Caractéristiques de la ligne	
Longueur	10.7
Longueur commerciale	10.6
Nombre de stations	26
Longueur des quais	90 m
Vitesse commerciale	21.6 km/h

Caractéristiques du MR	
Matériel Roulant	MP59
Nombre de rames	47
Mise en circulation	1963
Longueur des rames	90 m
Vitesse maximale	70 km/h
Accélération (0-30km/h)	1.3 m/s2
Nombre de places assises	320
Nombre de places totales	700

Fréquentation	
Fréquentation journalière	676 000
Charge à l'heure de pointe	17 800

Exploitation	
Intervalle minimum HP	105s
Intervalle technique	100s
Réalisation offre HP	93.8%
Km/parcourus par rame	356 500
Rames nécessaires HP	40 + 1
Taux de réserve	12.8%
Fréquence d'incident	nd
Fréquence maintenance	nd
Fréquence révision	nd
Atelier maintenance	Saint-Ouen
Atelier révision	Fontenay

Caractéristiques
Reçoit les MP89cc suite à l'automatisation de la L1. Portera le parc à 52 rames et de faire face aux futurs prolongements

Projets
Prolongements prévus en 2 phases : 2012 - 1,5 km et une station / 2019 - 1,7 km et deux stations

Ligne 6

Caractéristiques de la ligne	
Longueur	14.7 km
Longueur commerciale	13.6 km
Nombre de stations	28
Longueur des quais	75 m
Vitesse commerciale	24.6 km/h

Caractéristiques du MR	
Matériel Roulant	MP73
Nombre de rames	46
Mise en circulation	1973
Longueur des rames	75 m
Vitesse maximale	70 km/h
Accélération (0-30km/h)	1.3 m/s2
Nombre de places assises	266
Nombre de places totales	575

Fréquentation	
Fréquentation journalière	541 000
Charge à l'heure de pointe	15 600

Exploitation	
Intervalle minimum HP	115s
Intervalle technique	100s
Réalisation offre HP	93.2%
Km/parcourus par rame	334 500
Rames nécessaires HP	37 + 1
Taux de réserve	17.4%
Fréquence d'incident	nd
Fréquence maintenance	nd
Fréquence révision	nd
Atelier maintenance	Italie
Atelier révision	Fontenay

Caractéristiques

Projets

Ligne 11

Caractéristiques de la ligne	
Longueur	6.4 km
Longueur commerciale	6.2 km
Nombre de stations	13
Longueur des quais	75 m
Vitesse commerciale	25.6 km/h

Caractéristiques du MR	
Matériel Roulant	MP59
Nombre de rames	24
Mise en circulation	1963
Longueur des rames	60 m
Vitesse maximale	70 km/h
Accélération (0-30km/h)	1.3 m/s2
Nombre de places assises	212
Nombre de places totales	464

Fréquentation	
Fréquentation journalière	227 000
Charge à l'heure de pointe	13 200

Exploitation	
Intervalle minimum HP	105s
Intervalle technique	95s
Réalisation offre HP	98.2%
Km/parcourus par rame	273 500
Rames nécessaires HP	20 + 1
Taux de réserve	14.3%
Fréquence d'incident	nd
Fréquence maintenance	nd
Fréquence révision	nd
Atelier maintenance	Lilas
Atelier révision	Fontenay

Caractéristiques

Longueur des rames limitée par l'atelier de maintenance des Lilas. Non connectée au réseau métro pneu

Projets

2019 - prolongement jusque Rosny Bois Perrier (5,7 km) avec 5 à 6 stations.

Ligne 14

Caractéristiques de la ligne	
Longueur	9.2 km
Longueur commerciale	8.6 km
Nombre de stations	9
Longueur des quais	120 m
Vitesse commerciale	39.4 km/h

Caractéristiques du MR	
Matériel Roulant	MP89ca
Nombre de rames	21
Mise en circulation	1998
Longueur des rames	90 m
Vitesse maximale	80 km/h
Accélération (0-30km/h)	1.35 m/s2
Nombre de places assises	216
Nombre de places totales	722

Fréquentation	
Fréquentation journalière	676 000
Charge à l'heure de pointe	22 500

Exploitation	
Intervalle minimum HP	100s
Intervalle technique	55s
Réalisation offre HP	102.2%
Km/parcourus par rame	763 000
Rames nécessaires HP	19 + 1
Taux de réserve	4.8%
Fréquence d'incident	nd
Fréquence maintenance	nd
Fréquence révision	nd
Atelier maintenance	Tolbiac-Nat
Atelier révision	Fontenay

Caractéristiques
1ère ligne automatique

Projets
Prolongement jusque MSO en 2017
Intégration Grand Paris vers Pleyel et Orly

3. Les évolutions à très court terme

Divers évènements sur le réseau pneu sont déjà en cours ou actés, et donc à prendre en compte :

- L1 : Déploiement des MP05 suite à l'automatisation de la ligne avec augmentation du nombre de rames pour faire face à la réduction de l'intervalle.

  L'intervalle en heure de pointe pourrait en effet être de 105 à 85-90s. L'impact en nombre de rames nécessaires pour le sens de la pointe serait alors de l'ordre de 4 pour une tenue de l'hyperpointe de l'ordre de 30min, justifiant ainsi le passage du parc de 52 MP89cc à 56 MP05.

- L4 : Redéploiement des MP89cc de la L1 et réforme en cours des MP59, permettant d'assurer les prolongements de la L4.

- L14 : Déploiement de 4 MP05 originellement destinées à la L1.

4. Le matériel roulant

En 2011, avant l'introduction des MP05 sur la ligne 1, le parc MR pneu est âgé en moyenne de 32 ans. Le parc le plus ancien est actuellement le MP59 de la ligne 4 et qui fut introduit au milieu des années 60 sur la ligne 1. Ce parc a été rénové au début des années 90. Il est actuellement en cours de réforme avec l'arrivée des MP89cc.

Vient ensuite le MP59 de la ligne 11 (originellement sur la ligne 4), mis en service à la fin des années 60 et rénové également au début des années 90. Ce parc est à bout de souffle, la ligne 4 étant une ligne très contraignante pour le matériel roulant.

Enfin, le MP73 de la ligne 6, de technologie similaire au MP59, et rénové vers les années 2000, a été mis en service en 1974 et accuse aujourd'hui 38 ans.

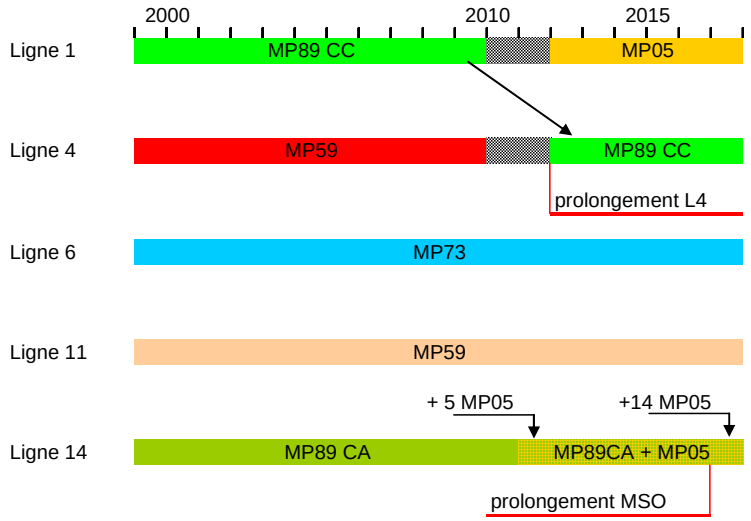

Figure 10 – Evolutions du parc matériel déjà engagées

Les radiations à mener sont clairement identifiables, il s'agit donc du parc de la ligne 4 (en cours), de la ligne 11 et de la ligne 6.

La seconde génération de matériel roulant est représentée par le MP89, mis en service entre 1997 et 2001. Une opération de rénovation devrait être engagée autour des années 2020.

Le MP05 arrivant sur la ligne 1 est un dérivé direct du MP89 et ne présente pas de saut technologique.

La réforme du MP59 de la ligne 4 et l'arrivée du MP05 permet de faire baisser l'âge moyen du parc matériel de 32 ans en 2011 à 23 ans en 2017, mais en conservant une grande disparité entre le matériel de 1ère et 2nde génération, le parc le plus ancien étant âgé de 49 ans en 2017 (cf. Figure 11). On constate notamment que la réforme du MP59 de la ligne 4 ne permet que de « maintenir » l'âge du matériel le plus ancien.

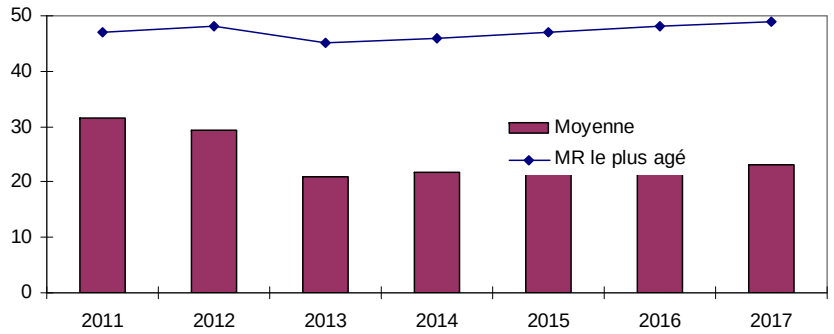

Figure 11 – Evolution de l'âge du parc matériel 2011-2017

Evolution des diagrammes

Avec l'apparition des nouveaux matériels et les contraintes d'évolution de trafic, la RATP a fait évoluer les diagrammes du traditionnel 2+2 au 2+1 afin de concéder plus d'espace debout. Le traitement des intercirculations dans les nouveaux matériels se fait par une disposition à l'anglo-saxonne afin de permettre une circulation plus aisée des passagers entre les rames.

Le MP05 6 voitures permet l'emport de 722 passagers contre 700 pour un MP59, soit une augmentation de la capacité de 3%.

5. Synthèse du réseau

5.1. La fréquentation

5.1.1 La situation actuelle

La fréquentation du métro parisien est en constante augmentation sur la décennie 2000. Cette augmentation est à la fois due au développement du réseau (en particulier la ligne 14), mais aussi au développement organique et à la croissance de la population.

De 2000 à 2009, le nombre de voyages a augmenté de 20% et le nombre de voy.km de 22%, ce qui indique un accroissement de la distance moyenne parcourue (de 4,9 km en 2000 à 5,0 km en 2009).

L'augmentation annuelle rapportée sur cette période est alors de 2,1% pour le nombre de voyages et de 2,3% pour le nombre de voy.km.

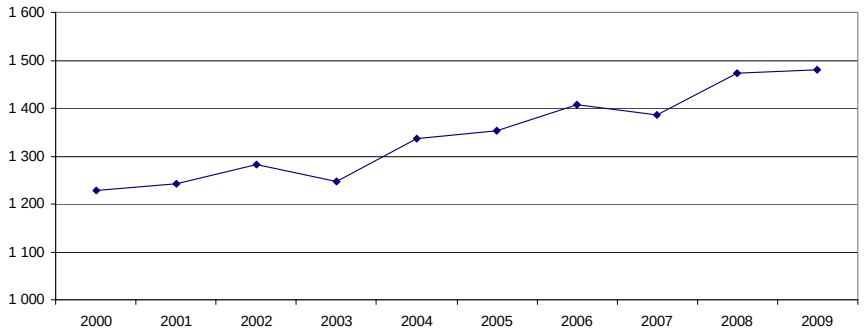

Figure 12 – Nombre de voyages annuels sur le réseau métro, en millions – source OMNIL

Pour les lignes de métro pneu, l'augmentation a été inégale, variant, sur la période 2000-2009, de +8% pour la ligne 6 à +31% pour la ligne 4. La ligne 14 a connu une augmentation de +219% due aux prolongements sur cette période notamment vers Saint-Lazare.

