Arc Express

débat public sur le métro de rocade

DOSSIER DES **ÉTUDES**

Étude

Insertion de tracés, impact sommaire et rédaction du DOCP (SETEC TPI /XELIS / INGEROP)

stif

AVERTISSEMENT

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

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

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

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

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

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

Contenu du dossier des études :

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

ARC EXPRESS

ÉTUDES D'INSERTION DE TRACES, IMPACTS SOMMAIRES ET PREPARATION D'UN DOCP

Maître d'Ouvrage

Stif

11 Avenue de Villars
75007 Paris

Bureau d'étude mandataire

setec tpi

Tour Gamma D
58, quai de la Rapée
75583 Paris cedex 12
Tél : 01.40.04.59.25
Télécopie : 01.40.04.59.20
E-mail : tpi@tpi.setec.fr

Bureau d'étude co-traitant

Ingérop

168/172 boulevard de Verdun
92408 Courbevoie Cedex
Tél : 01.49.04.55.00
Télécopie : 01.49.04.56.85
E-mail : ingerop@ingerop.fr

Bureau d'étude co-traitant

xelis

Bâtiment Hautacam H1
12 Avenue du Val de Fontenay
94120 Fontenay-sous-Bois
Tél : 01.58.77.08.65
Télécopie : 01.58.77.18.94
E-mail : martine.tocquer@xelis.fr

Arcs Sud et Nord

Mémoire de synthèse

Echelle (s) : Sans objet

Date : 2009

Société :	Affaire	Emet. :	Type :	Référence : Phase :	Numéro :	Indices : Dif. :	Rev. :
003	24259	S	N	EP2	001	A	1

A	1	15/10/2009	LBE/FBa/SDa	MVa/JdlM	HTH	Première émission
Dif.	**Rev.**	**Date**	**Auteur**	**Vérificateur**	**Approbateur**	**Modification**

	Société :	Affaire	Emet. :	Type :	Référence : Phase :	Numéro :	Indices : Dif. :	Rev. :
	003	24259	S	N	EP2	001	A	1

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION 7

2. DONNEES DE PROGRAMME 8

2.1 CHOIX DES CORIDORS D'ETUDE 8

2.1.1 Généralités 8

2.1.2 Corridors d'études 9

2.1.3 Arc Nord 11

2.1.4 Arc Sud 13

2.2 SYSTEME DE TRANSPORT ET DEFINITION DES SCENARIOS A ENVISAGER 16

2.2.1 Système de transport 16

2.2.2 Scénarios 16

2.2.3 Matériel roulant 16

3. CONTRAINTES DE SITE 17

3.1 TOPOGRAPHIE 17

3.2 COURS D'EAU ET VOIES NAVIGABLES 17

3.3 RESEAUX CONCESSIONNAIRES 18

3.4 CARRIERES 18

3.5 BATI 19

3.6 GEOLOGIE 19

3.6.1 Arc Sud 19

3.6.2 Arc Nord 19

4. DESCRIPTION DES SOLUTIONS ENVISAGEES 20

4.1 INFRASTRUCTURES 20

4.1.1 Méthodologie pour l'implantation des stations 20

4.1.2 Critères généraux de conception 21

4.1.3 Modalité de réalisation des correspondances pour les stations de maillage et de mise aux normes 30

4.2 TRACES RETENUS 31

4.2.1 Arc Sud 32

4.2.2 Arc Nord 35

4.3 OPPORTUNITES ET INTERETS DE TRACES AERIENS 37

4.4 IMPLANTATION DES GARAGES ATELIERS 38

4.4.1 Arc Sud 38

4.4.2 Arc Nord 38

4.5 SYSTEMES ET MATERIELS ROULANTS 39

4.5.1 Système de commande automatique des rames (ATC) 40

4.5.2 Système de distribution de l'énergie électrique 40

4.5.3 Mode de roulement 42

4.5.4 Calcul du temps de parcours 42

5. PRINCIPES GENERAUX D'EXECUTION 49

5.1 POLITIQUE D'ACHAT - ALLOTISSEMENT DES TRAVAUX 49

5.2 GROS OEUVRE 50

5.2.1 Réalisation des stations 50

5.2.2 Ouvrages en ligne 52

6. DELAIS DE REALISATION 53

6.1 HYPOTHESES 53

6.2 ARC SUD 54

6.2.1 Phasage général de réalisation 54

6.2.2 Planning de réalisation – tracé proche 55

6.2.3 Planning de réalisation – tracé éloigné 56

6.3 ARC NORD 57

6.3.1 Phasage général de réalisation 57

6.3.2 Planning de réalisation – tracé éloigné 58

6.3.3 Planning de réalisation – tracé éloigné 59

7. COUTS D'INVESTISSEMENT 60

7.1 METHODOLOGIE D'EVALUATION DES COUTS D'INVESTISSEMENT 60

7.2 COUTS D'INVESTISSEMENT HORS MOE ET MOA DU GROS ŒUVRE, DU SECOND ŒUVRE ET DES EQUIPEMENTS NON LIES ET LIES AU SYSTEME 61

7.3 MATERIEL ROULANT 62

7.3.1 Calcul du parc de matériel roulant 62

7.3.2 Calcul du coût du parc de matériel roulant 62

8. COUTS D'EXPLOITATION 64

8.1.1 Calcul de la vitesse commerciale 64

8.1.2 Table horaire type 65

8.1.3 Calcul des trains x km 66

9. CONSEQUENCES D'UNE AUGMENTATION DE TRAFIC A 30 000 VOYAGEURS/H 67

9.1 OBJET DU PRESENT PARAGRAPHE ET HYPOTHESES 67

9.2 CONSEQUENCES TECHNIQUES PREVISIBLES SUR LA CONCEPTION 67

9.3 CONSEQUENCES TECHNIQUES PREVISIBLES EN TERME D'INSERTION DES STATIONS 67

9.4 EVALUATION DES CONSEQUENCES EN TERME DE COUT 68

1. INTRODUCTION

Dans le cadre de l'amélioration de l'offre de transport en proche couronne, la liaison Arc Express, inscrite au contrat de projets État / Région Île-de-France pour la période 2007-2013, est une liaison de rocade ferrée, en grande partie souterraine, devant offrir une vitesse commerciale élevée.

Le projet Arc Express, d'une longueur d'environ 60 km dans son ensemble, est une liaison de rocade, desservant des zones d'urbanisation dense du cœur de l'agglomération.

Elle a pour objectif en particulier :

- d'irriguer les territoires du cœur d'agglomération aujourd'hui mal desservis par les transports collectifs, afin de rattraper des carences anciennes en matière de desserte de secteurs déjà très denses et de réduire les inégalités territoriales par le désenclavement des territoires en difficulté et leur meilleur accès aux zones d'emplois ;

- de répondre à la diversité des besoins de déplacements par le développement de liaisons en transports collectifs en rocade et en améliorant le maillage avec les lignes radiales du réseau régional structurant (RER, lignes Transilien, lignes de métro éventuellement prolongées) ;

- de desservir les territoires de la zone dense susceptibles d'accueillir de forts développements urbains, en créant l'effet de levier nécessaire.

Dans le cadre de ce programme de travail, le STIF a lancé un certain nombre d'études techniques, et en particulier :

- des études de prévisions de trafic,
- des études techniques de tracé,
- des études sur le système de transport.

Les études techniques de tracé ont été confiées au groupement Setec TPI / Xélis / Ingérop. Elles consistent à étudier l'insertion de la ligne dans l'environnement urbain de la banlieue parisienne, suivant différents tracés possibles pour chacun des scénarios retenus, ainsi que l'implantation des stations et des garages-ateliers.

Cette étude est décomposée en 3 phases :

- Phase 1 : analyse exploratoire,
- Phase 2 : études techniques détaillées,
- Phase 3 : rédaction du DOCP.

Le présent rapport constitue le rapport de la phase 2 « Etudes techniques détaillées».

2. DONNEES DE PROGRAMME

2.1 CHOIX DES CORIDORS D'ETUDE

2.1.1 Généralités

Le fuseau d'étude de ce projet est présenté sur la figure 1. Le choix du positionnement du fuseau d'étude a été conduit par le STIF en tenant compte des critères suivants :

- La qualité de la desserte actuelle en transports collectifs a conduit à éloigner le fuseau d'étude Arc Express de Paris. En effet, l'accessibilité en transports collectifs des communes jouxtant Paris est comparable à celle des arrondissements périphériques de la capitale. En revanche lorsqu'on s'éloigne des communes limitrophes à Paris, l'accessibilité décroît très rapidement.

- La densité urbaine qui doit être élevée pour justifier un projet de métro a conduit à englober dans le fuseau d'étude des territoires aujourd'hui très denses ou des territoires qui peuvent le devenir grâce au projet Arc Express.

- La nécessité pour que le projet ait une forte efficacité en matière de desserte, d'assurer le maillage avec des lignes radiales de transport en commun en site propre existantes et prévues. La liaison Arc Express comporte, par conséquent, un nombre très important de stations d'échanges et de correspondances avec ces lignes radiales, et notamment avec :
  - toutes les lignes de RER : lignes A, B, C, D et E ;
  - les lignes de trains de banlieue : réseaux de Saint-Lazare et de Montparnasse ;
  - les lignes radiales de métro : lignes 1, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 (lignes existantes ou prolongements inscrits au projet de SDRIF).

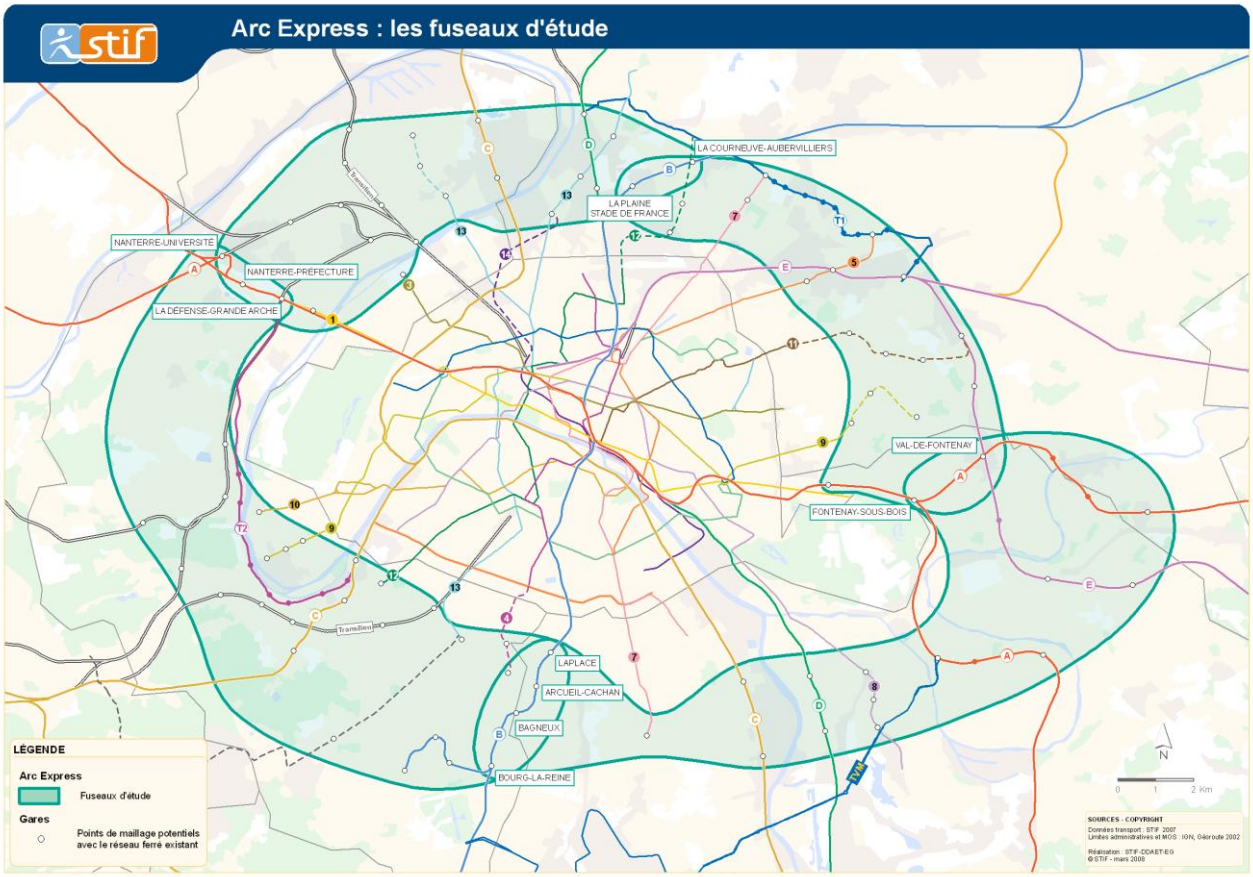


Figure 1 : Les fuseaux d'études Arc Express

2.1.2 Corridors d'études

A partir de ces fuseaux, la première phase d'étude a permis de définir des corridors sur les arcs définis comme prioritaires :

- l'arc nord-ouest de la Défense à la Plaine St Denis,
- l'arc sud-est du RER B au RER A.

A ce stade des études, un corridor est défini par une succession de stations « points de maillage » avec le réseau existant. En effet, l'une des particularités du projet de métro en rocade est de comprendre un grand nombre de stations points de maillage, ce qui contraint fortement le choix du tracé. Le positionnement des stations intermédiaires est approfondi par la suite, notamment pour tenir compte des enjeux urbains à une échelle plus fine et en concertation avec les collectivités concernées.

Les tracés ainsi proposés pour les corridors synthétisent les éléments déjà étudiés.

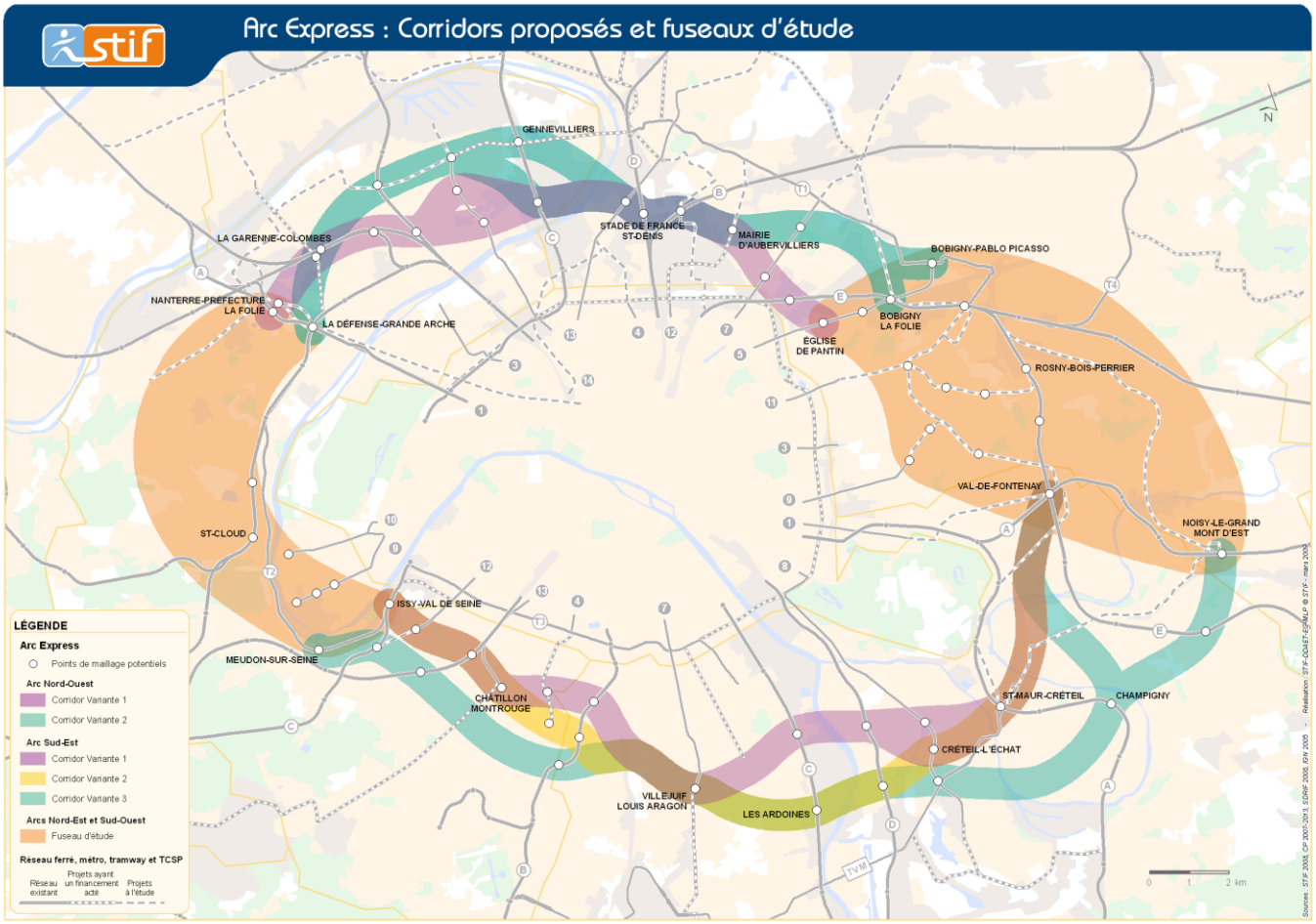


Figure 2 : Fuseaux d'étude et corridors proposés

Du point de vue des enjeux urbains, ils visent à desservir les centralités urbaines existantes et les secteurs en développement identifiés jusqu'à présent.

