

Evaluation contingente du confort dans le métro parisien :

Deux courbes reliant « coût généralisé » des déplacements et densité de voyageurs en véhicule¹

Work in (very) Progress

Février 2012

Martin Koning

(Centre d'Economie de la Sorbonne, Paris 1)

Luke Haywood

(Paris School Economics, Paris 1)

Résumé :

Cet article a pour objectifs : 1) de valoriser le confort des déplacements dans le métro parisien à l'aide de la méthode d'évaluation contingente, le confort étant compris comme l'espace disponible dans les wagons, et 2) de proposer deux relations entre le « coût généralisé » d'utilisation de ce mode et la densité de passagers dans les véhicules. Reconnaître l'existence d'une telle « préférence pour le confort des déplacements » permet d'étudier les effets de la congestion dans les transports publics sur le bien-être individuel et collectif (Prud'homme et al. 2012). Alors même qu'elle nécessiterait une réelle attention de la part des décideurs publics, cette externalité est bien souvent négligée des analyses académiques et des pratiques des autorités organisant les transports urbains. Les études existantes, produites par des cabinets de conseils anglais ou australiens, concluent pourtant que le confort peut substantiellement modifier la désutilité des voyageurs (Wardman et Whelan 2011, Li et Hensher 2011).

Cet article exploite une riche enquête de terrain menée entre novembre et décembre 2010 sur les quais du métro parisien. A l'aide de la méthode d'évaluation contingente (Haab et McConnel 2003, Luchini 2003, Terra 2004), nous analysons les « préférences déclarées pour le confort » de 700 usagers des lignes 1 et 4 interrogés durant les heures de pointe (soir et matin). Etant données les évolutions récentes de la répartition modale dans la capitale française, étudier la congestion du métro parisien présente d'évidentes implications en termes de politiques des transports. Par ailleurs, cette enquête de terrain complète un précédent travail sur le confort des déplacements dans la ligne 1. Malgré certaines

¹ Cette recherche a reçu pour unique financement une aide du Centre d'Economie de la Sorbonne (axe « Institutions ») afin d'imprimer le matériel d'enquête. Les auteurs sont donc grandement reconnaissants aux nombreuses personnes (bénévoles) les ayant aidés lors de la récolte des questionnaires et le travail de comptage dans les trains, avec une mention particulière à Mélanie Babès (qui a pris part à l'élaboration du protocole et à la récolte), à Cécile Peillon (qui a aidé à réaliser le support visuel) et à Jérémy Boccanfuso (qui a complété le codage des données). Nous tenons également à remercier MM. Masure et Loknar (Ratp) pour l'accès aux données, ainsi que MM. Prud'homme et Hollard pour les divers conseils prodigués.

limites que nous tentons de combler ici, ce travail illustre déjà que les voyageurs accordent une grande importance à l'espace dont ils bénéficient dans les trains (Prud'homme et al. 2012, Haywood et Koning 2012). Dans cet article, nous retenons deux approches pour améliorer les connaissances sur la valeur du confort dans le métro parisien.

La première approche s'inspire des pratiques courantes en évaluation contingente. Elle consiste à approximer le « consentement à payer pour le confort » à l'aide d'enchères confrontant les voyageurs à des déplacements (hypothétiques) plus confortables, mais plus longs. Un des avantages de cette approche réside dans la prise en compte d'éventuels biais psychologiques liés à la première enchère proposée (« starting point biases », Whitehead 2002, Flachaire et Hollard 2007). La seconde approche trouve quant à elle ses sources en économie des transports. Elle valorise le confort des déplacements en estimant les paramètres de la fonction d'utilité des voyageurs. Il est alors possible d'obtenir un taux marginal de substitution entre temps de déplacement inconfortables et confortables. Appliqué à la durée d'un déplacement en métro, ce taux marginal de substitution permet de majorer le « coût généralisé » selon le niveau de fréquentation dans les trains (Whelan et Crockett 2009, Wardman et Whelan 2011).

L'étude économétrique illustre que les « préférences déclarées pour le confort » plébiscitent cette dimension des voyages, quelle que soit l'approche retenue. Alors que les réponses individuelles ne semblent pas être faussées par les « biais de première enchère », les voyageurs des lignes 1 et 4 concèdent un temps de déplacement additionnel de 6,6-6,9 minutes en moyenne pour bénéficier d'une baisse de la densité de passagers dans les trains de 60-70%. Une fois monétarisé à l'aide d'un coût d'opportunité du temps individualisé, le « consentement à payer pour le confort » atteint 1,02-1,18 euro par déplacement, soit plus du double des contributions monétaires actuelles des usagers. Par ailleurs, les « variations équivalentes du temps de déplacement » (ou des ressources allouées aux transports) sont significativement supérieures pour les utilisateurs de la ligne 1 (plus congestionnée) et pour les personnes interrogées le soir (car pouvant certainement ajuster plus facilement leurs horaires d'arrivée à destination). Enfin, on observe bien une relation croissante entre le montant des ressources temporelles « sacrifiées » par les usagers du métro parisien et le niveau de confort auquel ils s'attendent être confrontés dans les wagons. La seconde approche permet de préciser cette relation entre « coût généralisé » et densité de passagers dans les véhicules. Les calculs préliminaires montrent que le taux marginal de substitution entre temps de déplacements inconfortables et confortables passe progressivement de 1,1 à 1,6 lorsque la densité de passagers augmente de 2 voy/m² à 6 voy/m². A l'instar des déplacements automobiles, l'utilisation des métros semble donc fortement marquée par une externalité de congestion. Les apports empiriques de cet article doivent permettre de mieux intégrer cette dimension des transports urbains ferrés à l'analyse du bien-être individuel et collectif, notamment dans le cas parisien.

1- Introduction

En matière de politiques des transports urbains, on peut raisonnablement avancer que la réduction du trafic automobile constitue un objectif actuellement partagé par les autorités publiques de tous bords, qu'elles soient locales, nationales ou supra-nationales (CAS 2008, CE 2007, OCDE 2003). D'un point de vue normatif, les nombreuses externalités négatives que les voitures infligent à la société (congestion, CO₂ et autres polluants, accidents, bruits) justifient en effet des interventions correctrices minimisant les pertes de bien-être collectif (de Palma et Zaouali 2007, Quinet 2004, Parry et al. 2007). Ces interventions reposent le plus souvent sur une modification du « coût généralisé » d'utilisation des voitures (temps et argent) incitant les automobilistes à opter pour des modes alternatifs, les transports publics notamment (Bonnafous 2004). Les exemples de Londres ou de Stockholm, villes ayant instauré un « péage de congestion » (« régulation par les prix »), montrent ainsi que des politiques des transports actives peuvent induire un important recul de l'automobilité (Eliasson 2009, Santos et Bharkard 2006). Bien qu'il constitue souvent un objectif affiché, il se peut toutefois qu'un report modal trop important de la voiture vers les transports publics ait des conséquences néfastes sur le bien-être collectif. Ceci semble notamment vrai pour les agglomérations urbaines dont le réseau de transports publics repose majoritairement sur les métros, mode caractérisé par une faible élasticité de l'offre en raison des coûts financiers des infrastructures et/ou de la topographie des zones concernées.

Dans ces villes, une forte croissance de la demande de métros peut ainsi engendrer une congestion du réseau de transports publics. A l'extrême, celui-ci se transforme en un « goulot » et il devient impossible pour les voyageurs d'accéder aux quais et aux wagons, phénomène induisant d'autant plus de pertes de temps que le trafic est nécessairement ralenti (Kraus 2003, Kraus et Yoshida 2002, Arnott et Yan 2000, TRB 1999, Leurent et Liu 2009). Il semblerait cependant que le « coût généralisé » d'utilisation du métro augmente avec le nombre de passagers dans les trains, avant même que le réseau ait atteint un tel niveau de « saturation ». En considérant que les voyageurs présentent une « préférence pour le confort », on comprend en effet qu'une externalité de congestion vient accroître la désutilité de leurs déplacements. Une densité de passagers dans les wagons trop importante implique ainsi que de nombreuses personnes ne puissent pas s'asseoir durant leurs déplacements et/ou « subissent », parfois physiquement, la « tyrannie d'autrui » dans les véhicules. Un tel phénomène d'encombrement augmente alors le stress des voyageurs, les risques de vols ou de chute (Cantwell et al. 2009, Evans et Wener 2007, Wener et al. 2005, Cox et al. 2006). Il empêche également une utilisation polychronique du temps de transport et peut engendrer des préoccupations « hygiénistes » chez les usagers des transports publics. Analysant les « préférences déclarées » de 700 utilisateurs du métro parisien à

l'aide de la méthode d'évaluation contingente, cet article a pour but d'étudier ce second type de congestion.

A l'instar de certains travaux récents, nous pensons que le confort, compris comme l'espace disponible dans les trains, doit être intégré au « coût généralisé » des déplacements. Bien qu'elle ait été mise en évidence théoriquement depuis Kraus (1991), ou estimée par des cabinets de conseils anglais et australiens depuis plus de vingt ans (Li et Hensher 2001, Wardman et Whelan 2011, Whelan et Crockett 2009, Douglas et Karpouzis 2006), la valeur du confort reste largement sous-étudiée en économie des transports. Ainsi, les travaux empiriques traitant de la « répartition modale optimale » dans les transports urbains négligent le plus souvent ces pertes de bien-être individuel et collectif (de Palma et Lindsey 2006, Parry et Small 2009, Proost et Van Dender 2008). Il faut dire que depuis deux décennies, l'accent a surtout été mis sur les « bénéfiques », notamment qualitatifs, des transports publics via à vis des véhicules automobiles (Litman 2008, Macket et al. 2004, Li 2003, Wardman 2004). Surtout, une fréquentation plus importante des réseaux de transports publics devait permettre de profiter d'économies d'échelle augmentant leur attractivité (Mohring 1972, Proost et Van Dender 2008). Les implications de politiques publiques liées à une bonne prise en compte du confort des déplacements sont pourtant nombreuses. Au-delà de son influence dans les modélisations de choix modal ou d'affectation du réseau, le confort constitue vraisemblablement un argument à intégrer aux analyses coûts-bénéfices censées évaluer les projets d'infrastructures (et guider les décisions publiques en la matière). Considérer une telle dimension qualitative des voyages pourrait également améliorer certains choix contractuels passés entre une autorité régulatrice et un opérateur de transport.

Etudier les « préférences déclarées » des usagers du métro parisien apparaît pertinent pour au moins deux raisons supplémentaires. Précisons tout d'abord que la situation parisienne concorde parfaitement avec les propos précédents en faveur d'une réelle prise en compte du confort des déplacements en économie des transports. Depuis 10 ans maintenant, l'équipe municipale mène ainsi une politique « anti-voiture » des plus actives consistant essentiellement à restreindre l'espace public accessible aux automobiles et à le réallouer aux mobilités plus « propres » ou plus « douces » (dont l'offre a été élargie, voir Koning 2011). Il est indéniable que cette politique de « régulation par les quantités » (Prud'homme et Kopp 2008) a réussi à réduire considérablement le trafic automobile dans Paris (-24% de kilomètres parcourus entre 2000 et 2007) et, simultanément, à promouvoir l'utilisation des métros et des trains régionaux (environ +13% de kilomètres parcourus entre 2000 et 2007 pour les deux types de réseau ferré, voir Koning 2011). L'offre de transports ferrés (dans ou intéressant Paris) n'ayant pu suivre le même rythme que la progression de la demande, on a toutefois observé une dégradation des conditions de déplacement, sur les routes donc, mais également sous terre. Cette évolution fut largement décriée durant les débats entourant les dernières élections locales (municipales en 2008 ou régionales en 2010) ou reportée par diverses études qualitatives sur les conditions de transports en Ile-

de-France (Technologia 2010, Orstif 2010). Si la situation est aujourd'hui critique sur certains tronçons du réseau régional, faisant craindre à certains sa « saturation » prochaine, le niveau actuel d'utilisation des métros parisiens ne semble toutefois pas infliger de réelles pertes de temps aux voyageurs, mais bien des pertes de confort. Il s'agit donc d'une bonne étude de cas pour valoriser les pertes de bien-être imputables à l'externalité de congestion dans les métros. Soulignons par ailleurs que notre étude complète une première enquête de terrain, menée en 2009, sur la valorisation du confort des déplacements dans le métro parisien (Prud'homme et al.2012, Haywood et Koning 2012). Si l'analyse précédente avait mis en lumière les enjeux liés à une fréquentation excessive des métros dans le cœur de l'agglomération francilienne, elle comportait certaines limites que nous souhaitons combler ici.

Le reste de l'article est organisé comme suit. Dans la Section 2, nous revenons tout d'abord sur le cadre de base retenu pour valoriser le confort des déplacements en métro. Ainsi, nous présentons les grands principes sous-jacents à la méthode d'évaluation contingente (Luchini 2003, Haab et McConnel 2003, Terra 2004). Développé en économie de l'environnement pour valoriser les biens « hors-marché », cet outil consiste à proposer différents scénarios hypothétiques aux individus en vue d'éluder leur « consentement à payer ». Afin d'illustrer nos propos, nous détaillons les résultats de la première étude sur la valorisation du confort dans le métro parisien, ainsi que ses principales limites. La Section 3 décrit ensuite la nouvelle enquête de terrain menée entre novembre et décembre 2010, sur les quais des lignes 1 et 4, auprès de 1000 usagers interrogés durant les heures de pointe du matin et du soir. Nous précisons les diverses améliorations apportées au protocole d'enquête, notamment celles liées aux changements de confort proposés aux voyageurs ou aux enchères dont ils devront s'acquitter afin de bénéficier de conditions de voyage plus confortables. Complétée d'un travail de comptage des voyageurs dans les trains, cette enquête de terrain représente un riche support empirique nous permettant de proposer deux approches pour valoriser le confort des déplacements en métro. La Section 4 développe la première approche. Inspirée des pratiques courantes en économie de l'environnement, elle consiste à estimer directement le « consentement à payer pour le confort » des voyageurs. Ce travail permet notamment de contrôler les éventuels biais psychologiques liés à la première enchère proposée aux individus et pouvant fausser les réponses aux scénarios hypothétiques (« starting point biases », Whitehead 2002, Flachaire et Hollard 2007). La seconde approche, présentée dans la Section 5, trouve quant à elle ses sources en économie des transports. A l'instar des études des cabinets de conseils anglais ou australiens (Whelan et Crockett 2009, Douglas et Karpouzis 2006), cette approche valorise le confort des déplacements via les coefficients de la fonction d'utilité estimés à l'aide des réponses individuelles. Nous ponctons chacune de ces deux sections en proposant une fonction reliant le « coût généralisé » des déplacements en métro et la densité de passagers dans les wagons. La Section 6 conclut et ouvre des pistes de recherche futures.