Ligne	Fréquentation annuelle 2009 En millions de voyageurs	Evolution 2000-2009
Ligne 1	172	+ 12%
Ligne 4	172	+31%
Ligne 6	104	+8%
Ligne 11	47	+18%
Ligne 14	80	+219%

Tableau 8 – Evolution de fréquentation annuelle des métros pneu

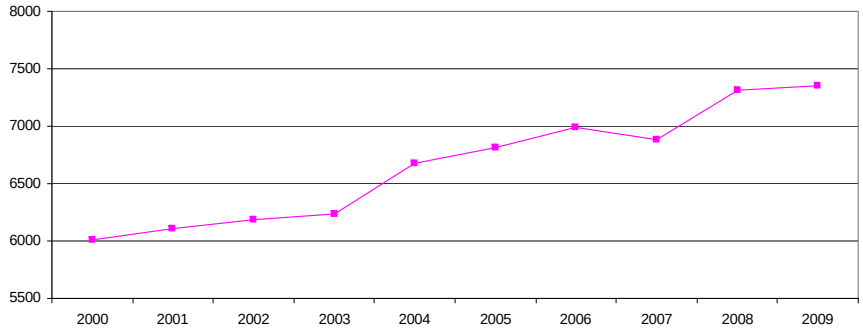

Figure 13 – Nombre de voyages.kilomètres annuels sur le réseau métro, en millions – source OMNIL

L'analyse du nombre d'entrants par type de jour nous montre cependant différentes tendances. En effet, pour un jour ouvrable de base, l'augmentation sur la période 2000-2009 était de 18%, soit une augmentation annuelle de l'ordre de 1,8%, alors qu'elle était de 24 à 25% pour les samedis et les dimanches.

Ces chiffres reflètent la tendance du nombre de déplacements pour les loisirs.

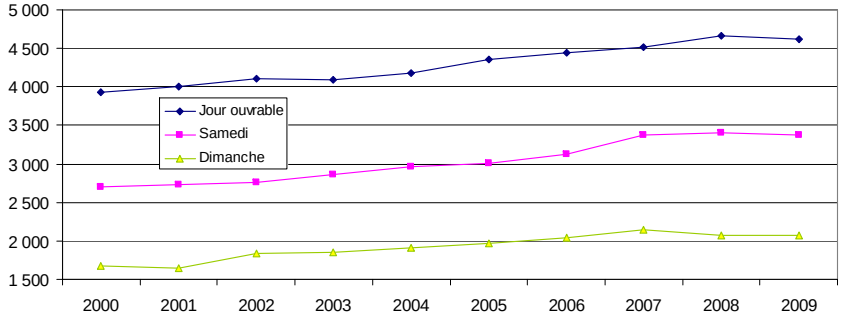

Figure 14 – Nombre d'entrants directs journaliers dans les stations de métro en milliers, par type de jour – source OMNIL

On constate par ailleurs que les charges aux heures de pointe sont relativement stables, du fait de l'augmentation du nombre d'horaires décalés, mais très certainement aussi du fait de l'état de saturation du réseau.

Les lignes 1 et 14 ont une charge en heure de pointe supérieure à 20 000 passagers par sens et par heure, tandis que les lignes 4, 6 et 11 gravitent entre 13 000 et 18 000 PPHPD.

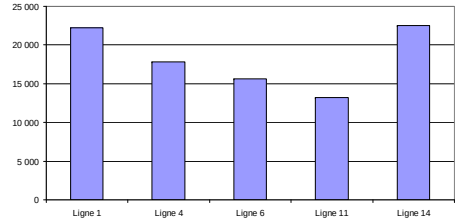

Figure 15 – Charge en HP, 2006

En 2009, les charges maximales sur la demi-heure de pointe sont de 11 000 pour la ligne 1, 11 000 pour la ligne 4 et 13 000 pour la ligne 14.

A la vue des capacités des rames et des intervalles minimums commerciaux entre les rames en heure de pointe, et des flux à transporter, la plupart des lignes connaissent des difficultés capacitaires. Le taux d'occupation de la ligne 6, calculée sur l'heure de pointe, est à rapprocher de ceux des lignes 1 et 4, calculées sur la demi-heure de pointe. Seule la ligne 11 connaît une situation satisfaisante.

La ligne 14 a le taux d'occupation le plus fort, mais connaît également une marge importante en terme de réduction d'intervalle. Il est par ailleurs fort probable, de

par son caractère automatique, que les fréquences réelles soient affinées en temps réel et que le ressenti des voyageurs ne soit pas celui d'un taux de saturation de cette ampleur.

Ligne	Capacité rame	Fréquence	Taux d'occupation
Ligne 1*	720 pers.	1 min 45	90%
Ligne 4*	700 pers.	1 min 45	91%
Ligne 6	575 pers.	1 min 55	87%
Ligne 11	464 pers.	1 min 45	83%
Ligne 14*	722 pers.	1 min 40	100%

Tableau 9 – Niveau de saturation des lignes en heure de pointe en 2009 (* = calculée sur la demi-heure de pointe)

5.1.2 La situation à l'horizon 2020

A l'horizon 2020, la situation va évoluer en terme de fréquentation, de matériel roulant, mais aussi pour certaines lignes en terme de desserte en raison de prolongements de ligne, avec un impact fort sur la fréquentation.

La mise en service d'Octys sur les lignes 4, 6 et 11 autour de 2020 devrait également permettre d'optimiser les intervalles en heure de pointe.

De plus, le Métro Grand Paris Express aura pour effet de délester le réseau de métro parisien.

Le STIF est actuellement en train de réaliser une étude prospective sur l'évolution des trafics qui permettra d'évaluer la saturation ou non des différentes lignes de métro dans un horizon à moyen terme.

Figure 16 – Schéma d'ensemble du Grand Paris – source Société du Grand Paris

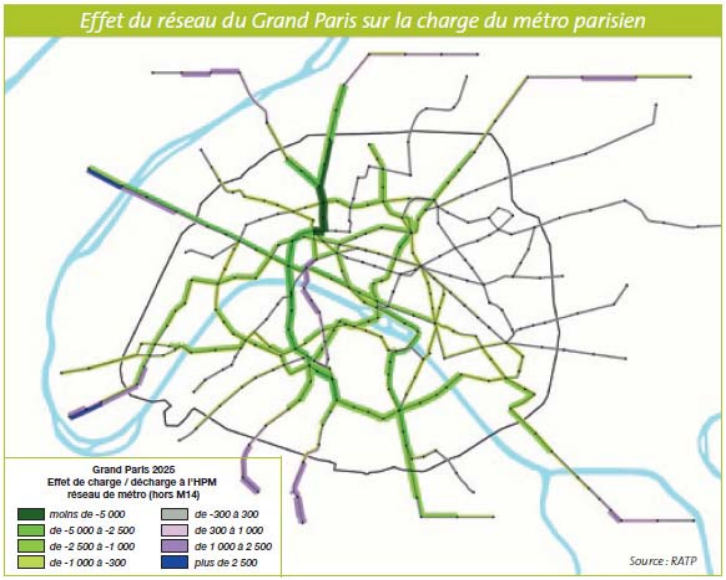

Figure 17 – Effet du Métro GPE (horizon 2025) – Dossier du débat public

5.2. La problématique de la maintenance

La maintenance des rames de métro repose sur des visites régulières (dont la fréquence est propre à chaque type de matériel). La visite la plus fréquente est celle à l'atelier de maintenance, qui peut avoir lieu, par exemple toutes les 3 semaines ou tous les mois, et a lieu dans un atelier de maintenance dédié à chaque ligne. Y sont réalisées les opérations de maintenance préventive programmées, la maintenance corrective, les modifications éventuelles et le nettoyage technique des rames.

Une visite de révision où des opérations plus lourdes (remplacement des organes des trains en fin de vie, vérification de la structure de la caisse, échanges standards afin d'effectuer des opérations de maintenance longues sur certains équipements) sont effectuées a lieu en revanche dans un atelier unique. Pour le matériel pneu, il s'agit de l'atelier de Fontenay situé sur la ligne 1[1]. Le pas de ces révisions est au minimum de 400 000 km pour les matériels récents.

Il existe également des ateliers de maintenance de proximité où peuvent être effectués des dépannages ponctuels de façon à garantir la qualité de service.

Ligne	Atelier de maintenance	Atelier de révision
Ligne 1	Fontenay / Maillot	Fontenay
Ligne 4	Saint-Ouen	
Ligne 6	Place d'Italie	
Ligne 11	Lilas	
Ligne 14	Tolbiac-Nationale	

Tableau 10 – Ateliers dédiés à chaque ligne

[1] Le même principe est appliqué au métro fer, les ateliers de révision étant ceux de Saint-Ouen et Choisy selon le type de matériel.

A l'origine, les ateliers réceptionnaient des métros fer. Certains d'entre eux ont toujours des faisceaux fer (Saint-Ouen, Italie). La maintenance des rames de seconde génération nécessite des entraxes plus importants entre les voies (5 à 6 m minimum contre 3,5m à l'origine) en raison des composants placés sous les rames et qui se retirent par tiroirs. Les ateliers de Fontenay, Saint-Ouen et Tolbiac-Nationale permettent la réception de rames de seconde génération.

Les ateliers d'Italie (ligne 6) et des Lilas (ligne 11) ne peuvent, pour l'instant, pas recevoir ce type de matériel.

Atelier	Dernière rénovation	Superficie
Fontenay	1997	34 350 m^2
Saint-Ouen	En cours	34 000 m^2
Place d'Italie	1973	11 500 m^2
Lilas	1955	2 000 m^2
Maillot	Ouverture avec l'automatisation	
Tolbiac-Nationale	2006	5 000 m^2

Tableau 11 – Ateliers et date de rénovation

Le traitement de la ligne 11 est planifié dans le cadre du prolongement vers Romainville (nouvel atelier permettant également d'allonger les rames). Aucuns travaux ne sont cependant planifiés pour l'atelier d'Italie sur la ligne 6. La mise à niveau nécessiterait d'éliminer les voies fer aujourd'hui encore présentes afin de permettre d'augmenter l'entraxe entre les voies.

Outre la problématique des ateliers de maintenance, qui implique des travaux importants pour les lignes 6 et 11 afin qu'elles soient aptes à recevoir du matériel moderne, existe aussi la problématique d'accès à l'atelier de révision de Fontenay.

L'atelier de Fontenay est accessible par une voie unique utilisée également pour le remisage des rames, accessible uniquement le matin lorsque les rames sont en ligne.

Les différentes caractéristiques des lignes qui permettent l'accès à l'atelier induisent également des acheminements de nuit :

- Le système de signalisation de la ligne 6 ne laisse pas passer les rames supérieures à 5 voitures. Les trains de la ligne 4 et 14 ne peuvent donc être acheminés que de nuit, ce qui nécessite la désactivation du système de signalisation de la ligne 6.
- La ligne 1 étant maintenant automatisée, le passage de rames d'autres lignes en exploitation devient délicat et peut fortement perturber l'exploitation.