Du point de vue transport, ils recherchent :

- le maillage avec les radiales ferroviaires pour améliorer l'accessibilité depuis la Grande Couronne,
- le maillage avec les lignes de métro pour maximiser l'accessibilité dans le cœur d'agglomération,
- l'éloignement des lignes de rocade existantes ou à venir pour éviter les doublons.

Les corridors sont d'une longueur suffisante pour assurer un trafic de bon niveau dès leur ouverture, trafic évalué sur la base des études préliminaires conduites par le STIF.

Les prévisions de trafic ont ainsi conclu à l'intérêt d'allonger les arcs prioritaires par rapport à ceux qui étaient prévus initialement :

- l'arc nord-ouest a été prolongé au-delà du RER B à l'Est jusqu'à Pantin ou Bobigny ;
- l'arc sud-est a été prolongé à l'ouest jusqu'à Issy-les-Moulineaux / Meudon.

Enfin, du point de vue technique, les corridors tiennent compte d'éventuelles difficultés de réalisation des maillages. Aussi, des diagnostics des stations du réseau existant ont été confiées à la RATP et à la SNCF concernant notamment les mises en accessibilité pour les personnes à mobilité réduite, les mises aux normes de sécurité, et les réserves de capacité.

Les études ont donc permis de définir plusieurs variantes de corridors sur les arcs nord et sud. A l'Est et à l'Ouest, les fuseaux d'étude initiaux ont été conservés et doivent faire l'objet d'approfondissements ultérieurs. Le fuseau à l'Est a même été élargi, afin d'ouvrir le champ des possibles dans un secteur où les rocades existantes ou en projet sont nombreuses.

2.1.3 Arc Nord

Au nord du département des Hauts-de-Seine et au nord-ouest du département de la Seine-Saint-Denis, l'arc nord-ouest est fortement structuré par la Seine et la boucle de Gennevilliers.

Il comprend plusieurs territoires présentant des enjeux urbains forts :

- le territoire de La Défense, dont le développement s'inscrit dans une opération d'intérêt national ;
- le territoire de Seine Arche, également inscrit dans une opération d'intérêt national ;
- le territoire de la Boucle de Gennevilliers, dont la mutation doit se poursuivre ;
- le territoire de la Plaine Saint-Denis, important pôle tertiaire et de service du nord parisien, en plein développement depuis qu'il a accueilli le Stade de France.

Du point de vue des déplacements, l'arc nord-ouest est également marqué par une succession de coupures, dues à la géographie naturelle (boucle de la Seine) et à la présence de nombreuses infrastructures radiales constituant des barrières difficilement franchissables.

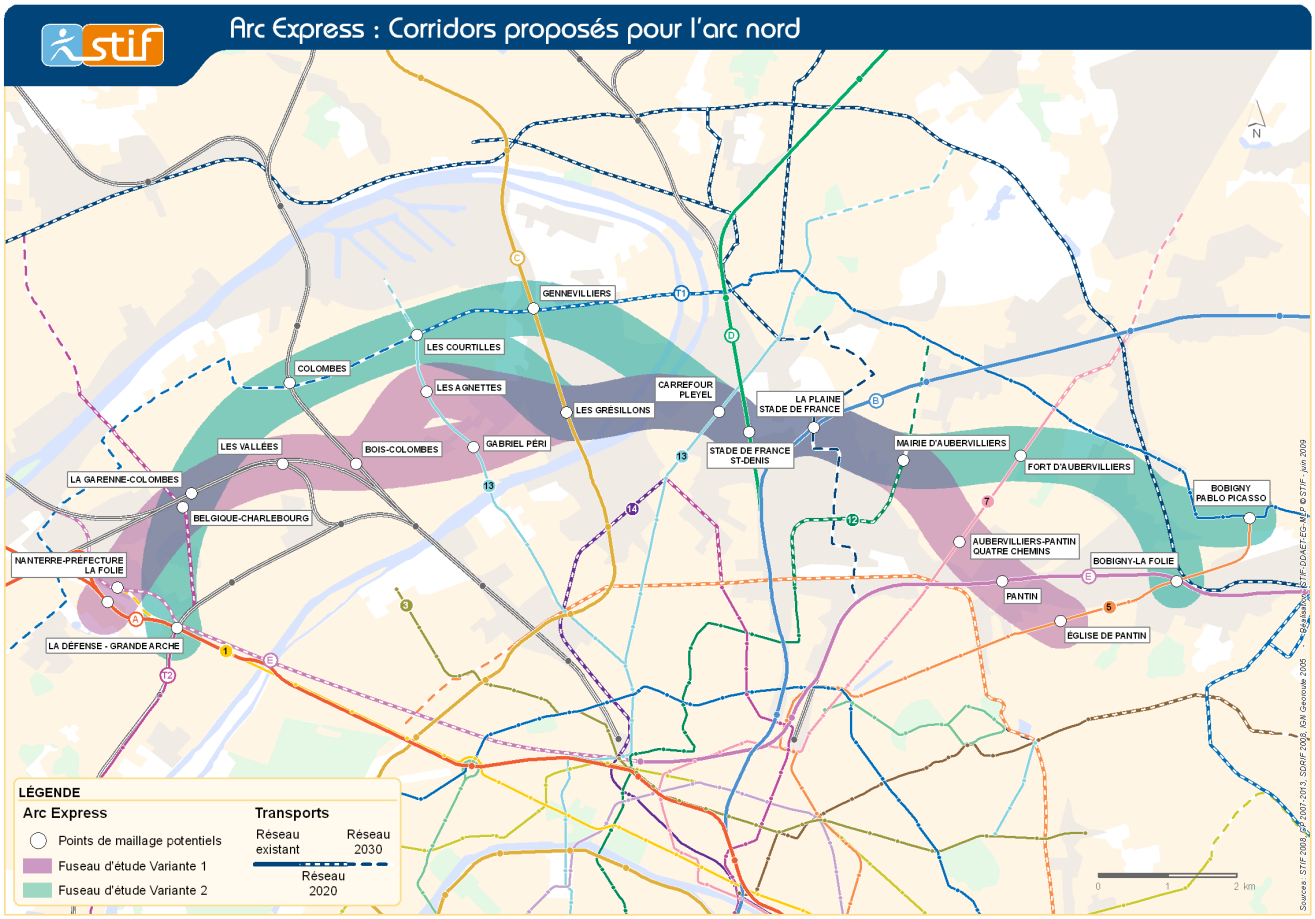


Figure 3 : Corridors proposés pour l'arc nord

Deux variantes de corridors ont été définies pour approfondissement dans la suite des études.

Ces variantes se distinguent essentiellement par la position des points de maillage et de correspondance avec les lignes radiales de transport en commun en site propre existantes et prévues (lignes ferroviaires, RER, métro).

Le tableau suivant récapitule les points de maillage possible.

Lignes radiales de transport en commun en site propre	Points de maillage et de correspondance possibles
RER A à l'ouest	Grande Arche Nanterre préfecture – La Folie
Métro ligne 1	Grande Arche Nanterre préfecture – La Folie si prolongement de la ligne 1 à la Folie
Transilien Saint Lazare Groupe II : desserte de Grande Arche, St Cloud, Versailles, St Nom	Grande Arche
Transilien Saint Lazare Groupe III : desserte de Nanterre Université, Cergy Pontoise	La Garenne Colombes Les Vallées
Transilien Saint Lazare Groupe IV : desserte d'Ermont et Pontoise, direction Gisors et Groupe VI : desserte de Mantes par rive droite de la Seine	Bois Colombes Colombes
Métro ligne 13 branche Asnières Gennevilliers	Asnières Gennevilliers Gabriel Péri Les Agnettes Les Courtilles
RER C Branche Pontoise	Les Grésillons Gennevilliers
Métro ligne 13 branche Saint Denis	Carrefour Pleyel
RER D	Saint Denis Stade de France
RER B	Plaine Stade de France
Métro ligne 12	Mairie d'Aubervilliers
Métro ligne 7	Aubervilliers Pantin 4 chemins Fort d'Aubervilliers
RER E	Pantin
Métro ligne 5	Eglise de Pantin Bobigny la Folie (station à créer)

2.1.4 Arc Sud

Couvrant une grande partie du département du Val-de-Marne, le fuseau sud est fortement structuré par la Seine et sa vallée.

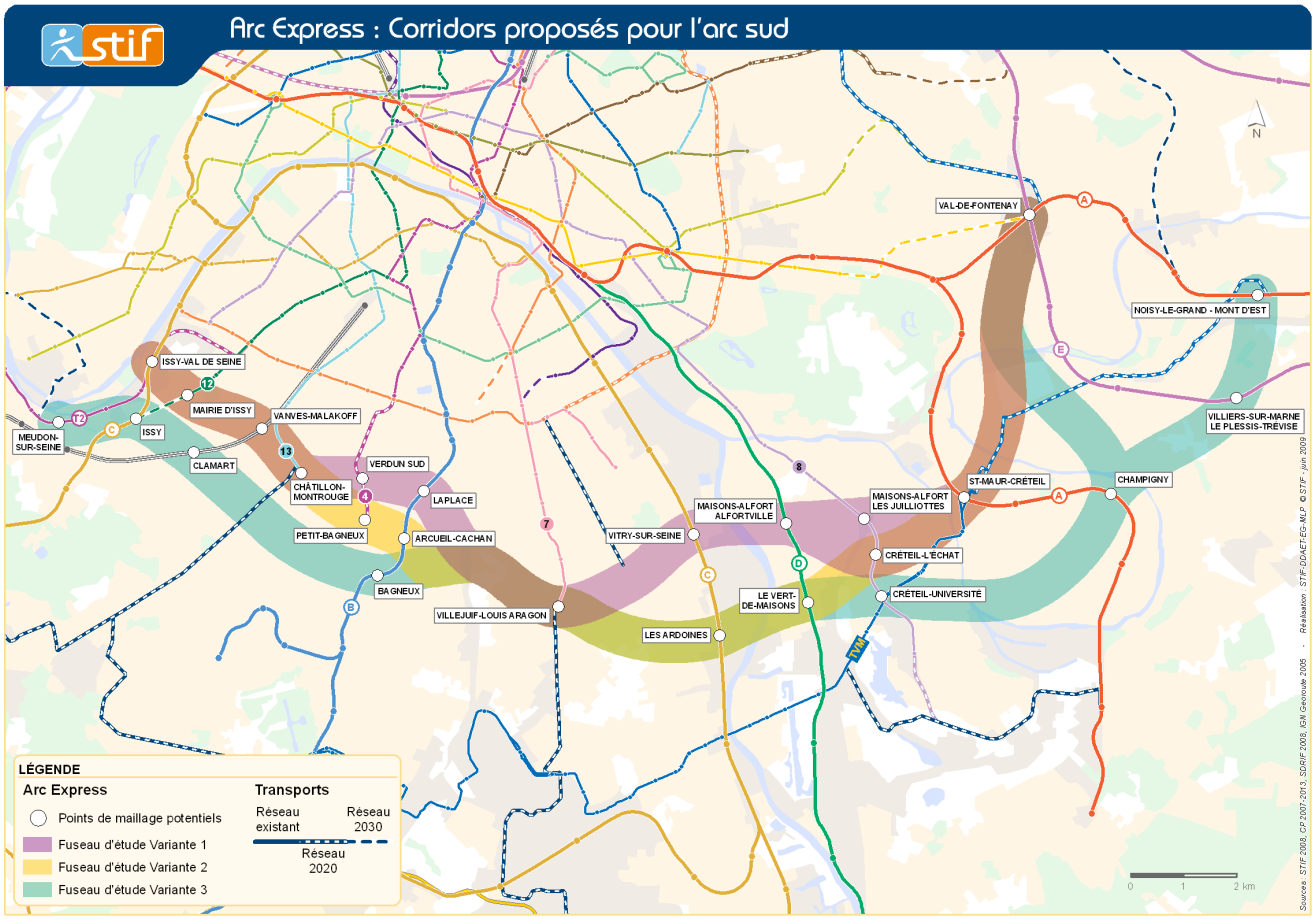


Figure 4 : Corridors proposés pour l'arc sud

Le fuseau sud comprend plusieurs territoires présentant de forts enjeux urbains :

- le territoire de la Vallée Scientifique de la Bièvre, qui concentre de nombreuses activités de recherche scientifiques et technologiques ;
- la Plaine Centrale du Val de Marne, autour de Créteil, définie comme un pôle économique, universitaire et administratif majeur ;
- le territoire d'Orly – Rungis – Seine Amont, qui bénéficie d'un exceptionnel potentiel foncier (nombreuses friches industrielles et ferroviaires, densité modérée du tissu urbain existant). Ce territoire fait l'objet par ailleurs d'une opération d'intérêt national mise en place par l'Etat.

Du point de vue des déplacements, l'arc sud-est est marqué par une succession de coupures, dues à la géographie naturelle (Seine, Marne…) et à la présence de nombreuses infrastructures radiales constituant des barrières difficilement franchissables. Ces éléments conduisent à un relatif enclavement de plusieurs territoires du secteur.
Trois variantes de corridors ont été définies pour approfondissement dans la suite des études.

Ces variantes se distinguent essentiellement par la position des points de maillage et de correspondance avec les lignes radiales de transport en commun en site propre existantes et prévues (lignes ferroviaires, RER, métro).

Le tableau ci-dessous récapitule les points de maillage possible.

Lignes radiales de transport en commun en site propre	Points de maillage et de correspondance possibles
RER A branche Chessy	Val de Fontenay Noisy le grand Mont d'Est
RER E	Val de Fontenay Villiers sur Marne Le Plessis Trévise
RER A branche Boissy Saint léger	Saint Maur Créteil Champigny St Maur
Métro ligne 8	Maisons Alfort les Juilliotes Créteil l'Echat Créteil Université
RER D	Maisons Alfort Alfortville Le Vert de Maisons
RER C	Vitry sur Seine Les Ardoines
Métro ligne 7	Villejuif Louis Aragon
RER B	Laplace Arcueil Cachan Bagneux
Métro ligne 4 (prolongement)	Verdun Sud Petit Bagneux
Métro ligne 13	Châtillon Montrouge
Transilien Montparnasse Ligne N	Vanves Malakoff Clamart
Métro ligne 12	Mairie d'Issy Issy
RER C	Issy Val de Seine Issy

2.2 SYSTEME DE TRANSPORT ET DEFINITION DES SCENARIOS A ENVISAGER

2.2.1 Système de transport

Le système (système et matériel roulant) à envisager pour Arc Express se caractérise comme suit :

- Système non embranché avec la RATP
- Automatisme intégral sans conducteur
- Roulement sur fer ou sur pneu
- Exploitation avec fréquence minimale de 90 s

2.2.2 Scénarios

Compte tenu du trafic envisagé par le STIF (20.000 pphpd) pour le dimensionnement de l'ensemble du système (infrastructures et système), deux largeurs de trains sont à envisager:

- trains de 2.40 m de largeur, correspondant à la largeur des matériels roulants en service sur le métro de Paris et compatibles avec les infrastructures des lignes existantes.
- trains de 2.80 m de largeur.

2.2.3 Matériel roulant

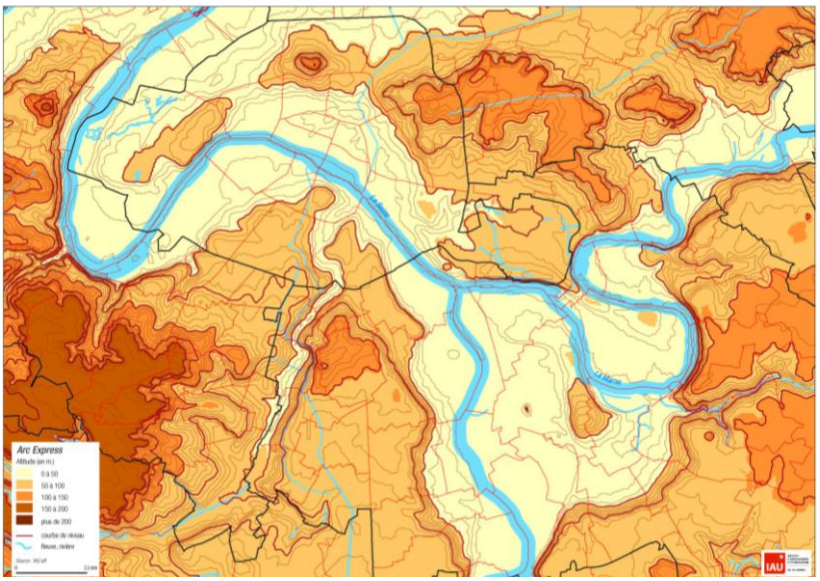
Le choix du matériel roulant devra tenir compte d'interstations relativement longues et devra, pour des raisons d'attractivité, permettre une vitesse commerciale élevée (de l'ordre de 40 km/h).

Le parc de matériel roulant sera évalué à la mise en service sur la base d'un trafic de 15 000 pphpd.

3. CONTRAINTES DE SITE

3.1 TOPOGRAPHIE

Le tracé général de l'arc Sud est traversé par la Marne, la Seine et la Bièvre qui forment une large vallée bordée par plusieurs plateaux culminants. Les coteaux sont bien souvent très escarpés, en particulier au niveau de Nogent-sur-Marne, Créteil, Champigny, et plus à l'est sur Meudon et Issy, ce qui constitue une contrainte forte pour le profil en long.



En revanche, sur l'arc Nord-Ouest, les contraintes topographiques sont réduites en raison de la très faible déclivité du terrain dans la boucle de la Seine et le secteur de la Plaine St Denis.

