



Métro Grand Paris

DOSSIER DES ÉTUDES

Appréciation de l'impact de la
vitesse maximale des trains du
Métro Grand Paris
(RATP)

SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS



NOTE MOT D 2009-5263

14 février 2010 version 15

Appréciation de l'impact de la vitesse maximale des trains du Métro Grand Paris sur la vitesse commerciale et le parc matériel roulant

1. OBJET.

La vitesse commerciale fait partie des caractéristiques majeures d'une infrastructure de transport collectif et constitue un élément d'appréciation de sa performance. Elle dépend d'un certain nombre de paramètres, dont notamment les performances dynamiques et la vitesse maximale des trains. Dans le cas du métro parisien, avec ses intergares de faible longueur, toute l'énergie sert à l'accélération des véhicules. La durée du parcours dépend principalement de l'accélération au démarrage, de la décélération au freinage et des temps d'arrêt dans les gares. La vitesse maximale n'a qu'une importance secondaire, contrairement au chemin de fer traditionnel, pour lequel la durée du parcours est conditionnée par celle-ci.

Du point de vue de la longueur d'intergare moyenne, le rapport entre le Métro Grand Paris et le métro de Paris est de l'ordre de 1 à 7. La valeur moyenne pour le Métro Grand Paris est supérieure à 3 km, mais avec certaines disparités : 2,5, 3 et 5 km respectivement pour les lignes rouge, bleue¹ et verte.

Compte tenu des caractéristiques particulières du Métro Grand Paris, il convient d'apprécier l'impact de la vitesse maximale des trains sur la vitesse commerciale et le parc matériel roulant.

Tel est l'objet de la présente note.

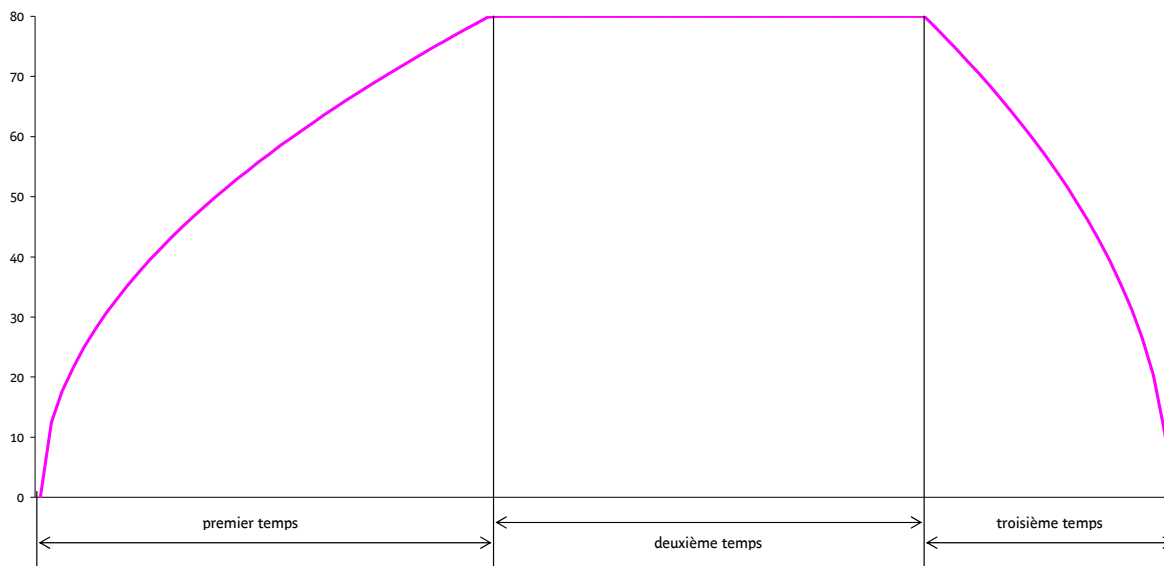
Avertissement : la solution de référence retenue au départ consistait notamment en une exploitation du Métro Grand Paris avec des trains de 120 m de long à roulement pneumatique circulant à une vitesse maximale de 80 km/h. Cette note est destinée à apporter un éclairage sur l'impact d'une vitesse maximale supérieure. Pour la clarté de l'exposé, des hypothèses simplificatrices ont été prises. Elles ne nuisent pas à un exercice avant tout comparatif, mais ne doivent pas être détachées de l'objectif recherché. En particulier, les vitesses moyennes ou les temps de parcours indiqués ne doivent absolument pas être retenus pour caractériser en valeur absolue l'exploitation du Métro Grand Paris. Cette étude ne traite que du gain potentiel en vitesse et de sa conséquence sur l'exploitabilité des infrastructures (intervalle et marge).

¹ Ligne 14 actuelle exclue.

2. CALCUL DU TEMPS DE PARCOURS.

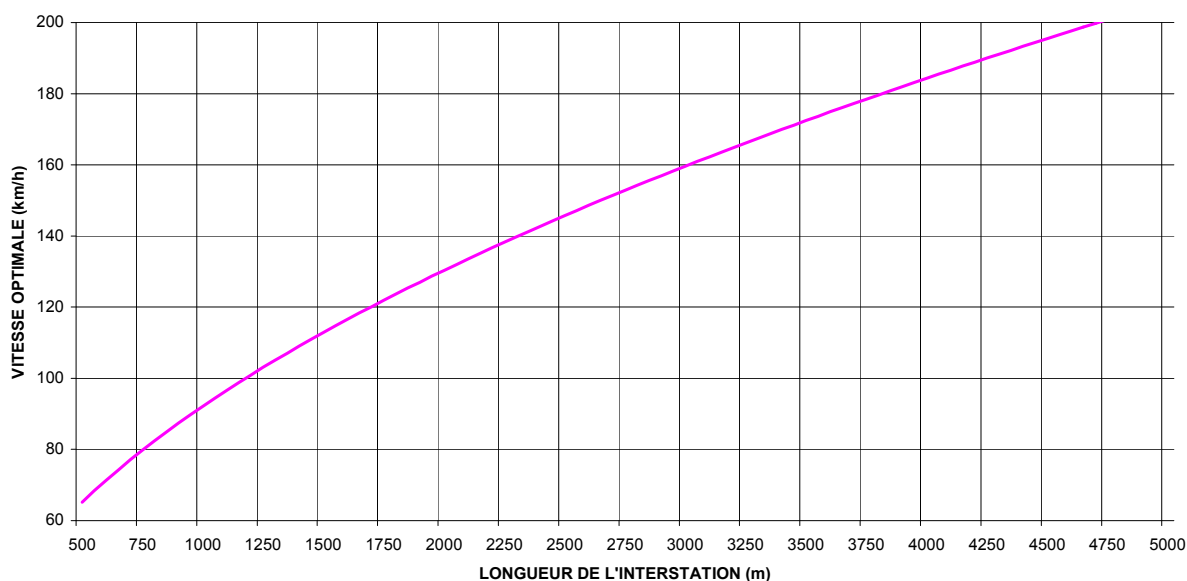
Pour le calcul du temps de parcours des trains deux cas sont à considérer :

1^{er} cas : intergare longue. Une telle intergare est celle qui permet au train d'atteindre sa vitesse maximale autorisée. Le mouvement du train est alors décomposé en trois temps :

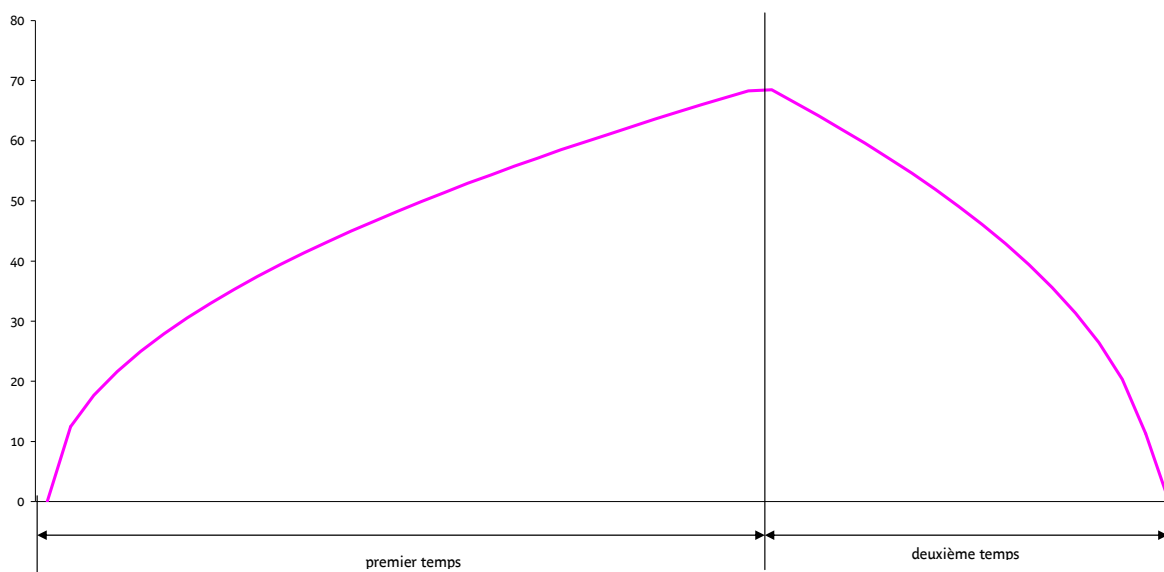


La représentation de la vitesse maximale en fonction de la longueur de l'intergare montre que :