Cheminement jusque Fontenay	
Ligne 1	Direct
Ligne 4	L4 (Vavin/Edgar Quinet) L6 (Etoile) L1
Ligne 6	L6 (Etoile) L1
Ligne 11	L11 (P. Lilas) L3bis (Gambetta) L3 (Père Lachaise) L2 (Nation) L1
Ligne 14	L14 (Bercy) L6 (Nation) L1

Tableau 12 – Itinéraires d'accès à l'atelier de Fontenay

On notera par ailleurs que d'éventuels travaux à l'atelier Italie nécessiteront de délocaliser l'entretien des rames de la ligne 6 pendant 2 à 3 ans, idéalement à l'atelier de Saint-Ouen de la ligne 4. Il est préférable de réaliser ces travaux avant une éventuelle automatisation de la ligne 4, les rames de la ligne 6 risquant alors de perturber d'autant son exploitation.

6. Conclusions

Il a été identifié que le matériel des lignes 4, 6 et 11 est en bout de course et a besoin d'être renouvelé, quelque soit le scénario d'investissement. Celui de la ligne 4 est déjà en renouvellement du fait du transfert du matériel roulant depuis la ligne 1.

Pour les lignes 6 et 11, ce renouvellement nécessite de nouveaux ateliers afin de permettre la maintenance de rames modernes, et ce, quelque soit le scénario.

Il a également été identifié que la L14 a besoin de rames supplémentaires en 2017 pour le prolongement de la ligne à Mairie de Saint Ouen ainsi que pour augmenter les fréquences de desserte, mais également des rames plus capacitaires, portées à 8 voitures, afin de soutenir sa montée en charge lors des prolongements ultérieurs liés au Grand Paris. Les rames de la ligne 14 doivent donc être adaptées, dans tous les cas, pour être transférées sur une autre ligne.

B. SCENARIOS D'INVESTISSEMENT MR

1. Introduction

Dans le cadre de l'évolution du réseau de métro pneu en Ile de France, les scénarii suivants ont été envisagés et définis en concertation entre le STIF et la RATP :

- Scénario 1 : Automatisation intégrale de la ligne 4 du métro. Dans ce cas, 42 MP89CC (de la ligne 1) seraient exploités en 5 voitures sur la ligne 6 après leur passage sur la ligne 4 (le transfert de ces rames de la L1 à la L4 est en cours).
- Scénario 2 : Pas d'automatisation de la ligne 4 du métro. Dans ce cas, 2a MP89CA (de la ligne 14) seraient exploités en CC et en 5 voitures sur la ligne 6. Par ailleurs, 11 MP05 (conduite automatique) seraient aussi utilisés sur la ligne 6 en 5 voitures et en conduite avec conducteur.

L'objet de ce chapitre est de faire ressortir et d'analyser les impacts engendrés par la mise en œuvre de ces scénarii.

2. Présentation des scenarii

Les 2 scénarii susmentionnés sont représentés graphiquement sur les pages suivantes en terme de transfert et d'acquisition de matériel roulant.

Les schémas ci-contre indiquent la répartition de type de matériel par ligne.