3.2 COURS D'EAU ET VOIES NAVIGABLES

Le tracé général intercepte :

- la Seine, pour chacun des arcs,
- la Marne, à plusieurs reprises pour l'Arc Sud, les tracés traversant la boucle de la Marne à Saint-Maur-des-Fossés,

Ces traversées constituent autant de points durs pour le profil en long, compte tenu de la profondeur de ces cours d'eau (inférieure à 10 m toutefois), des ouvrages d'arts attenants (murs de quais, ponts, écluses, …) et des conditions géologiques plus défavorables que sur le reste du tracé.

L'Arc Nord franchit également les canaux Saint Denis et de L'Ourcq, mais ces derniers sont de plus faible profondeur et engendrent moins de contraintes.

3.3 RESEAUX CONCESSIONNAIRES

Les réseaux principaux ayant un impact sur le tracé sont les gros collecteurs d'assainissement. En effet :

- ils sont gravitaires et peuvent donc difficilement être déviés
- ils sont de taille importante en région parisienne (diamètre de plusieurs mètres) et profondément enterrés.

Ces derniers sont associés à un système de puits de relèvement et de bassins de retenue des eaux en temps de pluie. Ils convergent vers les usines de traitement des eaux de Valenton au Sud-Est d'une part et de Colombes et d'Achères au Nord Ouest d'autre part. De ce fait, ils interceptent le tracé de chacun des arcs.

Les réseaux sous pression d'eau potable (au voisinage de l'usine de production de Choisy le Roy, aqueduc du Loing) ou de chauffage urbains (au voisinage des usines de production de Vitry et d'Issy) n'ont pas été considérés comme une contrainte forte pour le tracé. En effet, leurs diamètres et leurs profondeurs d'enfouissement sont en général relativement faibles et leurs dévoiements ne constituent pas une contrainte significative en regard du projet et de son stade d'étude.

Il convient d'ajouter que la réalisation des stations nécessite des dévoiements nombreux de réseaux secondaires, compte tenu du caractère nécessairement central de leurs implantations. Ces derniers, qui ne sont pas listés à ce stade du projet, constitueront une contrainte de réalisation et devront être déviés pendant les phases préparatoires.

3.4 CARRIERES

L'Arc Sud traverse de nombreuses zones d'anciennes carrières d'exploitation de calcaire grossier (Meudon, Bagneux, Chatillon, Cachan, Maison-Alfort, Saint Maur, Créteil), de la craie (Meudon, Issy), du gypse (Bagneux), des sables et grès de Fontainebleau (Villejuif), des alluvions de la Seine et la Marne (Créteil, Vitry-sur-Seine) et du calcaire de Champigny.

En revanche, l'Arc Nord-Ouest ne rencontre que peu de zones de carrières. Seul le début de l'arc, au niveau de Nanterre, est impacté par les carrières de calcaire grossier.

3.5 BATI

Le tracé est prévu en très grande partie au tunnelier à une profondeur entre 15m et 25m. Il est contraint ponctuellement par des bâtiments de grande hauteur, qui sont évités dans la mesure du possible en suivant les voiries principales ou les espaces non bâtis (parcs, friches, places…) à l'exception des cimetières.

En effet le bâti situé au droit du tracé est majoritairement pavillonnaire. On note toutefois la présence de grands ensembles de bâti élevés et modernes (Nanterre, La Défense, carrefour Pleyel, Créteil, Issy, Val de Fontenay, Noisy le Grand…) et de zones industrielles pouvant comporter des ouvrages fondés sur fondations profondes.

Les contraintes de bâti sont fortes au voisinage des stations, qui sont implantées dans des zones urbaines denses et où le profil en long est remonté afin de minimiser la profondeur des stations.

3.6 GEOLOGIE

3.6.1 Arc Sud

Compte tenu de la longueur de l'arc Sud et de la topographie tourmentée, la géologie est très hétérogène, traversant la plupart des formations de la région parisienne de la craie au niveau de Meudon aux sables de Fontainebleau sur la colline de Villejuif.

3.6.2 Arc Nord

Dans la partie ouest du profil en long, le tunnel est situé principalement dans les couches de calcaire grossier et des marnes et caillasses. Dans la partie est du profil en long, plus proche de la Seine, le tunnel est situé dans les couches de sables de Beauchamp, de calcaire de St Ouen et de sables de Monceau.
Les diverses contraintes de profondeur sur le profil en long conduisent à maintenir celui-ci sous les couches superficielles d'alluvions ou de remblais.

Le niveau moyen de la nappe aquifère générale est estimé à 25m NGF, ce qui implique une excavation sous nappe sur une grande partie du profil en long.

4. DESCRIPTION DES SOLUTIONS ENVISAGEES

4.1 INFRASTRUCTURES

4.1.1 Méthodologie pour l'implantation des stations

La méthode de travail retenue a consisté, après une reconnaissance sur place de chaque site sur les fuseaux retenus, à proposer et à comparer plusieurs implantations de stations envisageables. Puis à proposer dans un 1er temps celle qui apparaissait sur le plan technique la plus pertinente.

Ce 1er choix a servi de point de départ à des réunions de concertations avec les différents acteurs (STIF, IAU, RATP, SNCF). A l'issue de ces réunions, une proposition a été retenue.

Chaque station a ainsi fait l'objet :

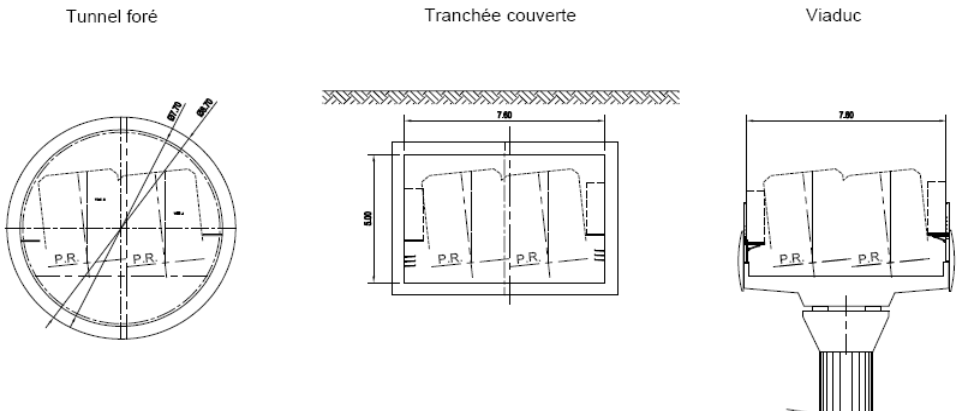
- d'un cahier de plans montrant les différentes solutions possibles et leur insertion dans le tracé général, c'est-à-dire en lien avec les stations adjacentes retenues,
- d'une note décrivant les contraintes de site et l'implantation retenue en premier lieu, puis après concertation.

4.1.2 Critères généraux de conception

4.1.2.1. Ouvrages linéaires

A ce stade des études, et en l'absence d'indications précises sur le matériel roulant et les équipements en tunnel, les études d'insertion de tracés ont été conduites sur les hypothèses suivantes :

	matériel roulant de 2,40 m de largeur	**matériel roulant de 2,80 m de largeur**
diamètres intérieur / foré du tunnel circulaire à 2 voies	**7,70 m / 8.70 m**	**8,50 m / 9.60 m**
largeur intérieure tranchée couverte à 2 voies	**7,60 m**	**8,40 m**
largeur intérieure viaduc à 2 voies	**7,60 m**	**8,40 m**



Le tracé de la ligne a été étudié de façon à permettre une circulation des trains à une vitesse de 80 km/h, ce qui a conduit à limiter le rayon en plan à 250 m en section courante. Celui-ci pourra être ramené à 200 m en approche de station (contrainte de giration habituelle des tunneliers).

Compte tenu du matériel roulant envisagé, la pente est limitée à 5% voire 6% dans les points durs de franchissement. Le tracé est horizontal dans les stations et sur 12 m de part et d'autre.

4.1.2.2. Stations

Elles comportent deux accès pour des raisons de sécurité et d'évacuation des voyageurs en cas d'incendie.

La salle des billets comporte deux zones séparées par la ligne de contrôle. Au stade actuel des études, il est en effet prévu un système de péage fermé.

Les quais seront équipés de portes palières isolant le volume de la station de celui du tunnel. La longueur des quais est fixée à 62 m pour les trains de 2.40 m de largeur et 54 m pour les trains de 2.80 m de largeur.

La largeur des quais a été dimensionnée en fonction du trafic voyageur. Elle a été également déterminée en laissant une largeur suffisante entre le bord du quai et les obstacles sur les quais : escaliers fixes, escaliers mécaniques. Au stade actuel des études, une largeur minimum de 3.50 m est prévue entre le bord du quai et les obstacles sur les quais.

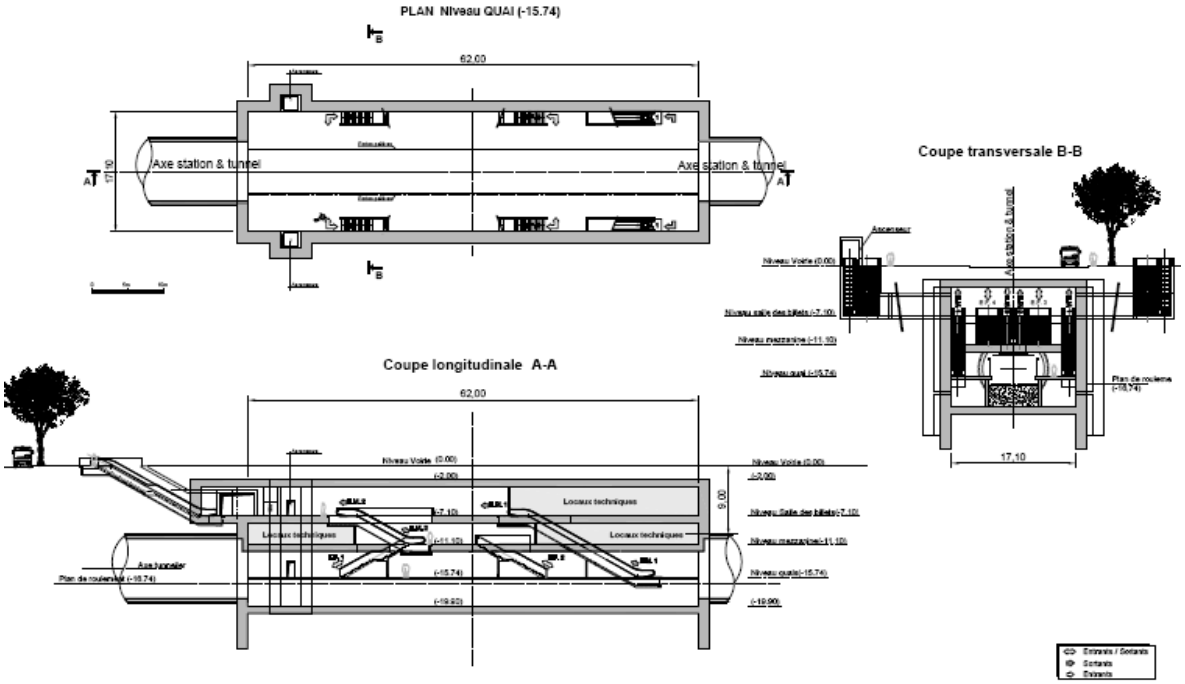
En raison de sa fréquentation pouvant être très importante (flux évènementiels), les quais de la station St Denis - Stade de France ont été élargis de 1,5m chacun.

La mécanisation des déplacements des voyageurs est prévue de manière générale à l'aide d'escaliers mécaniques réversibles. Au stade actuel des études, il est prévu autant que possible, une mécanisation intégrale à la montée et une mécanisation partielle à la descente. En outre, toutes les stations comportent des ascenseurs pour les personnes à mobilité réduite.

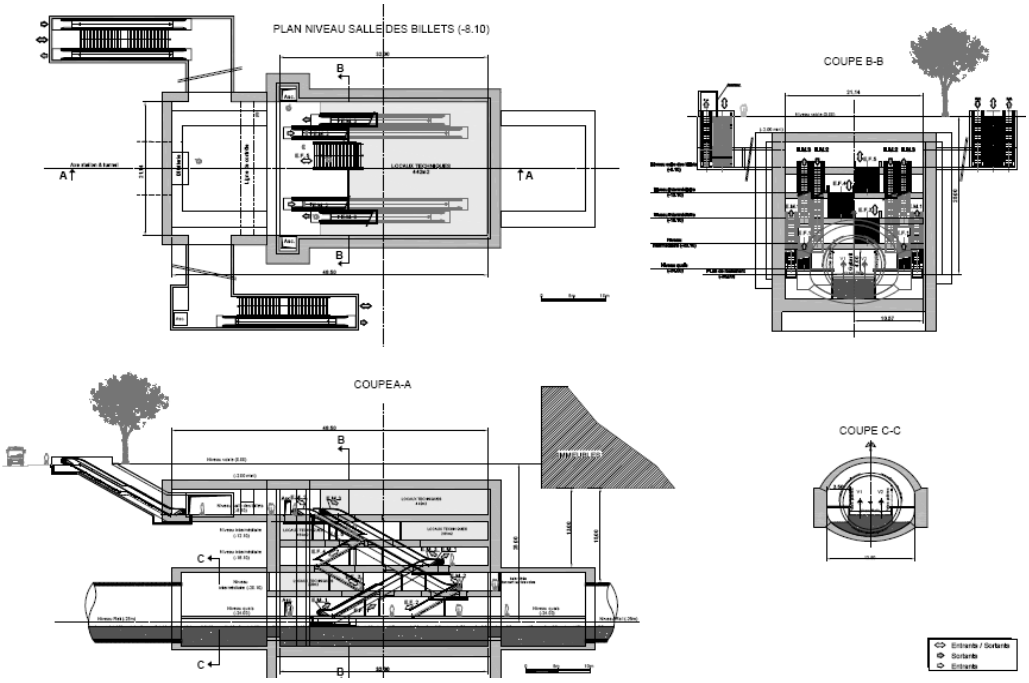
En ce qui concerne la ventilation et le désenfumage, et comme indiqué ci-dessus, la présence de portes palières au niveau des quais permet d'isoler le volume de la station de celui du tunnel. Les stations disposeront, par conséquent, de leur propre système de ventilation/désenfumage. Les tunnels auront par contre leur propre système de ventilation / désenfumage implanté en général dans des ouvrages spécifiques implantés en interstations.

Deux typologies distinctes de stations ont été envisagées :

- Station souterraine implantée à moyenne profondeur (profondeur des quais de l'ordre de 16 à 18 m) réalisée à ciel ouvert,



- Station souterraine profonde (profondeur des quais de l'ordre de 24 m et plus) réalisée pour partie à ciel ouvert et pour partie en souterrain.



4.1.2.3. Second œuvre :

Le second œuvre concerne essentiellement les corps d'état suivants : maçonneries, revêtements de sols, revêtements muraux, signalétique, faux plafonds, plomberie, menuiserie, métallerie, trappes, serrurerie fine, vitrerie, peintures, …

En ce qui concerne les stations, les travaux de second œuvre sont à prévoir dans les zones accessibles au public (accès, salle des billets, mezzanines, quais, ...) et dans les zones non accessibles au public (locaux techniques, locaux éventuels d'exploitation).

Le coût des travaux de second œuvre des zones accessibles au public dépendra directement des choix qui seront effectués en matière de parti architectural, d'aménagements intérieurs et de matériaux.

En ce qui les bâtiments du site de maintenance (PCC, bureaux, atelier….), le coût des travaux de second œuvre dépendra également des choix qui seront effectués en matière d'architecture et d'insertion de ces bâtiments dans le site.

4.1.2.4. Equipements non liés au système

Les équipements non liés au système à prévoir dans les stations sont les suivants :

- escaliers mécaniques réversibles
- ascenseurs pour les personnes à mobilité réduite
- ventilation/désenfumage de la station : ventilateurs réversibles pouvant fonctionner en insufflation et en extraction
- détection incendie
- VMC/climatisation éventuelle des locaux techniques : PR, PEF, PET, local batteries, ventilation/désenfumage…
- épuisements des eaux
- fermeture automatique des accès des stations
- signalisation variable dans les zones accessibles au public
- basse tension : prises de courants, ….
- éclairage normal et de sécurité

- lignes de contrôle et billettique (distributeurs de titres)

Les équipements non liés au système en ligne (tunnels et ouvrages annexes en interstation) sont les suivants :

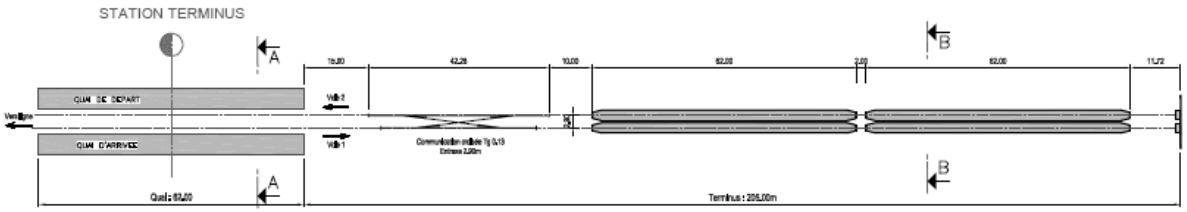
- basse tension et éclairage en tunnel
- colonnes sèches en tunnel
- ventilation/désenfumage des tunnels : ventilateurs réversibles pouvant fonctionner en insufflation et en extraction
- épuisements des eaux des tunnels : pompes d'exhaure implantés aux points bas du profil en long de la ligne

Les équipements non liés au système des sites de maintenance et, en particulier des bâtiments sont les suivants :

- ascenseurs et monte charges
- ventilation/désenfumage
- climatisation /chauffage
- traitements des eaux usées(ERI)
- contrôle du site et d'accès / anti intrusion
- détection incendie
- basse tension
- éclairage

4.1.2.5. Ouvrages d'arrière gare

Pour ne pas pénaliser la fréquence d'exploitation de la ligne et permettre une fréquence de 90 s, il est prévu que le retournement des trains soit effectué aux stations terminales en arrière gare.



