



HAL
open science

Planifier et choisir un itinéraire en milieu urbain : approches plurielles d'un problème cognitif.

Elise Grison

► **To cite this version:**

Elise Grison. Planifier et choisir un itinéraire en milieu urbain : approches plurielles d'un problème cognitif.. Psychologie. Université Paris Descartes, 2015. Français. NNT: . tel-01581979

HAL Id: tel-01581979

<https://hal.science/tel-01581979v1>

Submitted on 5 Sep 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITÉ PARIS DESCARTES
INSTITUT DE PSYCHOLOGIE
École doctorale 261 « Cognition, Comportements, Conduites Humaines »

THÈSE

Pour obtenir le grade de
DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ PARIS DESCARTES
Spécialité : Psychologie Cognitive

Présentée et soutenue publiquement par

Elise Grison

Le 26 Novembre 2015

**Planifier et choisir un itinéraire en milieu urbain :
approches plurielles d'un problème cognitif.**

Laboratoire Mémoire et Cognition, INSERM S894

Laboratoire de Psychologie des Comportements et des mobilités, Ifsttar

Jury

J.M. Burkhardt, Directeur de Recherche, Ifsttar (Directeur de thèse)

B. Cahour, Chargée de Recherche, HDR, CNRS Télécom ParisTech (Rapporteur)

M. Denis, Directeur de Recherche Emérite, CNRS Université Paris Sud (Rapporteur)

V. Gyselinck, Maître de Conférences, HDR, Université Paris Descartes (Directrice de thèse)

F. Pazzaglia, Professor, Università Degli Studi di Padova (Examineur)

J.M. Wiener, Associate Professor, Bournemouth University (Membre invité)

Remerciements

Mes premiers remerciements vont tout naturellement à mes deux directeurs de thèse. En effet, j'ai eu la chance de bénéficier d'un encadrement que je considère exceptionnel par Valérie Gyselinck et Jean-Marie Burkhardt. Valérie, vous avez su me guider, me conseiller, me soutenir, et ceci depuis mes premiers pas dans le monde de la recherche, il y a déjà cinq ans. Le souvenir du travail accompli dans une bonne humeur constante restera longtemps dans ma mémoire. Jean-Marie, votre rigueur et votre enthousiasme scientifique m'ont permis d'ouvrir ma pensée et m'ont appris à toujours aller plus loin, ce qui a largement contribué à la richesse de mon apprentissage. Merci aussi pour votre investissement et vos nombreux conseils.

Je tiens également à remercier les membres du jury, Béatrice Cahour, Francesca Pazzaglia, Michel Denis et Jan M. Wiener qui me font l'honneur d'expertiser cette thèse. Merci pour le temps consacré à l'évaluation de ce travail.

More specifically, thank you Jan for having welcomed me two months in your laboratory in Bournemouth. I have learned more than expected during this short period and I hope that our collaboration will continue. Thank you also for your eternal enthusiasm that make my stay so enjoyable.

Durant ces trois années j'ai évolué au sein de deux laboratoires : Le Laboratoire Mémoire et Cognition à l'Université Paris Descartes et le Laboratoire de Psychologie des Comportements des mobilités à l'Ifsttar. Je tiens à remercier chacun de leurs membres qui ont tous contribué d'une manière ou d'une autre, lors de moments de travail (séminaires ou réunions) ou de détente (pauses thé, buffets ou pique-niques), à ce que mon travail soit toujours réalisé dans de bonnes conditions. Merci à tous d'avoir toujours répondu à mes nombreuses questions.

Je remercie aussi toutes les personnes qui m'ont confié des enseignements en EXP1, EXP2 et ITER2. Ce fut un réel plaisir de collaborer avec vous et de découvrir l'enseignement à vos côtés.

Merci à Eric, Thong et Frank d'avoir toujours travaillé dans la bonne humeur avec moi, et ce malgré ma maladresse à l'égard du matériel informatique et même de l'électricité du laboratoire ! Merci également à Philippe Bonet qui a partagé son expertise statistique.

Merci à Mioara et Grigore pour votre temps et votre aide pour les relectures de mes premiers écrits en anglais. Je remercie également toutes les personnes qui ont relu cette thèse : Alain, Alexandra, Amandine, Doriane, Julien, Laurie et Léo.

Je tiens à remercier les nombreux doctorants et post-doctorants qui m'ont accompagné au plus près durant ces trois années et avec qui j'ai lié de belles amitiés. Il a toujours été agréable de discuter avec vous, de partager un bureau, un goûter, un thé, une soirée, un cidre, etc. Je mets donc un point d'honneur à tous vous citer (par ordre alphabétique s'il vous plaît !). Merci Alexandra, Anaïs, Carolina, Célia, Dominique, Doriane, Grigore, Isabelle, Julien, Laurie, Léo, Marion, Mary, Mioara, Peter, Stéphanie, Teodora et William.

Merci à tous mes amis d'avoir partagé de nombreux moments de détente et de joie lors de nos soirées, week-ends et même lors de séances de sport. Plus particulièrement merci à Alain, Julie, Guillaume et Doudou d'avoir affronté le froid avec moi cet hiver lors de footings nocturnes et tout le long du semi-marathon. Grâce à vous, j'ai travaillé mon endurance physique et mentale, ce qui est nécessaire pour mener à bien une thèse. Merci à mes anciennes colocataires No et Gwen pour la bonne humeur, les fous rires et les moments inoubliables que nous avons passé ensemble.

Ma Doudou je ne peux pas ne pas te réserver quelques lignes. Depuis de nombreuses années déjà, nous partageons tous nos grands moments. Merci d'être toi, merci de toujours me supporter, d'être ma confidente, ma cobaye et pour ton amitié inébranlable. Merci aussi pour les séances shopping et les très bons éclairs de réconfort.

Je remercie ma famille et tout particulièrement mes parents. Vous avez toujours cru en moi, vous m'avez soutenue et donné l'opportunité de faire ce qui me plaisait et d'aller au bout. Merci de toujours répondre présents aux interminables appels téléphoniques qui font que la distance disparaît. Merci également à Karine, tous ces petits loups, à mon frère Damien et sa petite famille. Partager des repas et des discussions avec vous est toujours un réel plaisir. Merci aussi de votre compréhension.

Enfin, merci à Alain, c'est grâce à ton calme, ton soutien et tout le réconfort que tu m'apportes que j'ai aussi bien vécu ces trois années. Merci d'être qui tu es et d'être là.

Table des matières

Remerciements	3
PRESENTATION GENERALE	15
<u>PARTIE I. LA PLANIFICATION D'ITINERAIRES : UNE TACHE COGNITIVE COMPLEXE, AIDEE ET SITUEE DANS UN CONTEXTE DE MOBILITE</u>	23
CHAPITRE 1. LA PLANIFICATION D'ITINERAIRES, UNE RESOLUTION DE PROBLEME SPATIAL	26
1.1. LA PLANIFICATION D'ITINERAIRES : DEFINITIONS	27
1.1.1. La planification dans la résolution de problème	27
1.1.2. La planification dans la cognition spatiale	28
1.1.3. La planification d'itinéraires : un processus en différentes étapes	30
1.2. LES STRATEGIES EN JEU DANS LA PLANIFICATION D'ITINERAIRES	32
1.2.1. Le problème du voyageur de commerce pour l'étude des stratégies	32
1.2.2. Version fermée du problème du voyageur de commerce	34
1.2.3. Version ouverte du problème du voyageur de commerce	38
1.2.4. Capacités cognitives impliquées dans la résolution du problème du voyageur de commerce	42
1.3. LA PLANIFICATION D'ITINERAIRES DANS LA COGNITION SPATIALE	45
1.3.1. Les représentations mentales spatiales pour élaborer un plan	45
1.3.2. Les capacités cognitives nécessaires à la création et manipulation des représentations spatiales	48
1.3.3. Planification d'itinéraires et navigation dans un environnement écologique	54
1.4. CONCLUSION	58
CHAPITRE 2. LES AIDES POUR PLANIFIER ET CHOISIR UN ITINERAIRE, DU PROCESSUS COGNITIF A L'ELABORATION DE CRITERES	62
2.1. LA CARTE COMME SUPPORT VISUO-SPATIAL POUR AIDER LA PLANIFICATION D'ITINERAIRES	63
2.1.1. Description générale des cartes	63
2.1.2. Les cartes pour la création de représentations spatiales et la navigation	65
2.1.3. Les heuristiques dans la planification à partir de cartes	67
2.2. LA PLANIFICATION D'ITINERAIRES EN TRANSPORTS EN COMMUN A PARTIR DE CARTE	71
2.2.1. Structure et navigation dans le réseau de transports en commun	71
2.2.2. Spécificités des cartes de réseau de transports	74
2.2.3. Les cartes de réseau de transports ne permettent pas une réalisation facile de la planification	75
2.3. LE RECOURS AUX AIDES DE TYPE PLANIFICATEURS POUR CHOISIR UN ITINERAIRE	78
2.3.1. Les planificateurs et le choix multi-attributs	78
2.3.2. Différentes heuristiques de prise de décision	81

2.4. CONCLUSION	86
CHAPITRE 3. LES CRITERES DANS LE CHOIX D'ITINERAIRES : INFLUENCE DES FACTEURS INDIVIDUELS ET CONTEXTUELS	90
3.1. CHOISIR ENTRE DIFFERENTS MODES DE TRANSPORTS	91
3.1.1. Les critères et facteurs entrant en compte dans le choix de mode	91
3.1.2. Les facteurs personnels dans le choix : attitudes et habitudes	93
3.1.3. Le contexte comme modérateur du choix	99
3.2. CHOISIR ENTRE DIFFERENTS ITINERAIRES EN TRANSPORTS EN COMMUN	100
3.2.1. Les critères et le contexte dans le choix d'itinéraires en transports en commun	100
3.2.2. L'importance des transferts dans les itinéraires en transports en commun et leur impact sur le choix	103
3.3. CONCLUSION	106
CHAPITRE 4. PROBLEMATIQUE ET MODELE	111
4.1. PROBLEMATIQUE	111
4.2. MODELE DU PROCESSUS DE LA PLANIFICATION D'ITINERAIRES EN TRANSPORTS EN COMMUN	115
4.3. VUE D'ENSEMBLE DES ETUDES	121
PARTIE II. ETUDES	125
CHAPITRE 5. LA PLANIFICATION D'ITINERAIRES EN TRANSPORTS EN COMMUN A PARTIR DE CARTE : UN PROCESSUS EN DEUX ETAPES.	127
5.1. INTRODUCTION	127
5.1.1. La recherche de l'origine et de la destination à partir de carte : une exploration visuelle	127
5.1.2. La sélection de l'itinéraire à partir de carte	130
5.2. OBJECTIFS DE L'ETUDE	131
5.3. METHODE	133
5.3.1. Participants	133
5.3.2. Matériel	133
5.3.3. Procédure	136
5.3.4. Analyse des données	137
5.4. HYPOTHESES	140
5.5. RESULTATS	142
5.5.1. Performances	142
5.5.2. Mouvements oculaires	145
5.6. DISCUSSION ET CONCLUSION	154

CHAPITRE 6. MISE EN EVIDENCE DES FACTEURS CONTEXTUELS ET DU PROFIL DE L'USAGER DANS LE CHOIX D'ITINERAIRES EN TRANSPORTS EN COMMUN.	162
6.1. INTRODUCTION	162
6.2. OBJECTIFS DE L'ETUDE	165
6.3. METHODE	166
6.3.1. Cadre de l'étude : transports en commun de la région Île-de-France	166
6.3.2. Participants	167
6.3.3. Matériel	168
6.3.4. Procédure	170
6.4. ANALYSE DES DONNEES	170
6.4.1. Incidents critiques	170
6.4.2. Questionnaires	173
6.5. RESULTATS	175
6.5.1. Incidents critiques	175
6.5.2. Questionnaire : les raisons des participants pour choisir un itinéraire dans différents contextes	182
6.6. DISCUSSION ET CONCLUSION	183
 CHAPITRE 7. SELECTIONNER UN ITINERAIRE : INFLUENCE DES FACTEURS INDIVIDUELS ET CONTEXTUELS SUR LE CHOIX MULTI-ATTRIBUTS.	 188
7.1. INTRODUCTION	188
7.2. OBJECTIFS	190
7.3. METHODE	191
7.3.1. Participants	191
7.3.2. Matériel	191
7.3.3. Procédure	195
7.4. ANALYSE DES DONNEES	197
7.4.1. Tâche de choix	197
7.4.2. SBSOD	197
7.4.3. Echelle d'attitude envers les transports en commun	197
7.4.4. Questionnaire sur l'utilisation des transports en commun	197
7.4.5. Régression logistique binaire	198
7.5. HYPOTHESES	199
7.6. RESULTATS	200
7.7. DISCUSSION	202

CHAPITRE 8. PLANIFIER UN ITINERAIRE : ETUDE DU PROCESSUS A PARTIR DE CARTE ET REALISATION

EN REALITE VIRTUELLE	208
8.1. INTRODUCTION	208
8.2. OBJECTIFS	210
8.3. METHODE	210
8.3.1. Participants	210
8.3.2. Matériel	211
8.3.3. Procédure	218
8.4. ANALYSE DES DONNEES	221
8.4.1. Tâche de choix	221
8.4.2. Profil de l'utilisateur	222
8.5. HYPOTHESES	224
8.6. RESULTATS	225
8.6.1. Equivalence des groupes selon la condition	225
8.6.2. Choix d'itinéraires	226
8.6.1. Vérification du choix et de l'immersion	233
8.7. DISCUSSION ET CONCLUSION	235
PARTIE III. DISCUSSION GENERALE	240
CHAPITRE 9. DISCUSSION ET CONCLUSION GENERALE	242
9.1. VALIDATION DU MODELE PLANITRAC	242
9.1.1. Le modèle PLANITRAC	242
9.1.2. Processus de planification avec une carte et modèle PLANITRAC	243
9.1.3. Processus de planification avec planificateur et modèle PLANITRAC	246
9.1.4. Facteurs individuels et contextuels dans le modèle PLANITRAC	247
9.2. IMPLICATIONS THEORIQUES	250
9.2.1. Processus de planification d'itinéraires	250
9.2.2. Représentation mentale et planification d'itinéraires	252
9.2.3. Confort émotionnel et critères de sélection	253
9.3. IMPLICATIONS PRATIQUES	254
9.4. APPORTS ET LIMITES DE L'APPROCHE METHODOLOGIQUE	256
9.5. CONCLUSION	257
Références	260
Liste des figures	278
Liste des tableaux	282
Annexes	284

Présentation générale

Tous les jours, nombre de personnes sont amenées à planifier des itinéraires pour se déplacer vers des destinations connues, comme leur lieu de travail, participer à une activité de loisirs, ou pour rendre visite à un ami ; ou pour se rendre sur de nouveaux lieux, pour un rendez-vous professionnel ou pour découvrir un restaurant. A chaque fois, ces personnes doivent trouver un itinéraire qui résulte de la combinaison d'un ou plusieurs modes de transports avec un chemin. Ils peuvent le faire soit à partir de leurs connaissances du réseau, soit à partir d'aides comme une carte ou une application que l'on trouve sur internet ou sur un smartphone, que nous appelons « planificateur ». Dans les grandes villes telles que Paris, où le réseau de transports en commun est dense et offre des nombreuses possibilités, ceux-ci sont souvent privilégiés. En effet, 42% des Franciliens empruntent les transports en commun pour réaliser leur trajet domicile-travail et les Parisiens sont, quant à eux, 63% à les préférer aux autres modes de transports (Caenen, Courel, Paulo & Schmitt, 2011¹). Nous proposons, dans cette thèse, de nous intéresser spécifiquement à la tâche de planification d'itinéraires en transports en commun.

Dans les exemples que nous venons d'évoquer, nous pouvons noter que l'activité de planification d'itinéraires est toujours située dans un contexte et ne résulte pas d'une activité cognitive opérant seule. En effet, nous nous déplaçons pour atteindre un but précis (*e.g.*, rendre visite à un ami) et nous utilisons l'environnement extérieur (*e.g.*, le système de transport) mais aussi des aides (*e.g.*, carte) pour mener à bien cette tâche. Il nous apparaît ainsi qu'étudier l'activité de planification d'itinéraires hors de son contexte ne permettra qu'une compréhension limitée de celle-ci. Aussi, nous proposons dans cette thèse d'adopter le point de vue exprimé dans le courant théorique de la « cognition située » (*situated cognition* en anglais), définie ainsi par Clancey (1997, p.1) :

The theory of situated cognition, [...], claims that every human thought and action is adapted to the environment, that is, situated because what people perceive, how they conceive of their activity, and what they physically do develop together.

¹ Source: rapport de l'Insee - SOeS, ENT D 2008 sur l'utilisation des modes de transports en Île-de-France.

Cette définition souligne bien l'intégration de l'environnement extérieur et le caractère physique de l'activité dans la cognition. Le point de vue exprimé par Robbins et Aydede (2009) permet de compléter cette définition. Pour ces auteurs, trois postulats contribuent à la définition de la cognition située. Le premier est que la cognition dépend du corps (*i.e.* postulat de la cognition incarnée, *embodiment* en anglais). Le deuxième, que l'activité cognitive exploite les structures de l'environnement naturel et social (*i.e.* postulat de la cognition intégrée, *embedding* en anglais). Le troisième, est que les limites de la cognition s'étendent au-delà des limites de l'organisme individuel (*i.e.* postulat de la cognition étendue, *extended* en anglais). Selon les auteurs, l'activité mentale est donc dépendante de la situation ou du contexte dans laquelle elle se produit, que la situation ou le contexte soient locaux (cognition incarnée) ou plus globaux (cognition intégrée ou prolongée). L'adoption de ce point de vue nous amène à considérer dans cette thèse la planification d'itinéraires comme une activité cognitive, qui peut être aidée et qui opère dans un contexte social et environnemental de mobilité.

Les premiers modèles théoriques de la planification d'itinéraires ont été proposés dans le domaine de la résolution de problème, à partir de l'étude de la tâche des commissions. Cette tâche implique de trouver un itinéraire pour relier différents lieux où des commissions sont à effectuer (*e.g.*, faire une course, aller à un rendez-vous) et ce sous diverses contraintes spatiales et temporelles (Hayes-Roth & Hayes-Roth, 1979). Plus tard, Gärling, Säisä, Böök et Lindberg (1986) ont proposé un modèle de planification d'itinéraires qui opère en étapes, à partir d'une tâche de commissions simplifiée s'apparentant au problème mathématique du voyageur de commerce. Celui-ci nécessite de trouver le chemin le plus court pour relier différents points pour ensuite revenir au point de départ. Le problème du voyageur de commerce a été largement repris dans les recherches en intelligence artificielle puis en psychologie cognitive pour expliquer le comportement de planification d'itinéraires et notamment l'utilisation de stratégies (MacGregor & Chu, 2011). Toutefois, nous pouvons nous interroger sur le pouvoir explicatif de ces modèles dans le cas où l'individu planifie un itinéraire en transports en commun. Tout d'abord, les tâches considérées impliquent de visiter plusieurs lieux et de revenir au point de départ, ce qui ne correspond pas, à notre sens, à la majorité des situations quotidiennes où l'individu doit se déplacer d'un point A vers un point B uniquement. De plus, ces tâches proposent de planifier

des itinéraires à réaliser à pieds ou en voiture (tâche de commissions) où même sans considérer de mode de transport (problème du voyageur de commerce), mais ne prennent pas en compte les cas où l'individu utilise les transports en commun, et donc les contraintes (*e.g.*, chemins prédéfinis par les lignes de métro ou bus) et informations supplémentaires (*e.g.*, heure de passage) associées à ces modes de transport.

Plus récemment, les études empiriques menées dans le domaine de la cognition spatiale ont permis de mieux comprendre les cas où les individus doivent planifier des itinéraires allant d'un point A vers un point B. Ces études soulignent l'importance des représentations mentales spatiales (modèle mental, Johnson-Laird, 1983) ainsi que le rôle de la mémoire et des capacités spatiales. Elles mettent également en évidence le rôle des différences interindividuelles lors de la planification d'itinéraires (Gras *et al.*, 2012 ; Hölscher, Tenbrink & Wiener, 2011). Enfin, ces études montrent le rôle des critères de sélection, par exemple choisir un itinéraire car c'est le plus court, le plus simple ou le plus agréable (Golledge, 1995). On retrouve peu, dans le cadre de la cognition spatiale, de modélisation théorique du processus de planification. Cependant, les auteurs s'accordent pour dire que pour planifier un itinéraire un individu doit dans un premier temps rechercher tous les itinéraires possibles puis dans un second temps en sélectionner un (Brunyé *et al.*, 2010). Cette proposition est restreinte car elle décrit uniquement des étapes et non des processus cognitifs. De ce fait, elle ne semble pas appropriée pour expliquer la planification d'itinéraires dans sa globalité. En effet, on peut facilement imaginer que le temps de recherche de toutes les options possibles dans un réseau de transport en commun aussi dense que celui de Paris sera extrêmement long et coûteux, puis la sélection complexe du fait des nombreuses alternatives qui seront trouvées. De plus, cette proposition ne considère pas les différences interindividuelles mises en évidence au niveau empirique.

C'est dans le champ de la psychologie sociale et de la mobilité que l'on va retrouver un intérêt pour les différences interindividuelles et contextuelles dans les cas où différents modes de transport sont impliqués. La plupart de ces recherches se sont intéressées au choix de modes de transports, en contrastant la voiture personnelle et les transports en commun, pour effectuer des déplacements. Ces études nous renseignent sur les critères de sélection pris en considération dans un contexte de mobilité (Dieleman, Dijst & Burghouwt, 2002) et sur les facteurs psychologiques, comme l'attitude ou l'habitude, et les facteurs

contextuels (*e.g.*, but du trajet, moment de la journée ou de la semaine ; Klöckner & Friedrichsmeir, 2011) pouvant intervenir lors d'un tel choix. Toutefois, ces études, de part leur méthodologie basée sur des questionnaires, nous permettent principalement d'accéder à l'intention d'utiliser un mode de transport et non au comportement réel. De plus, elles ne nous permettent pas de comprendre le processus de planification d'itinéraires dans son ensemble, mais uniquement le choix d'un mode de transport. Enfin, les rares modélisations théoriques décrivent uniquement les effets des différents déterminants du choix séparément (*i.e.* attitudes, habitudes ; Ajzen, 1985 ; Verplanken, Aarts & Van Knippenberg, 1997).

Dans l'ensemble de la littérature, on retrouve peu d'études s'étant intéressées au processus de planification d'itinéraires à partir d'aides, comme les cartes ou les planificateurs. Les études ayant considéré les cartes se sont principalement focalisées sur la construction de représentations mentales spatiales à partir de celles-ci (Taylor & Tversky, 1992) ou au choix d'un itinéraire parmi plusieurs alternatives proposées sur la carte (Bailenson, Shum & Uttal, 1988 ; Brunyé *et al.*, 2010). En ce qui concerne les planificateurs, à notre connaissance aucune étude n'a posé la question des modifications du processus de planification auxquelles cette aide pourrait conduire. Nous n'avons pas, non plus, retrouvé de modélisations théoriques prenant en compte ces aides à la planification.

L'ensemble des recherches menées dans ces trois domaines permet de décrire les bases du comportement de planification et d'identifier les facteurs cognitifs, psychosociaux et contextuels intervenant au cours de cette activité. Toutefois, les conceptions théoriques sont insuffisantes pour expliquer ce processus cognitif situé dans un contexte de mobilité urbaine. En effet, les propositions actuelles semblent limitées pour expliquer dans sa globalité le processus de planification d'itinéraires que nous mettons en œuvre quotidiennement pour aller d'un point A à un point B. De plus, la plupart des études empiriques existantes se sont intéressées, (1) à la planification d'itinéraires que les individus réalisent à pieds ou en voiture et non lorsqu'ils comptent emprunter les transports en commun ; ou (2) au choix entre la voiture personnelle et les transports en commun et non au choix parmi plusieurs alternatives en transports en commun. Enfin, on retrouve peu d'études s'étant intéressées au processus de planification lorsque les individus utilisent des

aides. Ainsi, en considérant l'activité de planification d'itinéraires située dans un contexte de mobilité, trois objectifs guident la réalisation de la présente thèse.

Le premier objectif est d'étudier la planification d'itinéraires dans le cas où ceux-ci impliquent les transports en commun. Les recherches en psychologie, jusqu'à ce jour, ont principalement étudié le processus de planification sous l'angle de la résolution d'un problème et de la cognition spatiale. Nous supposons que les bases cognitives nécessaires à la réalisation d'une telle tâche sont communes aux deux cas. En revanche, nous pensons que le processus peut être modulé du fait des contraintes associées à la prise des transports en commun (*e.g.*, horaire(s) à respecter, diversité des modes, trajet prédéfini, etc.) et des aides actuelles spécifiques pour planifier un tel itinéraire (*e.g.*, carte, planificateur).

Le deuxième objectif de la thèse est de montrer l'influence de facteurs individuels liés aux usagers (*e.g.*, préférences, caractéristiques sociodémographiques, habitudes, etc.) et de facteurs contextuels liés à la situation spécifique dans laquelle l'utilisateur réalise la tâche (*e.g.*, moment de la journée, but du trajet) sur le choix d'itinéraire. En raison des nombreuses fonctions cognitives engagées pour réaliser une tâche de planification et des différences interindividuelles qui peuvent exister, nous supposons que le processus de planification diffère selon les usagers et leurs capacités. De plus, du fait de la diversité des profils d'utilisateurs (*i.e.* âge, attitude, préférences, habitudes), nous faisons l'hypothèse que ceux-ci ne considéreront pas tous les mêmes possibilités d'itinéraires et ne feront pas les mêmes choix. Nous supposons également que le processus de choix d'itinéraire n'est pas figé et qu'il peut être modifié en fonction du contexte dans lequel il est effectué. Nous considérons en effet, que les différents critères de sélection d'un itinéraire seront plus ou moins pris en compte selon les situations dans lesquelles les usagers se trouvent.

Enfin, le troisième objectif de la thèse est d'explorer les interactions entre les facteurs individuels et les facteurs contextuels dans le choix d'itinéraire. S'il existe bien différents profils d'utilisateurs ne prenant pas en compte les mêmes critères de sélection et ne faisant pas les mêmes choix et qu'il existe des effets liés au contexte, nous pouvons alors supposer que les usagers seront plus ou moins sensibles aux effets du contexte et/ou que celui-ci ne modulera pas de la même manière leur choix d'itinéraire.

Vue d'ensemble de la thèse

La thèse est composée de trois parties. La première expose le cadre théorique et notre problématique en quatre chapitres, la deuxième présente les quatre études que nous avons menées et la troisième permet de discuter nos travaux et d'apporter des conclusions.

Dans la première partie, nous discutons les travaux théoriques et empiriques existant permettant d'appréhender de manière globale le processus de planification d'itinéraires. Le premier chapitre expose les bases cognitives de la planification du point de vue de la résolution de problème et de la cognition spatiale. Le deuxième chapitre s'intéresse à la planification aidée par des cartes, ou des « planificateurs », et aux modulations du processus de planification dans ce cadre. Le troisième chapitre permet de considérer les facteurs pouvant influencer le processus de choix de mode de transport et d'itinéraire, d'un point de vue plus psychosocial. Cette partie se termine avec le quatrième chapitre dans lequel nous présentons notre problématique et notre proposition de modèle de la planification d'itinéraires en transports en commun.

Dans la deuxième partie, composée de quatre chapitres, nous exposons les quatre études que nous avons menées. Dans ces quatre études, nous avons fait appel à des méthodes variées utilisant différentes techniques, notamment l'oculométrie, l'entretien et la réalité virtuelle. Ces études nous permettent de cibler le processus de planification, notamment dans le cas où les usagers utilisent des aides comme une carte ou un planificateur. Elles nous permettent également d'étudier l'influence de facteurs individuels et contextuels sur la planification.

Dans la dernière partie, composée de deux chapitres, nous discutons nos résultats, en lien avec la littérature, et notre proposition de modèle du processus de planification d'itinéraires en transports en commun. Puis nous proposons des applications pratiques de nos résultats avant de conclure ce travail.

Partie I. La planification
d'itinéraires : une tâche cognitive
complexe, aidée et située dans un
contexte de mobilité

Chapitre 1. La planification d'itinéraires, une résolution de problème spatial

Pour aller d'un point A à un point B, un individu ne disposant pas immédiatement d'une solution pour atteindre cet objectif, se trouve, par définition, dans une situation de résolution de problème (Malhotra, Thomas, Carroll & Miller, 1980). Selon la configuration de l'espace urbain, des modes de transport disponibles, des horaires, etc., le sujet peut être amené à réfléchir aux options possibles. De ce fait, une représentation mentale du problème doit être élaborée, utilisant les connaissances et les informations spatiales dont le sujet dispose, pour établir la procédure convenable qui résoudra le problème spatial posé, *i.e.* l'itinéraire planifié correspondant à une séquence de segments et de changements, de repères, d'indices et d'actions associées nécessaires pour en permettre la réalisation. Nous pouvons donc considérer que la planification d'itinéraires implique la résolution d'un problème situé dans un espace urbain. Dans l'ensemble de la présente thèse nous considérerons que le trajet à planifier est le problème (*e.g.*, aller du point A au point B), que l'itinéraire est la solution trouvée (*e.g.*, séquence de segments et de changements, de repères, d'indices et d'actions associées) et que le chemin est le tracé que suit l'itinéraire.

En psychologie, au moins deux domaines d'étude complémentaires ont permis de définir et d'étudier la planification d'itinéraires : la résolution de problème et la cognition spatiale. Le domaine de la résolution de problème porte un intérêt principalement sur les processus permettant d'aboutir à une solution, la planification étant un exemple de problème possible. Le domaine de la cognition spatiale, quant à lui, a pour objet l'ensemble des éléments liés à l'espace, par exemple la construction de représentations mentales spatiales et l'utilisation de l'espace. La littérature en cognition spatiale permet donc de définir et de comprendre les aspects spatiaux de la planification d'itinéraires, pour laquelle il s'agit principalement de trouver un itinéraire reliant au minimum deux points situés dans un espace.

Dans ce premier chapitre, nous allons tout d'abord définir la planification d'itinéraires à partir de la littérature s'intéressant à la résolution de problème et à la cognition spatiale.

Ensuite nous discuterons les apports des travaux théoriques et empiriques menés dans ces deux domaines pour mieux comprendre la planification d'itinéraires. Les stratégies de résolution de problème seront abordées dans un premier temps, puis nous présenterons les travaux en cognition spatiale permettant d'appréhender la tâche de planification de manière plus globale.

1.1. La planification d'itinéraires : définitions

1.1.1. La planification dans la résolution de problème

Un problème est défini comme une situation comprenant une part de nouveauté pour laquelle il s'agit de faire appel à de nouvelles combinaisons de réponses motrices et cognitives (Costermans, 1998). En d'autres termes, c'est une situation pour laquelle nous ne disposons pas immédiatement d'une solution et pour laquelle nous devons produire de nouvelles réponses (Caplat, 2002). L'intérêt des chercheurs de ce domaine réside dans la compréhension des différents types de processus mis en œuvre pour permettre de trouver une solution.

Les recherches sur la résolution de problème ont largement été influencées par la modélisation théorique de Newell et Simon (1972). Ces auteurs envisagent la résolution de problème comme une interaction entre une personne et une tâche de l'environnement. Cette interaction est le résultat de la construction par le participant d'une représentation mentale appelée l'« espace interne de problème » (« *internal problem space* » en anglais). Cet espace de problème comprendrait trois composantes : (1) l'état initial, (2) l'état final (ou but) qui est la solution au problème et (3) l'ensemble des opérateurs disponibles qui définissent les états licites, ces derniers étant définis comme l'ensemble des transformations possibles menant de l'état initial à l'état final en passant par une série d'états intermédiaires. De plus, les auteurs ont considéré l'architecture humaine du traitement de l'information. Ainsi, il est admis que : (1) le problème est représenté symboliquement, (2) la résolution de problème est sérielle ou séquentielle, (3) les capacités de mémoire à court terme et de travail pour le maintien et la manipulation des informations sont limitées et (4) le système de mémoire à long terme est à capacité illimitée. Cette conception peut être

comparée à un graphe dans lequel divers chemins sont possibles pour rejoindre l'état final à partir de l'état initial. Ainsi chercher une solution s'apparente à chercher et sélectionner un chemin parmi les différentes possibilités. Pour aider la recherche de solutions et ne pas tester toutes les possibilités, des heuristiques peuvent être mises en place. Un exemple d'heuristique est de commencer par l'état final et de revenir en arrière à l'état initial (« *means-ends analysis heuristic* » en anglais).

Dans ce cadre, la planification est considérée comme la combinaison de mécanismes d'élaboration et d'utilisation de plan(s) (Hoc, 1987) et donc comme l'élaboration d'une suite d'actions permettant d'atteindre un but (Hayes-Roth & Hayes-Roth, 1979). Le plan est défini comme étant une représentation dont le caractère anticipé et schématique permet de guider l'activité. Selon les théories, le plan est formé en avance, puis il peut être suivi (Newell et Simon, 1972 ; Gärling *et al.*, 1986) ou bien réajusté durant sa réalisation (Hayes-Roth & Hayes-Roth, 1979).

Plus récemment, Ward et Morris (2005) ont établi que la plupart des théories de la planification s'accorde sur l'idée que la base du processus réside dans le fait de former une représentation mentale du problème, appelée une image, un espace de problème ou une carte cognitive. Cette représentation serait composée de l'état initial, du but et d'un ensemble d'actions disponibles qui peuvent être réalisées. Pour évaluer et sélectionner les différentes possibilités d'action, des stratégies de planification, appelées algorithmes (en mathématique ou informatique) ou heuristiques (en psychologie), seraient utilisées depuis l'état initial vers le but ou en sens inverse à partir de l'objectif. Les séquences d'actions ou les « plans » d'action seraient ensuite stockés en mémoire de travail, et l'exécution du plan jusqu'à la résolution du problème serait suivie et évaluée par un mécanisme de contrôle exécutif. Enfin, les plans seraient souvent établis à partir d'un répertoire à plus long terme de compétences mais, pour que celles-ci soient utilisées de manière appropriée, un contrôle motivationnel et attentionnel doit être mis en place.

1.1.2. La planification dans la cognition spatiale

La planification d'itinéraires est un problème situé dans l'espace et engage donc la cognition spatiale. Les travaux sur la cognition spatiale s'intéressent à l'étude de l'acquisition

des connaissances spatiales et de leur manipulation, dans le but non seulement de se représenter l'espace, mais également d'agir avec et/ou dans celui-ci (Denis, 1997, 2012). Les études dans ce domaine s'intéressent aussi bien à des espaces dits proximaux qu'environnementaux. Un espace proximal peut être de petite taille (*i.e.* plus petit que le corps humain) ou de grande taille (*i.e.* plus large que le corps humain), mais dans les deux cas, ces espaces peuvent être appréhendés d'un point de vue unique et sans locomotion. Les espaces environnementaux sont plus larges que le corps humain et la locomotion est nécessaire pour appréhender les éléments les constituant. Un itinéraire en milieu urbain sera alors considéré comme un espace environnemental. Dans ce dernier cas, les études s'attachent notamment à mieux comprendre comment l'Humain se représente mentalement un espace environnemental (voir par exemple Taylor et Tversky, 1992) et comment il utilise ces représentations pour naviguer dans l'espace dans le but de trouver une destination (voir par exemple Denis, Mores, Gras, Gyselinck & Daniel, 2014 ; Meilinger, Knauff & Bühlhoff, 2008).

Dans le domaine de la cognition spatiale, la planification d'itinéraires est un processus qui a été étudié en tant que l'une des composantes d'une activité plus large de « recherche du chemin » (« *wayfinding* » en anglais). La recherche du chemin a initialement été définie par Kevin Lynch en 1960 et Golledge (1999) comme étant le processus d'élaboration et de suivi d'un itinéraire pour se rendre d'un point de départ à un point d'arrivée. La recherche du chemin est donc constituée de multiples sous-activités telles que la recherche et l'exploration visuelle, la locomotion mais également la planification de l'itinéraire qui devra ensuite être suivi (Meilinger, Hölscher, Büchner & Brösamle, 2007 ; Wiener, Büchner & Hölscher, 2009). Farr, Kleinschmidt, Yarlagadda et Mengersen (2012) considèrent, quant à eux, que la recherche du chemin se compose de trois éléments liés qui sont proches des conceptions retrouvées dans le domaine de la résolution de problème : (1) la prise de décision et le développement d'un plan d'action, (2) l'exécution de la décision et donc la transformation du plan en un comportement approprié à la tâche demandée, et (3) le traitement de l'information (perception de l'environnement et cognition).

C'est dans le cadre de la cognition spatiale que différents auteurs comme Golledge (1995) ou Brunyé *et al.* (2010) vont s'accorder pour décrire le processus de planification en trois étapes : (1) rechercher l'origine, la destination, et leur relation spatiale, (2) identifier et

comparer les itinéraires possibles et (3) sélectionner le l'itinéraire qui convient le mieux. Certains auteurs ont combiné ces étapes aux processus de planification définis dans la littérature pour décrire de manière plus exhaustive la planification d'itinéraires. Un exemple est le modèle proposé par Gärling *et al.* (1986) que nous allons décrire dans la section suivante. Il est important de noter cependant que la plupart des modélisations de la planification dans ce cadre, décrivant le processus en différentes étapes, n'ont été que très peu validées empiriquement.

1.1.3. La planification d'itinéraires : un processus en différentes étapes

Partant d'une tâche classique de commissions simplifiée (proche du problème du voyageur de commerce), dont le but est de relier plusieurs points (lieux) présentés sur une carte par l'itinéraire le plus court, Gärling *et al.* (1986) ont proposé un modèle de la planification d'itinéraires. Ce modèle est fondé sur des principes appartenant aussi bien au domaine de la résolution de problème que de la cognition spatiale. Les auteurs supposent que l'activité de planification repose sur une représentation mentale en mémoire du problème. Dans leur modèle, la représentation mentale est définie en termes de carte cognitive (Tolman, 1948) dans laquelle seraient stockées les positions des différents lieux et objets, ainsi que leurs relations spatiales. A partir de cette carte, différents choix et décisions spatiales sont possibles, notamment pour un environnement à grande échelle comme une ville. En s'appuyant sur la théorie de la planification de Newell et Simon (1972) pour laquelle la construction d'une représentation mentale (ou d'un plan) est contrainte par des capacités de mémoire à court-terme limitées, Gärling *et al.* (1986) vont définir la planification comme un processus sériel impliquant des heuristiques.

Le processus est donc décomposé en différentes étapes de manière sérielle (voir Figure 1). Les éléments de départ sont la liste de courses, de tâches ou de points à relier. Dès lors, il est supposé que les localisations de ces points seront retrouvées à l'aide de la représentation mentale formée par l'individu et stockée en mémoire à court terme. A partir de là, un premier objectif sera d'organiser l'ordre dans lequel les différents points seront visités, et ceci sera réalisé grâce à l'utilisation d'heuristiques. Dans ce cas précis, Gärling et ses collaborateurs reprennent l'heuristique de minimisation de la distance locale (« *locally minimizing distance* » en anglais) préalablement définie par Hayes-Roth et Hayes-Roth

(1979) dans leur modèle de planification à partir d'une tâche de commission. Cet heuristique définit l'ordre de visite en prenant en compte la distance la plus courte pour rejoindre les points deux à deux en traçant une ligne droite (distance euclidienne). Ensuite, le chemin réel (qui n'est donc pas forcément en ligne droite) entre les points deux à deux sera retrouvé grâce à la représentation mentale de l'environnement, puis le chemin total sera alors formé. Enfin, la dernière étape consiste en l'exécution de ce plan, c'est à dire la réalisation de l'itinéraire.

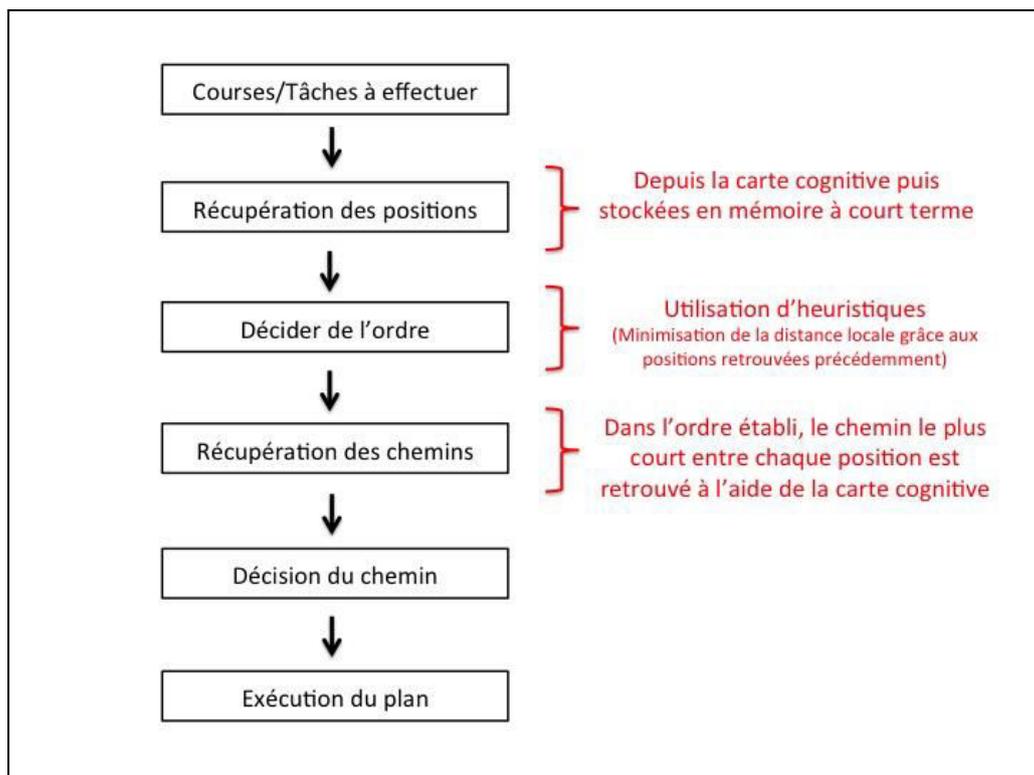


Figure 1. Le processus de planification d'itinéraires selon le modèle de Gärling *et al.* (1986). En noir, le modèle (traduit en français) comme il figure dans l'article et en rouge les indications sur les processus.

Le modèle proposé par Gärling *et al.* (1986) apporte un éclairage intéressant sur le processus de planification d'itinéraires. Bien que l'on trouve très peu, à notre connaissance, de validations empiriques de ce modèle dans la littérature, la proposition des auteurs permet d'amener deux éléments de réflexion pour mieux comprendre le processus de planification. Le premier concerne l'utilisation d'heuristiques pour aider la formation du plan et minimiser les efforts cognitifs. Il semble que l'heuristique de minimisation de la distance locale qui y est reprise n'explique pas tous les comportements (Gärling *et al.*, 1986), ce qui souligne la nécessité de comprendre comment les individus s'y prennent et quelle(s) autres

stratégie(s) ou heuristique(s) ils utilisent pour mieux appréhender le processus en situation réelle. Les études s'intéressant à la réalisation de problèmes spatiaux, tels que celui du voyageur de commerce, apportent un certain nombre de réponses à cette question. Le second élément est la mise en évidence du rôle de la représentation mentale comme support de l'activité de planification. Les études tentant de comprendre la création et l'utilisation de telles représentations mentales spatiales, notamment dans l'activité de recherche du chemin, permettent de mieux situer le rôle d'une telle représentation, mais également des stratégies utilisées dans l'activité de planification dans un cadre plus réaliste. Nous allons dans la suite de ce chapitre discuter ces deux points.

1.2. Les stratégies en jeu dans la planification d'itinéraires

1.2.1. Le problème du voyageur de commerce pour l'étude des stratégies

Le problème du voyageur de commerce (appelé « *Traveling Salesman Problem* » en anglais) a initialement été défini en informatique pour trouver le chemin le plus court entre différents sommets d'un graphe (*i.e.* un ensemble de points reliés par des segments). Par exemple, l'objectif pourrait être d'optimiser le tour que doit faire un livreur partant de l'entrepôt, puis visitant différents lieux pour les livraisons et enfin revenant au point de départ. Bien que ce problème paraisse simple, le nombre de chemins possibles croît rapidement en fonction du nombre de lieux à visiter. En effet, le nombre d'alternatives possibles est calculé comme la factorielle du nombre de lieux. Ainsi, pour 5 lieux il y a 120 solutions possibles ($5! = 120$) et pour 9 le nombre d'alternatives passe alors à 360000 ! Le problème étant NP-complet, on ne connaît pas d'algorithme en temps polynomial qui le résout ; et il est largement admis dans la communauté informatique qu'un tel algorithme n'existe pas. Les recherches dans ce domaine se sont donc attachées à définir des heuristiques permettant de trouver une solution optimale sans avoir à calculer toutes les solutions possibles.

Il existe principalement deux versions de ce problème utilisées en psychologie pour l'étude des processus de résolution de problème et la planification d'itinéraires : une version visuelle et une version en navigation. La version visuelle (Voir Figure 2) consiste à présenter

un certain nombre de points sur un feuillet ou un écran d'ordinateur, et à demander au participant de relier ces points pour former le chemin le plus court (voir par exemple MacGregor & Ormerod, 1996). La version en navigation consiste à trouver le chemin, en naviguant directement dans l'environnement, le plus court possible, pour relier plusieurs lieux répartis dans un espace défini puis retourner au point de départ (voir par exemple Wiener, Ehbauer & Mallot, 2007). Les chercheurs en psychologie ont également étudié une version ouverte du problème, c'est-à-dire où les différents points sont répartis dans l'espace, tandis que seuls un point de départ et un point d'arrivée sont définis (Voir Figure 2). Ainsi la tâche se rapproche des situations quotidiennes de recherche et planification d'itinéraires pour se rendre d'un lieu à un autre (voir par exemple Hirtle et Gärling, 1992). Un exemple de la version fermée et un exemple de la version ouverte du problème du voyageur de commerce, ainsi que des exemples de résolution, sont présentés dans la Figure 2 ci-dessous.

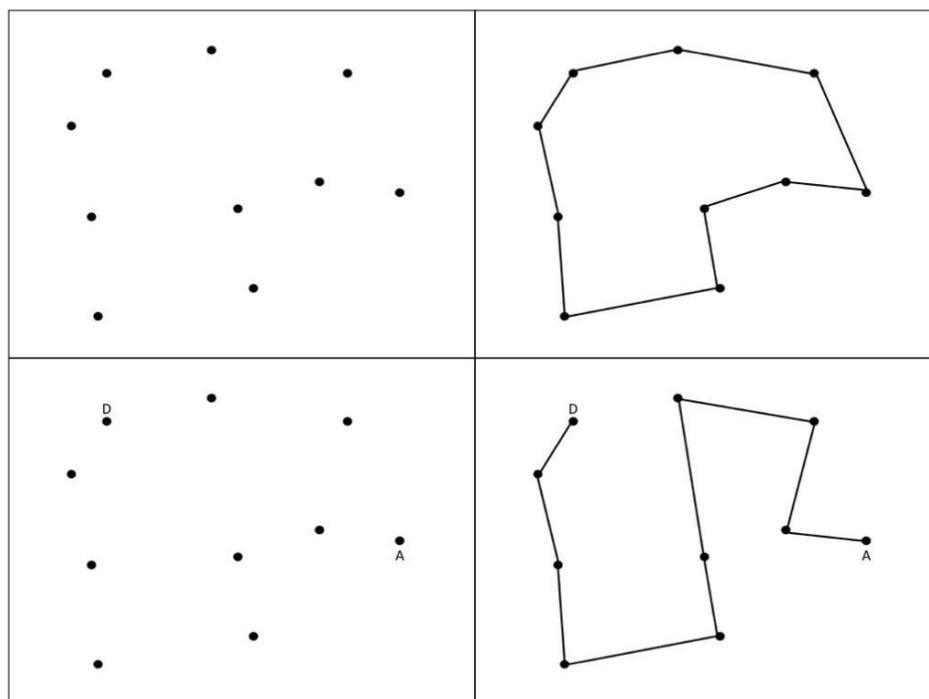


Figure 2. Exemple du problème du voyageur de commerce dans la version visuelle. En haut la version fermée est présentée, à gauche avant résolution et à droite un exemple de résolution. En bas une version ouverte est présentée, avec un « D » pour le départ et un « A » pour le point d'arrivée, à gauche le problème non résolu et à droite un exemple de résolution.

Les recherches en psychologie et en intelligence artificielle ont mis en évidence que l'Homme arrive facilement à trouver une bonne solution à ce problème (pour une revue, voir Wiener & Tenbrink, 2008 ou MacGregor & Chu, 2011), et ce principalement grâce à

l'utilisation de stratégies efficaces (*i.e.* heuristiques) permettant de ne pas calculer dans un premier temps toutes les possibilités (MacGregor, Chronicle & Ormerod, 2004 ; Wiener & Mallot, 2006). Toutefois, il a été remarqué que le temps de résolution augmentait avec le nombre de points (Pizlo *et al.*, 2006).

De nombreuses propositions d'heuristiques ont été faites et nous allons ici nous centrer uniquement sur celles qui semblent être les plus proches du raisonnement humain, et qui trouvent des éléments de validation empirique en psychologie. Dans un premier temps, nous discuterons les recherches s'étant intéressées à la version fermée du problème, et dans un second temps nous décrirons celles qui se sont intéressées à la version ouverte. Enfin, nous discuterons les études mettant en évidence l'implication de certaines capacités cognitives dans la résolution d'un tel problème.

1.2.2. Version fermée du problème du voyageur de commerce

L'une des premières études réalisée pour comprendre comment les Hommes trouvent une solution au problème du voyageur de commerce a été menée par MacGregor et Ormerod (1996). Dans leur tâche, les participants se voient présenter, sur une feuille de papier, 10 points (expérience 1) ou 20 points (expérience 2). Le nombre de points intérieurs (*i.e.* points pour lesquels d'autres points sont disposés au-dessus, en dessous, à gauche et à droite dans l'espace présenté) varie de 1 à 6 dans la première étude, et de 4 à 14 dans la seconde. Les participants doivent relier les points en réalisant le plus court chemin et en revenant au point de départ. En comparant la qualité de la solution trouvée par leurs participants et les solutions hypothétiques trouvées par les algorithmes, ils remarquent que les stratégies utilisées par les participants se rapprochent de la méthode dite de la « Coque Convexe » (littéralement de l'anglais « *Convex-hull* »). Cette méthode (MacGregor *et al.*, 1996, MacGregor, Ormerod & Chronicle, 1999, 2000) consiste à englober tous les points extérieurs à la manière d'un élastique (traitement global), puis à lier ensuite séquentiellement les points qui seraient plus centraux (traitement local, voir Figure 3 pour un exemple).

Dans la littérature, de nombreux arguments semblent en faveur de cette méthode. Par exemple, il a été montré que la reconnaissance de la solution est très rapide, ce qui

concorde avec la mise en jeu de processus globaux pour dessiner le contour des points (Ormerod & Chronicle, 1999). Le processus en deux temps (global puis local) est confirmé empiriquement car augmenter le nombre de points intérieurs (local) augmente le temps de résolution et diminue l'efficacité (MacGregor *et al.*, 1996) alors qu'augmenter le nombre de points extérieurs (global) n'a pas d'influence (MacGregor, Chronicle & Ormerod, 2004).

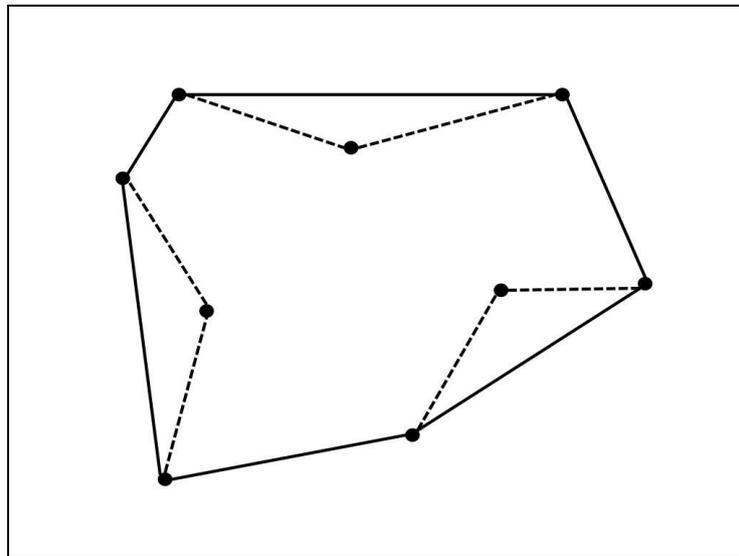


Figure 3. Exemple de résolution du problème selon la méthode de la "Coque Convexe". Dans un premier temps tous les points extérieurs sont reliés (traits pleins) puis dans un second temps les points intérieurs sont intégrés (traits en pointillés).

Une autre proposition d'heuristique pour expliquer comment l'Humain résout le problème du voyageur de commerce est celle du « voisin le plus proche » (« *Nearest Neighbor* » en anglais ; Golden, Bodin, Doyle & Stewart, 1980). L'idée est qu'à partir de la position de départ, le point le plus proche qui n'a pas encore été visité est relié. Cette procédure est répétée jusqu'à ce que tous les points aient été visités et qu'il y ait eu retour au point de départ. Vickers, Lee, Dry et Hughes (2003) ont comparé la méthode de la « Coque Convexe » et celle du « voisin le plus proche » à partir d'une version visuelle du voyageur de commerce pour laquelle le nombre de points extérieurs variait de 7 à 12, pour des problèmes de 40 points au total. En regardant le pourcentage de déviation des solutions trouvées par les participants par rapport à la solution optimale, ils remarquent que le nombre de points extérieurs a une influence sur la qualité de la solution choisie, contrairement à ce qui est prédit par la méthode de la « Coque Convexe ». Ce résultat plaide

en défaveur de la méthode de la « Coque Convexe» pour la planification et apporte un argument empirique en faveur de l'hypothèse du « voisin le plus proche ».

Cependant, les résultats de Wiener, Ehbauer et Mallot (2009) indiquent que la stratégie du « voisin le plus proche » ne peut pas expliquer tous les cas de planification lors d'une tâche de voyageur de commerce effectuée en navigation directe. Dans leur étude, ils ont mis en place un paradigme dans lequel ils ont fait varier le nombre d'endroits à visiter et leur organisation spatiale. C'est-à-dire que, dans une condition, les localisations sont arrangées en faveur de la stratégie du « voisin le plus proche », et dans l'autre, dite « cluster », les endroits à visiter étaient rapprochés pour former deux clusters différents, un grand et un petit. Ainsi, les auteurs ont pu tester si la planification était favorisée par une heuristique du « voisin le plus proche » ou par « clusters ». Cette dernière heuristique décrit que la planification s'effectue en visitant le plus de points possibles le plus rapidement possible (Wiener, Schnee & Mallot, 2004), ce qui conduit à prédire que le cluster le plus grand serait visité en premier. Les résultats montrent que les participants ont tendance à visiter en premier le cluster le plus grand. De ce fait, les auteurs concluent que l'heuristique du « voisin le plus proche » ne semble pas suffisante pour rendre compte des stratégies utilisées par les participants pour planifier leur itinéraire, et que l'une des possibilités est qu'ils utilisent une stratégie en « clusters ».

Dans la lignée de la stratégie dite en « clusters », Wiener *et al.* (2007) proposent une stratégie basée sur les régions (« *Region-based strategy* » en anglais). Dans ce cas, la planification est conçue comme un processus hiérarchisé selon lequel les participants établissent un plan grossier au niveau des régions qu'ils vont ensuite affiner lors de la navigation en incluant les points qui sont proches, s'appuyant alors éventuellement sur une autre stratégie telle que celle du « voisin le plus proche ». Ainsi, les participants visitent d'abord tous les points qui se situent dans une région, puis se déplacent dans une autre région pour ensuite visiter les points de cette dernière (Wiener & Mallot, 2003). Dans leur seconde étude, Wiener *et al.* (2007) ont demandé aux participants d'effectuer une tâche de voyageur de commerce en navigation. Pour ce faire, ils disposaient d'une liste de symboles (de 4 à 9) qu'ils devaient relier par le chemin le plus court dans une grille comportant 25 positions (grille 5 x 5). Deux cas étaient possibles : (1) l'utilisation de la stratégie par région mène à la meilleure solution (Region Strategy (RS)-Adéquate) ou (2) l'utilisation de cette

stratégie conduit à créer des sous-chemins ne suivant pas la règle (sortir d'une région et retourner dedans ensuite) et donc à une solution non-optimale (RS-Non-Adéquate). Les auteurs ont observé que les participants suivaient davantage le chemin le plus optimal dans la condition RS-Adéquate que dans la condition RS-Non-Adéquate. Ces résultats attestent que la stratégie basée sur les régions explique comment les participants planifient leurs itinéraires en naviguant dans un espace régionalisé. Cependant il faut noter que contrairement à la version visuelle du problème, les participants devaient retenir les endroits à visiter, entraînant probablement une charge supplémentaire en mémoire de travail, ce qui peut expliquer le recours à des stratégies différentes (Blaser & Wilber, 2013) et notamment la segmentation de l'espace en régions.

Au vu de la littérature, il apparaît que plusieurs stratégies peuvent être utilisées selon les situations dans lesquelles sont placés les participants (visuel ou navigation, Blaser & Wilber, 2013), selon l'arrangement des lieux à visiter, et même les consignes données aux participants (Vickers, Butavicius, Lee, & Medvedev, 2001). Dès lors, nous pouvons considérer que l'Homme dispose d'un panel de stratégies qu'il va utiliser différenciellement selon les situations. Il a d'ailleurs été proposé par Wiener *et al.* (2007) que dans un premier temps l'environnement pouvait être divisé en régions, mais qu'à l'intérieur même des régions d'autres stratégies pourraient être utilisées, comme par exemple celle du « voisin le plus proche ». Avec la même idée, Best (2005) a proposé un modèle Global-Local de la planification à partir d'une version visuelle du problème. Il définit que dans une première phase des processus globaux opérants en parallèle définissent la « Coque Convexe » du problème (c'est-à-dire délimite le problème avec les points extérieurs). Dans un second temps un processus hiérarchique intervient pour définir différents clusters et ainsi diviser le problème en divers sous-problèmes. Ces deux premières étapes appartiennent à la phase globale du processus. Dans la phase locale, un processus sériel évalue les différents chemins passant par tous les points à l'intérieur de chaque cluster pour ensuite sélectionner le meilleur, probablement le plus court (sans pour autant définir précisément si cette étape suit l'une des méthodes vues précédemment). Ce processus est répété pour chaque cluster. Best (2005) a testé ce modèle avec différentes tailles du problème (10, 20 ou 30 points) et a remarqué une bonne correspondance avec les réponses des participants.

L'étude de la résolution de la version classique du problème du voyageur de commerce permet de mieux comprendre comment l'Homme sélectionne l'un des chemins possibles et quelles heuristiques sont utilisées. Cependant, la version fermée du problème propose de revenir au point de départ après avoir visité toutes les localisations, ce qui ne rend pas compte de la plus grande partie des itinéraires effectués quotidiennement, qui se font principalement pour rejoindre deux points, comme par exemple de son domicile à son lieu de travail. La version ouverte du problème, quant à elle, permet de considérer une situation plus proche des itinéraires réalisés dans la réalité, qui s'apparente à des situations où l'on rentrerait du travail en passant faire des courses par exemple.

1.2.3. Version ouverte du problème du voyageur de commerce

Chronicle, MacGregor, Ormerod et Burr (2006) ont voulu comparer les performances et les heuristiques utilisées lors de la résolution du problème du voyageur de commerce dans ses versions fermée et ouverte. Dans une première étude ils ont manipulé le type de problème (ouvert ou fermé) et le nombre de points intérieurs (1 ou 6). Ils remarquent que le nombre d'itinéraires optimaux par participant est plus élevé pour le problème fermé que pour le problème ouvert, et plus élevé pour la condition avec un seul point intérieur que celle avec six points. Cette dernière différence est principalement marquée pour le problème fermé, suggérant l'utilisation de stratégies différentes selon le type de problème. Les auteurs notent une limite dans l'interprétation de leurs résultats qui est que, pour chaque problème ouvert, le départ était toujours situé à gauche et l'arrivée à droite. Ils ont alors mené une seconde étude en contrôlant systématiquement les points de départ et d'arrivée avec des problèmes de 15 points dont 9 intérieurs. Les résultats ne montrent alors pas d'effet du type de problème. Les auteurs expliquent l'absence d'effet du type de problème par le nombre de points intérieurs élevé (9). Dans leur troisième étude, ils utilisent des problèmes de 15 points dont 4 intérieurs (nombre considéré faible par les auteurs) et retrouvent le même résultat que dans la première étude, à savoir le problème fermé est mieux résolu que le problème ouvert. Alors qu'il a été plusieurs fois montré dans le cadre du problème fermé que si la méthode de la « Coque Convexe » était utilisée, plus le nombre de points intérieurs augmentait, plus les performances se dégradaient, les auteurs remarquent dans cette étude

l'effet inverse pour le problème ouvert. Ils interprètent ce résultat en expliquant que pour le problème ouvert une autre stratégie doit être utilisée, sans pour autant faire de proposition.

Hirtle et Gärling (1992) ont étudié les stratégies utilisées lors de la résolution de la version ouverte du problème du voyageur de commerce. A l'aide de problèmes de 6, 10 ou 18 points, arrangés en groupes (clusters) ou non, ils ont pu analyser les itinéraires choisis par leurs participants. Les résultats montrent que la stratégie du « voisin le plus proche » semble être considérée dans cette version ouverte du problème, tout comme la stratégie des « clusters ». Ils remarquent également que les participants utilisent la stratégie de la « ligne droite » (« *straight-line* » en anglais) qui suppose de relier les points dans l'ordre le long d'une ligne virtuelle. Cette stratégie est souvent retrouvée uniquement sur certaines portions de l'itinéraire. Enfin, ils ont mis en évidence l'utilisation d'une autre stratégie qu'ils ont nommé « zigzag ». Celle-ci consiste à relier les points de droite à gauche ou de haut en bas en faisant des allers et retours entre les deux extrémités. Ils remarquent également que le type de stratégie utilisée dépend du nombre de points total et de l'arrangement des points. En effet, ils observent une grande variabilité des réponses lorsque le nombre de points est élevé, et quand l'arrangement est en cluster la stratégie de cluster est alors plus utilisée. Ces résultats laissent donc penser que des stratégies proches de celles utilisées dans la version fermée du problème sont également utilisées pour résoudre la version ouverte. De plus, les auteurs supposent que, selon les individus et l'arrangement des points, les stratégies utilisées ne sont pas toujours les mêmes.

MacGregor, Chronicle et Ormerod (2006) ont réalisé des comparaisons entre les données obtenues par Chronicle *et al.* (2006) et les prédictions de trois heuristiques : le « voisin le plus proche », « l'évitement des croisements » (qui revient à l'heuristique de « zigzag » définie par Hirtle et Gärling, 1992) et la « Coque Convexe ». Dans ce cadre, cette dernière est décrite comme suit : à partir du départ, rejoindre le point le plus proche qui n'est pas l'arrivée, et qui peut être atteint sans croiser le bord extérieur quand les autres points seront ensuite connectés. A partir de la longueur de l'itinéraire, du nombre de croisements et de la fréquence des connexions point-à-point, ils remarquent que les trois heuristiques sont retrouvées, mais que les résultats sont plus en faveur de la « Coque Convexe ».

Bien que peu d'études se soient intéressées à la version ouverte du problème, les résultats obtenus recourent ceux de la version fermée dans le sens où ils suggèrent que chaque individu semble disposer d'un stock de stratégies qu'il adapte en fonction des situations. Ainsi, considérer la planification de manière plus globale, et non seulement réduite à l'utilisation d'une heuristique semble pertinent. Dans cette perspective, Cutini *et al.* (2008) ont proposé un modèle de la planification impliquant la notion de compétition entre stratégies. Ce modèle se base sur une version ouverte du problème du voyageur de commerce présentée sous la forme d'une grille, où le départ s'effectue en haut à gauche et l'arrivée en bas à droite. L'idée générale du modèle qui est composé de différents modules (voir Figure 4) est qu'à chaque étape, c'est-à-dire à chaque point, une compétition entre plusieurs stratégies a lieu.

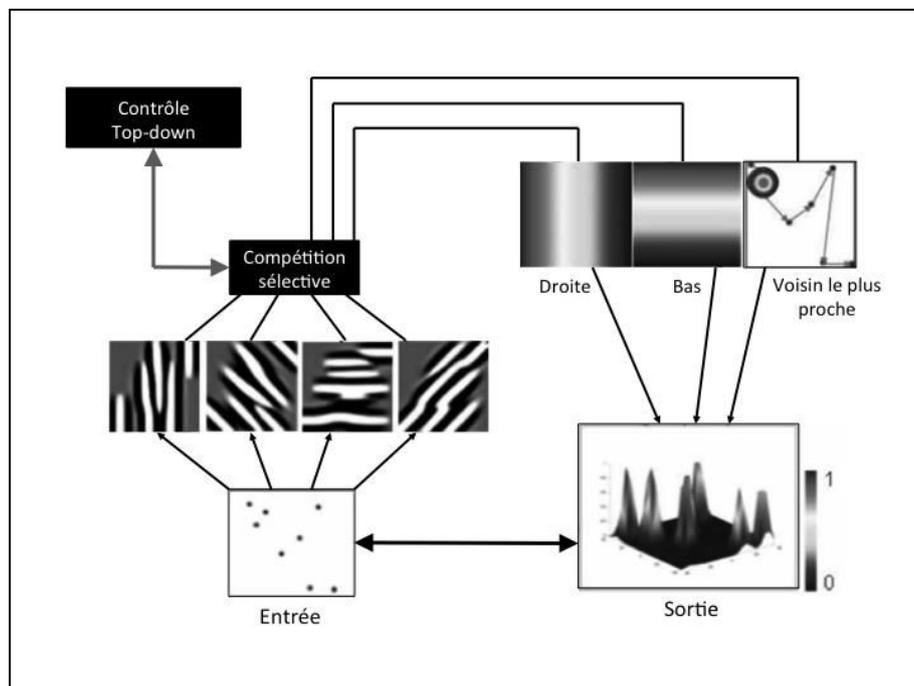


Figure 4. Architecture du modèle de Cutini *et al.* (2008). La figure présente les différents modules (module visuel, module de sélection compétitive, module spatial), la carte de prépondérance et les mécanismes inhibitoires (d'après Cutini *et al.*, 2008).

Le modèle est décomposé en différents modules et processus. Dans un premier temps, le module visuel va permettre l'analyse visuo-spatiale de l'organisation des points à partir de l'entrée visuelle. Ensuite, le module de compétition sélective va simuler le dynamisme interne de compétition entre stratégie pour le choix de la stratégie. Le module spatial va, quant à lui, gérer l'encodage des positions des points à visiter et le contrôle de

l'exécution du chemin de manière séquentielle. Enfin, la carte de prépondérance, les connexions récurrentes et les mécanismes inhibiteurs vont permettre de simuler le processus visuo-spatial de la planification par étapes et les interactions entre les processus d'analyse de la scène visuelle et ceux de sélection des stratégies. Les stratégies considérées sont celles du « voisin le plus proche » et de « direction vers la droite » (« *direction-right* » en anglais) et « direction vers le bas » (« *direction-down* » en anglais). Ces deux dernières sont en fait deux variations de la stratégie en « zigzag » (Hirtle & Gärling, 1992), la première allant de gauche à droite, et la seconde de haut en bas.

Ainsi les auteurs supposent que d'après la configuration visuo-spatiale des points (entrée, « *input* » du modèle), il va y avoir une compétition entre les différentes stratégies possibles. Le choix de la stratégie serait alors influencé non seulement par l'agencement visuo-spatial des points (processus « bottom-up »), mais également par le contrôle de processus « top-down » (par exemple les fonctions exécutives). Une fois que la stratégie à suivre est choisie pour se rendre du premier au second point, ce processus est répété pour chaque étape, intégrant ainsi au modèle la notion de flexibilité dans la sélection des stratégies qui peuvent être différentes entre chaque point.

Les résultats d'une étude menée par la même équipe vont dans le sens d'une mise à jour des stratégies utilisées lors de la planification. En effet, Cazzato, Basso, Cutini et Bisiacchi (2010) ont proposé le même problème que Cutini *et al.* (2008) à des participants et ont enregistré les mouvements oculaires pendant la réalisation. L'un des intérêts de leur étude était de mettre en évidence des différences entre les hommes et les femmes dans l'utilisation des stratégies de planification. Ainsi, leurs résultats suggèrent que les femmes ont tendance à choisir la même stratégie tout au long du trajet (principalement en « clusters » et « direction vers la droite »), alors que les hommes ont tendance à changer de stratégie lors d'un même essai. De plus, la combinaison de différentes stratégies permettrait de trouver un chemin plus court, mais nécessiterait plus de temps et d'effort. Ces résultats suggèrent également que la mise à jour des stratégies diffère selon les individus.

Le modèle de Cutini *et al.* (2008) propose une explication intéressante du comportement humain lors de la planification, dans le sens où il intègre une notion de compétition entre différentes stratégies possibles qui s'effectue tout le long de la

planification, et qu'il prend également en compte l'arrangement spatial des points dans l'espace visuel, ainsi que les différences selon les individus (processus top-down). Le modèle de Cutini *et al.* (2008) suppose également l'intervention des fonctions exécutives, de la mémoire et également de certaines capacités spatiales (notamment pour l'analyse visuo-spatiale détaillée de l'agencement des points) lors de la planification. Cependant, ce modèle a été construit dans le cadre précis du problème avec un point de départ et d'arrivée bien définis, réduisant ainsi les heuristiques prises en compte. De plus il n'a pas été directement validé empiriquement, bien que des éléments en accord avec ce modèle soient retrouvés dans la littérature.

1.2.4. Capacités cognitives impliquées dans la résolution du problème du voyageur de commerce

Dans les modèles que nous avons présentés précédemment (Gärling *et al.*, 1986 ; Cutini *et al.*, 2008), la résolution du problème du voyageur de commerce est sous-tendue par des capacités cognitives telles que la mémoire, les fonctions exécutives et les capacités spatiales. Bien que peu nombreuses, quelques études empiriques permettent d'attester la mise en jeu de ces capacités.

Pour étudier le rôle de la mémoire, Gärling *et al.* (1986, expérience 2) ont fait varier les conditions de mémorisation de l'agencement des lieux d'un problème du voyageur de commerce présenté visuellement. Dans la première condition un apprentissage des lieux était effectué en amont (condition mémoire à long terme), dans la seconde une présentation rapide des positions était effectuée avant l'essai (condition mémoire à court terme) ou alors les informations étaient présentes au moment de la tâche (condition présence). En s'intéressant aux temps de décision, les auteurs ont remarqué que l'effet du nombre de localisations (3, 4, 5 ou 6) est plus fort (temps de décision plus long) en « condition mémoire à long terme » qu'en condition « mémoire à court terme » et apparaît le moins fort en « condition présence », soulignant alors une saturation en mémoire lorsque le nombre de lieux devient trop important dans les conditions de mémoire.