- Pour atteindre la vitesse de 80 km/h, il faut des intergares de longueur supérieure ou égale à 750 m,
- Pour atteindre la vitesse de 100 km/h, il faut des intergares de longueur supérieure ou égale à 1200 m,
- Pour des intergares longues, les vitesses limites permises par le matériel roulant conduisent rapidement à prévoir des parcours à vitesse constante (2^{ème} temps du mouvement du train).



2^{ème} cas : intergare courte. Une telle intergare ne permet pas au train d'atteindre sa vitesse maximale. Le mouvement du train est alors décomposé en deux temps :



Pour obtenir la durée du tour, il faut ajouter

- les temps de stationnement :
 - 30 secondes pour une gare de correspondance,
 - 20 secondes pour une gare simple,
 - 30 secondes dans les gares terminus (au départ et à l'arrivée).
- les temps de retournement dans les terminus, soit 60 secondes (25 secondes aller, 25 secondes retour et 8 secondes de basculement d'aiguille et de temps techniques),

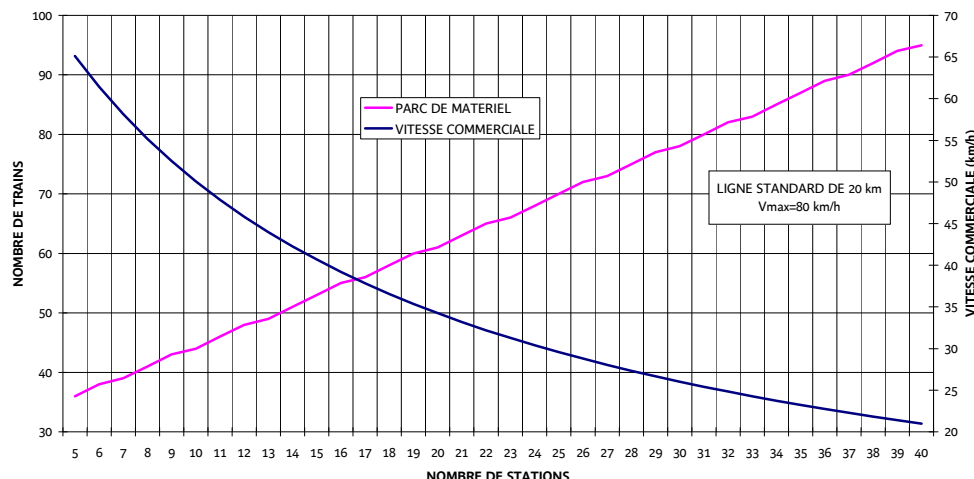
Le résultat final correspond au temps de parcours en marche tendue (accélération maximale jusqu'à la vitesse maximale et freinage de service le plus tard possible). Pour obtenir un temps de parcours pratique, on inclut la marge de stabilité en multipliant le temps de parcours en marche tendue par un coefficient de détente².

3. TESTS DE SENSIBILITE ET MODELE SIMPLIFIE.

Il peut être intéressant de faire varier certains paramètres afin de mesurer leur influence sur le dimensionnement du parc de matériel roulant.

Le modèle a été appliqué à une ligne type standard de 20 km de longueur. La vitesse maximale des trains est de 80 km/h, et le nombre de gares varie de 5 à 41, soit une longueur d'intergare variant de 4 000 m à 500 m. Les impacts sur le dimensionnement du parc matériel roulant et la vitesse commerciale sont représentés sur la graphique ci-dessous :

² Ce coefficient doit également couvrir les approximations faites en raison des hypothèses simplificatrices envisagées. Il a été pris égal à 4 % dans les études de dimensionnement du Métro Grand Paris.



L'évolution du parc comme la vitesse commerciale sont sensibles à l'augmentation du nombre de gares.

Pour apprécier l'impact de la vitesse maximale des trains sur le parc, on a repris la ligne standard de 20 km, mais avec 20 gares seulement. On a ensuite fait varier V_{\max} de 80 à 120 km/h.

Ce dernier point mérite un développement. En effet, admettre de telles vitesses suppose que les possibilités de tracé et d'insertion sont compatibles avec les contraintes que cela impose sur les rayons de courbure. Pour illustrer cela, on suppose que le dévers maximal est de 160 mm et que l'insuffisance de dévers admissible est de 150 mm³. On en déduit les contraintes suivantes sur les rayons de courbure :

VITESSE (km/h)	80	90	100	110	120
RAYON MINI (m)	244	309	381	462	549

L'impact de la vitesse maximale sur le parc est le suivant⁴ :

VITESSE (km/h)	80	90	100	110	120
PARC	44	43	42	41	40

L'impact s'annule progressivement au fur et à mesure de l'augmentation du nombre de gares, ce qui est logique, car des intergares de plus en plus courtes permettent de moins en moins d'atteindre une vitesse maximale élevée.

L'application au Métro Grand Paris donne les résultats suivants, hors réserve de maintenance et d'exploitation :

VITESSE (km/h)	80	90	100	110	120
----------------	----	----	-----	-----	-----

³ Ce qui correspond à une accélération transversale non compensée d'environ 1 m/s², norme traditionnellement admise dans les transports collectifs.

⁴ Les gains sont légèrement surestimés car l'accélération γ_T du matériel roulant, qui décroît avec la vitesse, n'a pas été modifiée dans les calculs.

4. IMPACT DE LA VITESSE MAXIMALE DES TRAINS.

Les calculs précédents ont été réalisés en supposant que l'accélération du train était constante. Mais en fait elle varie avec la vitesse. Au-delà d'une certaine valeur de la vitesse, elle subit une décroissance en fonction de la vitesse. Dans les calculs qui suivent, l'hypothèse simplificatrice d'origine n'a pas été retenue. Pour cela, les valeurs de temps d'accélération sont les valeurs réelles utilisées dans les simulations logicielles. La gamme de vitesse explorée est comprise entre 80 et 120 km/h. Ce sont donc les valeurs du matériel MI84 qui ont été prises en compte pour réaliser les simulations.

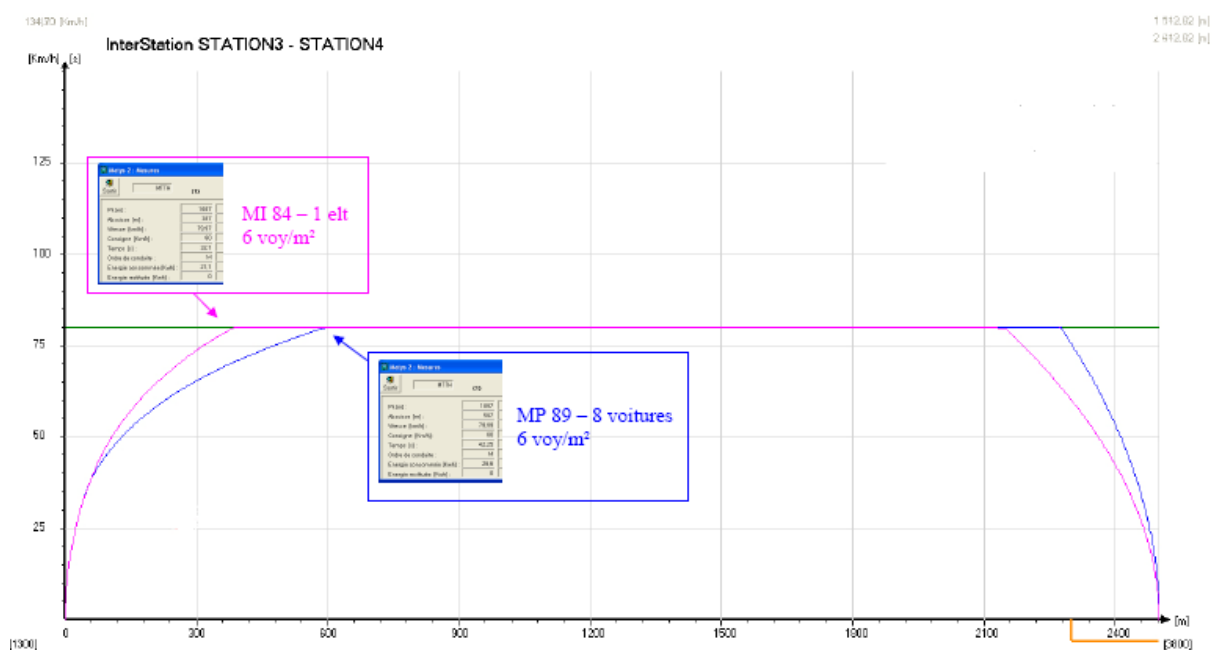
Les paramètres ayant une influence sur le résultat sont :