2- Résumé de l'épisode précédent

2.1 – Principes de base

Pour valoriser le confort des déplacements en métro, il peut être approprié d'utiliser la théorie microéconomique du consommateur. Considérons un voyageur i retirant une utilité U_{ij} d'un déplacement (pour une paire origine-destination donnée). Cette utilité est fonction des dépenses monétaires engagées p_i , du temps de voyage nécessaire t_i , du confort dans les véhicules c_j ainsi que de caractéristiques individuelles X_i . Les deux premiers arguments de la fonction d'utilité (temps et argent) représentent classiquement le « coût généralisé » du déplacement, une fois le temps de transport valorisé à son coût d'opportunité. Comme expliqué précédemment, cette variable est primordiale en économie des transports : l'évolution du « coût généralisé » guide ainsi les individus dans leurs choix de routes ou de modes de transports (De Borger et Fosgerau 2008, Verhoef et Small 2007, Bonnafous 2004).

Dans cet article, nous souhaitons différencier le « coût généralisé » d'utilisation du métro selon le niveau de confort auquel sont confrontés les voyageurs dans les trains. Si l'« état de la nature » $j = 1$ est plus confortable que celui $j = 0$ ($c_1 > c_0$), toute chose égale par ailleurs, on peut supposer que :

$$(1) U_{i1}(p_i, t_i, c_1, X_i) > U_{i0}(p_i, t_i, c_0, X_i)$$

Analysant le discours des individus à l'aide de questionnaires (« préférences déclarées »), plutôt que leurs comportements effectifs (« préférences révélées »), la méthode d'évaluation contingente a pour but d'estimer le « consentement à payer pour le confort » (CAP_i) : le montant des ressources que doit sacrifier l'individu i afin d'être indifférent entre les deux « états de la nature ». Pour ce faire, les enquêteurs présentent des conditions de voyage hypothétiques, i.e. des déplacements plus confortables généralement, dont bénéficieront les individus s'ils acceptent de verser une contribution. Cette contribution est approximée grâce à des enchères qui leurs sont proposées. Même si elle réduit la précision des CAP_i , une procédure reposant sur l'analyse de choix « discrets » possède un plus grand pouvoir incitatif qu'une procédure reposant des questions « ouvertes » (car se rapprochant des décisions que doivent quotidiennement prendre les individus, Luchini 2003, Haab et McConnel 2003). Notons également qu'une mesure alternative du bien-être lié au confort des déplacements pourrait provenir du « consentement à recevoir », i.e. le montant des ressources que doit recevoir un individu dans le cas où le scénario hypothétique présente des conditions de déplacement plus inconfortables.

Comme le « véhicule de paiement » des enchères retenu en économie des transports repose le plus souvent sur le temps, et non sur l'argent (voir Wardman et Whelan 2011), on recherche donc la « variation équivalente du temps de déplacement qui rend les individus indifférents entre les deux niveaux de confort dans les trains » :

$$(2) \quad U_{i1}(p_i, t_i, c_1, X_i) = U_{i0}(p_i, t_i + CAP_i, c_0, X_i)$$

Utiliser des enchères temporelles plutôt que monétaires présente des avantages certains pour étudier des discours individuels. Ces discours sont, par définition, hypothétiques. Ils peuvent donc grandement différer des intentions réelles des voyageurs (Luchini 2003). Proposer un « arbitrage entre temps et confort » permet dans ce cadre de réduire le « biais stratégique » : le temps étant une contribution purement individuelle, il y a moins de possibilités de « free-riding ». Surtout, le « biais hypothétique » s'en trouve considérablement atténué : il est fréquent de voir des gens laisser passer un métro bondé et attendre le suivant (qu'ils espèrent plus confortable). Cette pratique aide donc à rendre plus crédibles les réponses des voyageurs aux enchères².

Inscrit dans ce cadre général, cet article présente deux approches pour valoriser le confort dans le métro parisien. Ce travail doit ensuite nous permettre de relier le « coût généralisé » des déplacements au niveau de fréquentation dans les véhicules. Cette relation « technique » pourra servir à étudier ultérieurement la congestion dans les transports publics, à l'instar de la relation « vitesse-débit-densité » utilisée pour décrire les capacités d'accueil des routes (Verhoef et Small 2007). La première approche (Section 4) s'inspire des pratiques courantes en évaluation contingente. La seconde approche trouve quant à elle ses sources en économie des transports, notamment dans les études des cabinets de conseils anglais ou australiens s'étant intéressés les premiers à la valorisation du confort (Section 5). Comme souligné en Conclusion, un futur effort devra porter sur la compréhension des interdépendances entre ces deux approches.

2.2 – Une approche reposant sur la méthode d'évaluation contingente

A l'instar de certaines évaluations contingentes sur les biens environnementaux, il est tout d'abord possible d'approximer directement le CAP_i (Habb et McConnel 2003, Terra 2004) :

$$(3) \quad CAP_i = \beta X_i + u_i \quad u_i \sim N(0, \sigma^2)$$

² Utiliser des enchères monétaires prenant la forme d'augmentation des titres de transport nécessiterait par ailleurs de multiples informations, longues à récolter (quel type d'abonnement ? remboursement ?).

Le choix des variables explicatives X_i provient soit d'une forme structurelle issue d'une fonction d'utilité sous-jacente, soit d'un choix arbitraire du modélisateur. Dans ce dernier cas, il est courant de supposer une forme linéaire ou exponentielle pour le CAP_i (Haab et McConnel 2003). Concernant l'étude du confort des déplacements, on considèrera comme principales variables explicatives la durée du voyage dans le métro (plus le déplacement est long et plus le manque de confort est préjudiciable pour les individus, donc le CAP_i devrait être plus important) ainsi que les changements hypothétiques de confort dans les véhicules (caractérisés par une « situation de référence » vécue par les usagers, et des situations plus confortables). On peut également prendre en compte diverses caractéristiques individuelles telles que le motif du déplacement, la possession de voiture comme mode de transport alternatif, l'âge, le genre, la catégorie socio-professionnelle, le revenu, la commune de résidence.

Si l'individu accepte l'enchère E_i qui lui a été proposée, on estime alors la probabilité qu'il ait répondu « Oui » avec des modèles « probit » ou « logit », appropriés pour l'analyse des choix « discrets » (« single bounded bid ») :

$$(4) \quad P(Oui) = P(CAP_i > E_i) = \phi \left[\alpha X_i - \frac{1}{\sigma} E_i \right]$$

Où $\alpha = \beta/\sigma$ et ϕ représente la fonction de densité du terme d'erreur (Normale ou Logistique).

A la suite de cette première réponse, il est généralement conseillé de prolonger l'enquête et d'ajuster les enchères. Aux individus ayant accepté la première offre, on propose ainsi un montant supérieur, i.e. inférieur en cas de refus initial. Malgré les biais liés à la première enchère et les incohérences qu'il peut induire (« starting point biases », voir la Section 4), le système de « double bounded bids » est censé réduire l'intervalle de confiance des CAP_i moyens (Flachaire et Hollard 2007, Haab et McConnel 2003). Le choix de la valeur tutélaire à considérer par les décideurs publics s'en donc trouve plus aisé. Tout comme celui de la fonction reliant « coût généralisé » des déplacements et densité de voyageurs dans les véhicules.

Exprimées d'abord en minutes de déplacement additionnel, les « préférences déclarées pour le confort » peuvent néanmoins prendre diverses formes (Li et Hensher 2011, Wardman et Whelan 2011). Celles d'équivalents monétaires par exemple. Il suffit pour cela de multiplier les enchères (en minutes) par le coût d'opportunité du temps préconisé par le Rapport Boiteux (2001) ou par celui que l'on peut déduire du revenu individuel. Afin de faciliter la transférabilité des résultats entre les individus, il est toutefois recommandé de valoriser le confort au travers d'un « coefficient de pénibilité », i.e. « time multiplier » dans la littérature anglo-saxonne (Li et Hensher 2011, Wardman et Whelan 2011). Appliqué à la durée des voyages, ce coefficient permet de majorer le « coût généralisé » pour prendre en compte les effets de congestion dans les véhicules. La seconde approche, présentée dans la Section 5, aboutit directement à de telles valorisations du confort et propose des taux

marginiaux de substitution entre temps de déplacement inconfortables et confortables. L'équation (4) pourrait cependant constituer une alternative crédible pour étudier le « coefficient de pénibilité ». En normalisant l'enchère par la durée du déplacement en véhicule, on peut en effet estimer la probabilité qu'un individu ait accepté le scénario hypothétique comme étant une fonction d'une hausse de (E_i/t_i) % du budget temporel alloué aux transports. Cette hausse du budget temporel peut être vue comme un taux d'échange.

2.2 – La première étude dans la ligne 1

Une première étude sur la valeur du confort dans le métro parisien fut menée en avril-mai 2009, sur les quais de la ligne 1. Cette enquête de terrain a servi de support à deux articles de recherche (Prud'homme et al. 2012, Haywood et Koning 2012). Traversant Paris d'Est en Ouest et reliant la capitale à sa proche Couronne, la ligne 1 constitue un élément central du réseau de métros. En raison de l'attractivité des zones desservies (La Défense, le Louvres, Bastille, Gare de Lyon...), d'un déséquilibre croissant entre zones d'emplois (à l'Ouest) et de résidences (à l'Est) (Pinçon et Pinçon-Charlot 2008), mais également de capacités d'accueil considérables, la ligne 1 rencontre la plus forte fréquentation du réseau parisien. Elle apparaît donc représentative des enjeux liés à une bonne prise en compte par les autorités franciliennes (et par les chercheurs) de la congestion dans les transports publics.

A l'époque, plus de 600 voyageurs avaient été interrogés durant les pointes matinales (7h30-10h), sur les quais de 5 stations en direction de la Défense. L'interview se déroulait entre le passage de deux métros, la haute fréquence des trains (1 minute 45 secondes) limitant à 10 le nombre de questions posées. Conformément aux propos précédents, les utilisateurs se voyaient proposer des déplacements plus longs, mais plus confortables : « Pour bénéficier, durant les heures de pointe, du niveau de densité dans les trains des heures creuses, seriez-vous prêt à rallonger votre déplacement de X minutes ? ». L'enchère initiale était fixée à 5 minutes, puis augmentait de 5 minutes jusqu'à l'offre maximale de 20 minutes. Les itérations stoppaient au premier refus ("multiple bounded bids" avec uniquement des phases ascendantes).

Les réponses des voyageurs de la ligne 1 à « l'arbitrage entre temps et confort » étaient unanimes : plus de 75% des individus ont accepté d'augmenter d'au moins 5 minutes leur déplacement pour voir amélioré de 85% le confort dans les trains³. Suivant le traitement des intervalles induits par les enchères, la « variation équivalente du temps de transport » était en moyenne de 5,7-8,1 minutes par

³ La densité de passagers dans la ligne 1 a été estimée par Haywood et Koning (2012) à 2,4 voy/m² pendant les heures de pointe, contre 1,3 voy/m² pendant les heures creuses. L'amélioration hypothétique de confort est donc de 85% environ.

déplacement. Ceci correspond à une augmentation du budget temporel alloué aux déplacements de 29-43%, cette proxy du « coefficient de pénibilité » dépassant même 100% pour 10% des voyages environ. En utilisant des valeurs du temps individualisées, le « consentement à payer pour le confort » atteint 1,01-1,46 euro par déplacement, soit plus du double des contributions monétaires individuelles avant éventuel remboursement de la part des employeurs.

Ces valorisations du confort sont cohérentes avec les quelques études existantes sur le sujet, même si elles en constituent une borne inférieure et découlent de procédures de calculs quelque peu différentes. Wardman et Whelan (2011) ou Li et Hensher (2011) rapportent ainsi que les études des cabinets de conseils australiens ou anglais aboutissent parfois à un doublement du « coût généralisé » des déplacements lorsque les voyageurs sont dans une situation « debout très serré ». Il est par ailleurs notable que ces premiers résultats sur le métro parisien sont proches de ceux (indirectement) trouvés par Debrincat et al. (2006) pour le réseau ferré francilien. Leur « coefficient de pénibilité » oscille ainsi entre 1,3 et 1,6 selon le niveau de fréquentation dans les trains (« debout » et « debout serré »). Surtout, ces valeurs du confort ne diffèrent pas foncièrement de la majoration du coût d'opportunité du temps de 50% arbitrairement préconisée par le rapport Boiteux (2001) lorsque les voyageurs ne peuvent pas s'asseoir dans les trains. Bien qu'elle soit imparfaite, car ne reposant sur aucune étude empirique, précisons que cette dernière valorisation est celle devant aujourd'hui être retenue en France dans le cadre des évaluations des politiques de transport.

Concernant les déterminants des « préférences déclarées pour le confort », les estimations économétriques (menées avec un « logit ordonné ») montrent que les réponses dépendent très peu des caractéristiques individuelles non liées au déplacement. Ou alors indirectement. Parmi celles-ci, seule une note subjectivement attribuée par les usagers pour décrire le confort de leurs voyages dans la ligne 1 joue significativement sur le nombre de minutes « échangées » contre plus de confort⁴. Les principales variables influençant les valorisations du confort sont liées à la durée du déplacement dans la ligne 1 et à la densité de voyageurs dans les wagons, comptée depuis les quais aux moments des interviews (au début des voyages par conséquent). Pour les estimations du « sur-déplacement » (avec la durée de déplacement du côté de la dépendante), le nombre de passagers dans les trains reste le seul facteur significatif.

Malgré ces avancées sur la thématique du confort dans le métro parisien, cette enquête comportait quelques limites. Le présent article a pour motivation première d'en combler certaines. La représentativité de l'échantillon peut tout d'abord être pointée du doigt. Ainsi, la première étude ne

⁴ En plus d'être significativement influencée par la densité de passagers dans les trains au début du voyage, cette note subjective dépend de facteurs individuels tels que le revenu, la durée du déplacement, l'âge et la possession de véhicule automobile (voir Haywood et Koning (2012)).

portait que sur la ligne 1 (hautement fréquentée, par une population majoritairement composée de cadres) et uniquement durant les heures de pointe matinales (ce qui peut biaiser le mécanisme d'enchère, voir ci-dessous). Ensuite, les descriptions du niveau de confort rencontré par les usagers durant les heures de pointe, ou du niveau de confort « imaginé » pour les heures creuses, sont relativement partielles. Le changement hypothétique de fréquentation était donc difficilement mesurable, ce qui nuit à l'estimation de la fonction reliant « coût généralisé » et densité de voyageurs dans les trains. Concernant le « design » du processus d'enchères, deux remarques peuvent finalement être faites. Retenir invariablement 5 minutes comme enchère initiale réduit la précision des CAP_i . Le choix de prolonger le questionnaire uniquement pour les individus qui acceptaient les enchères peut quant à lui entraîner divers biais psychologiques venant troubler l'observation des « préférences déclarées » (voir la Section 4).