Plus récemment, Wiener *et al.* (2009, expérience 2) se sont intéressés à l'implication de la mémoire lors de la résolution de la version en navigation du problème fermé du

voyageur de commerce. Ils ont repris le paradigme de Wiener *et al.* (2007, expérience 2), en donnant aux participants une liste de symboles (4 à 9) à relier par le chemin le plus court dans un espace en forme de grille de 25 positions (5 x 5). Deux conditions étaient comparées : (1) dans un cas l'utilisation de la stratégie par région menait à la meilleure solution (RS-Adéquate) ou (2) dans l'autre cas cela mène à créer des sous-chemins ne suivant pas la règle et donc à une solution non optimale (RS-Non-Adéquate). Ils ont également fait varier la charge en mémoire : dans une première condition (sans nécessité de mémorisation) les localisations étaient directement marquées dans l'environnement ; dans la deuxième condition, les participants devaient d'abord mémoriser les localisations avant de faire la tâche (condition mémoire de travail spatiale) ; et dans la troisième condition, les participants étaient d'abord entraînés pour apprendre les localisations (condition mémoire à long terme et mémoire de travail spatiale, car ils doivent se rappeler les localisations et les maintenir en mémoire de travail lors de la navigation). Les résultats montrent que dans la condition mémoire à long terme, les participants ont plus de mal à trouver la solution proche de la solution optimale que dans les deux autres conditions. De plus, quand le nombre de localisations augmente, cet écart s'accroît. Pour le pourcentage de réussite à la tâche de trouver le chemin le plus court, les résultats indiquent que dans la condition RS-Adéquate, les performances sont meilleures que dans la condition RS-Inadéquate, et ce principalement pour les conditions sollicitant la mémoire. Les résultats soulignent donc un effet du coût cognitif dû à la recherche en mémoire des localisations, les performances diminuant avec l'augmentation de la demande en mémoire. L'interprétation donnée par les auteurs de ces résultats est que, dans la condition de mémoire à long terme, il faut retrouver la représentation en mémoire à long terme, puis maintenir ces informations en mémoire de travail pour réaliser la tâche. Ceci est donc plus difficile que dans la condition mémoire de travail seule, où la recherche de la représentation en mémoire à long terme n'est pas nécessaire au moment de la réalisation de la tâche. Enfin, quand les informations sont présentes, le rôle de la mémoire est limité ainsi que le coût associé.

Ces deux études attestent donc d'un rôle important de la mémoire à long terme et de la mémoire de travail lors de la réalisation de la tâche, notamment lorsqu'il faut retrouver des positions ou mémoriser la liste des lieux à visiter. La mise en jeu de la mémoire peut être une source d'explication de la complexité de la planification, et donc du recours aux

stratégies et heuristiques lorsque des individus réalisent une telle tâche. Dans leur revue de littérature, Wiener et Tenbrink (2008) pointent également des différences entre la version visuelle et la version de navigation du problème attribuables à une charge en mémoire plus ou moins importante. En effet, en tâche de navigation, le participant doit disposer à tout moment des informations nécessaires à la résolution du problème, alors que celles-ci sont constamment disponibles pour la version visuelle. Contrairement à ce que l'on pourrait attendre, cela ne conduit pas à une différence dans la qualité de la solution trouvée (*i.e.* chemin le plus court, Blaser & Wilber, 2013). En revanche, il est remarqué une utilisation différentielle des stratégies et un temps de résolution plus long en navigation (Wiener et Tenbrink, 2008 ; Blaser & Wilbers, 2013, voir également la partie 1.2.2 sur les stratégies de résolution du problème du voyageur de commerce). L'étude de l'implication de la mémoire montre également qu'un support visuel permet de réduire le coût cognitif associé à la tâche (Gärling *et al.*, 1986). Une question qui se pose alors est de savoir dans quelle mesure le processus de planification diffère selon qu'il soit aidé ou non par un support visuel tel qu'une carte, question qui sera abordée dans le deuxième chapitre de la thèse.

En ce qui concerne le rôle des fonctions exécutives, notamment souligné dans le modèle de Cutini *et al.* (2008), l'étude de Basso, Bisiacchi, Cotelli et Farinello (2001) apporte des éléments pour attester d'une compétition et sélection des stratégies dirigées par les fonctions exécutives. Ils ont proposé un problème ouvert du voyageur de commerce, présenté visuellement avec différents niveaux de difficulté, à des patients présentant des lésions cérébrales préfrontales uni- ou bilatérales et à des participants contrôles. Les résultats montrent que les patients avec les lésions cérébrales sont plus lents que les participants contrôles à faire la tâche. Pour des problèmes simples, le nombre d'erreurs est le même pour les deux groupes, mais les patients font plus d'erreurs lorsque le problème se complexifie. Dans la même idée, Basso *et al.* (2006) ont proposé une tâche de voyageur de commerce ouverte à des participants ayant reçu une stimulation transcrânienne magnétique au niveau du cortex préfrontal dorso-latéral ou non. Les résultats montrent que les participants ayant reçu la stimulation utilisent moins de combinaisons de stratégies pour résoudre la tâche que ceux du groupe contrôle. Ces deux études mettent en évidence un rôle important du cortex préfrontal, siège des fonctions exécutives, dans la sélection des stratégies.

Une dernière composante ayant été prise en considération dans la littérature empirique est l'influence des capacités de raisonnement spatial lors de la planification d'itinéraires. Dans leur étude Vickers *et al.* (2001, expérience 2) ont regardé s'il existait des différences interindividuelles pour la tâche du voyageur de commerce fermée présentée visuellement. Ils ont ainsi regardé le lien entre la longueur du chemin et le score des participants obtenus aux matrices de Raven (test de raisonnement spatial) et ont remarqué une corrélation entre les deux, attestant de différences interindividuelles dans la tâche de planification du voyageur de commerce. Ce résultat montre que certaines capacités de raisonnement spatial sont impliquées dans la résolution du problème.

Les résultats expérimentaux présentés confirment l'implication de la mémoire, des fonctions exécutives et des capacités spatiales dans la résolution du problème du voyageur de commerce. Les études discutées dans cette partie reposent sur différents types de protocoles, visuel, en navigation, avec support visuel ou non, proposant ainsi des conditions de réalisation de la tâche plus ou moins complexe pour les participants, et entraînant des implications différentes des ressources cognitives. Cependant, concernant notre objectif de comprendre la planification d'itinéraires en transports en commun, la littérature sur le problème du voyageur de commerce ne permet pas une analyse approfondie de la globalité du processus. En effet, l'accent est mis dans ces études sur l'utilisation d'heuristiques, mais peu sur la construction du plan défini dans le modèle de Gärling *et al.* (1986) ou sur la composante spatiale du problème. Le domaine de la cognition spatiale permet d'apporter un éclairage plus global sur la planification et fournit des éléments de réponse plus précis sur l'implication des fonctions cognitives tout au long du processus.

1.3. La planification d'itinéraires dans la cognition spatiale

1.3.1. Les représentations mentales spatiales pour élaborer un plan

Dans les théories de la planification, il est souvent fait référence à la représentation du problème, nommé le « plan ». Gärling *et al.* (1986) supposent qu'un tel plan, dans le cas de la planification d'itinéraires, serait apparenté à une représentation mentale spatiale. Dans le domaine de la cognition spatiale, la définition de ces représentations spatiales a été au

cœur de très nombreux travaux et on retrouve plusieurs modèles expliquant la structure, le rôle et le fonctionnement des représentations mentales spatiales, comme par exemple la carte cognitive (Tolman, 1948) ou encore le modèle mental (Johnson-Laird, 1983).

La carte cognitive, initialement définie par Tolman (1948) à partir d'études effectuées chez le rat, a largement été reprise dans la littérature (pour une revue voir Bennett, 1996) pour l'étude des représentations spatiales chez l'Homme. De manière générale, la carte cognitive peut être considérée comme une construction mentale qui permet de connaître et de comprendre l'environnement spatio-temporel. Ainsi les cartes cognitives comprennent des informations sur les lieux, tout comme les relations spatiales entre eux (Kaplan, 1976), mais également des chemins et voies possibles pour rejoindre un lieu à partir d'un autre (Bennett, 1996). En plus de permettre la compréhension de l'environnement, ces cartes cognitives sont nécessaires pour agir dans l'environnement spatial et réaliser des décisions spatiales (Kitchin, 1994 ; Golledge & Gärling, 2004). Il a été proposé que les cartes cognitives sont impliquées dans quatre types de décisions (Cadwallader, 1976; Gärling, Bök & Lindberg, 1984) : (1) la décision de se déplacer ou non ; (2) la décision d'où aller, (3) la décision de quel chemin choisir et (4) la décision de comment y aller.

Une autre possibilité pour décrire les représentations mentales spatiales provient de la théorie des modèles mentaux de Johnson-Laird (1983), initialement proposée pour rendre compte des représentations mises en œuvre dans le raisonnement et la compréhension du langage. Un modèle mental est classiquement défini comme étant une représentation que nous formons d'une situation, à partir du discours ou de notre perception, ayant une structure analogue à la situation qu'il représente. Son contenu correspond aux objets et aux événements du monde réel (Ehrlich, Tardieu & Cavazza, 1993). Ainsi il peut inclure un grand nombre d'informations, comme les propriétés physiques des objets, les positions relatives de ces objets, les distances spatiales comme temporelles qui les séparent (Rinck & Bower, 2000), mais également différentes perspectives (Taylor & Tversky, 1992). Ces modèles mentaux, nous pouvons les construire par notre propre expérience de navigation mais également par la description verbale des itinéraires (*e.g.*, Taylor & Tversky, 1992), par l'étude d'une carte (*e.g.*, Tlauka, Keage & Clark, 2005), ou encore par l'expérience visuelle à travers la réalité virtuelle (*e.g.*, Meilinger *et al.*, 2008).

Le modèle mental permet d'avoir différents points de vue sur une même situation car il est conçu comme un réseau de relations entre différents éléments alors nommés les « tokens ». Les tokens représentent les objets ou les événements du monde. Les propriétés de ces entités sont représentées dans le modèle comme les propriétés des tokens, et les relations spatiales, causales et temporelles entre les entités sont représentées par les relations entre les tokens. Imaginons qu'une personne lise la phrase « le cercle est à la droite du triangle », alors le modèle va représenter un token correspondant au cercle avec ses propriétés, de même pour le triangle, et les relations entre les deux seront représentées par un arrangement spatial entre les deux tokens (Pazzaglia, Gyselinck, Cornoldi & De Beni, 2012). De plus, le modèle mental ne représente pas uniquement l'information spatiale, mais également les relations temporelles, causales, l'état émotionnel et les intentions des protagonistes (Denis & De Vega, 1993 ; De Vega & Rodrigo, 1997), et en ce sens, il est proche de la carte cognitive définie dans la revue de littérature de Kitchin (1994) et dans la proposition du modèle de la planification de Gärling *et al.* (1986).

Un des points qui différencie le modèle mental de la carte cognitive est que celui-ci serait à l'origine une construction en mémoire de travail lorsqu'aucun schéma n'est déjà présent en mémoire à long terme (Johnson-Laird, 1983). Toutefois, le modèle mental est différent du schéma dans le sens où c'est une représentation dynamique et occurrente. En effet, chaque nouvelle situation conduira à l'élaboration d'un modèle mental différent. Selon le point de vue constructiviste adopté dans cette conception, le modèle mental ne serait pas stocké en tant que tel. En revanche, les éléments qui le composent et les procédures pour le créer seront retenus. La similarité d'une situation avec d'autres déjà rencontrées ne conduira alors pas à la récupération en mémoire d'un ancien modèle mais facilitera la construction d'un nouveau modèle. L'élaboration d'une telle représentation en mémoire de travail permet également de postuler que le modèle mental est évolutif, non statique et peut s'adapter, se moduler, au gré d'informations supplémentaires intégrées au modèle, que ces dernières proviennent d'informations nouvelles présentées au sujet (*e.g.*, textes, images) ou d'un stock de connaissances déjà établies en mémoire à long terme. Le fait que le modèle mental soit une représentation en mémoire de travail permet également de postuler qu'il est possible de manipuler les informations présentes au sein du modèle pour réaliser diverses tâches nécessitant la mise en place d'un raisonnement, comme générer des

inférences par exemple. En effet, il a été largement montré dans le domaine de la cognition spatiale, qu'à partir de la construction d'une représentation spatiale à l'aide de différents supports (*e.g.*, description verbale, carte, navigation), il est possible de manipuler l'information. Par exemple, Taylor et Tversky (1992), ont demandé aux participants après apprentissage d'un itinéraire à partir d'une description verbale ou d'une carte de vérifier la véracité d'inférences (*i.e.* nécessitant la manipulation des informations comme des phrases reliant deux points de repère via un troisième). Ceci a ensuite été montré de nombreuses fois dans la littérature avec différents supports (voir par exemple Gyselinck, Picucci, Nicolas & Piolino, 2006 ; Picucci, Gyselinck, Piolino, Nicolas, & Bosco, 2013).

A partir de la définition des concepts de carte cognitive et de modèle mental, nous pouvons dire que la représentation mentale spatiale n'inclut pas uniquement la localisation des objets et leurs positions relatives, mais également les chemins qui peuvent les lier. Cette représentation peut permettre un raisonnement et une manipulation des informations représentées qui pourront alors guider la prise de certaines décisions (Golledge & Gärling, 2004). Une autre question animant les chercheurs dans ce domaine et permettant de comprendre la complexité du processus de planification d'itinéraires est de s'interroger sur les capacités cognitives impliquées dans la construction des représentations mentales spatiales.

1.3.2. Les capacités cognitives nécessaires à la création et manipulation des représentations spatiales

1.3.2.a. La mémoire de travail

La littérature a montré un rôle prépondérant de la mémoire de travail dans la construction des représentations spatiales. La mémoire de travail est définie comme la capacité de maintien et de manipulation des informations lors de tâches cognitives complexes, aussi bien sur un matériel verbal que visuo-spatial. Bien que la mémoire de travail ait pour rôle le maintien temporaire des informations, sa fonction principale réside dans le fait d'être un support à la résolution d'activités complexes. Dans son modèle de la mémoire de travail, Baddeley (1986) suggère l'existence de deux sous-composantes. La première est la mémoire de travail verbale (MT V), responsable du maintien et du traitement

des informations verbales grâce à la boucle phonologique. La seconde est la mémoire de travail visuo-spatiale (MT VS), en charge des informations visuelles et spatiales grâce au calepin visuo-spatial, qui jouerait un rôle dans la formation et la manipulation des images mentales. Sur la base de ce modèle, diverses études ont été menées afin de clarifier l'utilisation des deux composantes de la mémoire de travail dans la construction des représentations mentales.

Ainsi, de nombreux auteurs ont utilisé des paradigmes de double-tâche pendant l'apprentissage d'itinéraires à partir de différents supports (description verbale, carte, navigation en réalité virtuelle). Le paradigme de double-tâche consiste à demander aux participants d'effectuer une tâche secondaire, ici censée faire appel aux composantes de la mémoire de travail, pendant la réalisation d'une tâche primaire, *e.g.*, l'apprentissage d'un itinéraire. Les tâches secondaires utilisées sont très souvent, pour la composante verbale, la tâche d'articulation concurrente (répétition itérative d'une suite de syllabes), et pour la composante spatiale, la tâche de tapping (appui de manière itérative sur les touches d'un boîtier). Des effets d'interférence des deux tâches secondaires (articulation concurrente et tapping) ont été observés au cours de l'apprentissage d'itinéraires à l'aide de descriptions verbales (De Beni, Pazzaglia, Gyselinck & Meneghetti, 2005 ; Gyselinck, De Beni, Pazzaglia, Meneghetti et Mondoloni, 2007 ; Meneghetti, Gyselinck, Pazzaglia & De Beni, 2009 ; Pazzaglia, Meneghetti, De Beni & Gyselinck, 2010), ou de navigation dans un environnement virtuel (Picucci *et al.*, 2013) et ce à partir de tâches verbales (vérification de phrases) mais aussi avec des tâches visuo-spatiales (reconnaissance visuelle de repères ou de directions), ou même de dessin de cartes (Gras *et al.*, 2012).

Gyselinck, Grison et Gras (2015, expérience 1) ont fait apprendre des itinéraires dans des villes virtuelles à des participants qui devaient en même temps effectuer une tâche secondaire verbale (articulation concurrente), spatiale (tapping) ou aucune tâche. Elles ont observé que la réalisation des doubles-tâches pendant l'apprentissage n'impactait pas la reconnaissance visuelle ultérieure de repères présentés le long de la route. En revanche, la reconnaissance des directions associées à ces repères était moins bonne suite à l'apprentissage avec double-tâche verbale et visuo-spatiale. Toutefois, en proposant une double-tâche verbale de type décision lexicale et non d'articulation concurrente (expérience 2) les auteures n'obtiennent plus d'effet de celle-ci sur la reconnaissance des directions avec

repères. Cette étude met donc en évidence le rôle de la MT V et VS lors de la construction de représentation spatiale et permet de mieux distinguer le type de processus verbaux impliqués. En effet, il semble que des processus séquentiels, tels que ceux impliqués dans l'articulation concurrente, soient nécessaires lors de la création de représentation spatiale à partir de la navigation dans un environnement. A l'inverse, les informations lexico-sémantiques, telles que celles impliquées dans la tâche de décision lexicale, n'apparaissent pas nécessaires au codage en mémoire, pour ensuite réaliser des tâches demandant la reconnaissance de directions. Cette étude apporte donc une nuance dans l'implication de la MT V dans le codage des représentations mentales spatiales d'itinéraires.

Les études empiriques présentées, testant l'utilisation et la manipulation des informations présentes dans les représentations mentales spatiales, montrent que le rôle de la mémoire de travail, aussi bien verbale que visuo-spatiale, est modulé selon le type de support d'information et selon le type de tâches (verbale ou visuo-spatiale). Un argument supplémentaire attestant le rôle de la MT V et VS dans la création et manipulation des représentations spatiales se trouve dans la littérature s'intéressant aux différences interindividuelles. Dans leur étude, Gras *et al.* (2012) ont fait apprendre un itinéraire en réalité virtuelle à des participants qui effectuaient en même temps une tâche concurrente (articulation concurrente, tapping), puis ils leur ont demandé de replacer différents éléments sur une carte (*e.g.*, placement des repères, noms des repères). Les auteurs ont également mesuré les capacités de mémoire de travail visuo-spatiale (empan visuo-spatial mesuré avec le test des blocs de Corsi) des participants. Ils ont observé qu'après apprentissage avec la tâche concurrente de tapping, les performances des participants avec un score élevé d'empan visuo-spatial (mémoire de travail visuo-spatiale) étaient plus altérées à la tâche de placement de repères que celles des participants avec un score faible. Cette étude confirme les résultats, précédemment mis en évidence, sur l'utilisation différentielle de la mémoire de travail selon les capacités de chacun lors de la création de modèles mentaux à partir de textes spatiaux (Pazzaglia, Gyselinck, Cornoldi & De Beni, 2012).

1.3.2.b. Les capacités et connaissances spatiales

Des résultats similaires ont été retrouvés à partir de différentes mesures des capacités spatiales. Les capacités spatiales sont les habiletés nécessaires pour se représenter

et traiter l'information spatiale. Il semble établi dans la littérature que les capacités spatiales sont multiples et sont impliquées dans de nombreuses activités spatiales, concernant des petits ou grands espaces (Hegarty, Montello, Richardson, Ishikawa & Lovelace, 2006). En ce qui nous concerne, elles entrent en jeu dans la recherche du chemin ou la formation d'une représentation spatiale. Il est admis dans la littérature qu'il existe plusieurs types de capacités spatiales, permettant de manipuler les informations spatiales ou de comprendre un arrangement spatial, ou l'orientation des objets dans une scène visuelle. Il a ainsi été proposé des classifications (Michael, Guilford, Fruchter & Zimmerman, 1957 ; McGee, 1979 ; Lohman, 1988 ; Carroll, 1993), allant de deux à cinq types de capacités spatiales. Ces classifications ont été réalisées à partir d'analyses factorielles sur les données de tests permettant de mesurer différents types de capacités spatiales à petite échelle. Dans toutes les classifications, nous retrouvons la capacité de visualisation spatiale (ou image mentale ou représentation) et l'orientation spatiale. La visualisation est définie comme étant une image mentale permettant de manipuler, faire tourner ou à inverser les objets sans référence à soi-même (Hegarty & Waller, 2005). L'orientation spatiale est définie comme une capacité permettant la compréhension de l'arrangement des éléments d'un pattern de stimulus visuel, et notamment l'aptitude à imaginer l'apparence des objets ou l'arrangement spatial depuis différentes perspectives (McGee, 1979). Les autres capacités ne font pas l'unanimité dans les études et résultent principalement de la subdivision des deux catégories précédemment décrites. Les différents regroupements font encore à ce jour l'objet de débats et la délimitation des catégories de capacités spatiales ne semble pas encore clairement établie (Hegarty & Waller, 2005).

Toutefois, il existe de nombreux tests dits « papier-crayon » permettant d'accéder aux différentes sous-capacités spatiales. L'un des plus fréquemment utilisé dans la littérature permettant de tester les capacités spatiales est le Test de Rotation Mentale (« *Mental Rotation Test* » en anglais, Vandenberg & Kuse, 1978) demandant aux participants de retrouver parmi plusieurs figures (assemblages de cubes), deux ou trois figures selon les versions, identiques à un modèle mais ayant subi une rotation. Ces tests « papier-crayon » ont été initialement créés pour accéder aux capacités spatiales pour les espaces de petites tailles, mais il a été mis en évidence que les capacités nécessaires à la réalisation de ces tests l'étaient également pour la réalisation de tâches spatiales réalisées dans des espaces à

plus grande échelle, comme pour naviguer le long d'itinéraires urbains (Hegarty *et al.*, 2006 ; Gyselinck, Meneghetti De Beni & Pazzaglia, 2009 ; Meneghetti *et al.*, 2009).

Il a également été proposé que différentes formes de connaissances entrent en jeu pour se représenter ou réaliser des tâches dans des espaces environnementaux (*i.e.* à grande échelle), notamment pour la navigation le long d'itinéraires. Siegel et White (1975) ont ainsi décrit l'existence de connaissances sur les points de repère, de connaissances de type route et de connaissances de type survol. Les connaissances des repères concernent les indices présents le long d'un itinéraire, comme par exemple une boulangerie, qui permettent d'organiser l'environnement. Les connaissances route concernent la succession des étapes d'un itinéraire, incluant l'ordre chronologique des points de repère, les séquences d'événements et les directions prises. Les connaissances survol correspondent à une vue d'ensemble sur l'environnement, permettant de considérer un itinéraire depuis n'importe quel point de cet espace et, par exemple, de trouver des raccourcis. Un questionnaire permettant d'accéder à l'utilisation de ces différents types de connaissances et aux stratégies alors mises en place par les individus (*i.e.* stratégies basées sur les repères ou sur les connaissances de type route ou survol) a été créé par Pazzaglia, Cornoldi & De Beni (2000) et montre de bonnes correspondances avec les stratégies utilisées lors de la construction de représentations mentales spatiales d'itinéraires (Pazzaglia & De Beni, 2006 ; Gras *et al.*, 2012).

Hegarty, Richardson, Montello, Lovelace et Subbiah (2002) ont, quant à eux, proposé une échelle d'auto-évaluation du sens de l'orientation (« Santa Barbara Sense of Direction Scale » en anglais). Le sens de l'orientation étant la capacité générale qu'ont les individus à trouver leur chemin. D'après ce que nous avons vu précédemment, trouver son chemin nécessite aussi bien des capacités que des connaissances spatiales. Ainsi, nous retrouvons dans leur échelle différents items demandant aux individus d'auto-estimer certaines capacités spatiales (visualisation) et connaissances spatiales (repère, route, survol), mais aussi leur utilisation de carte par exemple ou ce qu'ils pensent de leur sens de l'orientation de manière générale. Les auteurs ont montré de bonnes correspondances entre les réponses apportées à cette échelle et les capacités de navigation des individus.

Revenons à présent sur le rôle des capacités et connaissances spatiales dans la création et manipulation de représentations mentales spatiales d'itinéraires. Dans leur étude Gras *et al.* (2012) ont également fait passer un test de rotation mentale (capacité de visualisation) et le questionnaire de Pazzaglia *et al.* (2000) pour connaître les différences dans les représentations mentales spatiales et dans les stratégies utilisées par les participants pour les former. Les auteurs ont ainsi remarqué une plus grande interférence spatiale pour les participants avec un bon score au test de rotation mentale (*i.e.* MRT), pour les tâches de tracé de l'itinéraire et de placement des repères sur une carte. Les résultats montrent également que les participants avec un bon score survol (stratégie survol, c'est-à-dire comme une vue d'oiseau, allocentrée) ont plus de facilités pour la tâche de placement des repères que les autres. Enfin, les participants avec une stratégie route (stratégie de type égocentrée) subissent plus l'interférence de l'articulation concurrente. De même, Meneghetti *et al.* (2009) ont observé que les participants avec un bon score au MRT compensent mieux que les autres l'interférence en mémoire de travail visuo-spatiale, pour une tâche de vérification de phrases lorsque l'itinéraire était appris à partir d'une description verbale. Dans leur étude réalisée avec des enfants de primaire, Nys, Gyselinck, Orriols et Hickmann (2015) ont mis en évidence des corrélations entre le score à une tâche de perception des directions (orientation spatiale) et leur tâche mesurant la qualité de la représentation spatiale créée suite à l'apprentissage d'un itinéraire virtuel. Hegarty *et al.* (2006) ont, quant à eux, regardé le lien entre la création d'une représentation spatiale d'un itinéraire et un grand nombre de tâches et échelles mesurant diverses capacités spatiales comme par exemple le MRT, l'échelle de sens de l'orientation (Hegarty *et al.*, 2002), un test de maintien de l'information spatiale en mémoire de travail (« *Arrow span test* » en anglais). Ils ont ainsi mis en évidence que ces capacités spatiales jouaient un rôle dans la construction de représentations spatiales à grande échelle (*i.e.* ville).

Nous avons vu que la création et la manipulation de représentations mentales spatiales sont sous-tendues par des capacités spatiales telles que la rotation mentale et le sens de l'orientation en plus de la mémoire de travail verbale et visuo-spatiale. De plus, selon les capacités de chacun, la représentation mentale spatiale créée ne sera pas la même. Ces résultats expérimentaux vont dans le sens de notre idée selon laquelle le processus de planification peut être différent selon les capacités cognitives de chacun. Nous supposons

également que le processus de planification peut être modulé par les caractéristiques de l'environnement dans lequel celui-ci est mis en place, dans notre cas un environnement urbain impliquant l'utilisation des transports en commun. Une autre question qui nous intéresse alors est de savoir comment l'Humain utilise ces représentations mentales spatiales, pour naviguer et planifier des itinéraires, dans des environnements à grandes échelles, telles que les villes.

1.3.3. Planification d'itinéraires et navigation dans un environnement écologique

Les études que nous avons présentées précédemment dans ce chapitre, notamment en ce qui concerne le problème du voyageur de commerce, ont pour la plupart utilisé un matériel très spécifique, simple et différent de la réalité lorsque l'on planifie un itinéraire (MacGregor & Ormerdo, 1996 ; MacGregor *et al.*, 2004 ; Wiener *et al.*, 2007). L'utilisation d'un matériel simplifié a pour avantage d'éviter de nombreux biais extérieurs au processus ciblé et permet une étude fine des processus. Cependant, nombre de variables intervenant dans la réalité ne sont pas considérées. L'utilisation d'un matériel que nous qualifions « d'écologique » procure l'avantage de proposer des situations très proches de la réalité, en intégrant un maximum de variables pouvant entrer en compte dans les processus étudiés. Le cas le plus écologique étant l'étude du processus dans des situations réelles. Dans ces environnements écologiques il est cependant possible que certains processus cognitifs soient difficilement étudiables du fait de la multiplicité des facteurs pouvant intervenir. Dans notre cas de la planification d'itinéraires, deux approches pouvant être qualifiées d'écologiques ont principalement été utilisées : en environnement réel et en réalité virtuelle.

Dans son étude, Christenfeld (1995) a proposé aux participants de choisir un itinéraire entre deux localisations de part et d'autre d'un parking (Figure 5a), et de le réaliser en naviguant dans l'environnement réel. Pour relier les deux points, les participants pouvaient emprunter trois itinéraires possibles. Le premier impliquait d'effectuer un changement de direction dès le début, pour le deuxième le changement de direction s'effectuait au milieu de l'itinéraire, et pour le troisième le changement de direction se faisait à la fin. Le sens dans lequel l'itinéraire était réalisé était contrebalancé parmi les participants. Il a alors remarqué que les participants avaient plus tendance à passer par le

troisième itinéraire qui demandait d'effectuer le changement de direction le plus tard possible (par exemple, sur la Figure 5a, dans le sens Nord-Sud, l'itinéraire choisi est le C).

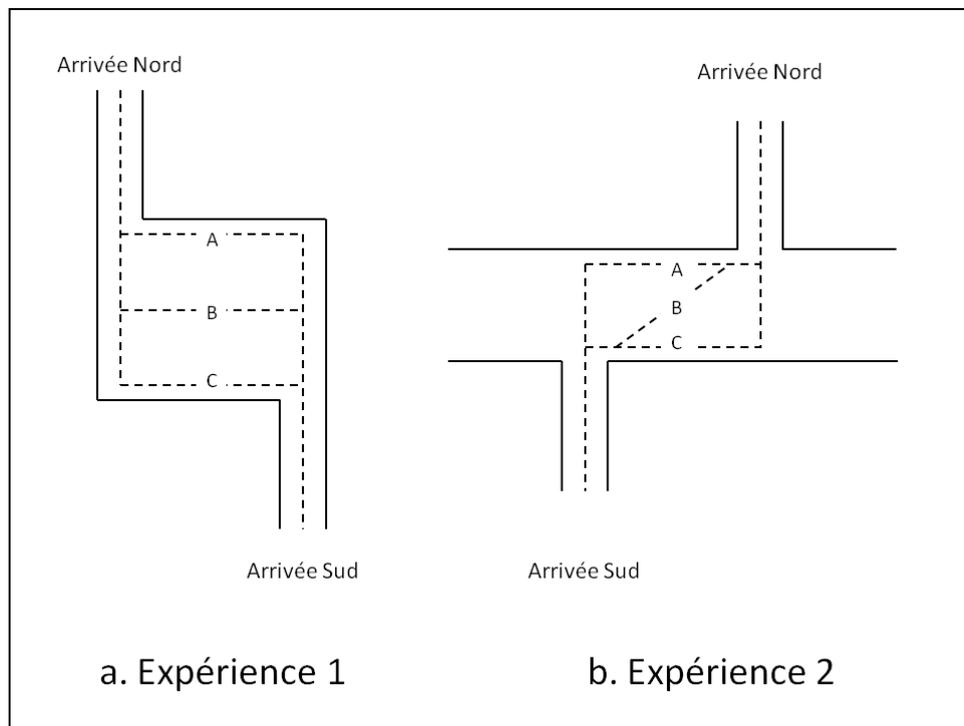


Figure 5. Les deux configurations des itinéraires à choisir dans les expériences d'après Christenfeld (1995). A gauche (a) le choix dans l'expérience 1 représentant un parking avec les trois options. A droite (b) le choix dans l'expérience 2 représentant une rue à traverser avec les trois options.

Christenfeld (1995) a également répliqué ce résultat en demandant à des participants d'effectuer une traversée de rue (Figure 5b), avec encore une fois trois options possibles : effectuer le changement de direction avant la traversée, après la traversée ou traverser en diagonale. Les résultats montrent que la plupart des participants choisissent d'effectuer le changement de direction après la traversée de rue (par exemple, sur la Figure 5b, dans le sens Sud-Nord, l'itinéraire choisi est le A). Christenfeld interprète ces résultats, en disant que, lorsque l'on planifie un itinéraire nous devons suivre des règles implicites (que l'on pourrait qualifier d'heuristiques), ce qui nous permet d'éviter une concentration trop importante et permet de réaliser la tâche sans trop « y penser ». Cette étude permet de pointer le fait qu'en situation réelle les individus semblent également utiliser des stratégies lorsqu'ils planifient un itinéraire. Les travaux de Christenfeld ont ensuite été repris notamment dans le cadre de la planification à partir de carte, que nous détaillerons dans le

second chapitre, et la stratégie utilisée sera alors nommée la stratégie de la « route ascendante » (« *road-climbing* » en anglais ; Bailenson *et al.*, 1998).

Hölscher *et al.* (2011, expérience 1) ont, quant à eux, proposé à des participants de planifier un itinéraire, sans aucune aide, dans une ville que ceux-ci connaissaient. Les participants devaient tout d'abord planifier leur itinéraire (condition planification en avance), puis ils devaient le réaliser sans nécessairement suivre la description faite précédemment (condition planification en situation). Dans les deux cas, les participants devaient planifier l'itinéraire le plus court possible. Les résultats montrent que les itinéraires planifiés dans la condition en situation sont plus courts et sont composés de plus de changements de direction que les itinéraires planifiés en avance. Les auteurs expliquent ces différences par le fait que les indices et stratégies utilisés pour planifier un itinéraire ne sont pas les mêmes selon la condition. En effet, dans le cas de la planification en avance, les participants se basent sur le réseau routier et notamment sur les grands axes les plus saillants, permettant alors une planification à partir d'une représentation proche d'un graphe. En revanche, dans le cas de la planification en situation, les participants utilisent les directions et l'information visuelle présentes, ce qui permet des ajustements locaux pour emprunter le chemin qui mène le plus directement possible à la destination. Une stratégie basée sur les directions (« *direction-based strategy* » en anglais) serait donc utilisée. Cette stratégie consiste à planifier l'itinéraire en essayant de dévier le moins possible de la direction dans laquelle est la destination. Cette étude permet d'enrichir les connaissances sur les stratégies de planification en montrant que, dans une situation réelle, des éléments de l'environnement sont utilisés et intégrés dans les stratégies de planification d'itinéraires.

Dans un environnement plus écologique que celui mobilisé dans les études sur le problème du voyageur de commerce, les études montrent que des stratégies de planification sont utilisées pour alléger la demande cognitive de la tâche (Christenfeld, 1995). De plus, ces stratégies se basent sur les informations de l'environnement dont disposent les personnes pour planifier leur itinéraire (Hölscher *et al.*, 2011), montrant alors le rôle de l'environnement dans lequel s'effectue la planification. Toutefois, ces études partent du postulat que, lorsque l'Homme planifie un itinéraire, il cherche toujours le plus court (voir par exemple Farr *et al.*, 2012 ou Hölscher *et al.*, 2011, expérience 1). Ce postulat semble restrictif et ne pas rendre compte de toutes les situations quotidiennes que

rencontre une personne voulant planifier un itinéraire. En effet, les études n'imposant pas de critère lors de la planification, ont mis en évidence que, trouver l'itinéraire le plus court n'était pas forcément le critère premier évoqué lors de la planification d'itinéraires. Dès lors, il semble que l'étude de la planification d'itinéraires ne peut s'arrêter à la compréhension des stratégies et heuristiques de planification, et qu'elle doit également prendre en compte les critères de sélection de l'itinéraire.

Golledge (1995) a ainsi mis en place un protocole afin d'étudier les critères utilisés pour la sélection de l'itinéraire lors de la navigation dans un environnement réel. Les participants devaient choisir et effectuer un itinéraire entre deux lieux, sur un campus universitaire qu'ils connaissaient tous bien. Après avoir choisi et réalisé l'itinéraire il était demandé aux participants d'indiquer les raisons de leur choix. L'auteur remarque alors que le critère le moins cité est celui de l'itinéraire le plus court, alors que celui d'effectuer l'itinéraire en s'orientant vers le but est le plus cité. Ce dernier critère est celui correspondant à la stratégie basée sur les directions (Hölscher *et al.*, 2011), pour laquelle les participants essaient de s'orienter au maximum vers la destination en évitant les déviations et en effectuant alors des changements de direction dans ce but. Les deux autres critères souvent indiqués sont ceux de prendre l'itinéraire avec le moins de changement de direction et l'itinéraire habituel.

Plus récemment, Hölscher *et al.* (2011, expérience 2) ont mené une étude similaire, en demandant aux participants de planifier un itinéraire dans une ville qu'ils connaissent bien et sans leur donner de critère a priori. Les participants étaient placés dans trois conditions de planification : (1) planifier l'itinéraire pendant la navigation (condition navigation), (2) planifier en avance pour eux-mêmes (en avance pour soi) et (3) planifier pour une autre personne qui ne connaît pas la ville et doit effectuer cet itinéraire (en avance pour autrui). En plus des variables permettant de mesurer l'efficacité de l'itinéraire choisi (longueur, nombre de virages, nombre de rues), ils vont s'intéresser aux critères de choix des participants. Les résultats montrent que les itinéraires sont plus courts en condition de navigation que dans les deux conditions de planification en avance (pour soi ou autrui). En revanche, les itinéraires planifiés pour autrui sont plus simples (moins de changements de direction et de rues) que les itinéraires planifiés pour soi (navigation et en avance). Les critères évoqués par les participants lors de leurs descriptions pour le choix d'itinéraires font

référence soit aux préférences personnelles (*e.g.*, simplicité, familiarité, endroit joli, etc.), à l'opportunité, la longueur de l'itinéraire, à l'orientation générale de la direction (*i.e.* aller vers le but, stratégie basée sur les directions). Les auteurs ont également demandé directement aux participants pourquoi ils avaient effectué ce choix, et les résultats montrent que les justifications du choix sont multiples et loin d'être restreintes au seul critère de la longueur ou du temps le plus court. En effet, nombre de justifications sont liées, par exemple, à la simplicité, au nombre de changements de direction, à l'habitude, à l'attractivité, etc. Ces raisons de choix diffèrent selon la condition de planification. Lorsque le participant doit décider d'un itinéraire pour autrui les justifications sont en relation avec l'idée de rendre facile la réalisation (le moins de changements de direction, des repères pour aider, facile à trouver, bien pour les étrangers, etc.). En revanche, lorsque l'itinéraire est planifié pour soi-même, les raisons évoquées sont plus liées à l'efficacité (rapide, direct) et à l'attractivité (joli, peu de monde).

Ces deux études apportent un nouvel éclairage à l'étude de la planification d'itinéraires en considérant cette tâche de manière plus écologique que les études s'intéressant au problème du voyageur de commerce. Le postulat selon lequel lorsqu'une personne planifie un itinéraire celle-ci recherche le plus court est remis en question et nombre d'autres critères apparaissent être considérés. Ainsi, la planification d'itinéraires peut être également guidée par des critères liés à l'attractivité de l'itinéraire ou sa difficulté, qui seront plus ou moins suivis selon les conditions de planification. L'étude classique de la planification, bien qu'elle apporte des bases solides à la compréhension du processus et des heuristiques en jeu, peut être remise en question lorsque l'on considère la tâche de manière plus écologique en laissant alors intervenir d'autres facteurs.

1.4. Conclusion

Dans notre objectif de mieux comprendre la planification d'itinéraires, ce premier chapitre nous a permis de faire l'état de la littérature s'étant attachée à étudier, définir et modéliser le processus, pour décrire les bases cognitives de celui-ci en plusieurs étapes. Ainsi, pour planifier un itinéraire pour aller de chez nous au cinéma par exemple, il faut dans un premier temps disposer d'une bonne représentation mentale du problème avec le point

de départ (notre domicile), le point d'arrivée (le cinéma) ainsi que les itinéraires possibles (Gärling *et al.*, 1986). Ceci implique des capacités cognitives telles que la mémoire ou les habiletés spatiales (Wiener *et al.*, 2007, 2009). Retrouver les itinéraires possibles et les sélectionner pourrait être une activité extrêmement coûteuse, aussi nous mettons en place des stratégies permettant de réduire ce coût (MacGregor *et al.*, 1996, 1999, 2000). L'étude de l'activité dans un contexte plus écologique montre que les usagers sélectionnent leur itinéraire selon de multiples critères tels que l'agrément ou la simplicité en plus de l'efficacité de l'itinéraire comme celui le plus court (Hölscher *et al.*, 2011).

Un premier point qu'il semble important de noter est que l'étude de la planification d'un point de vue strictement cognitif ne rend pas compte de la globalité de celle-ci, et que d'autres facteurs doivent être pris en compte, notamment pour comprendre quels critères sont sélectionnés et dans quelles conditions. En effet, nous pouvons considérer que dans notre cas précis de la planification d'itinéraires en transports en commun, d'autres facteurs que ceux soulignés dans ce chapitre peuvent intervenir, notamment dû au fait que ces itinéraires engagent l'utilisation de modes de transports. L'utilisation de ces modes va très probablement amener les usagers à utiliser d'autres critères, tels que les horaires de passage, le confort dans les modes, les préférences envers certains modes, des connexions entre modes plus ou moins pratiques, etc.

Le second point que nous pouvons mettre en avant est le fait qu'une grande partie des études sur la recherche du chemin discutées dans ce chapitre propose une planification dans un environnement connu. Toutefois, il existe de nombreux cas dans la vie quotidienne où nous nous rendons à une nouvelle destination, ou bien où nous nous déplaçons dans un environnement non connu. Former une représentation suffisamment détaillée du réseau de transports d'une grande ville comme Paris, qui comprend différents modes de transports pour planifier des itinéraires, peut alors devenir très complexe, notamment pour des trajets nouveaux. De nombreuses études se sont intéressées aux systèmes d'aides à la planification tels que les cartes, notamment du point de vue des processus cognitifs alors engagé pour la compréhension de celles-ci ou lors de la planification à partir de cartes. Ainsi, dans le chapitre suivant nous allons nous intéresser aux études sur la planification d'itinéraires avec des aides, que nous nommons la planification d'itinéraires aidée.

Chapitre 2. Les aides pour planifier et choisir un itinéraire, du processus cognitif à l'élaboration de critères

Si l'utilisateur ne connaît pas l'environnement dans lequel il doit planifier son itinéraire, cette tâche est difficile voire parfois impossible sans aide. L'un des supports de planification les plus populaires est la carte (Schmid, Richter & Peters, 2010), qui de par le regroupement des principales informations spatiales et éléments de repères apporte une représentation visuelle et spatiale de l'environnement. La carte permet à l'individu, ne connaissant pas l'environnement dans lequel il doit planifier un itinéraire, de réduire la charge cognitive pour trouver sa position, sa destination, les alternatives, comparer les alternatives et le choisir. Bien que l'aide de la carte simplifie la résolution du problème posé de trouver un itinéraire pour relier deux localisations, il reste nécessaire pour l'utilisateur de mettre en place les différentes étapes de planification et sélectionner l'alternative qu'il souhaite emprunter. De plus, certaines informations permettant de guider le choix de l'utilisateur ne sont pas présentes sur une carte, comme le temps de trajet, le temps de marche, la fréquence des trains, etc., bien que certaines puissent être déduites (Verseti, 2008).

En revanche, une aide plus récente, qui a vu le jour avec l'émergence des nouvelles technologies, d'internet et des Smartphones, permet de résoudre le problème pour l'utilisateur et de donner des informations en lien avec les critères de choix de celui-ci. En effet, cette aide, connue sous le nom de planificateur, se charge elle-même de rechercher la position de départ, d'arrivée, de sonder les alternatives et de sélectionner une ou plusieurs options, selon le plus souvent un ou des critères prédéfinis par l'utilisateur, comme l'itinéraire le plus court, le moins de correspondance ou le type de mode de transport (Golledge & Gärling, 2001 ; Raveau, Guo, Muñoz & Wilson, 2014 ; Raveau, Muñoz & de Grange, 2011). Ainsi, pour l'utilisateur la tâche est au minimum de suivre les indications données par l'application ou au maximum d'effectuer un choix parmi les alternatives trouvées. Dans ce dernier cas, il devra réaliser un choix multi-attributs (Abelson & Levi, 1985), parmi les différentes alternatives présentées, ce qui réduit la tâche principalement à la dernière étape du modèle de Gärling *et al.* (1986), c'est-à-dire la sélection de l'alternative.

Dans ce second chapitre, nous discuterons plus précisément la planification aidée. La première section de ce chapitre décrira la planification à partir de carte, nous partirons de la description de la carte comme aide à la planification pour ensuite se concentrer sur les stratégies cognitives mises en évidence empiriquement lors de la planification au moyen de cette aide. Etant donné notre intérêt pour l'étude de la planification en transports en commun, dans la deuxième section, nous nous focaliserons sur le réseau de transports en commun et discuterons les connaissances actuelles sur la conception des cartes de réseaux de transports et sur la planification à partir de celles-ci. La dernière section s'intéressera aux choix multi-attributs, correspondant à la sélection de l'itinéraire lors du recours à une aide de type planificateur d'itinéraires. Ainsi, nous décrirons les études s'intéressant au choix parmi plusieurs alternatives, nommé choix multi-attributs, et à la modélisation de cette tâche cognitive, ainsi qu'à l'importance des critères de choix mis en évidence dans ce cadre.

2.1. La carte comme support visuo-spatial pour aider la planification d'itinéraires

2.1.1. Description générale des cartes

Les cartes sont conçues pour aider à différentes activités notamment liées à la recherche du chemin dans un environnement tel que la localisation de sa position (Meilinger *et al.*, 2007), la planification de son itinéraire et la navigation (Casakin, Barkowsky, Klipel & Freksa, 2000 ; Freksa, 1999 ; Schmid *et al.*, 2010). Il existe de nombreux types de cartes comme les cartes routières, les cartes de bâtiments (plan d'évacuation par exemple), les cartes de réseaux de transports, etc. Les cartes sont des représentations visuelles avec plus ou moins de détails d'un environnement physique défini pouvant être plus ou moins grand (bâtiment vs. ville entière). Elles représentent l'information d'un point de vue allocentrique, c'est-à-dire comme une vue d'oiseau, pour transmettre les informations spatiales nécessaires à la compréhension de l'environnement. L'une des particularités des cartes, qui les différencient des photographies aériennes par exemple, c'est qu'elles sont schématisées et porteuses d'informations supplémentaires, telles que les noms de rues ou certains points de repères (lieu spécifique comme une école ou un poste de police), en plus de la représentation spatiale de l'espace. Par exemple sur la Figure 6 présentée ci-dessous, nous

pouvons voir une carte d'une partie de la ville de Paris (15^{ème} arrondissement), où sont présentées les rues avec leurs noms mais également un parc, la Seine, les locaux de France Télévision ainsi que la station de métro « Lourmel ». De ce fait, les cartes peuvent être conçues comme des photographies aériennes auxquelles auraient été ajoutées les informations pertinentes à la compréhension des éléments présents sur la prise de vue, comme le nom des rues et les lieux (Freksa, 1999).

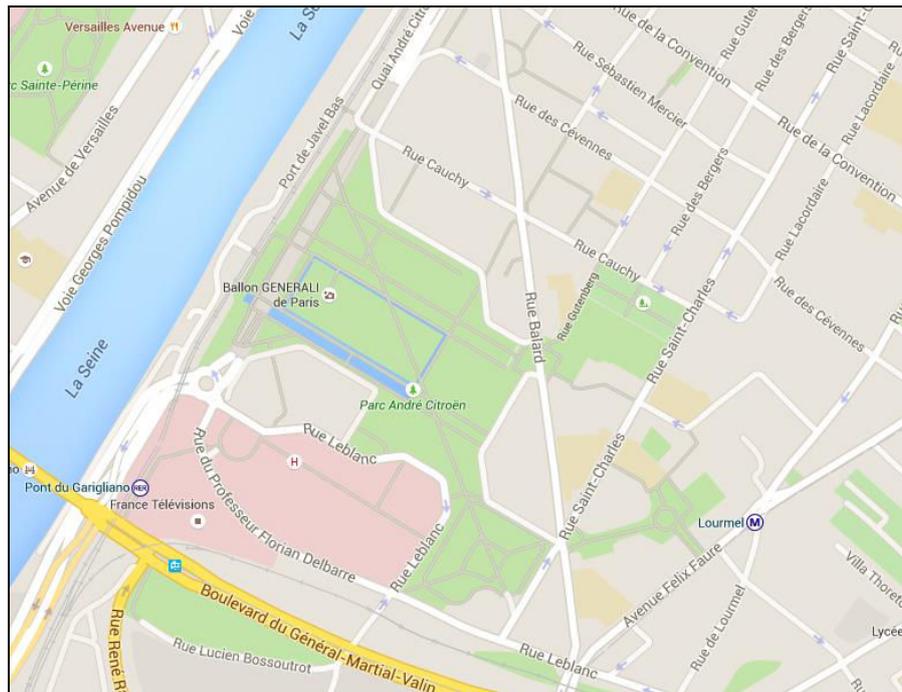


Figure 6. Exemple d'une carte routière d'une partie de la ville de Paris d'après Google Map. Sur la carte sont présentés le réseau routier, des informations sur les emplacements de métro, des parcs, et par exemple des locaux de France Télévision.

Nombre de cartes sont qualifiées de schématiques, dans le sens où elles ne représentent pas entièrement l'espace comme on pourrait le voir puisque certains éléments sont transformés en symboles (Berendt, Barkowsky, Freksa & Kelter, 1998). Les cartes simplifient l'environnement par certains aspects pour ne garder que l'information nécessaire à sa représentation (Meilinger *et al.*, 2007) et peuvent être cependant agrémentées d'éléments non spatiaux facilitant leur compréhension (Freksa, 1999). Les cartes routières disposent de très bonnes propriétés topographiques et métriques, c'est-à-dire que les éléments présents conservent une place spatiale conforme à la réalité, ceci également au regard des autres éléments de l'espace, et que les distances entre eux sont respectées. D'autres cartes schématiques ne conservent pas les propriétés topographiques et métriques

de l'espace, le meilleur exemple étant celui des cartes de réseaux de transports (Guo, 2011 ; Roberts, Newton, Lagattolla, Hughes & Hasler, 2013 ; voir aussi la section 2.2. de ce chapitre sur les cartes de réseaux de transports).

Certains auteurs comme Kulhavy et Stock (1994) considèrent la carte comme une mémoire de travail externe. Dans le cadre de leur travaux s'intéressant à l'apprentissage de textes spatiaux à l'aide de cartes, les auteurs émettent l'hypothèse que la carte procure un avantage en mémoire de travail pour interpréter les meilleures performances d'apprentissage lorsqu'une carte est présentée en plus d'un texte spatial. En effet, la carte représente des informations qui devraient, si elles n'étaient pas présentes sur celle-ci, être stockées en mémoire de travail. Pour les auteurs, la carte apporte également l'avantage de présenter une structuration lors du rappel qui agit comme des indices qu'il n'est alors pas nécessaire de se remémorer. D'autres auteurs, dans le domaine de la résolution de problème, comme Zhang (1997), vont plus loin et considère que les représentations externes (dans notre cas la carte) ne sont pas simplement des aides pour la mémoire. En effet, du fait du caractère intrinsèque de certaines représentations externes par rapport à la tâche, ce qui à notre sens est le cas pour les cartes lors de la planification, ces aides pourraient alors guider, contraindre et déterminer le comportement cognitif lors de la tâche. Zhang (1997) a d'ailleurs montré que la réalisation d'une tâche de résolution de problème pouvait être influencée par des biais liés à la représentation externe.

2.1.2. Les cartes pour la création de représentations spatiales et la navigation

La planification d'itinéraires est basée sur la construction d'une représentation mentale spatiale du problème, avec le point de départ, la destination et les itinéraires possibles (Gärling *et al.*, 1986). La carte semble être un support adapté pour faciliter la création d'une telle représentation lorsque l'environnement n'est pas connu par exemple. En effet il a été montré dans le cadre de recherches s'intéressant à la formation de représentations mentales spatiales, que les cartes permettaient de créer une représentation allocentrique facilitant ensuite la manipulation des informations spatiales de l'environnement. Dans leur étude, Taylor et Tversky (1992), ont présenté des itinéraires verbalement (description verbale) ou à l'aide d'une carte aux participants. Elles ont ensuite

demandé aux participants d'effectuer des vérifications de différents types de phrases : littérales (*i.e.* reprenant mot pour mot le texte), de paraphrases, d'inférences (*i.e.* nécessitant la manipulation des informations, comme de phrases reliant deux points de repère via un troisième), ou encore de paraphrases non locatives (*i.e.* n'ayant pas d'intérêt pour se repérer). Les résultats montrent que les participants ayant disposé de la carte lors de l'apprentissage ont de meilleures performances aux vérifications de phrases de type inférence.

Dans une étude similaire, Blanc et Tapiero (2000) se sont intéressées aux différences de codage d'informations spatiales selon le mode de présentation et la perspective prise. Elles ont fait apprendre à des participants la configuration spatiale d'une île imaginaire présentée sous forme d'une description verbale que les sujets devaient lire ou d'une carte. En demandant aux participants d'émettre des jugements spatiaux sur des couples de repères (*i.e.* juger de la bonne place du second repère par rapport au premier), les auteurs ont remarqué que la représentation spatiale formée à partir d'une carte était plus précise et plus facilement accessible. Dans la même idée, Meilinger et Knauff (2008), ont demandé à leurs participants d'apprendre un itinéraire à partir d'une carte ou d'une description verbale dans une ville qu'ils ne connaissaient pas. Ensuite, ils leur ont demandé d'effectuer l'itinéraire dans la réalité puis de réaliser diverses tâches. Les résultats mettent en évidence que la carte est tout aussi efficace pour mémoriser l'itinéraire et le réaliser ensuite que la description verbale. De plus, elle permet d'effectuer différentes tâches de manipulation de l'information, comme pointer la direction du point de départ depuis le point d'arrivée ou retracer le parcours en sens inverse sur une carte.

Une interprétation que nous pouvons faire de ces résultats expérimentaux est que l'apprentissage à partir de carte permet de créer une représentation mentale de l'environnement analogique comme le modèle mental défini par Johnson-Laird (1983), et qui a été décrit dans le modèle de Gärling *et al.* (1986) comme à la base de l'activité de planification. D'autres études se sont, quant à elles, intéressées aux étapes suivantes de la planification et aux stratégies mises en place lorsque cette tâche est réalisée à l'aide d'une carte.

2.1.3. Les heuristiques dans la planification à partir de cartes

La carte est un support pour la planification mais le raisonnement sous-jacent reste entier et est nécessaire pour mener à bien la tâche, notamment lors de la sélection de l'itinéraire. De plus, lors de l'utilisation d'aides ou de représentations externes, la tâche peut être influencée par des biais liés à cette représentation (Zhang, 1997). Aussi, lorsque l'on propose une aide aux participants, il a été mis en évidence que des heuristiques de planification et pour le choix d'itinéraires sont utilisées. Stern et Leiser (1988) ou encore Christenfield (1995) ont noté que lorsque l'on planifie un trajet de A vers B on ne fait pas le même choix que lorsqu'on planifie le même trajet mais de B vers A (voir Figure 7). Une explication possible de cette asymétrie serait que lorsque l'on planifie un itinéraire on préfère choisir l'alternative pour laquelle le besoin d'effectuer des virages est repoussé le plus loin possible (Christenfield, 1995), cette stratégie est alors nommée la stratégie de la « route ascendante » (littéralement de l'anglais « *road-climbing strategy* »).

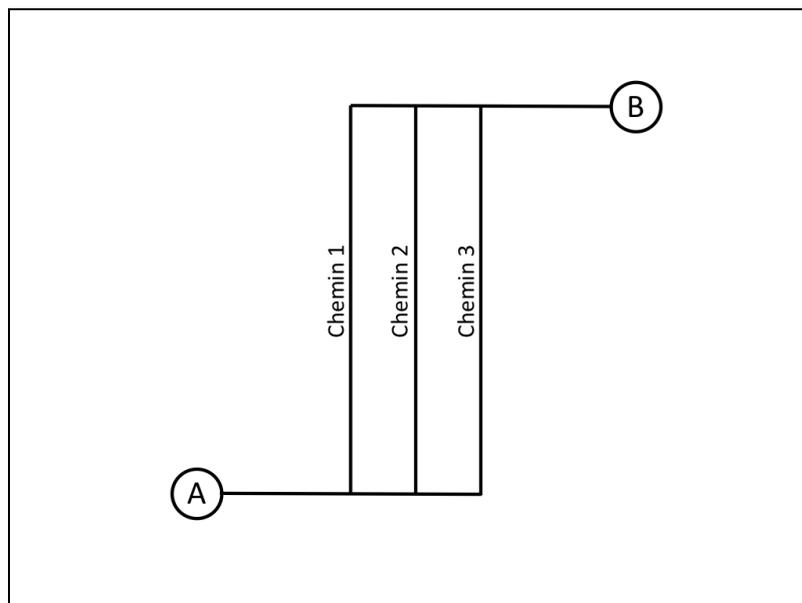


Figure 7. Illustration de la stratégie de la route ascendante d'après Christenfield (1995). Si on part de A pour aller à B le chemin répondant à la stratégie est le 3 alors que si on part de B c'est le 1.

Dans leur étude, Bailenson *et al.* (1998, expérience 1) ont voulu tester la mise en œuvre de cette stratégie. Ils ont proposé aux participants de choisir un chemin, pour se rendre d'un point A à un point B, à partir de cartes schématisques de villes sur lesquelles trois alternatives étaient tracées. La première alternative avait un segment initial long et droit

puis le second segment contenait des virages, la deuxième était celle avec la plus courte distance euclidienne mais avec beaucoup de virages, et la dernière était l'opposée de la première. La moitié des cartes étaient divisées en régions dans l'objectif d'attirer l'attention sur certains segments. Les prédictions des auteurs étaient que les participants tendraient à choisir le chemin avec le segment initial le plus long et droit, bien que celui-ci ne soit pas forcément le plus court. De plus, cet effet devrait être renforcé sur les cartes divisées en régions, du fait que les participants choisiraient le chemin le plus attractif (le plus direct) dans la première région en partant du point de départ. Les résultats mettent en évidence que les participants ont tendance à suivre la stratégie de la « route ascendante » pour choisir leur chemin et ceci d'autant plus quand la carte est divisée en régions, ce qui confirme les hypothèses des auteurs. Cependant, lorsque l'alternative répondant à la stratégie de la « route ascendante » est deux fois plus longue que l'alternative avec la plus courte distance, les participants privilégient cette dernière. Les auteurs ont voulu ensuite répliquer ces résultats à partir d'un matériel plus écologique.

Bailenson *et al.* (1998) ont alors mené une seconde étude pour laquelle ils ont demandé aux participants de planifier des trajets courts ou longs à partir de cartes réelles de campus universitaires. Les résultats mettent en évidence une asymétrie dans les choix effectués pour les itinéraires longs uniquement. Les auteurs interprètent ce résultat par le fait que, lorsque l'itinéraire est long, l'environnement peut être découpé en plus de régions que lorsqu'il est court, et la stratégie de la « route ascendante » est alors plus prégnante. Ainsi, il apparaît que les participants ont utilisé une telle stratégie avec un matériel plus écologique que dans l'étude précédente, néanmoins il est important de noter que ce matériel ne permet pas une mise en évidence précise de l'utilisation de la « route ascendante ».

A partir de ces résultats, la même équipe (Bailenson, Shum & Uttal, 2000) a remis en question l'hypothèse de l'utilisation de la stratégie de la « route ascendante » et proposé celle du « segment initial » (ISS, « initial segment strategy » en anglais). En effet, dans les études menées par Bailenson *et al.* (1998), il a été remarqué que lorsque l'environnement était régionalisé, les participants avaient tendance à choisir le segment le plus droit (avec le moins de courbes ou virages) dans la première région à partir du point de départ. Dès lors,

les auteurs suggèrent que lorsque les participants planifient leur itinéraire ils choisissent le chemin dont la première partie est en ligne droite.

Bailenson *et al.* (2000) ont testé cette hypothèse qui implique que seulement la première partie du chemin est déterminante dans le choix (expérience 2). Ils ont demandé aux participants de choisir entre deux possibilités, l'une avec la première portion du chemin en ligne droite puis avec des courbes dans la seconde portion, l'autre à l'inverse avec d'abord des courbes puis une partie en ligne droite. Ils ont alors remarqué que les participants avaient plus tendance à choisir la première alternative, ce qui confirme le fait que lorsque l'on planifie un itinéraire la première portion semble la plus importante et qu'il est préféré que le chemin soit en ligne droite dans celle-ci. Les auteurs ont ensuite répliqué ce résultat dans des cartes régionalisées (expérience 3). Les résultats montrent que les participants ont tendance à davantage choisir le chemin en ligne droite dans la première région. Les études menées par Bailenson *et al.* (2002) donnent des éléments de validation empirique en faveur de l'utilisation de la stratégie du segment initial lors du choix d'itinéraires à partir de cartes fictives mais également de cartes réelles de campus universitaires (Bailenson *et al.*, 2000 ; expérience 5).

Plus récemment, Brunyé *et al.* (2010), ont eux mis en évidence un biais dans la planification d'itinéraires à partir de carte. Dans leur première étude ils ont proposé aux participants de planifier l'itinéraire le plus court ou rapide entre deux localisations, sur une carte (Figure 8) présentée sur un écran d'ordinateur. Pour chaque trajet, il y avait deux itinéraires possibles égaux en termes de longueur et rapidité. Dans une première condition, les deux itinéraires étaient répartis selon un axe horizontal avec l'un passant au nord et l'autre par le sud (condition dilemme nord/sud), et dans l'autre condition ils étaient répartis selon un axe vertical avec l'un passant par l'est et l'autre par l'ouest (condition dilemme est/ouest). La Figure 8 ci-dessous présente la carte utilisée et les deux conditions expérimentales (trajet nord/sud et est/ouest). Les résultats montrent que plus de choix étaient effectués pour l'itinéraire passant par le sud (62,8%) que par le nord dans la condition du dilemme nord/sud, mais qu'il n'y a pas de différence pour le dilemme est/ouest. Ce biais de préférence pour la route passant par le sud a été retrouvé avec des supports visuels différents (Wen & Kawabata, 2013) et ne semble pas être expliqué par la présentation verticale due à l'écran d'ordinateur. Il a également été mis en évidence dans

divers pays de l'hémisphère nord comme les Etats-Unis, l'Italie, la Bulgarie et la Hollande (Brunyé, Andonova, Meneghetti, Noordzil, Pazzaglia, Wienemann, Mahoney & Taylor, 2012). Après diverses expérimentations les auteurs (Brunyé *et al.*, 2010 ; Brunyé, Cagnon, Waller, Hodgson, Tower-Richardi & Taylor, 2012) interprètent ce biais par le fait que l'itinéraire passant par le nord est perçu comme ayant une charge physique plus importante, car celui-ci est associé à un itinéraire en montée et à des paysages avec du relief.

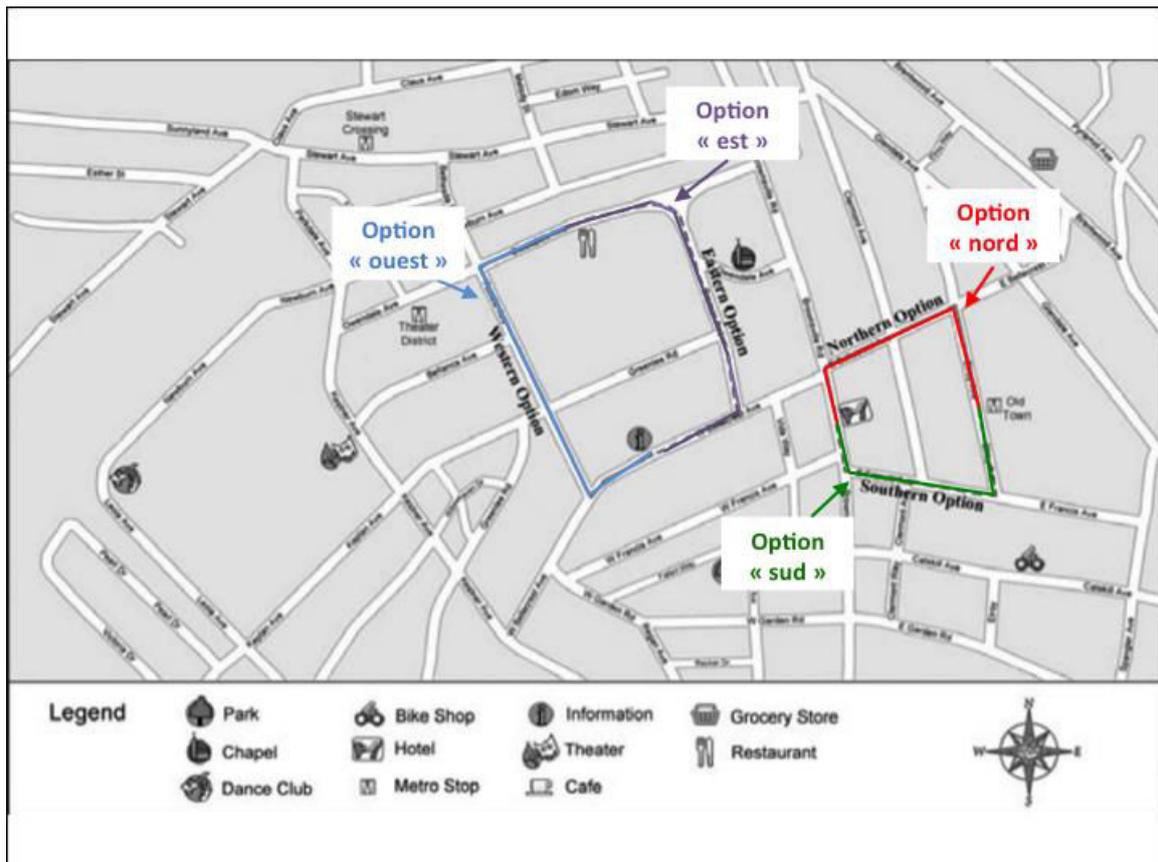


Figure 8. Exemple de carte présentée dans l'étude de Brunyé *et al.* (2010) avec un exemple de dilemme est/ouest et un de nord/sud.

Les différentes études empiriques présentées mettent en évidence que malgré l'aide d'une carte permettant de réduire la charge en mémoire, des stratégies et biais sont observés, notamment lors de la dernière étape de la planification selon Brunyé *et al.* (2010), *i.e.* la sélection d'un itinéraire. Ces études ont été réalisées à partir de cartes fictives ou réelles de réseaux principalement routiers et pour des itinéraires n'intégrant pas de mode de transports tels le bus ou le métro. Bien que le processus de planification puisse être considéré comme similaire dans les deux cas, le réseau de transports en commun reste

spécifique du fait qu'il engendre la prise de modes de transports dont l'utilisateur n'a pas la maîtrise (*e.g.*, chemin emprunté, horaires). Nous allons donc dans la section suivante nous intéresser spécifiquement aux réseaux de transports en commun et à la planification à partir des cartes correspondantes.

2.2. La planification d'itinéraires en transports en commun à partir de carte

2.2.1. Structure et navigation dans le réseau de transports en commun

Dans les grandes villes comme Paris ou Londres, le réseau de transports en commun est souvent l'une des bases pour se représenter une ville et a une place très importante pour toute personne voulant s'y déplacer. En effet, Vertesi (2008) a mené une étude sur entretiens pour voir comment le système de transports, notamment le métro, était intégré dans la représentation de la ville de Londres. Les participants ont majoritairement reporté dans les entretiens qu'ils définissaient Londres d'après la carte de métro. En demandant aux participants de dessiner un plan de la ville de Londres (et non un plan du réseau de transports) sur une feuille, l'auteure a remarqué que les participants structuraient leur dessin à l'aide des principales lignes de métro. Bien que les participants n'habitaient pas nécessairement dans la partie centrale de Londres (représentée sur la carte du métro) ils ont tous préférentiellement dessiné cette partie. Ainsi, le réseau de transports en commun semble faire partie intégrante de la représentation que l'on se fait d'une ville. Toutefois, l'utilisation de ce réseau pour se déplacer semble différente de celle d'un réseau routier (Golledge & Gärling, 2004) et donc la tâche de planification dans un système de transports peut être différente de la tâche de planification d'un itinéraire réalisé à pied uniquement ou en voiture.

En effet, le réseau de transports en commun dans les grandes villes comme Paris ou Londres implique divers modes de transports, dont principalement le bus et le métro. De ce fait, un itinéraire réalisé en transports en commun impliquera différents modes de transports : au moins la marche pour rejoindre le mode de transports, puis une portion en bus ou en métro ou les deux, et enfin de la marche pour rejoindre la destination finale si ce

n'est pas la station de bus/métro. Ces modes peuvent être extérieurs ou intérieurs, ce qui n'implique pas les mêmes éléments de repères et le même type de navigation (Mondschein, Blumenberg & Taylor, 2009). En effet, la navigation ne se fait pas uniquement dans des rues mais également dans des couloirs pour rejoindre le quai d'une ligne de métro par exemple. De même, dans la rame de métro, une majeure partie de l'itinéraire se fait sous terre ne laissant donc apparaître aucun élément de l'environnement extérieur pour se repérer. De plus, comme l'itinéraire peut impliquer des modes de transports et des contraintes associées sur lesquelles l'utilisateur n'a pas le contrôle, comme par exemple les horaires de passage, ces caractéristiques peuvent être à prendre en compte en plus pour la planification (Rüetschi & Timpf, 2005). Enfin, le réseau de transports est souvent très dense ce qui implique un nombre considérable d'alternatives et complexifie la tâche de planification (Timpf, 2002).

Fontaine et Denis (1999) ont montré que les éléments de repères, permettant une bonne orientation, sont différents lors d'un itinéraire impliquant la navigation dans une station de métro que lors d'un itinéraire effectué à pieds en extérieur. Ils ont comparé les descriptions d'itinéraires combinant une partie dans une station de métro (intérieure) et une partie extérieure faite à pied par des participants après un apprentissage durant lequel l'expérimentateur guidait le participant le long de l'itinéraire et ceci trois fois. Ils remarquent alors que les descriptions données par les participants pour la partie intérieure sont principalement basées sur les panneaux indicateurs des couloirs à suivre pour rejoindre une certaine ligne de métro ou pour emprunter une sortie spécifique. En revanche, pour la partie extérieure les descriptions reposent plutôt sur des repères en 3 dimensions (*e.g.*, boulangerie, immeuble spécifique). Un autre paramètre que les auteurs ont étudié est la verticalité, présente dans les stations de métro et non dans les rues, qui complexifie la représentation de l'espace et les descriptions (voir aussi Fontaine, 2001).