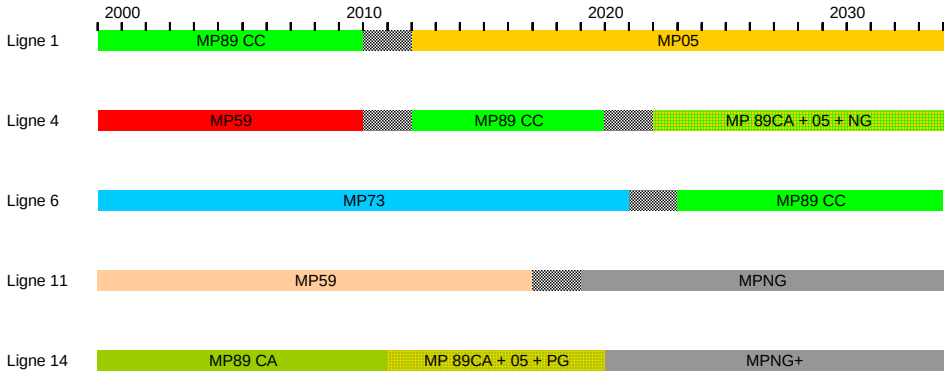

Figure 18 – Répartition du type de matériel roulant par ligne – scénario 1

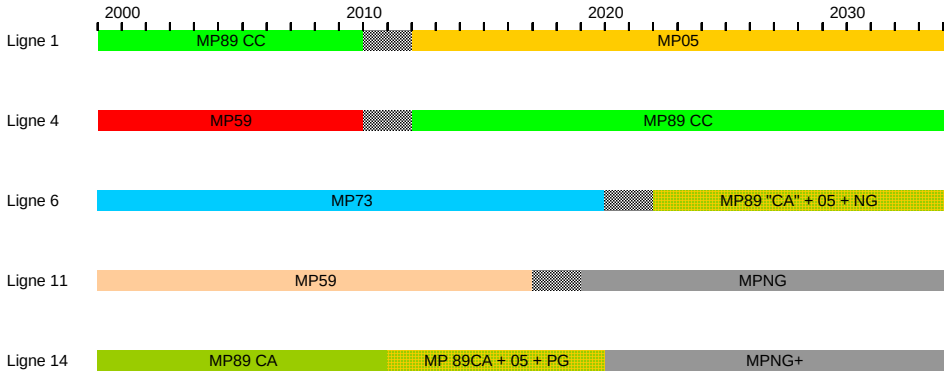

Figure 19 – Répartition du type de matériel roulant par ligne – scénario 2

2.1. Scénario 1

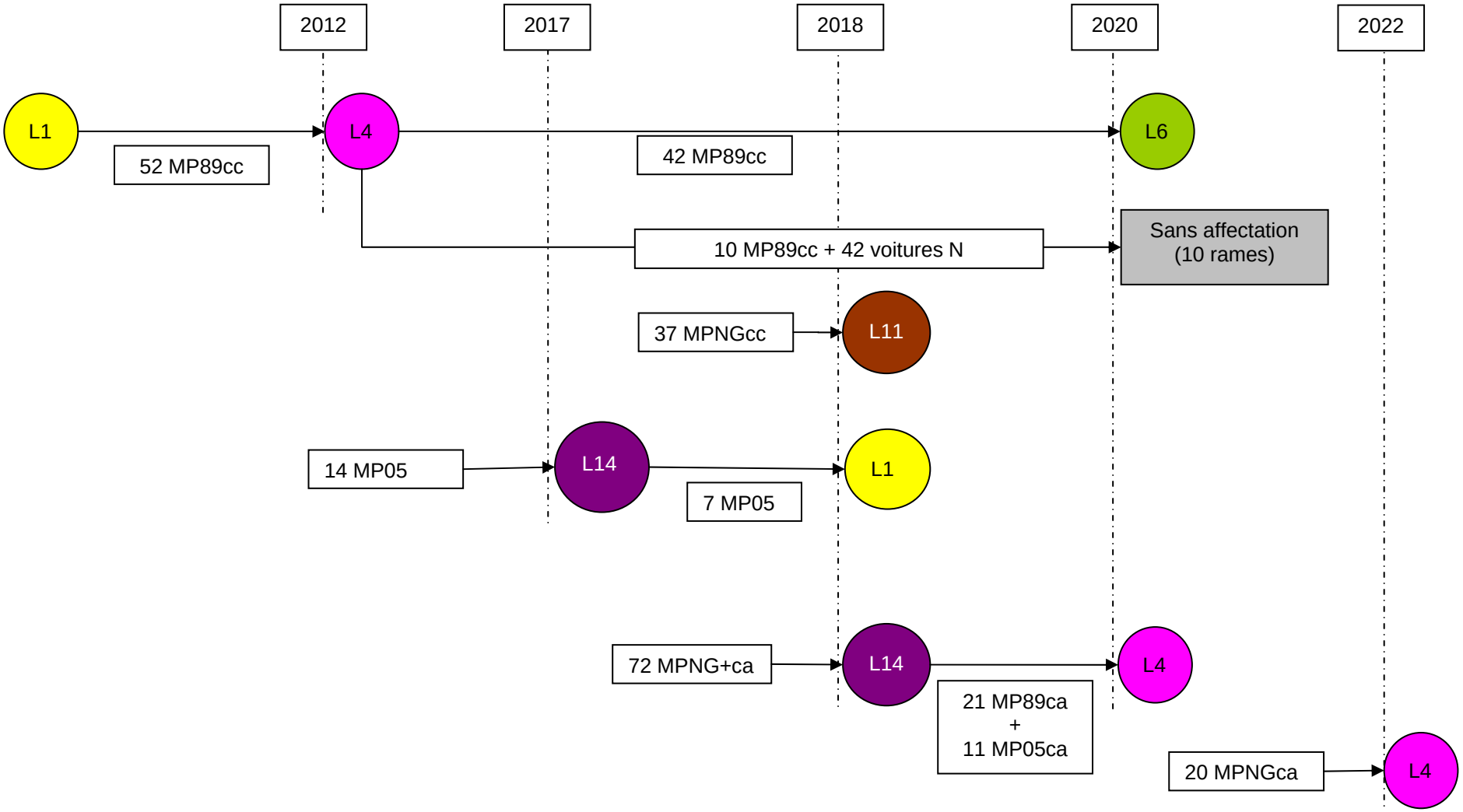

Figure 20 – Diagramme d'acquisitions et transferts scénario 1

2.2. Scénario 2

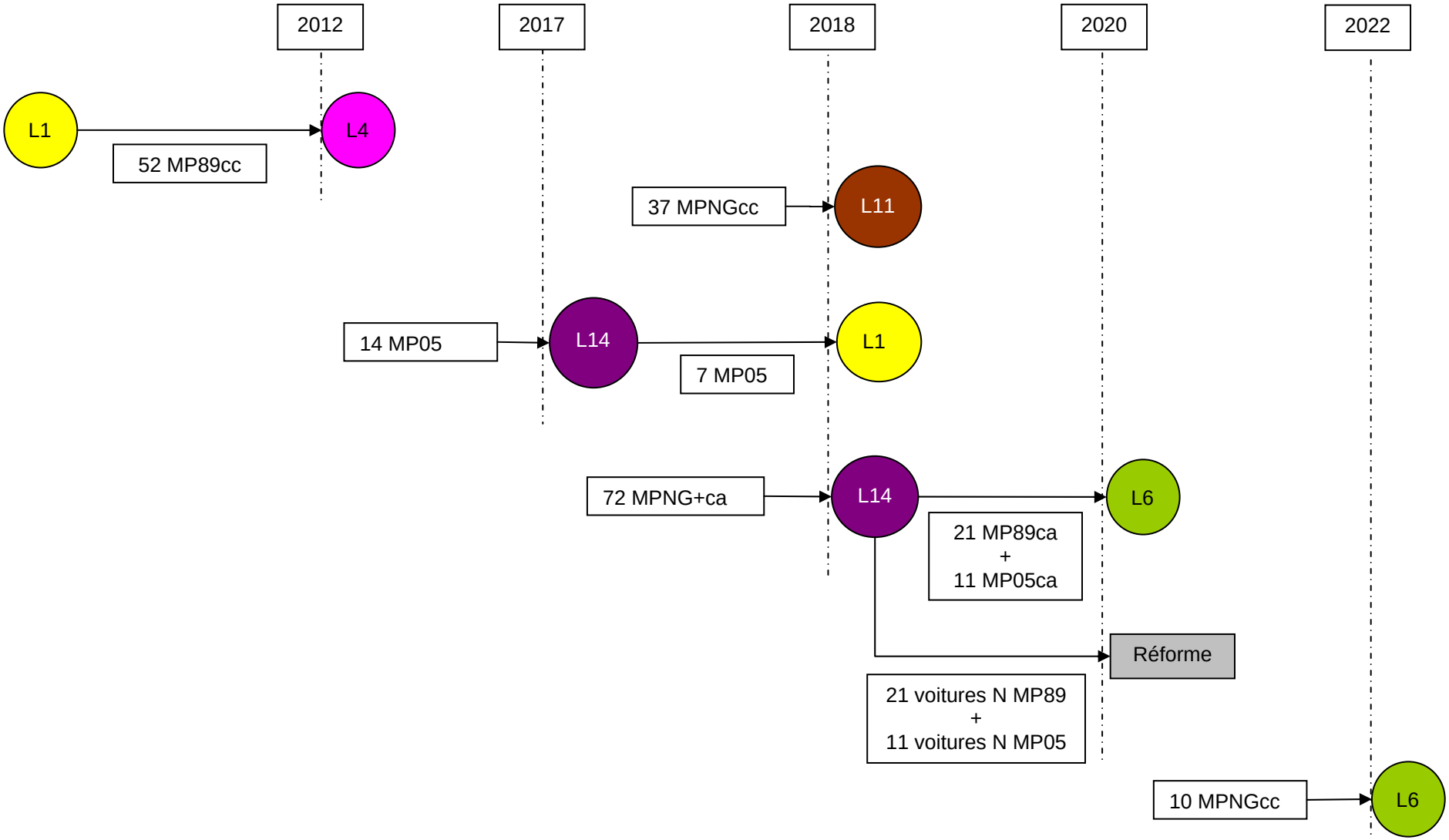

Figure 21 – Diagramme d'acquisitions et transferts scénario 2

3. Mutations et acquisitions

La mise en œuvre du scénario 1 implique :

- Le transfert de 52 rames MP89cc de la ligne 1 vers la ligne 4
- Le transfert de 7 rames MP05 de la ligne 14 vers la ligne 1
- Le transfert de 21 rames MP89ca de la ligne 14 vers la ligne 4
- Le transfert de 11 rames MP05 de la ligne 14 vers la ligne 4
- Le transfert de 42 rames MP89cc de la ligne 4 vers la ligne 6
- L'intégration et l'exploitation de 37 MPNGcc sur la ligne 11
- L'intégration et l'exploitation de 72 MPNG+ca sur la ligne 14
- L'intégration et l'exploitation de 20 MPNGca sur la ligne 4
- L'exploitation mixte de MPNGca, MP05ca et MP89ca sur la ligne 4

La mise en œuvre du scénario 2 implique :

- Le transfert de 52 rames de MP89cc de la ligne 1 vers la ligne 4
- Le transfert de 7 rames MP05 de la ligne 14 vers la ligne 1
- Le transfert de 21 rames MP89ca de la ligne 14 vers la ligne 6
- Le transfert de 11 rames MP05 de la ligne 14 vers la ligne 6
- L'intégration et l'exploitation de 37 MPNGcc sur la ligne 11
- L'intégration et l'exploitation de 72 MPNG+ca sur la ligne 14
- L'intégration et l'exploitation de 10 MPNGcc sur la ligne 6
- L'exploitation mixte de MPNGcc, MP89cc et MP05cc sur la ligne 6

4. Détail des opérations

4.1. Transfert de MP89cc de L1 vers L4 (en cours)

Les scenarii 1 et 2 sont concernés par ce transfert. Il est actuellement en cours.

4.1.1 Contexte

Ce transfert de 52 rames de MP89cc de la ligne 1 vers la ligne 4 permet :

- d'une part, de libérer les rames en conduite conducteur afin d'y intégrer les MP05 en conduite automatique,
- d'autre part, d'équiper la ligne 4 de rames plus récentes afin de réformer les 47 MP59 encore exploités sur cette ligne.

Dans le cas du scénario 1 (automatisation de L4), l'exploitation des rames MP89CC est temporaire puisqu'elle sera, une fois la ligne 4 automatisée, transférée en partie sur la ligne 6.

Dans le cas du scénario 2 (pas d'automatisation de L 4), ce transfert est définitif.

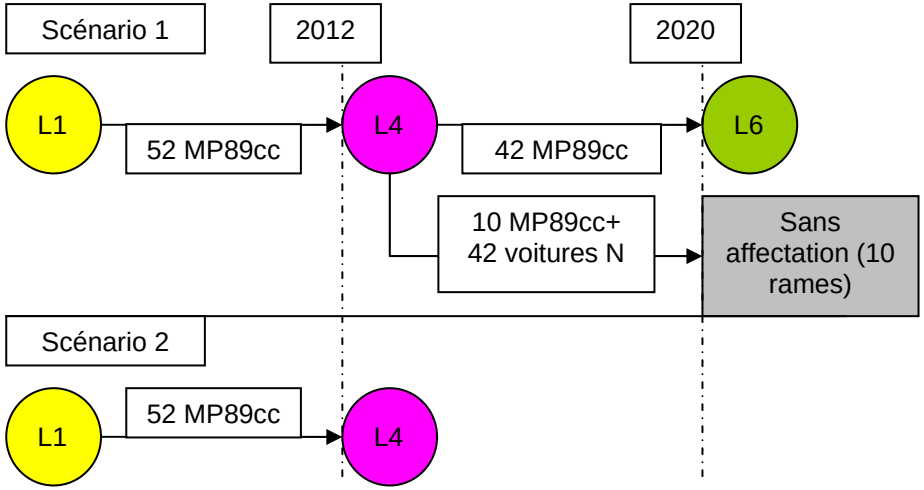

Figure 22 – Diagramme transfert MP89cc L1 → L4

4.1.2 Impact sur le matériel roulant

Configuration des rames

L'exploitation de la ligne 1 et de la ligne 4 se fait en rames de 6 voitures. Il n'y a donc pas nécessité d'adapter la configuration.

Intégration des rames

La ligne est normalement prévue pour exploiter des MP89cc (A confirmer par la RATP).

En théorie, l'injection de rames MP89CC sur la ligne 4 doit pouvoir s'effectuer sans actions préalables (hormis quelques essais)

Les rames ne seront pas retirées une par une de la ligne 1 mais par lot. Ce qui implique un stockage des lots avant le basculement sur la ligne 4.

Afin de poursuivre l'exploitation de rames MP89cc sur la ligne 1 automatisée avec portes palières, les MP89CC ont été équipées du système DOF1 (dispositif d'ouverture et fermeture des façades de quai). L'exploitation sur la ligne 4 des MP89cc ne justifie pas la dépose des équipements bord du DOF1, d'autant plus qu'ils pourraient être utilisés lors de l'automatisation de la ligne 4.

Le Système DOF1 est un dispositif permettant de commander l'ouverture et la fermeture du métro parisien, ligne 1. Ce système comprend 2 parties :

- la première est installée dans un local technique à proximité du quai équipé de portes palières. Elle est nommée DOF1 Sol et Antenne DOF1 Sol.
- la seconde partie quant à elle, est installée dans le train, à l'avant et à l'arrière. Cette seconde partie est nommée DOF1 Bord et Antenne DOF1 Bord.

4.1.3 Impact sur les installations fixes de la ligne

Il n'y a pas d'impacts identifiés sur les installations fixes de la ligne 4 pour exploiter des rames MP89CC composée de 6 voitures.

4.2. Transfert de MP05ca de L14 vers L1

Les scenarii 1 et 2 sont concernés par ce transfert.

4.2.1 Contexte

En 2018, 7 de rames MP05 seront transférées vers la ligne 1 afin de renforcer le parc de cette ligne.

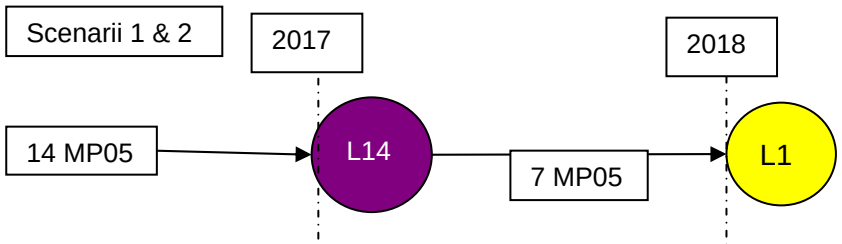

Figure 23 – Diagramme transfert MP05ca L14 → L1

4.2.2 Impact sur le matériel roulant

Configuration des rames

L'exploitation de la ligne 1 et de la ligne 14 se fait en rames de 6 voitures. Il n'y a donc pas nécessité d'adapter la configuration des rames

Intégration des rames

L'automatisme de la ligne 14 est différent de celui de la ligne 1. Par conséquent, pour exploiter des rames MP05 de la ligne 14 sur la ligne 1, il est nécessaire de remplacer l'automatisme embarqué ligne 14 par celui de la ligne 1.

Une fois cette modification effectuée, les essais sont à prévoir avant d'autoriser l'exploitation commerciale.

4.2.3 Impact sur les installations fixes de la ligne

Il n'y a pas d'impacts identifiés sur les installations fixes de la ligne 1 pour exploiter des rames MP05 composées de 6 voitures.

4.3. Transfert de MP89ca de L14 vers L4

Seul le scenario 1 est concerné par ce transfert.

4.3.1 Contexte

Si le scénario 1 est retenu, c'est-à-dire, si la ligne 4 est automatisée, à partir de 2020, les rames MP89ca de la ligne 14 vont être transférées sur la ligne 4 afin de remplacer les MP89cc qui, eux, seront transférés vers la ligne 6.

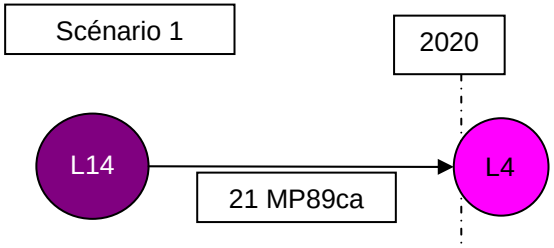

Figure 24 – Diagramme transfert MP89ca L14 → L4

4.3.2 Impact sur le matériel roulant

Configuration des rames

Les MP89ca de la ligne 14 sont exploités en rame de 6 voitures. Par conséquent, la configuration des rames n'est pas à adapter puisque la ligne 4 est exploitée en rame de 6 voitures également.

Intégration des rames

L'automatisme de la ligne 4 sera surement différent de celui de la ligne 14. Par conséquent, pour exploiter des rames MP89CA de la ligne 14 sur la ligne 4, il sera nécessaire de remplacer l'automatisme embarqué ligne 14 par celui de la ligne 4.

4.3.3 Impact sur les installations fixes de la ligne

Il n'y a pas d'impacts identifiés sur les installations fixes de la ligne 4 pour exploiter des rames MP89ca composées de 6 voitures.

4.4. Transfert de MP05ca de L14 vers L4

Ce transfert concerne uniquement le scenario 1.

4.4.1 Contexte

Dans le cadre de l'automatisation de la ligne 4, le parc de la ligne 4 serait composé de MP89ca, de MPNGca et de MP05, ces derniers provenant de la ligne 14.