3- La nouvelle enquête sur les quais des lignes 1 et 4

3.1 – Présentation du terrain et du protocole de l'enquête

La nouvelle enquête a été menée entre novembre 2010 et janvier 2011. Elle se déroulait toujours sur les quais de la ligne 1, mais également sur ceux de la ligne 4. Cette dernière ligne traverse Paris du Nord et Sud, ce qui améliore le « maillage » du réseau observé et introduit vraisemblablement de l'hétérogénéité individuelle. La ligne 4 relie ainsi des zones plus résidentielles que la ligne 1, certaines dans le Nord de Paris étant relativement moins aisées. Elle dessert également de nombreuses institutions scolaires et universitaires. Nous étudions donc une population un peu moins « active » et plus variée que celle majoritairement composée de cadres allant travailler à la Défense. Notons également que la fréquentation dans la ligne 4 est bien moindre (voir ci-dessous). Malgré des capacités d'accueil inférieures à celles de la ligne 1, elle propose donc un niveau de confort supérieur durant les heures de pointe. En plus d'interroger les voyageurs durant les heures de pointe matinales (7h30-10h), nous avons par ailleurs mené l'enquête durant les pointes du soir (17h-19h30). Il semble ainsi intéressant de regarder si les individus répondent différemment à « l'arbitrage entre temps et confort » selon les périodes de la journée. En raison d'une plus grande contrainte sur les horaires d'arrivée à destination, il serait en effet possible que les voyageurs soient moins enclins à rallonger leurs déplacements le matin. L'existence de ces « scheduling costs » (de Palma et al. 2011), similaires à ceux mis en avant par la littérature sur la « congestion endogène » (Arnott et al. 1990), entraverait alors le processus d'enchères et l'estimation du CAP_i .

Pour constituer notre panel de 1000 voyageurs, nous avons eu recours à des données de trafic fournies par la Ratp (voir ci-dessous et Annexe). Ces données décrivent, pour 2008 et par tranche de 30

minutes, la densité de voyageurs dans les trains, station après station. A l'aide de ces informations, nous avons pu sélectionner trois stations par ligne et par période d'enquête (matin et soir), chaque période étant ensuite décomposée en cinq sous-périodes. L'importance de chaque station et de chaque créneau horaire était pondérée par la densité de voyageurs. Sur les 1000 usagers devant initialement constituer notre échantillon, nous avons décidé de retenir la règle suivante : 50% des interviews le matin, 50% des interviews sur la ligne 1. Nous avons également choisi de réserver 20% des interviews à l'étude du « consentement à recevoir », en vue d'analyser plus tard les divergences entre cette mesure de bien-être et le « consentement à payer » (Horowitz et McConnell 2002, Haab et McConnell 2003). Nous présentons en Annexe le nombre de questionnaires récoltés par ligne, station, et créneau horaire.

Trois enquêteurs étaient mobilisés par journée d'étude (14 journées en tout). Répartis d'une manière uniforme sur les quais des stations, ils abordaient les premières personnes se présentant devant eux. En cas de refus de participation au questionnaire, il était demandé aux enquêteurs d'estimer l'âge des individus et de reporter leur genre, procédure permettant de traiter ultérieurement un éventuel « biais de sélection » (voir Annexe et ci-dessous). Le questionnaire devait être administré entre le passage de deux métros. Encore une fois, nous avons donc limité à 10 le nombre de questions posées. Toutefois, les voyageurs « coopératifs », certainement plus préoccupés par le confort de leurs déplacements, pouvaient laisser passer un métro et répondre à une version « longue » de l'enquête (20 questions). Finalement, les enquêteurs distribuaient à la fin de l'interview un « flyer » sur lequel étaient indiqués une adresse internet ainsi qu'un numéro d'identifiant. Ceux qui le souhaitaient pouvaient alors prolonger l'enquête en ligne et répondre à plus de 40 questions.

Outre les procédures visant à proposer aléatoirement les changements de confort et les enchères temporelles (voir Annexe), le principal avantage de cette nouvelle enquête réside dans l'utilisation d'un support visuel décrivant le niveau de densité de voyageurs dans les trains. Chaque enquêteur était ainsi équipé d'un panneau sur lequel étaient représentées 7 cartes avec 7 niveaux de fréquentation dans la partie centrale des wagons (0 ; 1 ; 2 ; 2,5 ; 3 ; 4 ; 6 voy/m², voir cartes en Annexe). Afin de connaître le « point de référence » des voyageurs durant les heures de pointe (i.e. la densité espérée), il leur était d'abord demandé de montrer la carte correspondant à la situation qu'ils pensaient rencontrer, une fois le questionnaire terminé. Associée à une densité hypothétique inférieure (toujours illustrée par une carte), la connaissance du « point de référence » permet de bien mesurer les variations de densité correspondantes et de les mettre en relation avec le temps de transport « échangé » contre plus de confort.

Finalement, l'enquête de terrain a été complétée par un travail de comptage des voyageurs dans les wagons des lignes 1 et 4 (entre décembre 2010 et janvier 2011, hors vacances scolaires).

Contrairement aux données de la Ratp qui illustrent la densité moyenne pour tout un train, ce travail de comptage portait uniquement sur la zone centrale du wagon représentée sur le support visuel. Simultanément, le temps nécessaire à relier les différents points des lignes 1 et 4 était chronométré. Bien qu'elles ne reposent que sur 74 comptages (voir Annexe), les données de densité de voyageurs semblent relativement cohérentes avec celles de la Ratp. Quelle que soit la source, la ligne 1 propose ainsi une densité de voyageurs au moins deux fois supérieure à celle de la ligne 4 durant les heures de pointe. On observe également que les heures de pointe du soir sont bien plus étalées que celles du matin : la majorité des usagers se concentrent en effet dans le métro entre 8h et 9h tandis que leur flux est plus diffus en fin de journée. La principale différence entre les sources de données provient des portions de ligne étudiées⁵.

Tableau 1 – Densités de passagers dans les lignes 1 et 4

Source	Ligne 1		Ligne 4	
	Ratp (2008)	Comptage (2011)	Ratp (2008)	Comptage (2011)
Pointes du matin				
Portion de ligne	Gare de Lyon – La Défense	Gare de Lyon – La Défense	Pte Orléans - Gare de l'Est	Denfert- Pte Clignancourt
7h30-8h	0,8 voy/m ²	2,3 voy/m ²	0,5 voy/m ²	1,0 voy/m ²
8h-9h	2,2 voy/m ²	3,8 voy/m ²	1,1 voy/m ²	1,7 voy/m ²
9h-10h	1,8 voy/m ²	3,1 voy/m ²	0,7 voy/m ²	1,2 voy/m ²
Tout	1,8 voy/m ²	3,2 voy/m ²	0,8 voy/m ²	1,1 voy/m ²
Pointes du soir				
Portion de ligne	Esplanade – Chatelet	Esplanade - Pte Vincennes	Chatelet - Pte Orléans	Les Halles - Pte Orléans
17h-17h30	1,7 voy/m ²	2,8 voy/m ²	0,8 voy/m ²	1,7 voy/m ²
17h30-18h30	2,3 voy/m ²	2,3 voy/m ²	0,9 voy/m ²	1,9 voy/m ²
18h30-19h30	2,3 voy/m ²	2,4 voy/m ²	1,6 voy/m ²	2,7 voy/m ²
Tout	2,2 voy/m ²	2,4 voy/m ²	1,1 voy/m ²	2,2 voy/m ²

Malgré leurs limites, les données de densité provenant du travail de comptage sont précieuses. Conjuguées aux temps de parcours nécessaire à relier deux stations, ces informations permettent de reconstituer finement les voyages individuels et de mieux en comprendre le « ressenti », notamment le choix du « point de référence » durant les heures de pointe (voir ci-dessous et Annexe).

⁵ Ainsi, les données de la Ratp pour la ligne 1 ne décrivent pas ce qui se passe après Chatelet durant les pointes du soir. Ceci augmente mécaniquement la densité moyenne par rapport à celle issue du travail de comptage (celui-ci portant jusqu'à Porte de Vincennes, avec des stations très peu fréquentées après Gare de Lyon ou Nation). Cette différence pourrait expliquer pourquoi nous observons une densité moindre sur la ligne 1 durant les heures de pointe du soir, contrairement aux données de la Ratp ou à la situation dans la ligne 4.

3.2 – Statistiques descriptives sur l'échantillon

Cette seconde enquête sur le confort des déplacements dans le métro parisien a suscité un réel intérêt de la part des usagers. Le taux de participation, calculé sur 6 journées, atteint ainsi 63% (voir Annexe). Sur les 1000 personnes interrogées, nous disposons au final de 845 questionnaires complets. Parmi ceux-ci, 19% portaient sur le « consentement à recevoir » et 81% sur le « consentement à payer ». Pour le reste de cet article, nous nous concentrons sur la seconde sous-population, soit 688 individus. Précisons cependant que 255 personnes (30% de l'échantillon complet, 34% du sous-échantillon utilisé par la suite) ont laissé passer un métro et ont répondu à la version « longue » du questionnaire. Autre preuve de cette forte participation, plus de 40% des personnes ont visité la page internet indiquée sur le « flyer » (avec 103 personnes ayant intégralement complété le questionnaire numérique, soit un taux de participation de 12%).

Le Tableau 2 présente les caractéristiques individuelles des voyageurs. Sur les 688 personnes interrogées, l'âge moyen est de 35 ans (voir la distribution en Annexe). Si elle est proche de celle obtenue durant la précédente enquête (37 ans pour la ligne 1), et stable entre les lignes ou les périodes de la journée, cette moyenne est certainement « biaisée à la baisse ». Des calculs préliminaires (voir Annexe) indiquent en effet que la « vraie » population des lignes 1 et 4 durant les heures de pointe est un peu plus vieille, les individus âgés refusant plus souvent de participer à l'enquête. On observe ensuite une parité parfaite entre hommes et femmes, le genre ne semblant pas influencer le choix de répondre au questionnaire. Concernant la commune de résidence, 57% des personnes interrogées sont des Parisiens, avec une sur-représentation de cette population dans la ligne 4 (62%). Il est intéressant de constater que 6% des individus n'habitent pas l'Ile-de-France. Si elle est artificiellement gonflée par le choix des stations d'enquête (Gare de Lyon et Montparnasse notamment), cette proportion illustre bien la sphère d'influence parisienne. La possession de véhicules automobiles est moyennement diffuse au sein de l'échantillon (38% de possession), observation en phase avec la forte présence de Parisiens et/ou d'individus « jeunes » (notamment dans la ligne 4, 33% de possession). Le revenu moyen atteint quant à lui 2245 euros par mois. La forte différence entre les lignes est vraisemblablement liée à la Défense comme éventuelle zone de destination sur la ligne 1 (2790 euros par mois sur la ligne 1, 2100 euros par mois sur la ligne 4). A l'aide de ces données, nous pouvons calculer un coût d'opportunité du temps individualisé de 0,20 euro par minute de déplacement, soit 12,1 euros par heure⁶. Il convient de comparer ce chiffre avec la valeur officielle du rapport Boiteux (2001) de 12 euros par heure calculée pour les transports ferrés franciliens en 2011.

⁶ Pour calculer le coût d'opportunité du temps individualisé w_i , nous reprenons Terra (2005) qui propose la règle suivante (avec Y_i le revenu mensuel et 135 heures travaillées par mois) : $w_i = (2/3) * (Y_i/135)$.

Tableau 2 – Caractéristiques individuelles des voyageurs

	Total	Ligne 1	Ligne 4	Matin	Soir
Age (années)	35	36	34	36	35
Homme (%)	50%	49%	51%	50%	50%
Parisien (%)	57%	53%	62%	56%	58%
Francilien (%)	94%	94%	95%	92%	96%
Possession de voiture (%)	38%	42%	33%	38%	37%
Revenu (euros/mois)	2245	2790	2100	2570	2320
Valeur du temps (euros/min)	0,20	0,23	0,17	0,21	0,19

Tableau 3 – Caractéristiques des déplacements

	Total	Ligne 1	Ligne 4	Matin	Soir
Domicile-Travail (%)	69%	78%	62%	76%	64%
Utilisation ligne quotidienne (%)	64%	66%	62%	63%	64%
Temps « porte-à-porte » (minutes)	46	47	45	51	41
Nombre inter-stations	6,8	7,2	6,4	6,7	6,9
Temps ligne comptage (minutes)	9,7	11,5	7,9	9,4	10,0
Budget temps ligne (euros)	2,1	2,8	1,4	2,1	2,1
Budget temps « porte-à-porte » (euros)	9,4	10,5	8,3	10,9	7,8

Concernant les caractéristiques des déplacements, 69% des personnes ont été interrogées alors qu'elles voyageaient pour un motif « Domicile-Travail » (voir Tableau 3). Ce type de déplacement est plus fréquent dans la ligne 1 (78%) et durant les pointes matinales (76%). Etroitement liée à cette observation, la fréquence d'utilisation du métro : environ 64% des individus utilisent ainsi quotidiennement les lignes 1 ou 4. La durée déclarée du déplacement « porte-à-porte » atteint 46 minutes en moyenne, avec un fort écart entre le matin et le soir (respectivement 51 et 41 minutes). Ce chiffre est cohérent avec les pratiques de mobilité des franciliens reportées par ailleurs (Caenen et al. 2010). Information importante pour notre étude sur la valorisation du confort, la durée du voyage en véhicule (issue du travail de comptage) est quant à elle de 10 minutes en moyenne, soit 28% de la durée du déplacement « porte-à-porte ». Il s'agit du temps nécessaire pour traverser 7 inter-stations. On remarque que le temps passé à « subir » un certain niveau de densité est plus important dans la ligne 1 que dans la ligne 4 (respectivement 11,5 et 7,9 minutes). En monétarisant les ressources temporelles allouées aux déplacements, on constate finalement qu'elles représentent une grande part du « coût généralisé ». Prud'homme et al. (2011) estiment ainsi à 0,5 euro par voyage les contributions monétaires individuelles (avant un éventuel remboursement de la part des employeurs), soit 4 fois

moins que la valorisation donnée au temps d'utilisation du métro, ou 20 fois moins que celle du déplacement « porte-à-porte ».