Timpf (2002) a défini une taxonomie du comportement de recherche du chemin en transports en commun, grâce aux descriptions d'itinéraires effectuées pour rejoindre un lieu depuis un autre par cinq usagers. Comme pour une activité de recherche du chemin étudiée classiquement, elle postule que l'utilisateur doit effectuer trois grandes opérations : planifier l'itinéraire, formuler les instructions à suivre et se déplacer. L'itinéraire décrit par les participants est constitué d'une première partie à pied pour rejoindre un arrêt de bus, puis le bus est pris pendant quatre arrêts et enfin une correspondance est effectuée pour prendre

le métro pour neuf stations. L'auteure constate que pour réaliser cette tâche les usagers peuvent avoir recours à différentes aides pour chaque étape : planification et recherche du chemin. Les utilisateurs peuvent alors utiliser des cartes routières ou de réseaux de transports, pour le bus ou pour le métro, à différents moments de la planification et réalisation de l'itinéraire. Cette aide leur permet de se positionner, sélectionner un itinéraire et également de prendre en compte le temps à passer dans les modes de transports. La Figure 9 présente l'itinéraire décrit par l'auteure et les différentes actions menées pendant celui-ci, par un usager. A chaque action est associé un type de carte que l'utilisateur a la possibilité d'utiliser pour s'aider lors de la réalisation de son itinéraire. On remarque, par exemple, que pour choisir les lignes de bus ou de métro à emprunter, l'utilisateur peut recourir aux cartes de bus ou de métro, et pour s'orienter il peut s'aider des panneaux. Toutefois, l'auteure note que les cartes de réseau de transports ne sont pas structurées comme les cartes routières et conduisent notamment à certaines difficultés de compréhension, notamment pour les connexions entre les lignes de métro qui ne sont pas toujours très bien représentées.

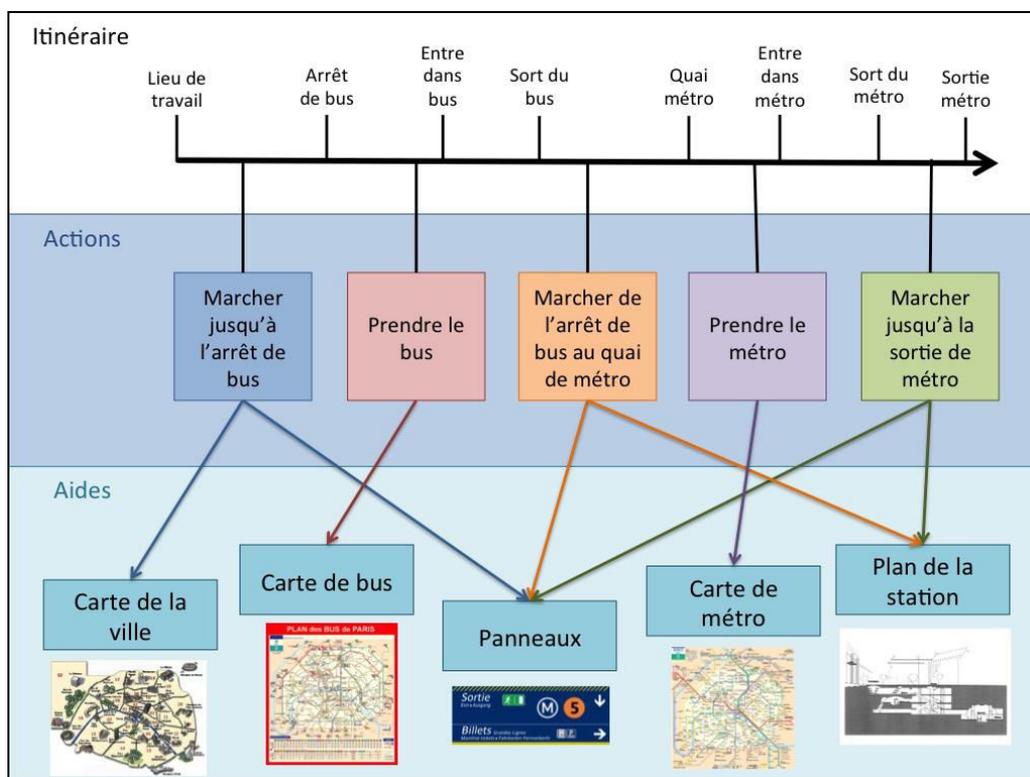


Figure 9. Utilisation des cartes, plans et panneaux lors de la réalisation d'un itinéraire en transports en commun utilisant le bus et le métro, d'après Timpf (2002).

2.2.2. Spécificités des cartes de réseau de transports

Dans la plupart des villes, les réseaux routiers (bus) et ferrés (métro, tramway) sont représentés sur deux cartes indépendantes. A notre connaissance, aucune étude ne s'est intéressée aux cartes représentant le réseau de bus, que ce soit pour la conception des cartes ou l'étude de l'activité de planification. En revanche, la littérature sur les cartes de réseaux ferrés (principalement le métro) est, quant à elle, bien documentée, ce qui nous amène à présenter dans cette partie les travaux concernant ces cartes uniquement. Les cartes de réseaux de transports sont structurellement différentes des cartes routières. Guo (2011, p. 627) les définit comme « *a schematic diagram that depicts the locations, directions, and connections of stations and lines in a public transit system* » (« un diagramme schématique qui représente les localisations, directions, et connexions des stations et lignes dans un système de transports en commun »). Ces cartes comportent généralement trois types d'informations : des segments représentant les différentes lignes, des points sur ces lignes représentant les stations, avec le nom de la station à côté, et des points plus importants représentant les correspondances possibles entre plusieurs lignes (voir Figure 10 pour un exemple).

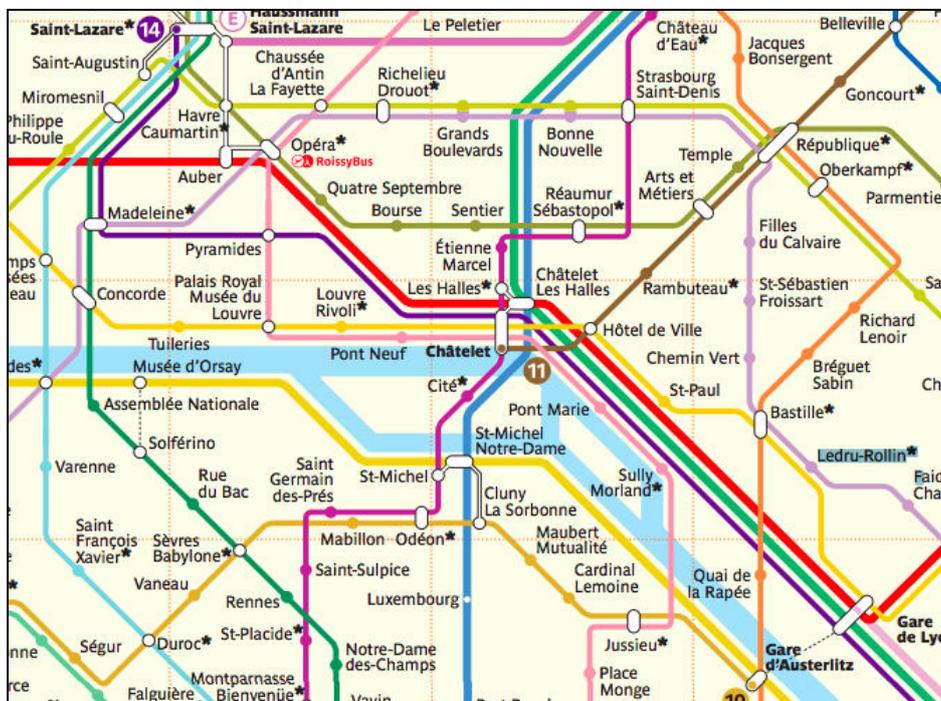


Figure 10. Exemple d'une partie de la carte du métro de Paris d'après la carte de le RATP (Régie Autonome des Transports Parisiens).

La création des cartes de réseaux de transports est effectuée en suivant différentes règles pour simplifier la compréhension de l'information présentée. Ces règles peuvent être par exemple (Roberts, 2008 ; Nöllenburg & Wolff, 2011) :

- Absence de détails sur les rues : les rues ne sont pas représentées, cependant certains grands éléments de repère de la ville comme un fleuve ou un parc le sont parfois ;
- Les segments sont présentés en ligne droite, il n'y a pas de courbes ;
- Le nombre d'angles permis pour l'orientation des segments est restreint : vertical, horizontal et sur les diagonales à 45°, c'est à dire qu'à n'importe quel point sur une ligne seulement 8 trajectoires différentes sont possibles.

Du fait de ces règles de conception, les cartes de réseaux de transports subissent des distorsions topographiques impliquant le non-respect des distances métriques (Guo, 2011 ; Roberts, Newton, Lagattolla, Hughes & Hasler, 2013). De plus, les points de connexions entre les différentes lignes peuvent être mal interprétés et entraîner une mauvaise compréhension de la difficulté réelle ou non des connexions (Guo, 2011). De ce fait, ces cartes ont la réputation d'être difficiles à comprendre et la plupart des recherches dans le domaine se sont intéressées à améliorer la conception de celles-ci pour faciliter leur compréhension et rendre la tâche de planification plus simple pour l'utilisateur (voir par exemple Garland, Haynes & Grubb, 1979 ; Freska, 1999 ; Casakin *et al.*, 2000 ; Hochmair, 2009 ; Robert *et al.*, 2013). Certains de ces travaux sont présentés dans la section suivante.

2.2.3. Les cartes de réseau de transports ne permettent pas une réalisation facile de la planification

En s'intéressant aux performances de planification à partir de différents types de cartes de réseaux de transports, Robert *et al.* (2013) ont récemment remis en cause les principes de conception des cartes. Dans les deux premières expériences les auteurs ont demandé à des participants ne connaissant pas le métro parisien de planifier des trajets difficiles (deux correspondances) à partir de la carte de métro proposée par la RATP (Régie Autonome des Transports Parisiens, une partie de la carte est présentée sur la Figure 10, ou

annexe 1 pour la carte complète) ou une carte en courbes (« all-curves » en anglais, Figure 11). Dans la première expérience les participants devaient planifier et dessiner l'itinéraire choisi, ce qui ne permettait pas d'estimer leur temps de planification et le temps du dessin était inclus dans le temps de planification. Dans la seconde expérience les participants devaient annoncer quand ils avaient fini de planifier, ce qui permettait d'estimer leur temps de planification, ensuite les dessins étaient effectués avec l'expérimentateur. Pour ces deux expériences, les résultats mettent en évidence que le temps de planification est plus rapide avec la carte en courbes, que les itinéraires planifiés sont plus courts et qu'il y a moins d'itinéraires non-valides qu'avec la carte RATP. Dans une troisième expérience, les auteurs ont ajouté une contrainte de temps pour la planification, ainsi les participants disposaient de 40 secondes (plus court que la moyenne observée dans les deux premières expériences), pour planifier leur itinéraire. Dans ces conditions les mêmes résultats que dans les deux premières expériences sont retrouvés. Ainsi, il semble que la carte proposée par la RATP, basée sur les principes de conception censés rendre la tâche de planification moins complexe, ne soit en réalité pas celle qui permette la planification la plus rapide et efficace (trajet plus court), ce qui amène à s'interroger sur la pertinence de ces règles de conception.

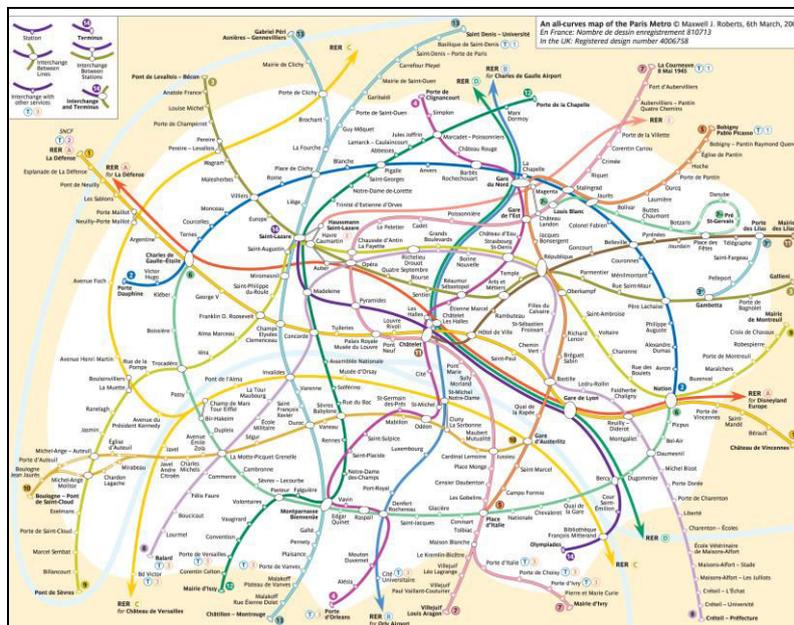


Figure 11. Carte en courbe proposée par Maxwell J. Roberts (2007).

Une autre étude menée par Hochmair (2009), a mis en évidence que l'information classiquement présentée sur les cartes ne semble pas suffisante, compte tenu de la

complexité du réseau de transports en commun dans les grandes villes et des contraintes pouvant être associées à la prise d'un mode de transports tel que le métro, comme par exemple la fréquence de passage ou les horaires des trains. Dans son étude Hochmair (2009) a fait varier le type d'informations présentes sur une carte de réseau de transports et a regardé les performances de planification des participants. Quatre cartes, dont trois avec des informations différentes ajoutées à la base d'une carte schématique ont été présentées. Les informations étaient soit liées à la position actuelle des métros, la fréquence de passage de chaque train sur les différentes lignes, l'heure de départ du prochain train. A partir de ces cartes, il a demandé aux participants de planifier l'itinéraire le plus court en termes de temps entre deux stations. Les résultats montrent que l'information permettant de planifier l'itinéraire le plus court est la fréquence de passage des trains. Cette étude met en évidence que malgré une grande popularité des cartes de transports dans les grandes villes comme support à la planification, celles-ci ne semblent pas conceptualisées de manière optimale pour aider ce processus complexe.

L'étude menée par Verseti (2008) apporte quelques éléments éclairant le processus de planification à partir de cartes de métro. A partir d'entretiens, réalisés auprès d'usagers du métro de Londres, elle a remarqué que ces derniers utilisaient une stratégie bien spécifique. En effet, pour estimer le temps que prendra l'itinéraire et comparer les alternatives, les participants déclarent attribuer un temps par station et un temps par correspondance, par exemple 3 minutes pour une station et 5 pour une correspondance. Ainsi un itinéraire avec 4 stations est estimé à 12 minutes, si on ajoute une correspondance il sera alors de 17 minutes. L'étude de Verseti permet de mettre en lumière une stratégie utilisée par les usagers pour planifier et choisir un itinéraire à partir d'une carte de réseau de transports, et montre que celle-ci repose sur la recherche d'un itinéraire répondant à un critère (*i.e.* temps de trajet).

Contrairement aux études s'intéressant à la planification à partir de carte routière dans le domaine de la psychologie cognitive, qui ont mis en évidence des heuristiques et biais de planification, ici la stratégie est guidée par un besoin de connaître et de réduire le temps de trajet. Cette stratégie semble typique de la planification d'itinéraires en métro ou en transports en commun et montre que dans ce contexte d'autres aspects que ceux présents sur la carte peuvent entrer en compte lors de la planification. Ceci va dans le sens

des études détaillées précédemment qui ont souligné que la connaissance de la fréquence de passage de trains aidait à la planification (Hochmair, 2009). Il apparaît que les informations concernant la structure du réseau présentées classiquement sur les cartes ne sont pas suffisantes pour planifier un itinéraire, et que le recours à d'autres informations, telles que le temps de trajet ou la fréquence de passage des trains, permettent de guider la planification. De plus, il a été vu dans le chapitre précédent que différents critères pouvaient être pris en compte pour choisir un itinéraire (Golledge, 1995 ; Hölscher *et al.*, 2011). Dans le cas de la planification d'itinéraires en transports en commun, une autre aide à la planification, connue sous le nom de « planificateur », permet de faciliter la tâche de l'utilisateur et de prendre en compte divers critères tels que le temps de trajet, le nombre de correspondances ou encore le type de mode de transports. En effet, le planificateur se charge de trouver les différentes alternatives répondant aux critères et l'utilisateur dispose d'informations supplémentaires pour effectuer son choix. La tâche de l'utilisateur devient alors une tâche de prise de décision parmi différentes alternatives.

2.3. Le recours aux aides de type planificateurs pour choisir un itinéraire

2.3.1. Les planificateurs et le choix multi-attributs

Nous pouvons situer l'origine des aides à la planification de type « planificateur », pour le métro parisien, avec l'apparition en 1937 des « Plans Indicateurs Lumineux d'Itinéraires » (*i.e.* PILI). Les PILI (voir un exemple Figure 12) étaient installés directement dans les stations de métro et permettaient d'afficher l'itinéraire le plus court à suivre pour aller de la station où nous sommes à une autre. Ils sont composés d'un plan du réseau du métro sur lequel les stations sont des petites ampoules et d'un clavier composé d'un bouton pour chaque station de destination. En sélectionnant la station où l'on souhaite se rendre, l'itinéraire s'affiche alors sur le plan en allumant les ampoules correspondant à l'ensemble des stations que l'on doit emprunter. En 1981, on dénombrait 184 PILI installés dans les stations de métro parisiennes (Zuber, 1996). Dans les années 1990, grâce à des innovations technologiques (écran tactile, gestion des prolongements de lignes), le Plan Lumineux Interactifs (*i.e.* PLI) a succédé aux PILI et 20 dispositifs étaient installés en 1996.

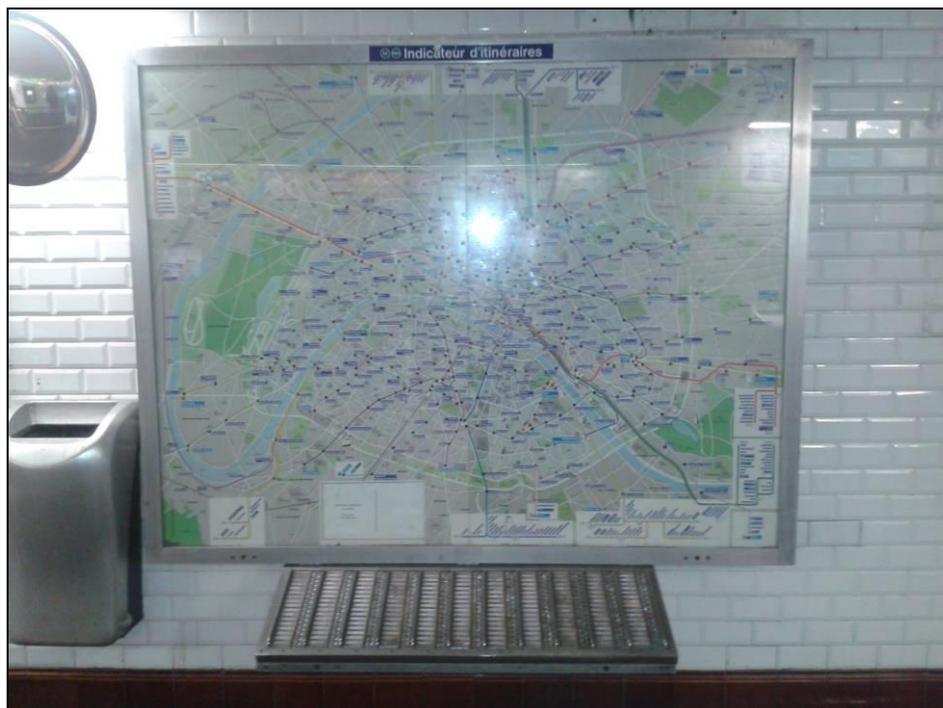


Figure 12. Indicateur d'itinéraires à la station Charles Michel de la ligne 10 du métro de Paris, France. Septembre 2015.

Plus récemment, avec l'évolution d'internet, de nombreuses aides à la planification, intégrant les différents modes de transports de la région Île-de-France, ont été conçues afin de rendre la tâche de planification d'itinéraires en transports en commun plus facile pour l'utilisateur (voir par exemple le site de la © RATP, Régie Autonome des Transports Parisiens, ou © 2012 vianavigo). Ces « planificateurs », sur internet ou sous forme d'application pour smartphone, proposent généralement à l'utilisateur de spécifier différents critères comme le temps de trajet, le type de mode qu'il préfère emprunter (réseaux ferré ou routier) ou encore s'il accepte d'avoir une grande portion de marche à pieds ou non. Ainsi, le planificateur propose la solution qui correspond le mieux aux critères prédéfinis par l'utilisateur. Celui-ci peut alors choisir de prendre cet itinéraire ou en comparer plusieurs en changeant les critères afin d'être sûr de son choix. D'autres planificateurs proposent directement plusieurs alternatives (voir Figure 13 pour un exemple). Si nous reprenons le modèle de planification en plusieurs étapes de Gärling *et al.* (1986) ou la proposition de Brunyé *et al.* (2010), la tâche de l'utilisateur n'est plus de chercher les différentes alternatives et de les comparer, mais simplement d'effectuer un choix parmi les alternatives proposées d'après les attributs de chacune. Ce choix est communément appelé le choix multi-attributs dans le domaine de la prise de décision (Abelson & Levi, 1985).

The screenshot shows the vianavigo.com website interface. At the top, there's a navigation bar with 'vianavigo.com' and various utility links. Below that, a search bar contains 'GARE MONTPARNASSE' as the departure and 'MARCEL SEMBAT' as the arrival. The date is set to 17/06/2015 at 15:30. On the left, there are two search results:

Options	Duration	Transfers	Walking Time
Trajet arrivée au plus tôt	30 min	3	3 min
Trajet le moins de correspondances	40 min	2	26 min

The map on the right shows a route starting from Marcel Sembat, passing through Trocadéro, and ending at Gare Montparnasse. A tooltip at the bottom right says 'Par la carte, c'est facile ! Passez votre curseur sur l'un des trajets de la liste pour visualiser l'itinéraire correspondant.'

Figure 13. Exemple d'une recherche pour un trajet allant de la Gare Montparnasse au métro Marcel Sembat. En bas à gauche sont présentées deux alternatives avec les différents critères (nombre de correspondances, temps de trajet, temps de marche à pieds). D'après le site internet © 2012 vianavigo.

Un choix multi-attributs est un choix pour lequel les différentes alternatives sont bien définies et tous les attributs et leurs valeurs sont connus (Abelson & Levi, 1985). Ramené à notre champ d'étude, les alternatives sont les itinéraires proposés et les attributs sont les informations sur ces itinéraires (*e.g.*, temps de trajet, nombre de correspondances). Dans le cas des transports en commun, cela peut être un choix parmi deux alternatives pour lesquelles certains attributs sont connus, comme par exemple le temps de trajet, la distance de marche, le nombre de correspondances, le type de modes de transports. Ainsi imaginons qu'un usager utilise une aide à la planification lui permettant d'obtenir des informations sur les itinéraires possibles pour effectuer un trajet. Après avoir sélectionné qu'il préférerait faire son itinéraire en bus avec le moins de correspondances possibles, deux alternatives sont proposées : la première alternative a un temps de trajet de 15 minutes dont 5 minutes de marche et la seconde alternative a un temps de trajet de 20 minutes dont 2 minutes de marche (voir Tableau 1 pour un autre exemple). Dès lors, une question qui se pose est de savoir comment l'utilisateur procède pour choisir entre ces deux possibilités ?

2.3.2. Différentes heuristiques de prise de décision

Dans le domaine de la prise de décision multi-attributs, les modèles expliquant le processus de choix trouvent leurs origines dans la littérature mathématique, tentant de formuler par des algorithmes le processus menant à la meilleure solution (voir par exemple Huber, 1974 ou Zanakis, Solomon, Wishart & Dubliss, 1998). Cependant, ceci conduit à passer en revue toutes les alternatives et tous leur attributs, ce qui ne semble pas correspondre au comportement humain qui, pour réduire l'effort cognitif associé à un tel processus, utilise des heuristiques (Svenson, 1979 ; Bettman, Johnson & Payne, 1990). De plus, ces modèles s'intéressent à trouver la meilleure alternative d'un point de vue mathématique (celle avec la valeur la plus élevée par exemple) ce qui n'est pas nécessairement ce que recherche l'utilisateur (Gollidge, 1995). Ainsi, nombre de recherches se sont employées à formaliser des explications de choix multi-attributs plus proches du comportement réel des individus et ont proposé différentes règles aussi nommées heuristiques pouvant expliquer ce comportement.

Les différentes heuristiques proposées se caractérisent principalement par (Abelson & Levi, 1985 ; Svenson, 1979) :

- le fait qu'elles soient compensatoires ou non, c'est-à-dire que dans le premier cas (*i.e.* règle compensatoire) un attribut négatif peut être compensé par un attribut positif, alors que dans le second cas (règle non compensatoire) ceci n'entre pas en compte. Ainsi, une heuristique compensatoire prendra en compte tous les attributs ce qui n'est pas forcément le cas d'une heuristique non compensatoire. Par exemple, dans le choix d'un itinéraire, le fait qu'il y ait beaucoup de marche peut être compensé par un temps de trajet très court. En revanche dans le cas d'une règle non compensatoire un temps de marche long ne peut pas être compensé par un autre attribut positif et l'alternative correspondante peut alors être éliminée.
- le type de processus qui peut se faire par alternative (inter dimensionnel), c'est-à-dire que les comparaisons se feront au niveau des alternatives ; ou elles peuvent se faire au niveau des attributs (intra dimensionnel). Par

exemple dans le premier cas, les points positifs de chaque alternative seront « additionnés » et les comparaisons auront lieu sur la somme de chaque alternative. Dans le second cas, les attributs seront comparés un à un, par exemple le temps de trajet du premier itinéraire sera comparé au temps de trajet du second, puis de même pour le temps de marche et ainsi de suite selon le nombre d'attributs. Il a été mis en évidence que le type de processus utilisé varierait selon la pression temporelle (processus intra dimensionnel dans le cas de pression temporelle) et le contexte, c'est-à-dire si les alternatives sont équivalentes ou non (Payne, Bettman & Johnson, 1988).

Au vu du grand nombre d'heuristiques proposées dans la littérature mathématiques, nous allons ici décrire certaines d'entre elles à titre d'exemple et nous nous focaliserons sur celles ayant été validées empiriquement en psychologie, bien que le nombre d'études s'y étant attaché reste limité (Bartels & Johnson, 2015).

En ce qui concerne les heuristiques compensatoires, Russo et Doshier (1983) ont voulu mieux comprendre le processus de choix des individus entre deux alternatives possédant chacune trois attributs (expérience 1). Les participants devaient choisir entre deux candidats qui postulaient pour obtenir une bourse d'étude. Les attributs présentés étaient le revenu des parents, les notes au lycée et le potentiel académique. Pendant que les participants effectuaient leur choix, les mouvements oculaires étaient enregistrés, ensuite les expérimentateurs revenaient sur les choix avec les participants pour que ces derniers précisent verbalement comment ils avaient procédé. Les résultats mettent en évidence que, pour la plupart des choix, les participants utilisent une stratégie intra dimensionnelle (comparaison par attribut). De plus, grâce à l'analyse des protocoles visuels et verbaux ils remarquent que les participants ont utilisé principalement deux heuristiques : la « réduction des dimensions » et la « dimension confirmant la majorité ».

L'heuristique de la « réduction des dimensions » (« *dimensional reduction* » en anglais) consiste à simplifier le processus en ignorant la dimension (l'attribut) pour laquelle la différence entre les alternatives est la plus faible. Si nous prenons l'exemple dans le Tableau 1, et que la personne qui effectue le choix considère que la différence de temps de trajet entre les trois alternatives est faible (5 minutes), alors elle peut supprimer cet attribut

et il ne reste plus qu'à comparer les alternatives sur les deux autres attributs : le nombre de correspondances et la fréquence des trains. Ainsi le processus est simplifié en comparant uniquement les autres dimensions, cependant cette procédure pourrait être difficile à mettre en place si le nombre d'attributs devient trop important.

Tableau 1. Exemple d'un choix parmi plusieurs alternatives en transports en commun (A, B et C) toutes composées de trois attributs (multi-attributs) : temps de trajet, nombre de correspondances et fréquence des trains.

Alternatives	Temps de trajet	Nombre de correspondances	Fréquence des trains
A	40 minutes	0	Toutes les 5 minutes
B	37 minutes	1	Toutes les 6 minutes
C	35 minutes	2	Toutes les 7 minutes

L'heuristique de la « dimension confirmant la majorité » (« *majority of confirming dimension* » en anglais) opère par comparaison de paires d'alternatives. Les valeurs de chaque attribut sont comparées pour les deux alternatives. Au départ chaque alternative part d'un score à zéro. Si pour le premier attribut l'alternative 1 a le meilleur score, alors elle gagne 1 point, si c'est l'alternative 2 qui a le meilleur score, alors l'alternative 1 perd un point. Si les deux alternatives sont équivalentes, alors le score ne change pas. Une fois que cette opération a été faite pour tous les attributs, si le score est positif pour l'alternative 1, alors elle est retenue. Si le score de l'alternative 1 est négatif, alors l'alternative 2 est retenue. Si le score final est à zéro, alors l'alternative qui gagne sur le dernier attribut est retenue. L'idée est de retenir l'alternative qui est la meilleure sur le plus de critères. L'alternative retenue à la suite de cette première comparaison entre deux alternatives est ensuite comparée à la troisième alternative avec le même processus, et ainsi de suite pour toutes les alternatives en jeu. En reprenant l'exemple décrit dans le Tableau 1, nous comparons dans un premier temps les alternatives A et B. Sur le premier attribut, l'alternative A perd un point car elle a le temps de trajet le plus long. En revanche pour le nombre de correspondances et la fréquence des trains elle gagne un point à chaque fois (moins de correspondances et fréquence plus élevée). Après les trois comparaisons le score

de l'alternative A est de 1 ($-1+1+1 = 1$) ce qui signifie que l'alternative A est retenue. Ensuite nous comparons les alternatives A et C. Cette comparaison suit le même schéma que la précédente et l'alternative A obtient un score de 1 ($-1+1+1 = 1$). Au final, l'alternative A sera retenue.

Dans une seconde expérience Russo et Doshier (1983) vont examiner l'effet du nombre d'attributs sur la sélection d'une heuristique. Ils ont proposé des tâches de choix entre deux alternatives avec 2, 3, 4 ou 5 attributs. Ils remarquent alors que, plus le nombre d'attributs augmente, plus l'heuristique de la « dimension confirmant la majorité » est utilisée. Les auteurs proposent deux explications à ce résultat, soit les participants utilisent la stratégie de la « dimension confirmant la majorité » dans le cas où il y a plus d'attributs car elle est plus adaptée que l'heuristique de « réduction des dimensions », soit le choix de l'heuristique dépend des stimuli de l'environnement. Par exemple si certains attributs contribuent peu à discriminer les alternatives alors l'heuristique de la « réduction des dimensions » peut s'appliquer, en revanche si tous les attributs sont nécessaires au choix alors l'heuristique de la « dimension confirmant la majorité » sera appliquée.

En ce qui concerne les heuristiques non compensatoires, l'heuristique de « conjonction » (« *conjunctive* » ou « *conjunction* » en anglais) propose que le décideur établisse des critères pour chaque attribut. Si une alternative n'atteint pas les critères elle est rejetée. Le processus associé à cette règle est inter-dimensionnel. En effet, un décideur utilisant cette règle va regarder chaque alternative une à une et rejeter l'alternative si elle ne passe pas les critères décidés. Prenons l'exemple du Tableau 1, si le décideur a pour critères que le temps de trajet ne doit pas excéder 35 minutes, que l'itinéraire ne doit pas avoir plus de deux correspondances, et que les trains passent plus souvent que toutes les 8 minutes, alors celui-ci regardera l'alternative A qu'il éliminera (temps de trajet de 40 minutes trop long), de même pour la B, et après avoir examiné la C il la choisira. Si plusieurs alternatives remplissent les critères dans toutes les dimensions, alors le décideur devra appliquer des critères plus sévères et continuer avec la même logique jusqu'à ce qu'il ne reste qu'une alternative, ou alors il peut appliquer une autre règle qui permettra de sélectionner une seule alternative. Dawes (1964) propose également une autre heuristique nommée « disjonctive » (« *disjunctive* » en anglais) qui implique aussi la mise en place de critères, mais cette fois-ci une alternative est acceptable si elle remplit au moins l'un des critères. Si

nous reprenons les critères que nous venons d'énumérer dans l'exemple précédent, les trois alternatives sont alors acceptables. Il est donc possible qu'avec certains critères plusieurs alternatives soient recevables, dans ce cas un autre processus de choix additionnel est engagé. Pour les deux propositions de Dawes (1964), nous pouvons noter que le fait que toutes les alternatives peuvent être retenues fait que ces règles apparaissent peu efficaces pour le processus de sélection.

Fishburn (1974) va lui proposer l'heuristique « lexicographique » (« *lexicographic* » en anglais). Cette heuristique nécessite que des valeurs différentes soient attribuées aux différents attributs (en fonction de leur importance), et ainsi que les différents attributs soient rangés dans un ordre d'importance (ordre lexicographique). Cette heuristique a un processus intra dimensionnel, ainsi les alternatives sont comparées dans un premier temps sur l'attribut qui est le plus important. Si une alternative a une meilleure valeur sur cet attribut que les autres, alors cette alternative est choisie sans comparer les autres attributs. Si plusieurs alternatives sont dotées de la même valeur sur l'attribut le plus important alors elles sont comparées sur le second attribut par ordre d'importance. Ainsi dans l'exemple du Tableau 1 si le décideur définit que le temps de trajet est le critère de plus important puis la fréquence des trains et enfin le nombre de correspondances, alors il comparera les temps de trajet en premier et choisira l'alternative C.

Enfin, Tversky (1972) propose l'heuristique « d'élimination-par-aspects » (« *elimination-by-aspects* » en anglais), pour laquelle les attributs sont aussi évalués selon leur importance. Dans un premier temps, les alternatives sont comparées sur l'attribut le plus important. Toutes les alternatives qui ne sont pas satisfaisantes sur cet attribut sont éliminées. Ensuite, le second attribut le plus important est examiné et les alternatives n'étant pas satisfaisantes sur cet attribut sont éliminées. Ce processus continue sur les attributs par ordre décroissant d'importance jusqu'à ce qu'il ne reste plus qu'une seule alternative. Cette règle est proche de l'heuristique « conjonctive » car les alternatives qui ne répondent pas aux critères sont rejetées. En revanche, son processus est intra dimensionnel car elle nécessite d'examiner chaque attribut un à un. Comme dans l'heuristique « lexicographique » Tversky (1972) suggère que le premier attribut examiné serait le plus important pour la personne effectuant le choix. Prenons l'exemple présenté dans le Tableau 1, si pour l'usager le critère le plus important est le nombre de correspondances et qu'il

n'accepte pas de prendre un itinéraire avec plus de 1 correspondance, alors l'alternative C sera éliminée. Ensuite si le deuxième critère le plus important est de ne pas attendre le train plus de 5 minutes, alors l'alternative B sera éliminé et il sélectionnera l'alternative A.

A partir de cette heuristique proposée par Tversky (1972), Slovic (1975) a établi l'hypothèse de la « dimension (attribut) la plus importante » (« *more important dimension* » en anglais), ainsi le décideur devrait choisir l'alternative qui a la meilleure valeur sur l'attribut (dimension) le plus important. Dans son étude, Slovic (1975) a présenté aux participants des choix entre deux alternatives disposant chacune de deux attributs, que ceux-ci avaient jugé équivalentes au préalable. Après la tâche de choix il a demandé aux participants lequel des deux attributs étaient pour eux le plus important. Les résultats mettent en évidence que les participants ont tendance à choisir l'alternative pour laquelle l'attribut le plus important a la plus grande valeur et confirment ainsi l'hypothèse de la « dimension la plus importante ». Cette hypothèse a ensuite été renommée « l'hypothèse d'importance » (« *prominence hypothesis* » en anglais) et a été vérifiée dans de nombreux contextes (Slovic, 1995 ; Tversky, Sattath & Slovic, 1988). Le point de vue exprimé ici laisse entendre que malgré une comparaison des différentes alternatives, le processus de choix serait largement guidé par les préférences des usagers, ce qui remet alors en question le fait que les usagers procéderaient à une analyse fine des différentes alternatives et révèle l'importance des préférences des usagers en termes de critère dans le processus de choix.

2.4. Conclusion

Planifier un itinéraire en transports en commun nécessite non seulement la mise en jeu de capacités cognitives mais également la prise en compte d'informations liées au système de transports, comme quels types de modes emprunter, le temps de trajet, le nombre de correspondances, la fréquence de passage des trains/bus, etc. Grâce aux aides actuelles comme les planificateurs, ces informations sont disponibles pour que l'utilisateur puisse faire son choix, ce qui n'est pas le cas sur les cartes de réseaux de transports. D'après la théorie de « l'élimination-par-aspects » (Tversky, 1972 ; Slovic, 1975) et « l'hypothèse d'importance » (Slovic, 1995 ; Tversky, *et al.*, 1988) le choix parmi plusieurs alternatives, constituées chacune de différents attributs, serait guidé par les préférences des usagers. Si

nous appliquons cette hypothèse à notre problématique du choix parmi plusieurs itinéraires en transports en commun, cela voudrait dire que si pour l'utilisateur le nombre de correspondances est le critère le plus important celui-ci choisira préférentiellement l'itinéraire avec le moins de correspondance. Ceci rejoint les études précédemment évoquées dans le cadre de la recherche du chemin en cognition spatiale décrivant que les individus choisissent leur itinéraire en accord avec divers critères (Golledge, 1995 ; Hölscher *et al.*, 2011). Considérant notre objectif de recherche sur la mise en jeu de ces critères de sélection, plusieurs questions se posent alors dans le cas d'itinéraires impliquant les transports en commun : quels critères guident les choix des usagers ? Les critères sont-ils toujours les mêmes ou changent-ils en fonction du trajet à planifier ? Ces critères sont-ils les mêmes pour tous les usagers ?

Chapitre 3. Les critères dans le choix d'itinéraires : influence des facteurs individuels et contextuels

Les deux premiers chapitres de l'introduction nous ont permis de définir les bases cognitives du processus de planification, sans et avec aide(s). La description des études s'intéressant à la planification d'itinéraires en transports en commun à l'aide de cartes et les études sur le choix parmi plusieurs alternatives permettent de pointer l'importance des critères de sélection, en plus des processus cognitifs impliqués dans une telle tâche (Golledge, 1995 ; Hölscher *et al.*, 2011). Toutefois, de nombreuses questions restent inexplorées concernant la mise en jeu de ces critères : lesquels sont considérés lorsqu'un usager choisit un itinéraire ? Les critères sont-ils les mêmes pour tous les usagers et tous les contextes de choix ?

On trouve des éléments de réponse à ces questions dans une littérature plus orientée vers la psychologie sociale et le domaine de la mobilité, lesquels ont développé de nombreuses recherches sur les facteurs entrant en compte dans le choix de mode de transports et d'itinéraire. Cette littérature suggère que le choix d'itinéraires n'est pas uniquement guidé par des critères de sélection rationnels et calculables (chemin le plus court, temps, minimisation du coût, etc.), mais également par des facteurs liés au profil de l'utilisateur (attitudes, habitudes, variables sociodémographiques) et au contexte (but du trajet, activité effectuée pendant le l'itinéraire, état psychologique particulier), qui influenceront en retour la prise en compte de certains critères de sélection (Klößner & Friedrichsmeier, 2011 ; Johansson, Heldt & Johansson, 2006).

Dans ce dernier chapitre théorique nous nous intéresserons à ces facteurs qui entrent en compte dans le choix d'itinéraires. Peu d'études ont posé cette question directement dans le cadre du choix d'itinéraires en transports en commun. De ce fait, nous discuterons dans un premier temps la mise en jeu des critères de sélection et des facteurs individuels (*i.e.* attitude, habitude, caractéristiques sociodémographiques), contextuels (but du trajet, activité effectuée pendant l'itinéraire, état psychologique particulier) et leurs interactions dans le cadre du choix entre la voiture personnelle et des modes de transports

alternatifs (*e.g.*, transports en commun, vélo). Dans un second temps, nous discuterons les études s'étant attachées à comprendre le choix d'itinéraires en transports en commun et les facteurs spécifiques mis en évidence dans cette situation.

3.1. Choisir entre différents modes de transports

3.1.1. Les critères et facteurs entrant en compte dans le choix de mode

Dans cette section nous allons nous intéresser aux critères et facteurs qui guident les choix de mode de transports. Avant de discuter ces études nous allons définir les termes de critères et facteurs. Dans notre cas, nous pouvons définir un critère comme étant une référence à laquelle doit correspondre un itinéraire pour que celui-ci soit sélectionné. Par exemple, pour un usager un des critères peut être de prendre l'itinéraire le plus court ou de mettre le moins de temps possible, ainsi il va sélectionner l'option pour laquelle le temps de trajet sera le plus court. Souvent, dans les études, les critères sont utilisés pour justifier un choix. Les facteurs sont, quant à eux, des sources de variation, liées à la personne ou à l'environnement, qui auront un impact sur le comportement de choix de l'usager. Dans notre cas nous qualifierons d'« individuels » les facteurs liés à l'usager comme par exemple ses caractéristiques sociodémographiques, ses préférences, ses attitudes ; et de « contextuels » les facteurs liés à la situation dans laquelle le choix est effectué, comme par exemple le moment de la journée, la météo, l'endroit où l'on se rend.

Dans les chapitres précédents nous avons vu que le choix d'itinéraires était souvent guidé par la recherche d'un itinéraire remplissant certains critères. Bien que la littérature cognitive ait posé le postulat que les individus recherchaient l'itinéraire le plus court la plupart du temps, cela a été remis en question. Ainsi, un itinéraire peut être choisi car il est plus simple, du fait de l'habitude, car il est familier ou car il est attractif (Golledge, 1995 ; Hölscher *et al.*, 2011). Toutefois, ces études ont été faites dans le cas où l'itinéraire était effectué à pied.

Dans le cas où l'itinéraire inclut l'utilisation de différents modes de transports d'autres critères interviennent dans le choix. Par exemple, Rubens, Gosling et Moch (2011) ont remarqué que les critères de choix étaient différents pour les utilisateurs de voiture ou

de transports en commun. Les utilisateurs de voiture justifient leur choix par le temps de trajet, le contrôle, le confort, l'indépendance, le bien-être et le plaisir, alors que les utilisateurs de transports en commun justifient leur choix par nécessité économique, pour éviter des problèmes de stationnement, des accidents et pour des raisons environnementales. Dans les deux cas les raisons pratiques sont les plus citées.

Toutefois, l'étude menée par Popuri, Proussaloglou, Ayvalik, Koppelman et Lee (2011) nuance ces conclusions. Ils ont mis en évidence que le choix de mode de transports était guidé par des critères pratiques comme le besoin de fiabilité, l'horaire, la complexité du voyage mais aussi par des critères moins pratiques comme le besoin d'un itinéraire sans stress, le besoin d'intimité, et de confort. De même, Mann et Abraham (2006) ont réalisé des entretiens auprès d'usagers utilisant aussi bien la voiture personnelle que les transports en commun, et les ont interrogé sur les raisons de leur choix. Les résultats montrent, qu'en plus des raisons pratiques, le choix de mode de transports peut être guidé par des raisons liées à l'agrément comme le confort, le plaisir ou la réduction du stress. Dans certains cas ces raisons liées à l'agrément peuvent prendre le dessus sur les raisons pratiques. Cependant, les auteurs émettent l'hypothèse que ceci dépendrait des utilisateurs sans pour autant la tester.

Dans les dernières décennies, d'autres auteurs se sont intéressés à cette question et se sont attachés à comprendre le choix de mode de transports des individus et pourquoi ceux-ci ne faisaient pas tous le même choix. La littérature a ainsi mis en évidence le rôle de facteurs structurels (*e.g.*, besoin de mobilité, accès aux transports) et sociodémographiques (*e.g.*, âge, sexe, nombre d'enfants) pour expliquer les choix entre la voiture personnelle et les transports en commun (Brisbois, 2010 ; Gandit, 2007). Toutefois, en plus de ces facteurs, les études ont montré que divers facteurs individuels jouent un rôle (Litman, 2008). De même, il apparaît que le choix est guidé par le contexte dans lequel nous nous trouvons.

Pour rendre compte de manière globale de l'étendue des facteurs entrant en compte lors du choix de mode de transports, l'étude de Klöckner et Friedrichsmeier (2011) constitue un bon point de départ. Dans leur étude, les auteurs ont croisé l'influence de facteurs qu'ils considèrent de deux niveaux différents : le premier concerne les facteurs individuels (niveau interpersonnel) qu'ils regroupent dans trois catégories qui sont les attitudes, les habitudes et

les variables sociodémographiques ; et le deuxième niveau concerne le contexte (niveau inter-trajet), faisant ici référence au but du trajet, à la longueur du trajet, au moment de la semaine, aux problèmes de transports en commun et à la météo. Les auteurs postulent que le choix de mode de transports peut être expliqué par ces deux niveaux et notamment par leurs interactions. A l'aide de questionnaires, remplis par des usagers, les auteurs ont remarqué que les facteurs du premier niveau jouent un rôle dans le choix de mode de transports, et donc selon les individus et leurs attitudes, habitudes et caractéristiques sociodémographiques, le choix ne sera pas le même. De plus, le second niveau permet de moduler l'effet de ces facteurs individuels. Plus précisément, parmi les nombreux résultats obtenus par les auteurs, nous pouvons noter que des habitudes fortes d'utilisation de la voiture et une attitude négative envers les modes alternatifs à la voiture mènent à un impact plus fort du temps de trajet sur l'utilisation de la voiture. C'est-à-dire que pour ces personnes, le temps de trajet est très important pour privilégier l'utilisation de la voiture. De même, des habitudes fortes d'utilisation de la voiture renforcent le lien entre les trajets pour se rendre aux loisirs ou au travail et l'utilisation de la voiture, alors que des intentions fortes d'utiliser des modes alternatifs réduisent l'impact d'utilisation de la voiture pour aller en courses. Cette étude montre que selon les usagers et les contextes, le choix de mode de transports et les critères pris en considération diffèrent.

En résumé, nous pouvons extraire de la littérature deux grandes catégories de critères : pratiques (temps de trajet, coût) et ceux liés à l'agrément (recherche du bien-être, confort, plaisir). La prise en compte des critères semble différer selon des facteurs individuels (âge, attitude, habitudes) et contextuels (but du trajet, moment de la journée). Nous allons dans la suite de cette section nous intéresser plus précisément à l'effet spécifique de certains facteurs personnels mis en évidence par Klöckner et Friedrichsmeier (2011) comme l'attitude et l'habitude, puis nous discuterons les effets du contexte.

3.1.2. Les facteurs personnels dans le choix : attitudes et habitudes

La notion d'attitude a été définie comme « *a psychological tendency that is expressed by evaluating a particular entity with some degree of favor or disfavor* » (Eagly & Chaiken, 1993, p. 3, « une tendance psychologique exprimée en évaluant une entité particulière avec plusieurs degrés de faveur ou défaveur »). L'attitude peut donc être considérée comme le

point de vue qu'a une personne, qu'il soit négatif ou positif, sur un comportement par exemple. Ajzen (1985, 1991) sera l'un des premiers à faire le lien entre l'attitude et le comportement et à formuler l'hypothèse que l'attitude joue un rôle dans l'intention de réalisation un comportement.

Depuis environ vingt ans la « théorie du comportement planifié » (*i.e.* TCP), dérivée de la « théorie de l'action raisonnée » (TAR, Fishbein & Ajzen, 1975), décrite par Ajzen (1985, 1991) a été prédominante pour expliquer, d'un point de vue psycho-social, le choix de mode de transports (Johansson *et al.*, 2006 ; Klöckner & Friedrichsmeier, 2011), et mettre en avant le lien entre attitude et comportement (pour une revue voir Ajzen & Fishbein, 2005). Dans ces deux modèles (TAR et TCP), Ajzen postule que les intentions, guidées par les motivations, sont les déterminants majeurs de la réalisation d'un comportement. Les modèles sont présentés dans la Figure 14 ci-dessous. Ainsi, l'intention d'effectuer un certain comportement serait guidée par trois composantes :

- L'attitude : le fait que la personne ait une bonne ou une mauvaise perception du comportement, par exemple elle n'apprécie pas les transports en commun (attitude négative envers les transports en commun) ;
- Le contrôle perçu du comportement : le fait que la personne trouve facile ou non de réaliser le comportement, en d'autres termes le fait que la personne pense avoir ou non les habiletés pour effectuer le comportement (Ajzen, 2002) ;
- La norme subjective : le fait que le comportement soit bien perçu ou non dans la société ou dans le groupe social, par exemple si le fait de prendre les transports en commun est valorisé.

Selon la TAR et la TCP ces trois composantes agissent sur les intentions qui elles-mêmes vont déterminer la réalisation du comportement. Toutefois, Ajzen (1991, 2002) postule qu'en plus de ce lien de causalité, il serait possible, dans des situations où pour réaliser un comportement certaines aptitudes sont obligatoires, que le contrôle perçu du comportement agisse immédiatement sur le comportement. Ainsi les déterminants directs du comportement seraient les intentions et le contrôle perçu du comportement (Figure 14).

De plus, ces trois composantes seraient déterminées par les croyances et préférences des individus pour chacune d'elles : les croyances envers le comportement pour l'attitude, les croyances envers le contrôle pour le contrôle perçu du comportement et les croyances envers la norme pour la norme subjective. Ces croyances sont inter-corrélées et elles sont la base du comportement. De ce fait, des changements dans ces croyances peuvent mener à un changement dans le comportement. Enfin, ces croyances peuvent varier en fonction d'un grand nombre de facteurs individuels (*e.g.*, personnalité, émotion, expérience), sociaux (*e.g.*, éducation, culture) et des informations (*e.g.*, connaissances, média).

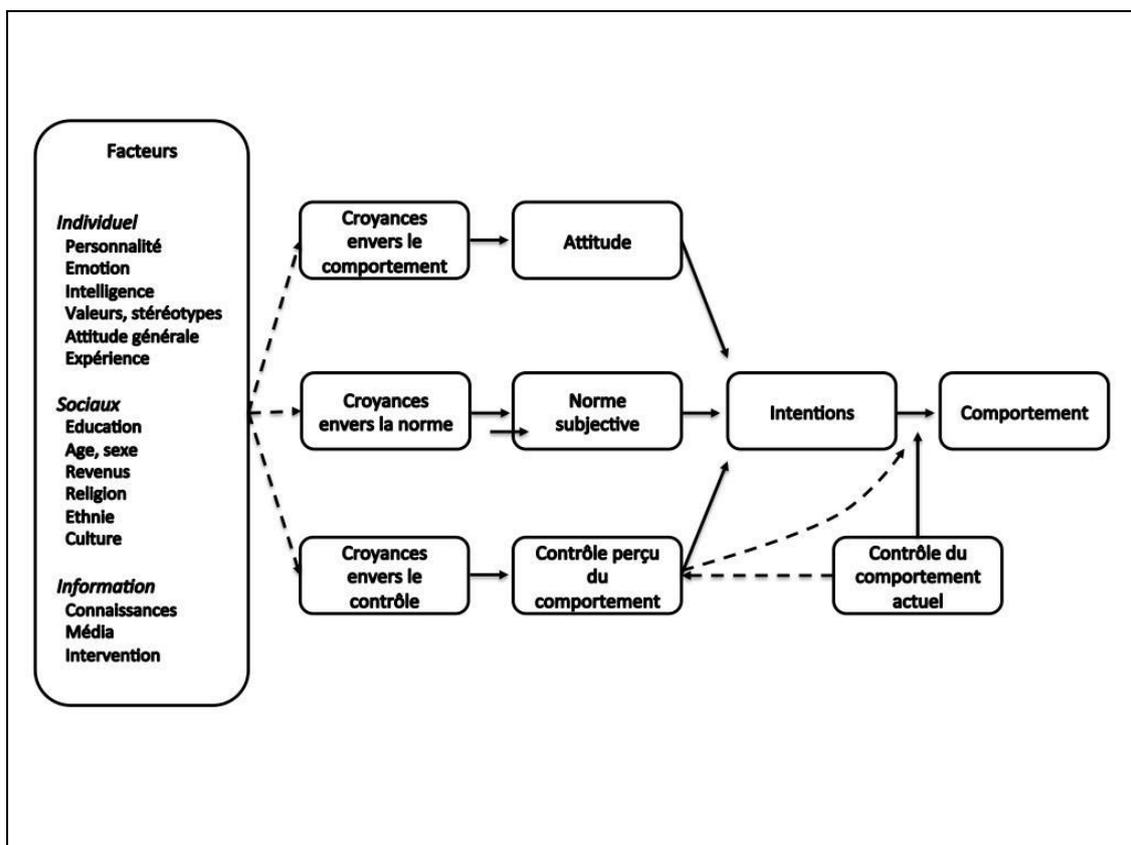


Figure 14. Une représentation schématique des théories de l'action raisonnée et du comportement planifié d'après Ajzen et Fishbein (2005).

L'un des avantages de ces théories est qu'elles sont applicables à de nombreux domaines en psychologie sociale (*e.g.*, consommation d'alcool, comportement du conducteur, pratique d'une activité sportive, comportement écologique) et montrent de bonnes prédictions des composantes décrites sur le comportement (pour une revue voir Armitage & Conner, 2001). Dans le domaine de la mobilité, elles ont principalement été utilisées pour prédire le choix d'utiliser la voiture personnelle ou les transports en commun

(Erickson & Forward, 2011 ; Hunecke, Blöbaum, Matthies & Höger, 2001 ; Hunecke, Haustein, Böhler & Grischkat, 2008 ; Johansson *et al.*, 2006 ; Klöckner & Friedrichsmeier, 2011). L'un des défauts que l'on peut noter est qu'elles prédisent l'intention et non le comportement.

Cependant, certaines études ont mis en évidence des liens entre l'attitude et le comportement. Hunecke *et al.* (2001) ont investigué comment l'attitude envers l'écologie affectait le choix de mode de transports entre la voiture personnelle et les transports en commun. Ils ont remarqué que les personnes ayant une attitude positive envers l'écologie avaient plus tendance à utiliser les transports en commun que les autres. Beirão et Cabral (2007) se sont eux intéressés aux attitudes et à l'attachement aux modes de transports et à leurs liens avec l'utilisation de ces modes. A partir d'entretiens avec des usagers, ils ont remarqué que la motivation d'utiliser les transports en commun était liée à une bonne perception de ceux-ci et à un faible attachement à la voiture personnelle. Ces études montrent donc empiriquement que la perception que l'on a d'un mode de transports ou d'un comportement influence le fait de réaliser ce dernier et que l'attitude est l'un des facteurs permettant de différencier les individus et d'expliquer leur choix.

Un autre facteur considéré par Klöckner et Friedrichsmeier (2011) pour expliquer le choix de mode de transports est l'habitude. En effet, prendre un mode de transports ou un itinéraire est un comportement quotidien, notamment pour les trajets pour se rendre sur son lieu de travail ou à une activité régulière. Les habitudes sont définies comme une séquence d'actions qui deviennent une réponse automatique à une situation spécifique et qui peut être fonctionnelle pour atteindre certains objectifs ou états finaux (Hull, 1943 ; James, 1890 ; Triandis, 1977, 1980 ; Watson, 1914). Les habitudes sont donc constituées de processus automatiques orientés vers un but, qui peuvent être initiés consciemment (Bargh, 1989). Le fait qu'elles soient orientées vers un but discrimine les habitudes d'autres comportements répétés automatiquement comme les réflexes. De plus, la répétition du succès des actions menées distingue les habitudes des comportements qui sont effectués automatiquement et qui ne sont pas forcément répétitifs (Langer, 1989). Verplanken, Aarts, van Knippenberg et van Knippenberg (1994), ont été les premiers à mettre en évidence à l'aide d'une étude par questionnaire que les habitudes entraient largement en compte dans

le choix de mode de transports en plus de l'attitude, notamment dans le cas de trajets effectués régulièrement comme pour aller de son domicile à son lieu de travail.

Verplanken *et al.* (1997) ont testé plus précisément l'influence des habitudes sur le processus de choix de mode de transports. Dans une première étude ils ont demandé aux participants de faire un choix parmi quatre alternatives (voiture, bus, vélo ou train) pour effectuer un trajet connu des participants (de leur domicile à un magasin en ville). Pour chaque mode de transports les participants disposaient de six informations (attributs) : l'effort physique, la probabilité de retard, le temps de trajet, la nuisance causée par les autres personnes, le confort espéré et le sentiment de liberté. En plus de cette tâche de choix, l'habitude d'utilisation des modes de transports était mesurée à travers des questions où il était demandé quel(s) mode(s) étaient choisi(s) pour se rendre à différentes destinations. Les résultats montrent que les personnes ayant de fortes habitudes passent moins de temps à inspecter les informations sur les alternatives que les personnes ayant peu d'habitudes. Cette différence n'a pas été retrouvée pour des trajets non connus (expérience 2) ou quand on demande aux participants de prêter attention aux différentes informations (expérience 3). Toutefois, dans l'expérience 3, les personnes avec de fortes habitudes tendent à de moins en moins faire attention aux informations à mesure des essais. Les résultats de cette étude soulignent donc que les habitudes entravent le processus de choix dans des situations connues et que les personnes ayant de fortes habitudes tendent à moins prêter attention aux attributs des alternatives moins bien connues, et ainsi à choisir toujours le mode de transports qu'ils connaissent. Ces résultats ont été également retrouvés par Aarts, Verplanken et van Knippenberg (1997).

Ainsi les auteurs confirment leur proposition de modèle du processus de choix par les usagers avec de faibles ou fortes habitudes. Comme nous pouvons le voir sur la Figure 15 présentée ci-dessous, les auteurs proposent que les usagers avec de faibles habitudes passent par différentes étapes leur permettant d'acquérir de l'information sur les différentes options grâce à leurs connaissances (interne) ou des supports d'informations (externe) pour ensuite sélectionner une option. Les usagers avec des fortes habitudes, quant à eux, ne passeraient pas par ces étapes de prise d'information et de comparaison. Par conséquent, il est plus difficile pour les personnes avec de fortes habitudes de tester de nouvelles options. Ainsi, si nous prenons l'exemple d'un trajet qui peut être effectué en voiture, en bus ou en

vélo, une personne avec de fortes habitudes d'utilisation de la voiture choisira directement ce mode sans comparer les trois options. En revanche, une personne avec peu d'habitudes comparera les options avant de faire son choix.

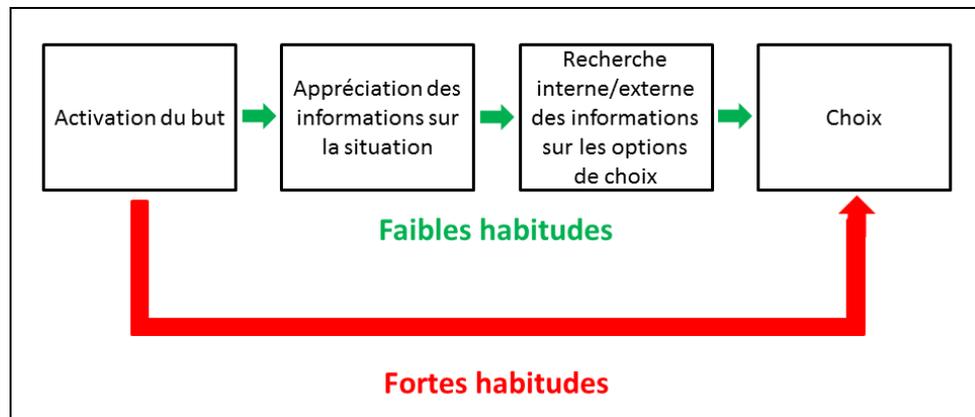


Figure 15. Le processus de choix selon que l'utilisateur a des fortes ou faibles habitudes, d'après Verplanken et al. (1997).

De plus, Verplanken, Walker, Davis et Jurasek (2008) ont remarqué à partir d'entretiens avec des usagers que lorsque ces derniers se retrouvent dans un contexte nouveau, comme après un déménagement, alors ils vont considérer des modes alternatifs tels que les transports en commun pour effectuer leur trajet plutôt que leur voiture personnelle. Comme dans l'étude précédente, cela montre que les habitudes jouent un rôle dans le choix de mode de transports et que lorsque le contexte est inhabituel (*i.e.* nouveau) alors l'utilisateur considère plus facilement d'autres options. Ces études mettent donc en évidence que le processus de choix, et donc de comparaison des alternatives, peut être annulé par de fortes habitudes. A l'inverse, une personne ayant peu d'habitudes ou se retrouvant dans un contexte nouveau prendra le temps d'effectuer les comparaisons avant de choisir.

La littérature dans le domaine du choix de mode de transports entre la voiture personnelle et les transports en commun a également montré que les attitudes et les habitudes ne seraient pas des facteurs totalement indépendants l'un de l'autre. En effet, il a été remarqué que les usagers ayant une bonne perception des transports en commun seraient plus enclins à utiliser ceux-ci (Beirão & Cabral, 2007 ; Erickson & Forward, 2011). De même, les usagers fréquents de transports en commun ont une meilleure opinion de ceux-ci

que les usagers moins fréquents (Popuri *et al.*, 2011). Klöckner et Friedrichsmeier (2011) ont croisé les effets de différentes attitudes (envers l'environnement, envers le fait d'utiliser des modes de transports alternatifs à la voiture) et des habitudes d'utilisation des modes de transports. Leurs résultats montrent que les usagers habitués à utiliser leur voiture et avec une attitude négative envers l'écologie préféraient utiliser leur voiture, alors que les usagers avec une attitude positive envers l'écologie et peu d'habitude d'utilisation de la voiture utilisaient plus les transports en commun. Cette étude révèle donc des effets additifs des attitudes et habitudes qui sont deux facteurs majeurs permettant d'expliquer, d'un point de vue psychosocial, les différences interindividuelles dans le choix de mode de transports.

3.1.3. Le contexte comme modérateur du choix

L'étude de Klöckner et Friedrichsmeier (2011), que nous avons évoquée précédemment, a mis en évidence qu'en plus des facteurs individuels, le contexte jouait un rôle dans le choix de mode de transports. Le contexte a été étudié de différentes façons dans la littérature s'intéressant au choix de mode de transports. Il est souvent fait référence, dans ce cadre, à la situation au moment où le choix de mode de transports est réalisé comme par exemple le but du trajet, la météo (Klöckner & Friedrichsmeier, 2011), l'état émotionnel de la personne (Mann & Abraham, 2006), les problèmes dans le réseau de transports, etc. De ce fait, le contexte peut être vu comme l'ensemble des paramètres présents au moment de l'action qu'ils soient liés à des éléments externes à l'individu (*e.g.*, météo) ou internes (*e.g.*, état émotionnel). Cela rejoint la définition donnée par Dey (2001, p. 2) :

Context is any information that can be used to characterize the situation of an entity. An entity is a person, place, or object that is considered relevant to the interaction between a user and an application, including the user and applications themselves.

Des études ont mis en avant que l'utilisation de la voiture variait selon le but des trajets. Par exemple, Dieleman *et al.* (2002) ont remarqué à partir d'un questionnaire que la proportion d'utilisation de la voiture pour aller aux loisirs était élevée, qu'elle était peu élevée pour les trajets pour aller faire des courses et moyennement élevée pour aller au travail. De même, Klöckner et Friedrichsmeier (2011), à partir de questionnaires, ont mis en

évidence que l'utilisation de la voiture personnelle ou d'autres modes comme les transports en commun ou le vélo diffèrent selon le contexte (*e.g.*, jour, but, météo, etc.). La voiture serait plus utilisée le week-end, pour aller à une activité de loisirs, ou au travail, si il pleut ou neige ou si il fait beau (comparé à un temps nuageux), et si il y a une grève ou un problème dans le transports en commun. En revanche la voiture serait moins utilisée pour les trajets effectués durant la journée ou ceux qui sont plus longs. Dès lors, il apparaît que le choix de mode de transports guidé par les facteurs personnels est également modulé par le contexte dans lequel l'utilisateur se trouve au moment du choix.

La littérature sur le choix de modes de transports et la prise en compte des facteurs individuels et contextuels apportent des éléments éclairant notre problématique du choix d'itinéraires en transports en commun. En effet, le choix d'itinéraires en transports en commun implique également de réaliser un choix de mode de transports (entre le bus et le métro par exemple). Une hypothèse que nous pouvons émettre est que lors du choix d'itinéraires des facteurs comme l'attitude, l'habitude et le contexte entrent en compte. Cependant la littérature sur le choix d'itinéraires en transports en commun a très peu investigué cette question à notre connaissance. Nous allons dans la partie suivante discuter les études s'étant intéressées aux facteurs entrant en compte dans le choix d'itinéraires puis nous nous focaliserons sur l'importance et l'effet des correspondances, qui s'avère être l'un des facteurs prédominant dans cette littérature.

3.2. Choisir entre différents itinéraires en transports en commun

3.2.1. Les critères et le contexte dans le choix d'itinéraires en transports en commun

Dans la littérature, nombres d'études se sont attachées à comprendre les critères intervenant lors du choix d'itinéraires en transports en commun, dans le but principalement de modéliser ces choix et de rendre les applications de recherche d'itinéraires (*i.e.* planificateurs) plus performantes. De ce fait, peu de critères sont considérés, les différences interindividuelles ne sont pas prises en compte et parfois, les avis et expériences des utilisateurs ne sont pas recueillis. Toutefois, ces études ont l'avantage de constituer un point

de départ pour connaître les critères pris en considération dans le choix d'itinéraires. Ainsi, en plus du temps de trajet total et du coût, ces études révèlent l'importance des caractéristiques des correspondances (Guo & Wilson, 2011), de l'occupation des modes (*i.e.* s'il y a beaucoup de monde ou pas), du confort et de la topologie du réseau (Raveau *et al.*, 2014). De plus, ces études permettent une approche plus fine de l'effet du temps de parcours car elles mettent en évidence qu'un itinéraire est constitué de différents temps (*e.g.*, temps d'attente, temps de marche, temps dans le véhicule) qui n'influencent pas de la même manière le choix d'itinéraires (Raveau *et al.*, 2011). Le temps d'attente et de marche serait plus important pour le choix que le temps passé dans le véhicule. Un autre critère révélé dans l'étude de Raveau *et al.* (2011) est que les usagers percevraient plus négativement les itinéraires pour lesquels il est nécessaire d'emprunter un segment dont la direction ne va pas vers la destination. Ce critère semble proche de la stratégie basée sur les directions (Golledge, 1995 ; Hölscher *et al.*, 2011), que nous avons décrite dans les deux premiers chapitres de la thèse, qui consiste à essayer d'emprunter l'itinéraire qui permet le moins de déviations possibles par rapport à la direction dans laquelle est la destination. Enfin, l'étude de Raveau *et al.* (2011) permet également d'envisager un effet des habitudes sur le choix d'itinéraires car les auteurs remarquent que les usagers ont plus tendance à choisir un itinéraire qui leur est déjà familier.

Pour mieux comprendre le rôle des facteurs individuels dans le choix d'itinéraires en transports en commun, d'autres études, dans le domaine de la psychologie, se sont intéressées à la satisfaction des usagers par rapport aux itinéraires, en partant du postulat que lorsque les usagers planifient leurs itinéraires ils cherchent à en être satisfaits. Ainsi, Ettema, Friman, Gärling, Olsson et Fujii (2012) ont étudié les activités effectuées pendant l'itinéraire (*i.e.* activité en route) comme déterminant de la satisfaction. Les auteurs ont utilisé un questionnaire pour mettre en évidence les liens entre les activités effectuées en route comme se relaxer (dormir, se reposer, se détendre), s'amuser (lire, écouter de la musique) ou travailler, et la satisfaction envers l'itinéraire effectué en transports en commun pour se rendre au travail ou en revenir. Ils ont alors montré que les activités effectuées dépendent du contexte : les usagers vont avoir plus tendance à travailler en allant au travail, et ils vont se relaxer ou s'amuser en rentrant du travail. Cependant les activités effectuées

pendant l'itinéraire ne permettent pas à elles seules de déterminer la satisfaction par rapport à l'itinéraire.

Friman (2010) s'est intéressée à l'influence de l'attente (*i.e.* attendre un mode de transports à un arrêt ou une station) sur la satisfaction. Dans cette étude les participants devaient lire 10 scénarios décrivant des itinéraires en bus incluant des moments d'attente d'un bus soit au début de l'itinéraire (*i.e.* attendre le premier bus) soit au milieu de l'itinéraire (*i.e.* attendre à une correspondance entre deux bus). Dans les deux cas, des informations sur le temps et les conditions d'attente étaient décrites, rendant ainsi le temps d'attente positif (*i.e.* pas d'attente), neutre (*i.e.* le bus est en retard mais vous avez des informations sur le temps d'attente) ou négatif (*i.e.* vous avez loupé le bus car il est parti 2 minutes en avance et vous devez attendre le prochain). Après chaque lecture de scénario les participants devaient remplir un questionnaire à propos de leur satisfaction par rapport au système de transports. Les résultats montrent que les participants ont une meilleure appréciation du système de transports après un scénario positif qu'après un scénario négatif. De plus, l'auteure a remarqué un effet du moment de l'attente : attendre au début de l'itinéraire est perçu moins négativement que l'attente au milieu de l'itinéraire. Des résultats similaires ont également été montrés par Friman (2004) avec des incidents positifs, négatifs ou neutres impliquant des problèmes de fiabilité (*i.e.* horaires des bus), de simplicité/complexité (*i.e.* mauvaises informations) et de confort (*i.e.* rester debout), mettant ainsi en évidence leur effet sur la satisfaction.

Grâce à des études réalisées auprès des usagers, la littérature s'intéressant aux déterminants de la satisfaction permettent de mettre en lumière l'étendue des critères et facteurs pouvant influencer le choix d'itinéraires en transports en commun. En revanche, elles n'apportent pas d'éléments pour comprendre si l'utilisation de ces critères est différente selon les usagers et les contextes.

Bien qu'à notre connaissance aucune étude ne s'est intéressée aux différences entre usagers dans la prise en compte des critères, l'étude de Schmitt, Currie et Delbosc (2013) apporte quelques éléments de compréhension des effets du contexte sur le choix d'itinéraires. Dans leur étude, le contexte était manipulé à partir de la connaissance qu'avaient les participants de l'itinéraire, c'est-à-dire si celui-ci était familier ou non familier

(*i.e.* nouvel itinéraire empruntant des lignes de bus, tramway ou train non connues). Ils ont demandé aux participants d'effectuer un choix à l'aide d'une application en ligne puis ils leur ont posé différentes questions sur les raisons, les circonstances de ce choix et l'expérience de réalisation de cet itinéraire (*i.e.* après réalisation par les participants). Les résultats mettent en évidence que les itinéraires non familiers sont plus liés que les familiers à des événements de vie (*i.e.* déménagement, nouveau travail), à faire l'itinéraire avec une autre personne, pour aller à des activités de loisirs plutôt qu'au travail et pour une nouvelle destination. Les attributs des itinéraires nouveaux perçus négativement sont liés aux difficultés de navigation (*i.e.* recherche du chemin) et à l'état émotionnel (*i.e.* l'anxiété) ressenti pendant l'itinéraire. A l'inverse, les itinéraires non familiers sont perçus plus positivement pour le temps de trajet espéré (*e.g.*, moins long qu'attendu) et le confort. Cette étude montre donc que le choix d'itinéraires et la perception de cet itinéraire n'est pas la même pour un itinéraire familier ou non. Le contexte apparaît jouer un rôle dans la décision de prendre un nouvel itinéraire, rejoignant ainsi les études sur le choix de mode de transports ayant souligné l'importance de celui-ci. De plus, l'activité de choisir et d'effectuer un itinéraire demande de bonnes capacités spatiales comme nous avons pu le voir précédemment, et cette étude révèle en effet que des difficultés de navigation lors d'itinéraires nouveaux peuvent mener à une perception négative de celui-ci. Enfin, le confort ne serait pas perçu de la même façon si l'itinéraire est nouveau ou non, ce qui peut être éventuellement expliqué par le fait qu'un itinéraire non connu peut être une source de stress et engendrer de l'inconfort (Cahour, 2008).