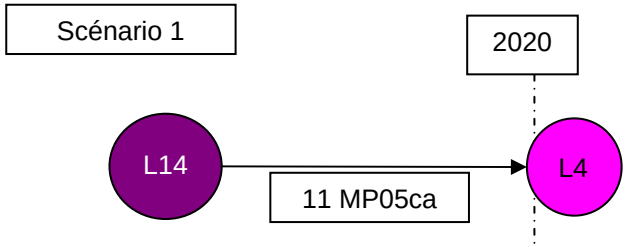

Figure 25 – Diagramme transfert MP05ca L14 → L4

4.4.2 Impact sur le matériel roulant

Configuration des rames

Les MP05 de la ligne 14 sont exploités en rame de 6 voitures. Par conséquent, la configuration des rames n'est pas à adapter puisque la ligne 4 est exploitée en rame de 6 voitures également.

Intégration des rames

L'automatisme de la ligne 4 sera surement différent de celui de la ligne 14. Par conséquent, pour exploiter des rames MP05 de la ligne 14 sur la ligne 4, il sera nécessaire de remplacer l'automatisme embarqué ligne 14 par celui de la ligne 4.

4.4.3 Impact sur les installations fixes de la ligne

Il n'y a pas d'impacts identifiés sur les installations fixes de la ligne 4 pour exploiter des rames MP05 composée de 6 voitures.

4.5. Transfert de MP89cc de L4 vers L6

Ce transfert concerne uniquement le scenario 1.

4.5.1 Contexte

Dans le cadre de l'automatisation de la ligne 4, les rames MP89cc de 6 voitures de la ligne 4 vont être transférées sur la ligne 6. Ce transfert nécessite :

- d'une part, de passer les rames de 6 voitures à 5 voitures
- d'autre part, il reste 10 rames MP89 à réaffecter

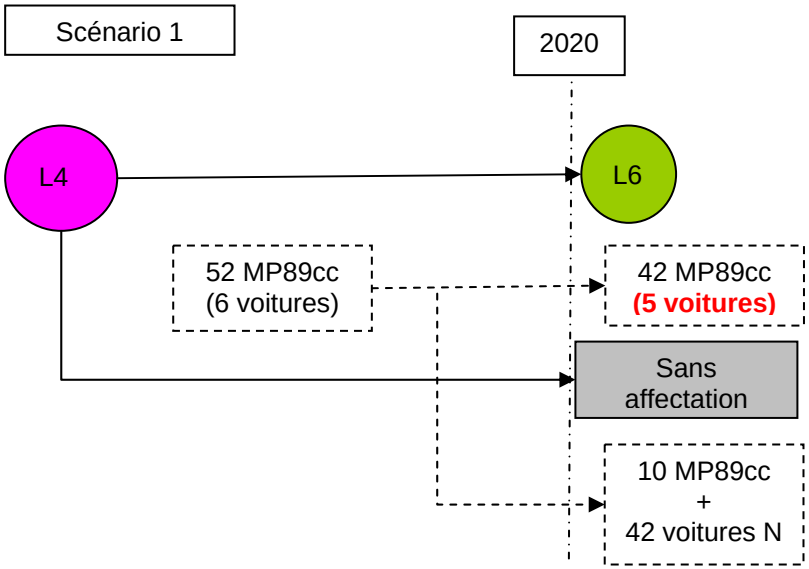

Figure 26 – Diagramme transfert MP89cc L4 → L6

4.5.2 Impact sur le matériel roulant

Passage du MP89 6 voitures à MP89 5 voitures

Le MP89 de 5 voitures a déjà été envisagé pour équiper la ligne 11 mais les rames correspondant à cette version n'ont jamais été commandées.

Dans les scénarii 1 et 2, le passage de 6 à 5 voitures est envisagé pour pouvoir exploiter les rames MP89 sur la ligne 6.

Configuration initiale en 6 voitures

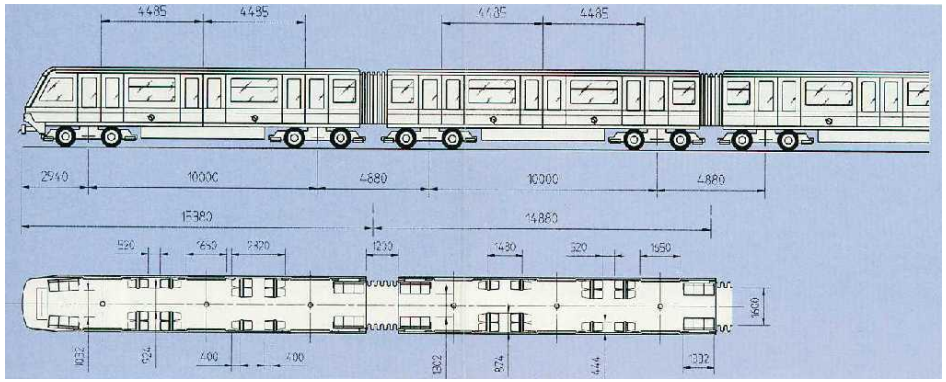

Figure 27 : Schéma représentant une demi-rame de MP89 de 6 voitures

Une rame de 6 voitures est composée de :

- 2 voitures d'extrémité non motorisées avec cabine de conduite ou équipée d'un pupitre de secours (S)
- 4 voitures motorisées sans cabine de conduite (N)

Les 4 motrices sont équipées de bogies monomoteurs d'une puissance de 250kW, ce qui représente une puissance de 2000 kW pour une rame de 6 voitures.

La longueur d'une rame de 6 voitures est de 90,28 m.

Configuration finale en 5 voitures

Le passage de 6 à 5 voitures s'effectue en supprimant une motrice intermédiaire. Au centre de la rame le câblage étant croisé, la modification doit s'effectuer comme le montre l'illustration ci-dessous :

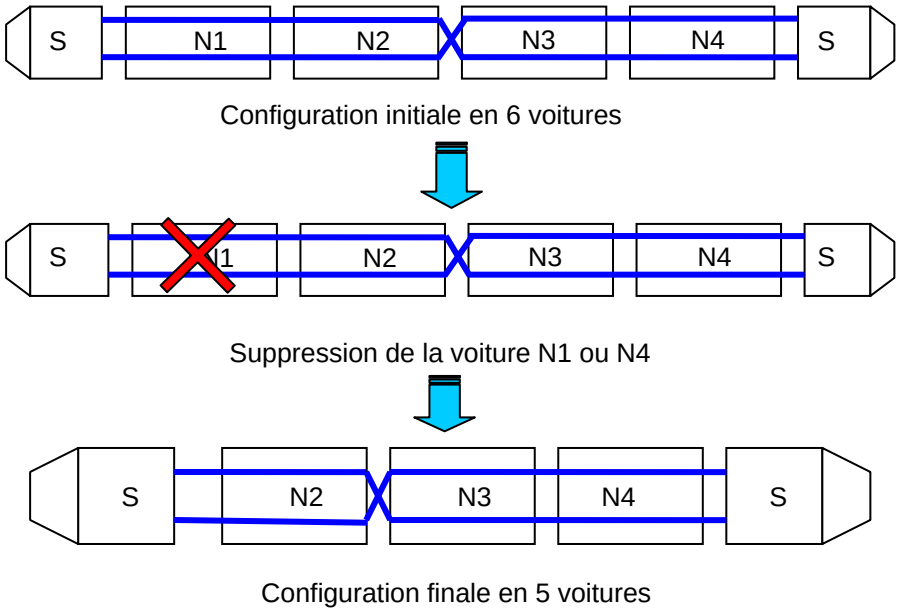

Figure 28 : Principe de passage de 5 à 6 voitures

Une rame de 5 voitures sera composée de :

- 2 voitures d'extrémité non motorisées avec cabine de conduite ou équipée d'un pupitre de secours (S)
- 3 voitures motorisées sans cabine de conduite (N)

Informatique embarquée

Le passage de 6 à 5 voitures implique une adaptation de l'informatique embarquée notamment pour les logiciels de traction / freinage, de gestion de l'anti-enrayeur et du TCMS qui sont des logiciels SIL2. Des essais de validation seront à prévoir.

4.5.3 Impacts sur la maintenance

Les rames MP89 configurées en 5 voitures seraient exploitées sur la ligne 6 et, par conséquent, devraient être maintenues à l'atelier d'Italie.

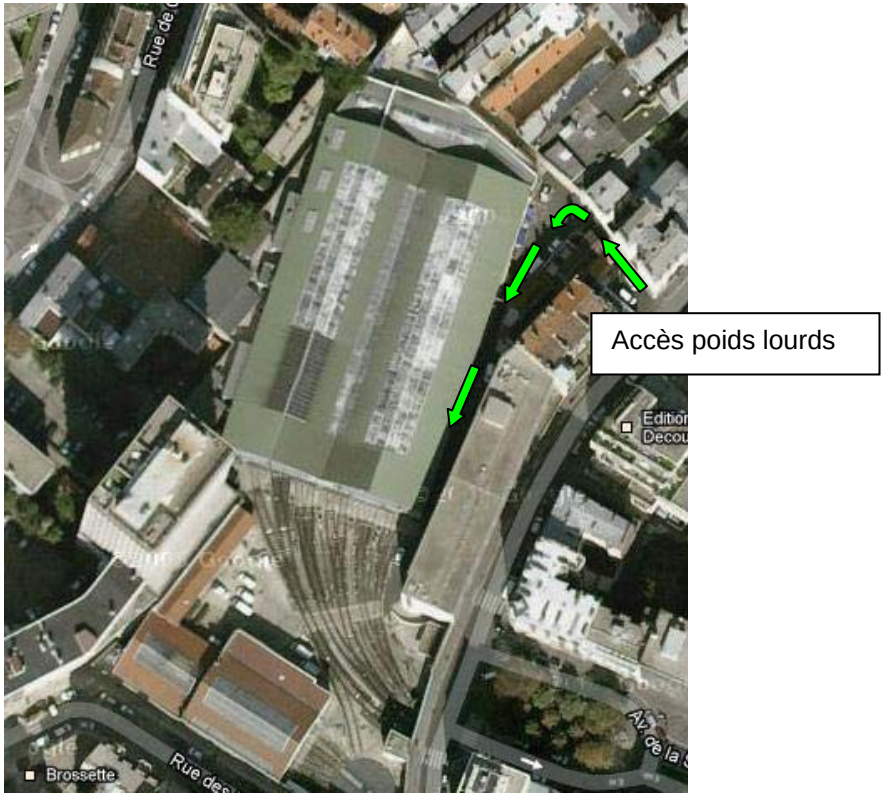

Figure 29 : Vue aérienne de l'atelier d'Italie

Néanmoins, l'atelier d'Italie ne permet pas d'accueillir des rames types MP89 car :

- L'entraxe des voies de cet atelier est aujourd'hui de 3,50m, ce qui est insuffisant pour maintenir les matériels récents et pour dégager des équipements sous-châssis à l'aide d'une table élévatrice. Il faudrait un entraxe de 5 ou 6m.
- L'atelier ne dispose pas d'une hauteur suffisante pour y installer un pont roulant. En effet, cet équipement est nécessaire pour la dépose d'une intercirculation par exemple.
- L'atelier ne dispose pas de machine à laver.
- L'atelier ne dispose pas d'un vérin en fosse, nécessaire pour échanger un bogie dans un temps optimal.

Par ailleurs, l'atelier d'Italie est enclavé et l'accès routier par la rue Abel Hovelacque est difficile notamment pour les poids lourds.

En conséquence, afin d'exploiter et entretenir des MP89 sur la ligne 6, il est nécessaire de modifier l'atelier d'Italie.