Le Tableau 4 décrit la distribution du confort espéré par les voyageurs aux moments des interviews, i.e. le « point de référence » indiqué aux enquêteurs sur les cartes. Pour 98% des individus, les 8 sièges disponibles dans la partie centrale du wagon seront occupés lorsqu'ils monteront dans le métro. Ils ne pourront donc pas s'asseoir durant leurs déplacements. A l'autre extrémité de la distribution, on constate qu'une part relativement modérée des individus (9%) anticipe les « pires » conditions de voyage (6 voy/m²). Bien que l'avant dernière catégorie (4 voy/m²) soit non négligeable (20%), la grande majorité des individus (environ 70%) s'attend donc à rencontrer entre 2 et 3 voy/m² autour d'eux. En comparant les « points de référence » entre lignes 1 et 4, on constate que la première nommée est perçue comme bien plus inconfortable. Ainsi, la proportion de personnes pensant pouvoir s'asseoir dans la ligne 4 est trois fois supérieure (3,5% contre 1,2%) ; la proportion de voyageurs anticipant les « pires » conditions y est cinq fois moindre (2,6% contre 14,7%). On peut dresser le même constat en comparant la distribution du confort espéré le matin et le soir. Les heures de pointe matinales apparaissent ainsi plus confortables aux yeux des usagers du métro parisien, avec les mêmes différences aux extrémités de la distribution.

Tableau 4 – Distribution de la densité espérée par les voyageurs

Densité espérée	0 voy/m ²	1 voy/m ²	2 voy/m ²	2,5 voy/m ²	3 voy/m ²	4 voy/m ²	6 voy/m ²
Total	0%	2,3%	16,7%	27,8%	24,3%	20,2%	8,7%
Ligne 1	0%	1,2%	8,7%	20,8%	26,6%	28,0%	14,7%
Ligne 4	0%	3,5%	24,8%	34,8%	21,9%	12,3%	2,6%
Matin	0%	3,2%	22,0%	29,2%	22,0%	17,3%	6,4%
Soir	0%	1,5%	11,4%	26,3%	26,6%	23,1%	11,1%

Comme l'illustre le Tableau 5, la densité espérée durant les heures de pointe est en moyenne de 3,1 voy/m². Elle atteint 3,5 voy/m² sur la ligne 1 et 3,3 voy/m² le soir, soit plus que sur la ligne 4 ou le matin (respectivement 2,7 et 2,9 voy/m²). Ces perceptions du confort concordent plutôt bien avec les indicateurs objectifs à notre disposition, même si elles sont significativement supérieures. Ainsi, la densité espérée est positivement corrélée avec la densité moyenne rencontrée par les individus durant leurs voyages (entre les stations de départ et d'arrivée), que ce soit avec les données de comptage (coefficient de corrélation de 0,35, avec une moyenne durant les pointes de 2,4 voy/m²) ou avec les données de la Ratp (coefficient de 0,38, pour une moyenne de 1,7 voy/m²). Il en est de même avec la densité de voyageurs à la station de départ (respectivement 0,31 et 0,35) et, à degré moindre, avec la densité enregistrée à la station d'arrivée (0,24 et 0,22).

Tableau 5 – Indicateurs de densité rencontrée par les voyageurs

	Total	Ligne 1	Ligne 4	Matin	Soir
Densité espérée (voy/m²)	3,1	3,5	2,7	2,9	3,3
Densité moyenne comptage (voy/m²)	2,4	3,2	1,5	2,4	2,3
Densité moyenne Ratp (voy/m²)	1,7	2,2	1,3	1,6	1,9
Densité départ comptage (voy/m²)	2,2	2,7	1,7	2,0	2,5
Densité départ Ratp (voy/m²)	1,8	2,1	1,4	1,5	2,0
Densité arrivée comptage (voy/m²)	2,1	2,9	1,5	2,2	2,2
Densité arrivée Ratp (voy/m²)	1,4	1,9	1,0	1,3	1,6

Nous présentons en Annexe des estimations exploratoires visant à identifier les facteurs qui influencent la perception du confort. En utilisant un modèle « logit ordonné », on constate que le choix du « point de référence » dépend effectivement de la densité rencontrée en moyenne durant le voyage ou de celle en début de voyage (mais pas de la densité à la station d'arrivée). Par ailleurs, les utilisateurs de la ligne 1 ont tendance à montrer des cartes plus inconfortables, résultat cohérent avec les données de trafic. Idem concernant les personnes interrogées durant les heures de pointe du soir (conformément aux données de la Ratp ; avec les données de comptage, la densité rencontrée par les voyageurs est presque identique le matin et le soir). Étonnamment, peu de facteurs individuels affectent la perception du confort. Seuls la durée « porte-à-porte » du déplacement (et non le temps passé dans la ligne) ou le revenu des voyageurs orientent le choix vers des cartes plus inconfortables.

3.3 – Statistiques descriptives sur les scénarios hypothétiques

Comme expliqué dans la Section 2, la méthode d'évaluation contingente a pour but d'éluder le « consentement à payer » en analysant les réponses d'individus confrontés à des scénarios hypothétiques. Dans le cadre de notre étude du confort dans le métro, ces scénarios sont caractérisés par une amélioration de confort (par rapport au « point de référence » durant les heures de pointe) et par un temps de voyage en véhicule additionnel. Les distributions des enchères et des densités hypothétiques présentées en Annexe suggèrent que la procédure mise en œuvre a plutôt bien réussi à rendre aléatoires les contingences. La première enchère (exprimée en minutes) était tirée au sort parmi 6 valeurs possibles (3 ; 6 ; 9 ; 12 ; 15 ; 18). En fonction de la réponse initiale, la seconde enchère était ajustée en suivant cette fois-ci une règle automatique (à chaque enchère de départ étaient attribuées deux secondes enchères, supérieure ou inférieure). Dans le Tableau 6, les enchères sont également exprimées sous la forme d'équivalents monétaires (en utilisant le coût d'opportunité du temps individualisé) ou de « sur-déplacement » (rapport entre l'enchère et la durée de déplacement dans le véhicule).

Les améliorations de confort présentées aux usagers du métro parisien correspondent à une baisse hypothétique de la densité de passagers d'environ 60-70%. Cet ordre de grandeur, proche de celui utilisé dans Haywood et Koning (2012) pour différencier densités des heures de pointe et des heures creuses, est stable entre les périodes de la journée et les lignes d'étude. Concernant les ressources temporelles devant être sacrifiées afin de bénéficier de ces meilleures conditions de déplacement, l'enchère est en moyenne de 8,7 minutes. Pour cette seconde dimension de l'évaluation contingente, on observe également peu de différences entre périodes de la journée ou entre les lignes (8,5-8,9 minutes). En utilisant les valeurs du temps individualisées, l'équivalent monétaire atteint 1,8 euro par déplacement, la richesse des voyageurs dans la ligne 1 expliquant la forte différence entre lignes 1 et 4. Enfin, le « sur-déplacement » oscille en moyenne entre 140% et 170%, soit une augmentation plus que substantielle de la durée des voyages en métro.

Tableau 6 – Améliorations de confort, enchères et réponses

	Total	Ligne 1	Ligne 4	Matin	Soir
Densité espérée (voy/m²)	3,1	3,5	2,7	2,9	3,3
Densité hypothétique (voy/m²)	1,3	1,5	1,1	1,1	1,4
Enchère temps 1 (minutes)	8,7	8,5	8,9	8,9	8,5
Enchère argent 1 (euros)	1,8	2,0	1,5	1,9	1,6
Enchère sur-déplacement 1 (%)	156%	141%	170%	153%	158%
Réponse positive 1 (%)	42%	49%	35%	37%	47%
Enchère temps 2 (minutes)	8,0	8,1	7,9	7,9	8,1
Enchère argent 2 (euros)	1,6	1,9	1,4	1,7	1,5
Enchère sur-déplacement 2 (%)	143%	132%	154%	136%	148%
Réponse positive 2 (%)	42%	44%	40%	40%	44%

Les voyageurs semblent avoir réagi plutôt favorablement à cet « arbitrage entre temps et confort ». Ainsi, le taux de réponses positives à la première enchère atteint 42%. D'un point de vue descriptif, il est intéressant de constater que ce taux est supérieur chez les usagers de la ligne 1 (49% contre 35% dans la ligne 4) ainsi que chez les personnes interrogées le soir (47% contre 37% le matin). On peut y voir là l'effet d'un confort des déplacements initialement moindre, mais également d'une plus grande flexibilité dans les horaires d'arrivée à destination. Dans la mesure où moins de 50% des voyageurs sollicités ont accepté la première enchère, la seconde proposition est légèrement inférieure (8 minutes). La faible ampleur de la baisse (10% environ) explique peut-être pourquoi le second taux de réponses positives est identique (42%). En différenciant l'observation selon les lignes ou les périodes de la journée, le constat change cependant. Alors que les personnes interrogées dans la ligne 1 ou le soir ont

tendance à plus refuser la seconde enchère, les usagers de la ligne 4 ou les personnes se déplaçant le matin l'acceptent un peu plus fréquemment.

Tableau 7 – Améliorations de confort, enchères et réponses selon la densité espérée

Densité espérée (voy/m ²)	1 voy/m ²	2 voy/m ²	2,5 voy/m ²	3 voy/m ²	4 voy/m ²	6 voy/m ²
Densité hypothétique (voy/m ²)	0	0,5	1,1	1,4	1,7	2,3
Enchère temps 1 (minutes)	7,7	7,7	8,7	9,4	8,9	8,4
Enchère argent 1 (euros)	1,0	1,5	1,5	2,1	1,9	2,1
Enchère sur-déplacement 1 (%)	221%	145%	134%	172%	154%	182%
Réponse positive 1 (%)	25%	35%	40%	38%	50%	58%
Enchère temps 2 (minutes)	6,6	6,9	8,0	8,6	8,6	8,4
Enchère argent 2 (euros)	0,9	1,3	1,4	1,8	1,8	2,1
Enchère sur-déplacement 2 (%)	193%	155%	120%	152%	145%	180%
Réponse positive 2 (%)	38%	43%	40%	38%	43%	52%

Avant d'étudier économétriquement les réponses individuelles à ces scénarios hypothétiques, il peut être illustratif de distinguer les taux de réponses positives selon le « point de référence » des individus durant les heures de pointe. Ceci nous permet d'avoir une première idée sur la relation entre « coût généralisé » des déplacements en métro et densité de voyageurs dans les véhicules. Ce faisant, on constate que le taux de réponse croît avec le niveau de densité que les voyageurs pensent rencontrer une fois le questionnaire complété. Ceci est particulièrement vrai pour les usagers ayant indiqué 4 ou 6 voy/m² autour d'eux (plus de 50%). Inversement, le taux de réponses positives est très faible pour les voyageurs s'attendant à 1-2 voy/m² dans les trains (entre 25% et 35%, même si la première catégorie est négligeable car comportant peu d'individus). Concernant les secondes réponses, il est notable qu'elles sont plus souvent positives pour cette dernière catégorie de voyageurs, et plus souvent négatives pour les personnes pensant rencontrer les « pires » conditions de déplacement. Au final, tout porte à croire que ces « préférences déclarées » décrivent bien une relation croissante entre « consentement à payer pour le confort » et densité de voyageurs dans les trains. Autrement dit, le « coût généralisé » d'utilisation du métro doit vraisemblablement être « revisité » afin d'intégrer les effets de congestion dans les wagons sur le bien-être individuel et collectif.

4- Etude économétrique du « consentement à payer pour le confort »

4.1 – Les « biais de première enchère »

Dans la Section 2, nous avons expliqué que l'utilisation de deux enchères successives devait permettre d'obtenir de plus amples informations sur le CAP_i des voyageurs. Néanmoins, diverses études ont montré que les gains de précision du « double bounded bids » pouvaient disparaître à cause de biais psychologiques liés à la première enchère proposée (« starting point biases », Whitehead 2002, Flachaire et Hollard 2007). Ainsi, le CAP_i estimé à l'aide des secondes réponses n'entre pas systématiquement dans l'intervalle de confiance du CAP_i estimé avec les premières réponses. Contrairement aux pratiques courantes en économie de l'environnement, l'étude de ces biais semble ignorée des évaluations contingentes appliquées à la valorisation du confort dans le métro.

Reconnaître l'existence de « biais de première enchère » revient à considérer que les CAP_i des individus ne sont pas indépendants des enchères⁷. Trois principaux effets ont été pointés du doigt dans la littérature. Le premier effet repose sur le « biais d'ancrage ». Selon Herriges et Shogren (1996) les individus combinent ainsi leur CAP_i initial (CAP_{i1}) avec la valeur fournie par la première enchère :

$$(5) \quad CAP_{i2} = (1 - \gamma)CAP_{i1} + \gamma E_{i1}$$

Où les indicatrices « 1 » et « 2 » représentent les tours d'enchères et γ le paramètre d'« ancrage » ($0 \leq \gamma \leq 1$). Lorsque ce paramètre est nul, on observe aucun effet d'« ancrage » : le « consentement à payer » reste le même entre les deux tours ($CAP_{i1} = CAP_{i2}$). Inversement, lorsque $\gamma=1$, les individus ignorent totalement leur CAP_i initial et le remplacent par la première enchère proposée ($CAP_{i2} = E_{i1}$). Plus le « biais d'ancrage » est important et moins les secondes questions fournissent d'informations sur la « vraie » valeur du CAP_i .

Un autre problème pouvant fausser les réponses à l'évaluation contingente provient d'un éventuel « saut » entre les CAP_i (« shift effect », voir Alberini et al. 1997). Utiliser deux tours d'enchères impliquerait en effet que les CAP_i diffèrent systématiquement entre les itérations, ce qui expliquerait les incohérences :

$$(6) \quad CAP_{i2} = CAP_{i1} + \delta$$

⁷ Autrement dit, on ne peut pas utiliser successivement deux modèles « probit » ou « logit » simples, il convient plutôt d'estimer les probabilités de réponses positives à l'aide d'un « probit bivarié » ou d'un « random effect probit » prenant en compte la corrélation entre les deux décisions (via les termes d'erreur ou la réponse à la première réponse comme explicative de la seconde réponse).

Où le paramètre δ représente le « saut » structurel entre les deux tours, indépendant des enchères. Dans ce modèle, la première offre fournit aux voyageurs des informations sur le « coût » et les attributs du projet (des métros plus lents mais plus confortables). Suivant cette logique, un individu qui aurait accepté le premier scénario hypothétique interprète la seconde enchère comme une tentative pour lui soutirer une contribution additionnelle. Ceci l'inciterait donc à rejeter plus souvent la deuxième offre. Inversement, un individu qui aurait refusé la première enchère peut voir la seconde offre comme une proposition pour un service hypothétique d'une qualité moindre. Dans les deux cas, on s'attend donc à un paramètre δ négatif⁸.