- t_a : temps d'accélération jusqu'à la vitesse V_{max} ;
- d_a : distance parcourue correspondante ;
- d_f : distance de freinage depuis la vitesse V_{max} avec une décélération constante γ_s ;
- $\Sigma d = d_a + d_f$;
- t_f : temps de freinage ;
- t_s : temps de stationnement.

Le temps de parcours de l'intergare est la somme :

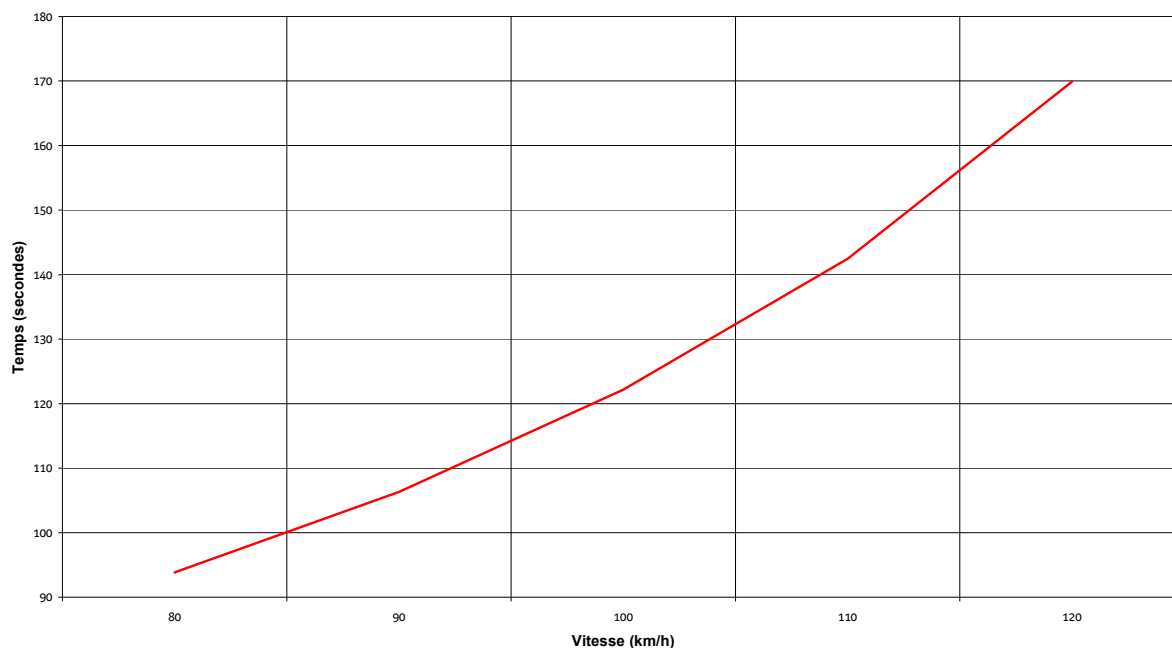
- des temps d'accélération et de freinage ;
- du temps de parcours à V_{max} de la longueur de l'intergare diminuée de Σd .

La comparaison entre les performances du matériel MI84 celles du matériel MP89 s'établissent ainsi :



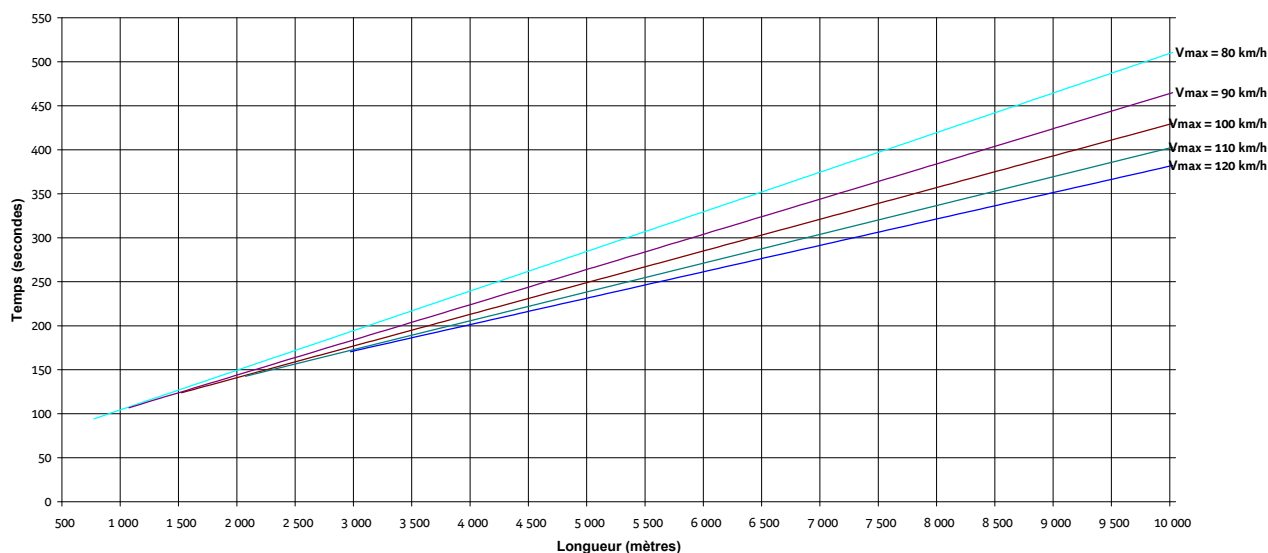
Les calculs de vitesse moyenne se font en incluant le temps de stationnement. La variation de la somme des temps d'accélération, de freinage et de stationnement, en fonction de la vitesse maximale, s'établit ainsi :

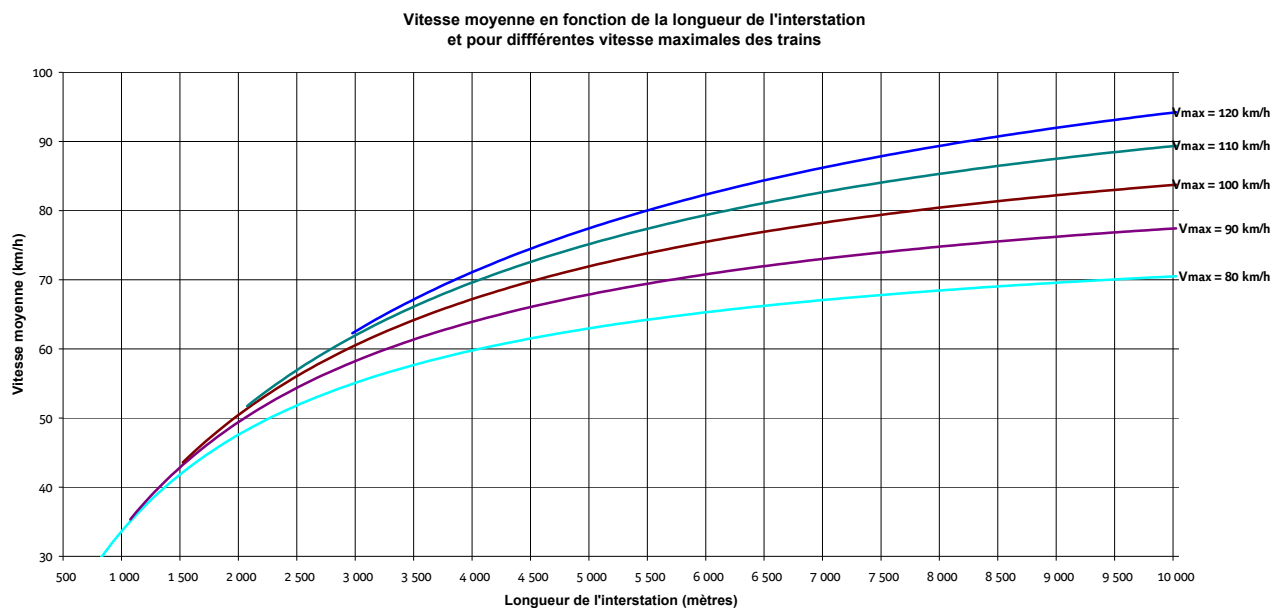
Temps d'accélération, de freinage et de stationnement en fonction de la vitesse maximale