4.1.2.6. Ouvrages d'interstation

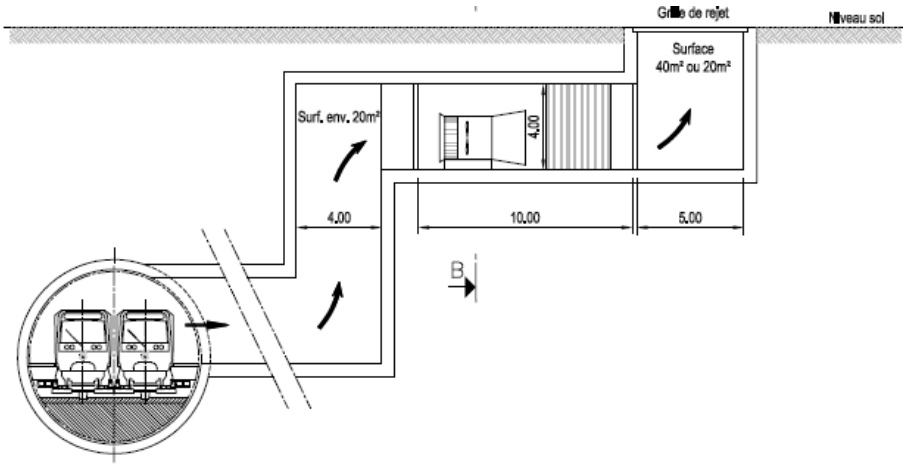
Les ouvrages annexes en interstations sont de 3 types :

- Des ouvrages de ventilation / désenfumage,
- Des accès pompiers dans les interstations dont la longueur est supérieure à 800 m
- Des ouvrages d'épuisement des eaux implantés à priori au droit des points bas du profil long.

Pour limiter l'impact des travaux sur l'environnement et réduire les coûts de construction, ces ouvrages seront, dans la mesure du possible, regroupés dans des ouvrages uniques.

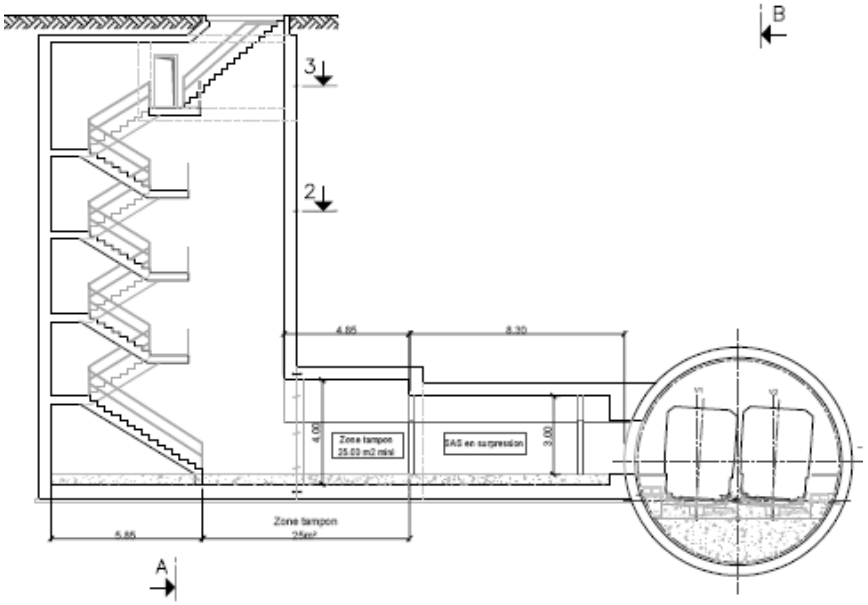
<u>i. Ventilation / désenfumage des tunnels</u>

Les ouvrages de ventilation / désenfumage comportent des émergences en surface : grilles (de 20 à 40 m^2 environ) et trappes d'accès personnel et matériel. Les locaux abritant les ventilateurs sont, dans la mesure du possible, enterrés à faible profondeur.



ii. Accès pompiers

Les accès pompiers en interstations sont constitués d'un puits vertical relié au tunnel par un rameau de liaison équipé d'un sas en sur pression, d'une surface de 25 m^2. Ils sont implantés dans les tunnels entre stations d'une longueur supérieure à 800 m.



4.1.2.7. Garages ateliers

L'exploitation des arcs de la liaison Arc Express nécessite des installations spécifiques. S'agissant d'une ligne nouvelle, non embranchée avec le réseau existant, il est opportun de regrouper dans un site unique situé à proximité de la ligne l'ensemble des fonctions principales suivantes :

- Direction et exploitation de la ligne
- Poste de Commande Centralisée
- Lavage et nettoyage des trains
- Atelier de maintenance
- Garage de tout ou partie de la flotte
- Zone d'accès au site et parkings
- Zone de stockage
- Locaux techniques : poste de livraison énergie, poste de redressement, PEF…

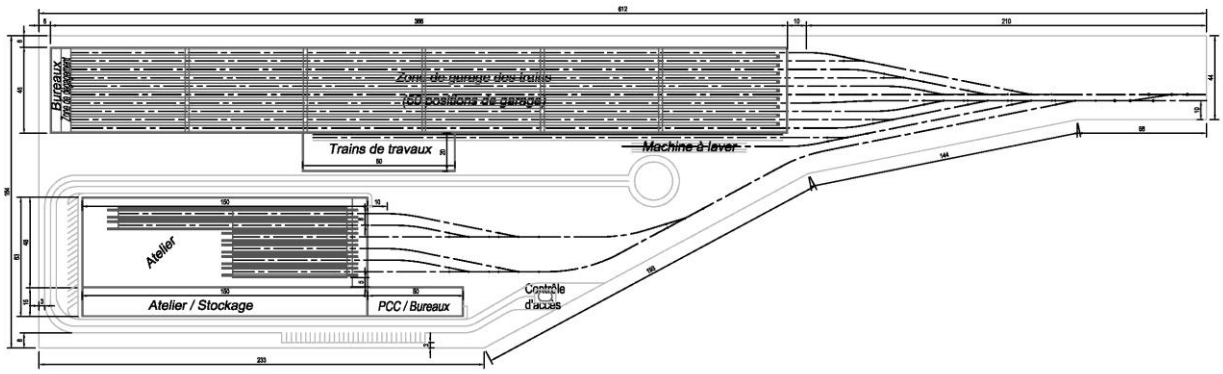
Le centre d'exploitation et de maintenance peut comporter, en outre, une voie d'essais qui permet d'effectuer un certain nombre d'essais sur le matériel roulant avant son injection en ligne. Cette voie d'essais peut également être nécessaire, dans le cas d'un système nouveau, pour tous les essais préalables à la mise en service.

Pour des raisons de coûts, ces installations sont en général réalisées au niveau du sol.
Il existe cependant quelques exemples de sites enterrés, réalisés en y intégrant des opérations immobilières en surface de façon à compenser le surcoût dû à la solution enterrée.

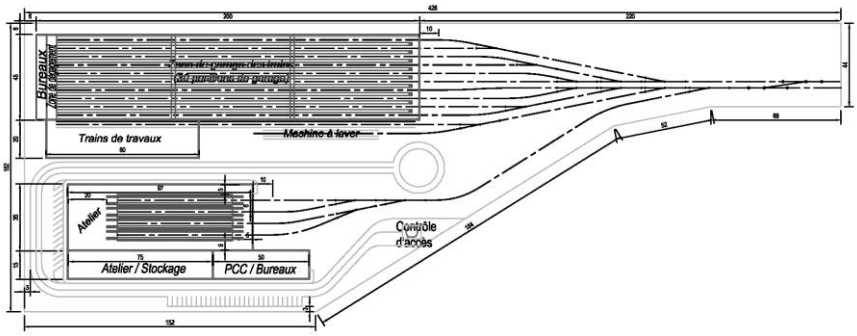
La conception du centre d'exploitation et de maintenance dépend du type de matériel (sur fer ou sur pneu), de son mode d'alimentation traction (3ème rail ou caténaire) et de la politique de maintenance retenue pour la ligne.

Sur la base du dimensionnement du matériel roulant effectué, les surfaces pour abriter ces centres devraient être de l'ordre de :

❖ 7 ha pour l'arc sud.



❖ 5 ha pour l'arc nord ouest,



Pour limiter les coûts de construction immédiats, le centre d'exploitation et de maintenance pourra être réalisé par phases successives, étant entendu que le projet doit être conçu pour le long terme et permettre son extension sans incidence sur l'exploitation.

En ce qui concerne le garage proprement dit des trains, des positions de garage sont possibles en ligne, en terminus dans les ouvrages d'arrière gare qui comportent le dispositif de retournement des trains et sur des voies d'évitement.

Le garage en ligne, facilité du fait que la ligne est exploitée en automatique et qui ne nécessite pas d'infrastructures particulières, n'est possible que pendant les heures pendant les quelles la ligne n'est pas en exploitation. Une telle solution est incompatible avec une exploitation de la ligne 24h sur 24.

4.1.3 Modalité de réalisation des correspondances pour les stations de maillage et de mise aux normes

Ces éléments font l'objet d'une étude spécifique menée par la SNCF et la RATP.

4.2 TRACES RETENUS

D'un point de vue général, le tracé est principalement dicté par les contraintes suivantes :

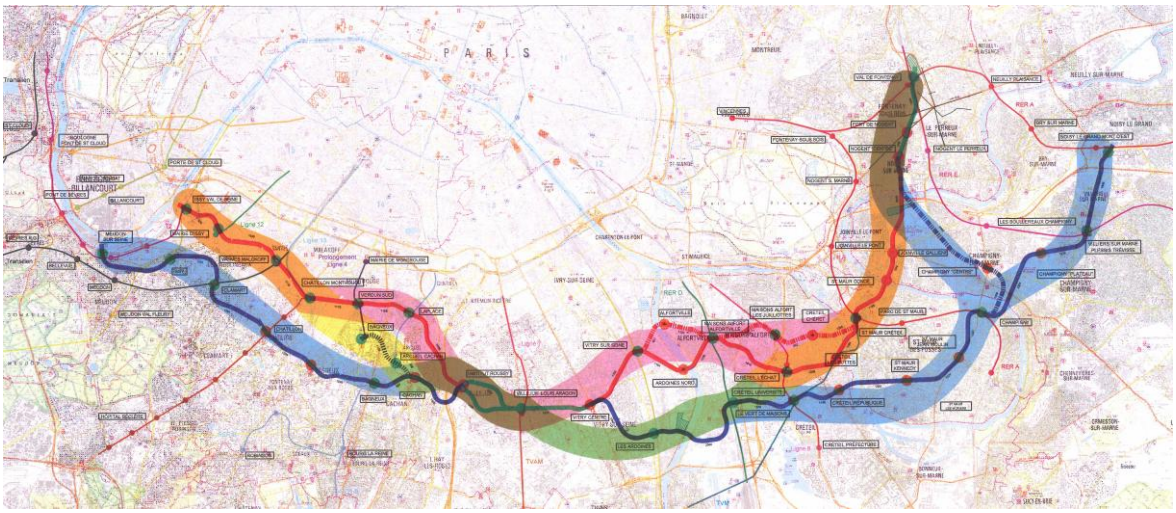
- implantation des stations et l'orientation de ces dernières en fonction des surfaces disponibles en surface et en souterrain,
- présence de bâti sensible en surface qu'il convient d'éviter, en particulier pour ne pas approfondir inutilement le tracé et les stations,
- possibilités d'implantation des ouvrages intermédiaires (puits)
- les contraintes géométriques de tracé.

Le profil en long est principalement dicté par les contraintes suivantes :

- l'optimisation de la profondeur des stations, tant pour des critères économiques que fonctionnels,
- la topographie,
- la présence et le type de bâti en surface (hauteur, nombre de sous sols, qualité supposée, modes de fondation prévisible),
- les contraintes liées aux réseaux existants signalés, principalement l'assainissement,
- les contraintes géométriques de tracé, notamment dans les zones de fortes déclivité (Issy les Moulineaux / Meudon, Villejuif, Nogent sur Marne).

4.2.1 Arc Sud

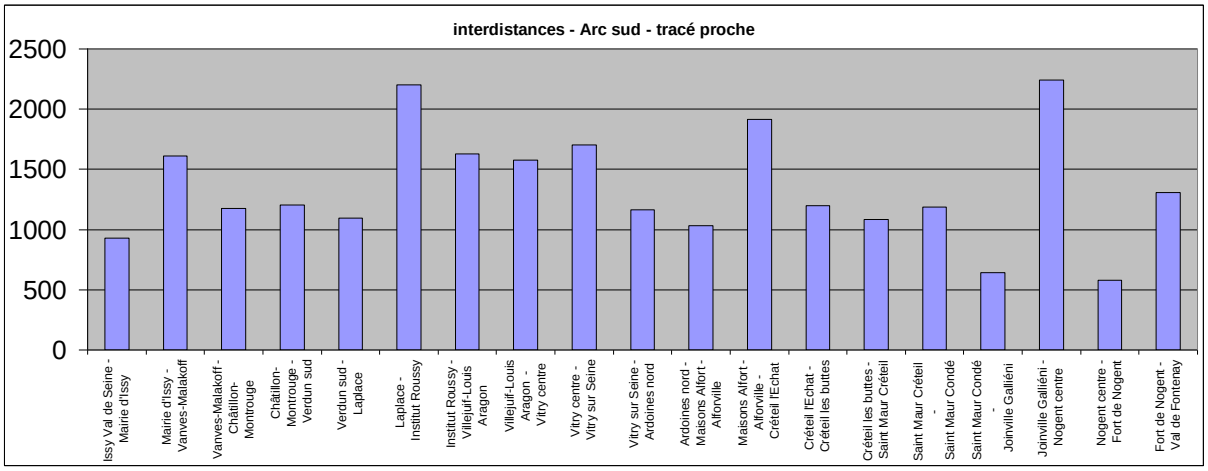
L'insertion des tracés dans les corridors d'étude est présentée sur les schémas ci-dessous :



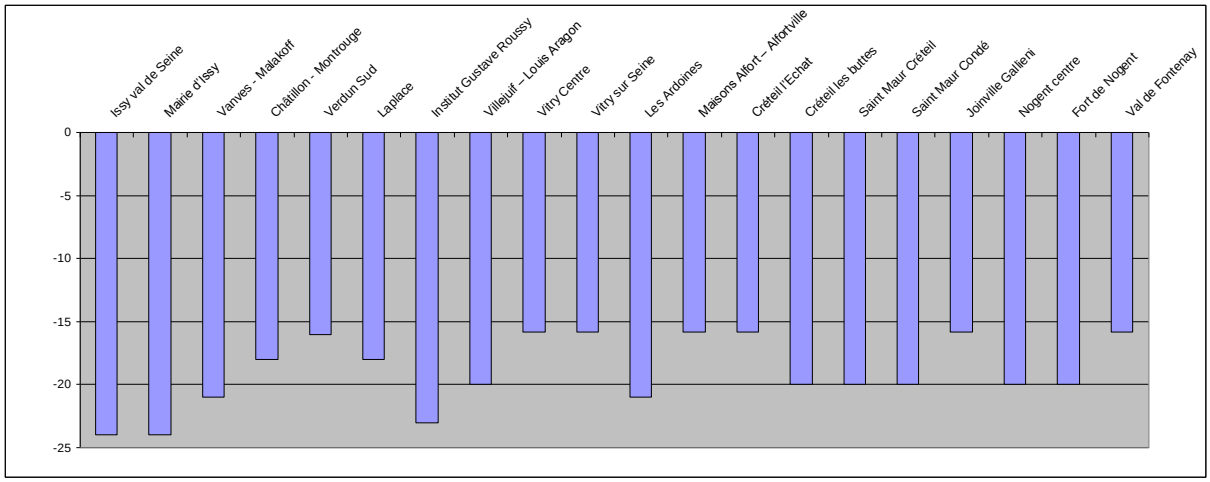
4.2.1.1. Tracé proche

Le tracé proche mesure 25.9 km. Il est majoritairement souterrain, à l'exception du franchissement aérien de la vallée de la Marne et de l'A4 près de Nogent-sur-Seine. Il comporte également deux traversées sous-fluviales : sous la Seine au niveau de la station Les Ardoines Nord et sous la Marne au niveau de la station Saint Maur Condé.