3.2.2. L'importance des transferts dans les itinéraires en transports en commun et leur impact sur le choix

Etant donné que l'objectif de la présente thèse est de comprendre le comportement de planification d'itinéraires en transports en commun (*i.e.* TC) et que nous supposons que les caractéristiques de ses modes influencent le processus de planification, nous allons dans cette partie discuter l'effet des correspondances qui est l'une des caractéristiques spécifique aux itinéraires en TC. En effet, l'un des désavantages perçu le plus important dans l'utilisation des TC est que, dans une grande majorité des cas, pour faire un trajet porte à porte, l'usager aura à emprunter des correspondances (*i.e.* changement entre deux lignes de

métro par exemple ou changement de mode de transports). Ces correspondances sont généralement perçues négativement par les usagers (Friman, 2010) car elles entraînent des temps d'attente, de marche et une incertitude. De plus, Heye et Timpf (2003) ont remarqué que les correspondances entraînaient une difficulté dans la réalisation du parcours due à une charge notamment physique et de recherche du chemin importante. En effet, les participants ont répondu dans le questionnaire de Heye et Timpf (2003) que la difficulté aux correspondances était influencée notamment par le nombre de lignes arrivant et repartant de ce point et la distance à effectuer entre les deux modes de transports. Hine et Scott (2002) ont, quant à eux, interrogé des usagers des transports en commun qui leur ont reporté qu'ils avaient tendance à éviter ces correspondances, et que s'ils devaient quand même en emprunter, ils planifiaient leur itinéraire en avance afin d'éviter les désagréments comme le temps d'attente, la perte de temps et par conséquent la perte de contrôle de leur itinéraire. Du fait de la complexité des correspondances et de leur mauvaise perception de la part des usagers, de nombreuses études se sont attachées à pointer les améliorations à faire au niveau des correspondances, sans pour autant prendre en compte le point de vue des usagers (voir par exemple Guo et Wilson, 2011).

Toutefois, en partant de la TCP (Ajzen, 1985, 1991), Chowdhury et Ceder (2013) ont remarqué, dans une étude par questionnaire, que si les infrastructures apportaient certaines améliorations aux correspondances, cela augmenterait les croyances envers le contrôle perçu des usagers pour les correspondances et donc faciliterait l'utilisation d'itinéraires avec des correspondances. Plus précisément, les résultats mettent en évidence que la fiabilité (connexion avec le second véhicule), le temps de marche et d'attente à la correspondance et les informations (panneaux, indication sur le temps d'attente) sont des critères importants à améliorer aux correspondances pour augmenter le contrôle perçu et faciliter l'intention d'utiliser des itinéraires avec des correspondances. Les auteurs interprètent ce résultat en disant que, si les services proposés (fiabilité, temps d'attente, etc.) correspondent aux préférences de l'utilisateur, celui-ci sera alors enclin à utiliser des itinéraires avec des correspondances. En revanche, si les services ne correspondent pas, une amélioration de celles-ci sera nécessaire pour que l'utilisateur utilise un tel itinéraire.

Les auteurs vont alors proposer une modélisation de l'effet des préférences des usagers envers les attributs des correspondances sur le comportement, présenté dans la

Figure 16, en reprenant les principes de croyance, de contrôle perçu du comportement et d'intention définis dans la TCP. Ce modèle propose de considérer deux cas. Dans le premier, la qualité du service aux correspondances correspond aux préférences de l'utilisateur (informations disponibles aux changements, facilité, etc.), ainsi les croyances de celui-ci envers le contrôle perçu du comportement sont positives, ce qui rend la relation entre le contrôle du comportement perçu et l'intention d'effectuer le comportement forte. Cette forte relation permet alors de réaliser le comportement d'utiliser des itinéraires avec des correspondances. Dans le second cas, la qualité du service aux correspondances ne correspond pas aux préférences des usagers (pas d'espace d'attente, mauvaise qualité de l'information, etc.), les croyances envers le contrôle perçu sont donc négatives et la relation entre le contrôle perçu du comportement et l'intention faible. Il faudra alors améliorer la qualité du service aux correspondances pour que les croyances deviennent positives et que le lien entre le comportement perçu et les intentions se renforce, pour qu'enfin l'utilisateur réalise le comportement.

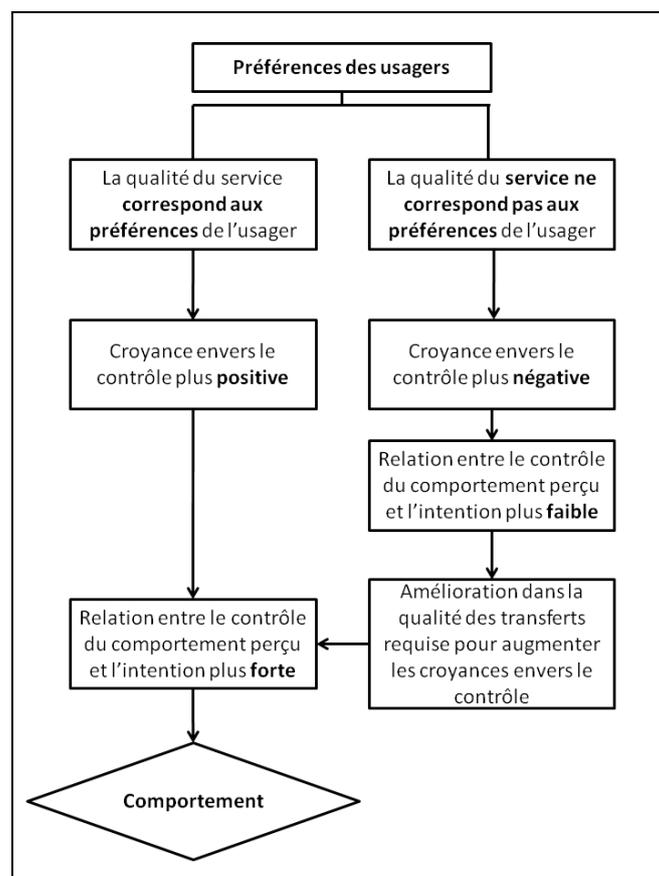


Figure 16. Modélisation de l'effet des préférences des usagers envers les attributs des correspondances sur leur contrôle perçu du comportement, d'après Chowdhury et Ceder (2013).

Chowdhury, Ceder et Sachdeva (2013) sont allés plus loin dans la compréhension des facteurs motivant la prise d'itinéraires avec des correspondances, en s'intéressant également à certains facteurs individuels. Ils ont proposé à leurs participants d'effectuer des choix parmi des itinéraires. A chaque essai, le participant se voyait proposer un itinéraire décrit verbalement qui prenait 40 minutes et n'avait pas de correspondance. Puis trois autres options étaient proposées. Elles comportaient toutes une correspondance d'une durée de 10 minutes (5 minutes d'attente et 5 minutes de marche). Cette correspondance était, soit bien indiquée soit, elle ne l'était pas et des informations manquaient ; et soit il y avait un abri pour attendre soit il n'y en avait pas. Ces alternatives permettaient de gagner 10, 15 ou 20 minutes sur l'itinéraire initial (40 minutes). Les auteurs ont également mesuré différents facteurs propres à chaque individu (*e.g.*, caractéristiques sociodémographiques et fréquence d'utilisation des TC). Ils ont ainsi remarqué que plus le gain de temps était important plus le choix pouvait être fait pour une alternative avec une correspondance. Les participants choisissent plus l'option avec une correspondance quand la qualité des informations données aux correspondances est bonne et quand il y a un abri. En ce qui concerne les facteurs plus individuels, les résultats montrent que les femmes et les usagers fréquents des TC sélectionnent plus l'option avec une correspondance (6 fois plus pour les femmes que les hommes, et 3 fois plus pour les usagers fréquents que non fréquents), ce qui souligne des effets liés au profil de l'utilisateur, notamment de l'habitude d'utiliser les TC. Les résultats de cette étude permettent d'attester qu'en plus des facteurs structurels, permettant de faciliter la prise d'itinéraires avec des correspondances par les usagers, il existe des différences interindividuelles et que certains usagers sont plus enclins à utiliser des itinéraires avec des correspondances que les autres. De manière plus générale, cette étude montre donc qu'il est nécessaire de prendre en compte divers facteurs, notamment individuels, pour expliquer les choix d'itinéraires en TC.

3.3. Conclusion

Ce troisième chapitre théorique nous a permis de montrer que le processus de choix de mode de transports et d'itinéraires, lorsque ceux-ci impliquent la prise d'au moins un mode de transports, n'est pas uniquement une tâche impliquant des processus cognitifs. En effet, il apparaît que les usagers choisissent leurs itinéraires en accord avec des critères et

leurs préférences qui sont déterminées par divers facteurs individuels (*e.g.*, attitude, habitude, âge, sexe) et contextuels (*e.g.*, but du trajet, moment de la journée). Cette revue de littérature permet de noter les limites des modèles cognitifs ne considérant, à l'heure actuelle, encore trop peu les différences interindividuelles et les variations contextuelles, et de s'interroger sur l'effet de ces facteurs dans le processus de planification d'itinéraires en transports en commun.

Chapitre 4. Problématique et modèle

Rappelons que l'objectif de la présente thèse est de comprendre comment les usagers des transports en commun planifient et choisissent leurs itinéraires, dans des situations proches de la réalité, et d'étudier l'influence de facteurs aussi bien individuels que contextuels sur ce processus. Nous allons dans un premier temps rappeler les éléments principaux de la partie théorique, qui nous permettront dans un second temps de décrire le modèle du processus de planification d'itinéraires en transports en commun que nous proposons de tester.

4.1. Problématique

Dans la littérature en psychologie, la planification d'itinéraires est considérée comme un problème à résoudre situé dans un environnement spatial. Il est admis que la planification est un processus qui opère en différentes étapes (Brunyé *et al.*, 2010). Les modélisations considèrent également que pour résoudre un tel problème, le sujet doit se représenter mentalement celui-ci (Gärling *et al.*, 1986). Cette représentation, que l'on peut décrire d'après la théorie des modèles mentaux (Johnson-Laird, 1983), permet aussi à l'individu de réaliser les comparaisons, en mémoire de travail, entre les alternatives en considérant l'arrangement spatial dans l'environnement. Toutefois, le coût en mémoire associé à la recherche des différents itinéraires possibles et à leur comparaison étant élevé, l'individu mettrait en place des heuristiques de planification. Les recherches se sont alors intéressées à la mise en œuvre et à la nature de ces heuristiques (MacGregor & Ormerod, 1996 ; Golledge, 1995 ; Wiener *et al.*, 2007). Nous pouvons en retenir que tout individu disposerait d'un stock d'heuristiques lui permettant de résoudre des problèmes divers en adaptant l'heuristique utilisée au problème qui est posé (Cutini *et al.*, 2008).

Bien que l'ensemble de ces études permette d'établir précisément les bases du fonctionnement cognitif de la planification, nous constatons deux limites. La première concerne le matériel, *i.e.* le problème du voyageur de commerce, qui est pertinent pour mettre en évidence les heuristiques de planification mais ne procure pas un cadre proche

des activités de planification que nous rencontrons dans la vie quotidienne. En effet, il s'agit de relier différents points par des segments en ligne droite. Or, l'aménagement de l'environnement urbain ne permet pas de définir un chemin avec uniquement des segments en ligne droite car celui-ci est composé de rues que l'on doit suivre et d'immeubles que l'on ne peut pas franchir et qu'il faut contourner. La seconde limite que l'on peut considérer se trouve dans la consigne donnée, qui est de chercher le chemin le plus court. Contrairement à ce qui était admis dans cette littérature (Farr *et al.*, 2012), il apparaît que les individus ne choisissent pas toujours leur itinéraire en raison de sa longueur mais aussi pour sa simplicité et son agréabilité, etc. (Golledge, 1995 ; Hölscher *et al.*, 2011). Ces deux limites apportent de nouveaux questionnements, notamment sur la prise en compte des contraintes liées à l'aménagement urbain et sur les divers critères déterminant le type d'heuristiques utilisées, ainsi que sur la mise en jeu de ces critères et heuristiques.

L'une des possibilités pour aborder la question de l'influence de l'aménagement urbain sur l'activité de planification d'itinéraires est de s'intéresser aux itinéraires impliquant la prise de modes de transports, qui est de plus à notre connaissance un aspect qui n'a pas encore été abordé dans la littérature en psychologie. Dans notre cas précis nous considérerons la planification d'itinéraires en transports en commun. Le fait que les itinéraires à planifier comprennent des modes de transports implique que les usagers doivent prendre en considération divers facteurs dont ils n'ont pas la maîtrise, comme par exemple les horaires de passages, les modes de transports possibles où se situent les correspondances entre les lignes ou les modes, etc. Bien que certaines études théoriques aient postulé que cette activité est complexe (Timpf, 2002), peu d'études empiriques se sont intéressées aux effets de l'intégration de modes de transports en commun dans une tâche de planification d'itinéraires. Au-delà de l'hypothèse générale que l'on pourrait formuler que la prise en considération d'informations supplémentaires pour mener à bien la planification complexifie la tâche, nous pouvons faire l'hypothèse que ces informations modulent les éléments pris en compte pour planifier un itinéraire. En d'autres termes, cela implique que la planification ne repose plus uniquement sur des informations spatiales, qui seront peut-être mises en retrait au regard d'autres informations d'ordre temporel ou de préférence pour certains modes. Il a d'ailleurs déjà été montré que les usagers du métro mettent en place une stratégie spécifique pour connaître le temps de trajet d'un itinéraire à partir d'une carte

et savoir quelle alternative sélectionner (Verseti, 2008), et qu'ils ont tendance à éviter les itinéraires pour lesquelles des correspondances sont nécessaires (Hines & Scott, 2000). Pour aller plus loin, cela amène à penser que la représentation mentale des usagers peut être composée d'informations liées au réseau de transports en commun en plus des autres informations nécessaires à la planification d'un itinéraire.

Un point qu'il est important de noter est que dans la vie quotidienne, les usagers disposent de diverses aides pour réaliser leur planification d'itinéraires comme les cartes de réseaux de transports ou les planificateurs d'itinéraires. Les cartes permettent d'apporter un support visuel pour aider les usagers à planifier leur itinéraire, mais également de réduire la charge en mémoire liée aux informations qu'il faudrait retenir sans celles-ci (Kulhavy & Stock, 1994). Toutefois, le processus de planification en différentes étapes reste intact, et les usagers doivent rechercher les alternatives et en sélectionner une. De plus, la littérature a montré que malgré la représentation du réseau que les cartes apportent, elles peuvent être difficiles à interpréter pour les usagers (Timpf, 2002, Guo, 2011), et elles ne permettent pas aux usagers d'accéder à toutes les informations nécessaires pour planifier leurs itinéraires (Hochmair, 2009 ; Verseti, 2008). La littérature sur la planification d'itinéraires à partir de cartes routières a mis en évidence que diverses heuristiques et biais intervenaient dans la planification à partir de carte, notamment lors de l'étape de la sélection d'une alternative (Bailenson *et al.*, 1998, 2000 ; Brunyé *et al.*, 2010). Cependant, à ce jour, très peu d'études ont posé la question de savoir comment les usagers utilisaient les cartes de réseau de transports pour planifier leurs itinéraires, en s'intéressant aux étapes du processus et aux stratégies alors utilisées.

Une aide plus récente est le planificateur d'itinéraires qui va procéder lui-même à la recherche d'une ou plusieurs alternatives selon des critères prédéfinis ou non par l'utilisateur. Dans ce cas, l'utilisateur ne doit plus rechercher l'origine et la destination puis chercher les options possibles, mais doit uniquement effectuer un choix parmi les différentes possibilités qui seront proposées. Dans la littérature sur la prise de décision, ce choix est défini comme un choix multi-attributs. Dans ce cadre, de nombreuses « règles » de décision pour expliquer le comportement des individus ont été proposées. Parmi les différentes règles recensées, la proposition de Tversky (1972) nommée « l'élimination-par-aspect » semble appropriée aux choix d'itinéraires en transports en commun. Cette règle stipule que le choix serait guidé par

les préférences des usagers, qui dans leur processus de choix éliminerait petit à petit les alternatives ne correspondant pas à leurs préférences (Tversky, 1972). Elle a ensuite été simplifiée et nommée « l'hypothèse d'importance » (Slovic, 1995 ; Tversky *et al.*, 1988). Bien que ces théories aient trouvé des validations empiriques dans le domaine de la psychologie, nous ne recensons aucune étude les ayant utilisées pour comprendre le choix d'itinéraires en transports en commun.

Dans la partie théorique nous avons également pu noter à plusieurs reprises que des différences interindividuelles et contextuelles intervenaient à plusieurs niveaux de la planification d'itinéraires. Tout d'abord, il a été remarqué que la construction du modèle mental (Johnson-Laird, 1983) était sous-tendue par des capacités cognitives telles que la mémoire de travail verbale et visuo-spatiale mais aussi par diverses capacités spatiales (Meilinger *et al.*, 2008 ; Gyselinck *et al.*, 2015). Les recherches ont montré que selon les capacités cognitives de chacun, il existe des différences dans les modèles mentaux alors créés (Gras *et al.*, 2012). De même, l'utilisation des heuristiques et le choix de critère différencieraient donc selon les individus (Cazzato, 2010 ; Hölscher *et al.*, 2011). Enfin, la littérature s'intéressant à la réalisation du problème du voyageur de commerce a mis en évidence des effets du contexte de planification car la sélection des stratégies dépend du type de problème posé : ouvert, fermé, visuel ou en navigation (Wiener & Tenbrink, 2008 ; MacGregor & Chu, 2011). La littérature en psychologie sociale et dans le domaine de la mobilité s'étant intéressée au choix de mode de transports, permet d'approfondir la compréhension des effets des facteurs individuels et contextuels sur le processus de choix et sur les critères de sélection considérés. Les recherches ont également porté leur intérêt sur l'effet des caractéristiques sociodémographiques des usagers, leurs attitudes et habitudes ainsi qu'au contexte (Klößner & Friedrichsmeier, 2011). Il a été montré dans le cadre de la « théorie du comportement planifié » (Ajzen, 1985, 1991) que les attitudes des usagers permettent de prédire l'intention d'utiliser certains modes de transports (Hunecke *et al.*, 2001) ou des itinéraires avec des correspondances (Chowdhury *et al.*, 2013). Un autre facteur individuel largement considéré dans la littérature est l'habitude. Il a alors été remarqué que les habitudes pouvaient interférer avec le processus de choix (Verplanken *et al.*, 1994). Bien qu'il apparaisse que différents facteurs individuels (*i.e.* attitudes, habitudes, caractéristiques sociodémographiques) et contextuels (*i.e.* moment de la journée, but du

trajet) entrent en compte dans le choix de mode et expliquent les différences interindividuelles, nous n'avons recensé aucune étude s'intéressant à cette question dans le cas du choix d'itinéraires en transports en commun.

4.2. Modèle du processus de la planification d'itinéraires en transports en commun

Dans la partie théorique de cette thèse, nous avons pu constater que la planification d'itinéraires implique la mise en jeu de multiples facteurs d'ordre aussi bien cognitifs, psychosociaux ou même liés au fait d'emprunter des modes de transports. A notre connaissance, aucune étude n'a à ce jour considéré la planification d'itinéraires en intégrant l'ensemble de ces facteurs. L'objectif de la présente thèse est donc d'essayer de comprendre la planification d'itinéraires en transports en commun de manière plus globale et située en tentant d'intégrer les différentes conceptions de la planification existantes actuellement. Ainsi, nous allons ici proposer un modèle du processus de planification d'itinéraires en transports en commun, que nous nommerons le modèle PLANITRAC (*i.e.* PLANification d'Itinéraires en TRANsports en Commun). Dans le souci de rendre compte du comportement des usagers dans leur vie quotidienne, nous allons considérer trois cas : (1) l'utilisateur connaît très bien le réseau de transports et planifie son itinéraire uniquement grâce à sa représentation mentale assimilée dans notre cas au modèle mental (Johnson-Laird, 1983) ; (2) l'utilisateur utilise également une carte, ou (3) l'utilisateur s'aide avec un planificateur d'itinéraires grâce à une application sur internet ou un Smartphone.

Compte tenu de la littérature que nous avons décrite, nous considérons que dans les trois cas l'utilisateur va utiliser son modèle mental pour planifier son itinéraire. Ce dernier pourra être plus ou moins riche selon la connaissance qu'a l'individu de l'environnement et du réseau. Si l'utilisateur a une bonne connaissance de ceux-ci, son modèle mental sera composé de tous les éléments nécessaires à la planification, comme les positions des stations d'origine et de destination, les itinéraires possibles et ses préférences. Si l'utilisateur ne connaît pas l'environnement et le réseau, son modèle mental sera alors uniquement composé des noms de stations et de ses préférences. Nous supposons aussi que le processus de planification sera le même dans les deux premiers cas, la seule différence étant que dans

le second cas l'utilisateur utilise, en plus de son modèle mental, une représentation externe (carte). En revanche dans le troisième cas, nous considérons que le processus est différent et que l'utilisateur doit seulement effectuer un choix parmi plusieurs alternatives. Le modèle PLANITRAC est présenté sur la Figure 17 et la Figure 18. La Figure 17 présente le cas où l'utilisateur utilise une carte, et la Figure 18 présente le cas où un planificateur est utilisé.

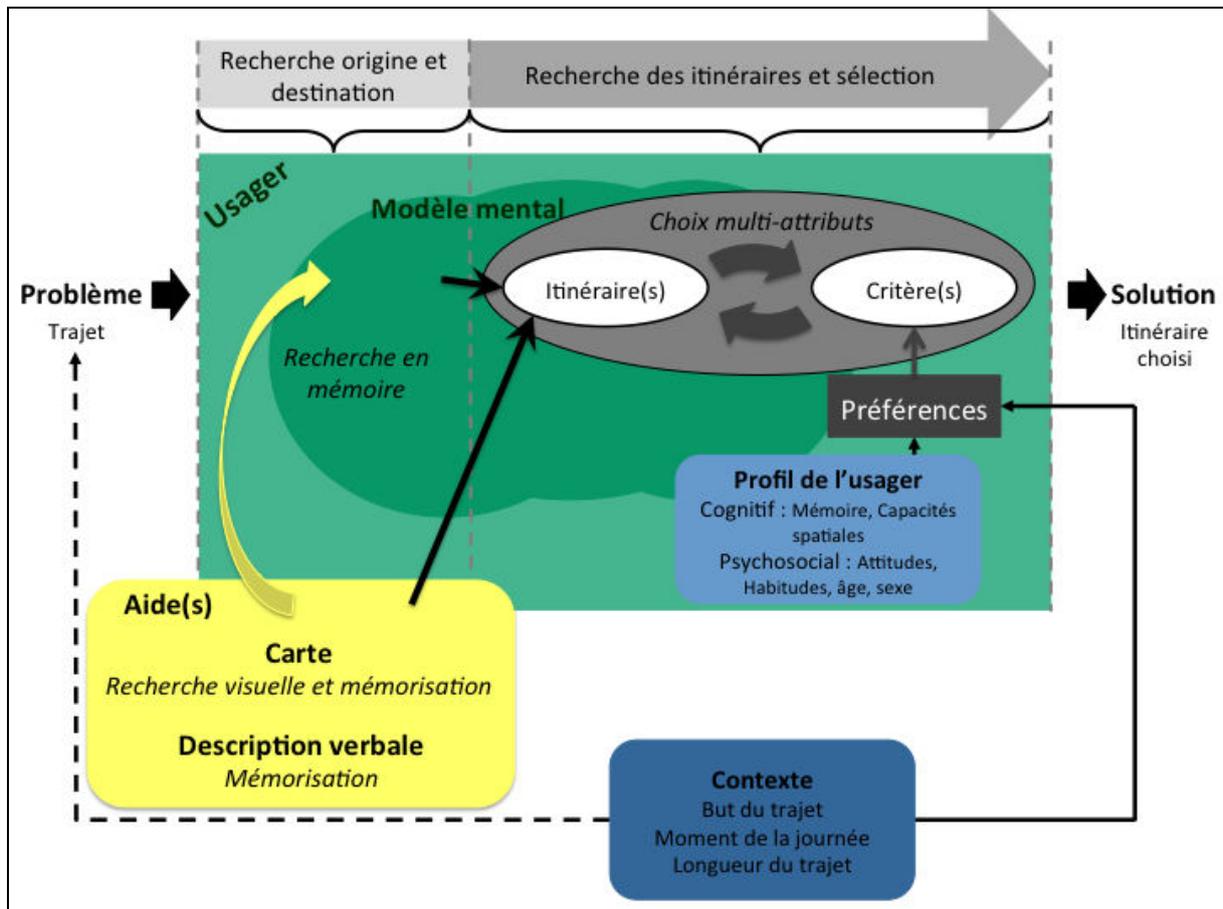


Figure 17. Schématisation de la proposition de modèle PLANITRAC, dans le cas où l'utilisateur utilise une aide de type carte.

Dans notre modèle le point de départ est le problème posé, qui est le trajet à planifier. Nous supposons que pour résoudre ce problème l'utilisateur va utiliser son modèle mental (en vert foncé sur la Figure 17 et la Figure 18) ou en créer un à partir de ses connaissances ou d'une aide comme par exemple une carte de réseau de transports (en jaune sur la Figure 17). A partir de ces représentations l'utilisateur va rechercher les positions des stations d'origine et de destination, les itinéraires possibles, et choisir un itinéraire. Le choix de l'itinéraire est guidé par les préférences des utilisateurs qui sont elles-mêmes déterminées par le profil de l'utilisateur et le contexte (en bleu sur la Figure 17). Une fois le

choix réalisé, l'utilisateur a trouvé la solution, c'est-à-dire l'itinéraire qu'il va emprunter. Dans les cas où l'utilisateur utilise un planificateur (en jaune sur la Figure 18), l'application va rechercher les positions des stations d'origine et de destination et les itinéraires possibles répondants aux critères établis par l'utilisateur, selon les préférences de ce dernier. Les informations décrites par l'application pourront également enrichir le modèle mental de l'utilisateur. L'utilisateur réalisera ensuite un choix parmi les alternatives proposées en accord avec ses préférences (en gris foncé sur la Figure 18), ce qui lui permettra d'aboutir à une solution. Nous allons dans la suite décrire plus précisément le fonctionnement de notre modèle.

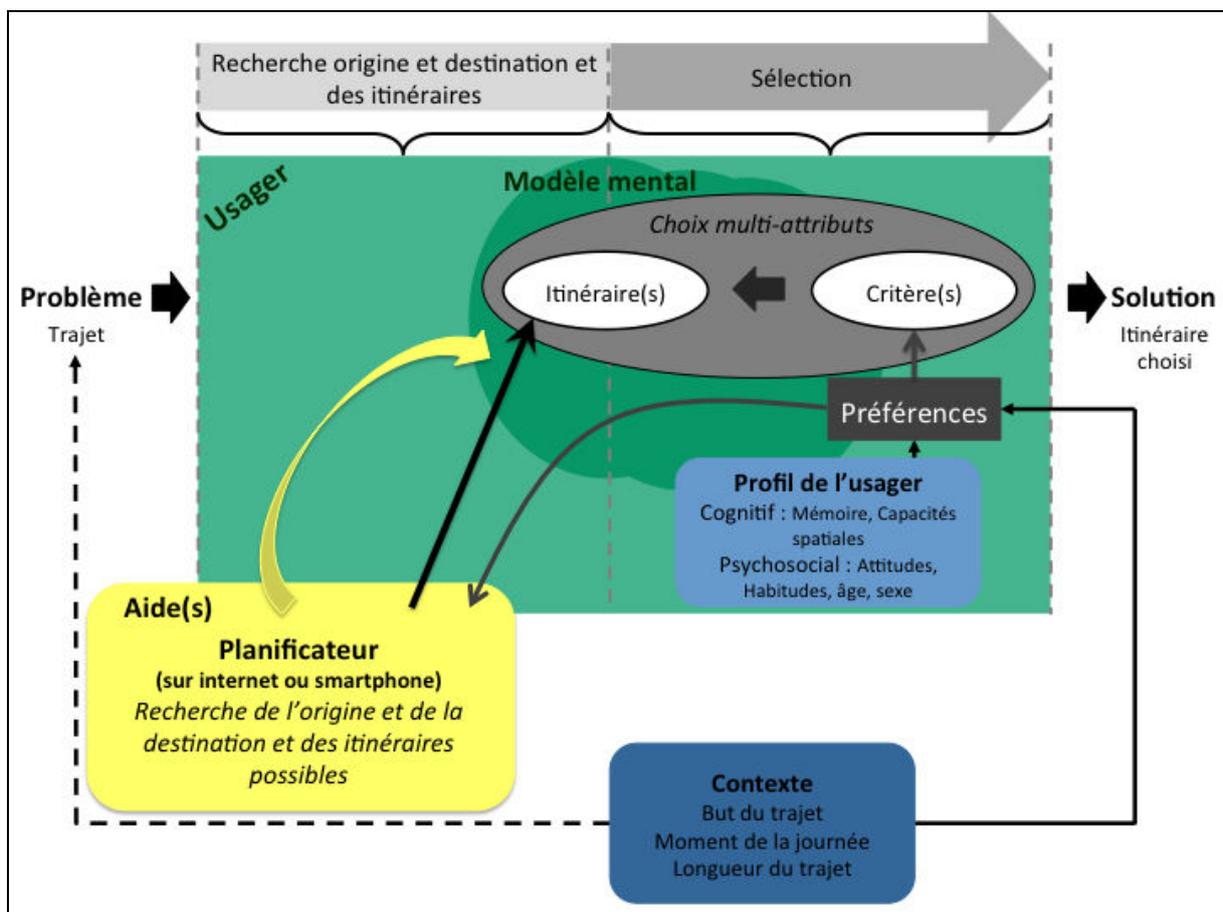


Figure 18. Schématisation de la proposition de modèle PLANITRAC, dans le cas où l'utilisateur utilise une aide de type planificateur.

Dans les modèles théoriques actuels (Brunyé *et al.*, 2010 ; Gärling *et al.*, 1986), il est considéré que la planification d'itinéraires opère en différentes étapes qui sont au minimum la recherche de l'origine et de la destination, la recherche des itinéraires possibles et la sélection d'une option. Si la planification s'effectue en effet selon ces trois étapes, cela implique que l'utilisateur va dans un premier temps rechercher toutes les possibilités pour relier

l'origine et la destination, puis seulement après avoir recensé celles-ci faire son choix. Nous pouvons aisément imaginer que la recherche d'une multitude d'alternatives nécessite un temps extrêmement long, car dans un réseau de transports tel que le réseau parisien, par exemple, les possibilités pour relier deux points sont très nombreuses, voir infinies. Il a été proposé dans la littérature empirique que pour éviter un traitement trop long et trop coûteux cognitivement, les individus mettent en place des heuristiques (pour une revue voir Wiener & Tenbrink, 2008 ou MacGregor & Chu, 2011). Cette littérature a également mis en évidence que pour planifier un itinéraire, les individus utilisent des critères de sélection (Golledge, 1995 ; Hölscher *et al.*, 2011). Toutefois, la littérature ne précise pas si ces heuristiques et/ou critères interviennent au moment de la recherche des itinéraires ou au moment de la sélection car les études qui s'intéressent aux heuristiques de planification n'ont pas distingué ces deux étapes. Il nous paraît néanmoins que les bénéfices en termes de temps et de coût de la planification apportée par les heuristiques de planification et par l'établissement de critères sont minimales si les individus les mettent en place uniquement à la phase de sélection.

Nous proposons par conséquent dans notre modèle que la planification, dans le cas où l'utilisateur utilise uniquement son modèle mental ou s'aide d'une carte, est composée à minima de deux étapes : l'étape de recherche de l'origine et de la destination, et l'étape de recherche et sélection de l'itinéraire. La première étape consiste à rechercher la position des stations d'origine et de destination. Pour ce faire, si l'utilisateur dispose d'une bonne représentation mentale de l'espace considéré, il va se remémorer ces localisations ; s'il s'aide d'une carte il va chercher visuellement ces stations sur celle-ci, mémoriser leurs positions et se créer alors une représentation mentale de l'espace considéré. Une fois que les positions sont mémorisées, il va passer à la seconde étape. Pour celle-ci, nous considérons que lorsque les individus recherchent les itinéraires possibles, ils vont déjà utiliser des heuristiques ou bien rechercher un itinéraire répondant à un critère, pour éviter une recherche trop longue et trop coûteuse. Dans le cas de l'utilisation de critère(s), l'utilisateur va évaluer au fur et à mesure les itinéraires trouvés selon ses critères (en gris clair sur la Figure 17). Ainsi, l'individu va rechercher un itinéraire puis le comparer à son critère, s'il correspond il peut le garder ou le comparer à un autre critère. Si l'itinéraire ne correspond pas, il va rechercher un autre itinéraire et soit le sélectionner, soit comparer ces deux

itinéraires sur le(s) critère(s) et ainsi de suite. Au final, le processus que nous proposons similaire à celui proposé par Tversky (1972) dans la théorie de l' « élimination-par-aspect » dans le cadre de choix multi-attributs. Notre modèle s'en écarte cependant car c'est ici à l'utilisateur de rechercher les itinéraires possibles, et à chaque fois, l'utilisateur va comparer l'itinéraire trouvé à un critère et l'éliminer s'il ne correspond pas, ou le comparer aux autres itinéraires déjà trouvés sur ce critère. Notre proposition amène donc à envisager que l'étape de recherche des itinéraires et de sélection est largement dépendante des critères de sélection des usagers.

Prenons l'exemple dans lequel l'individu veut emprunter l'itinéraire avec le moins de correspondances possibles. Dans un premier temps, l'individu va rechercher les stations d'origine et de destination, ce qui correspond à la phase de recherche. Ensuite, il va rechercher des itinéraires reliant ces deux stations. S'il trouve un itinéraire pour lequel il n'y a pas besoin de correspondances, alors il a trouvé un itinéraire qui lui convient, car il ne peut pas y avoir moins de correspondance. Il peut alors éventuellement rechercher un autre itinéraire qui répondra à ce premier critère et à un deuxième comme par exemple l'itinéraire le plus court. En revanche, s'il trouve d'abord un itinéraire avec deux correspondances, il pourra alors continuer sa recherche pour trouver un itinéraire avec moins de correspondances et comparer au fur et à mesure les itinéraires qu'il trouve à son critère et/ou aux autres itinéraires déjà trouvés. Une fois qu'un itinéraire lui convient en ce qui concerne le nombre de correspondances, parmi les possibilités recensées, alors il a fini de planifier son itinéraire. Si deux itinéraires ont le même nombre de correspondances, il peut alors appliquer un autre critère pour distinguer les deux.

Dans le cas où l'utilisateur utilise un planificateur, nous proposons que le processus diffère. En effet, ici l'aide se chargera de rechercher l'origine et la destination et les itinéraires possibles selon des critères prédéfinis par l'utilisateur d'après ses préférences. C'est seulement ensuite que l'utilisateur intervient pour choisir l'une des alternatives proposées (en gris sur la Figure 18). Ainsi la tâche de l'utilisateur sera de réaliser un choix multi-attributs. Nous proposons que l'utilisateur suivra alors la règle définie par Tversky (1972) de l' « élimination-par-aspect » et plus précisément, d'après l' « hypothèse d'importance » dérivée de cette théorie, nous supposons que l'utilisateur choisira l'itinéraire qui correspond le mieux à ses préférences.

La différence entre les deux cas réside donc dans le fait que dans ce dernier cas, les usagers ne doivent pas rechercher les itinéraires, mais uniquement réaliser le processus de sélection.

Nous avons pu voir dans la revue de la littérature qu'il existait des différences aussi bien sur le plan cognitif que psychosocial dans la planification d'itinéraires. Ainsi, les usagers ne vont pas tous attribuer la même importance aux critères de sélection (Gras *et al.*, 2012 ; Cazzato *et al.*, 2010 ; Chowdhury *et al.*, 2013). Toutefois, les modèles cognitifs actuels de la planification ne tiennent pas compte de ces différences entre les individus et de leurs effets sur le processus de planification. Dans notre modèle nous proposons que la recherche d'un itinéraire est dépendante des critères établis par les usagers. De ce fait nous envisageons que le processus de planification, notamment l'étape de recherche et de sélection, ne sera pas effectuée de la même façon selon les usagers. La littérature permet également d'établir que ces différences sont liées à des facteurs individuels aussi bien cognitifs (*e.g.*, mémoire, fonction exécutives, capacités spatiales) que psychosociaux (*e.g.*, attitude, habitudes, âge, sexe) que nous regroupons sous l'appellation « profil de l'utilisateur » (Klößner & Friedrichsmeier, 2011). Le profil de l'utilisateur détermine les préférences de celui-ci. Les préférences vont, quand à elles, influencer le choix d'un critère et donc l'étape de recherche et de sélection dans le cas où l'utilisateur utilise une carte. Nous proposons également que les préférences jouent un rôle dans le choix d'itinéraires lorsque l'utilisateur utilise un planificateur, pour spécifier la recherche que devra mener l'application et pour sélectionner une des alternatives (en gris foncé sur la Figure 18).

Enfin, la littérature dans le domaine de la psychologie sociale et de la mobilité a montré que selon les contextes, *i.e.* but du trajet, moment de la journée, jour de la semaine, les usagers ne font pas les mêmes choix de modes de transports et d'itinéraires (Dieleman *et al.*, 2002 ; Klößner & Friedrichsmeier, 2011). Dans notre modèle nous proposons que le contexte est impliqué pour l'élaboration du problème et détermine les préférences des usagers. En effet, le problème, *i.e.* le trajet entre deux lieux, est déterminé par le but et le moment de la journée. Par exemple si l'utilisateur veut se rendre au cinéma, le lieu d'arrivée sera le cinéma et donc le but du trajet. En suivant le même raisonnement que pour le profil de l'utilisateur, nous proposons que le contexte détermine les préférences de l'utilisateur au moment de la planification et donc la sélection de critère(s), et ce pour les deux cas que

nous envisageons : avec une carte et avec un planificateur (en gris foncé sur la Figure 17 et la Figure 18).

En résumé nous proposons un modèle (voir Figure 17 et Figure 18) qui opère différemment selon que l'utilisateur utilise (1) une carte ou (2) un planificateur. Dans les deux cas le modèle décrit un processus en deux étapes. Dans le cas où l'utilisateur utilise une carte ou uniquement son modèle mental, il aura d'abord à rechercher les stations d'origine et de destination puis à rechercher les itinéraires et sélectionner un itinéraire. Dans le cas où l'utilisateur utilise un planificateur, ce dernier se chargera de rechercher l'origine et la destination ainsi que les itinéraires, puis l'utilisateur aura à réaliser un choix parmi les possibilités proposées. Dans les deux cas, la deuxième étape est influencée par les critères des usagers, établi selon leur profil et le contexte.

4.3. Vue d'ensemble des études

Nous avons mené quatre études, utilisant des techniques et méthodes variées, afin d'investiguer le processus de planification d'itinéraires en transports en commun, dans les deux cas proposés dans notre modèle PLANITRAC : (1) avec une carte et (2) avec un planificateur.

La première étude (chapitre 5) a pour objectif de tester notre proposition du processus de planification à partir de carte, dans le cas spécifique où les usagers recherchent l'itinéraire avec le moins de correspondances. Dans cette étude nous nous intéressons spécifiquement aux étapes de planification et aux processus cognitifs, sans prendre en considération les facteurs individuels et contextuels. Nous avons ainsi créé un paradigme nouveau, utilisant la méthode de l'oculométrie, nous permettant d'étudier les processus visuels et cognitifs lors de la planification. Cette étude présente donc un cas particulier du modèle PLANITRAC et apporte des arguments empiriques en faveur de celui-ci.

La deuxième étude (chapitre 6) a pour objectif d'explorer les facteurs, notamment individuels et contextuels, intervenant lors d'un choix d'itinéraires en transports en commun. Nous avons interrogé des usagers des transports en commun de la région Île-de-France afin de recueillir leurs expériences et de se situer au plus près de situations réelles.

Grâce à l'utilisation de la technique des incidents critiques (Flanagan, 1954), nous avons recueilli des événements précis desquels nous avons extrait les critères, facteurs individuels et contextuels entrant en compte lors de la planification d'itinéraires en transports en commun.

La troisième étude (chapitre 7) nous a permis de tester spécifiquement l' « hypothèse d'importance » et l'effet de facteurs individuels et contextuels, dans le cas où les usagers planifient un itinéraire à l'aide d'un planificateur. Nous avons alors proposé aux usagers de faire des choix d'itinéraires parmi deux alternatives, dans différents contextes (*e.g.*, but du trajet, longueur du trajet). Nous avons également mesuré certains facteurs individuels (*e.g.*, attitude, habitude, caractéristiques sociodémographiques, capacités spatiales).

Enfin, dans la dernière étude (chapitre 8), nous avons voulu observer le processus de planification à l'aide de carte dans des situations proches de la réalité, et vérifier l'influence des facteurs individuels et contextuels dans ce cadre. Nous avons ainsi proposé aux participants de planifier des itinéraires à l'aide de cartes, puis de les réaliser en réalité virtuelle dans différents contextes (*e.g.*, but du trajet, longueur du trajet). Certains facteurs individuels étaient également mesurés (*e.g.*, attitude, habitude, caractéristiques sociodémographiques, capacités spatiales).

Partie II. Etudes

Chapitre 5. La planification d'itinéraires en transports en commun à partir de carte : un processus en deux étapes.²

5.1. Introduction

L'objectif de la présente étude est de comprendre comment les usagers planifient leurs itinéraires en transports en commun (*i.e.* TC) à l'aide d'une carte de réseaux de transports. Nous avons précédemment proposé un modèle du processus de planification d'itinéraires en transports en commun (*i.e.* modèle PLANITRAC), à partir de carte en deux étapes : (1) recherche de l'origine et de la destination et (2) sélection de l'itinéraire, que nous définissons comme une étape regroupant aussi bien la recherche des itinéraires que le choix d'une option. Ces étapes impliquent à la fois des opérations cognitives dites de haut niveau mais aussi des opérations de traitement de l'information perceptive présente sur la carte. Nous avons par conséquent mis en place un paradigme utilisant l'oculométrie pour étudier les processus visuels et cognitifs entrant en jeu dans la planification.

5.1.1. La recherche de l'origine et de la destination à partir de carte : une exploration visuelle

La première étape de la planification à partir d'une carte consiste à rechercher, parmi les différentes stations présentées sur la carte, l'origine et la destination de l'itinéraire à planifier. Cette étape nécessite d'effectuer une exploration et une recherche visuelle d'une cible (*i.e.* la/es station/s). Dans les études s'intéressant aux processus de planification, cette étape n'est pas prise en considération. En effet, dans la plupart des cas, les points de départ et d'arrivée sont déjà indiqués sur la carte, et parfois, les itinéraires possibles sont surlignés, réduisant ainsi la tâche de planification à la recherche des itinéraires ou seulement à la sélection (Bailenson *et al.*, 1998 ; 2000 ; Brunyé *et al.*, 2010). En revanche, la recherche

² Cette étude a été menée lors d'un stage de deux mois réalisé pendant mon doctorat, grâce à l'obtention d'une bourse de mobilité de l'école doctorale, au sein du « Wayfinding Lab » sous la direction du Docteur Jan. M. Wiener. Un article est en préparation pour cette étude : Grison, E., Gyselinck, V., Burkhardt, J.-M., & Wiener, J. M. (En préparation). Gaze behaviour during a route-planning task using transport networks maps. *Psychological Research*.

visuelle a largement été étudiée en psychologie dans le cadre de la théorie d'intégration des attributs (« *Feature integration theory* » en anglais ; Treisman & Gelade, 1980). Cette théorie stipule que lors d'une recherche de cible dans une scène visuelle, deux processus complémentaires sont impliqués : les processus *bottom-up*, qui dépendent de l'information donnée par la scène visuelle (*e.g.*, couleur, orientation), et les processus *top-down* qui sont eux spécifiques à la personne (*e.g.*, connaissance de la scène visuelle ou de la cible, habiletés cognitives, etc.). Pour reconnaître une cible, les auteurs ont défini quatre étapes : (1) activation des processus *bottom-up* pour identifier les éléments visuels primaires (*e.g.*, couleur, orientation) ; (2) organisation des éléments visuels primaires en un objet spécifique (*e.g.*, une chaise) ; (3) activation des processus *top-down* pour comparer l'objet visuel avec la représentation de l'item stocké en mémoire et (4) reconnaissance de l'objet.

Il a été montré dans la littérature que les processus *top-down*, comme la connaissance de la cible, peuvent rendre plus efficace la recherche visuelle car ils permettent de spécifier les caractéristiques recherchées pour qu'elles correspondent à la cible, comme par exemple spécifier la couleur verte lors de la recherche d'un stylo vert (voir par exemple Wolfe, 1994). Il a également été mis en évidence que les processus *bottom-up* pouvaient faciliter ou non la recherche visuelle. Par exemple Huestegge et Raddach (2012) ont remarqué que lorsque la cible était bien positionnée ou saillante, elle était plus rapidement trouvée. Les influences de ces deux processus sur la réalisation de la tâche de recherche visuelle ont été retrouvées à partir de multiples supports visuels (voir pour exemple Henderson, Weeks & Hollingworth, 1999 ; Hershler & Hochstein, 2009 ; Hollingworth, 2012 ; Neider & Zelinsky, 2006 ; Sobel, Gerrie, Poole & Kane, 2007).

En ce qui concerne l'exploration visuelle de carte, Beck, Trenchard, van Lamsweerde, Goldstein et Lohrenz (2012) ont également mis en évidence des effets *top-down* et *bottom-up*. Ils ont remarqué que la recherche visuelle d'une cible sur une carte encombrée (*i.e.* réseau dense, beaucoup d'informations visuelles et de couleurs) prenait plus de temps et était moins bien réussie que pour une carte moins encombrée. Ils ont également noté que les performances des personnes familières (*i.e.* pilotes d'avion) avec la cible (*i.e.* indicateur d'altitude) étaient moins affectées par la qualité de la carte.

Dans les dernières décennies, de nombreux auteurs ont utilisé l'oculométrie comme marqueur de l'activité visuelle pour spécifier les effets des processus *top-down*. Il s'agit d'une technique utilisée en psychologie pour analyser des traces de l'activité mentale et visuelle, afin de décrire les représentations et processus qui guident les comportements (Baccino, 2002). L'analyse des mouvements oculaires se fait majoritairement à l'aide de l'enregistrement des fixations (durée, nombre) et des saccades (nombre, degré visuel). Dans les études utilisant cette technique, il a été remarqué des différences dans leurs mouvements oculaires entre les participants familiers avec une cible (par exemple une bouteille de jus d'orange utilisée régulièrement ; Huestegge & Raddach, 2012) et ceux non familiers. En général, les participants familiers font des saccades plus larges en termes de degrés visuels (Huestegge & Raddach, 2012 ; Hershler & Hochstein, 2009 ; Hollingworth, 2012). Dans leur étude s'intéressant à l'exploration visuelle de carte, Beck *et al.* (2012) ont également mesuré les mouvements oculaires. Ils ont alors remarqué que les participants familiers avec la cible (*i.e.* pilotes d'avion) effectuaient des fixations plus longues que les autres participants pendant l'exploration visuelle de la carte.

En plus des influences des processus *top-down* et *bottom-up* sur la recherche visuelle, l'oculométrie a permis d'identifier un biais dans l'exploration visuelle de cartes. Par exemple, Brunyé et Taylor (2009) ont proposé à des participants d'apprendre une carte de ville en suivant une consigne qui leur était donnée : apprendre avec une perspective survol (*i.e.* point de vue allocentrique, vue du ciel), route (point de vue égocentrique, comme en navigation dans l'environnement) ou aucune. Pendant l'apprentissage de la carte, les mouvements oculaires étaient enregistrés. Les auteurs décrivent un biais de l'allocation du regard vers le centre au début de l'exploration visuelle lors de l'apprentissage de carte. Dans un second temps, l'exploration visuelle se diversifie et va vers la périphérie. Les résultats montrent également que les participants ne regardent pas au même endroit sur la carte en fonction de leur consigne d'apprentissage, laissant penser que les objectifs guident l'activité visuelle.

L'ensemble des résultats présentés suggèrent que pendant la première phase de planification de notre modèle PLANITRAC, *i.e.* l'exploration d'une carte pour la recherche des stations d'origine et destination, l'allocation du regard serait influencée par les caractéristiques de la carte (*i.e.* processus *bottom-up*, par exemple la densité de

l'information) et les caractéristiques des sujets (*i.e.* processus *top-down*, par exemple la familiarité avec la cible ou les consignes). De plus, un biais de l'allocation du regard vers le centre apparaîtrait au début de l'exploration.

5.1.2. La sélection de l'itinéraire à partir de carte

Dans notre modèle PLANITRAC, nous considérons que l'étape de sélection de l'itinéraire implique de rechercher les itinéraires possibles et de choisir une des possibilités. Nous avons vu, dans le chapitre deux de la thèse, que les études s'étant intéressées à la planification à partir de cartes routières ont montré que, durant cette étape, les participants mettaient en place des stratégies, notamment pour choisir une des possibilités présentées sur les cartes (Christenfeld, 1995 ; Bailenson *et al.*, 1998, 2000 ; Brunyé *et al.*, 2010). Toutefois, ces études ne permettent pas de comprendre le processus de recherche des différents itinéraires possibles.

En revanche, dans le domaine de la résolution du problème du voyageur de commerce, l'étude menée par Cazzato *et al.* (2010) apporte des éléments sur le processus de recherche et de sélection de l'itinéraire, notamment grâce à l'interprétation des mouvements oculaires. Les auteurs ont utilisé une version visuelle et ouverte du problème du voyageur de commerce et ont enregistré les mouvements oculaires pendant la réalisation de la tâche. Les résultats mettent en évidence que lorsque les participants combinent différentes stratégies pour résoudre le problème, ils font plus de fixations que lorsqu'ils utilisent une seule stratégie. Une interprétation que nous pouvons faire de ce résultat est que, dans le cas de l'utilisation d'une seule stratégie, l'exploration du support visuel est plus large que dans le cas où les participants adoptent à chaque fois une nouvelle stratégie pour rejoindre le point suivant. Dans ce cas, les participants décomposent le problème, ce qui les amène à se focaliser successivement sur une petite partie du support visuel.

Ces études sur la sélection de l'itinéraire ont été menées sur des cartes routières ou à l'aide du problème du voyageur de commerce qui sont, comme nous l'avons déjà évoqué, des supports visuels très différents des cartes de réseaux de transports en commun. En effet, ces cartes ne représentent pas des rues et des bâtiments, mais sont constituées d'un réseau, s'apparentant à un graphe (Guo, 2011) présentant trois types d'informations : (1) des

segments représentant les différentes lignes, (2) des points représentant les stations (avec le nom de la station à côté) et (3) des points de connexion représentant les lieux de correspondances possibles. Parmi les différentes sources de difficultés liées à ces cartes pour planifier un itinéraire (*e.g.*, distorsions topographiques, représentation des correspondances, manque d'informations), nous pouvons noter celle liée aux correspondances. Guo (2011) a mis en évidence que la représentation des correspondances sur les cartes pouvait amener les usagers à faire des inférences erronées quant aux caractéristiques réelles de la correspondance (*e.g.*, temps de marche, longueur, complexité). Hochmair (2009) a lui remarqué que le nombre de correspondances de l'itinéraire à planifier influençait la qualité de l'itinéraire trouvé (*i.e.* l'itinéraire le plus court dans cette étude). Une interprétation possible de ce résultat est que plus il y a de correspondances, plus l'utilisateur a d'opérations à effectuer pour trouver un itinéraire, ce qui complexifie alors la tâche de trouver l'itinéraire le plus court. Toutefois, à notre connaissance, aucune étude à ce jour ne permet de valider cette hypothèse.

5.2. Objectifs de l'étude

Alors que la planification d'itinéraires à partir des cartes de réseaux de TC est une tâche complexe réalisée fréquemment dans les grandes villes, notre compréhension des processus cognitifs et visuels sous-jacents reste limitée. De plus, à notre connaissance, il n'existe pas de modèle explicatif du processus de planification d'itinéraires avec des cartes de réseaux de transports. L'objectif de cette étude est donc d'explorer comment les usagers font pour planifier leurs itinéraires en TC à partir de carte, et ce notamment à l'aide de l'analyse des mouvements oculaires. Ainsi, nous avons demandé aux participants de trouver l'itinéraire avec le moins de correspondances entre deux stations. Compte tenu de la structure des cartes de réseaux de transports, incluant des segments de différentes couleurs pour indiquer les lignes et des points de connexions entre ces segments représentant les correspondances (Guo, 2011), et des étapes proposées dans notre modèle PLANITRAC, nous proposons que la planification à partir de carte de réseaux de transports suive le processus présenté sur la Figure 19.

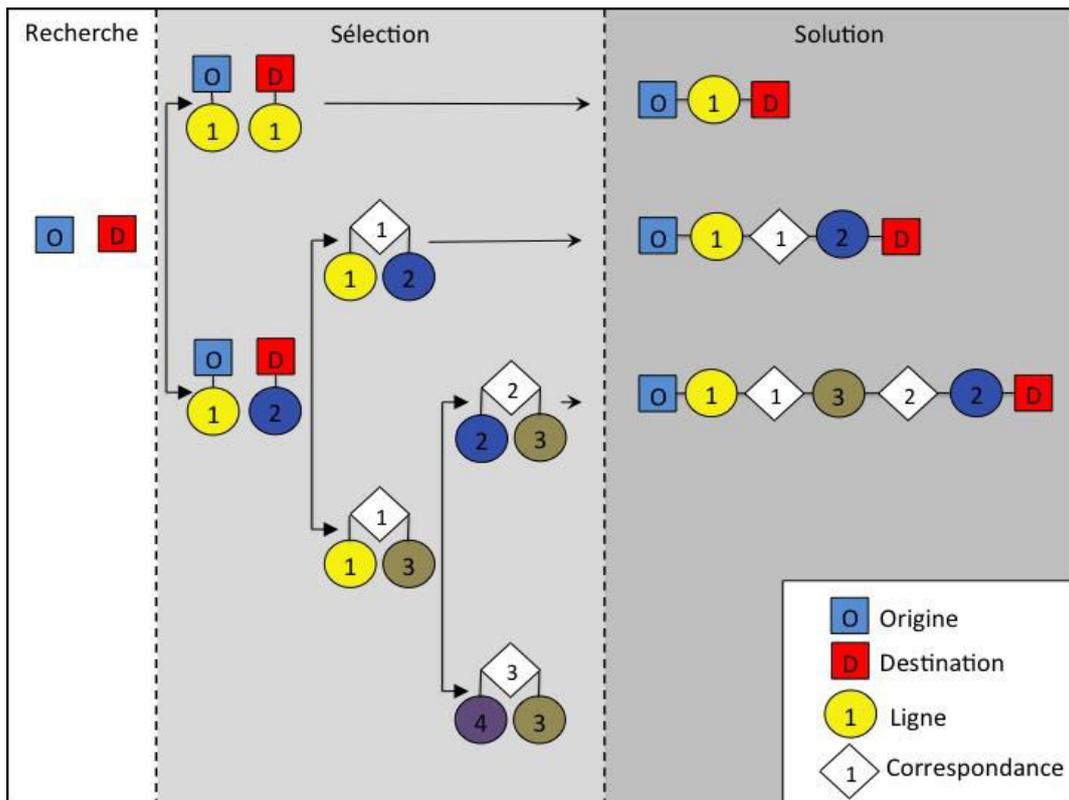


Figure 19. Proposition de fonctionnement du processus de planification d'itinéraires en transports en commun à partir de carte, dans le cas où le critère est de trouver l'itinéraire avec le moins de correspondance.

Cette proposition décrit que, dans un premier temps, les usagers vont rechercher les stations d'origine (*i.e.* O) et de destination (*i.e.* D), ce qui correspond à la phase de recherche. Durant cette phase, un biais vers le centre de la carte devrait être observé (Brunyé & Taylor, 2009). Ensuite, dans la phase de sélection, les participants vont identifier les lignes passant par ces stations. Si une même ligne (*i.e.* L1) passe par les deux stations, alors la tâche s'arrête car ils ont trouvé un itinéraire sans correspondance (*i.e.* O-L1-D). Si les deux stations n'ont aucune ligne en commun, alors ils vont devoir rechercher une station de correspondance (*i.e.* C1) au niveau de laquelle se croisent une ligne passant par la station d'origine (*i.e.* L1) et une ligne passant par la station de destination (*i.e.* L2). Si c'est le cas, alors la tâche se termine et le participant a trouvé un itinéraire avec une correspondance (*i.e.* O-L1-C1-L2-D). Si ce n'est toujours pas le cas, alors le participant devra trouver une ligne (*i.e.* L1), à partir de O permettant d'aller à une correspondance (*i.e.* C1) où se trouve une autre ligne (*i.e.* L2), permettant de rejoindre une station de correspondance (*i.e.* C2), ou se trouve aussi une ligne (*i.e.* L3) permettant de rejoindre la destination. Si c'est le cas, alors le

participant a trouvé un itinéraire avec deux correspondances (*i.e.* O-L1-C1-L2-C2-L3-D). Le processus continue ainsi de suite avec l'augmentation du nombre de correspondances nécessaires pour relier des stations O et D. Si la planification d'itinéraires en TC suit ce processus, nous pouvons donc supposer que plus les itinéraires à planifier ont de correspondances, plus cette tâche va nécessiter d'opérations pour identifier les différentes lignes et stations de correspondances permettant de relier les stations d'origine et de destination.

Afin de tester ces hypothèses, nous avons demandé aux participants de planifier des itinéraires plus ou moins complexes (avec aucune, une ou deux correspondances) à partir de cartes de réseaux de transports fictives. Nous avons enregistré leurs mouvements oculaires pour étudier les étapes et mécanismes impliqués dans la planification. Plus spécifiquement, nous avons considéré différentes mesures et indices (*e.g.*, temps de réalisation, durée des fixations, amplitudes des saccades, temps moyen passé à regarder les stations selon leur localisation ou leur nombre de correspondances), pour les différentes phases du processus de planification : (1) trouver l'origine et la destination, (2) identifier, comparer les alternatives et sélectionner l'itinéraire qui convient le mieux.

5.3. Méthode

5.3.1. Participants

Quatorze participants (dont 8 femmes) âgés de 19 à 40 ans (moyenne= 25,4, écart-type= 5,72) ont pris part à l'étude. Ils étaient étudiants à l'université de Bournemouth (Angleterre) et payés 6 livres Sterling.

5.3.2. Matériel

5.3.2.a. Cartes

Treize cartes fictives (voir Figure 20 pour un exemple) similaires à des cartes de réseaux de transports en commun (bus ou métro) ont été créées (dont une pour l'entraînement). Les cartes ont toutes une dimension de 1020 x 765 pixels. Afin de contrôler

leur complexité visuelle, les cartes sont composées de 17 stations (rectangles blancs avec le nom de la station écrit en noir en calibri 18 points) et de 22 segments entre les stations. Les différentes lignes ont chacune une couleur et une forme distincte (e.g., ligne pleine, en pointillée ou double). Le nombre de lignes par carte varie de cinq (pour 10 cartes) à six (3 cartes) et le nombre de segments par ligne varie de trois à six.

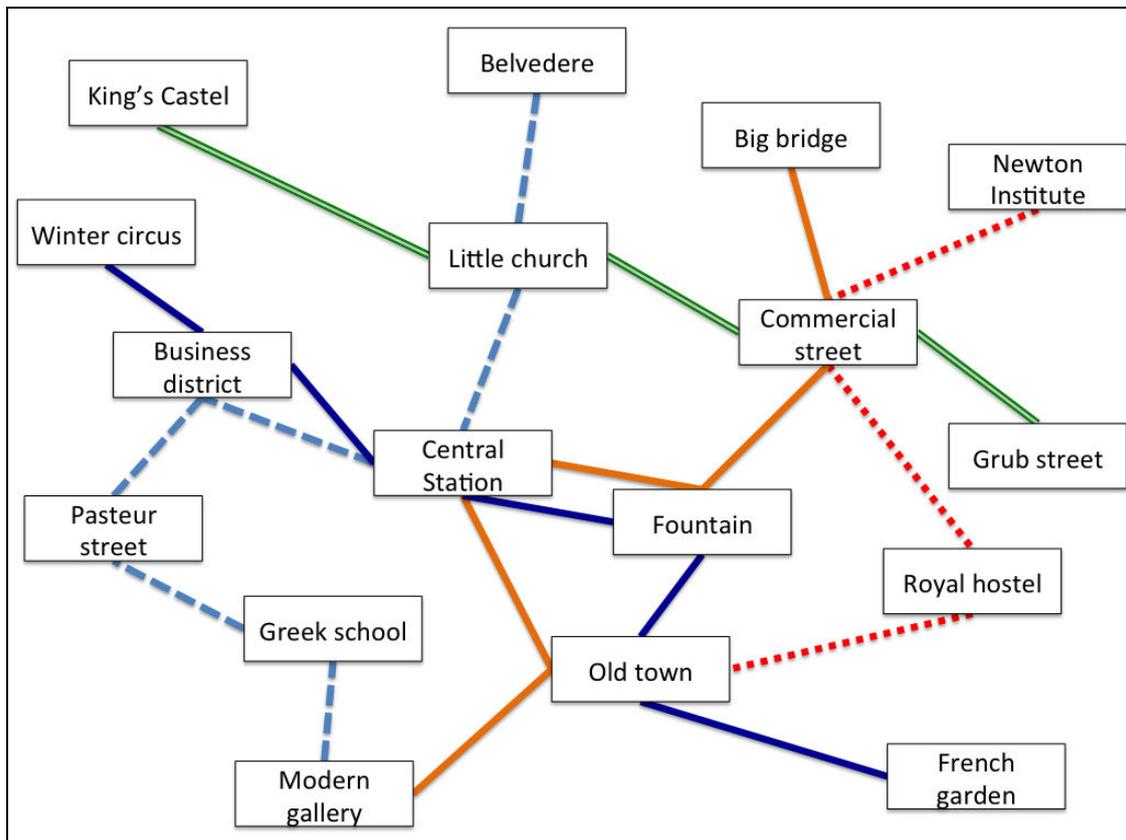


Figure 20. Exemple d'une carte fictive de réseaux de transports.

Pour chaque carte, le nombre de stations périphériques (*i.e.* il n'y a pas d'autres stations à gauche ou à droite ou en-dessous ou au-dessus) varie de neuf à onze (58,8% des stations toutes cartes confondues) et le nombre de stations centrales (*i.e.* il y a au moins une autre station à gauche ou à droite ou en-dessous ou au-dessus) varie de six à huit (41,2% des stations toutes cartes confondues). De même, le nombre de stations sans correspondance (*i.e.* une seule ligne à la station) varie de sept à dix ; avec une correspondance (*i.e.* deux lignes) varie de trois à neuf ; avec deux correspondances (*i.e.* trois lignes à la station) varie de un à quatre, et enfin une seule station sur une seule carte à trois correspondances (*i.e.* quatre lignes à la station). La position des stations (*i.e.* centrale ou périphérique) varie

également selon le nombre de correspondance aux stations. Le nombre de stations centrales et périphériques (minimum et maximum) en fonction du nombre de correspondances par carte sont présentés dans le Tableau 2.

Tableau 2. Nombre de stations centrales et périphérique (minimum = Min et maximum = Max) en fonction du nombre de correspondances des stations par carte.

	Correspondances							
	Aucune		Une		Deux		Trois	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Centrales	0	3	2	5	0	4	0	1
Périphériques	4	8	1	4	0	1	0	0

5.3.2.b. Itinéraires

Pour chaque carte, cinq itinéraires à trouver ont été définis en utilisant 5 stations d'origine et 5 stations de destination différentes, permettant ainsi de disposer d'un total de 60 itinéraires différents à planifier. Parmi ces itinéraires à planifier, 20 ne nécessitent pas de correspondance, 20 nécessitent une correspondance et 20 nécessitent deux correspondances. Nous avons sélectionné les itinéraires de manière à ce qu'il existe au moins une autre solution avec plus de correspondances que la solution avec le minimum de correspondances. La complexité des itinéraires à planifier est manipulée par le nombre de correspondances requises au minimum : 0, 1 ou 2.

5.3.2.c. Equipement

Les cartes étaient présentées sur un écran d'ordinateur de 20 pouces avec une résolution de 1024 x 768 pixels et un taux de rafraîchissement de 120 Hz. Les participants étaient assis à 60 cm en face de l'écran, ainsi l'angle visuel des stimuli était de 37° (horizontalement) x 28° (verticalement). Les mouvements oculaires étaient enregistrés à l'aide du logiciel SR Research Ltd. L'oculomètre Eyelink 1000 échantillonnait les positions de la pupille à 500 Hz. Les mouvements de la tête étaient contraints par un repose-menton. Les mouvements oculaires étaient calibrés à l'aide d'une grille composée de 9 points et les fixations définies en utilisant un algorithme établi par le logiciel SR Research.

5.3.3. Procédure

Les participants étaient testés individuellement dans une salle calme. La durée totale de l'expérience était d'environ 40 minutes. Les participants signaient dans un premier temps le formulaire de consentement éclairé, puis les consignes étaient données. Il était alors dit aux participants qu'ils auraient à effectuer différentes tâches de planification d'itinéraires à partir d'une carte et qu'à chaque fois, ils devraient trouver l'itinéraire avec le moins de correspondances possible. Les participants étaient également informés qu'ils effectueraient cinq essais à la suite (donc cinq itinéraires différents) pour chaque carte.

5.3.3.a. Phase d'entraînement

La phase d'entraînement était composée d'une seule carte et de cinq essais. Chaque essai commençait par la présentation des noms de la station de départ et de la station d'arrivée. Il était alors demandé aux participants de mémoriser ces deux stations. Une fois qu'ils étaient prêts, ils appuyaient sur un bouton du boîtier de réponse pour effectuer la tâche. Après une correction des dérivations visuelles, à l'aide d'un point de fixation au centre de l'écran, la carte s'affichait, et l'enregistrement des mouvements oculaires commençait. Les participants avaient alors à chercher l'itinéraire avec le moins de correspondances possible entre les deux stations et disposaient du temps qu'ils souhaitaient. Une fois qu'ils pensaient avoir trouvé la solution, ils indiquaient, à l'aide du boîtier de réponse, le nombre minimum de correspondances possible pour joindre les deux stations : « 0 » (pour aucune correspondance), « 1 » (une correspondance), « 2 » (deux correspondances) ou « 3 » (trois correspondances). La carte disparaissait alors de l'écran. Ensuite, un feedback indiquant aux participants s'ils avaient trouvé la bonne réponse était donné, ce qui permettait également de clarifier les consignes en cas de besoin.

5.3.3.b. Phase test

Quand les participants avaient compris la procédure et complété les 5 essais d'entraînement, la phase test commençait. La procédure pour chaque essai était la même que dans la phase d'entraînement, à l'exception du fait qu'aucun feedback n'était donné aux participants quant au caractère correct ou non de leur réponse (voir Figure 21 pour un résumé de la procédure d'un essai). Les participants voyaient 12 cartes dans un ordre

aléatoire et effectuaient sur chaque carte 5 essais pour un total de 60 essais. La complexité de l'itinéraire à planifier (0, 1 ou 2 correspondances) était contrebalancée sur l'ensemble des essais³.

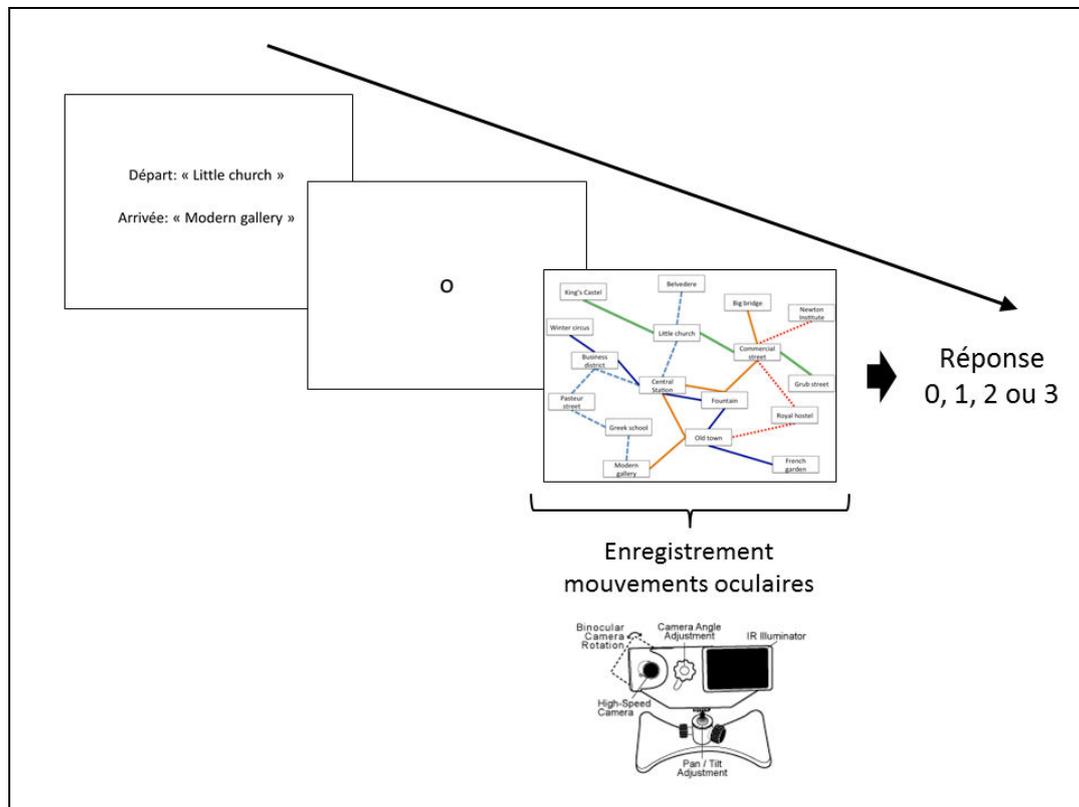


Figure 21. Schéma de la procédure d'un essai.