Si on fait varier la longueur de l'intergare, on obtient, pour les temps de parcours et la vitesse moyenne les réseaux de courbes suivants :

Temps de parcours en fonction de la longueur de l'interstation






Ainsi, la vitesse moyenne de 60 km/h est atteinte pour des intergares de 4 050 m lorsque la vitesse maximale des trains est de 80 km/h, mais seulement en 2 800 m lorsque la vitesse maximale des trains est de 110 km/h.

Il est apparu plus opérationnel d'effectuer les calculs de temps de parcours sur la base des données anonymisées fournies le 27 octobre 2009.

Pour simplifier, lorsque la longueur de l'intergare ne permet pas d'atteindre V_{max} , c'est le temps de parcours correspondant à la V_{max} immédiatement inférieure qui est retenu.

GARES ANONYMISEES DE LA LIGNE BLEUE⁵

	V_{max}	80	90	100	110	120	
	$t_a + t_r + t_s$	93,8	106,3	122,2	142,5	169,9	
	Σd	740	1 035	1 453	2 045	2 929	
gare 1	5 820	322,5	297,7	279,4	266,0	256,7	
gare 2	5 620	313,5	289,7	272,2	259,5	250,7	
gare 3	3 030	196,9	186,1	178,9	174,7	173,0	
gare 4	5 530	309,4	286,1	268,9	256,5	248,0	
Mairie de St Ouen (M13)	1 480	127,2	124,1	123,1	123,1	123,1	
St Ouen (RER)	1 345	121,1	118,7	118,7	118,7	118,7	
Porte de Clichy (M13 T3)	1 325	120,2	117,9	117,9	117,9	117,9	
Saint-Lazare	2 545	175,1	166,7	161,5	158,8	158,8	
gare 5	2 167	158,1	151,6	147,9	146,4	146,4	
gare 6	1 740	138,9	134,5	132,5	132,5	132,5	
gare 7	3 930	237,4	222,1	211,3	204,1	200,0	
gare 8	1 971	149,3	143,7	140,8	140,8	140,8	
Orly TGV	2 291	163,7	156,5	152,3	150,5	150,5	
	Σ	38 794	2 533	2 395	2 306	2 250	2 217
			Δ	6%	10%	13%	14%
	Vitesse moyenne :	55,1	58,3	60,6	62,1	63,0	

 Vitesse maximale non atteinte

⁵ La ligne 14 est globalisée dans les données anonymisées. C'est pourquoi elle ne figure pas dans le tableau de la présente note.

GARES ANONYMISEES DE LA LIGNE VERTE

	V_{max}	80	90	100	110	120
	$t_a + t_r + t_s$	93,8	106,3	122,2	142,5	169,9
	Σd	740	1 035	1 453	2 045	2 929
gare 1	5 820	322,5	297,7	279,4	266,0	256,7
gare 2	5 620	313,5	289,7	272,2	259,5	250,7
gare 3	3 030	196,9	186,1	178,9	174,7	173,0
gare 4	5 530	309,4	286,1	268,9	256,5	248,0
gare 5	2 435	170,1	162,3	157,5	155,2	155,2
gare 6	1 368	122,1	119,6	119,6	119,6	119,6
gare 7	1 493	127,7	124,6	123,6	123,6	123,6
gare 8	3 613	223,1	209,4	199,9	193,8	190,4
gare 9	1 655	135,0	131,1	129,4	129,4	129,4
gare 10	3 802	231,6	217,0	206,7	200,0	196,1
gare 11	12 205	609,8	553,1	509,2	475,0	448,2
gare 12	9 948	508,2	462,8	428,0	401,1	380,5
gare 13	6 928	372,3	342,0	319,3	302,3	289,9
Orly TGV	7 749	409,3	374,9	348,8	329,1	314,5
Σ	71 196	4 052	3 756	3 542	3 386	3 276
		Δ	8%	14%	20%	24%
	Vitesse moyenne :	63,3	68,2	72,4	75,7	78,2

Vitesse maximale non atteinte

GARES ANONYMISEES DE LA LIGNE ROUGE

		V_{max}	80	90	100	110	120
		$t_a + t_r + t_s$	93,8	106,3	122,2	142,5	169,9
		Σd	740	1 035	1 453	2 045	2 929
gare 1	3 500	218,1	204,9	195,9	190,1	187,1	
gare 2	3 190	204,1	192,5	184,7	179,9	177,8	
gare 3	2 380	167,7	160,1	155,5	153,4	153,4	
gare 4	1 340	120,9	118,5	118,5	118,5	118,5	
gare 5	3 690	226,6	212,5	202,7	196,3	192,8	
gare 6	1 011	106,1	106,1	106,1	106,1	106,1	
gare 7	3 486	217,4	204,3	195,4	189,6	186,6	
gare 8	3 568	221,1	207,6	198,3	192,3	189,1	
gare 9	3 420	214,5	201,7	193,0	187,5	184,7	
gare 10	3 460	216,3	203,3	194,4	188,8	185,9	
gare 11	2 050	152,8	146,9	143,7	142,6	142,6	
gare 12	2 115	155,7	149,5	146,0	144,7	144,7	
gare 13	1 491	127,7	124,5	123,5	123,5	123,5	
gare 14	2 605	177,8	169,1	163,6	160,8	160,8	
gare 15	1 723	138,1	133,8	131,9	131,9	131,9	
gare 16	1 654	135,0	131,1	129,4	129,4	129,4	
gare 17	1 543	130,0	126,6	125,4	125,4	125,4	
gare 18	1 595	132,3	128,7	127,3	127,3	127,3	
gare 19	2 367	167,1	159,6	155,1	153,0	153,0	
gare 20	2 054	153,0	147,1	143,8	142,7	142,7	
gare 21	1 483	127,3	124,2	123,3	123,3	123,3	
gare 22	2 221	160,5	153,7	149,8	148,2	148,2	
gare 23	4 655	270,0	251,1	237,4	227,9	221,7	
La Défense (RER A et E)	3 520	219,0	205,7	196,6	190,7	187,7	
	Σ	60 121	4 159	3 963	3 841	3 774	3 744
			Δ	5%	8%	10%	11%
		Vitesse moyenne :	52,0	54,6	56,3	57,4	57,8

Vitesse maximale non atteinte

La synthèse s'établit ainsi :

		Temps de parcours et vitesses moyennes				
		vitesse max (km/h)				
		80	90	100	110	120
BLEUE	38 794 m	2 533	2 395	2 306	2 250	2 217
		Δ	6%	10%	13%	14%
	vitesse moyenne (km/h)	55	58	61	62	63
VERTE	71 196 m	4 052	3 756	3 542	3 386	3 276
		Δ	8%	14%	20%	24%
	vitesse moyenne (km/h)	63	68	72	76	78
ROUGE	60 121 m	4 159	3 963	3 841	3 774	3 744
		Δ	5%	8%	10%	11%
	vitesse moyenne (km/h)	52	55	56	57	58
Σ	170 111 m	10 743	10 115	9 689	9 409	9 237
		Δ	6%	11%	14%	16%