Les modifications consisteraient, a minima :

- à supprimer les voies fer et à installer des voies pneu avec un entraxe suffisant permettant de déposer les équipements sous-châssis aisément,
- à apporter une hauteur suffisante dans les halles afin d'y intégrer un pont roulant
- à implanter une machine à laver
- à installer un vérin en fosse

Pendant les travaux, la maintenance des MP 73 pourrait être assurée à l'atelier de Saint-Ouen (atelier de la ligne 4). Une connexion Ligne 6 – Ligne 4 existe.

De plus, un accès routier pourrait idéalement être situé rue des Reculettes.

Il est fortement conseillé de réaliser ces travaux avant la mise en service des MP89 sur la ligne 6. Dans le cas contraire, la maintenance de ces rames devrait être effectuée dans un autre atelier avec toutes les conséquences en termes d'exploitation.

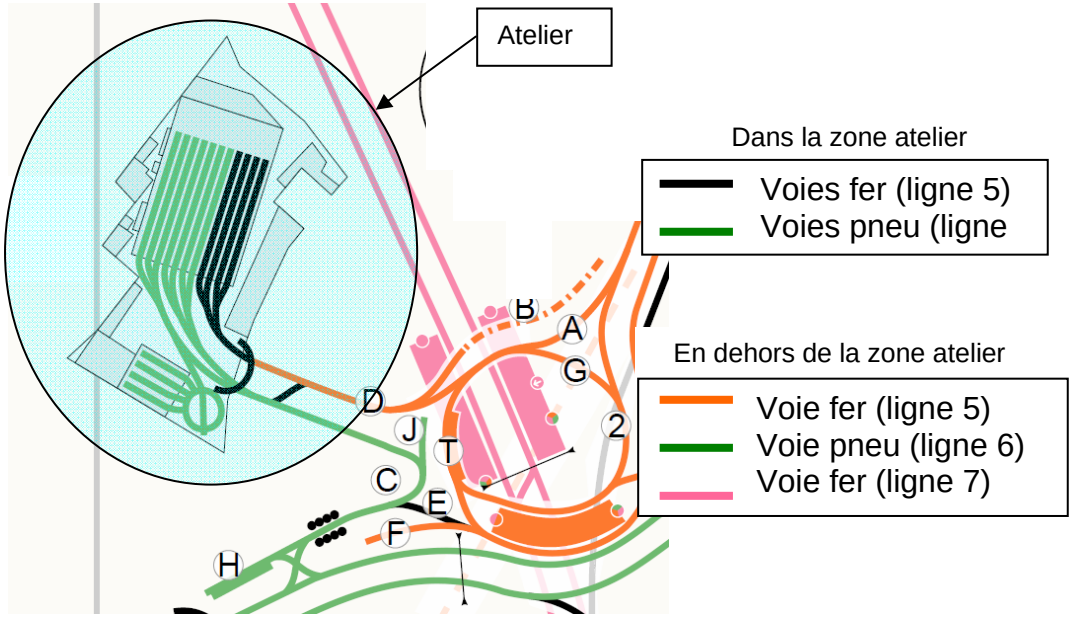

Figure 30 : Schéma de l'atelier d'Italie

4.5.4 Impacts sur les installations fixes de la ligne

L'ouverture des portes du MP89 est automatique. La ligne 6, qui va accueillir ce matériel, doit donc être équipée d'un dispositif de sélection de côté de portes. Il faudra donc s'assurer que le PA de la ligne 6 peut supporter un tel système.

Par ailleurs, il faut aussi prévoir, sur la ligne 6, des équipements fixes destinés à récupérer les données du train en temps réel. A minima, il faudrait un équipement à « Place d'Italie », « Nation » et « Etoile ». Par conséquent, il s'agit de coûts d'accueil à prévoir.

4.6. Transfert de MP89ca de L14 vers L6

Ce transfert concerne uniquement le scenario 2.

4.6.1 Contexte

Dans le cas où l'automatisation de la ligne 4 n'est pas retenue, il serait envisagé de transférer les 21 MP89ca de la ligne 14 vers la ligne 6.

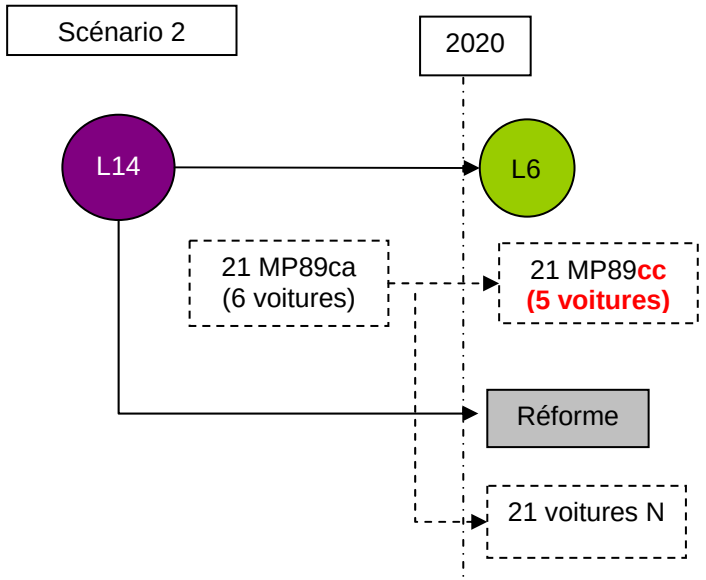

Figure 31 : Diagramme transfert MP89ca L14 → L6

4.6.2 Impact sur le matériel roulant

La ligne 6 est exploitée avec des rames de 5 voitures avec conducteur. Par conséquent, il est nécessaire d'apporter les modifications suivantes :

- passage à 5 voitures
- passage d'un mode en conduite automatique à un mode en conduite avec conducteur

Passage de 6 à 5 voitures

La problématique est identique à celle du passage des MP89cc de la ligne 4 vers la ligne 6 (scénario 1). Cf. 4.5.2.

Passage de CA à CC

Les automatismes

Les automatismes de bord doivent être déposés et la rame doit être configurée en mode « conduite avec conducteur ».

La cabine de conduite

Le passage d'une rame MP89ca à une rame MP89cc implique l'ajout d'une cabine de conduite.

La version MP89cc existe sur la ligne 1 et, par conséquent, le dossier de conception est disponible. Néanmoins, des études de faisabilité et de mise en œuvre seront nécessaires.

L'ajout d'une cabine de conduite sur une rame MP89ca implique les opérations suivantes :

- Suppression des assises dans la zone de la future cabine de conduite
- Installation d'une cloison et modification du garnissage intérieur (au niveau de la cabine)
- Dépose du pupitre de secours existant
- Installation des équipements de cabine de conduite (pupitre, sièges)
- Installation du chauffage / climatisation de la cabine
- Création de la porte d'accès conducteur et par conséquent modification de la structure des faces latérales en extrémité de rame
- Modification du câblage (à vérifier)

Cette modification de la zone de cabine devra probablement être qualifiée par calcul et/ou par essais. Par exemple, un nouvel essai de compression pourrait s'avérer nécessaire pour démontrer que les caractéristiques mécaniques de la structure de caisse ne sont pas affectées.

4.7. Transfert de MP05 de L14 vers L6

Ce transfert concerne uniquement le scenario 2.

4.7.1 Contexte

Dans le cadre de la non automatisation de la ligne 4, il est envisagé de transférer 11 MP05 de la ligne 14 sur la ligne 6.

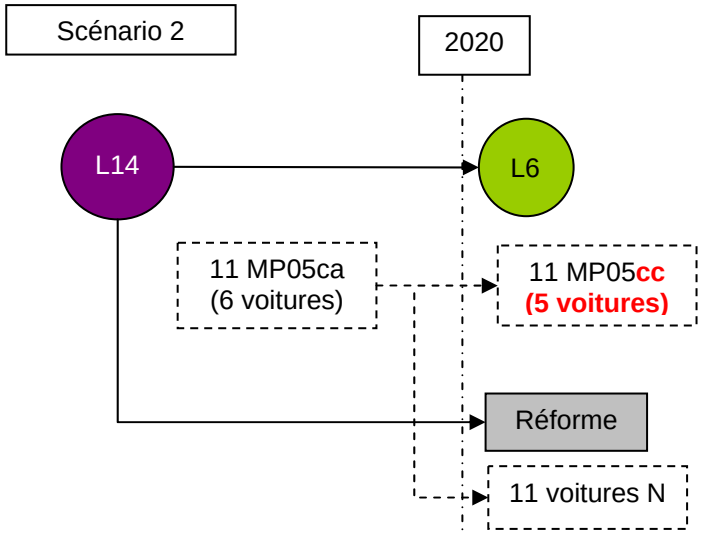

Figure 32 : Diagramme transfert MP05 L14 → L6

4.7.2 Impact sur le matériel roulant

Le transfert de MP05 (conduite automatique) de la ligne 14 vers la ligne 6 implique :

- le passage de 6 à 5 voitures
- le passage de la conduite automatique à la conduite avec conducteur

Passage de 6 à 5 voitures

La problématique est identique à celle du passage des MP89cc de la ligne 4 vers la ligne 6 (scénario 1). Cf. 4.5.2.

Passage de ca à cc

Contrairement au MP89, la version de MP05 avec cabine de conduite n'existe pas. Des études de conception spécifiques devront donc être menées en préalable à la modification.

Les modifications à réaliser sur le MP05 pour passer à une version avec cabine de conduite sont similaires aux modifications à apporter sur le MP89ca pour passer au MP89cc. Cf. 4.6.2.

4.7.3 Impact sur la maintenance

La problématique de la maintenance des MP05 sur la ligne 6 est similaire à celle des MP89 développée au chapitre 4.5.3.

4.7.4 Impact sur les installations fixes de la ligne

La problématique est identique à celle des MP89 développée au chapitre 4.5.4.

4.8. Intégration/exploitation de MPNGcc sur L11

Ce point concerne les scénarii 1 et 2.

4.8.1 Contexte

A ce jour, 24 MP59 et 1 MP73 circulent sur la ligne 11. Les MP59 ont été mis en circulation sur le réseau en 1957 et les MP73 en 1974. Les MP59 ont donc plus de 50 ans et les MP73 ont presque 40 ans. Ces véhicules sont donc destinés à la réforme et seront remplacés par 37 nouvelles rames de 5 voitures (augmentation de la capacité) ; actuellement la ligne 11 est exploitée avec des rames de 4 voitures.

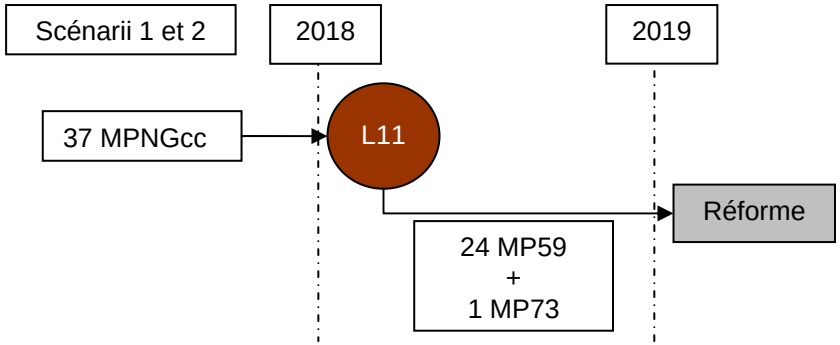

Figure 33 : Diagramme intégration MPNGcc sur L11

4.8.2 Impact sur la maintenance

L'atelier de maintenance de la ligne 11 (atelier des Lilas) ne pourra accepter les nouvelles rames MPNGcc.

Le prolongement de la ligne se fera via cet atelier et celui-ci sera remplacé par un atelier permettant d'accueillir les nouvelles rames. Ce nouvel atelier sera situé à l'extrémité Est du prolongement, à Rosny-sous-Bois.