5.3.4. Analyse des données

5.3.4.a. Etapes de planification

Nous avons divisé les essais en deux étapes correspondant au modèle PLANITRAC que nous avons proposé : une étape de recherche de l'origine et de la destination et une étape de sélection de l'itinéraire.

L'étape de recherche de l'origine et la destination nommée « Recherche » est la partie initiale de l'essai pendant laquelle les participants cherchent la station d'origine et de destination. Cette étape de recherche a été définie comme la partie de l'essai depuis

³ Etant donné qu'il y a trois conditions de complexité (0, 1, ou 2 correspondances) mais qu'il n'y a que 5 essais par carte, le nombre d'itinéraires avec 0, 1 ou 2 correspondances n'est pas le même selon les cartes.

l'apparition de la carte à l'écran jusqu'à ce que les participants aient regardé pour la première fois la station d'origine et de destination. L'étape de sélection de l'itinéraire nommée « Sélection » est le reste de l'essai après avoir complété l'étape de recherche. La Figure 22 présente comment a été réalisée la segmentation en deux étapes des essais et les différentes mesures et indicateurs pris en compte.

5.3.4.b. Performances

Les réponses des participants (0, 1, 2 ou 3) et les temps de réponses étaient enregistrés pour chaque essai. Nous avons également enregistré la durée de chacune des étapes précédemment définies.

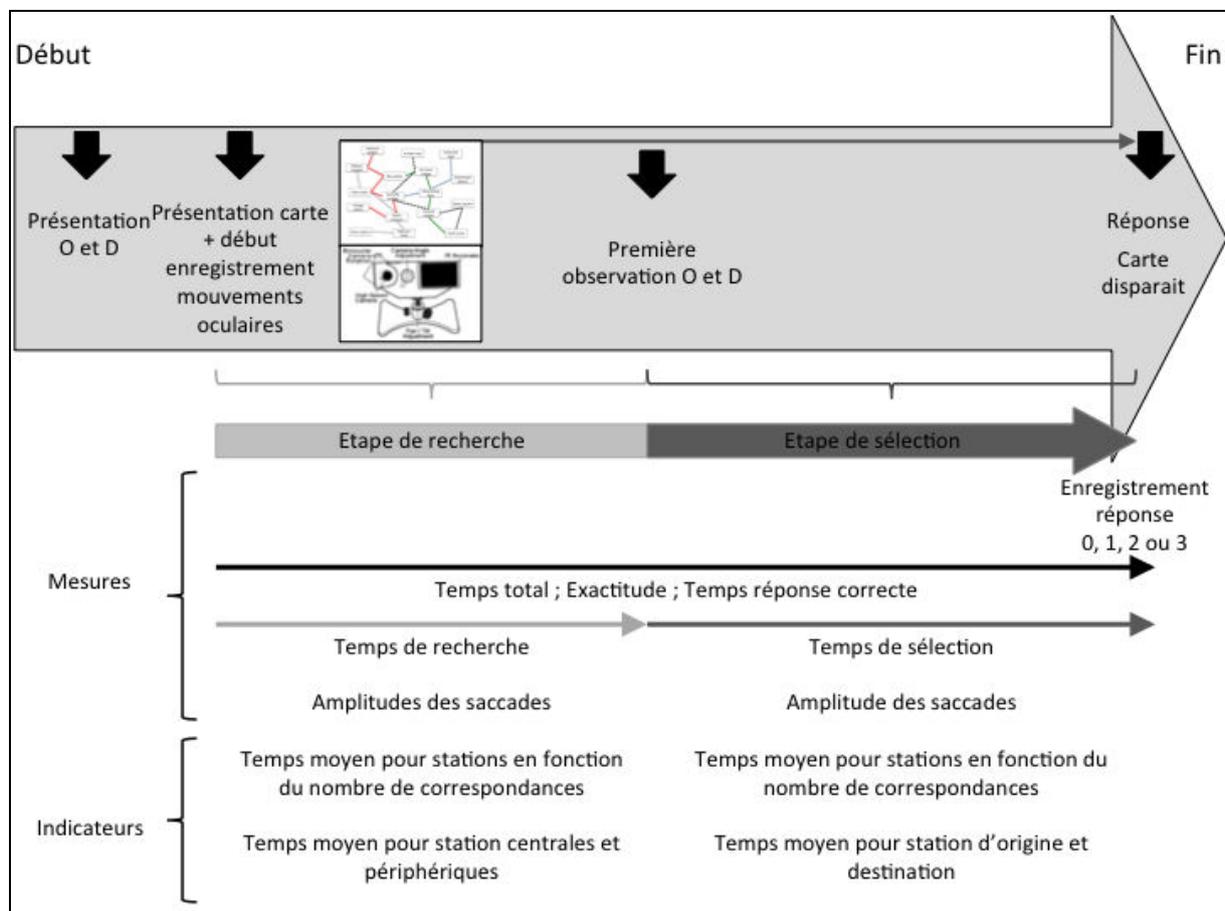


Figure 22. Schéma illustrant la segmentation d'un essai en deux étapes à partir de l'analyse des mouvements oculaires et les différentes mesures enregistrées et indicateurs calculés.

5.3.4.c. Mouvements oculaires

Zones d'intérêts

Pour l'analyse des mouvements oculaires, nous avons défini, pour chaque carte, 17 zones d'intérêt correspondant aux 17 stations. Ces zones d'intérêt sont des rectangles tracés autour des stations plus larges de 3 millimètres sur l'écran que ceux représentant les stations. De ce fait, les zones d'intérêts comprennent l'ensemble de la station et les lignes passant par cette station.

Mesures enregistrées

Nous avons enregistré le nombre de fixations, le temps des fixations, la position des fixations (*i.e.* dans quelle zone d'intérêt elles étaient), et l'amplitude des saccades en degré visuel. Ces différentes mesures ont été réalisées pour les deux étapes définies précédemment.

Indicateurs

A l'aide des différentes mesures que nous avons enregistrées, nous avons calculé divers indicateurs du comportement oculaire comme suit :

Temps moyen d'observation des stations centrales pendant la phase de recherche : cette valeur est décrite comme le temps passé par les participants à regarder les stations centrales comparé au temps qu'ils ont passé à regarder toutes les stations. Cette valeur décrit la préférence pour les participants à regarder ou non les stations centrales pendant la phase de recherche de l'origine-destination. Pour chaque carte et pour chaque essai, nous avons dans un premier temps additionné le temps des fixations réalisées dans les stations centrales. Comme le nombre de stations centrales dépend des cartes, nous avons ensuite divisé cette valeur par le nombre de stations centrales afin de la normaliser. Ainsi nous obtenons une première valeur (valeur 1 = temps passé à regarder stations centrales / nombre de stations centrales). Ensuite, nous avons calculé le temps total passé par les participants à regarder les stations centrales et périphériques et nous avons divisé cette valeur par le nombre total de stations par carte (17), ce qui nous donne la valeur 2 décrivant le temps passé à regarder une station (indépendamment du fait qu'elle soit centrale ou périphérique). Nous avons ensuite

divisé la valeur 1 par la valeur 2 pour obtenir le ratio de temps passé à regarder les stations centrales. Le calcul est présenté dans la Formule 1 ci-dessous.

Formule 1. Calcul du temps moyen passé à observer les stations centrales.

$$\frac{\text{Temps total passé à regarder les stations centrales} / \text{Nombre de stations centrales}}{\text{Temps total passé à regarder toutes les stations} / \text{Nombre total de stations sur la carte}}$$

Si le résultat vaut 1, cela veut dire que le temps passé à regarder les stations centrales est le même que le temps moyen passé à regarder les stations en général. Si le résultat est supérieur à 1 cela veut dire que les participants passent plus de temps à regarder les stations centrales, si le résultat est inférieur à 1, cela veut dire qu'ils passent moins de temps à regarder les stations centrales que les stations périphériques.

Nous avons utilisé la même procédure de calcul pour obtenir les variables suivantes :

- ***Temps moyen d'observation des stations périphériques pendant la phase de recherche ;***
- ***Temps moyen d'observation des stations avec aucune, une ou deux correspondances pendant la phase de sélection ;***
- ***Temps moyen d'observation des stations d'origine et de destination durant la phase de sélection.***

5.4. Hypothèses

L'objectif principal de cette étude est de mieux comprendre comment les usagers planifient leur itinéraire à partir de cartes de réseaux de transports. Nous avons utilisé les données des mouvements oculaires pour séparer deux étapes dans la planification : la recherche et la sélection. D'après la proposition de modèle PLANITRAC que nous avons faite, nous émettons les hypothèses suivantes.

Du fait de la différence de traitement engagé dans les deux étapes, nous supposons que la durée des deux étapes différera. L'étape de recherche devrait être plus courte que l'étape de sélection, car elle nécessite seulement que les participants aient observé les

stations d'origine et de destination, alors que dans la seconde étape, les participants doivent rechercher différents itinéraires et les comparer.

Nous devrions remarquer un effet différent de la complexité de l'itinéraire à planifier selon l'étape. En effet, dans l'étape de recherche, il s'agit uniquement de réaliser une exploration visuelle sans tenir compte de l'itinéraire à planifier. En revanche, dans l'étape de sélection, il s'agit de rechercher un itinéraire, et comme nous avons proposé que plus l'itinéraire ait de correspondances, plus cette tâche demanderait de traitements, alors le temps devrait être dépendant de la complexité et augmenter avec le nombre de correspondances. De plus, dans notre tâche, nous demandons aux participants de trouver l'itinéraire qui contient le moins de correspondance, et donc de comparer des itinéraires selon leur nombre de correspondances. Ainsi, si le participant trouve directement un itinéraire sans correspondance, il peut répondre aussitôt, en revanche, s'il trouve un itinéraire avec une ou deux correspondances, le participant continuera sa recherche et les comparaisons pour essayer de trouver un itinéraire avec moins de correspondance.

L'amplitude des saccades durant la phase de recherche devrait être plus grande que durant la phase sélection et diminuer selon la complexité pour la phase sélection. Ceci serait dû au fait que dans la phase recherche, un balayage de la carte suffit pour identifier les stations d'origine et de destination, alors que pendant la phase sélection, une analyse visuelle plus fine est nécessaire pour chercher les alternatives et identifier les correspondances, et ce d'autant plus avec la complexité, car la tâche est alors décomposée en plusieurs sous tâches.

Pour la phase recherche, nous devrions remarquer que le temps passé à regarder les stations centrales est plus important que le temps passé à regarder les stations périphériques, compte tenu de l'existence du biais vers le centre (Brunyé & Taylor, 2009) au début de l'exploration visuelle d'une carte.

Pendant la phase de sélection, le temps moyen passé à observer les stations d'origine et de destination devrait diminuer avec l'augmentation de la difficulté, car une exploration plus large est nécessaire pour trouver l'itinéraire quand il y a différentes correspondances et n'est pas nécessaire quand il n'y a pas de transfert. En effet, dans ce dernier cas, il est suffisant de regarder les stations d'origine et de destination et les lignes passant par ces

stations pour réaliser la tâche. Quand il y a des correspondances, en revanche, le participant doit élargir sa recherche pour trouver des stations avec des correspondances.

Enfin, le temps moyen passé à observer les stations avec des correspondances (*i.e.* stations avec au moins deux lignes) devrait être plus long dans la phase sélection que dans la phase recherche. Le temps moyen devrait aussi augmenter avec la complexité, car plus il y a de correspondances à l'itinéraire, plus les participants auront besoin de rechercher des points de connexions avec plus de correspondances permettant ainsi de maximiser les chances de relier l'origine à la destination.

5.5. Résultats

Etant donné que les participants devaient effectuer 5 essais sur la même carte pouvant entraîner des effets d'apprentissages de la carte et compte tenu de la littérature attestant d'effet *top-down* sur la recherche visuelle (Huestegge & Raddach, 2012 ; Hershler & Hochstein, 2009 ; Hollingworth, 2012), nous avons pris ce facteur en compte dans les analyses.

5.5.1. Performances

5.5.1.a. Taux de bonnes réponses

Une ANOVA 3 x 5 avec les facteurs intra-individuels Complexité (*i.e.* nombre de correspondance à l'itinéraire ; 0, 1, 2) et Répétitions (1, 2, 3, 4, 5) réalisée sur le taux de réponses correctes montre un effet significatif du facteur Complexité, $F(2, 26) = 9,30$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,42$, et du facteur Répétition, $F(4, 52) = 2,72$, $p = 0,039$, $\eta_p^2 = 0,17$. L'interaction entre les deux facteurs est également significative, $F(8,104) = 4,18$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,24$.

Les résultats montrent que dans 79,9% des cas, les participants ont trouvé l'itinéraire avec le moins de correspondances possibles. De manière surprenante, les performances des participants sont moins bonnes dans la condition sans correspondance (71,1%) que dans la condition avec une correspondance (83,9%, test post hoc de Bonferroni, $p = 0,003$) ou deux

correspondances (84,6% ; test post hoc de Bonferroni, $p = 0,002$, voir Figure 23). On ne note pas de différence entre les conditions une et deux correspondances.

Le test post hoc de Bonferroni pour le facteur Répétition montre un effet significatif seulement entre le premier et le deuxième essai ($p = 0,025$) avec la même carte. Le contraste linéaire pour ce facteur est lui non significatif ($F < 1$).

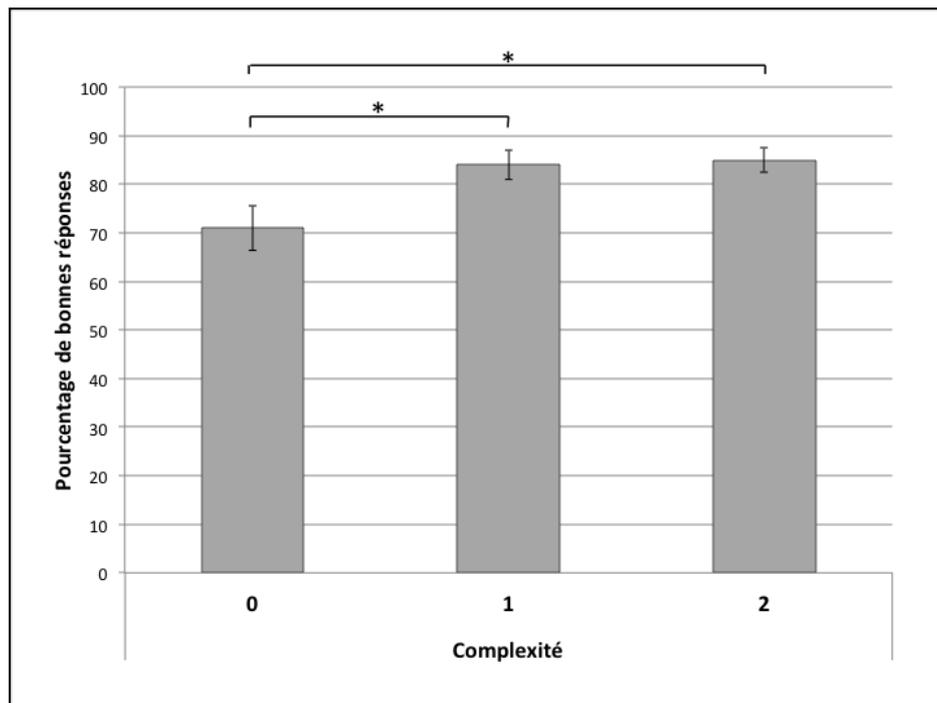


Figure 23. Pourcentage de bonnes réponses selon le nombre de correspondances aux itinéraires (correspondance = 0, $M = 71,07\%$, $ES = 4,06^4$; correspondance = 1, $M = 83,93\%$, $ES = 3,02$; correspondance = 2, $M = 84,64\%$, $ES = 2,48$). ns = non significatif, * = $p < 0,05$, ** = $p < 0,005$, * = $p < 0,001$.**

L'analyse post hoc (Bonferroni) effectuée sur l'interaction entre les facteurs Complexité et Répétition montre que la différence entre les conditions aucune correspondance et une correspondance est significative uniquement pour la première ($p = 0,035$) et la seconde répétition ($p = 0,014$). L'analyse ne révèle aucune autre modulation du facteur Répétition sur les effets du nombre de correspondances.

Etant donné que l'objectif de cette étude est de mieux comprendre le processus de planification, dans la suite des analyses, seuls les essais ayant donné lieu à des réponses correctes sont traités.

⁴ M = Moyenne; ES = Erreur Standard (Erreur Type) et ET = Ecart-Type

5.5.1.b. Temps de recherche et de sélection

Comme nous l'avons décrit précédemment, nous avons utilisé les données des mouvements oculaires pour identifier deux étapes : recherche et sélection.

Une ANOVA 2 x 3 x 5 avec les facteurs intra-individuels Etape (recherche, sélection), Complexité (0, 1, 2) et Répétition (1, 2, 3, 4, 5) montre un effet significatif de l'Etape, $F(1, 12) = 66, p < 0,001, \eta_p^2 = 0,85$, de la Complexité, $F(2, 24) = 61,59, p < 0,001, \eta_p^2 = 0,84$, mais pas d'effet significatif de la Répétition, $F(4, 48) = 68,59, p = 0,14$. Les interactions Complexité x Etape, $F(2, 24) = 44,61, p < 0,001, \eta_p^2 = 0,79$, et Complexité x Répétition, $F(8,96) = 2,76, p = 0,009, \eta_p^2 = 0,19$, sont significatives. En revanche, on remarque un effet marginal de l'interaction Répétition x Etape, $F(4,48) = 2,49, p = 0,055$, et pas d'effet significatif de l'interaction triple, $F(8,96) = 1,68, p = 0,11$.

Le test post hoc de Bonferroni sur le facteur Complexité révèle des effets significatifs entre toutes les conditions (tous les $p < 0,005$), montrant que le temps de résolution total augmente avec le nombre de correspondance de l'itinéraire à planifier. En effet, les participants ont mis en moyenne 4805ms ($ES = 211$) pour réaliser la tâche dans le cas où l'itinéraire n'avait pas de correspondance, 7042ms ($ES = 411$) pour les itinéraires avec une correspondance et 10991ms ($ES = 782$) pour ceux avec deux correspondances.

L'analyse des post hoc de Bonferroni sur l'interaction Complexité x Etape ne montre pas de différences significatives entre toutes les conditions du facteur Complexité pour la phase de recherche. En revanche, pour la phase de sélection, on remarque des différences significatives entre toutes les conditions du facteur Complexité (tous les $p < 0,001$, voir Figure 24). On remarque sur la Figure 24, que pour l'étape de recherche, le nombre de correspondances de l'itinéraire à planifier n'influence pas le temps, alors qu'il augmente en fonction du nombre de correspondances pendant l'étape de sélection.

Le test post hoc de Bonferroni effectué sur l'interaction Complexité x Répétitions montre quelques variations de l'effet des répétitions en fonction de la complexité de l'itinéraire, mais pas d'effet clair ni de diminution du temps de réponse avec la répétition (tous les $p > 0,05$).

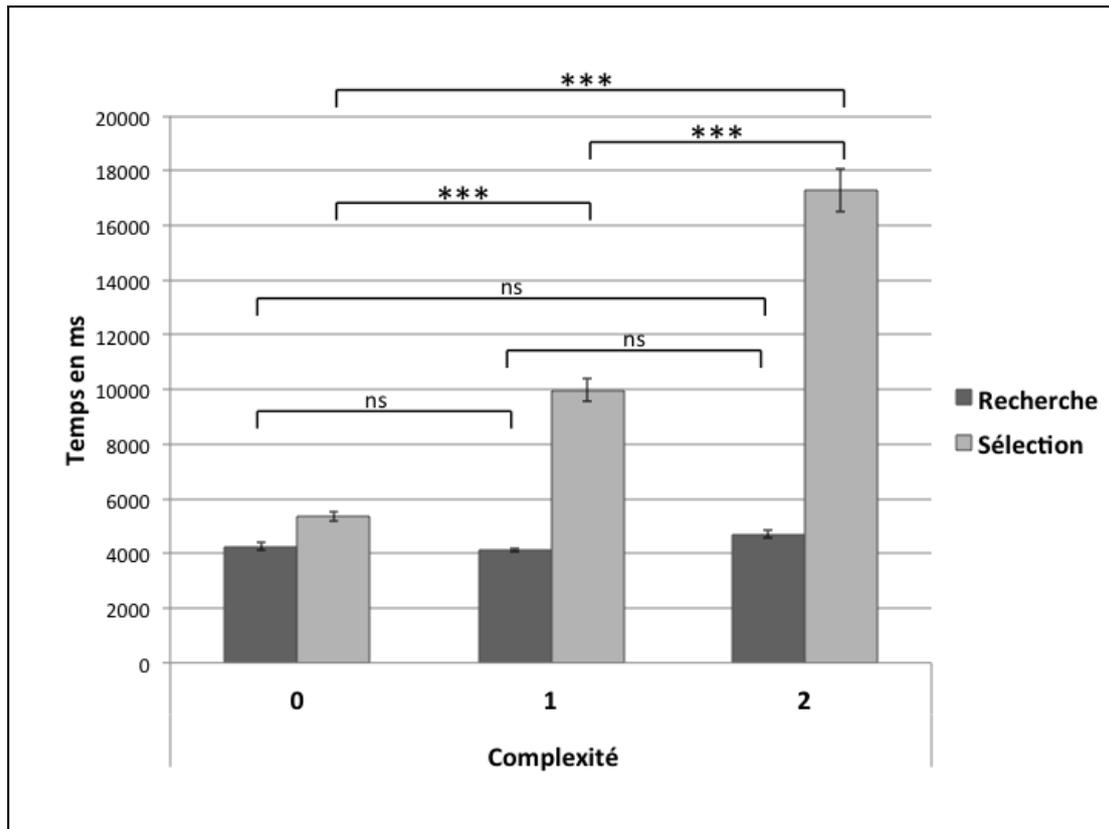


Figure 24. Temps en millisecondes selon l'étape et la complexité. Alors que le temps ne diffère pas en fonction du nombre de correspondances à l'étape de recherche (correspondance = 0, $M = 4266$ ms, $ES = 308$; correspondance = 1, $M = 4114$, $ES = 126$; correspondance = 2, $M = 4697$, $ES = 261$), on remarque qu'il augmente graduellement à l'étape sélection en fonction du nombre de correspondances (correspondance = 0, $M = 5343$ ms, $ES = 346$; correspondance = 1, $M = 9970$, $ES = 805$; correspondance = 2, $M = 17284$, $ES = 1557$). ns = non significatif, *** = $p < 0,001$.

En accord avec nos hypothèses, le temps de recherche n'est pas affecté par le nombre de correspondances, alors que le temps de sélection augmente avec le nombre de correspondances, montrant que les traitements réalisés dans les deux étapes sont différents.

5.5.2. Mouvements oculaires

5.5.2.a. Amplitude des saccades

Une ANOVA 3 x 2 x 5 avec les facteurs intra-individuels Complexité (0, 1, 2), Etapes (recherche, sélection) et Répétition (1, 2, 3, 4, 5) révèle un effet significatif de la Complexité, $F(2, 24) = 12,45$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,51$, de l'Etape, $F(1, 12) = 77,47$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,87$, et de la Répétition, $F(4,48) = 4,13$; $p = 0,0058$, $\eta_p^2 = 0,25$. Les interactions doubles Répétition x

Etapes, $F(4,48) = 2,78$, $p = 0,0369$, $\eta_p^2 = 0,19$, et Complexité x Etapes, $F(2,24) = 13,58$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,53$ sont significatives. En revanche, l'interaction Répétition x Complexité n'est pas significative, $F(8,96) = 1,1$, $p = 0,38$, de même pour l'interaction entre les trois facteurs, $F(8,96) = 1,78$, $p = 0,09$.

On remarque que les saccades sont plus grandes durant l'étape de recherche ($M = 4,6$ degrés visuels ; $ES = 0,14$) que pour l'étape de sélection ($M = 3,76^\circ$; $ES = 0,08$).

L'analyse post hoc (Bonferroni) réalisée sur le facteur Complexité montre que l'amplitude des saccades est similaire pour les conditions aucune et une correspondance ($p > 0,05$). En revanche, l'analyse montre des effets significatifs entre les conditions aucune et deux correspondances ($p = 0,001$) et entre les conditions une et deux correspondances ($p < 0,001$). Nous remarquons donc une baisse de l'amplitude des saccades dans la condition deux correspondances ($M = 4,02^\circ$; $ES = 0,10$) par rapport aux autres conditions (aucune correspondance, $M = 4,25^\circ$; $ES = 0,10$; une correspondance, $M = 4,27^\circ$; $ES = 0,12$).

En ce qui concerne le facteur Répétition, l'analyse post hoc (Bonferroni) révèle des différences entre le troisième et cinquième essai ($p = 0,037$) et entre le quatrième et cinquième essai ($p = 0,004$). Les saccades effectuées dans le cinquième essai ($M = 4,35^\circ$; $ES = 0,12$) sont plus larges que celles effectuée dans les troisième ($M = 4,13^\circ$; $ES = 0,11$) et quatrième essais ($M = 4,08$, $ES = 0,08$).

L'analyse post hoc de l'interaction entre la Complexité et l'Etape (voir Figure 25) révèle une différence significative entre les deux phases pour toutes les conditions de correspondances (Bonferroni, tous les $p < 0,001$). Elle ne met pas en évidence de différence selon le nombre de correspondances de l'itinéraire à panifier pour la phase de recherche (tous les $p > 0,05$). En revanche, pour la phase de sélection, on note une différence significative entre les conditions aucune et deux correspondances (Bonferroni, $p < 0,001$) et également entre les conditions une et deux correspondances (Bonferroni, $p < 0,001$).

L'analyse post hoc (Bonferroni) menée sur l'interaction entre les facteurs Etape et Répétition ne montre aucune différence entre les répétitions pour la phase de recherche (tous les $p > 0,05$). Cependant, pour la phase de sélection, on remarque que les saccades au cinquième essai ($M = 4,02^\circ$; $ES = 0,1$) sont plus larges que pour le premier essai ($M = 3,71^\circ$;

$ES = 0,11$; $p = 0,006$), le deuxième ($M = 3,75^\circ$; $ES = 0,1$; $p = 0,003$), le troisième ($M = 3,75^\circ$; $ES = 0,11$; $p = 0,027$) et le quatrième ($M = 3,59^\circ$; $ES = 0,07$; $p < 0,001$).

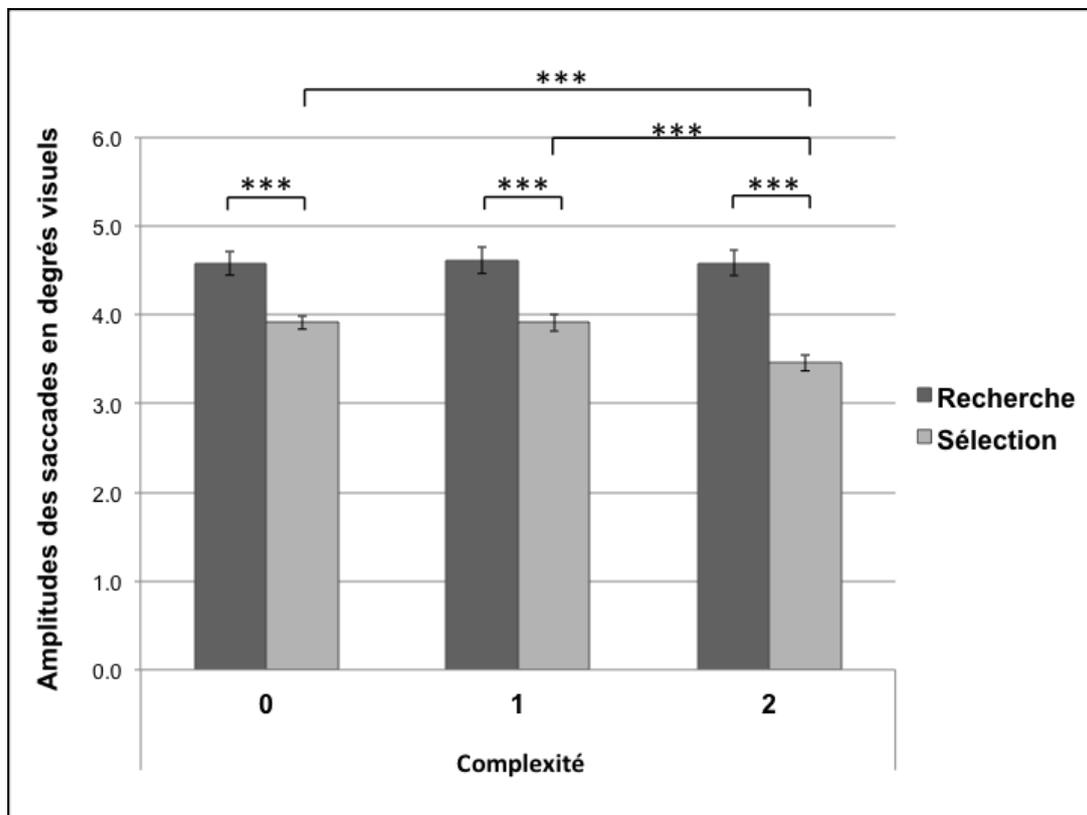


Figure 25. Amplitudes des saccades en degrés visuels selon la complexité et l'étape. Alors que pour l'étape de recherche on ne remarque pas d'effet du nombre de correspondances (correspondance = 0, $M = 4,6^\circ$, $ES = 0,14$; correspondance = 1, $M = 4,6^\circ$, $ES = 0,15$; correspondance = 2, $M = 4,6^\circ$, $ES = 0,14$), on remarque bien un tel effet à l'étape de sélection (correspondance = 0, $M = 3,9^\circ$, $ES = 0,08$; correspondance = 1, $M = 3,9^\circ$, $ES = 0,10$; correspondance = 2, $M = 3,5^\circ$, $ES = 0,09$). ns = non significatif, *** = $p < 0,001$.

Les résultats mettent donc en évidence que les amplitudes des saccades sont plus grandes pour la phase de recherche que pour la phase de sélection. De plus, cet effet s'accroît pour la condition avec deux transferts (voir Figure 25). Ces résultats confirment donc notre hypothèse selon laquelle seulement un balayage visuel de la carte est nécessaire pendant l'étape de recherche, alors qu'une analyse plus fine est engagée pendant l'étape de sélection.

5.5.2.b. Distribution du regard entre les stations centrales et périphériques

Une ANOVA 3 x 2 x 5 avec les facteurs intra-individuels Complexité (0, 1, 2), Localisation de la station (centrale, périphérique) et Répétition (1, 2, 3, 4, 5) a été réalisée sur le temps moyen d'observation des stations centrales et périphériques pendant la phase

de recherche. L'analyse met en évidence un effet significatif de la Localisation de la station, $F(1, 12) = 196,6$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,94$. Les effets de la Complexité ($F < 1$) et de la Répétition, $F(4,48) = 1,1$, $p = 0,37$, sont non significatifs. Les interactions entre les facteurs Localisation et Complexité, $F(2,24) = 1,6$, $p = 0,22$, et entre la Localisation et la Répétition, $F(4,48) = 2,2$, $p = 0,09$, sont toutes les deux non significatives. L'interaction entre la Complexité et la Répétition est significative, $F(8,96) = 3,5$, $p = 0,0014$, $\eta_p^2 = 0,23$, de même pour l'interaction entre les trois facteurs, $F(8,96) = 3,4$, $p = 0,0019$, $\eta_p^2 = 0,22$.

En moyenne, les stations centrales ($M = 1,23$; $ES = 0,02$) sont plus regardées que toutes les autres stations, alors que les stations périphériques sont moins regardées ($M = 0,84$; $ES = 0,02$).

L'analyse post hoc de l'interaction entre les trois facteurs ne révèle pas de patterns différents concernant l'effet de la localisation en fonction des facteurs correspondances et répétitions. Dans tous les cas, nous retrouvons une différence significative entre les deux localisations (tous les $p < 0,05$).

Les résultats vont dans le sens de notre hypothèse, montrant que pendant la phase de recherche les stations centrales sont plus regardées que les stations périphériques.

5.5.2.c. Temps moyen passé à regarder les stations d'origine et de destination

Une ANOVA 3 x 2 x 5 avec les facteurs intra-individuels Complexité (0, 1, 2), le Type de station (origine, destination) et la Répétition (1, 2, 3, 4, 5) a été réalisée sur le temps moyen d'observation des stations d'origine et de destination, pendant l'étape de sélection. Elle montre un effet significatif de la Complexité, $F(2, 24) = 403,36$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,97$, du Type de station, $F(1, 12) = 57$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,83$, et de la Répétition, $F(4,48) = 2,7$; $p = 0,04$, $\eta_p^2 = 0,18$. Toutes les interactions doubles sont significatives : Complexité x Répétitions, $F(8,96) = 7,5$, $p < 0,001$; $\eta_p^2 = 0,39$, Complexité x Type de station, $F(2,24) = 4,9$; $p = 0,016$, $\eta_p^2 = 0,29$, et Répétition x Type de stations, $F(4,48) = 3,18$, $p = 0,021$, $\eta_p^2 = 0,21$. L'interaction entre les trois facteurs est également significative, $F(8,96) = 4,11$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,26$.

Le temps moyen passé à observer les stations de destination est plus important ($M = 3,96$; $ES = 0,15$) que celui pour les stations d'origine ($M = 2,83$; $ES = 0,1$).

L'analyse post hoc (Bonferroni) de l'interaction Complexité x Type de station montre que le temps moyen passé à regarder les stations d'origine et destination comparé à toutes les autres stations diminue avec le nombre de transferts (tous les $p < 0,001$, voir Figure 26). Cependant cette diminution n'est pas la même en fonction du type de station. En effet, nous observons une diminution constante pour les stations de destination (tous les $p < 0,001$), alors que pour les stations d'origine, nous observons uniquement une différence entre les itinéraires avec aucune et une correspondance ($p < 0,001$) et entre aucune et deux correspondances ($p < 0,001$). Il n'y a pas de différence significative entre les itinéraires avec une ou deux correspondances ($p > 0,05$).

L'analyse post hoc (Bonferroni) réalisée sur l'interaction Répétitions x Type de station montre que la différence entre les deux types des stations est significative pour la première ($p = 0,016$) et la cinquième ($p < 0,001$) répétition, mais pas pour les autres (tous les $p > 0,05$).

L'analyse post hoc (Bonferroni) réalisée sur l'interaction entre les trois facteurs montre que, pour les itinéraires avec aucune correspondance, la différence entre les stations d'origine et destination est significative uniquement pour la cinquième répétition ($p < 0,001$, tous les autres $p > 0,05$). Pour les itinéraires avec une correspondance, la différence entre les stations est significative pour la quatrième répétition ($p = 0,0037$), mais pas pour les autres répétitions (tous les $p > 0,05$). Enfin, pour les itinéraires avec deux correspondances, on ne remarque aucune différence entre les stations, et ce, pour toutes les répétitions (tous les $p > 0,05$).

Les résultats confirment donc notre hypothèse selon laquelle avec l'augmentation du nombre de transferts les stations d'origines et de destinations sont moins regardées et l'exploration visuelle plus diversifiée.

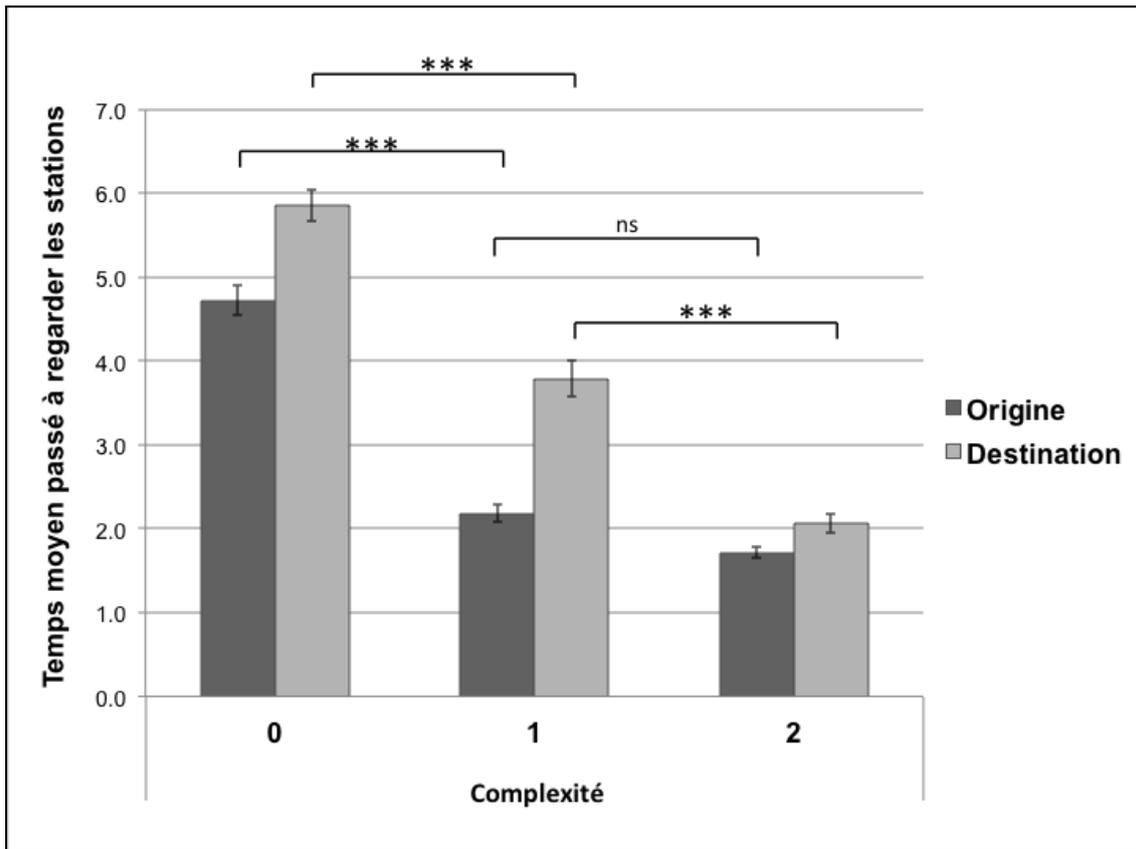


Figure 26. Temps moyen passé à regarder les stations selon leur type et la complexité. On observe une diminution du temps moyen passé à regarder les stations de destination constante selon le nombre de correspondances (correspondance = 0, $M = 5,9$, $ES = 0,19$; correspondance = 1, $M = 3,8$, $ES = 0,22$; correspondance = 2, $M = 2,1$, $ES = 0,11$), mais uniquement une différence entre aucune et une correspondance pour les stations d'origine (correspondance = 0, $M = 4,7$, $ES = 0,18$; correspondance = 1, $M = 2,22$, $ES = 0,11$; correspondance = 2, $M = 1,7$, $ES = 0,07$). ns = non significatif, *** = $p < 0,001$.

5.5.2.d. Temps moyen à observer les stations selon leur nombre de correspondances

Une ANOVA ($3 \times 3 \times 2 \times 5$) avec les facteurs intra-individuels Correspondance (*i.e.* nombre de correspondances aux stations ; 1, 2, 3), Complexité (0, 1, 2), Etape (recherche, sélection) et Répétition (1, 2, 3, 4, 5) a été réalisée sur le temps moyen passé à observer les stations. Cette analyse révèle un effet significatif du facteurs Correspondances, $F(2, 24) = 234,9$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,95$, de la Complexité, $F(2, 24) = 57,6$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,83$, de l'Etape, $F(1, 12) = 93,9$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,87$ et de la Répétition, $F(4,48) = 10,5$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,47$.

Toutes les interactions entre les facteurs sont significatives. Etant donné que notre intérêt ici porte sur le facteur Correspondances, nous allons uniquement présenter les

interactions qui prennent en compte ce facteur. De plus, comme le facteur Répétition sert de contrôle, nous ne discuterons pas en détails ces effets ici (voir annexe 4 pour plus de détails).

Les interactions Correspondance x Complexité, $F(4, 48) = 56,7, p < 0,001, \eta_p^2 = 0,82$, Correspondance x Etapes, $F(2, 24) = 93,7, p < 0,001, \eta_p^2 = 0,89$, et Correspondance x Complexité x Etapes, $F(4,48) = 3,69, p = 0,011, \eta_p^2 = 0,24$, sont significatives. Les résultats, moyennes et erreur standard, sont présentés dans le Tableau 3.

Tableau 3. Moyennes et erreur standard du temps passé à regarder les stations selon leur nombre de correspondances, la complexité et l'étape. Les erreur-types sont entre parenthèses.

		Complexité					
		0		1		2	
		Recherche	Sélection	Recherche	Sélection	Recherche	Sélection
Correspondance	1	0,80 (0,02)	0,46 (0,02)	0,87 (0,05)	0,52 (0,02)	0,96 (0,02)	0,56 (0,01)
	2	1,10 (0,02)	1,13 (0,03)	1,12 (0,02)	1,23 (0,03)	0,99 (0,03)	1,15 (0,02)
	3	1,82 (0,11)	3,31 (0,16)	1,22 (0,05)	2,92 (0,15)	1,17 (0,08)	2,14 (0,09)

L'analyse post hoc sur le facteur Correspondances montre des différences significatives entre toutes les conditions et le contraste linéaire est aussi significatif, $F(1,13) = 336,12, p < 0,001$. Ainsi les stations avec une correspondance sont moins regardées que les stations avec deux correspondances, qui sont elles-mêmes moins regardées que les stations avec trois correspondances.

L'analyse post hoc (Bonferroni) de l'interaction Correspondances x Etape montre que les participants ont tendance à regarder plus longtemps les stations avec une seule correspondance durant l'étape de recherche que durant celle de sélection ($p < 0,001$). En revanche, ce pattern n'est pas remarqué pour les stations avec deux correspondances ($p > 0,05$) et s'inverse pour les stations avec trois correspondances (test post hoc de Bonferroni $p < 0,001$, voir Figure 27).

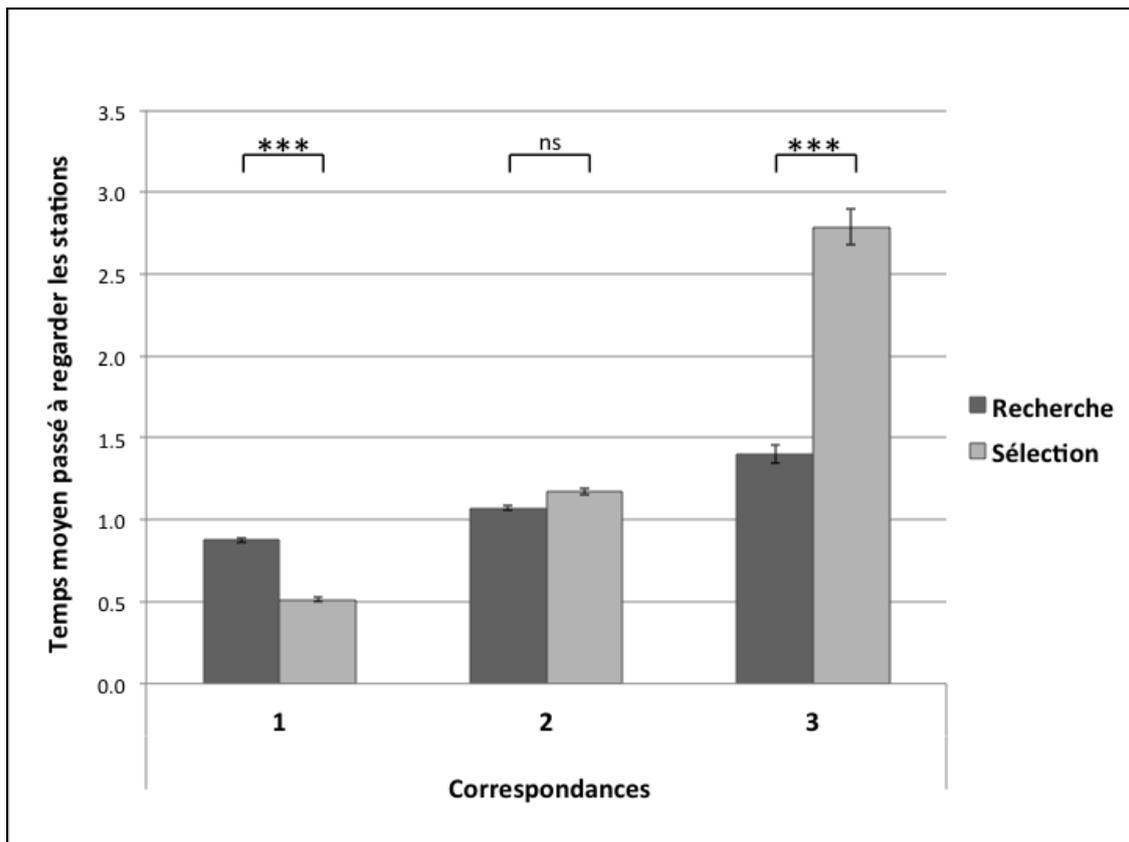


Figure 27. Temps moyen passé à regarder les stations selon leur nombre de correspondances et l'étape. Alors que les stations avec aucune correspondance sont plus regardées à l'étape de recherche qu'à l'étape de sélection, le pattern n'est pas retrouvé pour les stations avec une correspondance et s'inverse pour celles avec deux correspondances. ns = non significatif, * = $p < 0,001$.**

L'analyse post hoc de l'interaction Correspondance x Etape x Complexité met en évidence que ce pattern est vrai pour les conditions où les itinéraires ont une ou deux correspondances, mais il n'est pas vrai pour les itinéraires avec aucune correspondance. En effet, pour les itinéraires avec aucune correspondance, on remarque que le temps moyen passé à regarder les stations avec aucune ou une correspondance est le même pour les deux étapes ($p > 0,05$). En revanche, les stations avec deux correspondances sont moins regardées à l'étape de recherche qu'à l'étape de sélection ($p < 0,001$). Pour les itinéraires avec une ou deux correspondances, les stations avec aucune correspondance sont plus regardées à l'étape de recherche que de sélection (itinéraire une correspondance, $p = 0,038$; itinéraire avec deux correspondances, $p < 0,001$), alors que les stations avec une correspondance sont regardées en moyenne aussi longtemps dans les deux étapes (tous les $p > 0,05$), et que les stations avec deux correspondances sont moins regardées à l'étape de recherche qu'à l'étape de sélection (tous les $p < 0,001$).

L'analyse post hoc (Bonferroni) sur l'interaction Complexité x Correspondances montre que les stations avec trois correspondances sont de moins en moins regardées avec l'augmentation du nombre de correspondance aux itinéraires (tous les $p < 0,001$), mais qu'il n'y a pas d'effet du nombre de correspondances aux itinéraires pour les stations avec une et deux correspondances (tous les $p > 0,05$, voire Figure 28).

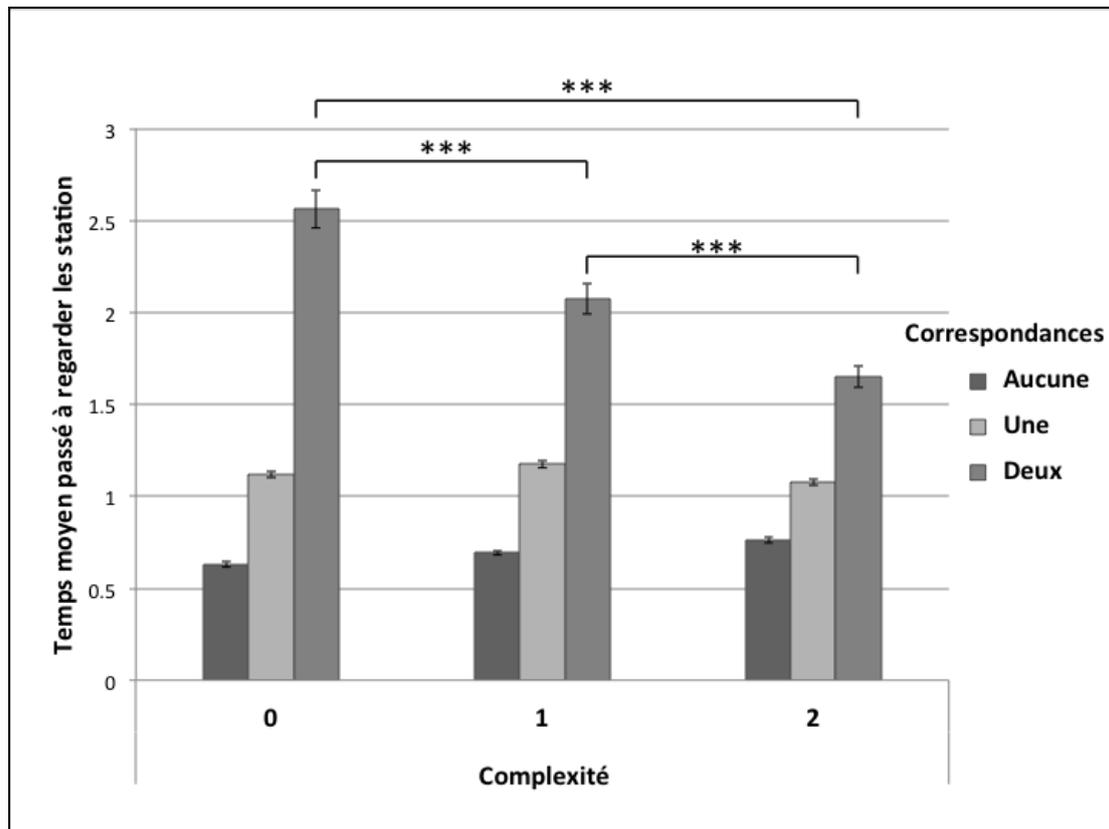


Figure 28. Temps moyen passé à regarder les stations selon leur nombre de correspondances et la complexité de l'itinéraire. Alors que le temps passé à regarder les stations avec deux correspondances diminue avec le nombre de correspondances de l'itinéraire, ce dernier n'a pas d'effet sur le temps passé à regarder les stations avec aucune ou une correspondance. ns = non significatif, * = $p < 0,001$.**

Les résultats confirment partiellement notre hypothèse. Les stations avec un nombre plus important de correspondances sont moins regardées à l'étape de recherche qu'à l'étape de sélection. En revanche, les stations avec une ou deux correspondances ne sont pas plus regardées avec l'augmentation du nombre de transferts, nous obtenons même l'effet inverse.

5.6. Discussion et conclusion

L'objectif de cette étude était d'explorer les processus visuels et cognitifs sous-jacents à la planification d'itinéraires à partir de cartes de réseaux de transports en commun (*i.e.* TC). Nous avons proposé un modèle du processus de la planification en deux étapes (voir Figure 20), *i.e.* recherche des stations d'origine et de destination, et sélection de l'itinéraire, et nous avons émis l'hypothèse générale que le nombre de correspondances de l'itinéraire à planifier augmentait le nombre de traitements dans la phase de sélection. Ainsi, nous avons demandé à des participants d'effectuer des tâches de planification d'itinéraires (*i.e.* trouver l'alternative avec le moins de transferts pour relier une origine et une destination), plus ou moins complexes (*i.e.* avec aucune, une ou deux correspondances), à partir de cartes fictives de réseaux de TC, pendant lesquelles nous avons enregistré les mouvements oculaires.

En ce qui concerne l'étape de recherche, que nous considérons comme une étape de recherche visuelle d'une cible, les résultats montrent que les participants ont tendance en moyenne à regarder davantage les stations centrales que périphériques. Ce résultat confirme notre hypothèse, et les résultats préalablement mis en évidence par Brunyé et Taylor (2009), de l'existence d'un biais de l'allocation du regard vers le centre de la carte au début de l'exploration visuelle. Ce résultat nous renseigne sur le comportement visuel des usagers pendant la recherche de l'origine et de la destination, première étape du processus de planification qui a été très peu étudiée dans la littérature sur la planification d'itinéraires.

Nous supposons l'existence de deux phases dans la planification d'itinéraires, nécessitant des traitements différents. En accord avec nos hypothèses, la durée de l'étape de recherche est plus courte que celle de l'étape de sélection, et les saccades sont plus larges en phase de recherche qu'en phase de sélection. Il apparaît donc qu'à l'étape de sélection, la recherche des itinéraires possibles, leur comparaison et la sélection d'une option demandent aux participants d'engager des traitements supplémentaires, nécessitant une analyse visuelle plus minutieuse des lignes et des stations, comparé à la phase de recherche durant laquelle une exploration visuelle est suffisante pour identifier les stations d'origine et de destination.

Les résultats sur l'effet de la complexité sur les temps de réponses et les amplitudes des saccades apportent des éléments empiriques supplémentaires pour attester que des traitements additionnels sont mis en œuvre dans la phase de sélection par rapport à la phase de recherche. Nous remarquons en effet, que plus il y a de correspondances à l'itinéraire, plus les participants ont mis du temps pour l'étape de sélection, et plus les saccades étaient petites. En revanche, aucun effet de ce type n'est observé pour la phase de recherche. Ces résultats sur la diminution de l'amplitude des saccades vont dans le même sens que ceux observés par (Cazzato *et al.*, 2010) qui montraient que le découpage de la tâche de planification en plusieurs sous-tâches amenait les participants à réaliser des saccades plus petites et plus de fixations. Ainsi, lorsqu'il y a davantage de correspondances, le découpage de l'itinéraire en plusieurs portions, comme nous le suggérons dans notre proposition de modèle, entraîne alors des saccades plus petites. L'augmentation du temps de réalisation avec le nombre de correspondances pour l'étape de sélection va également dans le sens d'une hypothèse alternative et/ou complémentaire qui est que comme la tâche demandée était de trouver l'itinéraire avec le moins de correspondances, alors quand les participants trouvaient un itinéraire avec une ou deux correspondances, ils recherchaient peut-être d'autres alternatives avec moins de correspondances (par exemple si on trouve une alternative avec deux correspondances, essayer de trouver une autre possibilité avec une ou aucune correspondance).

Les résultats concernant le temps moyen passé à regarder les stations d'origine et de destination montrent que celles-ci sont de moins en moins regardées avec l'augmentation du nombre de correspondances de l'itinéraire. Ces résultats vont dans le sens de notre hypothèse selon laquelle une exploration plus large est nécessaire pour trouver l'itinéraire quand il y a différentes correspondances dans l'itinéraire, alors que ce n'est pas indispensable quand il n'y a pas de transfert. En effet, quand il n'y a pas de correspondance dans l'itinéraire, regarder les stations d'origine et de destination et la ligne passant par ces stations est suffisant pour réaliser la tâche. En revanche, quand il y a des correspondances, il faut élargir sa recherche pour trouver des stations de correspondances. Les résultats concernant le temps passé à regarder les stations en fonction de leur nombre de correspondances apportent des arguments additionnels en faveur de cette hypothèse. En effet, nos résultats montrent que les stations avec des correspondances sont plus regardées

à l'étape de sélection. Ils montrent également que les stations avec aucune correspondance sont plus regardées dans la phase de recherche que dans la phase de sélection et inversement, les stations avec deux correspondances sont plus regardées dans la phase de sélection que dans la phase de recherche. De plus, ce pattern est de plus en plus fort avec l'augmentation du nombre total de correspondances de l'itinéraire. Ces résultats confirment donc le fait que, pendant la phase de sélection, les participants vont davantage regarder les stations permettant des connexions à défaut des stations d'origine et de destination. Ceci est d'autant plus vrai quand les itinéraires nécessitent d'effectuer des correspondances. Dans ce cas, l'exploration visuelle doit être plus large et ne peut s'arrêter aux stations d'origine et de destination.

Nous avons également fait l'hypothèse que les participants devraient regarder de plus en plus les stations avec des correspondances avec l'augmentation du nombre de correspondances de l'itinéraire. En effet, plus l'itinéraire contient de correspondances, plus il est nécessaire de rechercher des stations permettant d'effectuer des correspondances, car ces stations permettent de maximiser les chances de trouver une station avec des lignes pouvant relier les stations d'origine et de destination. Nos résultats ne montrent pas cet effet, nous remarquons même qu'avec l'augmentation du nombre de correspondances de l'itinéraire les stations avec deux correspondances sont de moins en moins regardées. Une explication de ce résultat se trouve dans l'interprétation du temps passé à regarder les stations d'origine et de destination et d'un biais dans notre étude. Comme nous l'avons vu précédemment, les participants passent plus de temps à regarder les stations d'origine et de destination quand il n'y a pas de transfert. Cependant, dans la condition sans transfert la plupart des stations d'origines et de destinations ont deux lignes (51,28%) ou trois lignes (28,21%) alors que dans la condition de deux transferts la majorité des stations d'origine et de destination ont seulement une ligne (82,5%). Ainsi, le fait que les stations avec deux correspondances sont plus regardées pour les itinéraires ne nécessitant pas de correspondances s'explique par le fait que ces stations sont aussi les stations d'origine et de destination qui sont plus regardées pour ces itinéraires n'ayant pas de correspondance.

Nous avons retrouvé différents effets de la répétition des essais sur une même carte. Toutefois, ces effets ne semblent pas montrer clairement un apprentissage des positions des stations et/ou des correspondances pouvant faciliter la planification. Etant donné l'existence

de l'influence de processus *top-down* (Beck *et al.*, 2012) liés à l'apprentissage ou la familiarité, il faudrait à l'avenir, soit répliquer cette étude en changeant de carte à chaque essai pour éviter des biais liés à l'apprentissage, soit proposer deux conditions dont une avec une carte nouvelle et une avec une carte connue/apprise pour spécifier les effets *top-down* de la connaissance sur la tâche de planification. Enfin, contrairement à nos prédictions, nos résultats montrent que le taux de bonnes réponses est plus faible pour les itinéraires les plus simples. Ce résultat peut s'expliquer par des biais dans notre matériel ; en effet, de nombreux itinéraires sans correspondance nécessitaient d'effectuer des détours, ou par le fait que notre échantillon de participants est petit.

En conclusion, cette étude nous a permis pour la première fois, à l'aide d'indicateurs comportementaux tels que les mouvements oculaires, de proposer et valider un modèle de la planification d'itinéraires en transports en commun à l'aide de carte de réseaux de transports, dans le cas où le critère de choix est l'itinéraire avec le moins de correspondances. Ce modèle (voir Figure 19) propose que la planification d'itinéraires soit décomposée en deux étapes, la recherche de l'origine et de la destination, et la sélection de l'itinéraire. L'étape de recherche consiste à effectuer une recherche visuelle de cible (*i.e.* les stations). La seconde étape implique de rechercher les itinéraires possibles et de sélectionner celui avec le moins de correspondances. Cette seconde étape nécessite différents traitements comme rechercher les lignes passant par les stations d'origine et de destination, comparer si les deux stations sont sur la même ligne ou rechercher des correspondances permettant de relier les deux stations. Le nombre de traitements engagés est dépendant du nombre de correspondances nécessaires pour relier les stations d'origine et de destination. Nous pouvons cependant noter trois limites à la portée explicative de notre modèle dans les cas rencontrés dans la vie quotidienne par les usagers. La première est que nous avons utilisé des cartes fictives, ce qui nous a permis de définir des zones d'intérêt précises autour des stations et une analyse fine du comportement oculaire, mais qui ne tiennent pas compte des principes de conception des cartes réelles et potentiellement des difficultés associées à ces cartes (*i.e.* correspondances, angles des lignes ; Guo, 2011 ; Roberts *et al.*, 2013). La deuxième est que nous avons contraint, dans notre modèle, le critère de sélection, ce qui nous a permis d'étudier de manière précise un cas particulier, mais pas le cas général. Enfin, la troisième est que, dans cette étude, nous

avons étudié le modèle sans tenir compte des facteurs individuels (*e.g.*, caractéristiques sociodémographiques, capacités spatiales, attitudes, habitudes) et contextuels (*e.g.*, moment de la journée, but du trajet), or nous supposons que ceux-ci peuvent moduler le choix de critère de sélection et donc le processus de planification.

Chapitre 6. Mise en évidence des facteurs contextuels et du profil de l'utilisateur dans le choix d'itinéraires en transports en commun⁵.

6.1. Introduction

Pour effectuer un choix d'itinéraires réalisé à pieds ou pour un choix d'un mode de transports, les usagers mettent en place des critères de sélection tels que par exemple l'itinéraire le plus court ou le plus agréable (Golledge, 1995). Les études sur le choix de mode de transports ont également montré que le choix du critère était influencé par des facteurs individuels (*i.e.* liés au profil de l'utilisateur) et contextuels (*i.e.* liés à la situation spécifique dans laquelle l'utilisateur fait son choix ; Klöckner et Friedrichsmeier, 2011). Nous avons proposé dans notre modèle PLANITRAC que les critères de sélection déterminent le type de processus engagés lors de l'étape de recherche et de sélection d'une alternative, et que ces critères dépendent du profil cognitif et psychosocial de l'utilisateur et du contexte. Cependant, à ce jour, peu de choses sont connues sur l'influence des facteurs individuels et contextuels sur la sélection des critères et sur le choix d'itinéraires, dans le cas où l'itinéraire est réalisé en empruntant les transports en commun (*i.e.* TC). L'objectif de cette étude est donc d'explorer quels facteurs liés au profil de l'utilisateur et au contexte entrent en compte lors de la planification d'itinéraires en TC et quels sont leurs effets.

Les études que nous avons présentées dans la partie théorique de la thèse ont mis en évidence deux grandes catégories de critères pris en considération par les usagers pour faire leur choix d'itinéraires et/ou de modes qui sont les critères « pratiques » (*e.g.*, temps de trajet, temps de marche, complexité, fiabilité, coût) et les critères liés à l'agrément (*e.g.*, le

⁵ Cette étude a donné lieu à plusieurs publications :

Grison, E., Gyselinck, V., & Burkhardt, J.-M. (Accepté). Exploring Factors Related to Users' Experience of Public Transport Route Choice: Influence of Context and Users profiles. *Cognition, Technology and Work*.

Grison, E., Gyselinck, V., & Burkhardt, J.-M. (2014). Exploring factors related to users' experience of public transport: users profile and route choice. Poster presentation, Transport Research Arena, 14-17 April 2014, Paris : France.

Grison, E., Gyselinck, V., & Burkhardt, J.-M. (2013). "Using the Critical Incidents Technique to Explore Factors Related to Users' Experience of Public Transport Modes." Long Paper, European Conference on Cognitive Ergonomics, 26-28 August 2013, Toulouse : France.

bien-être, le plaisir, l'attractivité, le confort, le besoin d'intimité, l'occupation des modes). Ces deux catégories de critères sont aussi bien retrouvées dans la littérature s'intéressant aux choix d'itinéraires (Golledge, 1995 ; Hölscher *et al.*, 2011) qu'au choix de mode de transports (Mann & Abraham, 2006 ; Popuri *et al.*, 2011 ; Rubens *et al.*, 2011). La principale différence que l'on peut noter est que dans le cas du choix de mode de transports nous retrouvons des critères liés à l'aspect confortable de l'itinéraire (*e.g.*, le besoin d'intimité, l'occupation des modes), ce qui n'est pas le cas pour le choix d'itinéraires effectués à pieds.

Dans la littérature sur le choix de mode de transport, de nombreuses recherches se sont également questionnées sur les facteurs qui pouvaient influencer le choix d'un critère de sélection, et par conséquent d'un mode de transports. Cette littérature a ainsi permis de montrer que le choix était alors influencé par des facteurs individuels et contextuels (Klößner & Friedrichsmeier, 2011 ; Johansson *et al.*, 2006 ; Verplanken *et al.*, 1994). Les facteurs individuels majoritairement considérés sont les attitudes, les habitudes et certaines caractéristiques sociodémographiques (*e.g.*, âge, sexe, catégorie socioprofessionnelle). Les facteurs contextuels principalement étudiés sont le but du trajet, la météo et le moment du trajet dans la semaine (*i.e.* semaine vs. week-end).

L'effet de l'attitude sur le choix de mode de transports a été étudié dans le cadre de la théorie du comportement planifiée (TCP, Ajzen, 1985, 1991). Rappelons que la TCP postule que le comportement serait principalement guidé par l'intention et les motivations de réaliser celui-ci. L'intention serait déterminée par trois grands facteurs dont l'attitude qui est la perception positive ou négative qu'ont les usagers du comportement. Les études ayant pris ce modèle pour expliquer le comportement de choix de mode ont montré de bonnes prédictions des attitudes envers les modes de transports mais également envers l'écologie, sur le choix de mode entre la voiture personnelle et les TC (Erickson & Forward, 2011 ; Hunecke *et al.*, 2008 ; Johansson *et al.*, 2006). Par exemple, des attitudes positives envers les TC et l'écologie sont en faveur de l'intention d'utiliser les TC (Beirão & Cabral, 2007 ; Hunecke *et al.*, 2001). Cependant, ces études réalisées à partir de questionnaires et de déclarations d'intention, permettent uniquement de montrer que les attitudes peuvent prédire l'intention de réaliser un comportement mais pas la réalisation effective de celui-ci ce qui limite ainsi le pouvoir explicatif de ces études sur le comportement réel des usagers. Il a également été montré que les habitudes pouvaient moduler le processus de choix

(Klößner & Friedrichsmeier, 2011 ; Verplanken *et al.*, 1994). En effet, Verplanken *et al.* (1997, expérience 1) ont remarqué dans leur expérience - où ils proposaient aux participants des choix de modes dans un environnement connu par les participants - que les personnes ayant de fortes habitudes passent moins de temps à prendre connaissance des informations (*e.g.*, temps de parcours, probabilité de retard, effort physique, confort) sur les modes de transports alternatifs, que les personnes ayant peu d'habitudes. D'autres études ont mis en évidence que les attitudes et les habitudes ne sont pas totalement indépendantes l'une de l'autre (Beirão & Cabral, 2007 ; Erickson & Forward, 2011 ; Popuri *et al.*, 2011). Klößner et Friedrichsmeier (2011) ont en effet remarqué que les usagers habitués à utiliser leur voiture et avec une attitude négative envers l'écologie préféraient utiliser leur voiture alors que les usagers avec une attitude positive envers l'écologie et peu d'habitude d'utilisation de la voiture utilisaient plus les TC.

Ainsi, la littérature sur le choix de modes de transports montre que le choix d'un mode est déterminé par des facteurs individuels et contextuels. Toutefois, nous pouvons noter trois limites à ces études pour notre problématique. La première est que la majorité de ces études se sont focalisées sur le choix entre la voiture personnelle et les TC, or dans la littérature sur les transports en commun d'autres facteurs comme les correspondances entre les différents modes sont prises en compte lors du choix (Chowdhury *et al.*, 2013). La deuxième limite est qu'il existe, à l'heure actuelle, peu d'études s'intéressant aux interactions entre les différents facteurs individuels et le contexte, alors qu'il a été montré qu'un seul facteur ne pouvait pas expliquer le comportement dans sa globalité. Par exemple, dans le cadre de ses travaux sur les déterminants de la satisfaction des itinéraires réalisés en TC, Friman (2010) a montré que le seul temps d'attente à une correspondance ne pouvait pas prédire la satisfaction ou non par rapport à l'itinéraire. De même, Klößner & Friedrichsmeier (2011) ont mis en évidence des interactions entre les facteurs individuels et contextuels. Enfin, la troisième limite est que la plupart des études ont utilisé des méthodologies, principalement des questionnaires, permettant d'accéder aux intentions des usagers et non à leur expérience réelle.

Aussi, dans la présente étude, nous allons nous focaliser sur le choix d'itinéraires en TC et nous allons utiliser une méthodologie permettant d'accéder à l'expérience réelle des usagers. L'expérience des usagers a été définie dans l'ISO 9241 comme « *A person's*

perceptions and responses that result from the use or anticipated use of a product, system or service » (« Les perceptions et les réponses d'une personne qui résultent d'une utilisation ou d'une utilisation anticipée d'un produit, système ou service »). Hassenzhal et Tractinsky (2006, p. 95) définissent eux l'expérience des usagers comme :

A consequence of a user's internal state (predispositions, expectations, needs, motivation, mood, etc.), the characteristics of the designed system (e.g., complexity, purpose, usability, functionality, etc.), and the context (or the environment) within which the interaction occurs (e.g., organisational/social setting, meaningfulness of the activity, voluntariness of use, etc.).

L'analyse de l'expérience des usagers permet donc une étude quasi-complète du comportement de l'utilisateur en tenant compte de l'état de celui-ci (e.g., prédisposition, besoin, motivations) mais également du contexte (e.g., environnement) dans lequel a été ou est réalisé le comportement étudié (Hassenzhal & Tractinsky, 2006), ce qui apparaît pertinent pour explorer la mise en jeu des facteurs individuels et contextuels dans le choix d'itinéraires, et dans des situations réelles.

6.2. Objectifs de l'étude

La littérature sur le choix de modes de transports et d'itinéraires montre que divers critères sont pris en compte lors de cette décision. De plus, ces critères peuvent changer selon le contexte dans lequel l'utilisateur se situe au moment de son choix et selon son profil (i.e. attitude, habitudes, caractéristiques sociodémographiques). Toutefois, peu d'études se sont posé ces questions dans le cadre du choix d'itinéraires parmi plusieurs alternatives en transports en commun. L'objectif de cette étude est donc d'explorer les facteurs liés au profil de l'utilisateur (i.e. individuels) et les facteurs contextuels qui entrent en jeu lors du choix d'itinéraires en transports en commun. A cette fin, nous avons combiné deux techniques : l'entretien et le questionnaire. Les entretiens, menés auprès d'utilisateurs selon la technique des incidents critiques (Flanagan, 1954) ont permis de recueillir leurs expériences réelles de choix et réalisation d'itinéraires, que celles-ci soient positives ou négatives. Etant donné que dans la vie quotidienne des habitudes peuvent entrer en compte et moduler le processus de choix (Verplanken *et al.*, 1997), nous avons demandé aux participants de raconter des

expériences dans le cas d'itinéraires habituels ou d'alternatives. Des questionnaires ont été utilisés pour collecter les variables additionnelles afin d'établir le profil de l'utilisateur (*i.e.* attitude, préférences, caractéristiques sociodémographiques). Cette méthodologie nous permet ainsi d'explorer les interactions entre l'expérience des usagers, le contexte et leurs profils.