Ces deux exemples montrent que les incohérences dans les réponses individuelles proviennent de l'utilisation du deuxième tour d'enchères. Décomposant les itérations selon qu'elles soient ascendantes ou descendantes et mobilisant la « prospect theory » (Kahneman et Tversky 1979), DeShazo (2002) précise cet effet. Selon lui, ce sont essentiellement les phases ascendantes qui posent problème, les réponses étant alors marquées par un « biais de cadrage » (« framing effect »). Lorsqu'un individu accepte l'enchère initiale, il en fait ainsi son « point de référence ». La seconde enchère constitue alors une perte (par rapport à ce « point de référence ») qu'un individu averse au risque refusera plus fréquemment de concéder. S'il a refusé la première offre, aucun « point de référence » n'est décelé et les réponses à la seconde enchère ne posent pas de problème. Dans la pratique, l'existence de ces trois biais conduit les chercheurs à exclure des observations les réponses au second tour d'enchères (ou alors de garder uniquement celles correspondant à un refus initial). Ce faisant, on se prive toutefois de l'avantage informationnel qu'offre le « double bounded bids ».

Pour traiter les « biais de première enchère » et garder toutes les observations des secondes réponses, on reprend dans cet article un modèle proposé par Flachaire et Hollard (2007). Prolongeant le travail de Whitehead (2002), ces auteurs montrent que les trois précédents modèles sont en fait imbriqués (« nested »). Ils proposent alors la méthode suivante pour étudier la réponse à l'enchère E_{it} , avec l'indicatrice t représentant le tour d'enchère (« 1 » ou « 2 ») et r_1 la réponse à la première question ($r_1 = 1$ si « Oui », $r_1 = 0$ sinon) :

$$(7) \quad CAP_{i2} = CAP_{i1} + \gamma(E_{i1} - CAP_{i1})r_1 + \delta r_1$$

Les deux derniers termes de l'équation (7) permettent de mesurer l'importance du « biais d'ancrage » et du « saut » structurel dans le cas où les individus seraient victimes d'un « biais de cadrage ».

⁸ Observer δ positif est théoriquement possible, on parle alors de « yea saying bias ». Dans ce cadre, les individus accepteraient plus souvent la seconde offre en raison d'empathie vis-à-vis des enquêteurs. Toutefois, peu d'observations empiriques valident l'existence d'un tel comportement.

Lorsque $r_1 = 1$, le CAP_i initial est modifié par un terme constant (« shift ») et par un facteur multiplicatif mesurant la « distance » entre le CAP_i initial et la première enchère (« anchor effect »). Suivant Flachaire et Hollard (2007), on peut alors estimer la probabilité suivante :

$$(8) \quad P(Oui) = P(CAP_{it} > E_{it}) = \phi \left[\alpha X_i - \frac{1}{\sigma} E_{it} + \theta (E_{i1} - E_{it}) D_t r_1 + \lambda D_t r_1 \right]$$

Où $\alpha = \beta/\sigma$, $D_1 = 0$, $D_2 = 1$, $\theta = \gamma/(\sigma - \sigma\gamma)$, $\lambda = \delta/(\sigma - \sigma\gamma)$

Deux précisions s'imposent. Notons tout d'abord que les paramètres de l'équation (8) sont interdépendants via les relations suivantes :

$$(9) \quad \beta = \alpha\sigma \quad \gamma = \sigma\theta/(1 + \sigma\theta) \quad \delta = \lambda\sigma(1 - \gamma)$$

En estimant l'équation (8) et en récupérant les coefficients prédits, il est possible de mesurer l'importance du « biais d'ancrage » et du « saut » structurel. Soulignons ensuite que le modèle associé à l'équation (7) englobe deux cas particuliers. Lorsque $\lambda = 0$, on ne s'intéresse ainsi qu'au « biais d'ancrage » combiné au « biais de cadrage » (autrement dit $\delta = 0$). D'une manière similaire, on ne traitera que du « saut » structurel si $\theta = 0$ ($\gamma = 0$). Le modèle présenté dans l'équation (7) est donc plus général.

4.2 – Estimations

La première étape de l'investigation empirique consiste à comparer, parmi les modèles présentés ci-dessus (« single bounded », « double bounded », « framing and anchor », « framing and shift », « framing and anchor and shift »), les « consentements à payer pour le confort » prédits. Les résultats des Tableaux 8 et 9 ont été obtenus en estimant la probabilité de réponse positive aux scénarios hypothétiques (à l'aide d'un « probit bivarié » lorsqu'il s'agissait du deuxième tour d'interrogation). Concernant les explicatives, supposées linéairement additives, ont été retenus l'enchère (temporelle ou son équivalent monétaire calculé via le coût d'opportunité du temps individualisé), le « point de référence » des voyageurs durant les heures de pointe, le niveau de confort hypothétique (aléatoirement proposé), la durée dans déplacement dans le métro ainsi que deux variables muettes caractérisant la ligne 1 et les heures de pointes du matin. Les valeurs moyennes du « consentement à payer pour le confort » ont été calculées à l'aide de la procédure de Krinsky et Robb (voir Haab et McConnel 2003). Comme la Section 5 traitera directement du « coefficient de pénibilité », les résultats trouvés pour le « sur-déplacement » ne sont pas reportés ici.

Tableau 8 – Prédications du « consentement à payer pour le confort » (en minutes par déplacement)

Modèle	CAP_i	BInf	BSup	σ	γ	δ	P
Single bounded	6,71	5,74	7,56	8,20	-	-	-
Double bounded	6,62	5,90	7,28	6,58	-	-	0,59 ^{ns}
Framing and anchoring	6,63	5,93	7,28	6,54	-0,10 ^{ns}	-	0,58 ^{ns}
Framing and shift	6,82	6,22	7,43	6,58	-	-3,52	0,96
Framing and anchoring and shift	6,93	6,36	7,48	5,98	-4,57 ^{ns}	-4,58	0,99

Contrairement à certaines évaluations contingentes menées en économie de l'environnement, les réponses individuelles à « l'arbitrage entre temps et confort » semblent marginalement influencées par les « biais de première enchère ». Le paramètre γ mesurant le « biais d'ancrage » n'est par exemple jamais significatif à 95% (il est même négatif, contrairement au modèle de Herriges et Shogren (1996)). Il se pourrait certes que les individus soient victimes d'un « biais de cadrage » et que leurs CAP_i connaissent simultanément un « saut » structurel entre les deux questions (on observe un δ négatif). L'effet de ces phénomènes sur les valeurs du confort reste toutefois modeste. Que le « consentement à payer pour le confort » soit exprimé en minutes ou en euros, la prédiction issue du second tour d'enchères appartient en effet à l'intervalle de confiance (à 95%) de la prédiction trouvée avec les premières enchères. Le « double bounded bids » offre donc des gains de précision dans le cadre de notre étude sur le confort des déplacements (la dispersion σ diminue avec la seconde offre, tout comme l'intervalle de confiance des prédictions est-il moins large).

Tableau 9 – Prédications du « consentement à payer pour le confort » (en euro par déplacement)

Modèle	CAP_i	Binf	Bsup	σ	γ	δ	P
Single bounded	1,08	0,68	1,36	2,79	-	-	-
Double bounded	1,05	0,72	1,30	2,47	-	-	0,49 ^{ns}
Framing and anchoring	1,02	0,60	1,29	2,69	0,51 ^{ns}	-	0,57 ^{ns}
Framing and shift	1,18	0,95	1,38	2,30	-	-1,71	0,99
Framing and anchoring and shift	1,18	0,93	1,39	2,29	-0,05 ^{ns}	-1,63	0,99

Au-delà de ces détails techniques, il est frappant de constater que les « préférences déclarées pour le confort » sont très proches de celles étudiées par Prud'homme et al. (2012) ou par Haywood et Koning (2012) grâce à la précédente enquête dans la ligne 1 (voir la Section 2). Ainsi, la « variation équivalente du temps de transport » est de 6,6-6,9 minutes en moyenne. Il s'agit du temps de déplacement additionnel que les usagers du métro parisien ont déclaré être prêts à « sacrifier » pour bénéficier d'une baisse hypothétique de la densité de passagers de 60-70%. En monétarisant ces ressources temporelles, le « consentement à payer pour le confort » atteint 1,02-1,18 euro par

déplacement en moyenne. Il existe donc une importante asymétrie entre les contributions monétaires actuellement supportées par les usagers du métro parisien (0,5 euro par déplacement) et le montant des ressources qu'ils souhaiteraient échanger contre un confort supérieur dans les wagons. Ces premiers éléments de valorisation laissent au final supposer que le « coût généralisé » va être profondément modifié par la prise en compte de cette dimension des déplacements. Rappelons que la durée du voyage dans les lignes 1 ou 4 est en moyenne de 9,7 minutes (voir le Tableau 3). En rapportant le « consentement à payer pour le confort » à ce temps de transport, les usagers concèdent alors un « sur-déplacement » de 70% environ. Si elle est supérieure à la valeur proposée par Haywood et Koning (2012)⁹, cette proxy du « coefficient de pénibilité » est proche des grandeurs présentées dans Li et Hensher (2011) ou dans Wardman et Whelan (2011).

Pour analyser les facteurs influençant les réponses à « l'arbitrage entre temps et confort », nous nous concentrons désormais sur les deux tours d'enchères, sans prendre en compte les éventuels « saut » structurel ou « biais de cadrage ». Aux variables explicatives déjà énumérées (enchère, densités espérée et hypothétique, ligne 1 et matin), nous ajoutons successivement les caractéristiques individuelles (âge, genre, parisien, possession de voiture et revenu) puis certaines observations liées aux déplacements (motif « Domicile-Travail », temps de transport « porte à porte », usage quotidien de la ligne). Lorsque nous étudions les réponses aux enchères exprimées sous forme d'équivalents monétaires, précisons que les durées du voyage dans la ligne ou « porte à porte » sont également traduites sous cette forme. Par ailleurs, nous avons reproduit les estimations en substituant aux densités espérée et hypothétique la différence de confort entre situations effective et contingente (densité espérée – densité hypothétique).

Comme l'illustrent les Tableaux 10 et 11, les estimations confirment l'influence des facteurs mis en avant lors de la présentation des statistiques descriptives (voir la Section 3). Logiquement, le montant de l'enchère (temporelle ou sous une forme monétaire) joue négativement sur la probabilité de réponse positive. Surtout, on observe que le « point de référence » durant les heures de pointe impacte significativement les réponses individuelles : les voyageurs s'attendant à faire face à une fréquentation importante dans les trains acceptent plus fréquemment les scénarios hypothétiques. Cette observation renforce notre volonté d'étudier la relation entre « coût généralisé » et densité de passagers dans les wagons. Par ailleurs, l'amélioration de confort proposée aux individus influence bien leurs « consentements à payer », que cette amélioration soit considérée en niveau ou en différence par rapport à la densité espérée. Concernant la durée des voyages dans les lignes 1 ou 4 (ou son équivalent monétaire), on constate qu'elle joue positivement sur le taux de réponse. Plus longtemps les individus

⁹ Haywood et Koning (2012) aboutissaient à un « sur-déplacement » moyen compris entre 29-43%. Cette forte différence s'expliquerait surtout par la durée des déplacements dans la ligne 1 qu'ils considéraient (27 minutes en moyenne). Cette information provenait en effet des déclarations des usagers. Il est donc probable que les voyageurs pensaient à la durée « porte à porte » des déplacements.

« subissent » l'inconfort dans les wagons et plus souvent ils acceptent les contingences qui leurs sont présentées. Autrement dit, ils valorisent plus le confort de leurs déplacements.

Tableau 10 – Estimations des réponses individuelles (enchères exprimées en minutes)

	Premier tour d'enchères						Second tour d'enchères					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Enchère	-0.12*** (0.01)	-0.12*** (0.01)	-0.12*** (0.01)	-0.12*** (0.01)	-0.12*** (0.01)	-0.12*** (0.01)	-0.15*** (0.01)	-0.15*** (0.01)	-0.15*** (0.01)	-0.15*** (0.01)	-0.15*** (0.01)	-0.15*** (0.01)
Densité espérée	0.22*** (0.05)		0.22*** (0.05)		0.23*** (0.05)		0.21*** (0.05)		0.22*** (0.05)		0.22*** (0.05)	
Densité hypothétique	-0.16*** (0.05)		-0.17*** (0.05)		-0.16*** (0.05)		-0.22*** (0.05)		-0.24*** (0.05)		-0.24*** (0.05)	
Différence densité		-0.19*** (0.04)		-0.20*** (0.04)		-0.20*** (0.05)		-0.22*** (0.04)		-0.23*** (0.05)		0.23*** (0.05)
Temps métro	0.02*** (0.00)	0.02*** (0.00)	0.03*** (0.00)	0.03*** (0.00)	0.03*** (0.00)	0.03*** (0.00)	0.03*** (0.00)	0.03*** (0.00)	0.04*** (0.00)	0.04*** (0.00)	0.04*** (0.00)	0.04*** (0.00)
Ligne 1	0.19* (0.11)	0.22** (0.10)	0.21* (0.12)	0.25*** (0.11)	0.22* (0.12)	0.26** (0.11)	0.03 (0.11)	-0.04 (0.10)	-0.01 (0.11)	-0.02 (0.11)	-0.01 (0.11)	-0.02 (0.11)
Matin	-0.22** (0.10)	-0.24** (0.10)	-0.21** (0.11)	-0.23*** (0.10)	-0.21* (0.11)	-0.24** (0.11)	-0.16 (0.10)	-0.15 (0.10)	-0.14 (0.10)	-0.13 (0.10)	-0.15 (0.10)	-0.14 (0.10)
Age			0.03 (0.05)	0.04 (0.05)	0.01 (0.05)	0.01 (0.05)			-0.04 (0.05)	-0.04 (0.05)	-0.04 (0.05)	-0.04 (0.05)
Homme			0.14 (0.10)	0.14 (0.10)	0.14 (0.10)	0.14 (0.10)			0.03 (0.10)	0.03 (0.10)	0.04 (0.10)	0.04 (0.10)
Paris			-0.07 (0.11)	-0.07 (0.11)	-0.03 (0.12)	-0.03 (0.12)			-0.09 (0.10)	-0.09 (0.10)	-0.09 (0.10)	-0.07 (0.11)
Voiture			0.09 (0.11)	0.09 (0.11)	0.08 (0.11)	0.08 (0.11)			0.03 (0.11)	0.04 (0.11)	0.03 (0.11)	0.03 (0.11)
Revenu			-0.04 (0.03)	-0.04 (0.03)	-0.04 (0.03)	-0.04 (0.03)			-0.04 (0.03)	-0.04 (0.03)	-0.04 (0.03)	-0.04 (0.03)
Travail					0.02 (0.12)	0.03 (0.12)					0.03 (0.12)	0.03 (0.12)
Temps « porte à porte »					0.00 (0.00)	0.00 (0.00)					0.00 (0.00)	0.00 (0.00)
Quotidien					-0.34*** (0.12)	-0.33*** (0.11)					0.03 (0.11)	0.03 (0.11)
Nombre observations	686	686	686	686	686	686	686	686	686	686	686	686
Pseudo R2	0.16	0.17	0.17	0.16	0.18	0.17	-	-	-	-	-	-

On remarque que les usagers de la ligne 1, et ceux interrogés le soir, répondent plus favorablement à « l'arbitrage entre temps et confort ». Même en contrôlant pour la densité espérée, les voyageurs de la ligne 1 semblent accorder une valeur supérieure au confort de leurs déplacements. Pour ce qui est de la période d'enquête, ces résultats suggèrent que l'utilisation d'enchères temporelles pénalise les individus interrogés le matin. Cette dernière observation pourrait s'expliquer par l'existence de « scheduling costs » qui empêcheraient les voyageurs de répondre favorablement aux enchères temporelles (car risquant d'arriver en retard sur les leurs lieux de travail s'ils acceptent le scénario hypothétique, voir de Palma et al. 2011). Il est intéressant de constater que ces deux dernières caractéristiques (ligne 1 et matin) semblent ne plus avoir d'influence pour le second tour d'enchères. De même, le fait d'utiliser quotidiennement la ligne 1 ou 4 joue négativement sur la probabilité de

répondre favorablement à la première enchère, mais pas à la seconde enchère. A l'instar de la précédente enquête sur les quais de la ligne 1, on doit finalement concéder que les réponses ne semblent presque pas influencées par les caractéristiques individuelles¹⁰.