L'interdistance moyenne (entre axes de station) est de 1341 m (variant entre 579 m et 2200 m)



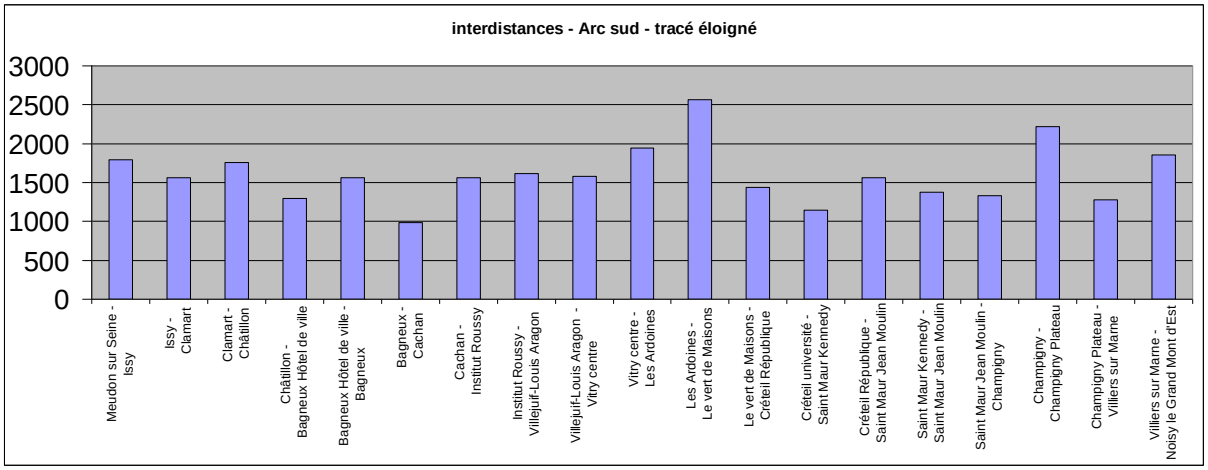
L'arc comporte 20 stations : 18 de type enterrées et 2 souterraines (Vanves Malakoff et Issy Val de Seine). La profondeur des stations (niveau quai) est présentée sur le graphique ci-dessous :



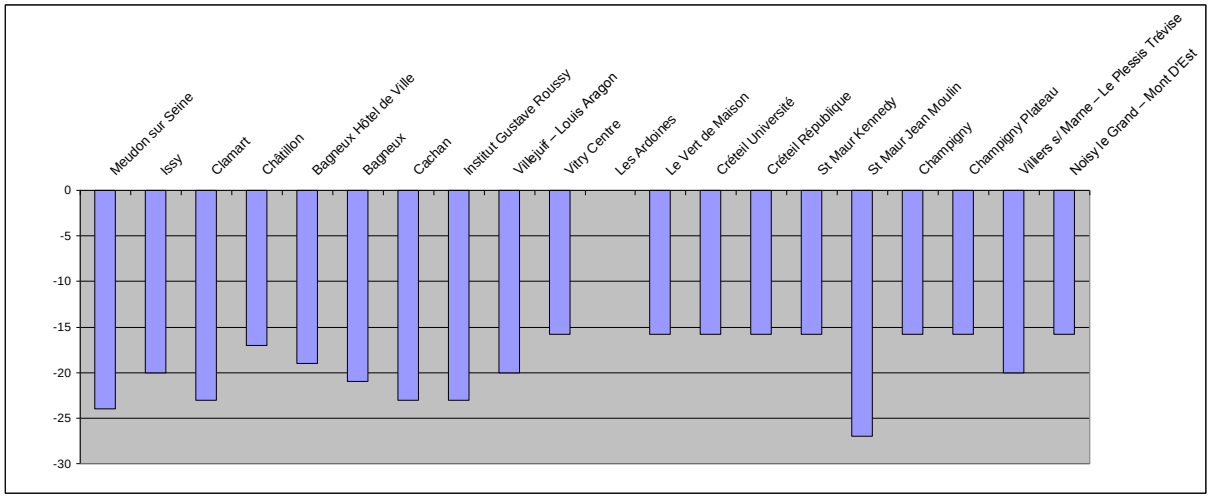
4.2.1.2. Tracé éloigné

L'arc éloigné mesure 30.9 km. Il est souterrain, à l'exception du franchissement aérien de la Seine au niveau des Ardoines.

L'interdistance moyenne (entre axes de station) est de 1602 m (variant entre 987 m et 2566 m)

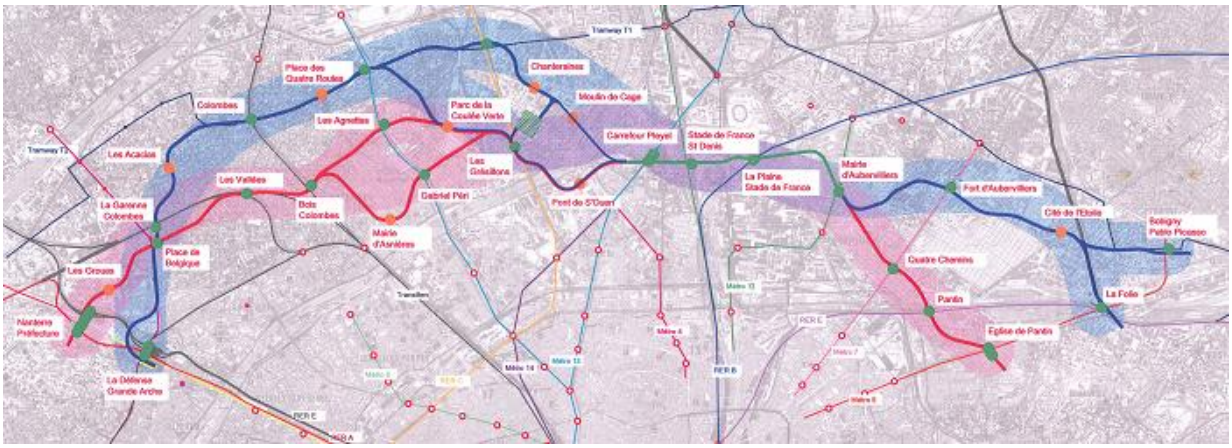


L'arc comporte 20 stations : 16 de type enterré, 3 souterraines (Meudon sus seine, Clamart et Saint Maur Jean Moulin) et une aérienne (Les Ardoines). La profondeur des stations (niveau quai) est présentée sur le graphique ci après :



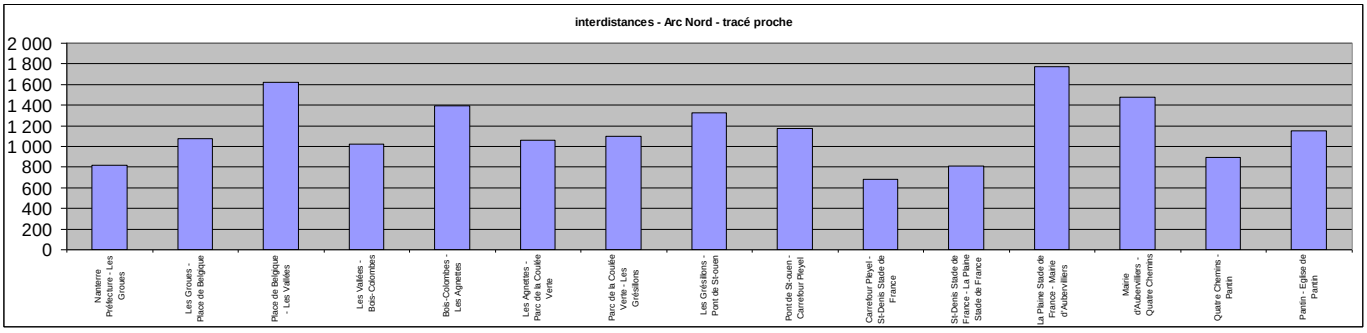
4.2.2 Arc Nord

L'insertion des tracés dans les corridors d'étude est présentée sur les schémas ci-dessous :

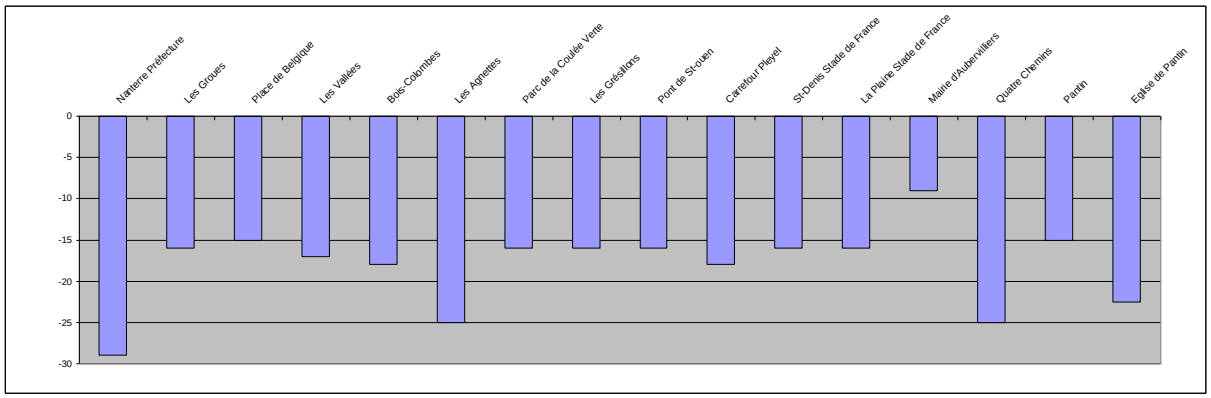


4.2.2.1. Tracé proche

L'arc proche mesure 17,95 km. Il est entièrement souterrain et comporte une traversée sous fluviale sous la Seine entre les Stations Les Grésillons et Pont de St-Ouen.
L'interdistance moyenne entre axes de station est de 1159 m: (variant de 681m à 1774m) et est illustrée dans le schéma suivant



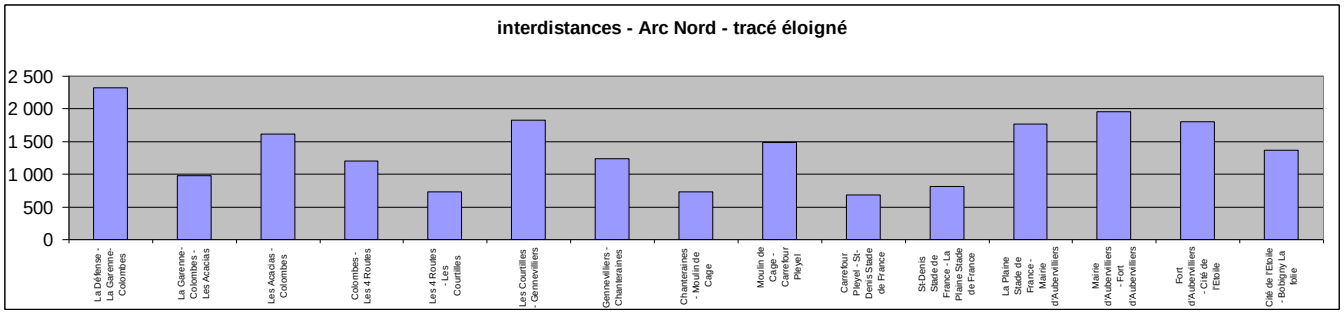
L'arc comporte 16 stations, 12 de réalisées à ciel ouvert, et 4 en souterrain.
La profondeur des stations est illustrée sur le schéma ci après :



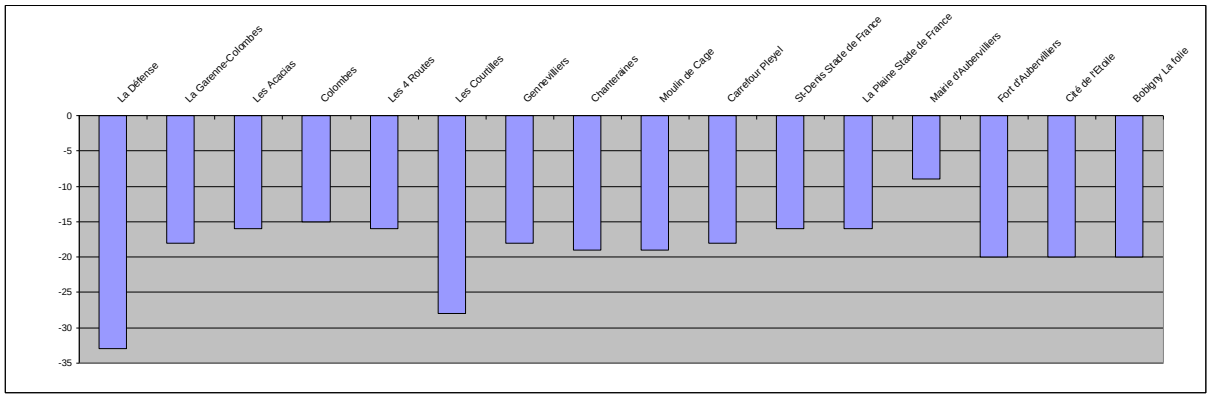
4.2.2.2. Tracé éloigné

L'arc éloigné mesure 21,2 km. Il est entièrement en souterrain et présente une traversée sous-fluviale sous la Seine entre les stations Moulin de Cage et Carrefour Pleyel.

L'interdistance moyenne est de 1368 m (variant de 681m et 2328m) et est illustrée dans le schéma suivant



L'arc comporte 16 stations, 14 réalisées à ciel ouvert et 2 en souterrain. La profondeur des stations est illustrée dans le schéma ci-dessous :



4.3 OPPORTUNITES ET INTERETS DE TRACES AERIENS

L'opportunité de la réalisation de portions de tracé en aérien a été étudiée avec soin, mais s'est avérée extrêmement délicate du fait que les voiries ne sont pas suffisamment larges, dans les zones périurbaines traversées.

Deux portions ont toutefois été identifiées où le tracé aérien peut s'insérer :

- la traversée de la vallée de la Marne et de l'A86 au niveau de Nogent (650 m),
- la traversée de la Seine au niveau des Ardoines (1520 m).

Globalement la réalisation de portions de tracé en aérien est moins chère qu'en souterrain, même s'il apparaît que le coût de réalisation des tunnels s'avère du même ordre de grandeur que celui des viaducs suite aux importants développements récents dans la technologie des tunneliers, en raison du coût d'une station aérienne, qui est beaucoup moins chère qu'une station souterraine, et surtout elle permet de s'affranchir d'ouvrages de raccordement avec les garages ateliers.

En effet, le tracé aérien permet d'effectuer à niveau les ouvrages de liaison avec les sites attenants des garages ateliers et évite ainsi la construction délicate de culottes de raccordement au tunnel principal, en tunnel traditionnel et dans des contextes géologiques peu favorables (proximité des rivières).

D'autre part l'insertion des viaducs est plus contrainte, compte tenu des orientations des voiries principales. Elle ne peut pas se développer sur des linéaires importants (ce qui réduirait les coûts), implique souvent une augmentation du linéaire d'ouvrage et nécessite des ouvrages de raccordement aux sections souterraines difficiles à insérer, compte tenu de la longueur nécessaire (environ 300 à 400 m).

Par ailleurs, pour ce qui concerne Nogent-sur-Seine, cette solution permet de limiter les contraintes de profil en long et donc la profondeur de la station Nogent Centre.

Enfin, dans chacun des cas, les ouvrages d'art correspondants permettront de constituer, par un traitement architectural adapté, un élément emblématique et structurant du projet.

4.4 IMPLANTATION DES GARAGES ATELIERS

4.4.1 Arc Sud

L'implantation des garages ateliers a fait l'objet d'une concertation avec le Conseil Général du Val de Marne. Trois sites ont été évoqués :

- Val de Fontenay, après acquisition d'une zone d'entrepôts situés au Nord de l'emplacement choisi pour la station de maillage. Le contexte géologique peut se prêter à une installation en souterrain avec un projet de valorisation foncière associée. Les surfaces disponibles sont toutefois relativement limitées

- Le Parc du Tremblay, en bordure de l'A4. Cette position est associée au tracé proche et permet une optimisation des ouvrages d'accès en cas de franchissement aérien de l'A4 et de la Marne (voir description du tracé proche).

- Les Ardoines. Cette position est associée au tracé éloigné et permet d'optimiser les ouvrages d'accès si le tracé est aérien dans la zone (voir description du tracé éloigné). En revanche, le contexte est très délicat pour une réalisation en souterrain avec valorisation immobilière associée (pollution suspectée des terrains dû au passé industriel, contexte géologique et hydrogéologique défavorable).

4.4.2 Arc Nord

L'implantation proposée du garage atelier, commune aux deux tracés, est située au nord des Grésillons à Gennevilliers.

Cette zone entre le RER C et la Seine offre plusieurs surfaces suffisantes pour l'implantation d'un garage atelier entre les Grésillons au sud et le parc des Chanteraines au nord. Elle est actuellement occupée par un ensemble industriel épars en pleine mutation : quelques nouvelles activités s'y développent (cinéma, centre commercial) mais de nombreux terrains sont encore abandonnés ou inoccupés, qui permettraient d'implanter le garage atelier mais également les bretelles de liaison avec le tracé souterrain.

4.5 SYSTEMES ET MATERIELS ROULANTS

Au stade actuel des études, le système (système et matériel roulant) envisagé pour Arc Express se caractérise comme suit :

- Automatisme intégral sans conducteur
- Roulement sur fer ou sur pneu
- Alimentation par troisième rail ou par caténaire
- Exploitation avec fréquence minimale de 90 s

Comme indiqué ci-dessus et compte tenu du trafic envisagé par le STIF (20.000 pphpd) pour le dimensionnement de l'ensemble du système (infrastructures et système), deux largeurs de trains sont envisagées:

- trains de 2.40 m de largeur, correspondant à la largeur des matériels roulants en service sur le métro de Paris et compatibles avec les infrastructures des lignes existantes.
- trains de 2.80 m de largeur.

Les trains seront composés de plusieurs éléments, chaque élément présentant une longueur comprise a priori entre 11 et 15 m.

La longueur des trains sera de :

- 62 m dans le cas de trains de 2.40 m de largeur
- 54 m dans le cas de trains de 2.80 m de largeur

La capacité théorique de chaque train est de 500 places environ. Le nombre de places assises (à priori, compris entre 20 et 25 %) est à fixer.