6.3. Méthode

6.3.1. Cadre de l'étude : transports en commun de la région Île-de-France

Le réseau de transports en commun de la région Île-de-France est géré par différentes instances telles que : la RATP (Régie Autonome des Transports Parisiens) pour ce qui est du réseau dans Paris (métro, bus, tramway et partiellement le RER A et B), la SNCF (Société Nationale des Chemins de Fer) pour les RER C, D, E et les transiliens ; et d'autres compagnies spécifiques à des réseaux de transports de certaines villes de la région, comme par exemple Phébus à Versailles. Le réseau de transports en commun en Île-de-France inclut donc divers modes de transports tels que le métro, le bus, le tramway le RER (Réseau Express Régional) et le transilien (train de banlieue SNCF). Le métro, le tramway, le RER et le transilien sont des modes de transports ferrés avec certaines différences. Le métro rejoint principalement les parties périphériques de Paris au centre de la ville et est majoritairement sous-terrain, de plus les arrêts sont proches et la fréquence des trains est élevée. Le tramway est, quant à lui, extérieur et est plus présent en proche banlieue et pour la périphérie de Paris. Le RER relie la banlieue au centre de Paris et est principalement sous-terrain dans Paris et extérieur en dehors de Paris. Ses arrêts sont plus espacés que ceux du métro et il est un peu moins fréquent. Enfin, le transilien relie la banlieue aux grandes gares parisiennes (Montparnasse, Gare de Lyon, Gare du Nord, etc.). Pour voyager dans le réseau de transports, les usagers peuvent utiliser des tickets (unité ou en carnet) pour un voyage ou pour la journée. Les usagers les plus fréquents peuvent eux s'abonner au « Pass Navigo » pour une semaine, un mois ou à l'année et pourront ainsi voyager avec n'importe quel mode de transports en fonction des zones qu'ils ont intégrées dans leur abonnement, car ceci est géré par une instance unique, le STIF (Syndicat des transports en Île-de-France). La région est

donc divisée en plusieurs zones : 1 pour Paris, 2 proche banlieue et ainsi de suite jusqu'à 5. Le prix de l'abonnement au mois varie selon les zones de 67.10€ à 105,40€⁶.

6.3.2. Participants

Dix-neuf usagers réguliers des transports en commun de la région Île-de-France (dont 8 hommes) ont pris part à l'étude. Ils étaient âgés de 19 à 50 ans ($M = 29,34$; $ET = 10,51$). Les participants ont été recrutés à l'université par une annonce envoyée par email ou transmise directement en personne. Dix participants étaient des employés, trois des étudiants et six des étudiants qui occupaient également un emploi.

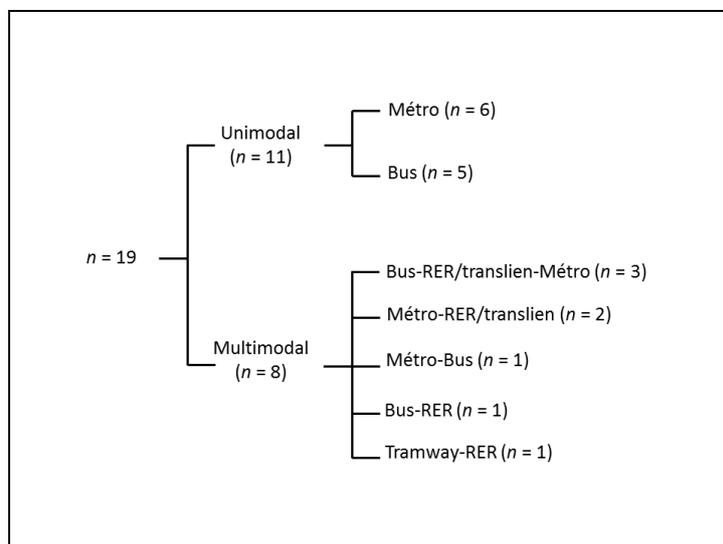


Figure 29. Répartition des 19 participants selon les modes de transports qu'ils utilisent pour se rendre au travail ou sur leur lieu d'étude.

En ce qui concerne les trajets de nos participants de manière générale (travail, loisirs, courses, etc.), 17 d'entre eux ont reporté utiliser des itinéraires multimodaux combinant deux ou trois modes de transports. Parmi ces 17 participants, 13 utilisent des itinéraires multimodaux fréquemment et 7 pour des trajets occasionnels. Dans les combinaisons de modes de transports, le métro est toujours présent. 13 participants combinent le métro avec le bus et 12 avec des trains (RER, transilien). Le vélo (6/17) et la voiture (5/17) sont les deux modes les moins utilisés dans les itinéraires multimodaux pour nos participants.

⁶ En septembre 2015, il a été proposé un tarif unique pour les usagers de 70€. Au moment de la réalisation de nos études ce tarif n'était pas encore entré en vigueur.

Pour plus de la moitié de nos participants (11/19), l'itinéraire habituel pour se rendre au travail ou sur leur lieu d'étude est unimodal (un seul mode de transport), les autres (8/19) utilisent deux ou trois modes de transports (voir Figure 29).

6.3.3. Matériel

6.3.3.a. Entretien semi-structuré basé sur les incidents critiques

Les entretiens ont été conduits à l'aide de la technique des incidents critiques (TIC, Flanagan, 1954). Cette technique propose aux individus de raconter un évènement réel positif ou négatif qu'ils ont vécu (nommé l'incident critique, IC), avec le plus de détails possibles. Un incident critique se réfère à un épisode limité dans le temps et l'espace qui inclut par exemple des informations à propos du lieu, des personnes présentes, des conditions et des activités (voir Tableau 5 pour un exemple). Les incidents critiques doivent également être pertinents pour la thématique étudiée.

L'objectif de la TIC est d'éviter les pensées générales et les stéréotypes à propos d'une thématique, pour favoriser le rapport verbal d'une situation spécifique reconnue par le participant comme significative pour la thématique investiguée. Cette technique a initialement été développée pour obtenir des données chez les experts de certaines tâches, pour identifier les compétences critiques nécessaires à la réalisation de ces tâches (voir par exemple Butterfield, Borgen, Amundson & Maglio, 2005). La TIC a été appliquée à de nombreuses thématiques pour la recherche et la pratique comme par exemple l'analyse des besoins des utilisateurs (Anastassova, Burkhardt, Mégard & Ehanno, 2005). Le choix de cette technique pour notre étude a été motivé par deux raisons : (1) elle produit un diagnostic rapidement des problèmes liés à une tâche et des besoins de usagers (Bisseret, Sebilotte & Falzon, 1999) ; (2) elle permet d'étudier une activité difficile à observer dans une situation réelle.

Pour notre étude, nous avons conçu quatre questions concernant à chaque fois des trajets fréquents, par exemple pour se rendre au travail ou à une activité de loisirs régulière. Deux questions ont été créées chacune dans une version positive et une négative (Tableau 4). Ainsi il était demandé aux participants de raconter un événement pour lequel ils avaient

pris leur itinéraire habituel et qui a été soit positif soit négatif. La même chose était demandée pour un itinéraire alternatif.

Tableau 4. Grille pour la réalisation des entretiens, selon la technique des incidents critiques.

<p>1. Vous est-il arrivé, lors de vos trajets habituels, domicile-travail (études) ou pour aller à une activité fréquente, d'avoir regretté votre choix d'itinéraire ? Si oui, racontez-moi l'événement en me donnant le plus de détails possible. (où, quand, quoi, comment, avec qui, pourquoi, etc.) Pouvez-vous me raconter un autre événement ?</p> <p>2. Lors de vos trajets fréquents, domicile-travail (études) ou pour aller à une activité fréquente, vous est-il arrivé d'avoir été particulièrement satisfait de votre choix d'itinéraire ? Si oui, racontez-moi l'événement en me donnant le plus de détails possible. Pouvez-vous me raconter un autre événement ?</p> <p>3. Vous est-il arrivé, lors de vos trajets fréquents, domicile-travail (études) ou pour aller à une activité fréquente, de choisir une alternative à l'itinéraire emprunté généralement et de ne pas avoir été satisfait ? Si oui, racontez-moi l'événement en me donnant le plus de détails possible. Pouvez-vous me raconter un autre événement ?</p> <p>4. Vous est-il arrivé, lors de vos trajets fréquents, domicile-travail (études) ou pour aller à une activité fréquente, de choisir une alternative à l'itinéraire emprunté généralement et d'en avoir été content ? Si oui, racontez-moi l'événement en me donnant le plus de détails possible. Pouvez-vous me raconter un autre événement ?</p>

6.3.3.b. Questionnaires

Questionnaire démographique et d'utilisation des transports en commun

Dans la première partie de ce questionnaire nous collectons des informations sur le genre, l'âge et l'activité professionnelle des participants ainsi que leur utilisation des transports en commun (quels types d'itinéraire, de modes de transports, etc). Dans la seconde partie nous abordons le choix d'itinéraires en transports en commun et les motivations de ce choix. Ainsi, huit questions utilisant une échelle de Likert en cinq points (1 = pas du tout d'accord ou jamais à 5 = tout à fait d'accord ou souvent) permettent de mieux comprendre le choix d'itinéraires dans la vie quotidienne comme par exemple « Je prends cet itinéraire car c'est le plus rapide » ou « Je prends cet itinéraire car il est fiable » (voir annexe 3.a. pour plus de précisions).

Echelle d'attitude envers les transports en commun

Cette échelle est une adaptation de l'échelle utilisée par Gandit (2007). Elle mesure la perception globale des transports en commun à l'aide de 19 items, utilisant une échelle de Likert en 5 points (1 = pas du tout d'accord et 5 = tout à fait d'accord), en se focalisant sur

certaines avantages et désavantages (voir annexe 2.b.) comme par exemple « Quand j'utilise les transports en commun, j'organise mon itinéraire » ou « Pour moi les itinéraires en transports en commun sont dangereux ».

6.3.4. Procédure

La passation était individuelle et durait entre 30 minutes et une heure. Une introduction à propos de l'étude, expliquant l'objet général et la TIC était tout d'abord présentée aux participants. Ensuite nous commençons l'entretien que nous enregistrons (avec le consentement des participants). Les quatre grandes questions étaient posées aux participants correspondants aux quatre conditions (voir Tableau 4). Dans une première condition, les participants devaient se rappeler de l'itinéraire qu'ils empruntaient le plus souvent pour effectuer un trajet fréquent et dans une seconde condition il leur était demandé de penser à une alternative à cet itinéraire. Les participants devaient alors rapporter des événements positifs (satisfaction) et négatifs (non satisfaction). Pour chaque condition il était demandé aux participants de raconter le plus d'événements possible dont ils pouvaient se rappeler. L'entretien se terminait lorsque les participants avaient rappelé tous les incidents dont ils se souvenaient. Finalement, les participants remplissaient les questionnaires.

6.4. Analyse des données

6.4.1. Incidents critiques

Les entretiens ont été retranscrits par écrit et divisés par incidents critiques. Quand il était nécessaire, les informations manquantes à propos d'un incident étaient complétées grâce aux réponses aux questionnaires (*e.g.*, lieu de travail, lignes empruntées). Par exemple, les informations sur la localisation exacte de l'université et du domicile ont été ajoutées entre parenthèses à l'incident présenté dans le Tableau 5.

Tableau 5. Exemple d'incident critique positif raconté par un homme de 24 ans pour un itinéraire habituel.

« J'allais à l'université (Banlieue), avec mon itinéraire habituel, j'habite à Fontenay (Banlieue, via Paris). Je suis allé au bus, je l'ai eu directement, c'était super. J'ai pris le bus, le RER est arrivé immédiatement. Et ensuite j'ai eu le métro immédiatement. Cela m'a pris 45 minutes, alors que d'habitude ça me prend une heure. Donc oui, j'étais content. J'étais seul, c'était le matin vers 10-11 heures, quelque chose comme ça. »

94 incidents ont ainsi été identifiés puis codés comme suit. Ils étaient d'abord caractérisés par leur valence et le fait qu'ils impliquaient l'itinéraire habituel ou une alternative (fréquence) :

- Valence : positive (satisfaction) ou négative (non satisfaction) ;
- Fréquence : habituelle ou alternative.

Ensuite, nous avons caractérisé les incidents selon six premières dimensions, que nous avons extraites d'une première analyse du contenu des incidents, afin d'explicitier l'information et les explications données par les participants pour décrire la situation et leur expérience (voir Tableau 6 pour un exemple).

Tableau 6. Exemple de codage de l'incident présenté dans le tableau 4.

Dimensions	Exemples de passages d'incident utilisés comme indicateurs	Catégories
Valence	« j'étais content »	Positive
Fréquence	« avec mon itinéraire habituel »	Habituel
Lieu	« l'université (Banlieue), [...], j'habite à Fontenay (Banlieue, via Paris). »	Paris et Banlieue
Moment	« c'était le matin vers 10-11 heures »	Matin
But	« J'allais à l'université »	Etudes
Complexité	« le bus, le RER [...], le métro »	Multimodal
Facteur critique	« Cela m'a pris 45 minutes, alors que d'habitude ça me prend une heure »	Temps de trajet
Motivation	NA [Un exemple d'un autre incident est "J'ai pris cet itinéraire car c'était le plus rapide"]	NA [Temps de trajet]

Les quatre premières variables donnent une description « objective » de l'incident :

- Lieu où l'incident s'est produit : Paris, Paris et Banlieue ou autre ;

- Moment de la journée : matin, soir ou en journée ;
- But du trajet : aller au travail, sur le lieu d'étude, de loisirs ou autre ;
- Complexité de l'itinéraire : direct (direct utilisant un seul mode de transport), unimodal (au moins un changement au sein d'un même mode) ou multimodal (au moins un changement entre deux modes).

Tableau 7. Les catégories des variables Facteur critique et Motivation et leur définition.

Variabiles	Catégories	Définitions utilisées pour la catégorisation
Facteur critique	Efficacité temporelle	Itinéraire plus long ou plus court que prévu, fluidité (attendre pendant l'itinéraire au début ou à un changement), arriver à l'heure ou pas
	Problème dans le système de transports	Problème de transports (incident technique ou grève) ou manque d'information (quand il y a un problème ne pas savoir où aller, combien de temps cela va prendre)
	Bien-être	Interaction avec les autres usagers (parler, rigoler ou échange déplaisant), être accompagné, le confort (être assis, trop de monde, pouvoir lire ou non)
	Ignorance du réseau	Se tromper de chemin ou ne pas connaître le réseau (ne pas être capable de trouver un nouveau chemin seul)
	Evènement inhabituel	Evènement externe au réseau (apprendre une bonne nouvelle), une manifestation atypique dans les transports (musicien, décoration spéciale)
Motivation	Temps de trajet	Prendre cet itinéraire car c'est le plus rapide
	Confort	Car c'est le plus confortable
	Fiabilité	C'est le plus fiable
	Evènement inattendu	Prendre cet itinéraire car un problème de transports ou un autre évènement a modifié l'itinéraire initial en cours de route
	Conditions exceptionnelles	Prendre cet itinéraire pour accompagner un ami de manière non habituelle
	Essai	Tester cet itinéraire pour la première fois

Les deux dernières variables sont des informations « subjectives » données par les participants :

- Facteur critique : le facteur rapporté par les participants pour justifier la valence de l'incident (voir Tableau 7) ;
- Motivation pour choisir l'itinéraire emprunté : la justification donnée par le participant pour choisir cet itinéraire (voir Tableau 7 pour les différentes catégories).

Pour certaines variables (but, complexité, moment et motivation) l'information n'était pas systématiquement présente dans l'incident et a alors été codée en « No Answers » (NA). Les NA représentent moins de 5% des incidents pour chaque dimension, à l'exception de la motivation pour laquelle il y a 29% de NA.

Nous avons ainsi obtenu 94 incidents caractérisés selon 8 dimensions (valence, fréquence, lieu, moment, but, complexité, facteur critique et motivation).

6.4.2. Questionnaires

6.4.2.a. Caractéristiques démographiques des participants

A partir des informations collectées dans le questionnaire nous avons codé les variables suivantes :

- Âge : 19 à 24 ans, 25 à 34 ans et 35 à 50 ans ;
- Genre : homme ou femme ;
- Catégorie socioprofessionnelle : étudiants, actifs ou étudiant/actif ;
- Complexité de l'itinéraire habituel : multimodal (combinaison de différents modes de transports) ou unimodal (un seul mode).

Concernant la distribution de nos participants selon la catégorie « âge », nous avons dans la catégorie « 19 à 24 ans » 10 participants (dont 7 femmes), parmi eux trois sont étudiants, un est actif et six sont étudiants et actifs. Dans les deux autres catégories, « 24 à 35 ans » (5 participants dont 3 femmes) et « 35 à 50 ans » (5 participants dont une femme), tous les participants sont actifs.

6.4.2.b. Les raisons des participants pour choisir un itinéraire dans différents contextes

Cette section du questionnaire a été analysée à l'aide des moyennes et des écarts-types obtenus par les participants aux questions avec des échelles de Likert. Pour les autres

questions nous avons codé 1 pour la réponse « oui » et 0 pour la réponse « non » et nous avons fait le score total.

6.4.2.c. Attitudes des participants envers les transports en commun

L'attitude des participants envers les transports en commun a été obtenue grâce à l'échelle en 19 items dédiée permettant de mesurer les avantages et désavantages perçus des transports en commun. Nous avons d'une part sommé les réponses des 12 items concernant les avantages pour obtenir un score sur 60 et d'autre part les 7 items concernant les désavantages pour obtenir un score sur 35.

Nous avons ensuite assemblé les scores pour obtenir une variable de perception des transports en commun (*i.e.* Perception des TC). Ainsi nous avons dégagé trois groupes parmi nos participants en fonction de leurs scores comme suit :

- Usagers qui sont « pro » transports en commun (Pro TC) : score élevé pour les avantages (>39, au-dessus du deuxième quartile) et score faible pour les désavantages (<20, en dessous du troisième quartile) ;
- Usagers qui apprécient les transports en commun (Apprécie TC) : score faible pour les avantages (<39, en-dessous du second quartile) et score élevé pour les désavantages (<20) ;
- Usagers qui aiment modérément les transports en communs (Modéré) : score faible pour les avantages (<39) et score élevé pour les désavantages (>20, au-dessus du troisième quartile).

6.4.2.d. Analyse des correspondances multiples

Nous avons mené une analyse des correspondances multiples (ACM) pour explorer les associations entre les catégories révélées dans les protocoles verbaux et dans les questionnaires. L'ACM est une méthode géométrique qui permet de mettre en évidence les liens entre des catégories. Elle permet l'analyse de variables catégorielles comme celles que nous avons dans notre étude (Le Roux & Rouanet, 2010). Nous avons mené une ACM

spécifique pour éliminer les biais dus aux données manquantes (« No Answers ») dans les variables actives (Le Roux & Rouanet, 2010).

L'ACM a été menée avec les cinq variables actives suivantes provenant des IC (représentant 18 catégories) : Lieu, Moment, But, Complexité et Facteur critique. Nous avons également ajouté sept variables supplémentaires provenant des IC et des questionnaires (24 catégories) : Valence, Fréquence, Motivation, Perception des TC, Complexité itinéraire habituel, Catégorie socioprofessionnelle, Age et le Genre.

6.5. Résultats

6.5.1. Incidents critiques

6.5.1.a. Résultats généraux

Parmi les 94 IC recueillis, 59 étaient négatifs et 35 positifs. 42 IC ont été rapportés pour l'itinéraire habituel et 52 pour un itinéraire alternatif. En moyenne, les participants ont rapporté 4,95 IC (minimum = 2, maximum = 12) dont 1,84 positifs et 3,11 négatifs.

6.5.1.b. Analyse des correspondances multiples : les variables actives révèlent 4 patterns d'itinéraires

Nous avons retenu deux axes pour l'interprétation des résultats (taux modifié cumulé = 80,4%). Pour l'interprétation de ces deux axes nous avons retenu les catégories pour lesquelles leur contribution était au-dessus de la contribution moyenne ici de 5,55% (100/18, 18 étant le nombre de catégories). Nous avons également retenu les catégories proches de ce critère (> 5,3%). Le Tableau 8 présente les contributions des catégories sur les axes et la Figure 30 montre la distribution des catégories actives sur le plan en deux dimensions.

Tableau 8. Les catégories contribuant à la formation des axes selon leur position par rapport à l'axe.

Axe 1 : Les contributions des 9 catégories (>5,55%), écrites en référence à leur coordonnées sur les axes ("gauche" pour les coordonnées négatives et "droite" pour les positives).			Axe 2 : Les contributions des 8 variables (>5,55%) écrites en référence à leur coordonnées sur l'axe ("haut" pour les coordonnées positives et "bas" pour les négatives).		
Lieu (13,46%)	Gauche	Droite	Lieu (10,09%)	Haut	Bas
Paris		6,95	Paris		6,16
Paris et Banlieue	5,47		Moment (25,91%)	Haut	Bas
Moment (31,45%)	Gauche	Droite	En journée		19,88
Matin		9,46	Matin	5,66	
Soir	21,99		Complexité (20,46%)	Haut	Bas
Complexité (19,52 %)	Gauche	Droite	Direct		15,54
Unimodal		13,3	But (26,85%)	Haut	Bas
Multimodal	5,7		Etudes	7,83	
But (26,95%)	Gauche	Droite	Loisirs		18,52
Retour	19,95		Facteur critique (14,93%)	Haut	Bas
Travail		5,55	Problème de transports		7,82
Facteur critique (8,55%)	Gauche	Droite	Efficacité temporelle	5,32	
Evènement inhabituel		5,34			

Les catégories contribuant à la formation de l'axe 1 (> 5,55%) sont : Paris, Matin, Soir, Unimodal, Multimodal, Travail et Retour. Les catégories proches du critère sont Paris et Banlieue (5,47%) et Evènement inhabituel (5,34%). Ces neuf catégories ensemble expliquent 94.01% de la variance de l'axe 1 et se situent des deux côtés de l'axe. A droite nous avons Paris, Matin, Unimodal, Travail et un Evènement inhabituel. Sur la gauche nous observons les variables suivantes : Paris et Banlieue, Soir, Multimodal et Retour. En résumé, cet axe oppose deux types d'itinéraires réalisés dans le contexte d'une journée de travail. A droite l'itinéraire décrit est celui pour se rendre au travail le matin dans Paris avec un seul mode de transport et pour lequel un évènement inhabituel influence la valence perçue de l'expérience (pour un exemple voir Tableau 9a). A gauche, l'itinéraire décrit est celui pour rentrer chez soi le soir, dans Paris et la Banlieue et utilisant différents modes de transports (voir Tableau 9b pour un exemple).

Tableau 9. Exemple d'incidents représentatifs de l'axe 1.

<p>a. Un incident typique représenté sur la droite de l'axe 1 (femme, 29 ans, active, positif, itinéraire habituel) « Mais alors là c'est vraiment super anodin comme situation, je prends la 1, [...] j'allais au travail, donc je prends la 1 et la 14 [...]. Et il y a un truc que je déteste le matin c'est les joueurs d'accordéon, j'en peux plus, [...]. Et puis quand il est 8h30-9h moi je ne suis pas très matinale [...]. Et je vois un mec qui rentre avec sa guitare et qui fait ça comme ça genre je vais jouer et je me dis oh non pas encore et en fait là, mais une voix exceptionnelle et il se met à chanter du Oasis qui est une chanson que j'adore [...] en fait je me suis vraiment dit « waaah » super et donc ça c'était plutôt cool et du coup ça m'a donné le sourire donc voilà. »</p>
<p>b. Un incident typique représenté sur la gauche de l'axe 1 (homme, 50 ans, actif, négatif, alternative) « J'ai suivi un collègue qui passait par St Lazare (station de train non habituelle), je l'ai accompagné au train à St Lazare (avec la ligne 9). Je voulais prendre un train (Régional) pour aller à Nanterre (Banlieue). Je suis allé dans le train mais il n'est jamais parti. Il y avait un problème technique, j'ai perdu une heure le temps que le train soit remplacé. »</p>

En ce qui concerne l'axe 2, les catégories Paris, En journée, Matin, Direct, Etudes, Loisirs et Problème de transports sont au-dessus du critère (> 5,55%). La catégorie Efficacité temporelle est proche du critère (5,32%). Ces huit catégories expliquent ensemble 83,73% de la variance de l'axe 2 et sont localisées des deux côtés de l'axe. En haut de l'axe on observe les catégories Matin, Etude et Efficacité temporelle ; et en bas de l'axe on observe les catégories Paris, En journée, Direct, Loisirs et Problème de transports. Cet axe oppose des itinéraires pour se rendre sur le lieu d'étude le matin où l'efficacité temporelle est importante (voir exemple Tableau 5) à des itinéraires effectués en journée pour aller aux loisirs pour lesquels des problèmes de transports ont lieu (voir exemple Tableau 10).

Tableau 10. Exemple d'un incident représentatif de l'axe 2.

<p>Un incident typique représenté en bas sur l'axe 2 (femme, 19 ans, étudiante/active, positif, alternative) "C'est vrai qu'elle [amie] habite plus près de la gare que moi. Et moi avant j'habitais plus près du métro, [...] du coup j'étais plus habituée à prendre le métro. C'est vrai qu'elle a pensé à regarder les horaires des trains pour Montparnasse [...] et elle m'a dit qu'on devrait essayer pour aller à la zumba, ça serait plus rapide et c'est vrai que j'ai trouvé ça bien parce que finalement c'était à équidistance la gare et le métro et c'était plus rapide, plus simple. [...] finalement c'était un bon compromis."</p>

En résumé, l'ACM sur les variables actives permet d'identifier quatre patterns d'itinéraires réalisés par nos participants ayant des liens avec le contexte et des critères :

- Aller au travail en présence d'un évènement inhabituel ;
- Rentrer chez soi le soir de Paris à la Banlieue ;

- Aller sur son lieu d'étude le matin avec le critère d'efficacité temporelle ;
- Aller sur son lieu de loisirs en journée et rencontrer des problèmes de transports.

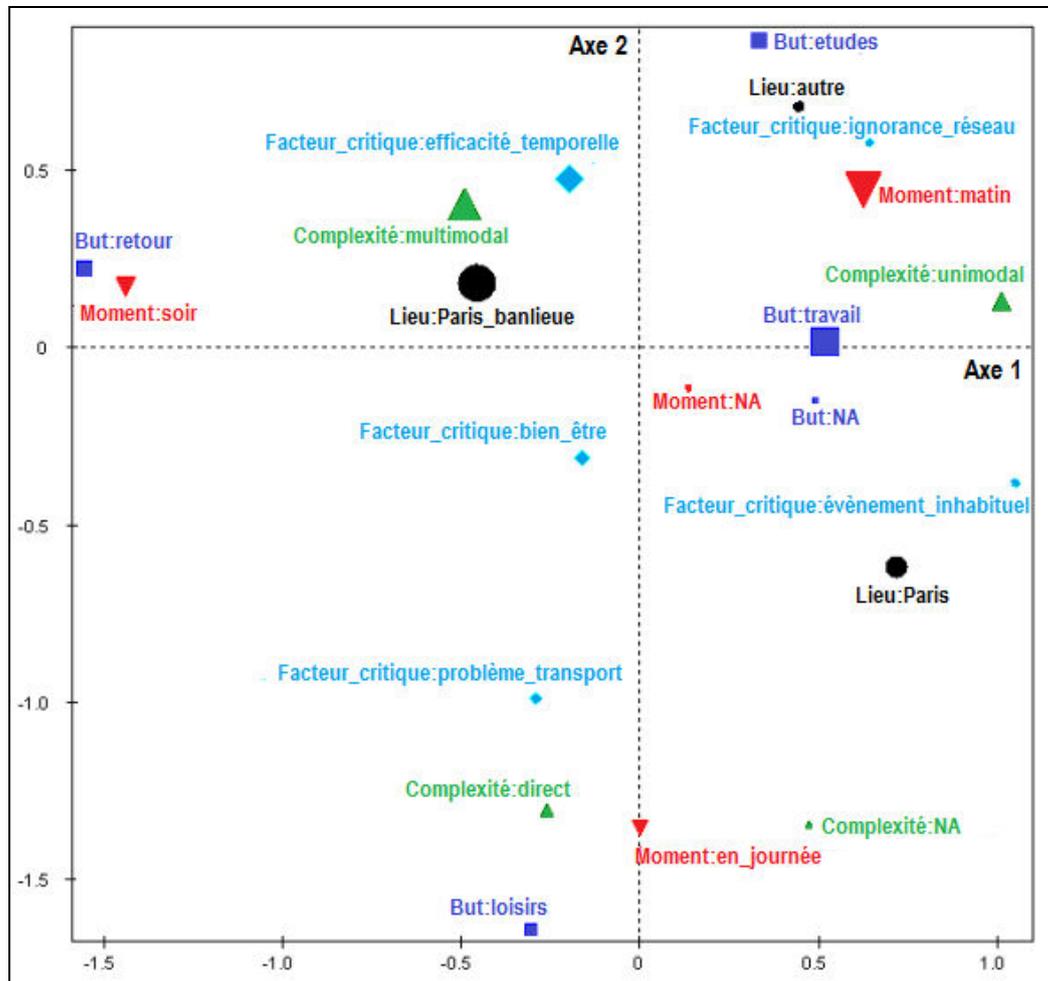


Figure 30. Nuage des variables actives des deux axes retenus sur le plan en deux dimensions.

6.5.1.c. Les variables supplémentaires montrent des associations entre les 4 patterns d'itinéraires, le contexte et le profil des usagers

Dans l'objectif d'explorer les associations entre les quatre patterns d'itinéraires mis en évidence précédemment, les caractéristiques des participants ainsi que les motivations nous avons analysé les variables supplémentaires (*i.e.* Valence, Fréquence, Motivation, Perception des TC, Complexité de l'itinéraire habituel, Statut socioprofessionnel, Âge et Genre). Ainsi, nous avons regardé les déviations par rapport aux axes entre les coordonnées des catégories d'une même variable supplémentaire. Une déviation plus importante que 0,5 (différence entre les coordonnées de deux catégories) est considérée comme « notable » (Le

Roux & Rouanet, 2010). Les poids et les coordonnées des catégories sont présentés dans le Tableau 11 et les oppositions entre les catégories notables sont présentées dans le Tableau 12.

Tableau 11. Poids et coordonnées des variables supplémentaires sur les deux axes.

Catégories	Poids	Coordonnées		Catégories	Poids	Coordonnées	
		Axe 1	Axe 2			Axe 1	Axe 2
Valence				Statut socioprofessionnel			
Négative	59	-0,07	0,05	Etudiant	12	0,03	-0,19
Positive	35	0,13	-0,09	Actif	48	0,01	0,03
Fréquence				Etudiant/actif	34	-0,03	0,02
Alternative	52	-0,22	0,09	Âge			
Habituel	42	0,28	-0,11	19_24	52	-0,02	0,03
Perception des TC				25_34	31	0,19	-0,26
Modéré	19	0,28	0,21	35_50	11	-0,45	0,62
Apprécie	26	0,16	-0,45	Motivation			
Pro	49	-0,19	0,16	Condition exceptionnelle	9	-0,56	0,23
Complexité habituelle				Confort	11	-0,06	-0,38
Multimodal	41	-0,43	0,48	Essai	11	0,09	-0,47
Unimodal	53	0,33	-0,37	Fiabilité	1	1,23	0,22
Genre				Inattendu	16	-0,07	0,37
Homme	36	-0,39	0,43	Temps de trajet	27	0,16	0,2
Femme	58	0,24	-0,27	NA	22	-0,07	-0,2

Valence et fréquence

Sur l'axe 1 on remarque une opposition notable entre l'itinéraire habituel et l'itinéraire alternatif ($0,28 - (-0,22) = 0,5$). En revanche on ne remarque pas d'opposition notable entre les catégories de la valence. De même sur l'axe 2 il n'y a pas d'opposition notable pour la fréquence et la valence. L'absence d'effet de la valence indique ici que les participants ont aussi bien décrit des IC positifs que négatifs dans les quatre patterns d'itinéraires mis en évidence.

Profil des usagers

Sur l'axe 1 on note une opposition entre les participants utilisant habituellement un itinéraire multimodal ou unimodal ($-0,43 - (+0,33) = 0,76$), entre les hommes et les femmes ($-0,39 - (+0,24) = 0,63$), entre les 25-34 ans et les 35-50 ans ($0,19 - (-0,45) = 0,64$). On note

également une déviation proche de 0,5 entre les participants Pro TC et les Modérés ($-0,19 - (+0,28) = 0,47$). En revanche on ne remarque aucune opposition entre les différents statuts socioprofessionnels, permettant d'éliminer un potentiel biais lié à une confusion avec l'âge et attestant que tous les statuts sont retrouvés dans les quatre patterns d'itinéraires. On remarque donc sur l'axe 1 une opposition entre des usagers qui sont des hommes, utilisant habituellement un itinéraire multimodal qui ont entre 35 et 50 ans et qui sont Pro TC avec des usagers qui sont majoritairement des femmes, utilisant habituellement un itinéraire unimodal, ont entre 25 et 34 ans et aiment modérément les TC.

Sur l'axe 2 on remarque une opposition entre les participants utilisant habituellement un itinéraire multimodal ou unimodal ($0,48 - (-0,37) = 0,85$), entre les hommes et les femmes ($0,43 - (-0,27) = 0,7$), entre les 25-34 ans et les 35-50 ans ($-0,26 - (+0,62) = 0,88$), entre les participants qui apprécient les TC et ceux qui aiment modérément ($-0,45 - (+0,21) = 0,66$) et entre les participants qui apprécient les TC et ceux qui sont Pro TC ($-0,45 - (+0,16) = 0,61$). On ne note aucune différence en fonction du statut socioprofessionnel. Ainsi, on constate une opposition entre deux profils de participants, les premiers sont plutôt des hommes entre 35 et 50 ans, utilisant habituellement un itinéraire multimodal et Pro TC. Les autres sont plutôt des femmes âgées de 24 à 35 ans, utilisant habituellement un itinéraire unimodal et qui apprécient les TC ou les aiment modérément.

Motivations

Sur l'axe 1 on observe des oppositions entre la catégorie Condition exceptionnelle et Essai ($-0,56 - (+0,09) = 0,65$), et le Temps de trajet ($-0,56 - (+0,16) = 0,72$). On note également des oppositions entre la fiabilité et différentes catégories qui ne peuvent pas être prises en considération compte tenu du petit effectif dans la catégorie Fiabilité, qui produit un biais dans l'analyse des correspondances multiples. En effet, cette analyse considère les petits effectifs comme exceptionnels et leur confère donc une grande importance. Par conséquent, les coordonnées de cette catégorie sont excentrées, ce qui engendre des déviations avec les autres catégories de plus de 0,5, sans pour autant être interprétables du fait du petit effectif.

Sur l'axe 2 on remarque des oppositions entre le confort et la Condition exceptionnelle ($-0,38 - (+0,23) = 0,62$), Événement inattendu ($-0,38 - (+0,37) = 0,75$) et avec Temps de trajet ($-0,38 - (+0,20) = 0,58$). On observe également des oppositions entre Essai et

Condition exceptionnelle (-0,47-(+0,23) = 0,70), Evènement inattendu (-0,47-(+0,37) = 0,84) et avec Temps de trajet (-0,47-(+0,20) = 0,67).

Tableau 12. Tableau résumant les oppositions des catégories des variables supplémentaires sur les axes à partir de leurs coordonnées.

Axe 1		Axe 2	
Coordonnées +	Coordonnées -	Coordonnées +	Coordonnées -
Habituel	Alternatif		
Unimodal	Multimodal	Multimodal	Unimodal
Femmes	Hommes	Hommes	Femmes
25_34 ans	35_50 ans	35_50 ans	25_34 ans
Modérés	Pro_TC	Modéré	Apprécie_TC
		Pro_TC	
Essai	Condition exceptionnelle	Condition exceptionnelle	Confort
Temps de trajet			Evènement inattendu
			Temps de trajet

En résumé, nous observons des associations entre les profils des participants, les motivations et des éléments de contexte (voir Tableau 12) avec les quatre patterns d'itinéraires mis en évidence précédemment, ce qui permet de dégager trois profils d'utilisateurs :

- Profil 1 : ce sont les participants Pro TC qui utilisent habituellement des itinéraires multimodaux, qui sont des hommes principalement âgés de 35 à 50 ans. Ce profil est associé à l'itinéraire pour rentrer chez soi le soir avec un itinéraire multimodal. Ces utilisateurs ont rapporté plus d'incidents pour lesquels ils ont testé des alternatives et rapportent des motivations liées aux conditions exceptionnelles, au confort et à la survenue d'évènements inattendus. Ainsi ces utilisateurs semblent flexibles dans leur choix et ne pas prendre en considération uniquement le caractère pratique des TC.
- Profil 2 : correspond aux utilisateurs qui apprécient modérément les TC, qui utilisent des itinéraires unimodaux de façon habituelle, sont des femmes âgées de 25 à 34 ans. Ce profil est plus associé à l'itinéraire pour se rendre au travail avec un itinéraire unimodal. Ces utilisateurs ont rapporté plus d'incidents pour lesquels ils empruntaient un itinéraire habituel et rapportent des motivations liées au fait d'essayer un nouvel

itinéraire et au temps de trajet. Ainsi ces usagers semblent choisir leur itinéraire par habitude et porter attention au caractère pratique des TC.

- Profil 3 : ce sont des usagers qui apprécient les TC, qui sont principalement des femmes âgées de 25 à 34 ans. Ce profil est associé plutôt à l'itinéraire pour se rendre à une activité de loisirs et aux motivations telles que le confort et l'essai. Ainsi ces usagers ont un profil proche du profil 2 mais ont des motivations différentes.

6.5.2. Questionnaire : les raisons des participants pour choisir un itinéraire dans différents contextes

En ce qui concerne l'itinéraire habituel pour se rendre au travail ou sur le lieu d'étude, nos participants sont principalement d'accord avec quatre raisons pour expliquer leur choix : par habitude ($M = 4,53/5$; $ET = 0,07$; $Me = 5$)⁷, car c'est le plus rapide ($M = 4,53/5$; $ET = 1,02$; $Me = 5$), c'est le plus fiable ($M = 3,79/5$; $ET = 1,18$; $Me = 4$) et ils préfèrent celui-ci comparé aux alternatives ($M = 3,79/5$; $ET = 1,18$; $Me = 4$). Ce dernier point est confirmé par le fait que nos participants reportent que leur choix ne dépend pas du fait qu'ils ne connaissent pas d'autre itinéraire comme l'indique le bas score à cet item ($M = 1,58/5$; $ET = 1,17$; $Me = 1$). En revanche, seulement quatre participants ont rapporté choisir leur itinéraire car il est agréable ($M = 2,74$; $ET = 0,99$; $Me = 3$). Enfin, les participants ne sont pas d'accord pour dire qu'ils choisissent leur itinéraire habituel pour éviter les combinaisons de plusieurs modes de transports ($M = 2,53/5$; $ET = 1,61$; $Me = 2$). Cependant, 50% des participants sont d'accord pour dire qu'ils évitent les itinéraires avec des correspondances ($M = 2,95/5$; $ET = 1,78$; $Me = 3$).

En ce qui concerne l'utilisation de la multimodalité de manière générale pour tous les types de trajets, parmi les 17 participants rapportant utiliser celle-ci, les trois raisons principales avancées sont : il s'agit d'itinéraires agréables (10/17 participants), plus courts (9/17) ou parce qu'il n'y a pas d'autre alternative (10/17). En revanche seulement six participants sur 17 reportent utiliser ce type d'itinéraire parce qu'ils sont plus fiables.

⁷ Dans cette partie, M = moyenne ; ET = écart-type et Me = médiane

Enfin, quand les participants planifient un nouvel itinéraire ils préfèrent utiliser l'itinéraire avec le moins de transferts possible ($M = 3,53/5$; $ET = 1,26$; $Me = 3$). On remarque des différences dans notre échantillon sur le fait d'utiliser des itinéraires multimodaux : sept participants préfèrent l'unimodalité, six n'ont pas d'opinion et six ne prennent pas ce critère en compte.

6.6. Discussion et conclusion

L'objectif de cette étude était d'explorer les déterminants du choix d'itinéraires en transports en commun (*i.e.* TC) liés au profil de l'utilisateur et au contexte. Ainsi nous avons recueilli l'expérience d'utilisateurs à l'aide de la technique des incidents critiques (Flanagan, 1954) pour des itinéraires habituels ou des alternatives, positifs ou négatifs. De plus, à l'aide de questionnaires nous avons caractérisé les profils des utilisateurs en termes d'attitudes envers les TC, d'utilisation des TC et de variables sociodémographiques.

Un premier résultat est que le choix d'itinéraires des utilisateurs dépend du contexte et qu'en fonction de celui-ci les critères utilisés ne sont pas les mêmes. En effet, l'analyse de l'expérience réelle des utilisateurs nous a permis de mettre en évidence quatre patterns d'itinéraires représentant des associations spécifiques entre le but du trajet (travail, loisirs, étude et retour), la complexité (multimodal ou non), le moment de la journée, et le lieu de l'incident. Ces quatre patterns sont associés avec différents facteurs critiques justifiant la valence de l'incident. Ce résultat indique qu'en fonction du contexte de l'itinéraire les utilisateurs n'ont pas la même perception des événements qui peuvent rendre l'itinéraire satisfaisant ou non. De plus, les résultats du questionnaire montrent que les participants ne considèrent pas les critères selon la même importance si l'itinéraire à planifier est habituel ou nouveau. L'ensemble de ces résultats montrent que les critères de sélection n'ont pas la même importance selon le contexte et permettent d'approfondir les connaissances sur les effets de contexte sur le choix d'itinéraires (Klößner & Friedrichsmeier, 2011) en TC jusqu'alors peu exploré dans la littérature.

Un deuxième résultat met en évidence que le contexte seul ne peut pas prédire entièrement la satisfaction ou non par rapport à l'itinéraire emprunté. En effet, des incidents positifs et négatifs sont retrouvés pour les différents types d'itinéraires recueillis : aller sur

son lieu de travail/études, en revenir ou aller à une activité de loisirs. Ainsi, un incident peut être satisfaisant bien qu'il soit dans le cas d'un itinéraire habituel, alternatif ou unimodal comme multimodal. Ce résultat est en accord avec la littérature sur la satisfaction qui a montré que la valence d'une seule variable (par exemple le temps d'attente) ne pouvait pas prédire la satisfaction de l'itinéraire (Friman, 2010), et indique donc que la satisfaction par rapport à un itinéraire dépend d'un ensemble de variables et de leurs interactions.

Notre étude révèle un troisième résultat intéressant montrant que la décision d'utiliser un itinéraire alternatif ou multimodal est influencée par le contexte et des variables liées à l'agrément de l'itinéraire. En ce qui concerne l'utilisation de la multimodalité, les participants ont reporté utiliser celle-ci dans le questionnaire, mais selon le contexte ils n'ont pas répondu de la même manière. Quand ils doivent planifier un nouvel itinéraire ils préfèrent ne pas choisir un itinéraire avec des correspondances. Ceci peut être expliqué par les résultats que nous avons mis en évidence dans l'étude précédente (chapitre 4), qui montrent que la planification d'un itinéraire avec plusieurs correspondances demande plus d'opérations et de temps. En revanche, pour un itinéraire habituel comme celui pour aller au travail, l'évitement des changements n'apparaît plus comme un critère. Ces résultats montrent que la connaissance de l'environnement et l'habitude d'utilisation d'un itinéraire ont une influence sur l'utilisation d'itinéraires multimodaux comme l'avait montré l'étude de Schmitt *et al.* (2013) pour d'autres critères (*e.g.*, agréabilité). Les raisons générales données pour choisir un itinéraire multimodal sont l'agrément et la rapidité. L'expérience des usagers recueillie dans les incidents critiques permet d'approfondir ce résultat. En effet, dans les incidents, les itinéraires alternatifs et/ou multimodaux sont plus empruntés dans le cas de retour chez soi le soir associés à l'agrément, alors que les itinéraires habituels et/ou unimodaux sont plus choisis le matin avec comme principale raison la rapidité. Une interprétation possible de ces résultats est que les itinéraires alternatifs et/ou multimodaux sont plus choisis dans des contextes où les risques sont faibles, sans pression temporelle comme le soir. Au contraire, le matin pour se rendre au travail, qui est un contexte avec peu de flexibilité (Chowdhury & Ceder, 2013), les usagers préfèrent un itinéraire bien connu et efficace. Ce résultat permet de montrer que des critères liés à l'agrément sont à prendre en considération dans l'étude du choix d'itinéraires en TC. En effet, la plupart des recherches dans le domaine considèrent uniquement les critères pratiques (*i.e.* temps d'attente, qualité

des informations données) pour proposer des améliorations de ceux-ci dans le réseau urbain, afin de favoriser l'utilisation des itinéraires avec des correspondances (Chowdhury & Ceder, 2013). Or notre étude permet de montrer que l'un des déterminants est l'agrément, comme par exemple prendre un mode de transports passant par l'extérieur (*i.e.* bus) pour profiter de la vue ou accompagner un ami le long de l'itinéraire.

Par ailleurs, notre étude nous a permis d'identifier trois profils parmi les usagers menant à des choix d'itinéraires et des critères de sélection différents. Le premier profil décrit des usagers qui sont vraiment flexibles dans leurs choix d'itinéraires. Ils semblent plus enclins à tester de nouveaux itinéraires dans de nombreux contextes (travail, loisirs), et leurs choix d'itinéraires ne sont pas seulement motivés par l'efficacité comme le temps de trajet mais aussi par des raisons spontanées comme une humeur particulière. Un second type d'usagers utilisent les TC pour leur utilité et efficacité. Ils n'essaient pas souvent de nouvelles alternatives à leur itinéraire habituel et préfèrent des itinéraires unimodaux qui répondent à des critères d'efficacité comme le temps de trajet. Un troisième type d'utilisateur proche du second met en évidence des usagers peu flexibles mais qui ont des critères de sélection pas forcément liés au caractère pratique, comme le confort ou l'essai. Notre analyse des profils d'usagers met également en évidence des liens entre les attitudes et l'utilisation des TC. Les usagers qui sont « Pro » TC vont utiliser des itinéraires plus variés qui peuvent être multimodaux pour leurs trajets. En revanche les usagers qui ont une moins bonne opinion des TC vont plutôt utiliser un itinéraire spécifique qui sera unimodal. Ces résultats, montrant une influence de l'attitude sur le type d'itinéraire emprunté, vont dans le sens des études précédentes ayant attesté que l'attitude était un prédicteur de l'intention de réaliser un comportement dans le cas d'un choix de mode de transports (Beirão & Cabral, 2007 ; Hunecke *et al.*, 2001 ; Klöckner & Friedrichsmeir, 2011). Nos résultats permettent également pour la première fois de noter l'influence de l'attitude envers les TC, et plus largement du profil des usagers sur le type d'itinéraire en TC choisi pour effectuer des trajets dans différents contextes.

Enfin, nous remarquons que dans notre échantillon les hommes semblent plus enclins à choisir des itinéraires multimodaux et alternatifs à leur itinéraire habituel que les femmes. Ce résultat va dans le sens inverse de ceux obtenus par Chowdhury *et al.* (2013) montrant que les femmes seraient plus favorables à l'utilisation d'itinéraire avec des

correspondances. Cette différence peut s'expliquer par les méthodes d'investigation qui ne sont pas les mêmes dans les deux études (*i.e.* intentions vs. expérience réelle de réalisation) et par un nombre restreint de participants dans notre étude. Une autre explication peut être que les correspondances entre deux lignes d'un même mode ne sont pas perçues de la même manière qu'entre deux modes. En effet, dans nos questionnaires, les participants ont répondu éviter les correspondances au sein d'un même mode mais pas entre deux modes différents. De plus, nous pouvons faire l'hypothèse qu'un changement entre deux modes de transports peut être plus complexe qu'un changement au sein d'un même mode, car dans le premier cas il faut changer de référentiel, par exemple passant de souterrain à extérieur, et changer de signalétique (Fontaine & Denis, 1999).

En conclusion, comme nous l'avons prédit dans notre modèle PLANITRAC, notre étude menée à partir du recueil de l'expérience réelle des usagers et de questionnaires met en évidence que le choix d'itinéraires en TC est influencé par le contexte dans lequel la décision est effectuée (but du trajet) et par le profil de l'utilisateur (attitudes, caractéristiques sociodémographiques). De plus, nos résultats montrent que le choix d'itinéraires n'est pas toujours guidé par des critères pratiques mais aussi pour la recherche d'un itinéraire plus agréable. Enfin, les critères pris en compte semblent différer selon les usagers et les contextes révélant ainsi des interactions entre ces deux facteurs sur le choix de critères. Ce dernier résultat apporte des éléments empiriques allant dans le sens de notre modèle prédisant que le choix du critère de sélection qui permet l'ajustement de la recherche de l'itinéraire est déterminé par des facteurs individuels, contextuels et par leurs interactions. Toutefois, cette étude était exploratoire et ne nous a pas permis de tester spécifiquement les effets de ces facteurs sur le choix. De même, nous n'avons pas investigué l'effet précis des habitudes et de certaines capacités cognitives pouvant entrer en compte, notamment les capacités spatiales. Au final, nos résultats constituent un premier pas vers la compréhension des effets de facteurs individuels et contextuels sur le processus de choix d'itinéraires en transports en commun qui vont dans le sens de notre modèle.

Chapitre 7. Sélectionner un itinéraire : influence des facteurs individuels et contextuels sur le choix multi-attributs.⁸

7.1. Introduction

Dans le cas où l'utilisateur n'a pas à concevoir un itinéraire mais seulement à le choisir (e.g., planificateur sur internet par exemple), le modèle PLANITRAC que nous proposons suggère que l'utilisateur doit uniquement réaliser l'étape de sélection. Cette sélection doit se faire parmi plusieurs alternatives disposant d'attributs (i.e. éléments décrivant l'itinéraire comme temps de trajet ou le nombre de correspondances), et l'utilisateur doit alors réaliser un choix multi-attributs. Dans le modèle PLANITRAC, nous envisageons que la sélection d'un itinéraire se fera selon l'« hypothèse d'importance » (Tversky *et al.*, 1988 ; Slovic, 1995). L'utilisateur choisira donc l'alternative correspondant à ses préférences, i.e. l'alternative qui répond à ses critères de sélection. Ainsi, l'objectif de cette étude est de tester « l'hypothèse d'importance » dans le cas de choix entre différentes alternatives en transports en commun. Cette étude nous permettra également d'approfondir les connaissances actuelles sur les effets des facteurs contextuels et individuels (i.e. attitudes, habitudes, caractéristiques sociodémographiques, les préférences), sur le choix d'un critère de sélection. Nous allons également étudier l'effet des capacités spatiales sur le choix d'itinéraires.

Dans la littérature sur le choix d'itinéraires et de mode de transports, il a été mis en évidence que les usagers utilisaient aussi bien des critères pratiques que des critères liés à l'agrément de l'itinéraire pour faire leur choix (Golledge, 1995 ; Hölscher *et al.*, 2011 ; Mann & Abraham, 2006 ; Popuri *et al.*, 2011 ; Rubens *et al.*, 2011). Dans l'étude précédente (chapitre 6), nous avons montré que ceci était également vrai dans le cas de choix d'itinéraires en TC. De plus cette étude nous a permis de révéler que le choix d'un critère

⁸ Les résultats de cette étude ont été présentés dans deux congrès :

Grison, E., Gyselinck, V., & Burkhardt, J.-M. (2015). Influence of User's Preferences and Spatial Abilities on Criteria to Choose a Route in Public Transport, *European Congress of Psychology*, Milan: Italia

Grison, E., Gyselinck, V., & Burkhardt, J.-M. (2014). Cognitive constraints of route planning: does it influence eco-friendly mobility behaviour ? *28th International Congress of Applied Psychology*, Paris : France.

pratique ou lié à l'agrément était déterminé par des facteurs aussi bien contextuels (*e.g.*, moment de la journée, but du trajet) qu'individuels (*e.g.*, âge, sexe, attitude envers les TC). Toutefois, l'influence des préférences habituelles, c'est-à-dire le critère qu'utilise habituellement l'utilisateur, n'a pas été considéré. Il s'avère pourtant, d'après l'« hypothèse d'importance », que la sélection d'une alternative lors d'un choix multi-attributs est guidée par les préférences des usagers.

Nous avons également vu dans la partie théorique de la thèse que les capacités spatiales étaient impliquées à différents stades de la planification. Par exemple, la visualisation et l'orientation spatiale permettent aux individus de créer des Modèles Mentaux qu'ils pourront ensuite utiliser pour planifier leurs itinéraires (Hegarty *et al.*, 2006 ; Meneghetti *et al.*, 2009 ; Nys *et al.*, 2015). Il a également été montré que la mémoire spatiale (Gärling *et al.*, 1986 ; Wiener *et al.*, 2009) et le raisonnement spatial (Vickers *et al.*, 2001) sont nécessaires pour sélectionner une stratégie lors de la planification. Un point qu'il est alors important de noter est qu'il a été observé que tous les individus ne disposent pas du même niveau de capacités spatiales et donc ne créent pas tous leurs modèles mentaux spatiaux de la même manière (Gras *et al.*, 2012 ; Hegarty *et al.*, 2006). Nous pouvons alors faire l'hypothèse que l'itinéraire planifié dépendra des capacités de chacun et que les individus ayant de moins bonnes capacités spatiales auront plus de difficultés à planifier un itinéraire, ou choisiront l'itinéraire le plus simple à suivre ensuite. Il a d'ailleurs été mis en évidence que lorsque les usagers planifient un itinéraire pour eux-mêmes, quand ils connaissent la ville, ils vont choisir un itinéraire complexe (*i.e.*, plus de changements de directions) mais rapide. En revanche, ils vont choisir un itinéraire moins complexe lorsqu'ils planifient un itinéraire pour des personnes ne connaissant pas la ville (Hölscher *et al.*, 2011, expérience 2).

Dans le cadre des itinéraires empruntant les TC, l'une des difficultés rencontrées, non seulement lors de la planification mais aussi de la navigation, sont les correspondances. Certains auteurs ont fait l'hypothèse que les itinéraires en TC avec des correspondances sont complexes et demandent un bon sens de l'orientation, et donc de bonnes capacités spatiales, pour trouver son chemin (Timpf, 2002 ; Mondschein *et al.*, 2009). Rüetschi et Timpf (2005) sont allés plus loin et ont émis l'hypothèse que, selon leurs capacités spatiales, les usagers ne devraient pas faire le même choix d'itinéraire, notamment compte tenu de la

difficulté des correspondances. En d'autres mots, un usager sachant qu'il peut être difficile pour lui de s'orienter choisira peut-être un itinéraire plus simple, en termes de nombre de correspondances, qu'un usager pour qui l'orientation ne pose aucun problème.

7.2. Objectifs

Le premier objectif de cette étude est de tester à l'aide d'un paradigme de choix forcé entre deux alternatives en TC l'« hypothèse d'importance » (Slovic, 1995 ; Tversky *et al.*, 1988). Le deuxième objectif est d'approfondir les connaissances actuelles sur les effets des facteurs contextuels et individuels, notamment les attitudes, habitudes, caractéristiques sociodémographiques et les préférences, sur le choix de critère. Le troisième est de tester l'hypothèse selon laquelle un usager sachant qu'il sera potentiellement difficile pour lui de s'orienter lors de la réalisation de son itinéraire choisira alors un itinéraire plus simple (*i.e.*, avec moins de correspondances). Nous avons donc demandé aux participants de choisir un itinéraire, dans différents contextes, parmi deux alternatives qui ont été contrastées - en accord avec les résultats précédemment trouvés (chapitre 6) - sur le type de critère (*i.e.* pratique, le nombre de correspondances vs. l'agréabilité, le confort). Le temps de trajet étant un critère qui semble très important, qui a des effets très massifs lors du choix du mode de transports (Popuri *et al.*, 2011 ; Rubens *et al.*, 2011) et qui peut influencer la planification (Hölscher *et al.*, 2011), a été manipulé. Afin de mesurer les facteurs individuels, auxquels nous nous intéressons, nous avons utilisé différentes échelles et questionnaires. En ce qui concerne les capacités spatiales, nous avons choisi l'échelle du sens de l'orientation (Hegarty *et al.*, 2002) qui permet d'obtenir une mesure globale des capacités spatiales. De plus, elle a l'avantage d'être une auto-évaluation, ce qui permet de tester l'hypothèse concernant l'effet de l'estimation qu'ont les usagers de leur sens de l'orientation sur l'itinéraire choisi.

7.3. Méthode

7.3.1. Participants

60 participants, dont 16 hommes, principalement étudiants en deuxième année de psychologie, ont pris part à l'étude en échange de crédits pour leur cours. Les participants étaient âgés de 18 à 41 ans ($M = 21,88$; $ET = 4,28$).

Tous les participants utilisent fréquemment les transports en commun de la région Île-de-France pour se rendre sur leur lieu d'étude ou de travail. Ils ont un abonnement aux transports en commun pour voyager excepté deux d'entre eux (carnet de tickets ou gratuité). Le temps moyen de l'itinéraire domicile au lieu d'études/travail des participants est de 59,7 minutes ($ET = 24,02$). Parmi les participants, 24 utilisent un itinéraire unimodal (*i.e.*, un seul mode de transports mais avec des changements) pour se rendre sur leur lieu d'étude ou de travail, 33 empruntent un itinéraire multimodal (*i.e.*, plusieurs modes de transports) et trois un itinéraire direct (*i.e.*, un seul mode de transports et sans changement).

7.3.2. Matériel

7.3.2.a. Mises en situation : création de contextes

Nous avons voulu créer trois mises en situations reprenant les trois buts de trajet, *i.e.* travail/étude, retour chez soi et loisirs, mis en évidence dans l'étude précédente (chapitre 6). Pour ce faire, nous avons dans un premier temps créé 27 mises en situation résultant de la combinaison des éléments suivants :

- Le but du trajet : aller au travail, rentrer chez soi ou aller à une activité de loisir ;
- Le moment de la journée et l'heure : le matin, l'après-midi ou le soir ;
- Le temps qu'il fait : ensoleillé, mitigé, pluvieux, nuageux ;
- L'état dans lequel est la personne : de bonne humeur, de mauvaise humeur ou neutre.

Ces situations se présentent sous la forme d'une phrase accompagnée d'images qui représentent les éléments décrits par la phrase (pour exemple, voir Figure 31).

Nous avons ensuite réalisé un pré-test pour ces 27 situations auprès de 31 participants (dont 12 hommes), étudiants âgés en moyenne de 22,3 ans ($ET = 4,8$), afin de sélectionner celles qui étaient jugées les plus réalistes (*i.e.* si ces situations pouvaient faire partie de la vie quotidienne des personnes) et neutres sur le plan émotionnel. Le pré-test prenait la forme d'une note à attribuer sur une échelle de Likert en 7 points pour la valence et le réalisme (1 = négatif/pas réaliste à 7 = positif/très réaliste et 4 = neutre).

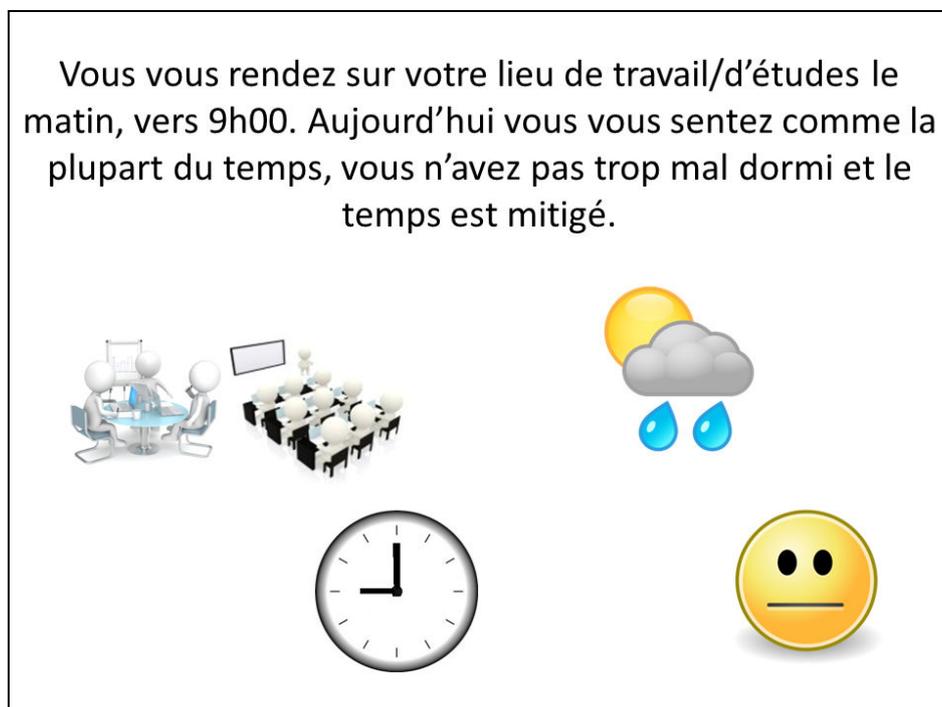


Figure 31. Exemple d'une mise en situation pour aller sur le lieu de travail ou d'études.

Grâce à ce pré-test nous avons pu sélectionner les trois situations suivantes, dont une pour chaque but de trajet :

- *Aller au travail/sur le lieu d'études* : « Vous vous rendez sur votre lieu de travail/d'études le matin, vers 9h. Aujourd'hui vous vous sentez comme la plupart du temps, vous n'avez pas trop mal dormi et le temps est mitigé » (Valence : $M = 4,36/7$, $ET = 1,19$; Réalisme : $M = 5,84/7$, $ET = 1,07$).

- *Retour chez soi* : « Vous rentrez du travail/des cours en fin d'après-midi, vers 19h. Votre journée s'est déroulée normalement et le temps est mitigé » (Valence : $M = 4,48/7$, $ET = 0,87$; Réalisme : $M = 6,24/7$, $ET = 0,97$).
- *Aller à une activité de loisir* : « Vous vous rendez à votre activité de loisir dans l'après-midi. Le temps est gris et vous vous sentez plutôt bien » (Valence : $M = 5,16/7$, $ET = 0,69$; Réalisme : $M = 5,48/7$, $ET = 1,42$).

7.3.2.b. Choix d'itinéraires

Quarante-huit paires d'itinéraires en TC ont été créés. Chaque paire oppose deux itinéraires sur leur niveau de confort et le nombre de modes de transports : un itinéraire est confortable mais est composé de trois modes de transports (*i.e.*, multimodal) et l'autre n'a qu'un seul mode de transports (*i.e.*, unimodal) mais n'est pas confortable.

Nous avons décliné ces paires d'itinéraires en créant huit façons de traduire un élément signifiant un potentiel confort, et huit façons de traduire un élément signifiant l'inconfort. Les informations sur le confort sont liées aux places assises, au bruit, au nombre de personnes dans les transports, à la chaleur, à la possibilité de lire ou écouter de la musique et au fait d'être tranquille ou non durant l'itinéraire. Les huit habillages confortables sont associés avec différentes combinaisons de trois modes de transports (parmi le bus, le métro, le tramway et le RER) et les huit habillages inconfortables sont associés avec un mode de transports. Les combinaisons de modes résultent des possibilités d'itinéraires à trois modes en utilisant les quatre modes sélectionnés (*i.e.*, bus, métro, RER et tramway). Nous avons également fait des rotations pour qu'un mode se retrouve au moins une fois en premier dans l'itinéraire, une fois en deuxième et une fois en troisième (voir Tableau 13 pour l'ensemble des combinaisons et l'annexe 5.a pour les différents habillages).

Tableau 13. Combinaisons possibles des modes de transports dans les choix d'itinéraires.

Itinéraire 3 modes			Itinéraire 1 mode
métro	bus	tramway	Bus ou tramway
bus	métro	RER	Bus ou métro
RER	Tramway	métro	Métro ou RER
tramway	RER	bus	Tramway ou RER

Finalement, les huit paires d'itinéraires ont été dupliquées dans deux conditions de longueur d'itinéraire. Ainsi, les huit paires qui sont dans la condition d'itinéraires considérés comme courts (inférieurs à 30 minutes pour les deux itinéraires⁹) sont également retrouvées dans la condition d'itinéraires longs (supérieurs à 45 minutes pour les deux itinéraires). Au sein de chaque choix les deux itinéraires ont une durée équivalente, par exemple 25 et 26 minutes pour la condition d'itinéraires courts.

Au final, nous obtenons 16 paires d'itinéraires (voir Figure 32 pour un exemple), huit dans chaque condition de longueur et pour lesquels les informations sur le confort et les combinaisons modes de transports sont différentes. Ces 16 paires d'itinéraires sont les mêmes pour les trois conditions de contexte, ce qui donne au total 48 choix.

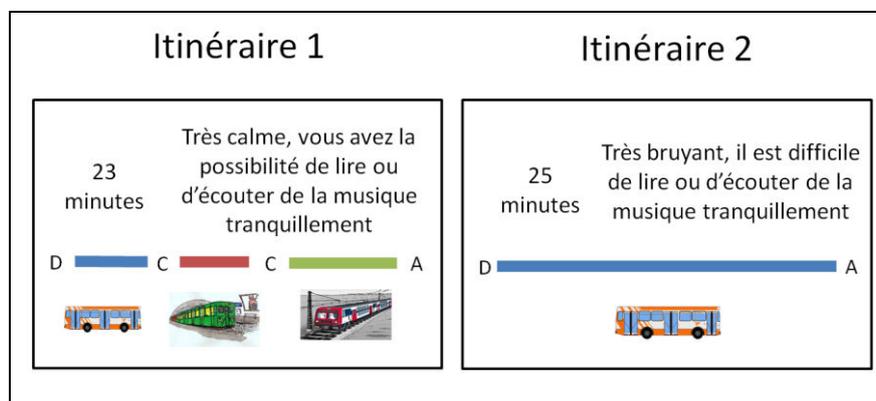


Figure 32. Paire d'itinéraires qui constituent un choix.

7.3.2.c. Mesures additionnelles

Echelle d'attitude envers les transports en commun : C'est la même échelle que celle utilisée dans l'étude précédente (chapitre 6).

Echelle du sens de l'orientation : Nous avons utilisé l'échelle Santa Barbara Sense-Of-Direction Scale (SBSODS, Hegarty *et al.*, 2002). Elle mesure en 15 items, utilisant une échelle de Likert en 7 points, la perception qu'ont les participants de leurs préférences, expériences, habiletés spatiales et de navigation (annexe 2.a.).

⁹ Selon le rapport de l'Insee - SOeS, ENT D 2008 sur l'utilisation des modes de transports en Île-de-France le temps moyen d'un itinéraire pour se rendre au travail est de 30 minutes.

Questionnaire d'utilisation des transports en commun : Ce questionnaire est utilisé pour obtenir des informations sur les critères utilisés habituellement par les participants pour choisir leurs itinéraires en transports en commun et sur le type de transports qu'ils utilisent tous les jours. Ces questions sont proposées dans le cadre de l'itinéraire pour se rendre sur le lieu de travail ou d'étude, ou sur un lieu de loisir (annexe 3.b.).

7.3.3. Procédure

La durée de passation est d'environ une heure. Chaque participant est reçu individuellement. Après avoir signé le consentement, nous expliquons aux participants qu'ils devront effectuer des choix entre deux itinéraires en transports en commun et qu'ils devront le faire dans différentes situations. Dans un premier temps, les participants effectuent un entraînement.

7.3.3.a. Phase d'entraînement

La tâche est effectuée sur un ordinateur portable avec un écran de 15 pouces. Dans un premier temps, la mise en situation est présentée à l'écran et les participants ont pour consigne d'essayer de s'imaginer être dans ce contexte pour effectuer les choix qui vont suivre. Ils ont tout le temps qu'ils souhaitent pour se familiariser avec la situation. Une fois que les participants sont prêts, la phase de choix d'itinéraires commence. Les participants doivent alors choisir l'itinéraire, parmi les deux possibilités, qu'ils préféreraient emprunter s'ils étaient dans la situation décrite précédemment. Ainsi, ils choisissent soit l'itinéraire confortable avec trois modes de transports, soit l'itinéraire non confortable avec un seul mode de transports. Les itinéraires de chaque choix sont présentés l'un à côté de l'autre, un à gauche et un à droite. Si les participants préfèrent l'itinéraire de gauche ils doivent appuyer sur la touche « S » du clavier, si ils préfèrent l'itinéraire de droite ils doivent appuyer sur la touche « L ». Entre chaque choix une ligne d'étoiles est montrée aux participants pendant 1000 ms pour signifier le changement d'item, car les différents items de choix sont proches visuellement. Les participants ont ainsi 16 choix à effectuer, huit avec des temps de trajet courts et huit avec des temps longs (voir la Figure 33 pour un résumé de la procédure de la tâche de choix). L'ordre de présentation des choix est aléatoire. Une fois que les

participants ont réalisé les 16 choix d'entraînement et qu'ils ont bien compris la procédure nous passons à la phase test.

7.3.3.b. Phase test

La phase test suit la même procédure que la phase d'entraînement et les participants effectuent 16 choix pour chacune des trois situations. L'ordre de présentation des situations est aléatoire. Nous avons également mis en place un contrebalancement de la place de l'itinéraire dans le choix, c'est-à-dire, s'il est à gauche ou à droite. Il y a ainsi deux versions de la tâche de choix qui diffèrent seulement par rapport à la place des itinéraires. Les itinéraires étant placés à gauche dans la version 1 sont placés à droite dans la version 2 et inversement. Chaque participant ne passe qu'une seule de ces deux versions. Au total chaque participant voit les trois situations et effectue donc 48 choix entre les deux alternatives (*i.e.*, confortable avec trois modes vs. non confortable avec un seul mode).

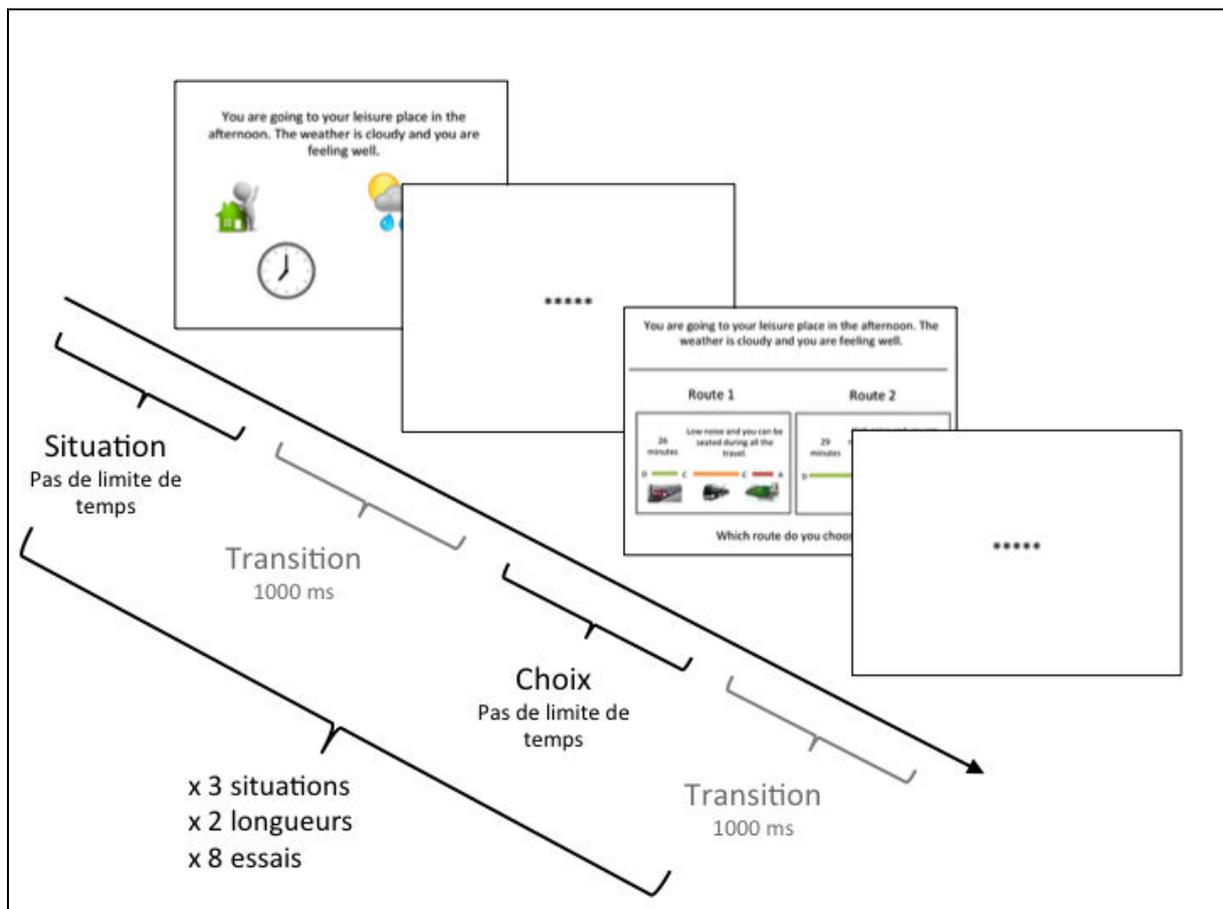


Figure 33. Schéma résumant la procédure de la tâche de choix.