Tableau 11 – Estimations des réponses individuelles (enchères exprimées en euros)

	Premier tour d'enchères						Second tour d'enchères					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Enchère	-0.35*** (0.06)	-0.36*** (0.06)	-0.41*** (0.07)	-0.41*** (0.07)	-0.42*** (0.07)	-0.42*** (0.07)	-0.41*** (0.07)	-0.41*** (0.07)	-0.46*** (0.08)	-0.47*** (0.08)	-0.47*** (0.08)	-0.47*** (0.08)
Densité espérée	0.22*** (0.05)		0.21*** (0.06)		0.23*** (0.06)		0.19*** (0.05)		0.17*** (0.05)		0.18*** (0.05)	
Densité hypothétique	-0.16*** (0.05)		-0.15*** (0.06)		-0.14** (0.06)		-0.21*** (0.06)		-0.20*** (0.06)		-0.21*** (0.06)	
Différence densité		-0.19*** (0.04)		-0.18*** (0.05)		-0.18*** (0.05)		-0.22*** (0.04)		-0.19*** (0.05)		-0.19*** (0.05)
Temps métro	0.14*** (0.03)	0.14*** (0.03)	0.11*** (0.04)	0.11*** (0.04)	0.12*** (0.04)	0.11*** (0.04)	0.15*** (0.03)	0.14*** (0.00)	0.12*** (0.03)	0.12*** (0.03)	0.12*** (0.03)	0.12*** (0.03)
Ligne 1	0.22** (0.11)	0.32*** (0.11)	0.26** (0.11)	0.29*** (0.11)	0.27** (0.12)	0.31*** (0.11)	0.06 (0.10)	0.06 (0.10)	0.05 (0.11)	0.03 (0.10)	0.05 (0.11)	0.03 (0.11)
Matin	-0.18* (0.09)	-0.19* (0.10)	-0.21** (0.10)	-0.23** (0.10)	-0.19* (0.11)	-0.22** (0.11)	-0.08 (0.10)	-0.08 (0.10)	-0.14 (0.10)	-0.12 (0.10)	-0.14 (0.10)	-0.13 (0.10)
Age			0.03 (0.05)	0.03 (0.05)	0.00 (0.05)	0.00 (0.05)			-0.06 (0.05)	-0.06 (0.05)	-0.06 (0.05)	-0.06 (0.05)
Homme			0.12 (0.10)	0.12 (0.10)	0.11 (0.10)	0.12 (0.10)			0.03 (0.10)	0.03 (0.10)	0.03 (0.10)	0.03 (0.10)
Paris			-0.02 (0.10)	-0.02 (0.11)	-0.00 (0.11)	-0.00 (0.12)			-0.02 (0.10)	-0.02 (0.11)	-0.00 (0.11)	-0.00 (0.11)
Voiture			0.07 (0.11)	0.07 (0.11)	0.07 (0.11)	0.07 (0.11)			0.02 (0.11)	0.02 (0.11)	0.02 (0.11)	0.03 (0.11)
Revenu			0.08** (0.04)	0.08** (0.04)	0.10** (0.04)	0.10** (0.04)			0.10*** (0.04)	0.10*** (0.04)	0.10** (0.04)	0.10** (0.04)
Travail					-0.02 (0.12)	-0.02 (0.12)					-0.00 (0.12)	-0.00 (0.12)
Temps « porte à porte »					-0.00 (0.01)	-0.00 (0.01)					0.00 (0.00)	0.00 (0.00)
Quotidien					-0.37*** (0.11)	-0.37*** (0.11)					-0.06 (0.11)	-0.06 (0.11)
Nombre observations	686	686	686	686	686	686	686	686	686	686	686	686
Pseudo R2	0.12	0.12	0.13	0.13	0.14	0.14	-	-	-	-	-	-

Nous ponctons cette sous-section en synthétisant l'influence des facteurs pertinents (ligne, période, durée du voyage en métro) sur le « consentement à payer pour le confort ». Les moyennes présentées dans le Tableau 12 ont été estimées (toujours avec la procédure de Krinsky et Robb) à l'aide des réponses à la première enchère, en utilisant le modèle (1) des Tableaux 10 et 11. Le « consentement à payer pour le confort » est très largement supérieur chez les usagers de la ligne 1, notamment lorsqu'il est exprimé sous une forme monétaire (1,89 euro par déplacement contre 0,45). Rappelons que les voyageurs de cette ligne ont déclaré un revenu mensuel bien plus important (ce qui majore le coût

¹⁰ Bien qu'ils ne soient pas présentés ici, notons qu'on trouve des résultats similaires en exprimant les enchères sous une forme de « sur-déplacement ». Par ailleurs, la spécification du CAP_i avec une forme exponentielle n'affecte pas les résultats.

d'opportunité du temps) mais également qu'ils font face à un confort bien moindre (ce qui augmente le nombre de minutes « échangées »). On constate ensuite que les « préférences déclarées pour le confort » sont significativement différentes selon que les personnes aient été interrogées le matin ou le soir. Dans la mesure où ces prédictions ont été calculées en contrôlant pour la densité espérée, il serait possible de voir l'écart de 2 minutes (5,65 minutes le matin et 7,80 minutes le soir) comme une proxy des « scheduling costs » (de Palma et al. 2011). Enfin, le « consentement à payer pour le confort » dépend considérablement de la durée actuelle des voyages. Pour les individus restant plus de 10 minutes dans le métro, l'espace disponible dans les wagons semble être une réelle préoccupation.

Tableau 12 – Valeurs moyennes selon lignes, périodes et durées des voyages en métro

	Total	Ligne 1	Ligne 4	Matin	Soir	Métro < 10 min	Métro > 10 min
CAP_i (minutes/voy)	6,71	8,33	5,07	5,65	7,80	5,38	8,53
CAP_i (euro/voy)	1,08	1,89	0,45	0,80	1,35	0,51	1,85

4.3 – Première relation entre « coût généralisé » et densité de passagers dans les métros

A l'aide des réponses à l'évaluation contingente, nous pouvons maintenant proposer une première relation entre « coût généralisé » d'utilisation du métro et densité de passagers dans les trains. Kraus (1991) expliqua le premier que le « coût généralisé » devait être différencié lorsque les voyageurs ne peuvent pas s'asseoir durant leurs déplacements. Il proposait ainsi d'ajouter une « pénalité » pour prendre en compte la nature « discrète » du phénomène. Jara-Diaz et Gschwender (2003) postulent quant à eux que le « coût généralisé » augmente linéairement avec le niveau de fréquentation dans les trains, une fois occupées toutes les places assises. Même si des travaux récents proposent une forme fonctionnelle combinant coûts d'inconfort et « scheduling costs » (de Palma et al. 2011), notre étude s'oriente vers la forme linéaire simple.

Avec les notations de la Section 2 et en considérant que w représente le coût d'opportunité du temps, nous supposons ainsi que le « coût généralisé » $CG_{ij}(p_i, t_i, c_{ij})$ suit l'évolution du CAP_i par rapport au niveau de confort c_{ij} , assimilé à la densité espérée dans les observations :

$$(10) \quad CG_{ij}(p_i, t_i, c_{ij}) = p_i + w(t_i + CAP_i(c_{ij}))$$

Il est important de préciser que l'équation (10) repose sur une hypothèse forte, également faite dans la plupart des travaux sur la valeur du confort dans les métros : le « consentement à payer » (une mesure des bénéfices individuels) équivaut au « consentement à recevoir » (une mesure des coûts). Diverses études empiriques montrent pourtant que cette dernière mesure du bien-être est souvent bien

supérieure (Horowitz et McConnel 2002). Nous pourrions tester dans le futur cette hypothèse grâce aux données à notre disposition.

Le Tableau (13) présente les estimations du « consentement à payer pour le confort » moyen (en minutes), issues des deux tours d'enchères et différenciées selon le niveau de densité espérée. Afin de ne pas troubler la relation entre le CAP_i et le « point de référence », ces valeurs ont été estimées à l'aide du modèle (2) dans le Tableaux 10. Il peut être utile de garder à l'esprit que c_{ij} n'est pas influencé par la durée du déplacement en véhicule (voir Annexe, le coefficient de corrélation entre ces deux variables est de 0,08). Si la prudence s'impose pour la première catégorie de densité espérée (2,3% de l'échantillon), on observe bien une relation croissante entre le CAP_i et le niveau de fréquentation que les usagers pensent rencontrer dans les wagons. En contrôlant uniquement pour les améliorations de confort proposées aux voyageurs, le CAP_i estimé passe ainsi de 5,2-5,8 minutes à 10,8-9,5 minutes lorsque la densité espérée augmente de 2 voy/m² à 6 voy/m².

Tableau 13 – Estimations du « consentement à payer pour le confort » selon la densité espérée

Densité espérée	1 voy/m ²	2 voy/m ²	2,5 voy/m ²	3 voy/m ²	4 voy/m ²	6 voy/m ²
CAP_{i1} (minutes/voy)	3,74	5,16	5,71	6,69	8,00	10,75
CAP_{i2} (minutes/voy)	4,53	5,81	6,00	6,49	7,33	9,48

En excluant la catégorie « 1 voy/m² » et en normalisant les données par rapport à la classe « 2 voy/m² », les chiffres du Tableau (13) autorisent l'estimation d'une fonction reliant linéairement le « coût généralisé » du voyage à la densité de passagers, une fois que toutes les places assises sont occupées dans le métro. La régression par les Moindres Carrés Ordinaires menée sur les cinq points du second tour d'enchères aboutit à la relation suivante, une fois combinée avec l'équation (10) :

$$(11) \quad CG_{ij}(p_i, t_i, c_{ij}) = p_i + w \times t_i + w \left(5,8 + 1,1 \times (c_{ij} - 2) \right) \text{ si } c_{ij} \geq 2 \text{ voy/m}^2$$

Nous considérons que p_i est de 0,5 euro par voyage (Prud'homme et al. 2011) et nous retenons les valeurs moyennes de w et t_i au sein de l'échantillon (respectivement 0,2 euro par minute et 9,4 minutes, voir les Tableaux 2 et 3). Avec ces paramètres, nous avons la confirmation que le « coût généralisé » d'utilisation des lignes 1 et 4 durant les heures de pointe est une fonction croissante du nombre de passagers présents :

$$(12) \quad CG_{ij}(c_{ij}) = 3,4 + 0,2 \times (c_{ij} - 2) \text{ euro/voyage} \quad \text{si } c_{ij} \geq 2 \text{ voy/m}^2$$

Cette première relation « technique » doit permettre d'améliorer l'étude de l'externalité de congestion dans les métros, ce phénomène étant restreint aux pertes de bien-être individuel et collectif liées au manque de confort. Pour les voyageurs bénéficiant d'une place assise durant les heures de pointe, le « coût généralisé » moyen d'un déplacement atteint en effet 2,4 euros ($=0,5+0,2\times 9,4$). L'équivalent monétaire de la « pénalité » pour la station « debout » ($2 \text{ voy}/\text{m}^2$) est donc de 1 euro par voyage (car $3,4=2,4+5,8\times 0,2$), soit 40% du « coût généralisé » calculé sans considérer la « préférence pour le confort » des individus. En reprenant la densité espérée en moyenne au sein de l'échantillon ($3,1 \text{ voy}/\text{m}^2$, voir Tableau 5), le « coût généralisé » pendant les heures de pointe est de 3,6 euros. Si ce dernier résultat ne diffère pas fondamentalement du saut « discret » associé à la station « debout », l'équation (12) offre toutefois des éléments pour intégrer les épisodes de forte congestion aux analyses. Lorsque la densité de passagers dans les trains est de $6 \text{ voy}/\text{m}^2$, le « coût généralisé » par voyageur atteint ainsi 4,2 euros. Ce montant est 1,75 fois supérieur à celui qui serait proposé sans considérer le manque de confort.

Illustrer la portée opérationnelle de l'équation (12) nécessiterait un article à part entière. La relation « technique » entre densité de passagers et « coût généralisé » peut ainsi être mobilisée pour étudier l'impact d'un changement de confort dans les métros sur le choix de route au sein du réseau, voire même sur le choix modal des individus. Pour conclure cette première approche sur la valorisation du confort dans le métro parisien, nous nous limitons à décrire l'évolution conjointe du « coût généralisé » $CG_{ij}(c_{ij})$, du coût social $CS_{ij}(c_{ij})$ et du coût marginal de congestion $Cm_{ij}(c_{ij})$ par rapport au niveau de densité espérée dans le métro. Suivant l'analyse « pigouvienne » traditionnelle (Pigou 1920, Verhoef et Small 2007), on peut en effet écrire :

$$(13) \quad CS_{ij}(c_{ij}) = CG_{ij}(c_{ij}) + Cm_{ij}(c_{ij}) = CG_{ij}(c_{ij}) + c_{ij} \times \frac{\partial CG_{ij}(c_{ij})}{\partial c_{ij}}$$

Avec les données de l'équation (12), nous obtenons alors :

$$(14) \quad Cm_{ij}(c_{ij}) = 0,2 \times c_{ij} \text{ si } c_{ij} > 2 \text{ voy}/\text{m}^2$$

Comme l'illustrent le Tableau (14) et l'équation (12), le coût marginal de congestion dans le métro $Cm_{ij}(c_{ij})$ augmente avec la densité de passagers une fois atteinte la densité de $2,5 \text{ voy}/\text{m}^2$. Alors qu'il représente 13% du coût social à ce seuil, la proportion croît jusqu'à 40% lorsqu'il y a $6 \text{ voy}/\text{m}^2$ dans les wagons. On comprend donc qu'ignorer l'externalité de congestion peut être grandement

préjudiciable dans une optique d'évaluation des politiques publiques. Malgré leurs limites¹¹, précisons ainsi que les mesures proposées dans le Tableau (14) pourraient aider à calculer les bénéfices (privés et sociaux) générés par une nouvelle offre de transports publics sous terre (wagons plus spacieux, fréquence des trains plus élevée) ou en surface (car désengorgeant certaines lignes de métro). Les estimations du coût marginal de congestion pourraient également servir de proxy aux péages à instaurer dans le cas où une éventuelle « régulation par les prix » venait à être mise en place pour améliorer le confort des déplacements en métro (à l'instar de ce qui est pratiqué dans le métro londonien).