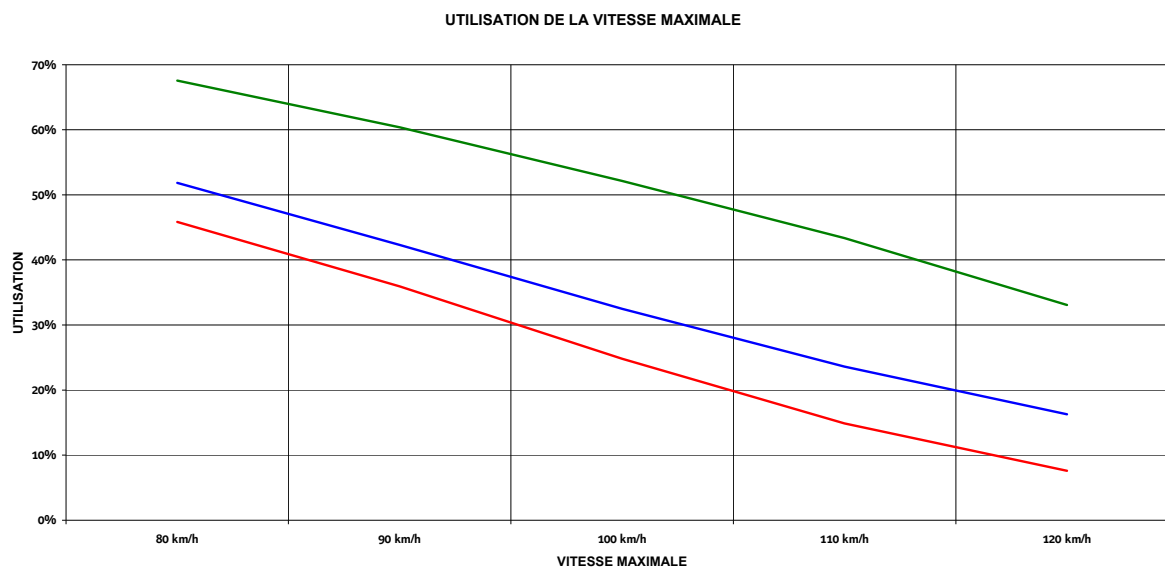
La lecture de ce tableau permet de tirer les conclusions suivantes⁶ :

- Globalement, le passage à 120 km/h procure un gain de 16 % sur les temps de parcours, donc également sur le parc.
- Le gain est particulièrement substantiel sur la ligne verte, avec une diminution d'un quart du temps de parcours et donc du parc. La vitesse moyenne atteint 78 km/h.
- Pour les lignes bleue et rouge, une part importante du gain est atteinte dès une V_{\max} de 100 km/h.

En complément, on peut indiquer la proportion du temps de parcours consacré à la circulation à la vitesse maximale :

		% du temps de circulation à V_{\max}				
Vitesse max (km/h)		80	90	100	110	120
BLEUE		52%	42%	32%	24%	16%
VERTE		68%	60%	52%	43%	33%
ROUGE		46%	36%	25%	15%	8%

⁶ Il convient de ne pas détacher ces conclusions des hypothèses utilisées pour les calculs, et notamment un matériel roulant fer ayant les performances dynamiques des MI84 et circulant en marche tendue.



Les conclusions ci-dessus correspondent à des temps de circulation à V_{max} du même ordre de grandeur, c'est-à-dire entre le quart et le tiers du temps de parcours.

Pour comparaison le tableau ci-dessous indique la proportion du temps de parcours à vitesse maximale sur la ligne 14 ($V_{max}=80\text{km}$ et matériel MP89).

Nom	Pk	Distance arrêt précédent	Temps stat.	Temps arrêt préc. MTT	temps à V_{max}	%age de temps à V_{max}
SAINT-LAZARE	10118	0	0	0		
MADELEINE	10848	730	25	57,9	0	0,00%
PYRAMIDES	11672	824	28	59,1	9	15,23%
CHATELET	12738	1066	33	72,3	15,4	21,30%
GARE DE LYON	15522	2784	33	150,1	87,9	58,56%
BERCY	16144	622	22	52,7	0	0,00%
COURS ST EMILION	17128	984	18	67,2	16,7	24,85%
BIBLIOTHEQUE F MITTERAND	17944	816	25	60	7,9	13,17%
OLYMPIADES	18740	796	30	62,4	0	0,00%
			TOTAUX	581,7	136,9	23,53%

Un comparatif de même nature sur les autres lignes de métro aurait peu de sens. D'une part de nombreux TIV voie (sinuosité du réseau) ou signalisation (vitesse optimisée pour l'intervalle) et d'autre part la faible longueur des intergares ne permettent pas aux trains de circuler à la vitesse maximale. Par exemple sur la ligne 2, il n'y a aucun TIV 70 km/h (V_{max} métro) et sur la ligne 4 les intergares sont tellement courtes qu'il est impossible aux trains d'atteindre le polygone de vitesse à 70 km/h.

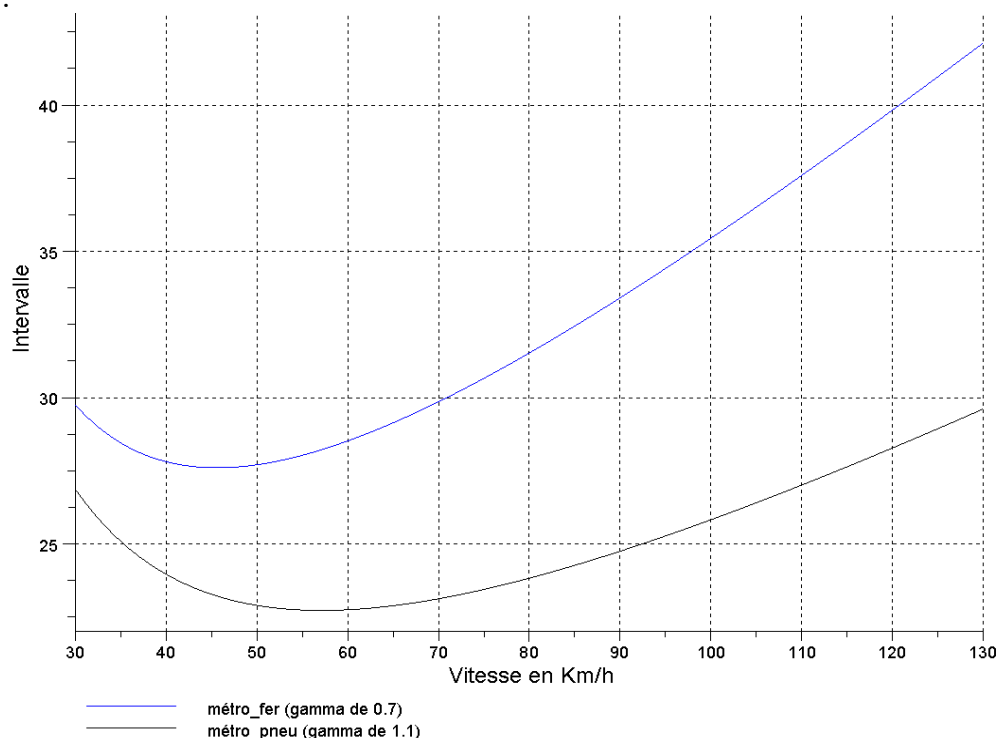
5. L'INTERVALLE ET LA VITESSE NE SONT PAS INDEPENDANTS.

Il est important de prendre en compte l'aspect signalisation et donc espacement des trains quand on considère la vitesse maximale admissible. En effet indépendamment du système de signalisation, lorsque la vitesse augmente, l'espacement sécuritaire des trains croît également. Il est donc intéressant de comparer vitesse maximale et intervalle dynamique afin d'en observer les conséquence d'une part et de définir la vitesse optimale pour un intervalle d'exploitation défini.

Deux considérations sont à prendre en compte : en intergare et en gare.