7.3.3.c. Mesures additionnelles

Suite à la tâche de choix, les participants remplissent les différentes échelles et questionnaires en version papier (SBSOD, attitude envers les TC et le questionnaire sur l'utilisation des TC). Ils disposent de tout le temps qu'ils souhaitent pour remplir les échelles et questionnaires.

7.4. Analyse des données

7.4.1. Tâche de choix

Les résultats à la tâche de choix ont été codés de manière binaire : « 1 » si le choix était effectué pour l'itinéraire confortable avec trois modes de transports et « 0 » pour l'itinéraire non confortable avec un mode de transports.

7.4.2. SBSOD

Pour cette échelle, les réponses aux échelles de Likert sont comptabilisées et plus le score est élevé plus le participant considère qu'il a un bon sens de l'orientation (score sur 105).

7.4.3. Echelle d'attitude envers les transports en commun

Pour cette échelle nous obtenons deux scores résultant de la somme des items correspondant soit aux avantages soit aux désavantages mesurés avec une échelle de Likert en 5 points. Ainsi le score d'avantages est sur 60 (12 items) et le score de désavantages sur 35 (7 items).

7.4.4. Questionnaire sur l'utilisation des transports en commun

A partir du questionnaire sur l'utilisation des transports en commun, nous avons extrait les variables suivantes concernant les habitudes d'utilisation des TC et le choix de critère :

- Fréquence d'utilisation des TC : fréquence d'utilisation des transports en commun dans le contexte de travail, loisirs et semaine et week-end (à partir de 3 items avec échelles de Likert en 5 points, score total sur 15) ;
- Critère confort : la personne reporte avoir choisi son itinéraire habituel pour le critère de confort ou non ;
- Critère nombre de changements : la personne reporte avoir choisi son itinéraire habituel pour le critère du moins de changements intra et inter mode possible ou non ;
- Mode habituel : décrit si l'itinéraire habituel est uni-modal ou multi-modal.

7.4.5. Régression logistique binaire

60 participants ont réalisé au total 48 choix chacun répartis dans trois conditions de contexte et 2 conditions de longueur d'itinéraires. Au total, nous obtenons 2880 choix différents. Afin de mettre en évidence les liens entre le type d'itinéraire choisi à la tâche de choix avec les facteurs contextuels et individuels pris en considération nous avons réalisé une régression logistique binaire sur les choix d'itinéraires effectués par les participants dans l'ensemble des conditions. Les variables prédictrices du choix prises en compte dans le modèle sont :

- Longueur itinéraire : court (0), long (1) ;
- Contexte : travail (0), retour chez soi (1) ou loisirs (2) ;
- Sexe : femme (0), homme (1) ;
- Sens de l'orientation (SBSODS, sur 105) ;
- Score Avantages TC (sur 60) ;
- Score Désavantages TC (sur 35) ;
- Fréquence d'utilisation des TC (sur 15) ;

- Critère confort : non (0), oui (1) ;
- Critère changements : non (0), oui (1) ;
- Mode habituel: unimodal (0), multimodal (1).

7.5. Hypothèses

Le premier objectif de cette étude est de tester si l' « hypothèse d'importance » peut expliquer le choix de critère de sélection lors du choix d'itinéraires en TC. Ainsi nous faisons l'hypothèse que les participants ayant pour critère habituel le confort devraient plus choisir l'itinéraire confortable avec trois modes de transports que les participants n'ayant pas ce critère. A l'inverse, les participants ayant pour critère habituel le nombre de correspondances devraient plus choisir l'itinéraire non confortable avec un seul mode de transports que les autres.

Le deuxième objectif est de confirmer les effets des facteurs contextuels et individuels sur le choix d'itinéraires et donc sur le critère sélectionné. Le troisième objectif est de tester l'effet du sens de l'orientation perçu des participants sur leur choix. D'après la littérature et les résultats de l'étude précédente (chapitre 6), nous faisons les hypothèses qui suivent.

Dans les contextes de trajet pour revenir chez soi ou aller à une activité de loisirs l'itinéraire confortable avec trois modes de transports devrait être plus choisi que l'autre. L'effet inverse est attendu pour l'itinéraire pour se rendre au travail. Lorsque le trajet est long, l'itinéraire confortable avec trois modes de transports devrait être plus choisi que l'autre et inversement quand le trajet est court.

Les hommes choisiront plus l'itinéraire confortable avec trois modes de transports que les femmes. Plus les participants seront âgés plus ils choisiront l'itinéraire confortable avec trois modes de transports. Plus le score de sens de l'orientation sera élevé plus les participants choisiront l'itinéraire confortable avec trois modes ; de même pour le score d'avantages envers les TC ; et inversement pour le score de désavantages. Les participants qui utilisent fréquemment les TC choisiront plus l'itinéraire confortable avec trois modes que

ceux qui ne les utilisent pas fréquemment ; de même pour les participants habitués à prendre un itinéraire multimodal.

7.6. Résultats

Nous avons contrôlé que les deux groupes de participants des deux versions de la tâche étaient équivalents sur un ensemble de caractéristiques. Les résultats sont présentés dans l'annexe 5.b.

Le modèle obtenu pour la régression logistique binaire est significatif ($\chi^2(12) = 493,287, p < 0,001$, Nagelkerke $R^2 = 0,214$). Huit variables prédisent significativement le choix d'itinéraire (voir Tableau 14) : la longueur de l'itinéraire, le sexe, l'âge, les capacités spatiales, la perception des avantages et des désavantages des TC, le critère habituel du moins de changements possible et le type d'itinéraire habituel (uni-modal ou multi-modal).

Tableau 14. Résultats de la régression logistique binaire effectuée sur le choix d'itinéraires avec les odds-ratios (OR), intervalles de confiance (IC) et les valeurs p (* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,005$; * = $p < 0,001$).**

	OR	IC à 95%	Valeur p
Sexe	0,773	0,625-0,957	0,018*
Age	1,034	1,009-1,059	0,007*
Longueur	3,342	2,823-3,956	0,000***
Contexte	0,992	0,897-1,097	0,878
SBSODS	0,991	0,986-0,996	0,000***
Avantages TC	1,014	1,001-1,027	0,036*
Désavantages TC	0,938	0,914-0,963	0,000***
Fréquence TC	1,013	0,974-1,053	0,516
Critère confort	0,858	0,714-1,030	0,100
Critère changements	0,504	0,413-0,615	0,000***
Mode habituel	3,088	2,473-3,857	0,000***

En ce qui concerne notre hypothèse concernant l'influence du critère habituel sur le critère pris en compte dans notre étude, nos résultats montrent que les participants qui trouvent le critère du nombre de correspondances important pour choisir leur itinéraire habituel tendent à plus choisir l'alternative inconfortable avec un seul mode de transports que les autres participants (OR = 0,504, IC = 0,413-0,615, $p < 0,001$). En revanche on ne

remarque pas un tel effet pour le critère habituel pour le confort (OR = 0,858, IC = 0,7714-1,03, $p = 0,41$).

En ce qui concerne nos hypothèses sur les effets du contexte, nous ne remarquons pas d'effet de la mise en situation dans laquelle est effectué le choix (OR = 0,992 ; IC = 0,897-1,097, $p = 0,8$). Cependant, la longueur de l'itinéraire à planifier joue un rôle dans le choix d'itinéraires : plus l'itinéraire est long plus le choix est fait pour l'itinéraire confortable avec trois modes de transports (OR = 3,342, IC = 2,823-3,956, $p < 0,001$).

Les résultats sur les caractéristiques des participants montrent que les femmes choisissent significativement plus que les hommes l'alternative confortable (OR = 0,773, IC = 0,625-0,957, $p = 0,018$), ce qui est contraire à notre hypothèse. En revanche, conformément à notre hypothèse, plus les participants sont âgés plus ils choisissent l'itinéraire confortable avec trois modes de transports (OR = 1,034 ; IC = 1,009-1,059 ; $p = 0,007$). De même, les résultats sur l'attitude envers les TC vont dans le sens de nos hypothèses. Plus le score d'avantages est élevé plus les participants vont choisir l'alternative confortable avec trois modes (OR = 1,014, IC = 1,001-1,027, $p = 0,036$), et plus les participants ont un score élevé pour les désavantages plus ils vont choisir l'option non confortable avec un seul mode (OR = 0,938, IC = 0,9148-0,963, $p < 0,001$). Les résultats concernant l'habitude d'utiliser un itinéraire multimodal vont également dans le sens de nos hypothèses. Les participants qui empruntent un itinéraire multimodal pour se rendre sur leur lieu d'étude ou de travail choisissent davantage l'option confortable avec trois modes de transports que ceux ayant un itinéraire unimodal (OR = 3,0088, IC = 2,472-3,857, $p < 0,001$). Enfin, nous ne remarquons pas d'effet de la fréquence d'utilisation des TC (OR = 1,013, IC = 0,974-1,053, $p = 0,52$).

Le résultat sur le sens de l'orientation montre un effet contradictoire avec notre hypothèse. Plus les participants ont un score de sens de l'orientation faible plus ils vont choisir l'option confortable avec trois modes de transports (OR = 0,991, IC = 0,986-0,996, $p < 0,001$).

7.7. Discussion et conclusion

L'objectif de cette étude était triple : (1) vérifier l'« hypothèse d'importance » dans le cas de choix d'itinéraires en TC (Slovic, 1995 ; Tversky *et al.*, 1988), (2) vérifier l'effet de facteurs individuels (*i.e.*, attitude, préférence, habitudes, utilisation des TC et caractéristiques sociodémographiques) et contextuels (*i.e.*, but et longueur du trajet) sur la sélection d'une alternative et donc sur le choix d'un critère, et (3) de tester l'effet du sens de l'orientation sur le choix d'itinéraires avec plus ou moins de correspondance. Nous avons donc mis en place une tâche de choix forcé entre deux itinéraires dans différents contextes et nous avons mesuré certaines caractéristiques individuelles.

Un premier résultat important de notre étude est que l'« hypothèse d'importance » (Slovic, 1975 ; Tversky, 1972) est partiellement vérifiée. En effet, les participants ayant reporté dans le questionnaire que le nombre de transferts est habituellement le critère le plus important pour eux ont davantage choisi l'itinéraire avec un seul mode de transports dans notre tâche. Cependant, les résultats ne montrent pas l'effet inverse : les participants considérant le confort comme l'attribut le plus important pour leur itinéraire habituel n'ont pas plus choisi l'itinéraire confortable. Dans notre tâche, nous avons défini le confort comme le bien-être dans les modes de transports (*e.g.*, place assise, tranquillité). Toutefois, dans la littérature s'intéressant notamment à l'expérience des usagers, le confort peut être défini de manière plus globale. En effet, le confort dit émotionnel est défini comme « un ressenti global, construit dynamiquement à travers des états affectifs (ex. confiance, surprise, peur) expérimenté durant une activité spécifique et qui implique le corps et l'esprit » (Cahour, 2008). Ainsi, le fait d'effectuer des changements de modes de transports peut être perçu comme inconfortable par leur difficulté et le sentiment de perte de contrôle qu'ils peuvent procurer (Hine & Schott, 2000). Dans notre questionnaire permettant d'accéder aux préférences des participants en termes de critères de choix, le type de confort ciblé n'était pas précisé et les participants ont peut-être répondu en pensant au confort émotionnel global et/ou au bien-être dans les transports, ce qui peut donc expliquer notre résultat apparemment contradictoire.

Notre deuxième résultat concerne les effets de contexte mesuré par la longueur et le but du trajet. Il a été montré dans la littérature que le but du trajet jouait un rôle dans le

choix de mode (Klößner & Friedrichsmeir, 2011 ; chapitre 6). Toutefois, nous ne retrouvons pas de tels effets dans notre étude. Une explication peut être que l'immersion que nous avons proposée à partir de mises en situation n'était pas assez forte pour que la personne se sente impliquée dans celle-ci, et la prenne réellement en compte au moment de son choix. En effet, il y a une grande différence entre une expérience de laboratoire et l'expérience réelle des usagers telle que nous l'avons mesurée dans l'étude du chapitre 6. Ainsi, l'effet du but du trajet nécessiterait plus d'investigations avec des mises en situation plus écologiques. En revanche, la longueur de l'itinéraire montre un effet sur le choix : pour les itinéraires longs, l'alternative confortable est préférée. Ces résultats sur le contexte, bien que mitigés, permettent quand même d'apporter certains arguments pour attester que des éléments contextuels entrent en compte au moment du choix.

Les résultats concernant les facteurs individuels (*i.e.*, le genre, l'âge, l'attitude, le type d'itinéraire habituel et le sens de l'orientation) permettent de confirmer l'hypothèse que nous avons formulée d'après notre modèle PLANITRAC, que le choix d'un critère de sélection est guidé par ces facteurs, ce qui influence donc le choix d'itinéraires. Toutefois, certains facteurs, notamment pour le genre et le sens de l'orientation ne vont pas dans le sens de nos prédictions.

Dans notre étude les femmes tendent à plus choisir l'alternative confortable avec trois modes de transports et les hommes eux choisissent plus l'option avec un seul mode. Ce résultat est en contradiction avec ceux trouvés dans notre précédente étude (chapitre 6), mais sont conformes à ceux de Chowdhury *et al.* (2013), qui montraient que les femmes étaient plus enclines que les hommes à utiliser des itinéraires avec des transferts. Les différences méthodologiques entre ces études peuvent expliquer ces différences de résultats. En effet, dans l'étude menée par Chowdhury *et al.* (2013) comme dans la présente étude, les choix à faire étaient fictifs et n'ont pas été expérimentés, alors que dans l'étude précédente (chapitre 6) les participants reportaient une expérience précédemment vécue. Dès lors, nous pouvons faire l'hypothèse que les femmes déclarent plus avoir l'intention d'utiliser des itinéraires multimodaux que les hommes mais que dans l'expérience réelle, et dans la réalisation du comportement, elles n'utilisent pas forcément plus ce type d'itinéraires que les hommes, voir inversement. Une autre explication peut être que les femmes préfèrent l'option la plus confortable. En effet, l'itinéraire avec trois modes de

transports était également celui avec le plus haut niveau de confort en termes de bien-être dans les modes de transports. Il a largement été montré dans la littérature que les femmes tendent à être plus émotionnelles que les hommes (pour revue voir Brody & Hall, 2008), il est donc possible dans notre étude que les femmes aient plus prêté attention aux aspects qui rendent l'itinéraire émotionnellement positif.

En ce qui concerne nos résultats sur le sens de l'orientation, nous remarquons que les participants pensant avoir un mauvais sens de l'orientation tendent à plus choisir l'itinéraire confortable avec trois modes de transports. Ce résultat est en contradiction avec l'hypothèse de Rüetschi et Timpf (2005), selon laquelle les participants pensant avoir un mauvais sens de l'orientation tendraient à choisir des itinéraires plus simples à réaliser par la suite (*i.e.*, des itinéraires avec peu de correspondances). Notre résultat peut s'expliquer par la nature de la tâche que nous avons proposée et des éventuels effets d'interaction entre les différents facteurs individuels que nous avons considérés. Dans cette étude, les participants devaient choisir entre deux alternatives contrastées sur le confort et le nombre de correspondances. Ainsi, le choix d'une alternative impliquait des aspects positifs sur le confort ou le nombre de modes mais aussi des aspects négatifs. Et il est donc tout à fait possible qu'au moment du choix le participant ayant un faible sens de l'orientation considère comme plus importants les aspects de confort qu'une éventuelle difficulté liée aux correspondances lors de la navigation.

Au final, nos résultats apportent des éléments empiriques pour confirmer l'« hypothèse d'importance », lors du choix d'itinéraires en TC parmi plusieurs alternatives, que nous avons émise d'après le fonctionnement proposé dans notre modèle PLANITRAC, dans le cas où l'utilisateur ne doit pas concevoir l'itinéraire lui-même mais juste le choisir. L'utilisation de cette stratégie permet aux usagers de faciliter la prise de décision et d'éviter une comparaison minutieuse de tous les attributs de toutes les alternatives. Nos résultats permettent également de montrer que le critère de sélection est déterminé par des facteurs individuels, notamment le genre, l'âge, les attitudes, les capacités spatiales et le type d'itinéraire emprunté habituellement. Il apparaît également que le contexte joue un rôle dans la prévalence d'un critère par rapport à un autre. L'ensemble de ces résultats permet de valider notre hypothèse selon laquelle le critère de sélection de l'utilisateur est déterminé par des facteurs individuels et contextuels. Toutefois, les résultats sur les capacités spatiales,

le genre et le contexte ne montrent pas de pattern clair et ne font pas consensus avec la littérature. De plus, ces résultats nous renseignent sur le cas, du modèle PLANITRAC, où l'utilisateur effectue seulement un choix d'itinéraires, mais pas dans le cas où il utilise une représentation interne ou externe. Investiguer ces facteurs dans des situations plus écologiques, comme en réalité virtuelle (pour le contexte et le genre) ou permettant une mise en jeu réelle des capacités spatiales permettrait une meilleure compréhension de leurs effets.

Chapitre 8. Planifier un itinéraire : étude du processus à partir de carte et réalisation en réalité virtuelle

8.1. Introduction

Dans l'étude précédente (chapitre 7) nous avons montré, conformément aux prédictions de notre modèle PLANITRAC, que certains facteurs individuels et contextuels déterminent le critère de sélection lorsque les usagers choisissent un itinéraire parmi deux alternatives, c'est-à-dire dans des situations analogues au cas où ils planifient leur itinéraire à partir d'un planificateur. Certains effets semblent cependant limités et d'autres sont en contradiction avec la littérature. Ainsi l'objectif de cette étude est de s'intéresser aux effets des facteurs individuels et contextuels dans le cas où les usagers planifient un itinéraire à partir de carte et dans un contexte plus proche de la réalité que celui proposé dans l'étude précédente. Etant donné les difficultés méthodologiques (*e.g.*, variations non contrôlées et non pertinentes) et de mise en œuvre d'une observation du comportement dans la réalité, nous allons proposer aux participants de planifier un itinéraire à partir de carte puis de le réaliser en réalité virtuelle.

La réalité virtuelle est un dispositif permettant de placer un individu dans un environnement immersif en trois dimensions qui peut être directement manipulé (Foley, 1987). Burkhardt, Bardy et Lourdeaux (2003) considèrent que l'immersion correspondrait au « degré et à la qualité avec lesquels l'interface du système contrôle les entrées sensorielles pour chaque modalité de perception et d'action ». Les systèmes jugés immersifs sont souvent ceux utilisant un casque ou une salle immersive et les moins immersifs ceux où l'utilisateur est placé devant un simple écran d'ordinateur. Toutefois, certains auteurs considèrent que l'immersion pourrait être induite par le fait que l'attention soit captée par l'environnement, et en ce sens une simple vidéo (un film par exemple) peut suffire à procurer un sentiment d'immersion (Robertson, Czerwinski & Van Dantzich, 1997). Deux autres notions sont souvent considérées dans la conception d'environnements virtuels : le réalisme et la présence. Le réalisme est plutôt lié à la qualité de l'environnement et de la simulation, alors que la présence désigne le fait que l'utilisateur puisse percevoir comme réel ou vivants les objets, événements ou personnages avec lesquels il interagit (Burkhardt, 2003).

Witmer et Singer (1998) ont développé un questionnaire spécifique permettant de mesurer « l'état de présence » lors d'une immersion en réalité virtuelle.

La réalité virtuelle est utilisée depuis de nombreuses années en psychologie dans de divers domaines, notamment pour l'étude de la navigation ou des représentations spatiales (*e.g.*, Waller, Hunt, & Knapp, 1998 ; Gyselinck *et al.*, 2006 ; Meilinger *et al.*, 2008 ; Piccucci, *et al.*, 2013) et de la planification (Wiener & Mallot, 2003). D'un point de vue expérimental, cette technique a l'avantage de permettre une immersion dans des situations où un certain nombre d'éléments communs à la réalité sont présents tout en contrôlant d'autres aspects (Bukhardt *et al.*, 2003). En effet, dans les environnements virtuels les chercheurs peuvent décider eux-mêmes des configurations, des placements des objets, des rues, des points de repères, des chemins, etc., pour s'assurer que tous les participants seront exposés aux mêmes conditions expérimentales. Un autre avantage est que, dans un environnement virtuel, il est possible de reproduire des situations difficiles ou impossibles à examiner dans la réalité. De plus, il a été montré, dans le cadre d'études sur la navigation dans l'espace, de bonnes correspondances entre les mécanismes cognitifs et cérébraux mis en place dans la réalité et ceux engagés en réalité virtuelle (Mellet *et al.*, 2010 ; Waller *et al.*, 1998).

Malgré les avantages que procure la réalité virtuelle notamment pour l'étude d'activités difficilement observables dans la réalité, nous avons recensé peu d'études ayant utilisé la réalité virtuelle pour étudier des questions liées à l'utilisation des transports en commun. Lanyi, Simon, Simon et Laky (2004) ont construit une station de métro virtuelle dans le but de traiter des phobies. Wallergard, Eriksson et Johansson (2008) ont, quant à eux, utilisé un environnement virtuel impliquant un itinéraire en bus pour comprendre comment des usagers avec un handicap cognitif (*i.e.* attention, mémoire, langage, capacités spatiales) pouvaient communiquer leurs difficultés lors de la navigation le long de l'itinéraire impliquant une correspondance. Ils ont alors remarqué que la réalité virtuelle était un bon outil pour accéder aux difficultés des usagers et permettaient à ceux-ci de transférer leurs expériences réelles à la réalité virtuelle.

8.2. Objectifs

L'objectif de cette étude est de s'intéresser au comportement de planification d'itinéraires en TC à partir de cartes, et ce dans des situations proches de la réalité. De plus, nous voulons tester les effets des facteurs individuels et contextuels dans ce cadre. Compte tenu des qualités précédemment exposées de la réalité virtuelle, nous espérons, dans la présente étude, reproduire des situations proches de la réalité pour mieux cibler les effets des facteurs contextuels et individuels sur la planification d'itinéraires. L'utilisation de la réalité virtuelle nous permet de proposer aux participants d'utiliser des modes de transports bien contrastés sur le caractère actif/passif ou ferré/routier ou souterrain/aérien. Nous avons donc demandé aux participants de planifier des itinéraires pouvant emprunter trois modes de transports : le métro, le bus et la marche. Puis nous demanderons aux participants de réaliser leur itinéraire en réalité virtuelle. Nous faisons l'hypothèse que la perspective de devoir réaliser ensuite l'itinéraire amènera les participants à effectuer des choix proches de la réalité et ainsi de mieux cibler les effets de nos facteurs d'intérêts. Nous allons donc comparer ces participants à d'autres ne réalisant pas leurs itinéraires en réalité virtuelle, ou d'autres imaginant mentalement leurs itinéraires. Ce protocole nous permettra également de mieux distinguer les effets des facteurs individuels sur différentes variables (*e.g.*, critères choisis, type de modes empruntés, prise en compte d'information sur le trafic).

8.3. Méthode

8.3.1. Participants

64 jeunes adultes (dont 21 hommes), âgés de 18 à 35 ans ($M = 22,27$; $ET = 3,49$) ont pris part à l'étude en échange de crédits pour leur cours ou d'une rémunération de 10 euros pour une heure. Il n'y a pas de différence d'âge selon le genre ($t(62) = 1,26$, $p > 0,05$). 32 participants étaient placés dans la condition Réalité Virtuelle (RV) et 32 dans la condition sans la RV (SRV, dont 20 avec phase d'imagination de l'itinéraire, SRVi).

Parmi les 64 participants, 54 sont étudiants (dont 17 travaillent également) et 10 sont employés. 82,8% des participants disposent d'un Pass-Navigo pour utiliser les transports en

commun et 15,7% utilisent des tickets. Parmi les participants, 87,5% utilisent fréquemment les transports en commun pour se rendre sur leur lieu de travail ou d'études, 3,1% de temps en temps et 9,4% peu souvent. 42,2% des participants ont un itinéraire multimodal pour se rendre sur leur lieu de travail ou d'étude, 35,9% ont un itinéraire unimodal avec des correspondances et 21,9% ont un itinéraire avec un seul mode et sans correspondance. En ce qui concerne la longueur de l'itinéraire pour se rendre sur le lieu de travail ou d'étude, 64,1% ont un itinéraire long (supérieur à 30 minutes), et 26,6% ont un itinéraire court (inférieur ou égal à 30 minutes). Enfin, 37,5% des participants déclarent se rendre souvent dans les quartiers cibles de l'étude et la même proportion déclare s'y rendre peu souvent. 25% des participants déclarent se rendre dans ce quartier seulement de temps en temps et aucun ne s'y est jamais rendu.

8.3.2. Matériel

8.3.2.a. Environnement virtuel

Un environnement virtuel a été créé sur la base d'un plan simplifié d'une partie de la ville de Paris, entre les stations de métro Montparnasse, Louvre Rivoli, Cardinal Lemoine et Hôtel de ville à l'aide du logiciel Virtools 5.0 (Dassault Systèmes). Il est composé de 11 rues (et boulevards) et 14 stations intermodales (avec métro et bus) y sont représentées (voir le plan sur la Figure 34).

L'environnement est réaliste mais non réel dans le sens où il reprend symboliquement des caractéristiques des quartiers représentés mais ne constitue pas une vue photographique de l'environnement réel. En effet, les textures des bâtiments s'apparentent aux bâtiments parisiens (Haussmanniens) mais ne sont pas les mêmes. Les monuments importants présents dans ce quartier (Musée du Louvre, Gare Montparnasse, Cathédrale Notre Dame, etc.) sont représentés symboliquement (par exemple le musée du Louvre par un très grand bâtiment) et leur localisations spatiales conservées. Les stations de bus, de métro, l'intérieur des bus et les rames de métro ont été créés de manière à ressembler le plus possible à ceux présents dans la réalité et disposent tous du nom de la station réelle ainsi que du numéro de ligne (voir Figure 35 pour une vue de l'environnement

et des stations de bus et métro). L'environnement dispose également de panneau indiquant le nom des rues à chaque intersection.

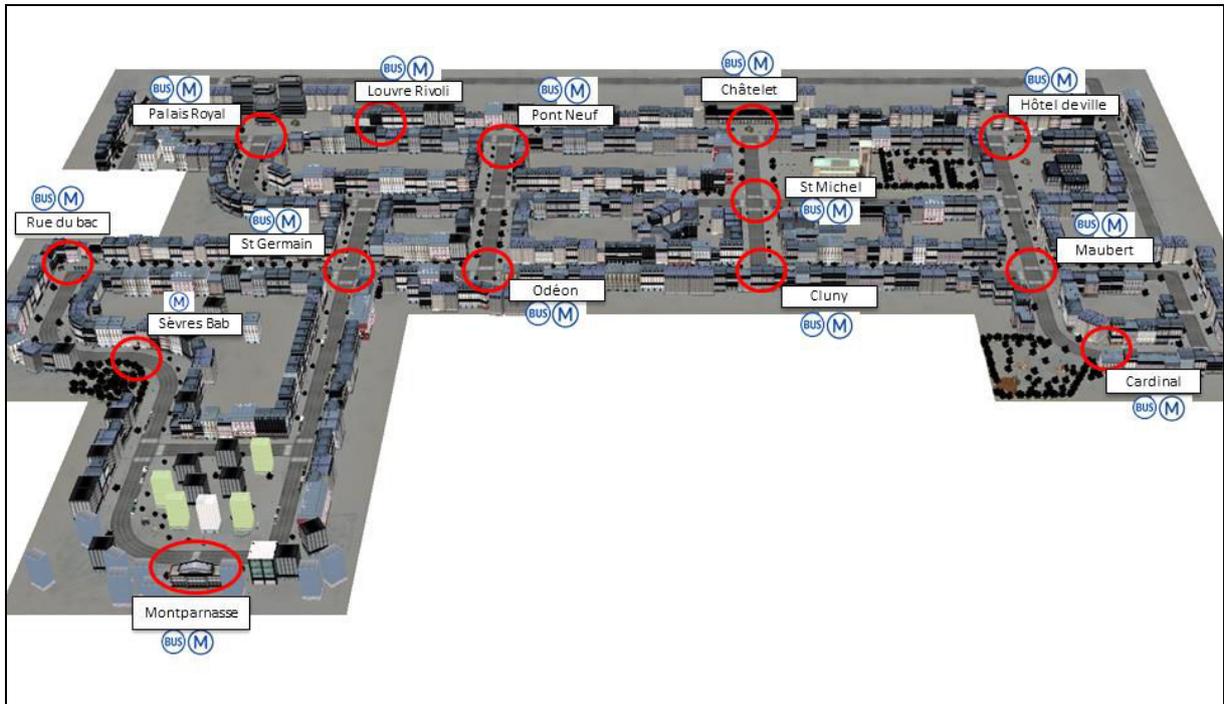


Figure 34. Plan de la ville en réalité virtuelle avec les 14 stations et les modes de transports disponibles à ces stations.

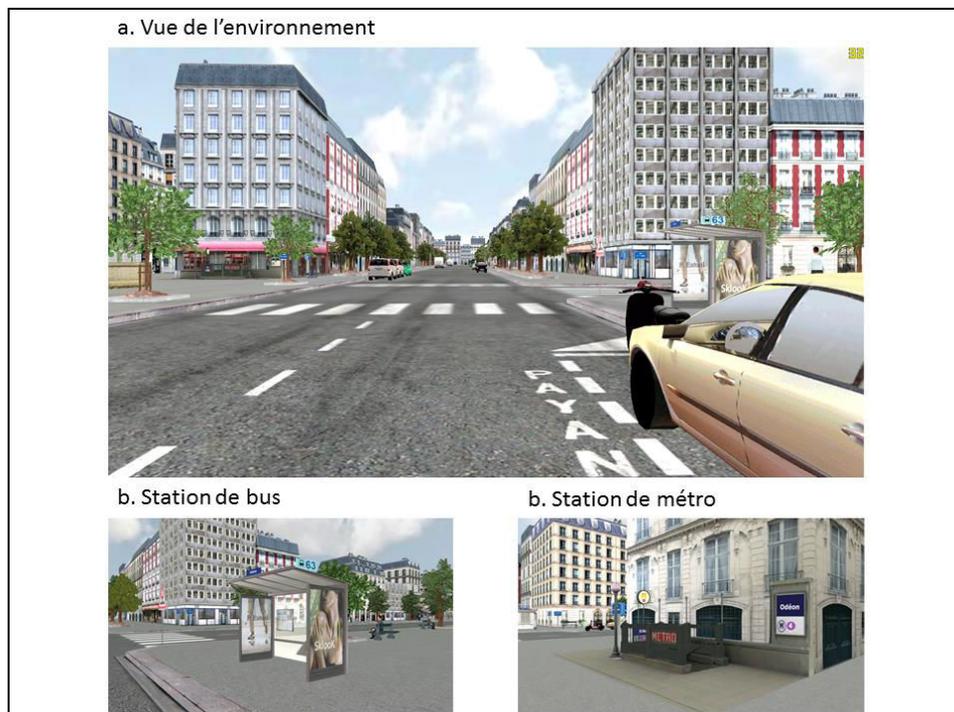


Figure 35. Exemples d'une vue de l'environnement (a) et des stations de bus (b) et de métro (c).

8.3.2.b. Trajets

Cinq trajets (dont un d'entraînement) ont été sélectionnés sur la base d'un pré-test réalisé auprès de 46 étudiants, sur 16 trajets composés à chaque fois d'une station d'origine et d'une station de destination. Parmi ces 16 trajets, nous avons considéré que 8 étaient longs (> à 3 stations intermodales) et 8 courts (< à 3 stations intermodales). La différence de longueur en termes de nombre de segments a été retrouvée dans les choix d'itinéraires lors du pré-test ($t(90) = 42,64, p < 0,001$) avec 2,51 segments en moyenne pour les trajets courts ($ET = 0,26$) et 5,19 segments pour les trajets longs ($ET = 0,33$). Etant donné que nous voulons expliquer la variabilité des choix d'itinéraires effectués parmi les usagers, nous avons sélectionné les 4 trajets qui offrent le plus de possibilités en termes de choix, d'après le pré-test, c'est-à-dire les trajets pour lesquels aucune alternative n'a été choisie par plus de 50% des participants. Ces trajets sont : de la station Hôtel de Ville à la station Montparnasse (long), de Cardinal Lemoine à Palais Royal (long), de St Michel à Cardinal Lemoine (court) et de Sèvres Babylone à St Germain (court).

8.3.2.c. Aides pour la planification

Nous avons construit une carte où sont représentées les rues, les stations de bus et de métro ainsi que les différentes lignes (voir Figure 36). Nous avons également élaboré une fiche décrivant toutes les lignes avec leurs stations (voir annexe 6.a.ii).

8.3.2.d. Informations sur le trafic

Des informations concernant l'état du trafic et le confort dans les modes de transports ont été créées pour chaque itinéraire sur la base du type d'informations pouvant être diffusées dans la réalité (ex : un incident a eu lieu à la station Châtelet, le trafic sur la ligne 4 est ralenti). Deux types d'informations ont été élaborées : pertinentes (concerne l'itinéraire choisi) ou non pertinente (ne concerne pas l'itinéraire choisi). Les informations pertinentes ont été conçues pour tous les itinéraires possibles sur la base d'un pré-test réalisé auprès d'usagers nous ayant indiqué les itinéraires potentiellement empruntés pour chaque trajet, afin de toujours avoir une information cohérente. Ces informations peuvent concerner des problèmes liés au trafic (*i.e.* ralentissement) ou au confort (*i.e.* grande affluence). Les informations non pertinentes ont été conçues sur la base des informations

pertinentes, mais ne concernant pas les lignes empruntées par le participant. Ainsi si le participant emprunte la ligne 4, dans la condition information pertinente il y aura un problème qui ralentira la ligne 4 et dans la condition non pertinente il y aura un problème qui ralentit la ligne 12 qui n'est pas empruntée. Au final quatre types d'information ont été créés pour chaque itinéraire possible, soit un total de 60 informations (voir annexe 6.a.i).

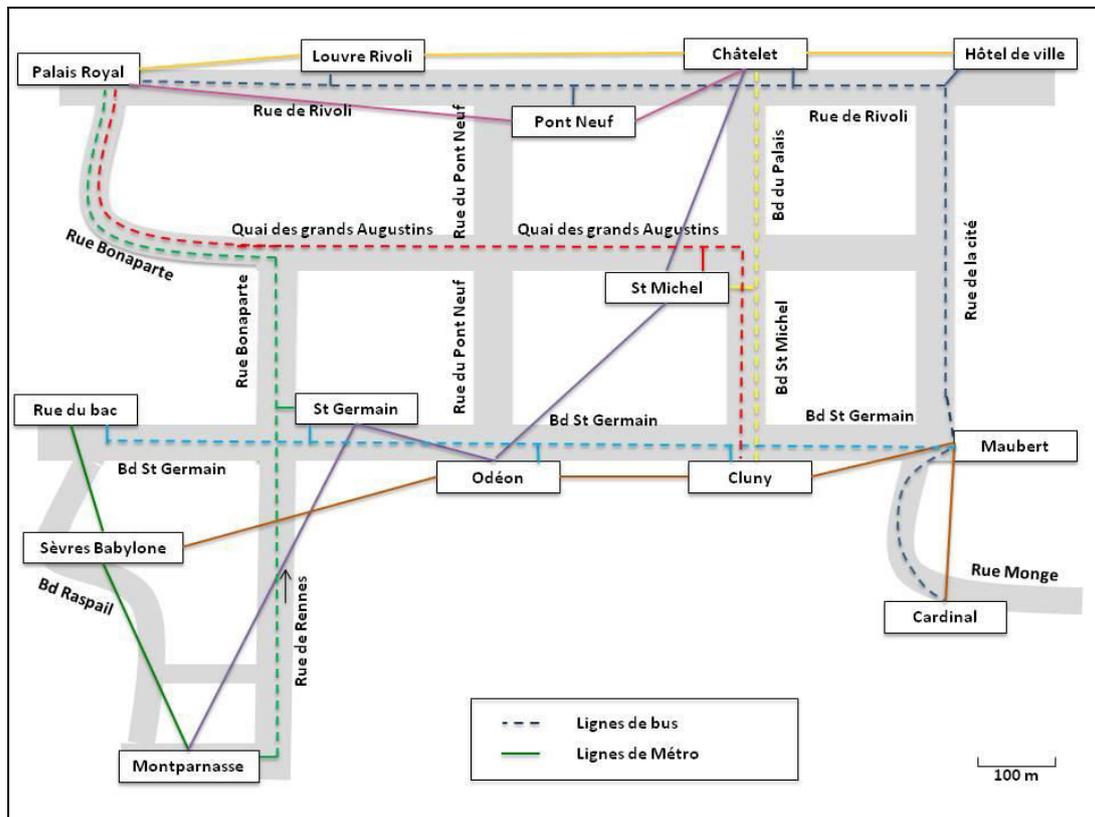


Figure 36. Carte support pour planifier les itinéraires.

8.3.2.e. Images pour la tâche de classification de photographies

Des photographies représentant les bâtiments, lieux, rues, magasins, etc. présents dans la réalité ont été prises sur la base d'un pré-test effectué auprès de personnes connaissant la ville de Paris ($N = 11$). Il leur était demandé d'effectuer des associations d'idées de lieux à Paris à partir des noms de stations de métro et des rues de nos itinéraires. Pour chacun des itinéraires possibles (sachant que pour un trajet différentes possibilités sont envisageables), quatre photographies représentent des éléments parisiens présents sur l'itinéraire (*i.e.* Cible), quatre des éléments parisiens mais non présents sur l'itinéraire (*i.e.* Distracteur Paris) et huit photographies d'éléments similaires à ceux présents dans Paris

mais dans d'autres villes de France (*i.e.* Distracteur Autre). Au total 111 photographies ont été sélectionnées. Des exemples des trois types de photographies sont présentés dans la Figure 37 ci-dessous.

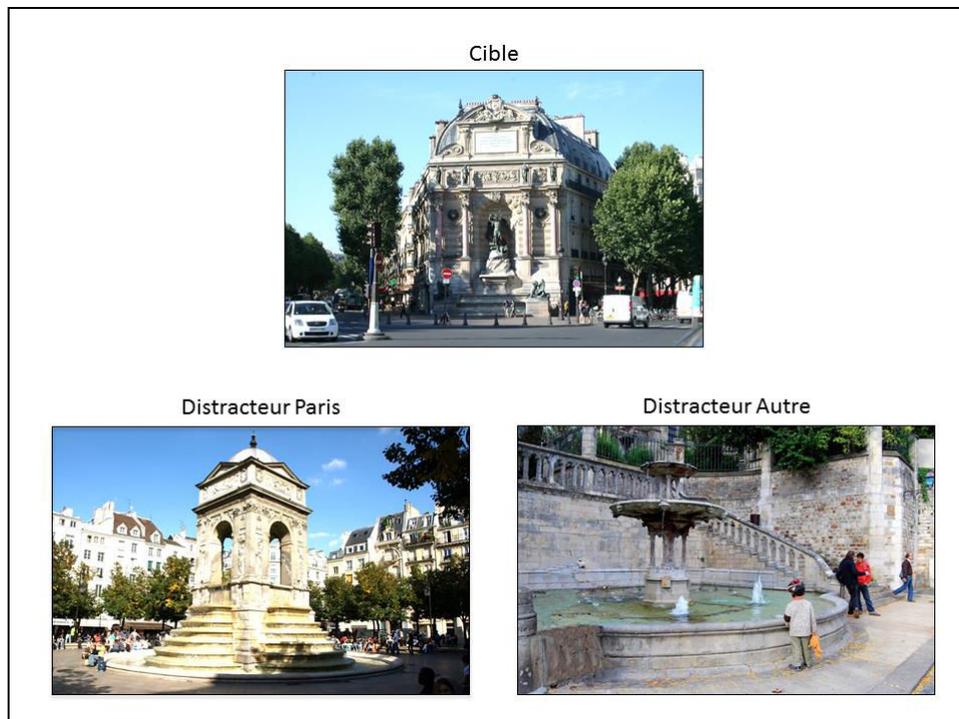


Figure 37. Exemple de photographie de Cible, Distracteur Paris ou Distracteur Autre, pour un des itinéraires pour le trajet de Cardinal Lemoine à Palais Royal.

8.3.2.f. Mise en situation

Deux des situations de l'étude précédente ont été reprises :

- *Aller au travail/études* : « Vous vous rendez sur votre lieu de travail/d'études le matin, vers 9h. Aujourd'hui vous vous sentez comme la plupart du temps, vous n'avez pas trop mal dormi et le temps est mitigé » ;
- *Aller à une activité de loisir* : « Vous vous rendez à votre activité de loisir dans l'après-midi. Le temps est gris et vous vous sentez plutôt bien ».

8.3.2.g. Questionnaires

Les échelles de **sens de l'orientation** (SBSODS ; Hegarty *et al.*, 2002) et **d'attitude envers les transports en commun** ont été réutilisées.

Questionnaire d'utilisation des transports en commun : Ce questionnaire est globalement le même que dans l'étude précédente mais les questions ont été posées uniquement dans le cas du trajet pour se rendre sur le lieu de travail/études, afin d'accéder aux habitudes des participants.

Questionnaire sur l'état de présence : Ce questionnaire est une adaptation française du « Presence Questionnaire » de Witmer et Singer (1998), faite par le Laboratoire de Cyberpsychologie (2002). Il est utilisé pour mesurer l'état de présence du participant lors de son expérience en réalité virtuelle. Ce questionnaire se compose de 24 items (dont 5 items pour les environnements avec sons/toucher) utilisant des échelles de Likert en 7 points investiguant le sentiment de réalisme, la possibilité d'agir, la qualité de l'interface, la possibilité d'examiner et l'auto-évaluation de la performance (annexe 2.c.). La validation de la version française (Laboratoire de Cyberpsychologie, 2002) a été réalisée sur un panel de 101 participants. Les analyses ont démontré que l'échelle disposait d'une bonne fiabilité (alpha de Cronbach = 0,84). Les normes aux sous-échelles ont été étalonnées à partir de cette validation.

8.3.2.h. Dispositif et navigation dans l'environnement virtuel

Les participants sont placés face à un écran de 139 cm (soit 55") d'une résolution de 1920 x 1080 pixels et disposent d'un joystick pour la navigation dans l'environnement virtuel et d'une souris pour effectuer les sélections des chemins (voir Figure 38). La vitesse de marche dans l'environnement est de trois mètres par seconde pour que le participant ait le temps d'analyser les éléments de l'environnement.

Pour prendre un mode de transports ils doivent se diriger vers une station (bus ou métro) à l'aide du joystick. Une fois arrivé près de la station de transports, un écran affiche les possibilités en termes de stations joignables avec le mode (station suivante ou station précédente). Les participants doivent alors sélectionner à l'aide de la souris la station suivante à laquelle ils souhaitent se rendre. La sélection du chemin se fait station par station, le participant ne sélectionne pas directement la station de changement ou d'arrivée. S'ils sont en bus alors ils disposent d'une vue du fond du bus et voient l'itinéraire défiler devant leurs yeux (vue de l'extérieur du bus à travers les fenêtres). S'ils sont en métro une photographie de l'intérieur du métro est présentée. A chaque station, un écran s'affiche de

la même manière que précédemment pour demander aux participants s'ils veulent aller à la station suivante, précédente ou sortir. La Figure 39 illustre la procédure de sélection pour le métro et de navigation associée. Si les participants décident d'utiliser la marche à pied, ils doivent alors naviguer par eux-mêmes dans le monde virtuel à l'aide du joystick.

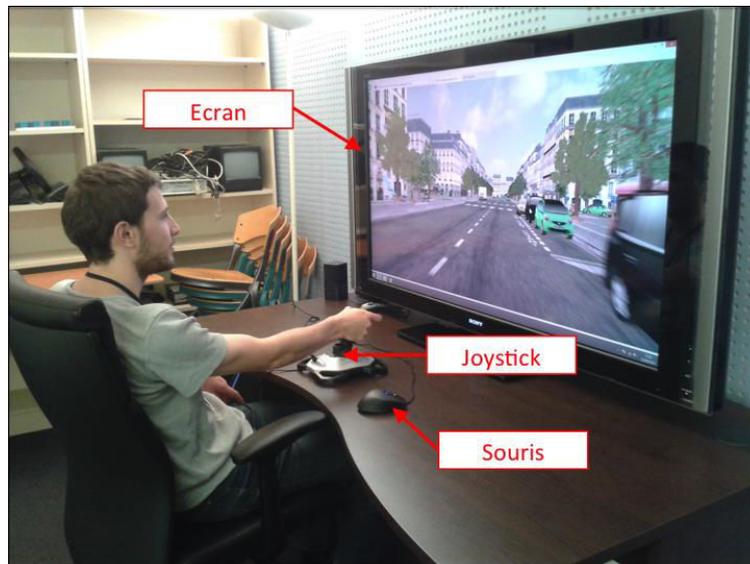


Figure 38. Vue de l'installation d'un participant pendant la navigation en environnement virtuel. Le participant est placé face à l'écran et dispose d'un joystick pour se déplacer et d'une souris pour effectuer les sélections.

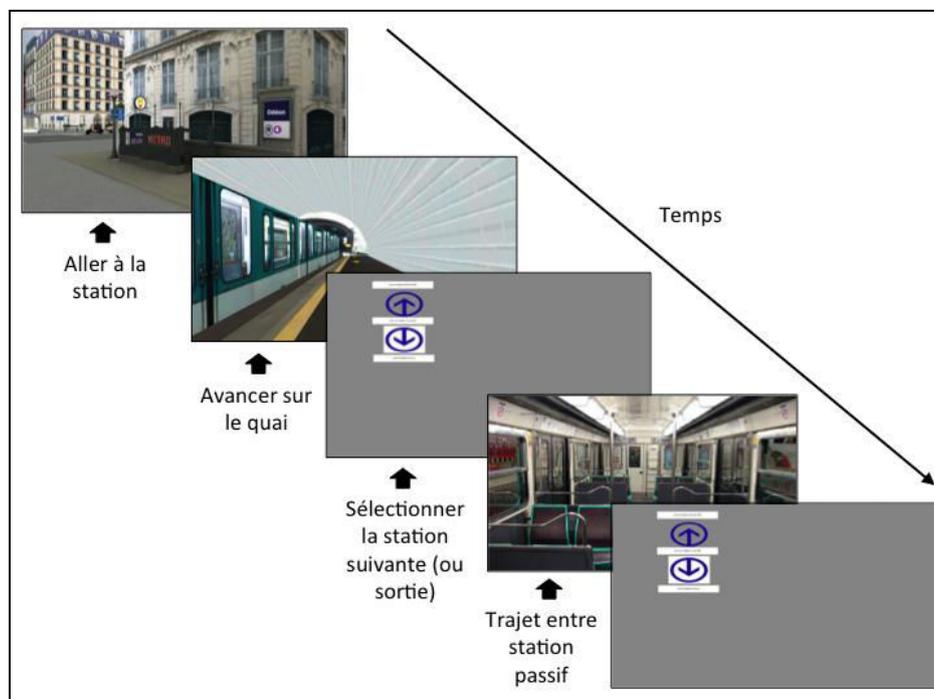


Figure 39. Procédure pour prendre le métro dans l'environnement virtuel. La procédure est la même pour le bus sauf que l'étape de marche sur le quai de métro n'est pas à réaliser.

8.3.3. Procédure

L'expérience se déroulait dans une salle calme et la durée totale était d'environ d'une heure pour la condition sans réalité virtuelle et d'une heure et trente minutes pour la condition avec réalité virtuelle. Après avoir fait signer le formulaire de consentement, nous expliquons aux participants qu'ils vont devoir planifier des itinéraires avec différents modes de déplacement (métro, bus, marche) à l'aide d'une carte de Paris (voir Figure 36). Dans la condition réalité virtuelle nous leur expliquons qu'après leur choix ils réaliseront ces itinéraires en réalité virtuelle. Ensuite nous passons à l'entraînement.

8.3.3.a. Entraînement

Entraînement général

L'essai d'entraînement (trajet depuis Odéon à Pont Neuf) se déroule en trois phases. La Figure 40 présente la procédure pour les différentes conditions (RV, SRV, SRVi) ainsi que les mesures associées.

Phase 1 : choix initial à l'aide de la carte

Durant cette première phase il est demandé aux participants de sélectionner l'itinéraire qu'ils choisiraient d'un point A à un point B s'ils avaient à le réaliser dans la réalité, sans leur donner de contrainte spécifique. Les participants disposent du temps qu'ils souhaitent pour choisir à l'aide de la carte et de la fiche détaillant les différentes lignes de bus et métro avec leurs arrêts. Une fois leur choix effectué, les participants le décrivent à l'expérimentateur et expliquent pourquoi ils ont choisi cet itinéraire plutôt qu'un autre.

Phase 2 : présentation des informations sur le confort et le trafic

Dans cette phase nous présentons aux participants une information sur son itinéraire en rapport avec le trafic ou le confort. Pour l'entraînement cette information est toujours non pertinente. Une fois l'information donnée oralement aux participants, nous demandons si dans la réalité ils prendraient en compte ces informations pour planifier leur itinéraire et ce qu'ils feraient.

Phase 3 : vérification de l'immersion et de la satisfaction du choix

Tâche de classification de photographies : Pour cette tâche, des photographies de paysages urbains sont présentées aux participants sur l'écran d'un ordinateur portable de 15 pouces et ceux-ci doivent dire si ce qui figure sur la photo présentée appartient à la ville de Paris ou non. Chaque photographie est présentée 500 ms et est suivie d'un point d'interrogation. Lorsque le point d'interrogation apparaît les participants doivent répondre le plus rapidement possible si cette photographie représente un paysage parisien ou non. Si la réponse est oui les participants doivent appuyer sur la touche « L » du clavier et sur la touche « S » si la réponse est non (voir annexe 6.a.iii. pour un schéma de la procédure).

Estimation de la durée de l'itinéraire : Nous demandons aux participants d'estimer le temps en minutes qu'ils auraient mis dans la réalité pour réaliser l'itinéraire qu'ils ont choisi.

Vérification du choix d'itinéraire : Nous finissons par vérifier si finalement le participant est sûr qu'il aurait choisi cet itinéraire dans la réalité en lui demandant oralement si dans la réalité il aurait effectué le même choix.

Les participants dans la condition sans réalité virtuelle (SRV) réalisent uniquement ces trois phases.

Entraînement en condition sans réalité virtuelle imagination (SRVi)

Dans la condition d'imagination, les participants effectuent le même entraînement, mais après la phase 2 (*i.e.* informations sur le trafic), nous leur demandons de s'imaginer réaliser l'itinéraire choisi pendant le temps qu'ils souhaitent. Ce temps est enregistré. Nous leur demandons ensuite comment ils se sont imaginés leur itinéraire et quelle stratégie (visuelle, verbale ou auditive) ils ont utilisé.

Entraînement en condition réalité virtuelle (RV)

Dans la condition en réalité virtuelle, nous proposons dans un premier temps un entraînement pour familiariser les participants avec l'environnement virtuel en ce qui concerne la navigation et les procédures pour entrer dans un mode, en sortir et faire les changements. Une fois que le participant est familiarisé avec l'utilisation de la réalité virtuelle nous passons à l'entraînement concernant la procédure des essais.

Cet entraînement suit les trois phases décrites précédemment. Cependant les participants doivent en réaliser en réalité virtuelle l'itinéraire choisi après la phase 2 (*i.e.* informations sur le trafic). Les participants réalisent ainsi l'itinéraire en réalité virtuelle de manière autonome avec la carte et le détail des lignes comme aide. A chaque début d'itinéraire les participants sont placés au point de départ de l'itinéraire (à côté de la station de départ). L'essai s'arrête lorsque les participants sont sortis du mode de transports à la station d'arrivée pour le bus et le métro et lorsqu'ils sont à côté d'une station de bus ou de métro portant le nom de la station d'arrivée quand ils sont à pieds. Le temps de parcours est enregistré. Nous demandons également aux participants, dans la phase 3, d'estimer le temps qu'ils ont mis à réaliser l'itinéraire en réalité virtuelle.

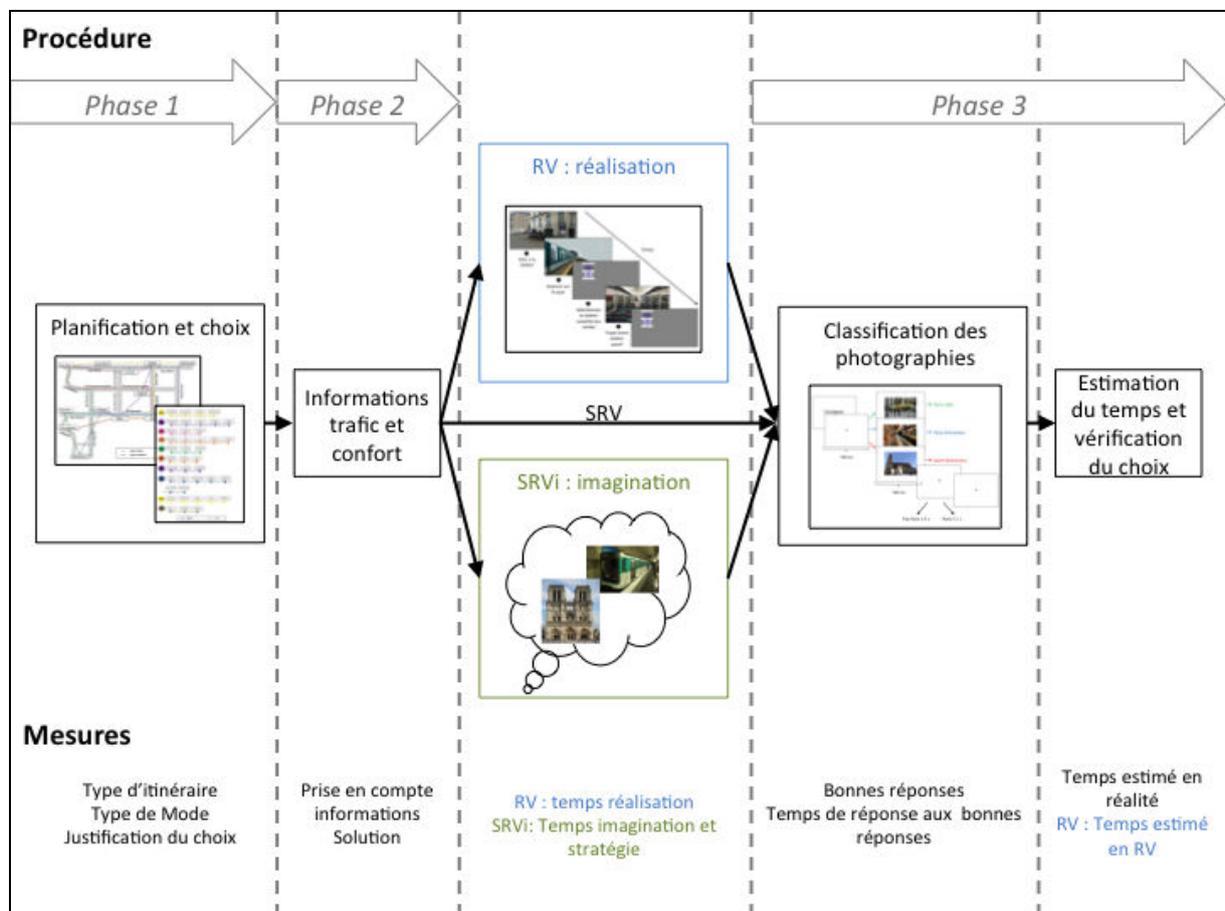


Figure 40. Procédure d'un essai avec les variations selon les conditions, en vert pour la condition SRVi et en bleu pour la condition RV. Les mesures réalisées sont également présentées.

8.3.3.b. Phase test

Une fois que l'entraînement a été correctement réalisé et que les participants ont compris la procédure, nous passons à la phase test.

La phase test suit la même procédure que la phase d'entraînement à l'exception que nous demandons aux participants de se situer dans un contexte spécifique (travail ou loisirs) pour faire leur choix. Ainsi, le contexte dans lequel les participants doivent se placer pour faire leur choix est décrit oralement avant la présentation du trajet à planifier.

Dans cette phase, les quatre itinéraires suivant (deux longs et deux courts) sont proposés aux participants. Deux sont longs, d'Hôtel de Ville à Montparnasse et de Cardinal Lemoine à Palais Royal ; et deux sont courts, de St Michel à Cardinal Lemoine et de Sèvres Babylone à Saint Germain. La longueur de l'itinéraire, le contexte et les informations sur les itinéraires sont contrebalancés parmi les participants (voir annexe 6.a.iv.).

8.3.3.c. Mesures complémentaires

Une fois tous les itinéraires réalisés, les participants remplissent les échelles (attitude, SBSODS) et le questionnaire d'utilisation des transports en commun. Le questionnaire de présence est administré uniquement dans la condition réalité virtuelle.

8.4. Analyse des données

8.4.1. Tâche de choix

Pour chaque itinéraire choisi (4 par participants), nous avons tout d'abord caractérisé sa longueur (long, court) et le contexte dans lequel il était effectué (travail, loisirs). Puis nous avons extrait les cinq variables présentées dans le Tableau 15 ci-dessous à partir de la description de l'itinéraire choisi et des réponses des participants aux questions.

Tableau 15. Les cinq variables de la tâche de choix avec leurs modalités et les descriptions de ces dernières.

Variables	Modalités	Descriptions
Type d'itinéraires	Direct	Unimodal sans changement (un seul mode, marche, bus ou métro)
	Marche_Direct	Un seul mode bus/métro avec de la marche
	Unimodal	Un seul mode (Bus/métro) avec changements avec ou sans marche
	Multimodal	Plusieurs modes de transports
Type de Mode	Actif	Marche
	Actif_Passif	Marche avec un autre mode (bus/métro)
	Passif	Bus/métro
Justification du choix	Temps	Temps de trajet, rapidité, « sûr d'être à l'heure »
	Changement	Eviter de faire trop de changements, le moins de changements possibles
	Agréable	Pour profiter du paysage, pour marcher, contexte tranquille, pour bouger un peu, confort, éviter la pluie, éviter un mode que l'on n'aime pas ;
	Simplicité	Eviter des choses compliquées, un tracé évident, éviter complexité, minimiser les chances de problèmes.
Information sur le trafic	Oui	Prend en compte l'information
	Non	Ne prend pas en compte l'information
Solution information sur le trafic	Alternative	Cherche une autre solution
	Rien	Ne fais rien tente quand même
	Conforte	Conforté dans le choix
	Non_concerné	Ne concerne pas itinéraire
	Minimise	Minimise le problème

8.4.2. Profil de l'utilisateur

8.4.2.a. Echelle du sens de l'orientation

Pour cette échelle, les réponses aux échelles de Likert sont comptabilisées et un plus grand score signifie de meilleures habiletés spatiales pour la SBSOD (score sur 105). Ensuite nous avons recodé les données en deux modalités à partir de la médiane : Spatial FAIBLE (inférieur ou égal à la médiane) ou Spatial FORT (supérieur à la médiane).

8.4.2.b. Echelle d'attitude envers les transports en commun

Pour cette échelle nous avons procédé au même codage que dans l'étude 2 (Chapitre 6) pour dégager trois modalités : Pro TC ; Apprécie TC et Modéré.

8.4.2.c. Variables liées à l'utilisation des transports dans la vie quotidienne et à la connaissance du quartier de l'étude

A partir du questionnaire nous avons extrait les quatre variables présentées avec leurs modalités et leurs descriptions dans le Tableau 16 ci-dessous.

Tableau 16. Variables liées à l'utilisation des TC et à la connaissance du quartier avec leurs modalités et descriptions.

Variables	Modalités	Descriptions
Itinéraire habituel pour le travail ou les études	Direct	Un seul mode sans changement
	Unimodal	Un mode avec changement
	Multimodal	Plusieurs modes
Temps itinéraire	Long	Supérieur à 30 minutes
	Court	Inférieur à 30 minutes
Critère le plus important pour itinéraire habituel	Temps	Le plus court
	Changement	Peu de changement(s)
	Changement de mode	Peu de changement(s) de mode
	Agréable	Le plus agréable
	Confort	Le plus confortable
	Peu de monde	Peu de monde emprunte cet itinéraire
Souvent quartier pour le travail (Echelle de Likert en 5 pts)	Souvent	Réponses 4 et 5
	De temps en temps	Réponse 3
	Peu	Réponses 2 et 1

8.4.2.d. Tâche de classification de photographies

Pour cette tâche nous avons enregistré le taux de bonnes réponses et les temps de réponses en millisecondes pour les réponses correctes uniquement. Les temps de réponses déviant à plus ou moins deux écart-types pour chaque item séparément ont été écartés. La tâche et les items (photographies) étaient différents selon l'itinéraire que les participants choisissaient, et certains itinéraires n'ont pas été beaucoup choisis. Ainsi quelques items n'ont obtenu que très peu de réponses (< 4 réponses). Nous avons donc supprimé ces items pour l'analyse. Enfin, nous avons remplacé les valeurs manquantes par les moyennes observées à l'item dans la condition.

8.4.2.e. Questionnaire sur l'état de présence

Ce questionnaire permet de calculer un score global de présence en additionnant tous les items. Il permet également de calculer différents sous-scores : réalisme (7 items, score sur 49), possibilité d'agir (4 items, score sur 28), qualité interface (3 items, score sur 21), possibilité d'examiner (3 items, score sur 21) et auto-évaluation de la performance (2 items, score sur 14).

8.4.2.f. Durées estimées et temps

Les durées estimées par les participants du temps qu'ils auraient mis pour réaliser l'itinéraire dans la réalité et du temps qu'ils ont mis en réalité virtuelle, ainsi que les temps de réalisation en réalité virtuelle et d'imagination ont tous été enregistrés en millisecondes.

8.4.2.g. Vérification du choix d'itinéraire

Nous avons codé si les participants étaient certains qu'ils auraient fait le même choix dans la réalité : « Oui » le participant déclare qu'il aurait fait le même choix dans la réalité ou « Non » le participant déclare qu'il n'aurait pas fait le même choix.

8.5. Hypothèses

Compte tenu de la littérature et des expériences précédemment menées (chapitre 6 et 7) nous faisons les hypothèses qui suivent.

Nous nous attendons à des différences entre les conditions (RV ou SRV) dans le sens où les itinéraires choisis en condition RV devraient être plus simples, car ils devront ensuite être réalisés, ce qui peut également influencer le type de mode(s) emprunté(s) et les justifications données. En ce qui concerne la tâche de classification de photographies nous supposons que si l'environnement virtuel permet une reviviscence des éléments de l'environnement réel, les photographies représentant des éléments de la réalité devraient bénéficier de la réalisation en réalité virtuelle et les temps de réponse à ces photographies devraient être plus courts que pour les autres photographies.

La longueur de l'itinéraire et le contexte devraient avoir une influence sur le type d'itinéraires choisi, le type de mode et sur les justifications. Dans le cas d'itinéraires longs et pour se rendre au travail, les itinéraires seront plus complexes car ils seront motivés par des critères d'efficacité. A l'inverse, pour les itinéraires courts et pour aller à une activité de loisirs, ils seront peut-être plus simples et motivés par des critères liés à l'agrément. En ce qui concerne les informations sur le trafic, elles devraient être plus prises en compte dans le contexte du travail étant donné que ce contexte est moins flexible quant aux retards par exemple.

Les participants avec une attitude positive envers les TC et avec un bon sens de l'orientation devraient davantage choisir des itinéraires multimodaux et/ou avec des types de modes actifs et avoir des justifications moins liées à l'agrément, que les participants avec une attitude négative envers les TC et un faible sens de l'orientation. De même ils devraient plus tenir compte des informations sur le trafic et rechercher d'autres solutions.

Les habitudes (type d'itinéraires et de mode, critère habituel, connaissance des quartiers cibles) devraient avoir un effet sur les itinéraires choisis et les justifications apportées. En effet, les itinéraires choisis et les justifications devraient être en accord avec les habitudes des participants. De plus, nous supposons que les usagers habitués à utiliser des itinéraires complexes ou connaissant bien le quartier devraient plus prendre en compte les informations sur le trafic et proposer d'autres solutions.

8.6. Résultats

8.6.1. Equivalence des groupes selon la condition

Nous n'observons pas de différence d'âge ($t(62) = 0,53, p = 0,6$) et de répartition selon le genre dans les deux conditions ($\chi^2(1) = 0,64, p = 0,4$). La répartition des participants se fait de la même manière dans les deux conditions pour les modalités d'habitude ($\chi^2(2) = 1,42, p = 0,5$), de capacités spatiales ($\chi^2(2) = 1,03, p = 0,6$) et d'attitude envers les TC ($\chi^2(2) = 4,27, p = 0,12$).

En ce qui concerne l'utilisation quotidienne des transports nous ne remarquons pas de différence entre les groupes de fréquence d'utilisation des TC ($\chi^2(2) = 2,67, p = 0,3$) du type d'itinéraires habituel ($\chi^2(2) = 0,71, p = 0,7$), du temps de l'itinéraire habituel ($\chi^2(2) = 2,95, p = 0,23$) et du critère préféré pour choisir un itinéraire ($\chi^2(7) = 7,30, p = 0,4$). Enfin, on ne note pas de différence de répartition des participants dans les deux groupes selon qu'ils se rendent souvent ou non dans le quartier parisien de l'étude ($\chi^2(2) = 1,08, p = 0,6$).

8.6.2. Choix d'itinéraires

Dans cette partie nous allons tout d'abord décrire les choix effectués par les participants (type d'itinéraires, de mode, justification et prise en compte des informations sur le trafic). Ensuite, nous analyserons à l'aide du test du Chi2 les différences de répartition des participants selon la condition (avec RV ou SRV/i), la longueur de l'itinéraire, le contexte et le profil (habitudes, capacités spatiales, attitudes, sexe et connaissance des quartiers) sur le type de choix effectués (type d'itinéraires, type de mode, justification) et sur la prise en compte des informations sur le trafic (informations trafic et solution).

8.6.2.a. Description générale des choix

256 itinéraires ont au total été planifiés par les participants. Parmi ceux-ci, 36,3% sont des itinéraires unimodaux, 26,6 % sont des itinéraires directs, 21,5% sont des itinéraires combinant un mode de transports et de la marche (Marche direct) et enfin 15,6% sont des itinéraires multimodaux. Plus de la moitié des itinéraires (64,5%) empruntent des modes de transports passifs, 23,1% des itinéraires combinent des portions actives et passives et 12,5% des itinéraires sont entièrement actifs. En ce qui concerne les justifications apportées pour le choix d'itinéraires, pour 35,6% des itinéraires le temps de trajet est le critère le plus important, pour 29,7% c'est le nombre de changements, 16,4% c'est l'agréabilité et 18,4% la simplicité.

Nous pouvons également noter que les justifications diffèrent selon le type d'itinéraires choisi ($\chi^2(9) = 36,51, p < 0,001$) et le type de mode ($\chi^2(6) = 22,6, p < 0,001$). En effet, alors que la moitié des itinéraires unimodaux sont justifiés par le temps de trajet (50,5%) et que plus de la moitié des itinéraires directs sont justifiés par le nombre de

changements (52,9%), les quatre justifications (temps, changements, agréabilité, simplicité) sont plus équitablement réparties pour les itinéraires multimodaux (respectivement 40%, 25%, 12,5% et 22,5%) et ceux combinant de la marche avec un mode de transports (respectivement 34,54%, 20%, 23,6% et 21,8%, voire Figure 41). De plus, le mode passif est principalement justifié par le temps de trajet (39,3%) et le nombre de changements (35,2%) alors que pour l'itinéraire combinant de l'actif et du passif ou les modes entièrement actifs nous retrouvons également une forte proportion de choix justifié par l'agréabilité (respectivement 23,7% et 34,4%) et la simplicité (respectivement 25,7% et 25%).

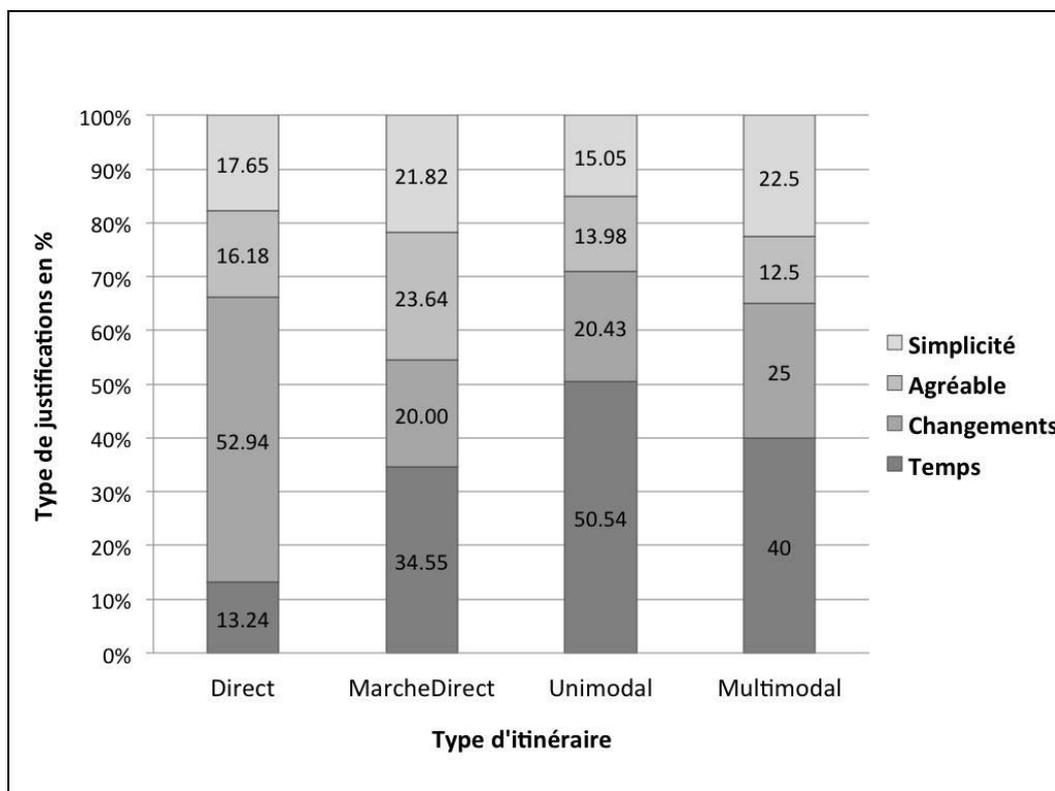


Figure 41. Justifications apportées pour le choix d'itinéraires en fonction du type d'itinéraires.