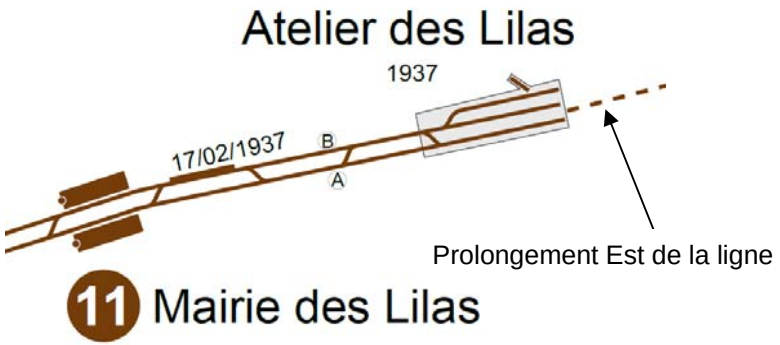

Figure 34 : Situation de l'atelier des Lilas

4.8.3 Impact sur les installations fixes de la ligne

Il n'y a pas d'impacts majeurs relevés concernant l'exploitation de MPNGcc en 5 voitures sur la ligne 11.

4.9. Intégration/exploitation de MPNG+ca sur L14

Ce point concerne les scenarii 1 et 2.

4.9.1 Contexte

Dans le cadre du prolongement de la ligne 14 vers la Mairie de Saint-Ouen et ensuite vers Orly, il est nécessaire d'augmenter la capacité de transport de la ligne. L'objectif est de remplacer les 21 MP89cc et les 18 MP05 par 72 MPNG+ca à partir de 2018.

Les MPNG+ca de la ligne 14 seront des rames de 8 voitures, exploitées en mode automatique sans conducteur disposant d'une chaine de traction et de bogies dimensionnés pour atteindre des vitesses de 80km/h (voir 100km/h) pour des interstations longues.

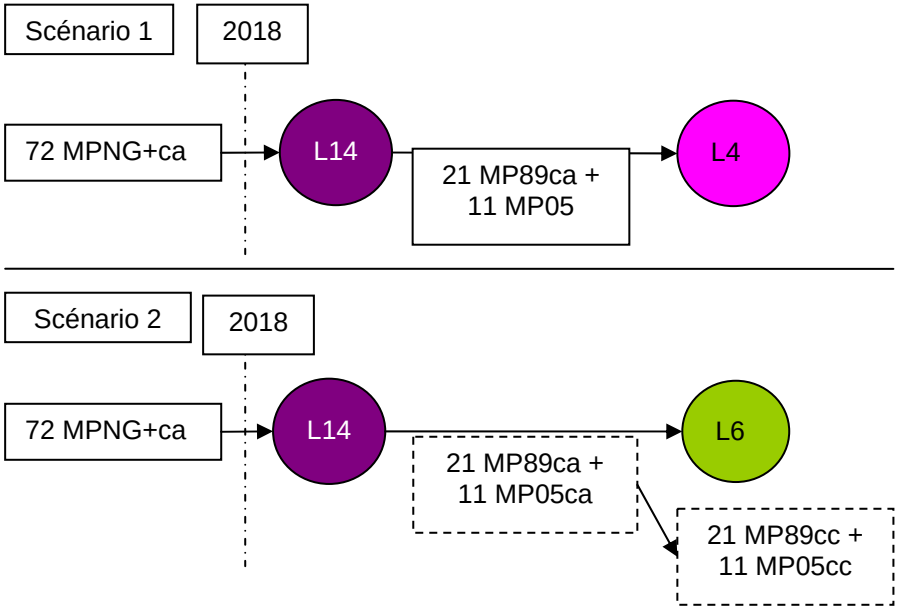

Figure 35 : Diagramme intégration MPNG+ca sur L14

4.9.2 Matériel roulant

Dans le cadre d'études dirigées par la Société du Grand Paris, le nombre de rames pour la ligne 14 de Pleyel à Orly a été estimé à 68 rames

Nous attirons aussi l'attention sur la difficulté d'intégrer 30 rames en 2020 et 30 rames en 2021. Le rythme habituel d'intégration de ce type de matériel est de 2 rames par mois.

4.9.3 Automatismes

Les équipements installés en station assurent les commandes liées en particulier à la circulation des trains (contrôles d'espacement et de manœuvre), et les transmissions des messages avec le PA bord.

Les équipements en ligne sont constitués du support de transmission voie-MR (tapis), des balises de localisation des trains et des dispositifs de détection des trains.

Ces automatismes existants de la ligne 14 ne sont pas prévus pour des rames de 8 voitures. Une adaptation sera donc nécessaire si le système existant est conservé.

Les prolongements posent la question de la modernisation des automatismes, d'autant plus que la ligne sera exploitée avec du nouveau matériel.

4.9.4 Le PCC

Le PCC (Poste de Commande Centralisé) de la ligne 14, qui est situé à la station de Bercy, n'est pas prévu pour une exploitation en rame de 8 voitures. Le PCC devra aussi être adapté pour être capable d'exploiter les rames MPNG+ca.

4.9.5 Impact sur la maintenance

Les rames de la ligne 14 sont actuellement remisées et maintenues sur le site de Tolbiac Nationale 2, situé en arrière gare d'Olympiades. Dans le cadre du prolongement de la ligne vers Mairie de Saint-Ouen, la création d'un nouvel atelier est prévu à Saint-Ouen Les Docks..

4.10. Intégration/exploitation de MPNGca sur L4

Ce point concerne uniquement le scenario 1.

4.10.1 Contexte

Actuellement, 47 MP59 circulent sur la ligne 4 et sont progressivement remplacés par les MP89cc de la ligne 1. Une fois la ligne 4 automatisée, les MP89cc seront transférés sur la ligne 6 et l'exploitation en automatique sera assurée par les 21 MP89ca de la ligne 14, les 11 MP05 de la ligne 14 et 20 MPNGca, ce qui constituera un parc de 45 rames intégralement automatiques.

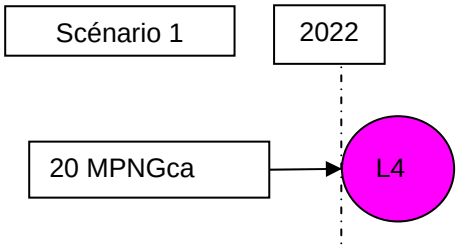

Figure 36 : Diagramme intégration MPNGca sur L14

Cette acquisition ne présente pas de problèmes majeurs, hormis l'intégration de 20 nouvelles rames en un an dans un parc très hétérogène.

4.11. Intégration/exploitation de MPNGcc sur L6

Ce point concerne uniquement le scenario 2.

4.11.1 Contexte

Actuellement, 45 MP73 circulent sur la ligne 6. Si la ligne 4 n'est pas automatisée, les MP73 seront remplacés par les 21 MP89ca et les 11 MP05 de la ligne 14 complétés de 10 MPNGcc de 5 voitures.

Notons que les MP73 sont en exploitation depuis 35 ans et qu'ils n'ont jamais été modernisés, hormis les aménagements intérieurs. De plus, certaines pièces critiques présentent des faiblesses, notamment les châssis de bogie et les poutres pivot. Le réforme et le remplacement de ce matériel est donc inéluctable.

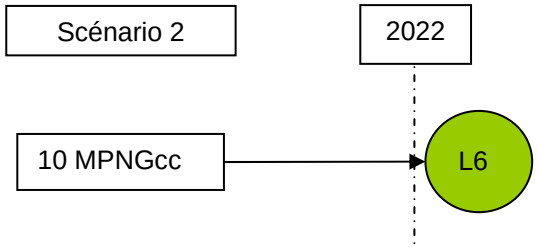

Figure 37 : Diagramme intégration MPNGcc sur L6

4.11.2 Impact sur la maintenance

La problématique de la maintenance des MPNG sur la ligne 6 est similaire à celle des MP89 développée au chapitre 4.5.3.

4.11.3 Impact sur les installations fixes de la ligne

La problématique est identique à celle des MP89 développée au chapitre 4.5.4.

4.12. Exploitation mixte de MPNG, MP05 et MP89

Ce point concerne uniquement la L4 pour le scénario 1 (en mode automatique) et la L6 pour le scénario 2 (en mode manuel).

Des essais de compatibilité devront être menés préalablement à la mise en service commerciale afin de vérifier que les 3 types de matériel peuvent être exploités simultanément sur la même ligne.

Des contraintes de compatibilité devront être reportées dans le dossier de consultation des entreprises pour le marché d'études et de réalisation des MPNG.

Notons que les MP89 peuvent être couplés uniquement entre eux en mode secours. Il est de même pour le MP05, ce qui peut être une faiblesse pour l'exploitation. Il est alors nécessaire que le MPNG soit compatible avec chacun de ces matériels afin de conserver une flexibilité.

Deux approches peuvent être envisagées :

- La première est de gérer les injections de matériel roulant de manière à ce que le MP89 et le MP05 soient toujours séparés par du matériel MPNG. Il convient alors de fonctionner en salves de matériel. Ceci est une contrainte très importante de la gestion du parc de matériel roulant, ainsi que dans la gestion des retards. Si la ligne automatisée permet de gérer ce point grâce à des algorithmes spécifique, cela peut devenir un vrai casse-tête pour l'exploitation d'une ligne manuelle.
- Si le premier point n'est pas appliqué pour des raisons de réalisation (ligne manuelle) ou pour des cas spécifiques en exploitations. Les communications permettent de secourir les rames par le matériel adéquat. On notera que la ligne 4 comporte 5 communications hors installations terminales (soit une communication tous les 2,1 km) et la ligne 6, 6 communications hors installations terminales (soit une communication tous les 2,3 km).

Dans la seconde approche, on notera que le mode opératoire peut nécessiter des rebroussements pour secourir une rame, ce qui implique de fortes perturbations de l'exploitation. L'intervention est toutefois plus simple mais surtout plus rapide dans le cas d'une exploitation en mode automatique.

Dans tous les cas, la contrainte d'exploitation générée par la diversification du matériel roulant sur une même ligne paraît plus simple à contourner dans le mode automatique.

Lors des phases de transfert ou de réformes de rames, il faudra s'attacher à ne pas laisser une seule rame d'un même type circuler sur une ligne, le risque étant alors qu'une opération de secours nécessite le recours à une rame provenant d'une autre ligne, et entraîne alors des perturbations non acceptables.