Du fait de l'automatisation intégrale, la composition des trains pourra être variable.

Le choix du matériel roulant devra tenir compte également des caractéristiques spécifiques du projet qui comporte des interstations relativement longues (en général supérieure à 1000 m et pouvant atteindre 2200 m) et qui devra, pour des raisons d'attractivité, permettre une vitesse commerciale élevée (de l'ordre de 40 km/h).

Ces caractéristiques pourront nécessiter une vitesse nominale de circulation des trains supérieure à celle des matériels existants sur le réseau exploité par la RATP. A ce sujet, une vitesse de circulation des trains de 100 km/h (28 m/s) n'est pas à exclure.

Dans tous les cas, les trains devront offrir des performances dynamiques de haut niveau, et notamment en ce qui concerne l'accélération longitudinale qui devra être au minimum de 1.2 m/s².

Par ailleurs, une exploitation 24h sur 24, qui pourra nécessiter des réservations et des équipements spécifiques pour assurer l'entretien et la maintenance, n'est pas exclue.

Comme indiqué ci-dessus, le système prévu sera un système entièrement automatique sans conducteur.

4.5.1 Système de commande automatique des rames (ATC)

Il devra permettre une utilisation optimale en mode entièrement automatique, c'est-à-dire sans conducteur à bord. Il devra comporter néanmoins des dispositifs spécifiques, dont celui de commande manuelle, en cas d'exploitation en mode dégradé.

Le système de commande automatique des rames (ATC) comportera :

- des équipements fixes en tunnel (ligne proprement dite, terminus, raccordement de service…) et dans le site de maintenance
- des équipements embarqués dans les trains,

Ce système assurera les fonctions suivantes :

- protection automatique des rames (ATP)
- gestion automatique des rames (ATO)
- supervision automatique de la ligne (ATS),

L'ensemble des fonctions de contrôle et de supervision du matériel roulant, des installations fixes et des équipements liés sera regroupé dans un poste de contrôle centralisé (PCC), implanté à priori dans le site de maintenance de chaque arc.

4.5.2 Système de distribution de l'énergie électrique

L'architecture du système de distribution de l'énergie électrique des arcs nord et sud n'est pas définie à ce stade des études.

En particulier, des synergies avec le réseau électrique de la RATP pourront éventuellement être envisagées.

Le principe général pourrait néanmoins en être le suivant :

- réception du courant haute tension du fournisseur d'électricité dans deux postes de livraison (PL) situés aux deux extrémités de chaque arc et alimentés chacun par une source indépendante

- constitution d'un réseau HTA interne au métro qui permettra de distribuer l'énergie le long de la ligne et qui comportera deux artères reliant les deux postes de livraison.

Dans une telle configuration, ce réseau interne fournira l'énergie pour la traction et celle nécessaire à l'ensemble des équipements de la ligne :

- l'énergie traction est fournie par des postes de redressement (PR), répartis le long de la ligne et raccordés au réseau HTA interne

- l'énergie électrique nécessaire aux équipements de la ligne (stations, tunnels et ouvrages annexes) et au site de maintenance est fournie par des postes éclairage force (PEF) répartis le long de la ligne et raccordés au réseau HTA interne

Concernant le mode de captation, trois solutions sont envisageables : 3ème rail, caténaire classique et caténaire rigide.

La première solution (3ème rail), très classique pour des métros, limite la tension utilisée (750 V) et n'est pas nécessairement adaptée pour des interstations longues.

La solution caténaire (caténaire classique et caténaire rigide), associée à des tensions supérieures (1500 V), est préférable dans le cas d'interstations de grande longueur et permet, en outre, de réduire le nombre de PR.

4.5.3 *Mode de roulement*

Concernant le mode de roulement, il apparait prématuré de privilégier, au stade actuel des études, un mode ou l'autre (roulement sur fer ou sur pneu).

Les deux modes présentent des avantages indiscutables :

- Mode pneu :
  - Pas de problèmes de vibrations, et donc adapté dans le cas de sites très sensible en matière de bruits solidiens
  - Du fait de la meilleur adhérence : meilleures performances en matière de rampes en profil et réduction du nombre d'essieux moteurs (limitation du risque de pannes)
- Mode fer :
  - Consommation d'énergie plus faible
  - Plus grand choix de fournisseurs, dans la mesure où la technologie qui se développe le plus dans le mode est le roulement fer sur fer.
  - Permet des charges à l'essieu plus élevées, compatibles avec des matériels de plus grande largeur (2.80 m et plus)
  - Moins de risques d'incendie

Ces modes sont extrêmement liés au matériel roulant et le choix sera vraisemblablement effectué lors de la consultation système / matériel roulant.

4.5.4 *Calcul du temps de parcours*

Les temps de parcours totaux (boucle) comprennent :

- Les temps de parcours en interstation
- Les temps de stationnement en station
- Les temps de retournement aux terminus

Les temps de parcours entre chaque station correspondent au temps que mettent un train à parcourir la distance entre ces deux stations entre la vitesse nulle au départ du train en station et la vitesse nulle à l'arrivée du train à la station suivante.

Les temps d'arrêts en station ne sont pas inclus dans ces temps de parcours.

Ces temps de parcours ont été estimés sommairement sur la base d'une marche type théorique dont les paramètres principaux sont les suivants :

- Accélération moyenne : 0.7 m/s²
- Vitesse maximale : 22 m/s soit 80 km/h
- Décélération moyenne : 1 m/s²

Ils intègrent une marge d'exploitation de 4 %

Les temps de parcours qui ont été calculés pour les arcs sud et nord figurent dans le tableau ci après.

ARC SUD Tracé proche		
Stations	Distances (ml)	Temps de parcours (s)
Issy Val de Seine		
	929	72
Mairie d'Issy		
	1613	104
Vanves-Malakoff		
	1175	83
Châtillon-Montrouge		
	1202	85
Verdun sud		
	1095	80
Laplace		
	2201	132
Institut Roussy		
	1626	105
Villejuif-Louis Aragon		
	1577	102
Vitry centre		
	1704	108
Vitry sur Seine		
	1164	83
Ardoines nord		
	1033	77
Maisons Alfort - Alforville		
	1916	118
Créteil l'Echat		
	1201	85
Créteil les buttes		
	1084	79
Saint Maur Créteil		
	1185	84
Saint Maur Condé		
	643	58
Joinville Galliéni		
	2240	134
Nogent centre		
	579	55
Fort de Nogent		
	1308	90
Val de Fontenay		

TOTAL	**25 475**	**1 733**

ARC SUD Tracé éloigné		
Stations	Distances (ml)	Temps de parcours (s)
Meudon sur Seine		
	1793	113
Issy		
	1564	102
Clamart		
	1761	111
Châtillon		
	1299	89
Bagneux Hôtel de ville		
	1563	102
Bagneux		
	987	74
Cachan		
	1560	102
Institut Roussy		
	1618	104
Villejuif-Louis Aragon		
	1577	102
Vitry centre		
	1947	118
Les Ardoines		
	2566	149
Le vert de Maisons		
	1440	96
Créteil université		
	1146	82
Créteil République		
	1563	102
Saint Maur Kennedy		
	1377	93
Saint Maur Jean Moulin		
	1331	91
Champigny		
	2221	133
Champigny Plateau		
	1274	88
Villiers sur Marne		
	1856	116
Noisy le Grand Mont d'Est		

TOTAL	**30 443**	**1 965**

ARC NORD tracé proche		
Stations	Distances (ml)	Temps de parcours (s)
Nanterre Préfecture		
	818	66
Les Groue		
	1077	79
Place de Belgique		
	1621	104
Les Vallées		
	1023	76
Bois Colombes		
	1548	101
Mairie d'Asnières		
	916	71
Gabriel Péri		
	1674	107
Les Grésillons		
	1324	90
Porte de Saint Ouen		
	1177	87
Carrefour Pleyel		
	681	60
Saint Denis - Stade de France		
	809	66
La plaine - Stade de France		
	1774	112
Mairie d'Aubervilliers		
	1478	98
Quatre chemins		
	897	70
Pantin		
	1151	82
Eglise de Pantin		

TOTAL	**17 968**	**1 269**

ARC NORD Tracé éloigné		
Stations	Distances (ml)	Temps de parcours (s)
La défense Grande Arche		
	2328	138
La Garenne Colombes		
	975	74
Les Acacias		
	1613	104
Colombes		
	1204	85
Place des quatre Routes		
	728	62
Les Courtilles		
	1829	114
Gennevilliers		
	1235	86
Chanteraines		
	736	63
Moulin de Cage		
	1433	96
Carrefour Pleyel		
	681	60
Saint Denis - Stade de France		
	809	66
La plaine - Stade de France		
	1774	112
Mairie d'Aubervilliers		
	1961	120
Fort d'Aubervilliers		
	1801	113
Cité de l'Etoile		
	1365	92
Bobigny - La Folie		

TOTAL	**20 472**	**1 385**

Les temps d'arrêts en station dépendent de nombreux facteurs et notamment des flux d'entrants/sortants de chaque station. Ils sont plus élevés pour les stations de correspondance que pour les stations intermédiaires.

En l'absence d'indications sur ces flux et sur les caractéristiques du système (automatismes et matériel roulant), il a été pris en compte un temps d'arrêt moyen de 20 s par station.

En ce qui concerne les temps de retournement en terminus, il a été pris en compte un temps moyen de 90 s. Ce temps inclut les temps d'arrêt dans les stations terminus.

Sur ces bases, les durées totales du tour pour les arcs nord et sud s'établissent comme suit :

	Temps de parcours en interstation	Temps d'arrêt en stations	Temps de retournement en terminus	**Durée totale du tour**
Arc sud – tracé proche	1 733 s	500 s	90 s	**4 646 s**
Arc sud – tracé éloigné	1 965 s	500 s	90 s	**5 110 s**
Arc nord – tracé proche	1 269 s	400 s	90 s	**3 519 s**
Arc nord – tracé éloigné	1385 s	400 s	90 s	**3 749 s**

5. PRINCIPES GENERAUX D'EXECUTION

Les travaux d'Arc Express pourront être réalisés indépendamment sur les arc Nord et Sud.

5.1 POLITIQUE D'ACHAT - ALLOTISSEMENT DES TRAVAUX

Pour ce type de projet, on distingue le génie civil et le système.

En général, les limites de prestations entre génie civil et système sont les suivantes :

i. Génie civil :

- Gros œuvre
- Second œuvre,
- Equipements non liés au système :
    - escaliers mécaniques/ascenseurs,
    - ventilation/désenfumage,
    - épuisements des eaux
    - basse tension et éclairage,
    - lignes de contrôle et billettique (distributeurs de titres)

ii. Système

- voie et appareils de voie pour le garage atelier, les terminus (retournement de trains), les garages éventuels en ligne, les services provisoires et les liaisons de service avec le garage atelier
- alimentation électrique :
- alimentation traction
- alimentation basse tension des équipements
- dispositifs d'alimentation des trains et de captation (troisième rail ou caténaire)
- automatismes et commandes centralisées (PCC)
- courants faibles : radio, sonorisation, information voyageurs et vidéo surveillance ….
- portes palières éventuelles en stations

Le périmètre détaillé entre génie civil et système est à définir au cas par cas, en fonction des spécificités du projet et de la politique d'achat (allotissement des travaux).

Par exemple, la voie (seulement dans le cas d'une voie fer classique) peut être rattachée au génie civil, la billettique au système, les courants faibles au génie civil.

Le coût du système (hors matériel roulant) par rapport au coût du génie civil est variable. Les pourcentages habituellement observés sont les suivantes :

- Génie civil : entre 50 et 70 % du coût total hors matériel roulant
- Système : entre 30 et 50 % du coût total hors matériel roulant

5.2 GROS OEUVRE

Outre la réalisation des garages ateliers, les deux pôles principaux de travaux de gros œuvre sur la ligne d'Arc Express sont, d'une part, la réalisation des stations, qui constitue une succession de chantiers ponctuels à l'emprise réduite, et d'autre part les travaux de tunnel, constituant un chantier linéaire contraint principalement par les zones d'accès au site.

Les stations seront creusées avant le passage du tunnelier sur la zone, pour faciliter la réalisation des stations et permettre l'entretien du tunnelier au passage de la station. Dans le pire des cas, exceptionnellement, le phasage prévoira qu'une station soit réalisée avant le passage du tunnelier.

Les autres types de travaux sont la traversée du tunnel sous fluviale par caissons immergés, et, quand le site le permet, la réalisation du tunnel en tranchée couverte ou en méthode traditionnelle, ainsi qu'en viaduc.

5.2.1 Réalisation des stations

Les stations peuvent être exécutées avant ou après le passage du tunnelier, mais on favorisera la réalisation « en amont », car elle présente les avantages suivants :

- Possibilité de révision du tunnelier et de sa jupe
- Facilité d'exécution des stations
- Gain de voussoirs

En revanche, cette solution oblige à réaliser des plots de consolidations en entrée et en sortie de la station.

Les stations sont creusées en méthode traditionnelle. Etant donné le niveau de la nappe, un rabattement de celle-ci ou un traitement d'étanchement des terrains est très fréquemment nécessaire au niveau de ces ouvrages.

Certaines stations étant implantées sous des zones de voies en circulation, la réalisation de celles-ci en sous-œuvre de la dalle supérieure permettra de limiter les perturbations en surface et de minimiser l'impact sur l'exploitation des voies routières.
Cette méthode comporte trois phases :

- Réalisation des parois de soutènements et de la dalle supérieure par demi-chaussées
- Rétablissement complet de la circulation
- Excavation en sous-œuvre
- Réalisation des zones souterraines

Ce procédé peut être réalisé pour chaque type de station présentant une forte pression de circulation en surface, en considérant quelques modifications des accès et de la disposition des équipements.

Les stations ne présentant pas de contraintes de site particulières seront creusées avec une surface maximum à ciel ouvert pour faciliter l'accès au chantier et permettre une évacuation aisée des matériaux.

Un itinéraire de déviation local est mis en place pour sécuriser la zone de travaux d'une part et rendre l'accès au chantier plus aisé.

Les tableaux suivants récapitulent les caractéristiques principales des stations. La signification du type, caractérisant la difficulté de réalisation au regard de la géologie rencontrée est la suivante :

- type 1 : géologie favorable permettant l'emploi de soutènements légers type berlinoises
- type 2 : géologie nécessitant l'emploi de soutènements lourds type paroi moulée mais sans problème d'hydraulique,
- type 3 : géologie nécessitant l'emploi de soutènements lourds type paroi moulée et contexte hydrogéologique défavorable nécessitant un approfondissement des parois moulées et/ou la réalisation d'un bouchon étanche par injections.

Dans certains cas, les stations pourront être réalisées en sous œuvre de la dalle de couverture pour s'affranchir des fortes contraintes de circulation.

Les types de stations sur chacun des tracés sont mentionnés dans le tableau ci-dessous

	stations à ciel ouvert				**stations souterraines**				**station aérienne**	**phasage complexe**	**TOTAL**
	type 1	type 2	type 3	total	type 1	type 2	type 3	total			
Arc Sud - tracé proche	4	6	8	**18**	1		1	**2**		**11**	**20**
Arc Sud - tracé éloigné	6	6	4	**16**		1	2	**3**	**1**	**7**	**20**
Arc Nord - tracé proche	6	2	4	**12**		2	2	**4**		**3**	**16**
Arc Nord - tracé éloigné	6	2	6	**14**		1	1	**2**		**4**	**16**

5.2.2 Ouvrages en ligne

Pour minimiser l'impact sur l'environnement pendant les travaux, les aires de démarrage des tunnels doivent disposer d'une surface importante (environ 0.2 hectares) pour accueillir les installations de chantier, le puits de descente, la ventilation, le traitement et le déchargement des déblais ainsi qu'une aire de stockage pour les voussoirs.

Ils doivent également être faciles d'accès depuis les axes routiers pour le transport du matériel et l'évacuation des déblais. Les tunneliers arrivent sur ces lieux par convois exceptionnels en pièces détachées.

Sauf cas particuliers le démarrage du tunnelier s'effectue dans uns station. Dans certains cas très particuliers, le tunnelier est descendu dans un puits intermédiaires ce qui nécessite alors l'excavation d'une galerie abritant une chambre de montage du tunnelier.

Dans les cas de changement de type d'ouvrage (traversée de la Seine ou de la Marne en caisson sous fluviale, tranchée couverte ou viaduc), la tête de coupe du tunnelier est démontée, transportée vers le nouveau puits (ou station) d'accès et enfin remontée pour poursuivre la réalisation du tunnel. Le train suiveur traverse la sous-fluviale.

Le tunnelier est enfin évacué en bout de tracé par un puits dans la dernière station, ou par un puits de ventilation en extrémité de tunnel.

6. DELAIS DE REALISATION

6.1 HYPOTHESES

L'objectif a été de mettre en œuvre les moyens nécessaires pour limiter la durée totale des travaux dans une période proche de 6 à 7 ans.

Le nombre de tunneliers, ainsi que le nombre de stations à réaliser simultanément sont dictés par cette contrainte, qui découle de la volonté de minimiser les nuisances liées au chantier et de réduire la durée des investissements avant mise en service.

La longueur de tunnel réalisée par un tunnelier étant définie proche de 6 km (longueur permettant de « rentabiliser » le tunnelier), la durée totale du planning dépendra de la simultanéité des travaux de chaque tunnelier. Certains tronçons plus courts permettent de réduire la durée de travaux, mais en augmentent le coût.

C'est le cas de l'arc Nord, où les contraintes géométriques et la présence de la seine contraignent à réaliser des tronçons de travaux au tunnelier proches de 4 km.
Les prix d'ordre des tronçons de tunnelier plus courts ont donc été ajustés.