5.1. Intervalle en intergare

Sans rentrer dans le détail des calculs d'intervalle, qui sortent du cadre de cette note, on peut montrer que l'allure des courbes (modes pneu et fer) donnant l'intervalle d'un système de conduite de type cantonnement mobile en fonction de la vitesse, γ_s étant choisi comme paramètre, est la suivante :



Graphique 1 – Comparaison de l'intervalle dynamique pratique (mode métro pneu et fer) en fonction de la vitesse

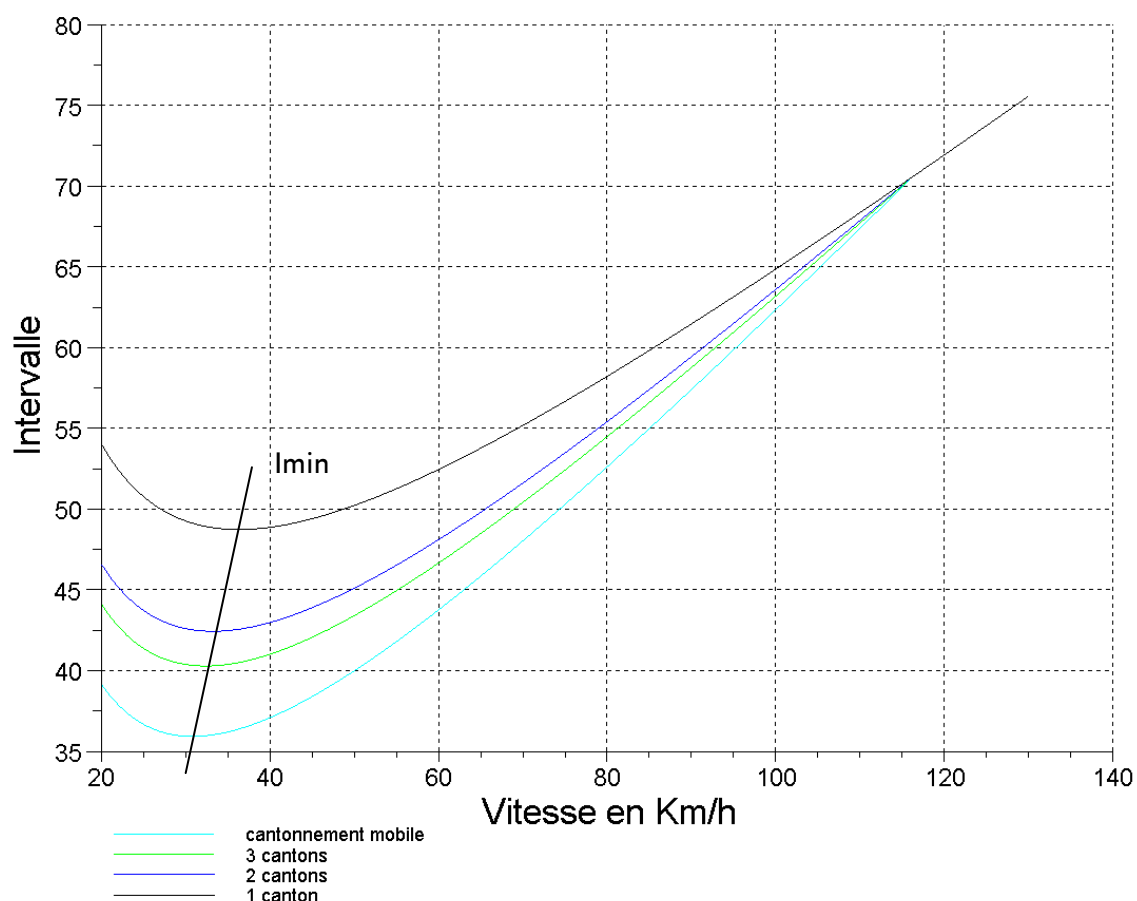
Vitesse (km/h)	optimale	80	90	100	110	120
Intervalle dynamique « pneu ($\gamma_s=1,1 \text{ m/s}^2$) » (s)	22,7 s pour 57,1 km/h	23,8	24,8	25,8	27,0	28,3
Intervalle dynamique « fer ($\gamma_s=0,7 \text{ m/s}^2$) » (s)	27,6 s pour 45,6 km/h	31,5	33,4	35,5	37,6	39,8

Tableau 1 – Valeurs particulières des courbes du graphique 2

Pour un intervalle donné, la vitesse optimale est d'autant plus élevée que le freinage est important (seule différence entre le métro pneu et fer). Il est donc intéressant de pouvoir disposer d'un freinage de service important.

5.2. Intervalle en gare.

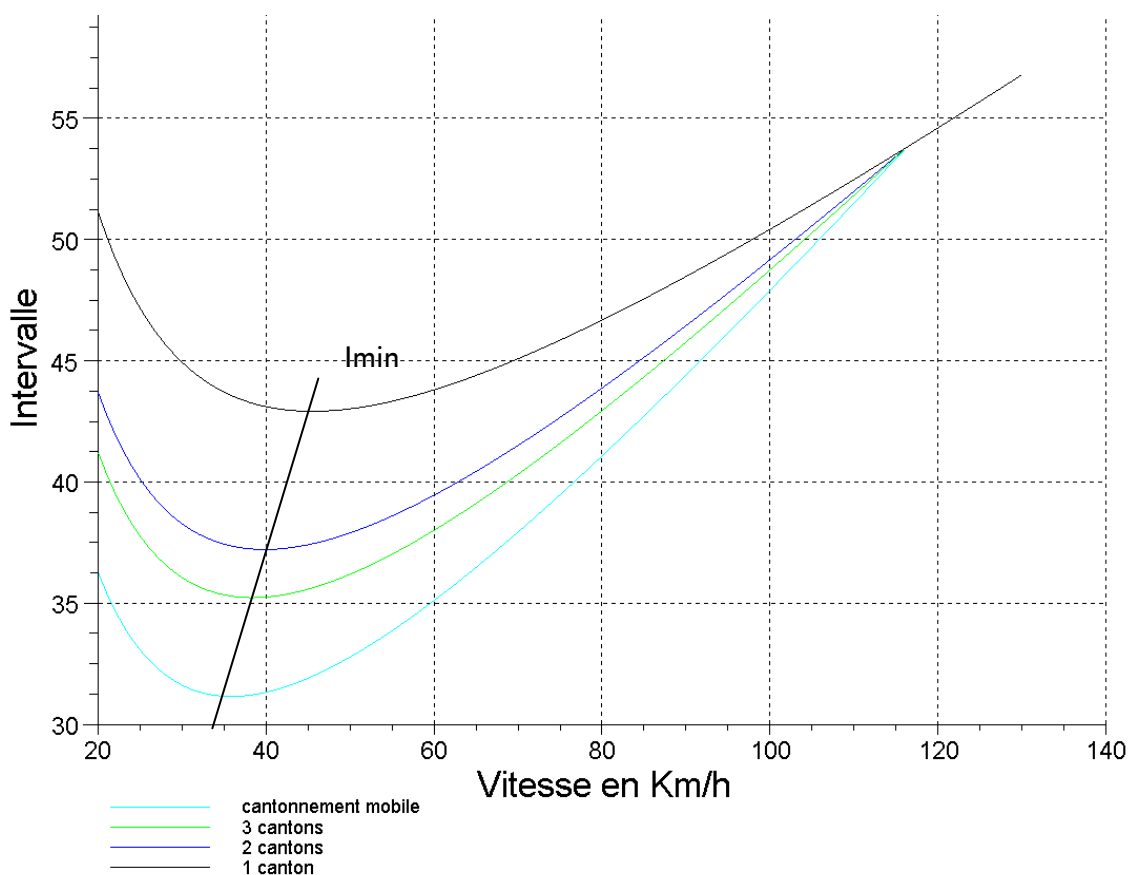
L'allure des courbes donnant l'intervalle en fonction de la vitesse, le nombre de sous-cantons à quai n étant choisi comme paramètre, est représenté sur le graphique 2 pour un matériel pneu sur le graphique 3 pour un matériel fer. L'accélération prise est de $0,9 \text{ m/s}^2$.



Graphique 2 – Intervalle en fonction de la vitesse pour différentes valeurs de n (nombre de sous cantons à quai), avec un matériel à roulement fer

Vitesse d'entrée (km/h)	optimale	40	60	70	80	90	100	110	120
Intervalle pour n=1	48,7 s pour 36,3 km/h	48,9	52,5	55,2	58,2	61,47	64,9	68,35	71,9
Intervalle pour n=2	42,4 s pour 33,2 km/h	43,0	48,1	51,6	55,4	59,43	63,6	67,86	71,9
Intervalle pour n=3	40,3 s pour 32,3 km/h	41,0	46,7	50,4	54,5	58,76	63,2	67,70	71,9
Intervalle pour n=∞ (cantonnement mobile)	35,9 s pour 30,8 km/h	37,1	43,8	48,0	52,6	57,40	62,3	67,37	71,9

Tableau 2 – Valeur particulières des courbes du graphique 2 (métro fer)



Graphique 3 – Intervalle en fonction de la vitesse pour différentes valeurs de n avec un matériel de type pneu

Vitesse d'entrée (km/h)	optimale	40	60	70	80	90	100	110	120
Intervalle pour n=1	42,9 s pour 45,5 km/h	43,1	43,8	45,1	46,7	48,5	50,4	52,5	54,6
Intervalle pour n=2	37,2 s pour 39,8 km/h	37,2	39,5	41,5	43,9	46,5	49,2	52,0	54,6
Intervalle pour n=3	35,2 s pour 38,3 km/h	35,3	38,0	40,3	42,9	45,8	48,7	51,8	54,6
Intervalle pour n=∞ (cantonnement mobile)	31,1 s pour 35,8 km/h	31,3	35,1	37,9	41,1	44,4	47,9	51,5	54,6

Tableau 3 – Valeur particulières des courbes du graphique 3 (métré pneu)

Globalement on peut noter que plus la vitesse augmente, moins l'écart entre le nombre de canton est significatif.