Tableau 14 – Coûts généralisé, social et marginal (en euros par déplacement)

Densité de voyageurs	1 voy/m ²	2 voy/m ²	2,5 voy/m ²	3 voy/m ²	4 voy/m ²	6 voy/m ²
Coût généralisé (1)	2,4	3,4	3,5	3,6	3,8	4,2
Coût marginal (2)	0	0	0,5	0,6	0,8	1,2
Coût social (3)	2,4	3,4	4,0	4,2	4,6	5,4
Part de (2) dans (3)	0%	0%	13%	15%	0,17%	40%

5- Seconde approche pour valoriser le confort : issue de l'économie des transports

6- Conclusion (à rédiger)

¹¹ Nous voyons deux principales limites aux données présentées dans cette dernière sous-section. La première tient au fait que nous retenons la densité espérée comme variable pour décrire le niveau de confort dans le métro parisien. Les statistiques descriptives de la Section (3) ou les calculs de l'Annexe ont montré qu'il existait un important écart entre les perceptions individuelles du confort et le confort effectivement observé. Par ailleurs, nous devons reconnaître un éventuel problème de colinéarité lorsque nous proposons l'équation (11) : la Section (4) a en effet indiqué que le CAP_i augmente avec la durée du déplacement en véhicule. La seconde approche permet de résoudre ce second problème.

Bibliographie

- A. Alberini, B. Kanninen and R. Carson. Modeling response incentive effects in dichotomous choice valuation data. *Land Economics*, 73(3): 309-324, 1997.
- R. Arnott, A. De Palma, and R. Lindsey. The economics of bottleneck. *Journal of Urban Economics*, 27 :111–130, 1990.
- R. Arnott and A. Yan. The two-mode problem : Second-best pricing and capacity. *Review of Urban and Regional Development Studies*, 12 :170–199, 2000.
- A. Bonnafous. Le choix entre voiture et transport collectif. In J.F. Thisse, F. Maurel, A. Perrot, J.C. Prager, and J.P. Puig, editors, *Villes et économie*, pages 185– 206. Institut des villes, Collection Villes et Société, La documentation française, 2004.
- Y. Caenen, C. Couderc, J. Courdel, C. Paulo, and T. Simeon. Les franciliens consacrent 1h20 par jour à leurs déplacements. *Insee a la page*, (331), 2010.
- M. Cantwell, B. Caufield, and M. O’Mahony. Examining the factors that impact public transport commuting satisfaction. *Journal of Public Transportation*, 12 (2) :1–22, 2009.
- Commissariat Général du Plan. *Transports : choix des investissements et coût des nuisances*. Commissariat Général du Plan, Groupe Présidé par M. Boiteux, L. Baumstarck rapporteur, 2001.
- Commission Européenne. *Green book on the urban transportations*. Available on internet, 2007.
- Conseil d’Analyse Stratégique. *Pour une ville durable : les principes d’une loi sur le péage urbain*. Conseil d’Analyse Stratégique, Paris, 2008.
- T. Cox, J. Houdmont, and A. Griffiths. Rail passenger crowding, stress, health and safety in Britain. *Transportation Research Part A : Policy and Practice*, 40 (3) :244–258, 2006.
- B. De Borger and M. Fosgerau. The trade-off between money and travel time : A test of the theory of reference dependent preferences. *Journal of Urban Economics*, 64(1) :101–115, 2008.
- A. de Palma and R.C. Lindsey. Modelling and evaluation of road pricing in Paris. *Transport Policy*, 13(2) :115–126, 2006.
- A. de Palma and N. Zaouali. Monétarisation des externalités de transport : un état de l’art. *Thema Working Paper*, 2007.
- A. de Palma, M. Kilani, and S. Proost. Discomfort in mass transit and its application for scheduling and pricing. *Paper presented at the ITEA Conference*, 2011.
- J.R. Deshazo. Designing transactions without framing effects in iterative question formats, *Journal of Environmental Economics and Management*, 43: 360-385, 2002.
- L. Debrincat, J. Goldberg, H. Duchateau, E. Kroes, and M. Kouwenhoven. Valorisation de la régularité des radiales ferrées en ile-de-france. *Proceedings of the ATEC Congress, CD Rom edition*, 2006.
- N. Douglas and G. Karpouzis. Estimating the passenger cost of train overcrowding. *Paper presented at the 29th Australian Transport Research Forum*, 2006.

- J. Eliasson. A cost-benefit analysis of the stockholm congestion charging system. *Transportation Research-A*, 43(4) :468–480, 2009.
- G.W. Evans and R.E. Wener. Crowding and personal space invasion on the train : Please don't make me sit in the middle. *Journal of Environmental Psychology*, 27(1) :90–94, 2007.
- E. Flachaire and G. Hollard. Starting-point bias and respondent uncertainty in dichotomous choice valuation surveys. *Resource and Energy Economics*, 29(3) : 183–194, 2007.
- T.C. Haab and K.E. McConnel. *Valuing Environmental and Natural Resources : the Econometrics of Non-Market Valuation*. Edward Elgar, 2003.
- L. Haywood and M. Koning. Avoir les coudes serrés dans le métro parisien : Evaluation contingente du confort des déplacements, *en cours de soumission à la Revue d'Economie Industrielle*, 2012.
- J.A. Herriges and J.F. Shogren. Starting point bias in dichotomous choice valuation with follow-up questioning. *Journal of Environmental Economics and Management*, 30: 112-131, 1996.
- .K. Horowitz and K.E. McConnel. A review of wtp/wta studies. *Journal of Environmental Economics and Management*, 44(3) :426–447, 2002.
- S.R. Jara-Diaz and A. Gschwender. Towards a general Microeconomic Model for the Operation of Public Transport, *Transport Reviews*, 23(4): 453-469, 2003.
- D. Kahneman and A. Tversky. Prospect Theory: an analysis of decisions under risk. *Econometrica*, 47 : 313-327, 1979.
- M. Koning. Essais sur la congestions dans les Transports à Paris. *Thèse de Sciences Economiques soutenue à l'Université Paris I*, 2011.
- M. Kraus. Discomfort externalities and marginal cost transit fares. *Journal of Urban Economics*, 29(2) :249–259, 1991.
- M. Kraus. A new look at the two-mode problem. *Journal of Urban Economics*, 54(3) :511–530, 2003.
- M. Kraus and Y. Yoshida. The commuter's time-of-use decision and optimal pricing and service in urban mass transit. *Journal of Urban Economics*, 51 : 170–195, 2002.
- F. Leurent and K. Liu. On seat congestion, passenger comfort and route choice in urban transit : a network equilibrium assignment model with application to paris. *Paper Presented at the Annual Congress of Transportation Research Board*, 2009.
- Y. Li. Evaluating the urban commute experience : A time perception approach. *Journal of Public Transportation*, 6(4) :41–67, 2003.
- Z. Li and D.A. Hensher. Crowding and public transport : a review of willingness to pay evidence and its relevance in project appraisal. *Transport Policy*, (18) : 880–887, 2011.
- T. Litman. Valuing transit service quality improvements. *Journal of Public Transportation*, 11 :43–64, 2008.
- S. Luchini. De la singularité de la méthode d'évaluation contingente. *Economie et Statistiques*, (357-358) :141–152, 2003.

- R. Mackett, N. Paulley, J.M. Preston, J. Shires, H. Titheridge, M. Wardman, P.White, and R. Balcombe. *The Demand for Public Transport : a Practical Guide*. Wokingham, UK, TRL Limited, 2004.
- H. Mohring. Optimization and scale economies in urban bus transportation. *American Economic Review*, 62(4) :591–604, 1972.
- OCDE. *Managing urban traffic congestion*. OCDE, Paris, 2003.
- ORSTIF. Enquête auprès des salariés d'île-de-france sur les transports en commun domicile-travail. *Mimeo*, 2010.
- I. Parry and K.A. Small. Should urban transit subsidies be reduced ? *American Economic Review*, 99 :700–724, 2009.
- I. Parry, W. Harrington, and M. Walls. Automobile externalities and policies. *Journal of Economic Literature*, 65 :373–399, 2007.
- A.C. Pigou. *The economics of welfare*. London :Macmillan and co., 1920.
- M. Pinçon and M. Pinçon-Charlot. *Sociologie de Paris*. Collection Repères, Paris, 2008.
- S. Proost and K.V. Dender. Optimal urban transport pricing in the presence of congestion, economies of density and costly public funds. *Transportation Research-Part A*, 42(9) :1220–1230, 2008.
- R. Prud'homme and P. Kopp. Worse than a congestion charge : Paris traffic restraint policy. In R. Richardson and C.B. Chang Hee, editors, *Road Congestion Pricing Book*, pages 252–272. Edward Elgar, 2008.
- R. Prud'homme, M. Koning, L. Lenormand, and A. Fehr. Public transport congestion costs : The case of paris subway. *In press in Transport Policy*, 2012.
- R. Prud'homme, M. Koning, and P. Kopp. Substituting a tramway to a bus line in Paris : Costs and benefits. *Transport Policy*, 18(4) :563–572, 2011.
- E. Quinet. A metaanalysis of western europe external costs estimates. *Transportation Research-D*, (9) :465–476, 2004.
- G. Santos and J. Bharkarb. The impact of the london congestion charging scheme on the generalized cost of car commuters to the city of london from a value of travel time savings perspective. *Transport Policy*, (13) :22–33, 2006.
- K.A. Small and E. Verhoef. *The Economics of Urban Transportation - 2d Edition*. Routledge, 2007.
- Technologia. Etude d'impact des transports en commun de région parisienne sur la santé des salariés et des entreprises. *Mimeo*, 2010.
- D. Terra. Guide des bonnes pratiques pour la mise en oeuvre de la méthode d'évaluation contingente. D4E, *Série Méthode*, (5), 2004.
- D. Terra. Guide des bonnes pratiques pour la mise en oeuvre de la méthode des couts de transport. D4E, *Série Méthode*, (5), 2005.
- Transportation Research Board. *Transit Capacity and Quality of Service Manual*, 2nd. ed. Washington, DC, 1999.

M.Wardman. Public transport values of the time. *Transport Policy*, 11 :363–377, 2004.

M. Wardman and G. Whelan. Twenty years of rail crowding valuation studies : evidence and lessons from british experience. *Transport Reviews*, 31(3) :379– 398, 2011.

R. Wener, G.W. Evans, and P. Boatley. Commuting stress : Psychological effects of a trip and spillover into the workplace. *Transportation Research Board*, 1924/2005 :112–117, 2005.

G. Whelan and J. Crockett. An investigation of the willingness to pay to reduce rail overcrowding. *Proceeding of the First International Conference on Choice Modelling, Harrogate, England, 2009*.

J.C. Whitehead. Incentive incompatibility and starting point bias in interative valuations questions, *Land Economics*, 78: 285-297, 2002.

Annexe

1- Les quotas de questionnaires

Afin de déterminer les quotas de questionnaires à récolter pour chaque ligne/station/créneau horaire, nous nous sommes servis des données de trafic (2008) fournies par la RATP. A l'aide de ces informations, nous avons tout d'abord retenu trois stations par ligne et par période d'enquête. Nous avons alors calculé leur importance relative en termes de densité de voyageurs dans les trains :

Ligne 1, matin : Gare de Lyon (30%), Hôtel de ville (30%) et Champs-Élysées (40%)

Ligne 4, matin : Denfert-Rochereau (20%), Montparnasse (40%), Odéon (40%)

Ligne 1, soir : Esplanade de la Défense (25%), Argentine (35%), Georges 5 (40%)

Ligne 4, soir : Les Halles (40%), Odéon (30%), Saint-Sulpice (30%)

Nous avons également décomposé chaque grande période temporelle (matin/soir) en cinq sous-périodes de 30 minutes, toujours en observant l'importance relative en termes de densité :

Matin : 7h30-8h (10%), 8h-8h30 (20%), 8h30-9h (30%), 9h-9h30 (25%), 9h30-10h (15%)

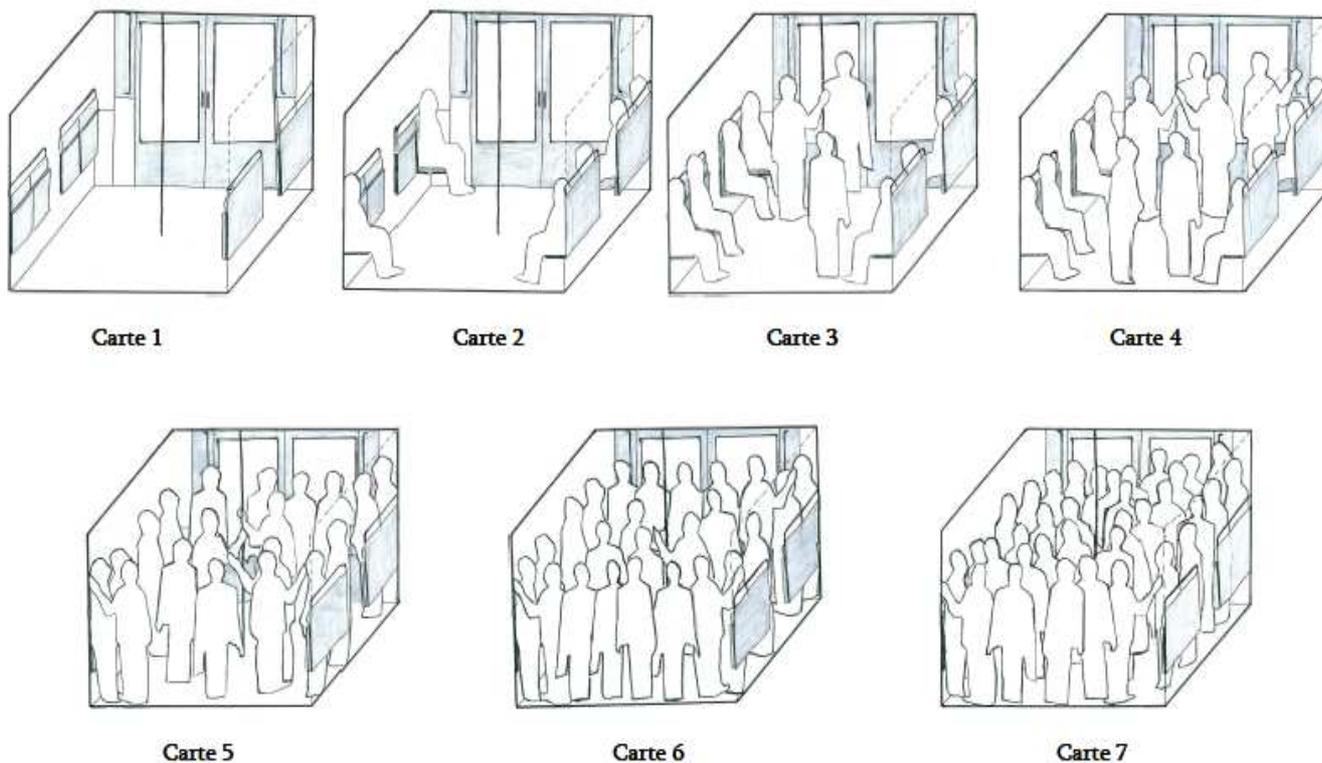
Soir : 17h-17h30 (15%), 17h30-18h (20%), 18h-18h30 (20%), 18h30-19h (25%), 19h-19h30 (20%)