Pour chaque tronçon, une période de l'ordre de 14 mois est à prévoir pour la réalisation des travaux préparatoires (déviations de réseaux, fabrication du tunnelier et mise au point, installations de chantier).

La commande des tunneliers devra être faite dès le démarrage.

Les durées moyennes de travaux permettant d'évaluer le planning de chaque arc sont les suivantes:

- Durée pour 1 station :
  - Gros-oeuvre = 18 mois à 30 mois suivant la typologie de la station, plus 6 mois après le passage du tunnelier
  - Equipements = 18 mois après le Gros œuvre des stations

- Tunnelier :
  - Fabrication du tunnelier, montage sur site, mise au point : 14 mois
  - Avancement du tunnelier : 250 ml/mois
  - Traversée de station : 0,5 à 1 mois

- Durée de travaux pour une tranchée couverte :
  - Installations 3 mois
  - tranchée couverte = 75 ml/mois

- Avancement pour un tunnel en méthode traditionnelle : 50 ml/mois

- Traversée sous fluviale :
  - travaux préparatoires et installations de chantier : 18 mois
  - avancement caissons préfabriqués : 50 ml/ mois

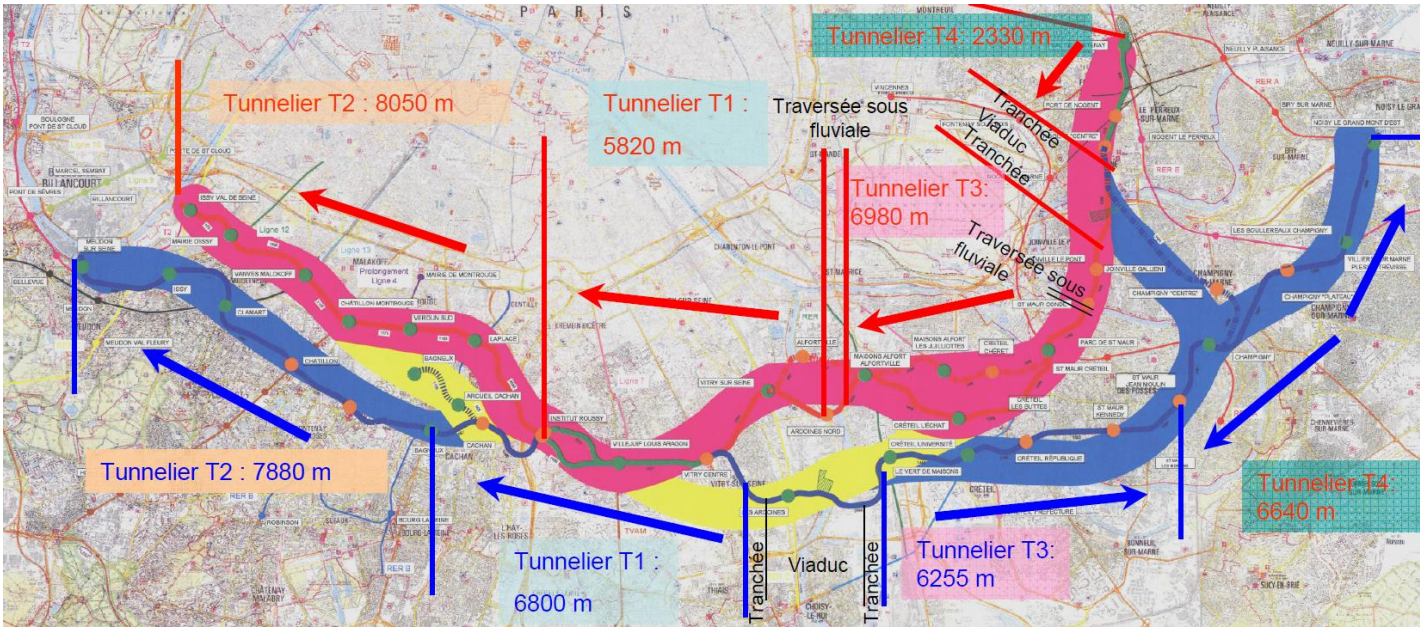
- Garage Atelier : 36 mois
- Essais et Marche à blanc : 6 mois

Pour les plannings, le mois M_0 de l'Année 1 correspond à la notification aux entreprises du démarrage des Travaux

6.2 ARC SUD

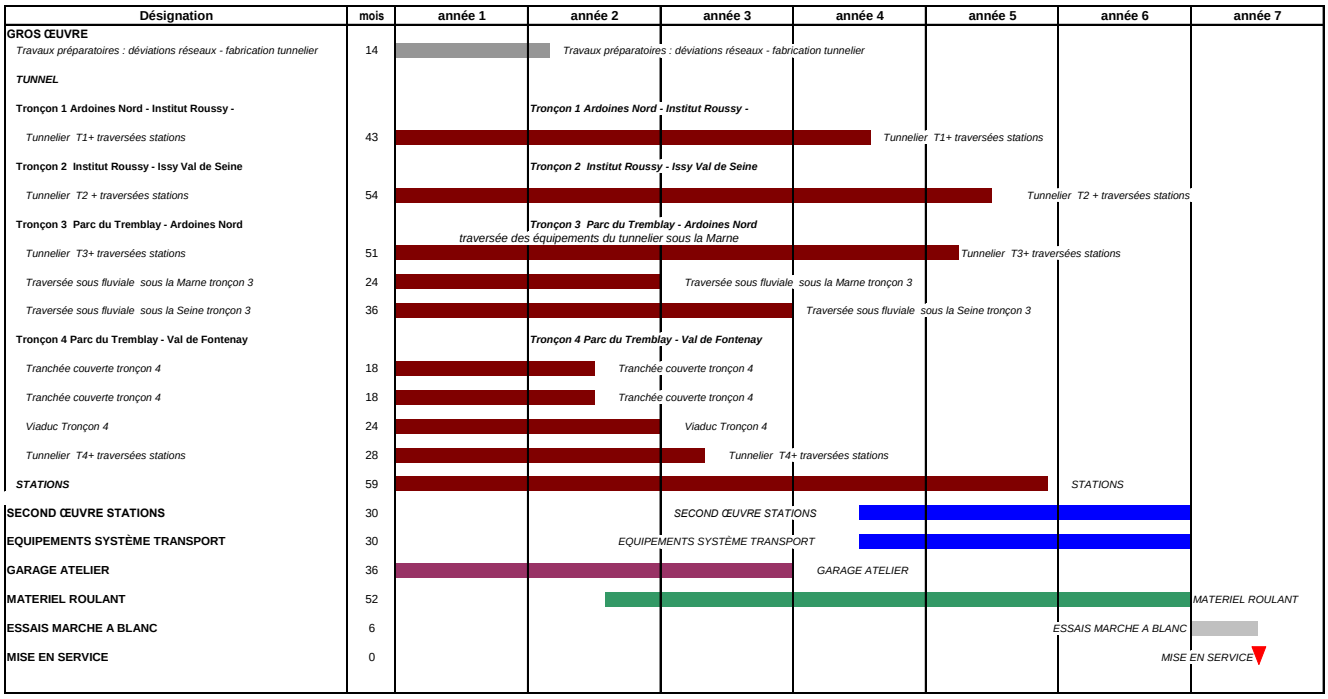
6.2.1 Phasage général de réalisation

Compte tenu des contraintes techniques de réalisation (typologie des ouvrages et emplacements disponibles pour les installations de chantier des attaques de tunnel), il est proposé de découper l'arc Sud comme indiqué sur le schéma ci-dessous :



6.2.2 *Planning de réalisation – tracé proche*

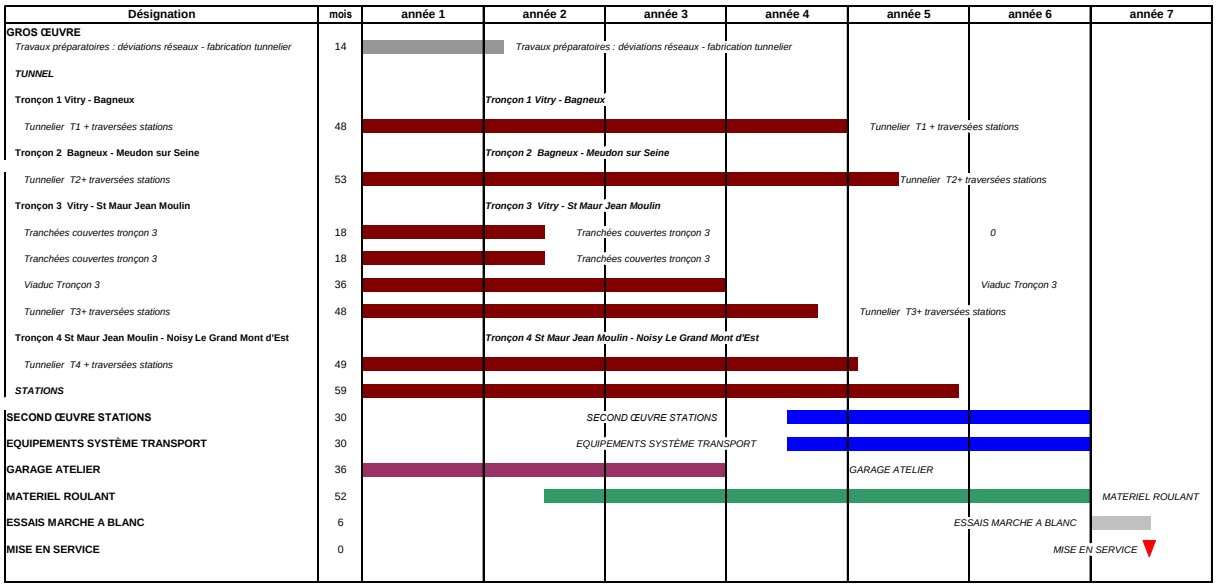
Le phasage présenté ci avant conduit au planning de réalisation suivant pour le tracé proche :



La durée des travaux (y compris déviation des réseaux concessionnaires) pour l'arc proche, serait donc de 6 ans, suivis de 6 mois d'essais et marche à blanc pour une mise en service 6 ans et demi après le début des travaux.

6.2.3 *Planning de réalisation – tracé éloigné*

Le phasage présenté ci avant conduit au planning de réalisation suivant pour le tracé éloigné :

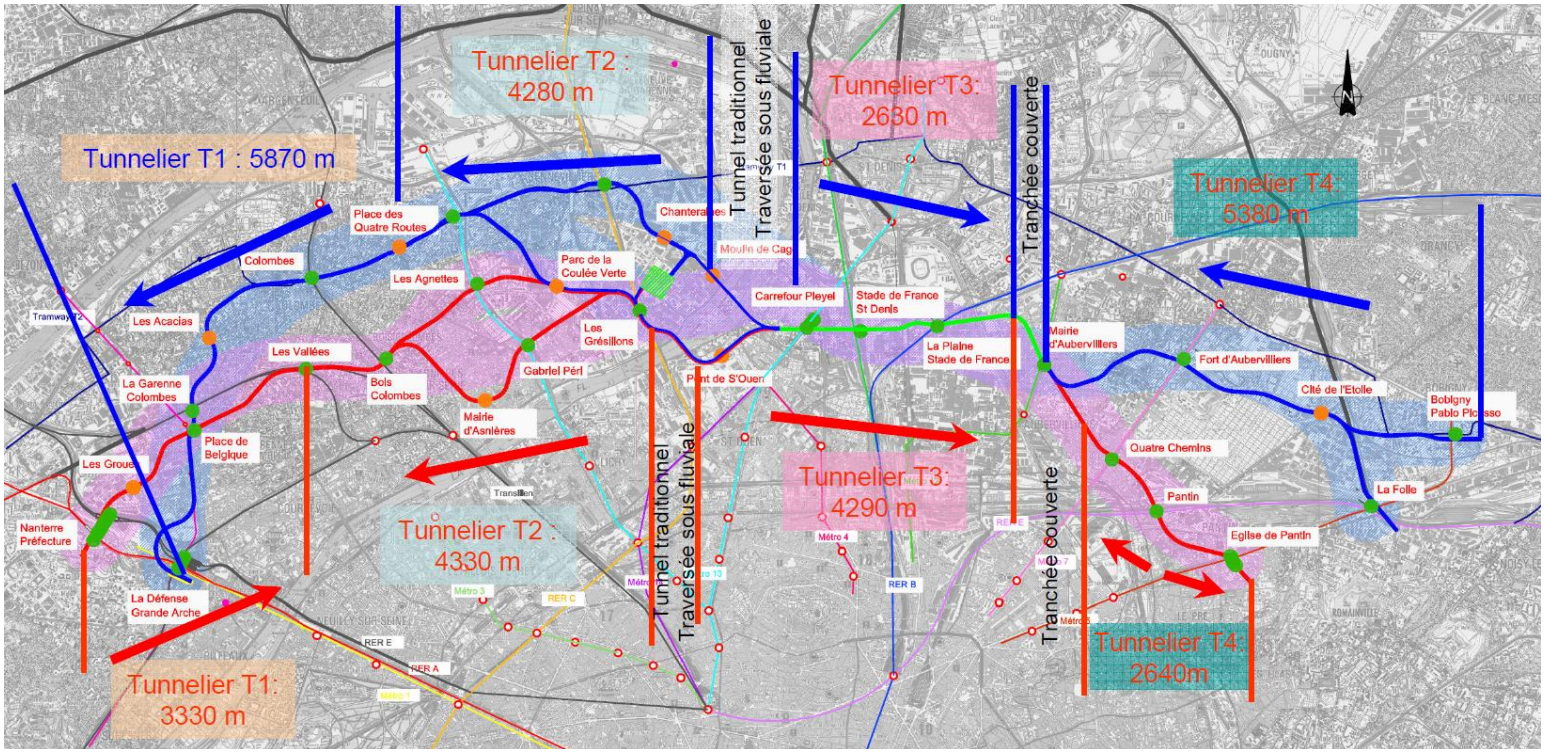


La durée des travaux (y compris déviation des réseaux concessionnaires) pour l'arc éloigné, serait donc également de 6 ans, suivis de 6 mois d'essais et marche à blanc pour une mise en service 6 ans et demi après le début des travaux.

6.3 ARC NORD

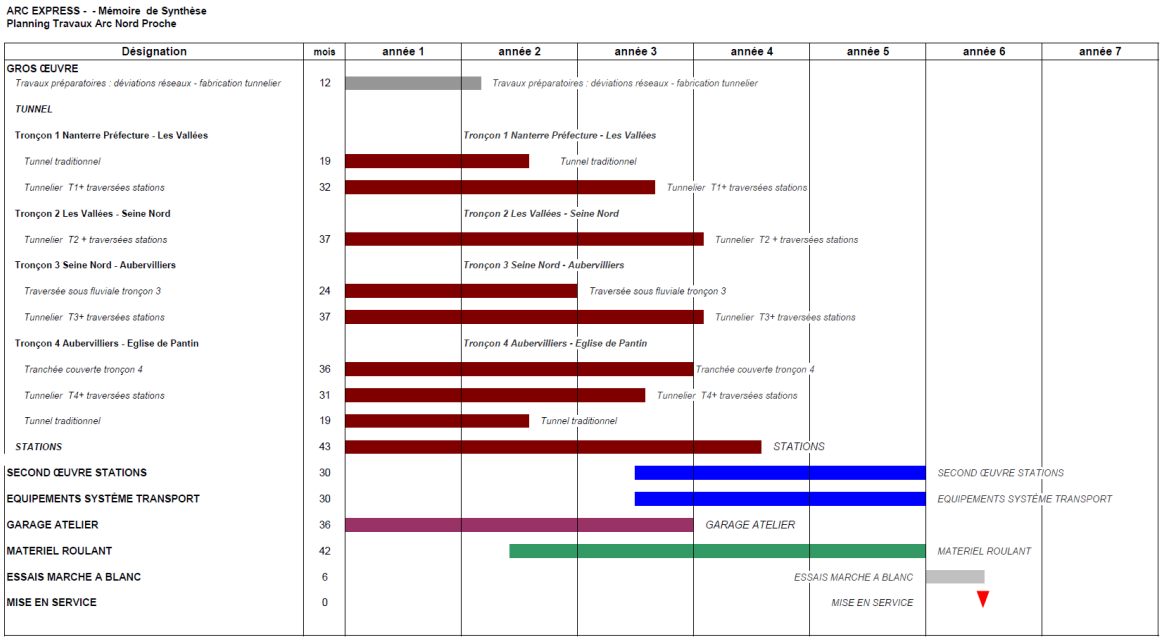
6.3.1 Phasage général de réalisation

Compte tenu des contraintes techniques de réalisation (typologie des ouvrages et emplacements disponibles pour les installations de chantier des attaques de tunnel), il est proposé de découper l'arc Sud comme indiqué sur le schéma ci-dessous :



6.3.2 *Planning de réalisation – tracé éloigné*

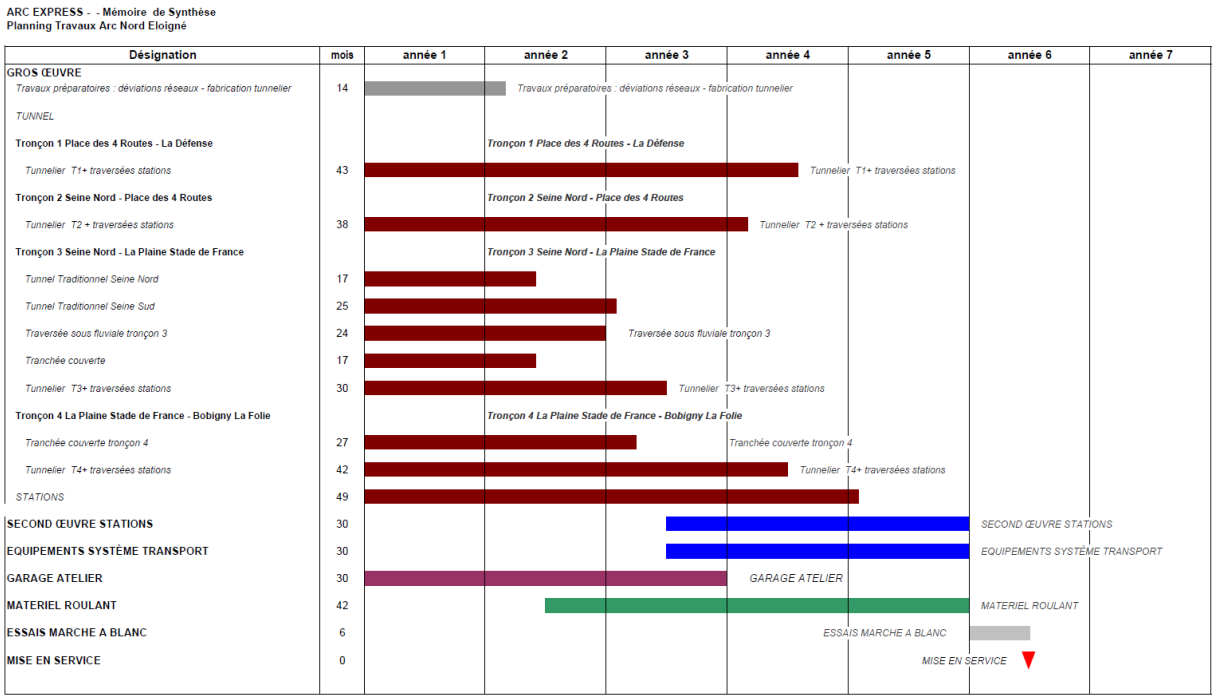
Le phasage présenté ci avant conduit au planning de réalisation suivant pour le tracé proche :



La durée des travaux (y compris déviation des réseaux concessionnaires) pour l'arc proche, serait donc de 5 ans, suivis de 6 mois d'essais et marche à blanc pour une mise en service 5 ans et demi après le début des travaux concessionnaires.