Ces deux tableaux donnent un intervalle purement théorique et il convient de rajouter certaines marges afin d'obtenir un intervalle dynamique pratique. Pour le cantonnement mobile, cela donne donc :

Vitesse d'entrée (km/h)	optimale	40	60	70	80	90	100	110	120
Intervalle pratique cantonnement mobile matériel pneu	33,4 s pour 36,7 km/h	33,5	37,0	39,8	42,9	46,2	49,7	53,2	56,8
Intervalle pratique cantonnement mobile matériel fer	38,3 s pour 31,6 km/h	39,3	45,7	49,9	54,5	59,2	64,1	69,1	74,2

Tableau 4 – Valeur particulières de l'intervalle pratique

5.3. Synthèse

A la suite de ces comparatifs, on peut observer qu'en gare que l'intervalle dynamique est le plus important. La vitesse en intergare agit donc finalement peu et cela, grâce au système de conduite de type cantonnement mobile qui, pour chaque vitesse donne un espacement minimum optimal.

6. VITESSE MAXIMALE, INTERVALLE ET MARGE D'EXPLOITATION

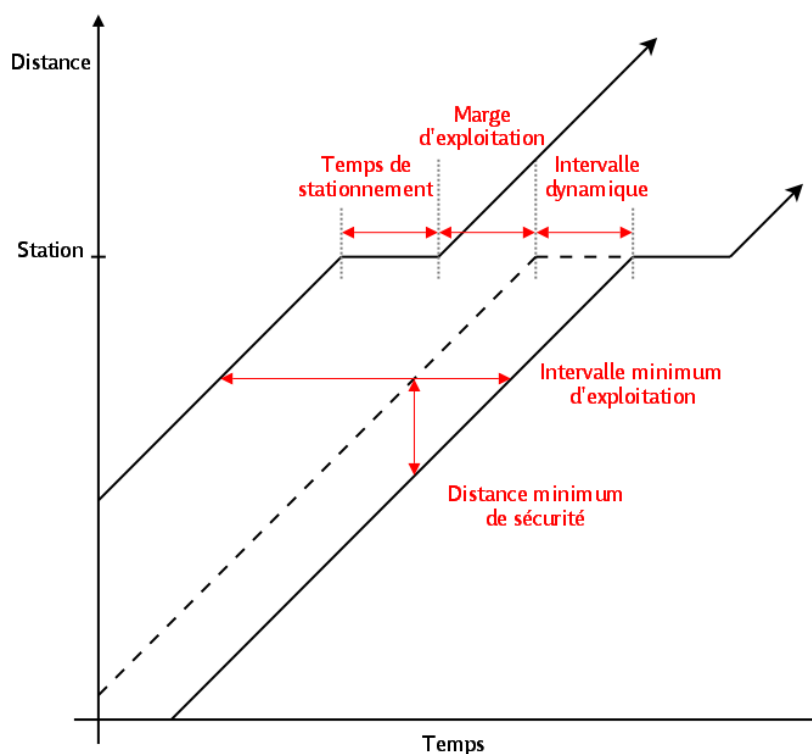
Avec les intervalles dynamiques définis précédemment, il est possible de les comparer avec les intervalles d'exploitations prévus pour le Métro Grand Paris et ainsi d'observer l'impact de l'augmentation de la vitesse sur les marges d'exploitations imaginées.

Selon la note MOT D 2010-5187 les intervalles minimaux sont les suivant :

Ligne bleue	85 secondes
Ligne verte	170 secondes
Ligne rouge	100 secondes

L'intervalle d'exploitation est composé de trois temps:

- L'intervalle dynamique (défini par le système de conduite) ;
- Le temps de stationnement (défini par la demande de transport de la gare considérée) ;
- Et la marge d'exploitation.



Représentation graphique des différents temps qui composent l'intervalle d'exploitation

Globalement les données d'entrée sont le temps de stationnement (demande de transport de la gare considérée) et l'intervalle dynamique qui est fixé par les performances du système de conduite (partie précédente).

La marge d'exploitation n'est donc pas constante sur toute la ligne, elle est fonction de la vitesse des trains et des temps de stationnement. Cette marge est essentielle car elle permet de donner une souplesse d'exploitation à la ligne afin d'absorber les micros perturbations quotidiennes et les incidents légers.

En reprenant les intervalles dynamiques calculés précédemment et en fixant un temps de stationnement théorique de 30 secondes uniforme⁷, on peut en déduire les marges d'exploitation disponibles sur chaque ligne du Métro Grand Paris.

6.1. Marges d'exploitation en intergare

En intergare, le temps de stationnement n'agit pas. On peut donc en théorie rapprocher les trains à la valeur de l'intervalle dynamique. Le tableau suivant présente les marges théoriques calculées en fonction de la vitesse maximale.

⁷ Cette valeur prise comme temps de stationnement est bien une valeur théorique (qui correspondrait à une station de correspondance), elle n'est donc surtout pas à retenir comme donnée d'entrée. Les valeurs réelles des temps de stationnement sont établies par comptage et ne sont donc jamais uniformes sur la ligne. Il faut également signaler qu'aujourd'hui le temps de stationnement de Gare de Lyon voie 2 Ligne 14 est de 35 secondes mais avec des trains de 6 voitures.

Matériel pneu				
Vitesse maximale (km/h)	Intervalle dynamique « pneu »	Marge ligne bleue (L=47 Km l=85s)	Marge ligne verte (L=71 Km l=170s)	Marge ligne rouge (L= 60 Km l=100s)
80	24 s	61 s	146 s	76 s
90	25 s	60 s	145 s	75 s
100	26 s	59 s	144 s	74 s
110	27 s	58 s	143 s	73 s
120	29 s	56 s	141 s	71 s
Matériel fer				
Vitesse maximale (km/h)	Intervalle dynamique « fer »	Marge ligne bleue (L=47 Km l=85s)	Marge ligne verte (L=71 Km l=170s)	Marge ligne rouge (L= 60 Km l=100s)
80	32 s	53 s	138 s	68 s
90	34 s	51 s	136 s	66 s
100	36 s	49 s	134 s	64 s
110	38 s	47 s	132 s	62 s
120	40 s	45 s	130 s	60 s

Tableau 4 – Marge d'exploitation en fonction de la vitesse

En intergare, les marges sont telles que pour n'importe quelle ligne il n'y a aucune contre-indication à circuler à la vitesse maximale.

6.2. Marges d'exploitation en gare

En gare le temps de stationnement entre en compte dans l'intervalle les marges d'exploitation deviennent ainsi :