5. Synthèse des opérations

N°	Mutations et acquisitions	Impacts matériel roulant	Sc.
1	Transfert de MP89cc de la ligne 1 vers la ligne 4 (pour une utilisation CC 6 voitures)	Adaptation informatique embarquée Essais d'intégration	1 et 2
2	Transfert de MP05 de la ligne 14 vers la ligne 1 (pour une utilisation CA 6 voitures)	Adaptation SAET Essais d'intégration	1 et 2
3	Transfert de MP89ca de la ligne 14 vers la ligne 4 (pour une utilisation CA 6 voitures)	Adaptation SAET Essais d'intégration	1
4	Transfert de MP05 de la ligne 14 vers la ligne 4 (pour une utilisation CA 6 voitures)	Adaptation SAET Essais d'intégration	1
5	Transfert de MP89CC de la ligne 4 vers la ligne 6 (pour une utilisation CC 5 voitures)	Passage à 5 voitures Adaptation informatique embarquée Essais d'intégration	1
6	Transfert de MP89ca de la ligne 14 vers la ligne 6 (pour une utilisation CC 5 voitures)	Passage à 5 voitures Passage de CA à CC Adaptation informatique embarquée Essais d'intégration	2
7	Transfert de MP05 de la ligne 14 vers la ligne 6 (pour une utilisation CC 5 voitures)	Passage à 5 voitures Passage de CA à CC Adaptation informatique embarquée	2
8	Intégration et exploitation de MPNGcc sur la ligne 11 (pour une utilisation 5 voitures)	Essais d'intégration	1 et 2
9	Intégration de MPNG+ca sur la ligne 14 (pour une utilisation 8 voitures)	Essais d'intégration	1 et 2
10	Intégration de MPNGca sur la ligne 4 (pour une utilisation 6 voitures)	Essais d'intégration	1
11	Intégration de MPNGca sur la ligne 6 (pour une utilisation 6 voitures)	Essais d'intégration	2
12	Exploitation mixte de MPNGca, MP05ca et MP89ca sur la ligne 4	Essais de compatibilité	1
13	Exploitation mixte de MPNGcc, MP05cc et MP89cc sur la ligne 6	Essais de compatibilité	2

Tableau 13 – Synthèse des opérations

6. Chiffrage

Les coûts d'acquisition du futur matériel MNPG (items 8 à 11) ne sont pas encore connus mais constituerons la majeure partie des frais d'investissement de ces opérations.

En effet, les opérations de transfert de matériel existant (items 2 à 7) sont estimées à 100 – 125 M€ selon les scénarios, la différence étant par ailleurs négligeables par rapport aux coûts d'acquisition futurs.

Outre les coûts directement liés au matériel roulant, il faudra tenir compte des coûts de rénovation de l'atelier Italie. Ils sont cependant imputables aux 2 scenarii.

Enfin des coûts seront directement liés à l'automatisation de la ligne 4 pour le scénario 1 (infrastructures, automatismes). Ces coûts sont cependant à liés à l'opportunité ou non d'automatiser cette ligne.

Les scénarios d'investissement diffèrent peu. Le scénario 1 permet a priori un étalement un peu plus favorable des investissements sur la période 2018-2022, mais cette différence est faible et peut très bien s'estomper lorsque le calendrier d'investissement sera précisé.

7. Impacts sur l'âge du matériel roulant

Scénario 1

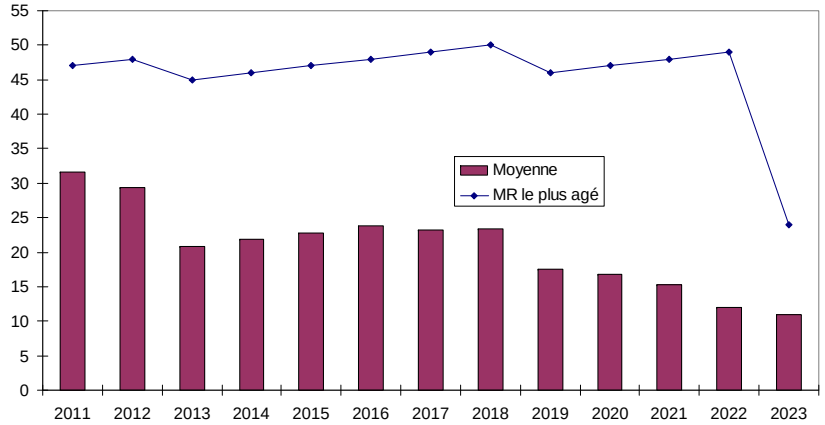

Figure 38 : Evolution de l'âge du parc MR - Scénario 1

Scénario 2

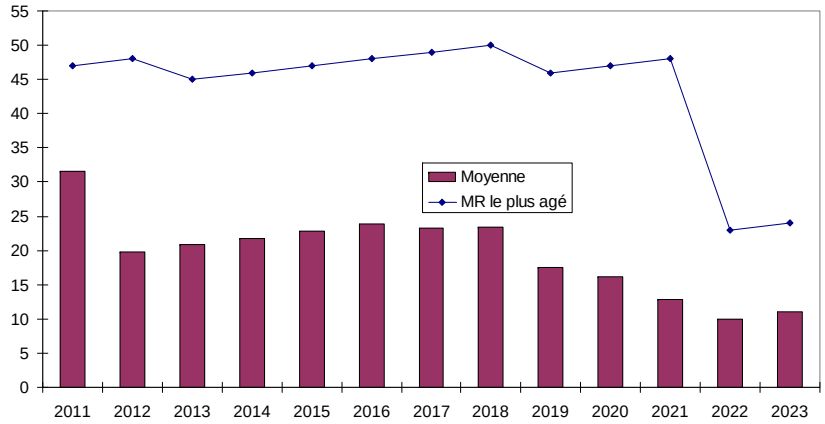

Figure 39 : Evolution de l'âge du parc MR – Scénario 2

Concernant l'évolution de l'âge du parc MR, les deux scénarios diffèrent également très peu. Le scénario 2 a un léger avantage car il permet de radier le matériel le plus ancien un an plus tôt, et, dès 2022, il n'y aura plus de matériel roulant pneu de 1ère génération.

8. Conclusion

8.1. Eléments techniques

Le tableau ci-dessous permet de synthétiser le niveau de complexité de chacune des mutations ou d'acquisitions de matériel envisagée pour chacun des scénarii.

Scénario 1 : automatisation de la ligne 4

Scénario 2 : pas d'automatisation de la ligne 4

	Sc.1	Sc. 2	Commentaires
Transfert de MP89cc de L1 vers L4			
Transfert de MP05ca de L14 vers L1			Les MP05 vont rester peu de temps sur la ligne 14.
Transfert de MP89ca de L14 vers L4		NA	Changement d'automatisme
Transfert de MP05ca de L14 vers L4		NA	Changement d'automatisme
Transfert de MP89cc de L4 vers L6		NA	Site de maintenance à moderniser
Transfert de MP89ca de L14 vers L6	NA		Transformation de ca à cc
Transferts de MP05ca de L14 vers L6	NA		Transformation de ca à cc
Intégration de MPNGcc sur L11			
Intégration de MPNG+ca sur L14			2 stations à adapter pour une exploitation en rame 8 voitures
Intégration de MPNGca sur L4		NA	
Intégration de MPNGcc sur L6	NA		Site de maintenance à moderniser
Exploitation mixte sur L4		NA	
Exploitation mixte sur L6	NA		

En conclusion, le scénario 1 parait le moins complexe à mettre en œuvre en ce qui concerne les opérations à mener sur le matériel roulant. Le point le plus critique concerne en effet le scénario 2 où des rames ca à 6 voitures doivent être transformées en rames cc à 5 voitures pour exploitation sur la ligne 6, opération qui cumule les risques techniques. Une automatisation programmée de la ligne 6 permettrait par ailleurs de limiter ces risques.

Notons que :

- L'adaptation des stations de la ligne 14 pour une exploitation en 8 voitures est nécessaire pour les 2 scénarii.
- La modernisation du site de maintenance de la ligne 6 (Atelier d'Italie) est nécessaire pour les 2 scénarii.
- En mettant en œuvre le scénario 1, les réformes de MP89 (rame complète ou voiture) seront plus nombreuses.

8.2. Synthèse

	Sc.1	Sc. 2
Offre en adéquation à la demande	?	?
Risques techniques	- -	- - -
Evolution âge parc MR	+ +	+ +

Les deux scénarios sont très faiblement différenciables sur les opérations de transfert de matériel roulant.

Il faudra prendre en compte les évolutions attendues sur le réseau en terme de demande, notamment sur la L4 pour évaluer le besoin ou non de son automatisation intégrale.

INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES

Figure 1 – Plan de roulement matériel métro pneu 7
Figure 3 – Ligne 1 / MP 89 cc – Station Hôtel de Ville 10
Figure 4 – Ligne 4 / MP 59 – Station Raspail 11
Figure 5 – Ligne 6 / MP 73 – Station Bercy 13
Figure 6 – Vue aérienne atelier Italie 13
Figure 7 – Ligne 11 / MP 59 – Station Hôtel de Ville 13
Figure 8 – Ligne 14 / MP 89 ca – Station Olympiades 14
Figure 9 – Carte du réseau Métro Pneu avec Ateliers et connexions entre les lignes 16
Figure 10 – Evolutions du parc matériel déjà engagées 22
Figure 11 – Evolution de l'âge du parc matériel 2011-2017 23
Figure 12 – Nombre de voyages annuels sur le réseau métro, en millions – source OMNIL 23
Figure 13 – Nombre de voyages.kilomètres annuels sur le réseau métro, en millions – source OMNIL 24
Figure 14 – Nombre d'entrants directs journaliers dans les stations de métro en milliers, par type de jour – source OMNIL 24
Figure 15 – Charge en HP, 2006 24
Figure 16 – Schéma d'ensemble du Grand Paris – source Société du Grand Paris 25
Figure 17 – Effet du Métro GPE (horizon 2025) – Dossier du débat public 25
Figure 18 – Répartition du type de matériel roulant par ligne – scénario 1 29
Figure 19 – Répartition du type de matériel roulant par ligne – scénario 2 29
Figure 20 – Diagramme d'acquisitions et transferts scénario 1 30
Figure 21 – Diagramme d'acquisitions et transferts scénario 2 31
Figure 22 – Diagramme transfert MP89cc L1 → L4 32
Figure 23 – Diagramme transfert MP05ca L14 → L1 33
Figure 24 – Diagramme transfert MP89ca L14 → L4 34
Figure 25 – Diagramme transfert MP05ca L14 → L4 34
Figure 26 – Diagramme transfert MP89cc L4 → L6 35
Figure 27 : Schéma représentant une demi-rame de MP89 de 6 voitures 35
Figure 28 : Principe de passage de 5 à 6 voitures 36
Figure 29 : Vue aérienne de l'atelier d'Italie 36

Figure 30 : Schéma de l'atelier d'Italie 37
Figure 31 : Diagramme transfert MP89ca L14 → L6 38
Figure 32 : Diagramme transfert MP05 L14 → L6 39
Figure 33 : Diagramme intégration MPNGcc sur L11 40
Figure 34 : Situation de l'atelier des Lilas 40
Figure 35 : Diagramme intégration MPNG+ca sur L14 41
Figure 36 : Diagramme intégration MPNGca sur L14 42
Figure 37 : Diagramme intégration MPNGcc sur L6 42
Figure 38 : Evolution de l'âge du parc MR - Scénario 1 45
Figure 39 : Evolution de l'âge du parc MR – Scénario 2 45

Tableau 1 – Mise en service des lignes MP 8
Tableau 2 – Les 3 stations les plus importantes de la ligne 1 10
Tableau 3 – Les 3 stations les plus importantes de la ligne 4 11
Tableau 4 – Les 3 stations les plus importantes de la ligne 6 12
Tableau 5 – Les 3 stations les plus importantes de la ligne 11 13
Tableau 6 – Les 3 stations les plus importantes de la ligne 14 14
Tableau 7 – Tableau de synthèse de caractéristiques des lignes 15
Tableau 8 – Evolution de fréquentation annuelle des métros pneu 24
Tableau 9 – Niveau de saturation des lignes en heure de pointe en 2009 (* = calculée sur la demi-heure de pointe) 25
Tableau 10 – Ateliers dédiés à chaque ligne 26
Tableau 11 – Ateliers et date de rénovation 26
Tableau 12 – Itinéraires d'accès à l'atelier de Fontenay 27
Tableau 13 – Synthèse des opérations 44