6.3.3 *Planning de réalisation – tracé éloigné*

Le phasage présenté ci avant conduit au planning de réalisation suivant pour le tracé éloigné :



La durée des travaux (y compris déviation des réseaux concessionnaires) pour l'arc éloigné, illustrée dans le planning général de travaux, serait donc de 5 ans, suivis de 6 mois d'essais et marche à blanc pour une mise en service 5 ans et demi après le début des travaux concessionnaires.

7. COUTS D'INVESTISSEMENT

7.1 METHODOLOGIE D'EVALUATION DES COUTS D'INVESTISSEMENT

A ce stade de l'étude, l'estimation a été menée par le biais de prix d'ordre ou macro-prix appliqués sur les principales quantités résultant d'un avant-métré. Ces prix d'ordre intègrent la fourniture et la mise en place des quantités y compris celles non identifiables à ce stade du projet. Ils sont estimés en y intégrant des aléas normaux d'exécution et les prix d'ordre sont donnés aléas compris.

Les prix présentés sont en Euros hors taxes, exprimés en valeur décembre 2008 et ne comprennent pas les acquisitions foncières et les éventuelles opérations de dépollutions, les opérations d'accompagnement (gares routières, parkings, …), les déviations de réseaux, les frais de maîtrise d'ouvrage (yc assurances, contrôles techniques, architectes, expertises, CSPS…) et de maîtrise d'œuvre.

L'estimation des travaux est affectée d'une majoration pour sommes à valoir pour tenir compte des incertitudes liées au niveau actuel de l'étude et au manque de données précises concernant le site (géologie, hydrogéologie, ouvrages existants,...), et des évolutions aux stades ultérieurs des études. Ces sommes à valoir ont été évaluées en pourcentage du montant des travaux :

- ✓ 15% pour le gros œuvre des tunnels,
- ✓ 20 % pour le gros œuvre des stations.
- ✓ 10% pour les autres postes (second œuvre, équipements liés et non liés au système, matériel roulant)

L'estimation n'intègre pas le coût des travaux, objet des études RATP et SNCF, au droit des pôles d'échanges (ouvrages assurant les correspondances) et leurs mises aux normes notamment.

Pour ce qui concerne les frais de maitrise d'ouvrage et de maitrise d'œuvre, en accord avec le STIF et par référence à des opérations similaires, il conviendrait de rajouter aux montants indiqués ci-après un taux global de 17 %.

7.2 COUTS D'INVESTISSEMENT HORS MOE ET MOA DU GROS ŒUVRE, DU SECOND ŒUVRE ET DES EQUIPEMENTS NON LIES ET LIES AU SYSTEME

ARC SUD	tracé proche		tracé éloigné	
Type matériel	2.40 m	2.80 m	2.40 m	2.80 m
Longueur de l'arc	25.9 km		30.9 km	
nombre de stations	20		20	
TRAVAUX DE GROS ŒUVRE				
Ligne et ouvrages en ligne	728.4 M€	859.9 M€	820.6 M€	970.1 M€
Stations	342.4 M€	321.0 M€	339.8 M€	321.2 M€
SECOND ŒUVRE	105.9 M€	94.9 M€	100.3 M€	92.1 M€
EQUIPEMENTS NON LIES AU SYSTEME	132.0 M€	132.1 M€	139.0 M€	139.2 M€
EQUIPEMENTS LIES AU SYSTEME	570.6 M€	569.8 M€	680.1 M€	679.3 M€
Correspondances et Mises aux normes (RATP et SNCF)				
TOTAL HORS MATERIEL ROULANT hors MOE et MOA	**1 880 M€**	**1 978 M€**	**2 080 M€**	**2 202 M€**

ARC NORD	tracé proche		tracé éloigné	
Type matériel	2.40 m	2.80 m	2.40 m	2.80 m
Longueur de l'arc	18, 3 km		21, 5 km	
nombre de stations	16		16	
TRAVAUX DE GROS ŒUVRE				
Ligne et ouvrages en ligne	525 M€	610 M€	634 M€	752 M€
Stations	224 M€	207 M€	238 M€	222 M€
SECOND ŒUVRE	81 M€	74 M€	80 M€	73 M€
EQUIPEMENTS NON LIES AU SYSTEME	106 M€	107 M€	110 M€	111 M€
EQUIPEMENTS LIES AU SYSTEME	400.6 M€	400 M€	477 M€	478 M€
Correspondances et Mises aux normes (RATP et SNCF)				
TOTAL HORS MATERIEL ROULANT hors MOE et MOA	**1338 M€**	**1398 M€**	**1541 M€**	**1636 M€**

7.3 MATERIEL ROULANT

Le parc de matériel roulant nécessaire à la mise en service a été évalué, à la demande du STIF, sur la base d'un trafic de 15 000 pphpd.

Ce trafic correspond à une fréquence d'exploitation à l'heure de pointe de 135 s.

Le parc de matériel roulant comprend les trains en circulation et les trains en réserve d'exploitation et de maintenance.

Le calcul du nombre de trains en circulation est calculé sur la base du temps de parcours total (boucle).

7.3.1 Calcul du parc de matériel roulant

Le parc de matériel roulant en circulation est obtenu en divisant la durée totale du tour par l'intervalle (135 s).

Le parc total de matériel roulant est obtenu en ajoutant au parc de matériel roulant en circulation une réserve pour l'exploitation et la maintenance. Cette réserve a été estimée à 10 % du parc de matériel roulant en circulation.

Sur ces bases, le parc total de chaque arc s'établit comme suit :

	Parc en circulation	Réserve exploitation et maintenance.	**Parc total**
Arc sud – tracé proche	35 trains	4 trains	**39 trains**
Arc sud – tracé éloigné	38 trains	4 trains	**42 trains**
Arc nord – tracé proche	27 trains	3 trains	**30 trains**
Arc nord – tracé éloigné	28 trains	3 trains	**31 trains**

7.3.2 Calcul du coût du parc de matériel roulant

Le coût du matériel roulant comporte des coûts d'études et d'industrialisation qui peuvent être élevés, en particulier dans le cas de systèmes nouveaux.

Par ailleurs, ce coût dépend également du nombre de trains commandés.

Dans le cas des arcs nord et sud d'Arc Express, et en supposant à la mise en service un trafic de 15 000 voyageurs par heure et par sens à l'heure de pointe le nombre de trains nécessaires est de l'ordre de 70 trains de 4 voitures.

Sur ces bases, le coût moyen d'un train devrait être de l'ordre de 7 M€ environ hors frais de pilotage (maitrise d'ouvrage, maitrise d'œuvre, …).

Les coûts totaux en résultant sont les suivants :

	Mise en service	
	Nombre indicatif de trains	**Coût total en M€ hors MOA et MOE**
Arc sud		
Tracé proche de Paris	39 trains	**273 M€**
Tracé éloigné de Paris	42 trains	**294 M€**
Arc nord		
Tracé proche de Paris	30 trains	**210 M€**
Tracé éloigné de Paris	31 trains	**217 M€**

8. COUTS D'EXPLOITATION

Le présent chapitre est relatif au calcul des paramètres principaux nécessaires pour évaluer les coûts d'exploitation :

- Vitesse commerciale
- Table horaire type
- Calcul des trains x km

8.1.1 Calcul de la vitesse commerciale

La vitesse commerciale est définie d'un point de vue voyageur. Elle correspond au trajet depuis le départ d'une station terminus à l'autre station terminus. Elle n'inclut donc pas les temps de retournement aux deux terminus ni les temps d'arrêt aux stations terminus.

Les temps à prendre en compte sont donc les temps de parcours en interstation calculés ci-dessus et les temps d'arrêt en stations qui sont les suivants :

	Temps de parcours en interstation	Temps d'arrêt en stations	**Durée totale**
Arc sud – tracé proche	1 733 s	500 s	**2 233 s**
Arc sud – tracé éloigné	1 965 s	500 s	**2 465 s**
Arc nord – tracé proche	1 269 s	400 s	**1 669 s**
Arc nord – tracé éloigné	1385 s	400 s	**1 785 s**

Sur ces bases les vitesses commerciales des arcs sud et nord s'établissent comme suit :

	Longueur ligne exploitée	Nombre de stations	Interstation moyenne	**Vitesse commerciale**
Arc sud – tracé proche	25.5 km	20	1 342 m	**41 km / h**
Arc sud – tracé éloigné	30.4 km	20	1 520 m	**44 km / h**
Arc nord – tracé proche	18 km	16	1 200 m	**39 km / h**
Arc nord – tracé éloigné	20.5 km	16	1 367 m	**41 km / h**

8.1.2 Table horaire type

En l'absence d'indications sur le dimensionnement du service à assurer (tables horaires type, semaine et week end), une structure d'offre similaire avec celle de la ligne 14 du métro de Paris, a été prise comme référence.

Tranche horaire		**Fréquence des trains**
de	**à**	
5 h 00	7 h 00	**270 s**
7 h 00	9 h 00	**135 s**
9 h 00	16 h 00	**270 s**
16 h	19 h00	**135 s**
19 h 00	21 h 00	**225 s**
21 h 00	02 h 00	**300 s**

8.1.3 Calcul des trains x km

Sur la base de la table horaire type, il est possible de calculer pour chaque tranche horaire le nombre de départ de trains. On obtient, ainsi, une approximation de la production de service que l'on majore de 5 % pour tenir compte des circulations haut le pied et des mouvements dans les terminus.

Le calcul de trains x km à l'année est ensuite obtenu.

	Longueur ligne exploitée	Nombre de départs	Trains x km	**Trains x km annuels en millions MTkm**
Arc sud – tracé proche	**25.5 km**	691	18 500	**5.9**
Arc sud – tracé éloigné	**30.4 km**	691	22 057	**7.1**
Arc nord – tracé proche	**18 km**	691	13 060	**4.2**
Arc nord – tracé éloigné	**20.5 km**	691	14 874	**4.8**

9. CONSEQUENCES D'UNE AUGMENTATION DE TRAFIC A 30 000 VOYAGEURS/H

9.1 OBJET DU PRESENT PARAGRAPHE ET HYPOTHESES

Le présent paragraphe vise, à la demande du STIF, à estimer grossièrement les incidence qu'engendrerait une augmentation de 50% de la capacité de base retenue pour l'étude.

Le matériel roulant pris en compte ici est le matériel de 2,40m. Ce matériel se compose, pour un trafic à 20 000 v/h, de 4 éléments de 15,00m pour une longueur totale de 62,00m.Pour un trafic à 30 000 v/h 2 éléments de 15,00m seront rajoutés portant la longueur totale à 92,00 mètres.

9.2 CONSEQUENCES TECHNIQUES PREVISIBLES SUR LA CONCEPTION

L'augmentation du trafic a pour conséquence principale, à largeur de matériel roulant égale, l'allongement de la longueur des quais des stations (augmentation de la longueur des trains).

Par ailleurs, la largeur minimum des quais doit être portée de 3,50m à 4,00m et chaque escalier fixe d'accès aux quais est augmenté en prenant en compte l'augmentation de trafic mais également la conservation d'une marge de capacité. Aux autres niveaux de la station les escaliers sont élargis proportionnellement :

- Largeur des stations à ciel ouvert augmentées de 2,20m (1,10m par quai : 1UP de 0,60m + 0,50m d'élargissement du quai à 4,00m)
- Largeur des stations profonde augmentées de 4,60m (1,80m par quai : 3UP de 0,60m en tout + 0,50m d'élargissement du quai à 4,00m°
- Choix de la typologie des stations à adapter en fonction des contraintes d'insertion dans le site.

La longueur des ouvrages en ligne est diminuée d'une part en raison de l'allongement des stations mais augmentée d'autre part en raison de l'allongement des

Par ailleurs, la surface des garages ateliers doit être étendue pour recevoir ces matériels plus longs. L'ordre de grandeur de cette augmentation est d'environ 30%.

9.3 CONSEQUENCES TECHNIQUES PREVISIBLES EN TERME D'INSERTION DES STATIONS

La typologie des stations choisies dans le cadre de l'étude d'insertion de tracé pour 20 000 v/h peut s'avérer beaucoup plus difficile à insérer dans le cadre d'un trafic à 30 000 v/h du fait de l'augmentation des dimensions des stations.

C'est notamment le cas des stations enterrées implantées à moyenne profondeur et réalisées à ciel ouvert dont l'augmentation significative de la longueur peut rendre très difficile voir impossible l'insertion dans le site.
Dans ce cas, la station sera :

- soit remplacée par une station souterraine profonde réalisée pour partie à ciel ouvert et pour partie en souterrain et dont la profondeur pourra être augmentée en fonction de l'environnement (prolongement sous bâti notamment)
- soit exécutée avec un phasage complexe (top and down sous chaussée notamment).

9.4 EVALUATION DES CONSEQUENCES EN TERME DE COUT

L'évaluation des conséquences a été menée sur le tracé proche de l'arc sud et uniquement en ce qui concerne le gros œuvre, qui représente l'impact déterminant, car directement lié à l'allongement du matériel roulant.

Les variations des coûts de second œuvre, des équipements non liés au système et ceux des équipements liés, peu significatives ou difficilement quantifiables, n'ont pas été évaluées.

On constate une augmentation globale du coût des travaux de gros-œuvre d'environ 22%, se décomposant ainsi :

- Diminution du coût Ligne et ouvrages en ligne inférieure à 2%,
- Augmentation du coût du garage atelier d'environ 30%.
- L'augmentation la plus sensible se fait sur le coût des travaux de gros-œuvre des stations. Sur les 18 stations à ciel ouvert de l'arc considéré comportant 20 stations : 3 doivent être transformées être réalisées pour partie à ciel ouvert et pour partie en souterrain et 6 stations voient leur phasage compliqué (travail en taupe).
  L'augmentation globale du coût moyen d'une station à ciel ouvert est de 70% et celle d'une station enterrée de 42 %. Au final, le bilan s'établit à +66% pour l'ensemble des stations.

									Δ nb		
TOTAL GROS ŒUVRE	**1070.8**				**1303.3**					232.5	21.7%
OUVRAGES	NB	Typologie	Prix global	Prix moyen	NB	Typologie	Prix global	Prix moyen			
Ligne et ouvrages en ligne M€			**728.4**				**716.8**			11.6	1.6%
Dont:											
- Ouvrages en ligne et puits	24		53.2	2.2	24		53.2	2.2			
- Tunnels en m.	23181	TBM	579.5	0.025	22720	TBM	568	0.025	461	11.5	1.9%
- Dispositions particulières tympans stations	20		18.0	0.9	20		18	0.9			
Stations	**20**		**342.4**	17.1	**20**		**568.9**	28.4		226.5	66.2%
	18	Ciel Ouvert	288.5	16.0	15	Ciel Ouvert	409.4	27.3	-3	120.9	70.3%
	2	Enterrée	44.7	22.3	5	Enterrée	159.5	31.9	+3	114.8	42.8%
Garage Atelier	1		**27.2**		1		**35.6**			8.4	30.9%

Compte tenu du niveau de précision de l'étude, l'impact d'une augmentation du trafic de 50% se traduit majoritairement par une augmentation de 20 à 25 % des travaux de gros œuvre, pour la plus grande partie liée à l'augmentation de la taille des station et aux contraintes d'insertion qui en découlent.