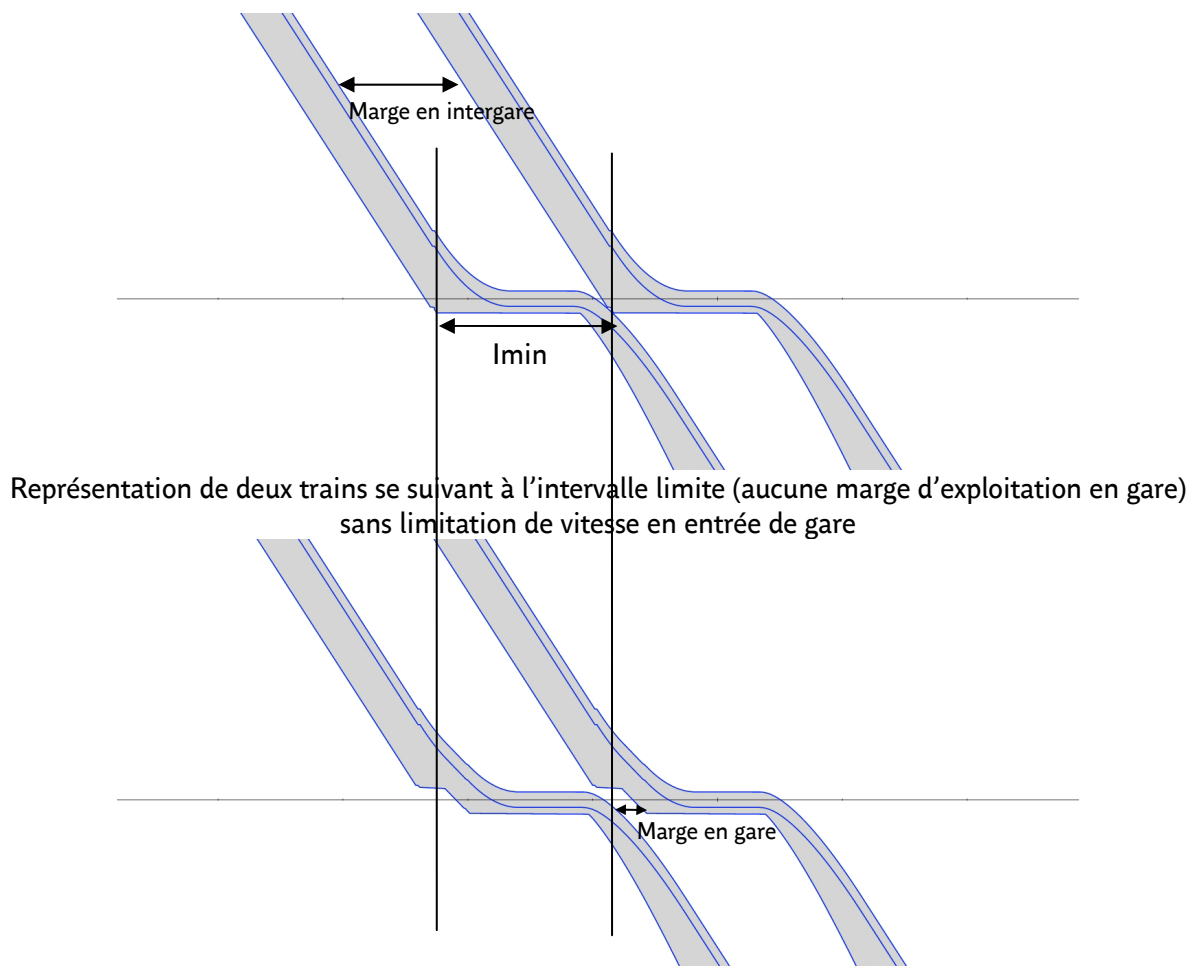
Matériel pneu				
Vitesse d'entrée de gare (km/h)	Intervalle dynamique « pneu »	Marge ligne bleue (L=47 Km l=85s)	Marge ligne verte (L=71 Km l=170s)	Marge ligne rouge (L= 60 Km l=100s)
40	34 s	21 s	106 s	36 s
60	37 s	18 s	103 s	33 s
70	40 s	15 s	100 s	30 s
80	43 s	12 s	97 s	27 s
90	47 s	8 s	93 s	23 s
100	50 s	5 s	90 s	20 s
110	54 s	1 s	86 s	16 s
120	57 s	impossible	84 s	14 s
Matériel fer				
Vitesse d'entrée de gare (km/h)	Intervalle dynamique « fer »	Marge ligne bleue (L=47 Km l=85s)	Marge ligne verte (L=71 Km l=170s)	Marge ligne rouge (L= 60 Km l=100s)
40	40 s	15 s	100 s	30 s
60	46 s	9 s	94 s	24 s

70	50 s	5 s	90 s	20 s
80	55 s	0 s	85 s	15 s
90	60 s	impossible	80 s	10 s
100	65 s	impossible	75 s	5 s
110	70 s	impossible	70 s	0 s
120	75 s	impossible	65 s	impossible

Tableau 5 – Marge d'exploitation en fonction de la vitesse

En analysant ces valeurs, on peut remarquer que c'est donc en gare qu'il est important de prêter attention à la valeur de l'intervalle dynamique. En intergare, étant affranchi du temps de stationnement, la marge d'exploitation sera en effet toujours conséquente. On observe une différence notable entre le fer et le pneu. Il faudra donc réduire radicalement la vitesse d'entrée pour avoir une marge d'exploitation convenable avec un roulement fer et un faible intervalle.

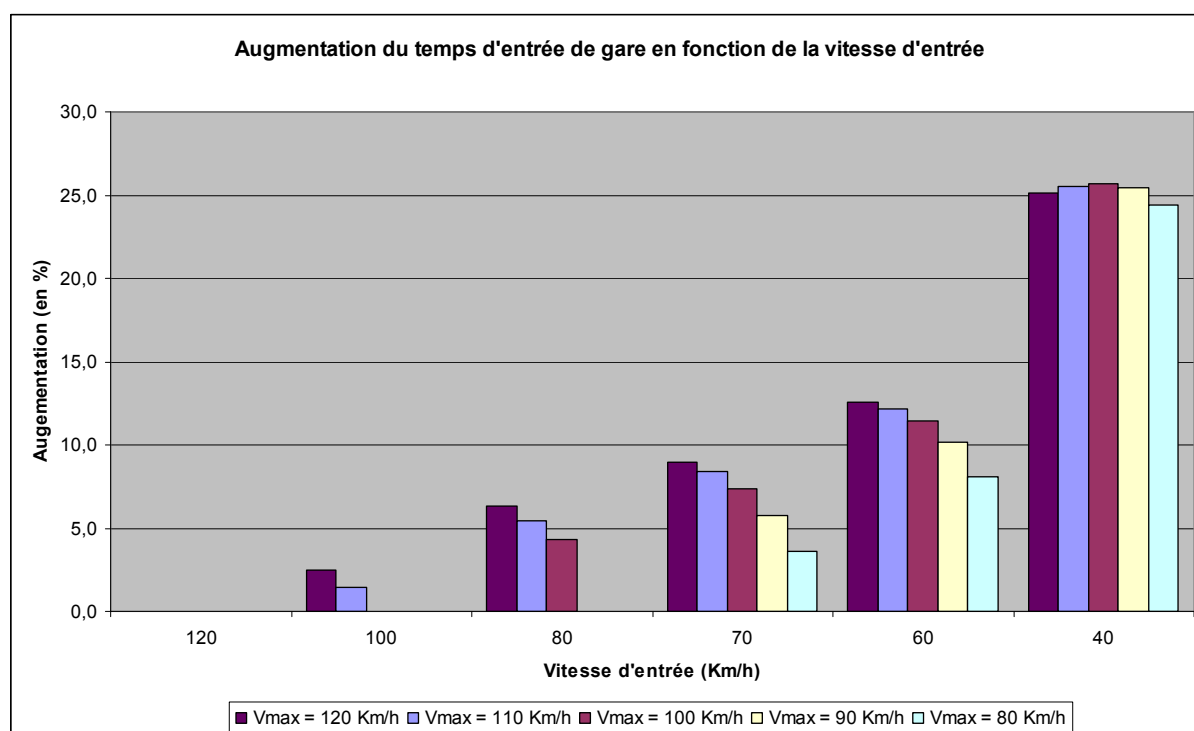
La figure ci-dessous illustre la différence de marge d'exploitation entre une gare sans limitation de vitesse d'entrée et une avec.



La limitation de vitesse en entrée de gare permet de dégager une marge d'exploitation très utile en gare. Cette limitation agit sur le temps d'entrée de gare qui est faible par rapport au temps de parcours d'une intergare (surtout quand elles sont longues). Le pourcentage d'augmentation de ce temps est tout de même présenté sur le graphique ci-dessous avec le tableau temps indiquant les temps d'entrée minimum.

Vmax (en Km/h)	120	110	100	90	80
Temps d'entrée min (mode pneu) en secondes	34,7	32,5	30,5	28,5	26,7
Temps d'entrée min (mode fer) en secondes	52,0	48,4	44,9	41,5	38,3

Temps minimum d'entrée de gare en fonction de la vitesse maximale



En synthèse, grâce à un système de conduite performant, les considérations relatives à la relation entre l'intervalle et la vitesse des trains ne remettent pas en cause les conclusions du paragraphe 4.

L'augmentation de la vitesse maximale sur le Métro Grand Paris est donc très intéressante jusqu'à un certain niveau. Sur les lignes bleue et rouge, l'augmentation du polygone est pertinente jusqu'à 100 km/h. Sur la ligne verte qui comporte les intergares les plus longues il est judicieux d'élever la vitesse maximale à 120 km/h. Toutefois, sur le tronç commun entre Pleyel-et Roissy, il est nécessaire que tous les trains aient la même vitesse maximale.