Tableau 15 – Quotas de questionnaires à récolter

	Ligne 1			Ligne 4		
	Gare de Lyon	Hôtel de Ville	Champs-Élysées	Denfert-Rochereau	Montparnasse	Odéon
7h30-8h	8	7	10	5	10	10
8h-8h30	15	15	20	10	20	20
8h30-9h	23	33	30	15	30	30
9h-9h30	19	18	26	12	25	25
9h30-10	12	11	15	7	15	15
Total	77	73	101	49	100	100
	Esplanade	Georges 5	Argentine	Les Halles	Odéon	Saint-Sulpice
17h-17h30	10	15	13	15	11	11
17h30-18h	13	20	17	20	15	15
18h-18h30	13	20	17	20	15	15
18h30-19h	16	25	22	25	19	18
19h-19h30	13	20	17	20	15	15
Total	65	100	86	100	75	74

2- Le support visuel utilisé pour décrire le confort dans les trains

Le confort dans le métro parisien



3- Le choix de participer au questionnaire

L'enquête de terrain fut menée sur 14 journées. Les enquêteurs n'ont cependant pas respecté rigoureusement les consignes relatives à la saisie du genre et de l'âge des personnes refusant de participer. Ainsi, ces informations ne sont valables que pour 6 journées d'enquête, soit un total de 787 personnes abordées. Sur cette population, le taux de participation était élevé (environ 63% des individus).

Comme l'illustrent les distributions présentées dans le Tableau 16, la sous-population des 6 journées est plus vieille que celle composant l'échantillon avec lequel nous travaillons. En observant la distribution des classes d'âge, on constate en effet que les personnes ayant refusé de participer à l'enquête sont plus âgées. Concernant le genre des individus, tandis que l'échantillon complet est

composé à 49% d'hommes, cette proportion est de 51% pour les 6 journées (avec 54% d'hommes pour ceux ayant refusé de participer, 49% pour ceux ayant accepté).

Tableau 16 – Classes d'âges selon les différentes populations

Classes d'âge (estimation des enquêteurs)	<20 ans	20-30	30-40	40-50	50-60	>60 ans
Echantillon complet (16 j, 688 obs)	7%	35,2%	26%	18,6%	10,2%	3,1%
Echantillon restreint (6 j, 787 obs)	3,6%	27,3%	25,8%	24,5%	14,9%	3,9%
Population participant (6 j, 492 obs)	4,7%	33,1%	26,4%	21,8%	11,2%	2,9%
Population refusant de participer (6 j, 295 obs)	1,7%	17,3%	24,8%	29,1%	21%	5,8%

Avec ces informations, nous pouvons estimer la probabilité que les individus aient accepté de participer à l'enquête. Analysant un choix discret, nous utilisons un modèle « probit ». Parmi les variables explicatives de la participation à l'enquête, nous pouvons intégrer l'âge des individus, le genre (dummy), la ligne (dummy) et la période d'enquête (matin ou soir, dummy). Nous pouvons également ajouter des effets fixes pour les stations d'enquête, les créneaux horaires et les enquêteurs (voire les journées d'enquête).

Conformément aux statistiques descriptives, il ressort des estimations que l'âge influe significativement sur la probabilité de participer à l'enquête (voir Tableau 17). Concernant le genre des voyageurs, aucun effet n'est observé. Par ailleurs, le taux de participation est statistiquement supérieur sur la ligne 1, les voyageurs se sentant peut-être plus concernés par le confort de leurs déplacements. L'ajout des effets fixes relatifs aux stations, aux créneaux horaires ou aux enquêteurs ne change pas ces résultats (ces effets fixes n'étant pas forcément significatifs).

Tableau 17 – Probabilité de participer à l'enquête de terrain

	1	2
Age	-0.24*** (0.03)	-0.27*** (0.03)
Homme	-0.11 (0.09)	-0.09 (0.09)
Ligne 1		0.31*** (0.10)
Matin		0.10 (0.09)
Nombre d'obs.	787	787
Pseudo R2	0.05	0.05

Ces calculs sont essentiellement illustratifs. Ils montrent cependant que notre travail devra être complété afin de bien prendre en compte cet « effet de sélection ». Pour ce faire, il sera pertinent de

pondérer les observations selon les classes d'âge (sur la base des catégories présentées dans le Tableau 16), et éventuellement selon la ligne d'étude.

4- Le travail de comptage dans les wagons

Le travail de comptage avait pour double objectif de rapporter le confort réellement rencontré par les usagers dans les wagons, tel que montré sur le support visuel (les données de la Ratp portant sur un train entier), et de savoir combien de temps les individus restaient-ils dans le métro ?

Entre décembre 2010 et janvier 2011 (hors-vacances scolaires), des enquêteurs sont montés dans les lignes 1 et 4, à partir de la première station où était menée l'enquête (la plus éloignée du terminus). Ils y restaient jusqu'au terminus afin de pouvoir reconstituer tous les possibilités de voyage des personnes interrogées. Le matin, les voyages enregistrés dans la ligne 1 étaient entre Gare de Lyon et la Défense, entre Denfert-Rochereau et Porte de Clignancourt pour la ligne 4. Le soir, entre Esplanade de la Défense et Château de Vincennes sur la ligne 1, entre les Halles et Porte d'Orléans sur la ligne 4.

Entre chaque inter-station, il était demandé aux enquêteurs de compter le nombre de personnes présentes dans la partie centrale du wagon (représentée sur les cartes visuelles), mais également de chronométrer la durée du voyage entre chaque station ainsi que la durée d'ouverture des portes. Chaque période (matin ou soir) était décomposée en trois sous-périodes. Le travail de comptage repose au final sur 74 départs.

Tableau 18 – Statistiques descriptives sur les données issues du travail de comptage

	Ligne 1					Ligne 4				
	Densité passagers	Inter-station	Durée Portes	Durée totale	Obs.	Densité passagers	Inter-station	Durée Portes	Durée totale	Obs.
Pointes matin										
7h30-8h	2,3 voy/m ²	71 sec	20 sec	27 min	4	1,0 voy/m ²	52 sec	17 sec	25 min	4
8h-9h	3,8 voy/m ²	76 sec	27 sec	31 min	8	1,7 voy/m ²	52 sec	19 sec	26 min	7
9h-10h	3,1 voy/m ²	79 sec	27 sec	31 min	6	1,2 voy/m ²	51 sec	20 sec	27 min	7
Pointes soir										
17h-17h30	2,8 voy/m ²	69 sec	25 sec	36 min	3	1,7 voy/m ²	54 sec	24 sec	18 min	5
17h30-18h30	2,3 voy/m ²	78 sec	27 sec	40 min	6	1,9 voy/m ²	56 sec	25 sec	19 min	8
18h30-19h30	2,2 voy/m ²	77 sec	25 sec	38 min	7	2,7 voy/m ²	54 sec	28 sec	20 min	9

5- Etude du « point de référence » durant les heures de pointe

La bonne compréhension de la perception individuelle du confort des déplacements nécessiterait une étude à part entière. A l'instar de l'Annexe sur le « biais de sélection », les calculs suivants sont essentiellement exploratoires. Ils ont pour principal but d'initier une discussion qualitative sur la perception du confort et le « point de référence » durant les heures de pointe.

Le choix des cartes visuelles décrit un ordonnancement catégoriel de la part des usagers. Nous pouvons donc utiliser un modèle « logit ordonné ». Parmi les variables explicatives du « point de référence », nous retenons les indicateurs de confort objectif à notre disposition (densités moyenne, en début ou en fin de voyage ; avec les données de comptage ou celles de la Ratp), mais également les informations relatives aux caractéristiques des déplacements (ligne, période, motif, durées, fréquence d'utilisation) ou des individus interrogés (âge, genre, commune de résidence, revenu, possession de voiture).

Tableau 19 – Estimations du « point de référence » durant les heures de pointe

	1	2	3	4	5
Densité moyenne	0.70 ^{***} (0.07)	0.49 ^{***} (0.11)	0.50 ^{***} (0.11)	0.50 ^{***} (0.11)	0.50 ^{***} (0.12)
Matin		-0.75 ^{***} (0.14)	-0.80 ^{***} (0.14)	-0.80 ^{***} (0.14)	-0.84 ^{***} (0.14)
Ligne 1		0.65 ^{***} (0.23)	0.64 ^{***} (0.24)	0.56 ^{**} (0.24)	0.58 ^{**} (0.25)
Temps métro			-0.00 (0.01)		-0.00 (0.01)
Temps « porte à porte »			0.00 ^{**} (0.00)		0.00 ^{**} (0.00)
Travail			0.09 (0.16)		0.01 (0.17)
Quotidien			0.17 (0.16)		0.20 (0.16)
Age				-0.01 (0.07)	-0.01 (0.07)
Homme				0.05 (0.14)	0.07 (0.14)
Paris				-0.08 (0.15)	0.03 (0.16)
Revenu				0.08 ^{**} (0.04)	0.08 ^{**} (0.04)
Voiture				-0.08 (0.16)	-0.11 (0.16)
Nombre d'obs.	686	686	686	686	686
Pseudo R2	0.05	0.07	0.07	0.07	0.07

Bien qu'il ne présente pas toutes les estimations menées, le Tableau 19 montre que la perception du confort dépend significativement de la densité moyenne de voyageurs dans les trains (issue du travail de comptage dans le Tableau 5). Nous obtenons les mêmes résultats en utilisant les données de la Ratp, ou la densité de voyageurs en début de voyage (mais pas avec la densité de passagers à la station de sortie). On observe également que les dummies relatives à la ligne et à la période d'enquête influencent le choix du « point de référence ». Ainsi, les usagers de la ligne 1 ont tendance à montrer des cartes plus inconfortables, tout comme les personnes interrogées durant les heures de pointe du soir. Concernant les autres caractéristiques du déplacement, seule la durée « porte-à-porte » influence significativement, et positivement, la perception du confort. La durée du voyage dans la ligne a été introduite séparément, sans être statistiquement différente de zéro. Enfin, la perception du confort semble marquée par une forte hétérogénéité individuelle. Le revenu mensuel, qui capture certes de nombreux traits personnels, apparaît ainsi être la seule variable influençant significativement les réponses.

6- Procédure pour les améliorations hypothétiques de confort et les enchères temporelles

La première étape consiste à définir tous les vecteurs d'amélioration de confort possibles. En effet, nous ne savons pas à l'avance quelle carte le voyageur interrogé va-t-il choisir ? Une personne ayant montré la carte 7 devrait pouvoir avoir 6 améliorations possibles (les cartes 6, 5, 4, 3, 2 ou 1). Aussi, nous avons construit une matrice décrivant toutes les combinaisons possibles, soit 60 vecteurs différents. Le même travail fut effectué pour les dégradations de confort (pour l'étude future des « consentements à recevoir »). Cette matrice comporte également 60 vecteurs.

Il a ensuite fallu attribuer un vecteur d'enchères (une enchère initiale et une seconde enchère en fonction de la première réponse) à chaque vecteur de changement de confort. Pour ce faire, nous sommes repartis de la distribution des réponses obtenues lors de la première enquête de terrain. Plus de 90 % des réponses étaient ainsi comprises entre 0 et 15 minutes. A l'aide d'un dé, nous avons donc choisi de manière aléatoire un vecteur d'enchères par vecteur d'amélioration de confort en suivant la règle suivante : « 1=3 minutes », « 2=6 minutes », « 3=9 minutes », « 4=12 minutes », « 5=15 minutes » et « 6=relancer ». Pour prendre en compte les quelques enchères devant tomber au dessus de 15 minutes, nous avons délibérément introduit tous les 12 tirages un vecteur ayant pour enchère initiale 18 minutes, cela correspondant à une fréquence d'occurrence de 8%. A cette étape, nous avons donc 60 questionnaires possibles pour les améliorations de confort, 60 questionnaires possibles pour les dégradations. Nous avons alors imprimé toutes les différentes versions du questionnaire. Avant chaque journée d'étude, nous effectuons un tirage aléatoire des questionnaires à récolter en partant des quotas de représentativité fixés à l'avance (voir Tableau 15) et en respectant la règle de quatre « consentements à payer » pour un « consentement à recevoir ».

Comme l'illustrent les Tableaux 20 et 21, cette procédure semble avoir plutôt bien fonctionné. Environ 50% des enchères sont inférieures à 6 minutes, 44 % d'entre elles oscillent entre 9 et 15 minutes, 6% sont égales à 18 minutes. Concernant les améliorations de confort, on observe que les distributions par niveau de densité espérée ne sont pas foncièrement biaisées, mis à part éventuellement pour la voyageurs ayant montré la « pire » carte (6 voy/m²).

Tableau 20 – Distribution des premières enchères

	3 minutes	6 minutes	9 minutes	12 minutes	15 minutes	18 minutes
Distribution	21,5%	27,8%	16,0%	14,8%	14,0%	6,0%

Tableau 21 – Distribution des améliorations hypothétiques de confort selon la densité espérée

Densité espérée	1 voy/m²	2 voy/m²	2,5 voy/m²	3 voy/m²	4 voy/m²	6 voy/m²
Densité hypothétique						
0 voy/m²	100%	51,3%	29,5%	26,4%	19,4%	16,7%
1 voy/m²	-	48,7%	31,4%	21,6%	20,9%	8,3%
2 voy/m²	-	-	38,6%	31,1%	21,6%	16,7
2,5 voy/m²	-	-	-	21%	20,1%	18,3
3 voy/m²	-	-	-	-	18,0%	13,3
4 voy/m²	-	-	-	-	-	26,7%