En ce qui concerne les informations sur le trafic, les informations pertinentes sont bien plus prises en compte que les informations non pertinentes ($\chi^2(6) = 110,68, p < 0,001$) et les solutions apportées diffèrent selon que les informations aient été prises en compte ou non ($\chi^2(10) = 185,36, p < 0,001$). En effet, lorsque l'information est prise en compte les participants cherchent une alternative dans 72% des cas, alors que lorsqu'ils ne prennent pas en compte l'information, ils évoquent qu'ils ne se sentent pas concernés (41,9%), qu'ils ne font rien (13,6%) ou minimisent le problème (12,3%).

8.6.2.b. Effet de la condition : avec RV ou sans RV

Les résultats ne révèlent d'effets de la condition sur le type d'itinéraires choisis ($\chi^2(3) = 2,35, p = 0,5$), sur le type de mode emprunté ($\chi^2(3) = 0,20, p = 0,9$) et sur la justification apportée ($\chi^2(3) = 2,91, p = 0,4$). De même, nous ne remarquons pas de différence sur la prise en compte des informations sur le trafic selon la condition ($\chi^2(2) = 3,22, p = 0,2$). En revanche, nous remarquons une différence sur la solution apportée en réponse à cette information sur le trafic ($\chi^2(5) = 12,78, p < 0,05$) mais celle-ci semble être expliquée par le fait qu'un grand nombre de participants n'ont pas apporté de solution dans la condition RV (37 sans réponses) par rapport à la condition sans RV (18 sans réponses).

8.6.2.c. Effet de la longueur

L'analyse de la longueur de l'itinéraire révèle un effet significatif sur le type d'itinéraires choisis ($\chi^2(3) = 7,99, p = 0,046$, voir Figure 42), sur le type de mode emprunté ($\chi^2(2) = 31,03, p < 0,001$) et sur la justification apportée pour le choix d'itinéraires ($\chi^2(3) = 14,99, p < 0,005$, voir Figure 43). Nous ne remarquons pas d'effet de la longueur sur la prise en compte des informations sur le trafic ($\chi^2(2) = 1,05, p = 0,6$), ni sur la solution apportée ($\chi^2(5) = 2,03, p = 0,8$).

Dans les deux cas, itinéraire long ou court, l'itinéraire unimodal est le plus choisi et l'itinéraire multimodal le moins choisi. En revanche nous remarquons une opposition en ce qui concerne le choix d'un itinéraire direct ou un itinéraire avec de la marche et un seul mode de transports (voir Figure 42). Lorsque l'itinéraire est long l'itinéraire direct est plus souvent emprunté (longs = 58,8% et courts = 41,1%) et lorsque l'itinéraire est court l'itinéraire avec un peu de marche est plus emprunté (courts = 65,5% et long = 34,6%).

En ce qui concerne le type de mode, le mode passif est plus choisi pour les itinéraires longs que courts (respectivement 61,8% et 38,2%) alors que les modes actif/passif et actif sont plus choisis pour les itinéraires courts que longs (respectivement pour les courts 62,7% et 87,5%, et pour les longs 37,3% et 12,5%).

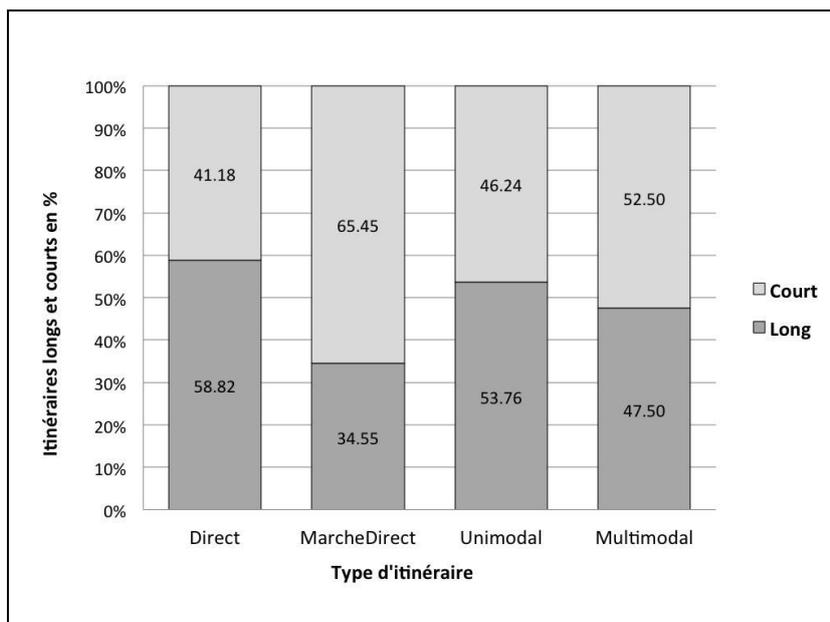


Figure 42. Pourcentage du type d'itinéraires choisi selon la longueur de ceux-ci.

Enfin les justifications (voir Figure 43) se rapportant au temps de trajet sont similaires pour les deux longueurs (longs = 48,4% et court = 51,7%). En revanche, le nombre de changements semble plus important dans le cas d'itinéraires longs (longs = 67,1% et courts = 32,9%), alors que les justifications de l'agréabilité et simplicité sont plus souvent rapportées dans le cas d'itinéraires courts (respectivement 64,3% et 61,7% pour les courts et 35,7% et 38,3% pour les longs).

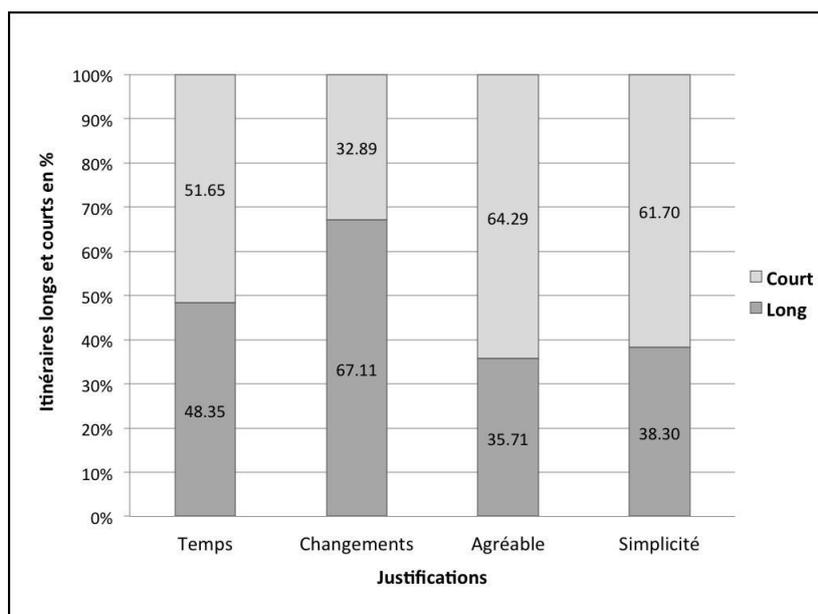


Figure 43. Pourcentage des justifications du choix d'itinéraires en fonction de la longueur de celui-ci.

8.6.2.d. Effet du but du trajet

Les résultats ne révèlent pas d'effet du but du trajet sur le type d'itinéraires choisis ($\chi^2(3) = 1,86, p = 0,6$) ni sur le type de mode emprunté ($\chi^2(2) = 1,86, p = 0,4$). En revanche, on remarque que pour le trajet pour se rendre au travail le critère « temps » est plus cité (60,4%) que pour les loisirs (39,6%). En ce qui concerne le nombre de changements c'est équivalent pour les deux contextes (travail = 48,7% et loisirs = 51,3%). L'agrément et la simplicité sont plus citées pour les loisirs (respectivement 59,5% et 59,6%) que pour le travail (respectivement 40,5% et 40,4%, Figure 44). Cet effet du but du trajet sur la justification est proche de la significativité ($\chi^2(3) = 7,27, p = 0,064$).

Les résultats ne révèlent pas d'effet du contexte sur la prise en compte des informations sur le trafic ($\chi^2(2) = 1,1, p = 0,6$) et sur les solutions apportées ($\chi^2(5) = 2,11, p = 0,8$).

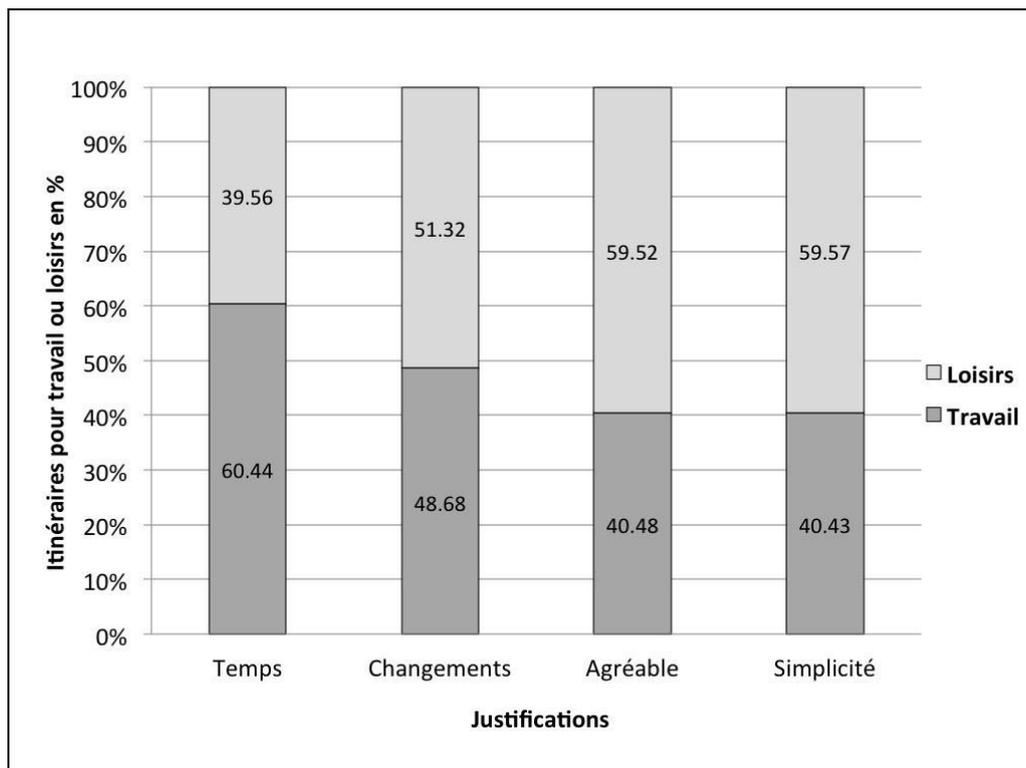


Figure 44. Pourcentage des justifications selon que l'itinéraire soit pour aller au travail ou aux loisirs.

8.6.2.e. Effet du profil

Sens de l'orientation

On n'observe pas d'effet du niveau estimé du sens de l'orientation sur le type d'itinéraires choisi ($\chi^2(6) = 8,88, p = 0,18$) et sur les justifications apportées ($\chi^2(6) = 2,42, p = 0,9$). En revanche, on remarque un effet du niveau estimé du sens de l'orientation sur le type de mode emprunté ($\chi^2(4) = 15,74, p < 0,005$). En effet, les personnes estimant avoir un bon sens de l'orientation vont plus avoir tendance à réaliser des itinéraires entièrement à pieds (sans emprunter les TC) par rapport aux personnes estimant avoir un mauvais sens de l'orientation (respectivement 71,9% et 25%, voir Figure 45).

Les résultats ne révèlent pas d'effet du niveau estimé du sens de l'orientation sur la prise en compte des informations sur le trafic ($\chi^2(4) = 1,59, p > 0,05$) et sur les solutions apportées ($\chi^2(10) = 4,69, p > 0,05$).

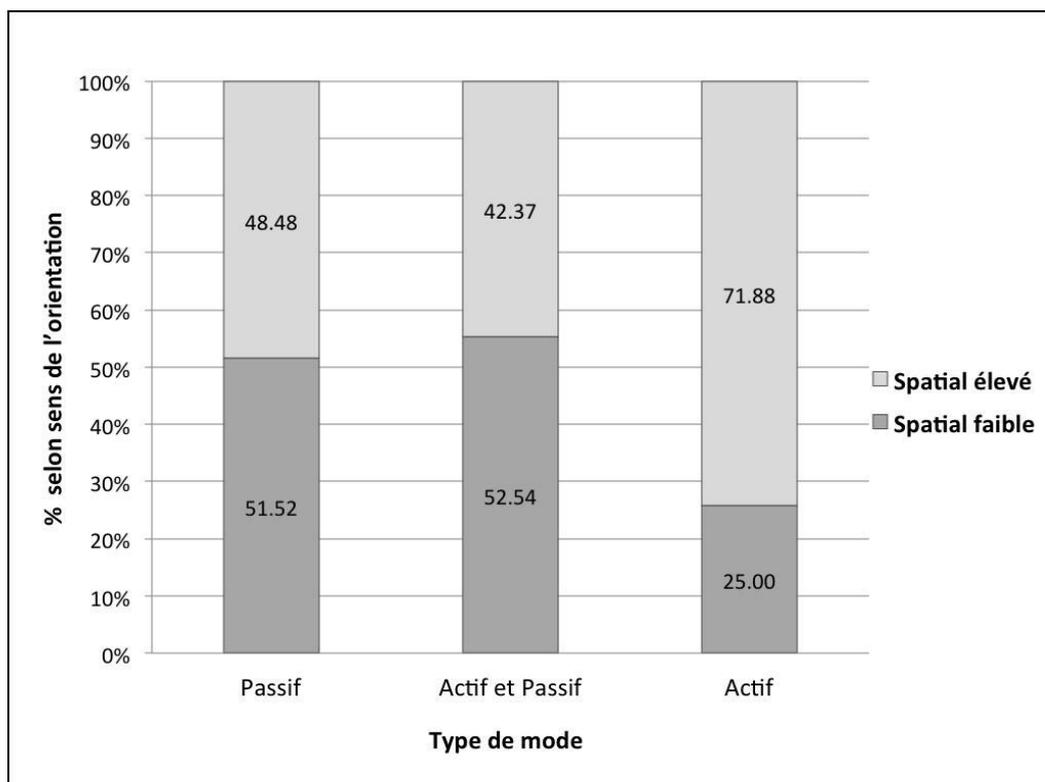


Figure 45. Type de mode choisi selon les capacités spatiales perçues.

Attitudes

Les résultats ne mettent pas en évidence d'effet de l'attitude envers les TC sur le type d'itinéraires choisi ($\chi^2(6) = 3,78, p = 0,7$), le type de mode emprunté ($\chi^2(4) = 5,77, p = 0,2$), les justifications du choix ($\chi^2(6) = 1,94, p = 0,9$), sur la prise en compte des informations sur le trafic ($\chi^2(10) = 4,85, p = 0,3$) et sur la solution apportée ($\chi^2(10) = 4,85, p = 0,9$).

Connaissances des quartiers

On n'observe pas d'effet de la connaissance des quartiers sur le type d'itinéraires choisi ($\chi^2(6) = 5,08, p = 0,5$), ni sur le type de mode choisi ($\chi^2(4) = 3,39, p = 0,5$) ou sur les justifications apportées ($\chi^2(6) = 2,71, p = 0,8$). De même il n'y a pas d'effet sur la prise en compte des informations sur le trafic ($\chi^2(4) = 4,77, p = 0,3$) ou sur la solution apportée ($\chi^2(10) = 10,69, p = 0,4$).

Genre

Les résultats ne révèlent pas d'effet du genre sur le type d'itinéraires choisi ($\chi^2(3) = 0,53, p = 0,9$), le type de mode emprunté ($\chi^2(2) = 0,20, p = 0,9$), les justifications du choix ($\chi^2(3) = 1,02, p = 0,8$), sur la prise en compte des informations sur le trafic ($\chi^2(2) = 3,53, p = 0,2$) et sur la solution apportée ($\chi^2(10) = 4,55, p = 0,5$).

Itinéraire habituel : type et longueur

De manière générale, la majorité des participants ont choisi leur itinéraire pour se rendre au travail ou sur leur lieu d'étude car c'est le plus rapide (54,5%), tandis que 15,6% l'ont choisi car c'est celui avec le moins de changements de lignes dans un même mode. 6,3% ont choisi cet itinéraire car c'est celui avec le moins de correspondances entre différents modes de transports et 6,3% car c'est le plus fiable. 9,4% ont choisi leur itinéraire car c'est le plus agréable et très peu l'ont choisi parce que peu de monde l'emprunte (3,1%) ou pour son confort (3,1%).

On ne remarque pas d'effet du type d'itinéraires habituel sur le type d'itinéraires choisi ($\chi^2(6) = 2,82, p = 0,8$), ni sur le type de mode choisi ($\chi^2(4) = 2,71, p = 0,6$) ou sur les justifications apportées ($\chi^2(6) = 8,43, p = 0,21$). De même, les résultats ne mettent pas en

évidence d'effet de la longueur de l'itinéraire habituel sur le type d'itinéraires choisi ($\chi^2(6) = 8,23, p = 0,2$), le type de mode emprunté ($\chi^2(4) = 861, p = 0,07$) et les justifications du choix ($\chi^2(6) = 2,57, p = 0,9$).

Critère habituel

Les résultats ne révèlent pas d'effet du critère que les participants déclarent utiliser habituellement pour choisir leurs itinéraires sur le type d'itinéraires choisi ($\chi^2(21) = 26,68, p = 0,2$), le type de mode emprunté ($\chi^2(14) = 13,60, p = 0,5$) et les justifications du choix ($\chi^2(21) = 19,57, p = 0,5$).

8.6.1. Vérification du choix et de l'immersion

Nous allons ici présenter uniquement les résultats de la tâche de vérification de l'immersion et du questionnaire de présence. Pour alléger la présentation des résultats, et parce qu'ils n'apportent pas d'informations supplémentaires, les différents résultats concernant les temps estimés, de réalisation et d'imagination sont présentés dans l'annexe 6.b.. De même pour la confirmation du choix dans la réalité et les stratégies utilisées en condition d'imagination.

8.6.1.a. Tâche de vérification de l'immersion

Bonnes réponses

Une ANOVA avec la condition (RV, SRV, SRVi), la connaissance des quartiers (souvent, peu, de temps-en-temps) en facteur inter-sujets et les photographies (Distracteurs Autres villes, Distracteurs Paris et Cible) en intra-sujets a été menée sur le nombre de bonnes réponses.

Les résultats ne révèlent pas d'effet de la connaissance du quartier ($F < 1$), ni de la condition ($F < 1$), ni du type de photographies, $F(2,110) = 2,18, p = 0,12$). Aucune interaction n'est significative.

Temps réponses pour les bonnes réponses

Une ANOVA avec la condition (RV, SRV et SRVi), la connaissance des quartiers (souvent, peu, tps-en-tps) en facteur inter-sujets et les photographies (Distracteurs Autres villes, Distracteurs Paris et Cible) en intra-sujets a été menée sur le temps de réponse correcte.

Les résultats mettent en évidence un effet du type de photographie significatif, $F(2,108) = 26,42, p < 0,001, \eta_p^2 = 0,32$, mais pas d'effet significatif de la condition ($F < 1$) et de la connaissance du quartier ($F < 1$). L'interaction entre les photographies et la condition est significative, $F(4,110) = 4,12, p < 0,005, \eta_p^2 = 0,13$, en revanche aucune autre interaction ne l'est.

L'analyse du test Post-hoc de Bonferroni sur le facteur photographie révèle une différence significative entre les Distracteurs Autres, les Distracteurs Paris ($p < 0,001$) et les Cibles ($p < 0,001$). On observe ainsi que les temps de réponses pour les rejets corrects (Distracteurs Autres) sont plus longs ($M = 663$ ms, $ES = 28$ ms) que pour les acceptations (Distracteurs Paris, $M = 510$ ms, $ES = 24$ ms ; et Cibles, $M = 525$ ms, $ES = 23$ ms). En revanche, nous ne remarquons pas de différence entre les Distracteurs Paris et les Cibles. L'analyse post-hoc (Bonferroni) sur l'interaction entre le type de photographie et la condition révèle que cet effet est vrai pour la condition SRV (Distracteurs Autres vs. Distracteurs Paris, $p < 0,001$ et Distracteurs Autres vs. Cibles, $p = 0,0034$), en partie pour la condition SRVi ($p = 0,058$ et $p < 0,001$) et pas pour la condition RV ($p = 0,71$ et $p = 0,9$).

8.6.1.b. Questionnaire de présence

Les scores obtenus par les participants de notre étude à l'échelle de présence et aux sous-échelles sont conformes aux normes de la version française (Laboratoire de Cyberpsychologie de l'UQO, 2002, 2013), à l'exception de la sous-échelle de la qualité de l'interface ($t(31) = 2,39, p = 0,023$), car notre moyenne est supérieure (16,94 vs. 15,37, voir les résultats aux tests t dans le Tableau 17).

Tableau 17. Tests t par rapport aux valeurs de références de Witmer et Singer (1998) pour les scores totaux et aux sous-échelles du questionnaire de présence.

	Moyenne	Ecart-T	N	Erreur-T	Référence	Valeur t	ddl	p
Total	107,563	24,459	32	4,324	104,390	0,734	31	0,469
Réalisme	29,469	8,171	32	1,445	29,450	0,013	31	0,990
Possibilité d'agir	20,094	5,063	32	0,895	20,760	-0,744	31	0,462
Qualité interface	16,938	3,715	32	0,657	15,370	2,387	31	0,023
Possibilité d'examiner	14,938	3,835	32	0,678	15,380	-0,653	31	0,519
Evaluation performance	11,594	2,698	32	0,477	11,000	1,245	31	0,223

8.7. Discussion et conclusion

L'objectif de cette étude était de clarifier les effets des facteurs contextuels et individuels (*e.g.*, des capacités spatiales, genre, attitude, habitudes) sur le choix d'itinéraires en TC dans le cas où l'utilisateur utilise une carte. Nous avons alors proposé à des participants de planifier des itinéraires en TC, pour différents buts (travail, loisirs), parmi de multiples possibilités à l'aide d'une carte puis de les réaliser en réalité virtuelle afin d'immerger les participants dans une situation proche de la réalité. Nous avons également utilisé des échelles et questionnaires pour mesurer les différents facteurs individuels composant le profil des participants et réalisé plusieurs mesures de l'immersion en réalité virtuelle.

Tout d'abord, sur la base des normes établies par le Laboratoire de Cyberpsychologie de l'UQO (2002, 2003), notre environnement possède de bonnes qualités concernant le réalisme, la possibilité d'agir, la qualité de l'interface et la possibilité d'examiner les éléments. Pour vérifier l'immersion nous avons également créé une tâche novatrice permettant de tester si l'environnement virtuel permettait de rappeler des éléments de la réalité aux participants lors de leur navigation. Cette tâche a été construite sur le principe d'un paradigme classique d'amorçage. L'idée était que si l'environnement virtuel permettait de rappeler des éléments de la réalité, les photographies représentant des éléments présents dans la réalité auraient dû bénéficier de la réalisation en réalité virtuelle et les temps de réponse à ces photographies devraient être plus courts que pour les autres photographies. Toutefois, nos résultats ne montrent pas de différence entre les différents types de photographie. Au moins deux explications peuvent être envisagées : (1) les photographies sélectionnées l'ont été seulement sur la base d'un pré-test avec un

échantillon très restreint et ne sont peut-être pas toutes adaptées, (2) les participants ne connaissent pas suffisamment les quartiers cibles où ont été réalisés les itinéraires pour avoir connaissance de certains éléments présents sur les photographies. Nous avons également comparé plusieurs conditions expérimentales (*i.e.* avec ou sans réalité virtuelle) afin de vérifier les effets de la perspective d'avoir à réaliser l'itinéraire sur le choix. Malgré le caractère ambitieux et novateur de notre approche dans notre domaine d'étude, nous ne retrouvons pas d'effet sur les choix effectués par nos participants.

En ce qui concerne les effets du contexte testés par la longueur du trajet et le but du trajet nos résultats montrent que la longueur du trajet joue un rôle sur le type d'itinéraires et de mode choisis et sur les justifications apportées. De plus, le but du trajet semble jouer un rôle sur les justifications.

Le type d'itinéraires « marche » avec un mode de transports est plus choisi pour les itinéraires courts que longs. Cela signifie que lorsque le temps de trajet est court, les participants préfèrent utiliser un seul mode de transports et compléter l'itinéraire à pied plutôt que d'effectuer des changements de modes. Les résultats sur le type de mode emprunté confirment ceci car les participants préfèrent le mode actif pour les itinéraires courts que longs. Ces résultats mettent donc en évidence que pour des itinéraires courts la « marche » est souvent considérée pour effectuer l'itinéraire en entier ou pour être combinée à d'autres modes et que ce moyen de locomotion doit également être pris en considération lorsque l'on s'intéresse aux déplacements des usagers en milieu urbain.

Les résultats concernant les justifications selon la longueur du trajet à planifier vont dans le sens inverse de ceux de l'étude précédente (chapitre 7). Pour les itinéraires courts les participants rapportent des justifications liées à l'agréabilité et à la simplicité qui sont proches du confort émotionnel (Cahour, 2008), alors que pour les itinéraires longs ils préfèrent les itinéraires avec le moins de changements. La différence de résultat entre nos deux études peut s'expliquer par le fait que dans la première étude le confort était défini comme le bien être des usagers dans les modes de transports, alors que dans la seconde étude c'est une notion plus large qui est définie et elle englobe tout ce qui peut rendre l'itinéraire émotionnellement positif. De plus, les usagers ne disposaient pas des informations sur le confort comme dans la première et le confort a été extrait des

justifications qu'ils ont apportées après avoir fait leur choix. Malgré les différences méthodologiques et les investigations encore nécessaires pour clarifier le sens de l'effet, ces résultats, dans l'ensemble, permettent d'attester que le choix d'itinéraires est envisagé différemment selon la longueur du trajet et que cela influence le type d'itinéraires, de mode emprunté et les critères privilégiés.

Les résultats sur les justifications selon le but du trajet montrent eux des effets similaires à ceux observés dans l'étude exploratoire de l'expérience des usagers précédemment menée (chapitre 6) et dans la littérature (Klößner & Friedrichsmeir, 2011). En effet, il apparaît que pour aller au travail l'efficacité est privilégiée (*i.e.* le temps de trajet) alors que pour aller à une activité de loisirs c'est le confort émotionnel (*i.e.* agréabilité, simplicité). Ce résultat montre donc de manière expérimentale que le but du trajet influence les critères de décision pris en compte pour choisir un itinéraire en TC.

Contrairement aux études que nous avons menées précédemment, les résultats ne révèlent pas d'effet des attitudes, du genre et des préférences sur le choix d'itinéraires. Ceci peut s'expliquer par les caractéristiques de notre matériel. De nombreuses alternatives étaient possibles pour chaque trajet et les différents itinéraires étaient trop peu contrastés pour faire émerger des différences. De plus, du fait des nombreuses possibilités, le nombre d'observations était faible pour chacune d'elle. Afin de contrôler l'habitude nous avons proposé un quartier parisien dans lequel nous pensions que les participants auraient des repères et peut-être certaines habitudes, toutefois il s'est avéré que la majorité d'entre eux connaissaient ce quartier sans pour autant s'y rendre souvent. Les résultats que nous avons obtenus sont de ce fait en accord avec ceux de Verplanken *et al.* (1997) montrant que les effets de l'habitude sur des itinéraires nouveaux sont faibles. De plus, les mesures utilisées n'étaient peut-être pas les plus adaptées et des mesures en termes de fréquence d'utilisation de certains modes de transports ou types d'itinéraires, ou des mesures sur le processus de planification (*i.e.* temps de réponse, comparaison des alternatives) le seraient davantage.

En revanche, nous remarquons que le sens de l'orientation perçu a une influence sur le type de mode emprunté. Les participants estimant avoir un bon sens de l'orientation ont plus choisi des itinéraires pour lesquels ils devaient être actifs (*i.e.* marche) et devaient donc

trouver leur chemin par eux-mêmes en s'aidant de la carte. Bien qu'il soit admis dans la littérature que les capacités spatiales sont nécessaires pour planifier un itinéraire et le réaliser (Gärling *et al.*, 1986 ; Rüetschi & Timpf, 2005 ; Vickers *et al.*, 2000 ; Wiener *et al.*, 2007), notre étude permet d'apporter des éléments empiriques de validation dans le cas de choix d'itinéraires en transports en commun en montrant que les usagers prennent en considération leur sens de l'orientation estimé lors de l'étape de planification de leur itinéraire. En revanche, contrairement à l'hypothèse que nous avons formulée dans l'étude précédente (chapitre 7), selon laquelle les usagers avec un moins bon sens de l'orientation tendraient à choisir des itinéraires avec moins de correspondances, nous n'avons pas mis en évidence que le sens de l'orientation jouait un rôle dans le choix d'utiliser des itinéraires multimodaux ou non (impliquant donc des correspondances). Deux explications possibles peuvent être avancées. La première est que nos participants connaissent le réseau de transports parisien et les signalétiques aux correspondances et ne considèrent donc pas celles-ci comme complexes. La seconde est que les difficultés liées à un faible sens de l'orientation n'interviennent pas au moment du choix d'itinéraires et sont à observer lors de la navigation aux points de correspondances. Il est possible, par exemple, que les usagers ayant un moins bon sens de l'orientation cherchent leur chemin plus longtemps que ceux ayant un bon sens de l'orientation.

Au final, cette étude utilisant une méthodologie nouvelle avec un environnement virtuel nous a permis de confirmer que la longueur du trajet est prise en compte lors du choix d'itinéraires et que les critères de sélection alors utilisés dépendent de ce facteur contextuel. De plus, en accord avec notre étude exploratoire (chapitre 6), le but du trajet semble avoir des effets sur le choix d'itinéraires en TC. Enfin, nous avons mis en évidence pour la première fois de manière expérimentale que le sens de l'orientation perçu par les participants influençait le type de mode emprunté. Malgré des choix méthodologiques contraignants associés à l'utilisation de la réalité virtuelle, n'ayant pas permis l'investigation précise de certains facteurs individuels, cette étude apporte des arguments empiriques supplémentaires supportant notre modèle PLANITRAC.

Partie III. Discussion générale

Chapitre 9. Discussion et conclusion générale

L'objectif principal de cette thèse était d'étudier l'activité de planification d'itinéraires en transport en commun, en essayant d'adopter un point de vue global, considérant et analysant les processus cognitifs situés dans un contexte de mobilité urbaine. Après avoir discuté les études s'intéressant à la planification d'itinéraire en psychologie cognitive, sociale et dans le domaine de la mobilité, nous avons proposé un modèle du processus de planification d'itinéraire en transport en commun (*i.e.* PLANITRAC), dont nous avons étudié divers aspects dans quatre études utilisant des méthodologies et techniques variées.

9.1. Validation du modèle PLANITRAC

9.1.1. Le modèle PLANITRAC

Rappelons tout d'abord les éléments principaux de notre modèle PLANITRAC. Dans le souci de décrire le processus de planification dans des situations réelles, le modèle PLANITRAC intègre l'usage éventuel d'aides à la planification telles que les cartes et les planificateurs. Ainsi, nous suggérons que l'utilisateur s'appuie toujours sur une représentation interne (*i.e.* modèle mental ; Johnson-Laird, 1983), mais il peut également s'aider soit d'une carte, soit d'un planificateur. Dans les deux cas nous avons proposé que le processus s'effectue en deux étapes, qui sont cependant différentes selon les cas. Dans le premier cas, *i.e.* planification à partir d'une carte, l'utilisateur doit d'abord rechercher les stations d'origine et de destination puis il doit rechercher et sélectionner un itinéraire. Nous avons envisagé, contrairement aux propositions théoriques actuelles (Gärling *et al.*, 1986 ; Brunyé *et al.*, 2010), que dans la seconde étape, la recherche des chemins serait dépendante des critères de sélection, et de ce fait, chaque itinéraire trouvé serait évalué selon les critères. Cette conception reprend le fonctionnement décrit dans la théorie de l'« élimination-par-aspect » proposée par Tversky (1972). Cependant, notre modèle est plus complet car il intègre la phase de recherche des itinéraires. Dans le cas où l'utilisateur utilise un planificateur, la première étape - de recherche de l'origine et de la destination et des itinéraires possibles -

est prise en charge par le planificateur. Aussi, l'utilisateur doit seulement réaliser un choix parmi les différentes alternatives proposées, selon le processus décrit dans la théorie de l'« élimination-par-aspect ». Notre modèle propose que les préférences des usagers définissent le choix d'un critère et donc d'une alternative. Les préférences des usagers, quant à elles, seraient influencées par des facteurs individuels (e.g. attitudes, habitudes, caractéristiques sociodémographiques, capacités spatiales) et contextuels (e.g. moment de la journée, but du trajet). Ces derniers jouent également un rôle pour définir le problème, c'est-à-dire le trajet.

Nous avons mis en place quatre études permettant de tester le processus de planification que nous proposons à partir d'une carte et d'un planificateur, et l'effet des facteurs individuels (e.g., âge, sexe, attitude, habitudes, capacité spatiales), contextuels (e.g., moment de la journée, but et longueur du trajet) et des préférences sur le choix de critères.

9.1.2. Processus de planification avec une carte et modèle PLANITRAC

Nous nous sommes intéressés au processus de planification d'itinéraires en transport en commun à partir de cartes dans la première étude de cette thèse. Dans cette étude, nous nous sommes focalisés sur la mise en évidence des deux étapes de planification et sur les processus cognitifs et visuels impliqués dans celles-ci (en rouge sur la Figure 46). Nous avons porté un intérêt particulier aux situations où le critère de sélection est de trouver l'itinéraire avec le moins de correspondances possible.

Nos résultats confirment l'existence d'une étape de recherche des stations d'origine et de destination et d'une étape de recherche des itinéraires et de sélection. Ces deux étapes se différencient par la nature et le nombre de traitements cognitifs et visuels impliqués. En effet, pour la première étape, les temps de réalisation sont plus courts, les saccades plus larges et les stations avec plusieurs correspondances moins regardées que pour la seconde étape. Ces résultats vont dans le sens de nos prédictions et suggèrent que lors la première étape l'utilisateur effectue uniquement un balayage visuel pour trouver la position des stations d'origine et de destination, dont les noms sont stockés en mémoire. Cette exploration lui permet de mémoriser les positions des stations d'origine et de

destination et de construire ou compléter son modèle mental, pour ensuite réaliser le traitement de la seconde étape. Dans la seconde étape, l'utilisateur a plus de traitements à réaliser. Il doit rechercher les itinéraires possibles, ce qui nécessite une exploration visuelle fine des éléments de la carte, tels que les lignes et les stations. L'utilisateur doit également mémoriser les lignes passant par les stations d'origine et de destination et effectuer des comparaisons visuelles ou en mémoire à partir de son modèle mental, afin de déterminer si une même ligne passe par les deux stations. Si la même ligne passe par les stations d'origine et de destination, l'utilisateur a trouvé l'itinéraire avec le moins de correspondances. On remarque déjà ici que la mémoire de travail est fortement sollicitée et que des processus de comparaisons des stations et des lignes à l'aide du modèle mental doivent être engagés. Dans nos résultats, la complexité induite par le nombre de correspondances nécessaires dans l'itinéraire impacte l'exploration visuelle de la carte pendant l'étape de sélection. Le temps de réalisation s'accroît avec la complexité de l'itinéraire et les stations d'origine et de destination sont de moins en moins regardées. Une interprétation possible de ces résultats en accord avec notre modèle est que les traitements engagés dans cette seconde étape sont dépendants du critère de sélection de l'itinéraire, *i.e.* le moins de correspondances possible. Plus il y a de correspondances à l'itinéraire, plus les traitements visuels sont fins et l'exploration visuelle large pour trouver les stations permettant d'effectuer les correspondances. De plus, le nombre d'éléments à stocker en mémoire de travail s'accroît (positions des stations d'origine, de destination, de correspondant, itinéraire(s) possible(s), etc.). Enfin, d'après le fonctionnement que nous avons dérivé de la théorie de l'« élimination-par-aspect », pour chaque itinéraire trouvé, l'utilisateur doit comparer dans son modèle mental cet itinéraire à son critère (*i.e.*, le moins de correspondances) ou à un autre itinéraire précédemment trouvé. L'utilisateur devra continuer ce processus de recherche d'itinéraires et de comparaisons tant qu'il n'aura pas trouvé l'itinéraire avec le moins de correspondances possibles.

Bien que cette étude apporte des arguments empiriques supportant notre modèle PLANITRAC, de nombreux questionnements restent en suspens. Dans l'étude 1 nous avons uniquement considéré le cas où l'utilisateur recherche l'itinéraire avec le moins de correspondances. Or, nous avons vu dans la revue de la littérature que de multiples critères peuvent être pris en compte, tels que le temps de trajet, l'agrément ou encore le temps de

marche (Golledge, 1995). Nous n'avons donc pas pu tester notre hypothèse selon laquelle le processus mis en place durant l'étape de recherche des itinéraires et de sélection est modifié selon le critère privilégié. En effet, si le critère est de trouver l'itinéraire le plus court, nous pouvons faire l'hypothèse que les usagers ne porteront pas autant attention aux stations de correspondances que dans notre étude, mais plus à la longueur des segments. De plus, le réseau de transport présenté était fictif, aussi nos participants ne disposaient pas de connaissances préalables de l'environnement. Analyser le comportement après apprentissage de la carte aurait permis d'étudier cette question. Cependant, nos résultats n'ont pas montré d'effet d'apprentissage de la carte. Nous n'avons donc pas pu clairement distinguer les processus liés au modèle mental de l'environnement et ceux liés à l'aide apportée par la carte. Enfin, d'autres cas seraient envisageables comme par exemple celui où les usagers connaissent l'environnement mais utilisent une carte pour compléter et/ou faciliter la recherche. Nous pouvons aisément imaginer que le processus diffère de celui que nous avons étudié.

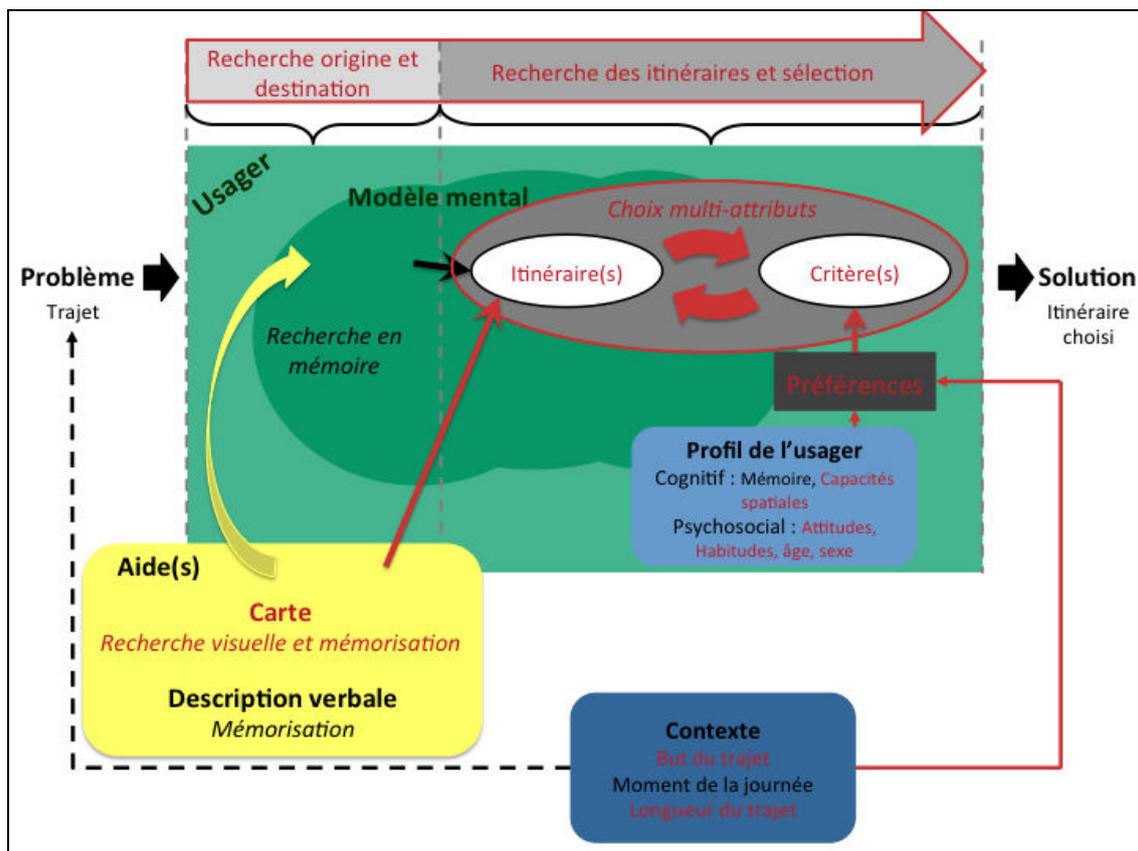


Figure 46. Le modèle PLANITRAC et les points investigués ayant donné lieu à la confirmation du modèle dans nos études (en rouge), dans le cas de la planification à partir de carte.

9.1.3. Processus de planification avec planificateur et modèle PLANITRAC

Nous avons étudié le processus de planification dans le cas où l'utilisateur utilise un planificateur dans la troisième étude (chapitre 7). Les points investigués ayant donné lieu à la validation de notre modèle PLANITRAC, dans ce cas, sont présentés en rouge sur la Figure 47.

Nous avons proposé que lorsqu'une aide de type planificateur est utilisée, l'utilisateur doit réaliser un choix multi-attributs. Bien que dans la littérature ce type de choix soit encore peu étudié, nous avons retenu la proposition de Tversky (1972) pour expliquer le processus de choix. Cette proposition nommée la théorie de l'« élimination-par-aspect » stipule que le décideur, ayant préalablement établi des critères de sélection, va éliminer au fur et à mesure les alternatives dont les attributs ne correspondent aux critères. Au final, le décideur choisit l'alternative qui a la plus grande valeur sur l'attribut le plus important, ce qui correspond à l'« hypothèse d'importance » proposée par Slovic (1995) et Tversky *et al.* (1988). Ainsi dans la troisième étude, nous avons demandé aux participants de réaliser des choix multi-attributs entre deux itinéraires en transport en commun contrastés sur chacun des deux attributs suivants : le confort (*e.g.*, place assise, possibilité de se reposer ou non), le nombre de modes de transport (*e.g.*, un seul mode ou trois modes). Ces choix étaient également effectués dans différents contextes (*i.e.*, travail, retour, loisirs) et pour deux longueurs de trajet (*e.g.*, court ou long). Nous avons également mesuré différents facteurs individuels d'après ceux mis en évidence dans l'étude 2 (chapitre 6, *e.g.*, attitudes, habitudes). En accord avec nos prédictions, les résultats montrent que les participants choisissent l'option qui correspond le mieux à leurs préférences, validant ainsi l'« hypothèse d'importance » (Slovic, 1995 ; Tversky *et al.*, 1988). Dans ce cadre nos résultats montrent également que certains facteurs individuels (*e.g.*, genre, l'âge, les attitudes envers le TC, les habitudes et le sens de l'orientation) et contextuels (*e.g.*, longueur du trajet), déterminent le choix d'itinéraire et donc le critère de sélection favorisé. Nous allons revenir plus précisément sur l'influence de ces facteurs dans la section suivante.

Au final, cette étude nous a permis pour la première fois, à notre connaissance, de s'intéresser au processus de planification lorsque l'utilisateur s'aide avec un planificateur sur internet ou Smartphone. Nos résultats valident la proposition du processus, que nous avons

faite à partir de notre modèle PLANITRAC, qui implique que les usagers éliminent les alternatives ne correspondant pas à leur(s) critère(s) et choisissent l'alternative avec la valeur la plus importante sur le critère privilégié. Toutefois, l'une des limites que nous pouvons noter est que nous avons proposé des choix sommaires dans le sens où seulement deux alternatives étaient proposées et que celles-ci étaient très contrastées. Or, en réalité il existe peu de situations comme celles que nous avons proposé. Dans la majorité des cas, les usagers sont confrontés à de multiples alternatives pouvant être proches les unes des autres sans pour autant qu'une soit préférable sur un critère spécifique, ou corresponde aux attentes de l'utilisateur.

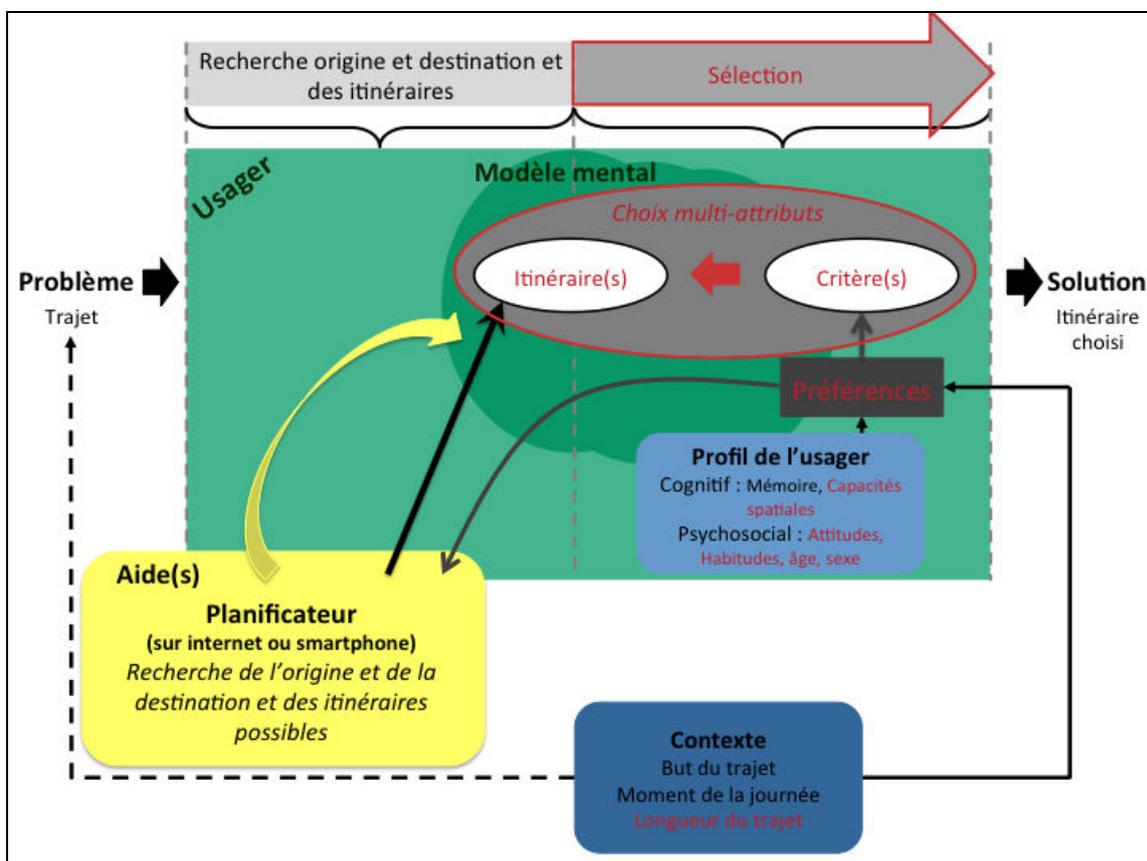


Figure 47. Le modèle PLANITRAC et les points investigués ayant donné lieu à la confirmation du modèle (en rouge), dans le cas de planification avec un planificateur.

9.1.4. Facteurs individuels et contextuels dans le modèle PLANITRAC

Dans la littérature, il a été mis en évidence des différences interindividuelles au niveau cognitif (e.g., capacités spatiales, mémoire) et psychosocial (e.g., attitudes, habitudes) qui influencent le choix de mode de transport et d'itinéraire (Chowdhury et al.,

2013 ; Gras *et al.*, 2012 ; Hölscher *et al.*, 2010 ; Klöckner & Friedrichsmeier, 2011 ; Verplanken *et al.*, 1997). De même, des facteurs contextuels, tels que le but du trajet ou le moment de la journée, entrent en compte lors de cette décision (Dieleman *et al.*, 2002 ; Klöckner & Friedrichsmeier, 2011). Aussi, nous avons postulé dans notre modèle, que ces facteurs individuels et contextuels détermineraient les préférences des usagers et donc le(s) critère(s) de sélection. Nous nous sommes intéressés à certains facteurs individuels (*e.g.*, attitudes envers les TC, habitudes, âge, sexe, capacités spatiales) et contextuels (*e.g.*, but du trajet, moment de la journée, longueur du trajet) dans trois de nos études (chapitre 6, 7 et 8).

Dans un premier temps nous avons mené une étude exploratoire (étude 2, chapitre 6) afin de mettre en évidence les facteurs individuels et contextuels intervenant dans le cas du choix d'itinéraire en transport en commun. Nous avons mené des entretiens auprès d'usagers des transports en commun de la région Île-de-France, à l'aide de la technique des incidents critiques (Flanagan, 1954). Cette technique nous a permis de recueillir des événements réels expérimentés par nos participants. Nous avons également mesuré l'attitude envers les TC et le type d'itinéraire habituel (*i.e.*, unimodal ou multimodal) de nos participants. Nos résultats montrent que le choix d'un itinéraire dépend du contexte, c'est-à-dire le but du trajet et le moment de la journée. Le choix diffère donc si l'utilisateur doit se rendre au travail le matin ou aller à une activité de loisirs l'après-midi. De plus, nos résultats ont révélé des profils d'usagers résultant de différents facteurs individuels (*e.g.*, âge, sexe, attitudes, type d'itinéraire habituel). Certains usagers – par exemple les hommes avec une attitude positive envers les TC - sont flexibles et n'hésitent pas à tester de nouveaux itinéraires, à en changer et à choisir des itinéraires pour des raisons liées à l'agrément, alors que d'autres – par exemple les femmes avec une attitude négative envers les TC - préfèrent utiliser toujours le même itinéraire pour des raisons d'efficacité.

Nous avons testé l'effet des facteurs individuels et contextuels, notamment ceux mis en évidence dans la deuxième étude, dans le cas où les usagers doivent planifier et choisir un itinéraire à partir d'une carte, dans notre quatrième étude (chapitre 8). L'ensemble de nos résultats atteste que le critère de sélection d'un itinéraire dépend de facteurs individuels, tels que le sens de l'orientation, et de facteurs contextuels, tels que la longueur et le but du trajet à planifier. En effet, les participants qui pensent avoir un bon sens de l'orientation

prennent plus des modes actifs, tels que la marche, que les participants considérant avoir un mauvais sens de l'orientation. De plus, les critères liés à l'agrément sont plus évoqués dans le cas d'itinéraires longs ou pour se rendre à une activité de loisirs, alors que les critères liés à l'efficacité sont, quant à eux, plus cités dans le cas d'itinéraires courts ou pour se rendre sur le lieu de travail.

Nous avons également mis en évidence l'influence de certains facteurs individuels et contextuels sur le choix d'itinéraire lorsque l'utilisateur utilise un planificateur, dans la troisième étude (chapitre 7). Nos résultats montrent que le genre, l'âge, les attitudes envers les TC, les habitudes et le sens de l'orientation perçus déterminent le choix d'itinéraires. Les participants qui sont plutôt des femmes, les plus âgé(e)s, avec une attitude positive envers les TC et qui perçoivent avoir un mauvais sens de l'orientation ont tendance à choisir un itinéraire confortable composé de trois modes de transports. À l'inverse, les participants qui sont plutôt des hommes, plus jeunes, avec une attitude négative envers les TC, qui pensent avoir un bon sens de l'orientation et qui ont pour habitude de choisir un itinéraire avec peu de correspondance, choisissent plutôt l'itinéraire inconfortable avec un seul mode de transport. De plus, nos résultats mettent en évidence que selon la longueur du trajet, le choix n'est pas fait pour le même itinéraire. L'itinéraire confortable avec trois modes est préféré pour les trajets longs et l'itinéraire inconfortable avec un seul mode pour les trajets courts.

L'ensemble des résultats de ces trois études valide notre hypothèse selon laquelle les préférences et donc le(s) critère(s) des usagers dépendent de facteurs individuels et contextuels. Ces résultats confirment que le processus de planification diffère selon les individus, ce qui a été encore peu considéré dans la littérature cognitive classique. Toutefois, nous notons que selon nos études, s'intéressant soit à la planification à partir de carte, soit à partir de planificateur, certains de nos résultats sont contradictoires (*e.g.*, sexe, sens de l'orientation). Cela peut s'expliquer par les différences méthodologiques, plus ou moins proches de situations réelles, ou par le fait que l'aide utilisée n'est pas la même selon nos études. Cependant, ces deux sources de variation étant confondues dans nos études, nous ne pouvons pas conclure en faveur de l'un ou de l'autre. De plus, nous avons finalement peu exploré la mise en œuvre des ressources cognitives, telles que la mémoire, les fonctions exécutives et les capacités spatiales, pourtant décrites dans la littérature

comme nécessaires à la planification (Basso *et al.*, 2001 ; Basso *et al.*, 2006 ; Vickers *et al.*, 2001 ; Wiener *et al.*, 2009).

9.2. Implications théoriques

Dans cette thèse, nous avons pris le parti d'étudier l'activité de planification d'itinéraires d'après l'approche proposée par le courant théorique de la cognition située. Rappelons que celle-ci stipule que la cognition est adaptée à l'environnement (Clancey, 1997) et de ce fait elle est incarnée et/ou intégrée et/ou étendue (*embodied, embedded et extended* en anglais, Robbins & Aydede, 2009). Aussi, nous avons adopté une approche globale dans la revue de littérature et dans nos études, intégrant les processus cognitifs, le contexte social et de mobilité. Ce point de vue nous a permis de proposer un nouvel éclairage sur les conceptions actuelles du processus de planification d'itinéraires et sur les facteurs intervenants lors de la planification.

9.2.1. Processus de planification d'itinéraires

Tout d'abord, notre conception de la planification d'itinéraires et les résultats de la première étude (chapitre 5) remettent en question les théories existantes, suggérant que la planification se fait de manière séquentielle, en différentes étapes, qui n'interagissent pas les unes avec les autres. Il est admis, au niveau théorique, que les usagers recherchent dans un premier temps les stations d'origine et de destination, puis les chemins et enfin sélectionnent le chemin qui convient le mieux (Brunyé *et al.*, 2010 ; Gärling *et al.*, 1986). Nous avons noté dans notre problématique (chapitre 4) que ces conceptions théoriques n'étaient pas en accord avec l'analyse de l'activité réelle. En effet, si le processus suivait réellement ces étapes, du moins dans le cas d'itinéraires en transports en commun, cela demanderait un temps extrêmement long et serait très coûteux cognitivement. Dans notre modèle PLANITRAC, nous proposons que l'utilisateur ne doit pas rechercher tous les chemins possibles, mais uniquement ceux qui peuvent correspondre à ses critères. Ainsi, l'utilisateur adapte la stratégie de recherche utilisée et affine sa recherche au gré des itinéraires trouvés et éventuellement de l'ajout de critère. Au final, notre conception a des points communs avec celle de Cutini *et al.* (2008). En effet, dans leur modèle les auteurs suggèrent une mise à

jour de la stratégie utilisée entre chaque point du problème du voyageur de commerce. Pour eux, la configuration spatiale est prise en compte lors de la planification et module les stratégies adoptées tout le long de la planification, de manière analogue à notre proposition, selon laquelle le critère influence la recherche et la stratégie. Dans les deux cas, la proposition de Cutini *et al.* (2008) ou la notre, le fonctionnement est dynamique, flexible, évolutif, et non strictement séquentiel.

Dans la littérature cognitive, nous avons retrouvé certaines études relevant l'importance des critères de sélection et les variations qui existent dans le choix de critères selon les individus et les contextes de planification (Golledge *et al.*, 2005 ; Hölscher *et al.*, 2011). Ces études avaient d'ailleurs permis de remettre en cause le postulat selon lequel quand un usager planifie un trajet il recherche toujours le plus court. La littérature en psychologie sociale aboutit au même constat, montrant que d'autres critères, liés au caractère agréable de l'itinéraire, sont pris en compte et dépendent des individus et des contextes (Klößner & Friedrichsmeier, 2011). Toutefois, à notre connaissance aucun modèle théorique n'a, à ce jour, intégré les variations individuelles et contextuelles sur le choix d'un critère dans la planification d'itinéraires. Dans notre modèle PLANITRAC, nous avons proposé que le critère de sélection soit déterminé par des facteurs individuels cognitifs et psychosociaux, et des facteurs contextuels. Les résultats des études 2, 3 et 4 (chapitres 6, 7 et 8), ont en effet montré des variations dans la sélection des critères selon les profils des usagers et les contextes de planification. Ces résultats permettent d'ouvrir une discussion sur le pouvoir explicatif des modèles actuels de la planification (Cutini *et al.*, 2008 ; Gärling *et al.*, 1986), dans le cas d'itinéraires impliquant divers modes de transport. Les modèles actuels considèrent, majoritairement, ce processus strictement en termes cognitifs. L'intégration des facteurs individuels et contextuels permet d'approfondir et de compléter la compréhension de la planification d'itinéraires. En effet, nous proposons que le processus de planification soit dynamique et que le choix d'un itinéraire résulte d'un mécanisme de recherche et d'évaluation d'alternatives répondants au moins à un critère. Le critère est, quant à lui, déterminé par les préférences qui résultent de la combinaison de facteurs individuels et contextuels. Le processus est donc dépendant des critères et est influencé par ceux-ci. Cela implique donc que les processus de recherche des alternatives, d'évaluation et de sélection sont différents pour chaque individu et contexte de planification. Ainsi, selon les

individus, les contextes et même les environnements dans lesquels se fait la planification, les critères choisis ne sont pas les mêmes, ce qui module alors tout le processus de planification.

9.2.2. Représentation mentale et planification d'itinéraires

Pour aller plus loin, nos résultats permettent de s'interroger sur le rôle qu'auraient à jouer d'autres variables psychologiques associées au fonctionnement cognitif déjà établi dans nos représentations mentales (modèles mentaux ; Johnson-Laird, 1983), qui guident nos comportements. Il a d'ailleurs été montré récemment, par Meneghetti, Borella, Pastore et De Beni (2014), que d'autres facteurs, liés à la perception qu'ont les individus de leurs capacités, influencent les performances lors d'une tâche d'indication de directions, faisant appel à la représentation mentale spatiale des individus. Les auteurs ont demandé aux participants de réaliser une tâche d'indication de directions et ont mesuré les capacités spatiales de ceux-ci (i.e. mémoire de travail spatiale, MRT, etc.). Les auteurs ont également mesuré la perception qu'ont les participants de leurs capacités, au travers d'un questionnaire de sens de l'orientation (Hegarty *et al.*, 2002), d'une échelle d'anxiété spatiale (« *Spatial Anxiety Scale* » en anglais ; Lawton, 1994) et d'un questionnaire d'attitude envers les tâches d'orientation (« *Attitudes towards Orientation Tasks* » en anglais ; De Beni, Meneghetti, Fiore, Gava & Borella, 2014). Les résultats montrent qu'une bonne perception des leurs capacités spatiales permet aux participants d'améliorer leurs performances à la tâche d'indication de directions. Cette étude met donc en évidence, qu'en plus des capacités réelles, d'autres facteurs psychologiques, comme la perception de ses propres capacités, peuvent jouer dans l'utilisation des représentations spatiales. Nous avons également vu dans la partie théorique de cette thèse, que Denis et De Vega (1993) considèrent que les modèles mentaux incluent également l'état émotionnel et les intentions du protagoniste. Dans la littérature, comme dans notre modèle, il est considéré que les usagers créent et utilisent leur représentation mentale de l'environnement pour planifier leurs itinéraires. Dans notre modèle, nous assimilons cette représentation au modèle mental, et dans nos études, nous avons montré que certains facteurs individuels et contextuels influençaient le processus de planification.

Ces résultats nous amènent à proposer que ces facteurs individuels et contextuels jouent comme suit sur le modèle mental. Rappelons, tout d'abord, que le modèle mental est

une représentation dynamique et occurrente. Johnson-Laird (1983) considère que le modèle mental est composé de tokens représentant les objets ou les événements du monde, et que leurs propriétés sont également représentées dans le modèle mental. Dans notre cas, nous pouvons considérer que les tokens sont les stations, et que leurs propriétés sont les modes de transports et les lignes passant par ces stations ainsi que leur position dans l'espace. Il est également admis que les relations spatiales, causales et temporelles sont représentées. Dans notre cas, cela peut être les différentes lignes de transport et itinéraires reliant les stations. Nous proposons que les relations entre les tokens soient complétées d'informations supplémentaires, objectives et/ou subjectives, telles que le temps de trajet, l'agrément du trajet, l'affluence sur les lignes ou l'expérience passée. Nous envisageons que ces informations supplémentaires sont intégrées lors de la création du modèle mental et/ou au gré de l'expérience de l'utilisateur. Les informations supplémentaires représentées dépendront de chaque individu et de chaque contexte. Par exemple, un usager privilégiant le temps de trajet pourra intégrer cette information dans les relations entre les tokens. Un autre usager privilégiant les places assises pourra compléter son modèle mental d'informations concernant l'affluence sur les lignes présentes entre les tokens. Ainsi, le type de relation représentée entre les tokens est différent pour chaque individu, selon les informations qu'il favorise pour ensuite choisir un itinéraire. Le type d'information intégré dépend donc des préférences de l'utilisateur, qui rappelons-le, sont à notre sens, déterminées par le profil de l'utilisateur et le contexte. Cette conception, qui envisage que le modèle mental est très complet, permet d'expliquer que la meilleure option entre plusieurs itinéraires n'est pas toujours le résultat d'un calcul logique pour trouver l'itinéraire le plus court. En effet, les usagers vont naturellement se baser sur les informations représentées dans le modèle mental, qui ne seront pas forcément liées au temps de trajet, pour planifier leur itinéraire.

9.2.3. Confort émotionnel et critères de sélection

Une autre réflexion théorique à laquelle nos résultats contribuent concerne les critères de sélection. Nous avons vu dans la littérature et dans nos études qu'il y avait deux catégories de critères : les critères pratiques (*e.g.*, temps de trajet, nombre de correspondance) et ceux liés à l'agrément (*e.g.*, confort, accompagner un ami). Toutefois, dans nos études, notamment dans l'étude 3 (chapitre 7), nous avons obtenu des résultats

contradictoires, des personnes disant préférer le confort ayant choisi l'itinéraire, selon nous, non confortable. Nous avons alors discuté cette incohérence d'après la définition que nous proposons du confort. Dans nos études nous avons distingué d'une part le confort, qui fait référence au bien-être dans les modes, et d'autre part l'efficacité. Si nous regardons de plus près la littérature sur le confort, notamment le confort émotionnel, il est alors possible de considérer que les deux catégories de critères que nous avons définies ne soient pas distinctes. Dans la littérature ergonomique, le confort correspond globalement à tout ce qui contribue au bien-être dans une situation donnée (Pineau, 1982 ; Dumur, Barnard & Boy, 2004). Plus spécifiquement, Allinc, Cahour et Burkhardt (2015) considèrent le confort comme étant le résultat d'une évaluation par l'utilisateur de son état émotionnel et de ses sensations durant la situation. Les auteurs notent également que le confort dépend des contextes et des caractéristiques des usagers (e.g. culture, éducation, âge, etc.). Ces auteurs ont d'ailleurs identifié les sources de confort et d'inconfort dans les situations de mobilité. Six sources de confort ou d'inconfort sont décrites : (1) les relations sociales ou l'isolement (i.e. le besoin de contrôler son espace social) ; (2) le sentiment de sécurité ; (3) le contrôle du temps (i.e. être sûr(e) d'arriver à l'heure) ; (4) le coût attentionnel ; (5) le contrôle du trajet (i.e. contrôle de la situation) ; et (6) l'image sociale. On voit ainsi que le confort peut être déterminé par des éléments de la situation liés aux deux types de critères que nous avons considérés dans nos études (i.e. l'agréabilité et l'efficacité). Hines et Scott (2000) ont d'ailleurs montré que, le fait de prendre des itinéraires avec des correspondances pouvait amener les usagers à avoir un sentiment de perte de contrôle du trajet, et donc mener à un inconfort. Aussi, nous pouvons finalement envisager que tout usager serait à la recherche d'un itinéraire confortable, mais compte tenu des différences individuelles et contextuelles, les sources de confort pourraient être soit liées à des aspects pratiques soit à des aspects psychologiques.

9.3. Implications pratiques

Sur le plan pratique, nos résultats constituent un premier pas pour la conception des transports en commun et ouvrent des perspectives pour améliorer et adapter les aides actuelles et les services pour la mobilité comme les planificateurs. Actuellement, les planificateurs (e.g. RATP, © vianavigo) proposent aux usagers de rechercher des itinéraires

selon un ou plusieurs critères, majoritairement liés à des aspects pratiques comme le temps de trajet, le nombre de correspondances ou le temps de marche. Après la recherche, ces calculateurs proposent un ou plusieurs itinéraires. Ces planificateurs ne prennent donc pas en compte des facteurs individuels ou contextuels, alors que nous avons montré dans nos études (chapitres 6, 7 et 8) que ces facteurs intervenaient dans la planification. Il y a une dizaine d'années, Chalmé, Visser et Denis (2002) ont fait le même constat que nous, dans le cadre d'aide à la planification d'itinéraires réalisés en voiture. Ils ont remarqué que les planificateurs permettaient de donner aux usagers un certain nombre d'informations pour aider à la planification d'itinéraires (e.g. critère d'optimisation, guidage), mais ne prenaient pas en compte certains facteurs, que les auteurs appellent des « variabilités », qui entrent en jeu dans la planification. Les auteurs ont noté trois dimensions de variabilité : la connaissance de l'utilisateur, les différences interindividuelles et les contraintes de la planification (e.g. contrainte temporelle). Ces trois dimensions de variabilité sont finalement proches de ce que nous appelons, d'une part facteurs individuels qui sont pour ces auteurs la connaissance de l'utilisateur et les différences interindividuelles, et d'autre part les facteurs contextuels que les auteurs ont considéré comme étant les contraintes. Ces auteurs ont ainsi proposé des pistes pour un système d'aide à la planification intégrant les trois dimensions de variabilité qu'ils ont décrites. Les résultats que nous avons mis en évidence dans cette thèse font sens avec la proposition des auteurs. Appliqué à notre problématique de la planification d'itinéraires en transport en commun, cela reviendrait à proposer, que les planificateurs pourraient offrir la possibilité d'ajouter des indicateurs - autres que les critères d'efficacité présents actuellement - liés par exemple au contexte ou aux facteurs individuels (e.g., pouvoir choisir le but du trajet, indiquer le besoin de confort, ses capacités spatiales, des préférences). Ceci permettrait de personnaliser les applications, pour qu'elles proposent des trajets mieux adaptés à chacun, qui seront alors plus susceptibles d'être empruntés. On pourrait également envisager que les usagers indiquent, préalablement à leur planification, des informations concernant les facteurs individuels, qui seront ensuite enregistrées pour les futures recherches, ce qui permettrait au planificateur de mieux cibler sa recherche.

Plus récemment, une équipe de chercheurs en informatique (Quercia, Pesce, Almedia & Crowcroft, 2013) a créé de nouvelles cartes, qu'ils ont appelé les « cartes psychologiques » (« *psychological map* » en anglais). L'idée est de proposer aux usagers voyageant à pied, en

vélo ou en voiture, lorsqu'ils recherchent un itinéraire sur une carte, de type Google Map, différents chemins qui ne disposent pas tous des mêmes avantages. Par exemple le premier peut être le plus court, mais le deuxième sera le plus calme, le troisième le plus beau, etc.¹⁰ Les travaux que nous avons menés dans la présente thèse supportent l'idée de Quercia et al (2013), et permettent d'imaginer d'étendre ces recherches pour des itinéraires en transports en commun. En effet, on pourrait concevoir des cartes proposant des itinéraires en fonction des facteurs individuels ou contextuels que nous avons mis en évidence, comme par exemple le chemin le plus facile, le chemin avec le moins d'affluence, le chemin le plus beau.

9.4. Apports et limites de l'approche méthodologique

Pour appréhender le processus de planification dans sa globalité et situé dans un contexte de mobilité urbaine, nous avons été amenés, dans cette thèse, à mettre en place différentes méthodologies. Aussi, nous avons utilisé, d'une part, des études de laboratoire suivant les principes de la méthode expérimentale classique, et d'autre part, des études proches de situations réelles comprenant un grand nombre de facteurs.

Classiquement, les études menées selon la méthode expérimentale restreignent leur intérêt à quelques facteurs, tout en contrôlant un certain nombre d'autres sources de variation possibles. Cette méthode a l'avantage de cibler les processus étudiés et de mettre en évidence des effets clairs et précis des facteurs. Nous avons donc fait le choix d'utiliser cette méthode pour deux de nos études. Ces deux études ont, en effet, permis de décrire précisément les processus cognitifs en jeu dans la planification d'itinéraires à partir d'une carte (étude 1, chapitre 5) ou d'un planificateur (étude 3, chapitre 7). De plus, elles nous ont permis de montrer les effets précis, des facteurs considérés dans ces études, sur le processus de planification d'itinéraire. Toutefois, certaines sources de variation étaient trop fictives, comme par exemple les mises en situations proposées dans l'étude 3, et nous n'avons pas obtenu d'effets. Nous pouvons donc nous poser la question du pouvoir explicatif des résultats de ces études sur le comportement réel. En effet, ces études s'intéressent seulement à une petite partie du processus de planification, qui pourtant, intègre de

¹⁰ Pour plus d'informations, voir le « TED talk » de Daniel Quercia, chercheur au laboratoire Yahoo! de Barcelone, à l'URL suivant : https://www.ted.com/talks/daniele_quercia_happy_maps#t-428332

nombreux facteurs. Aussi, dans notre objectif d'étudier le processus cognitif de planification situé dans un contexte de mobilité urbaine, il nous a semblé nécessaire de développer des méthodes intégrant des facteurs liés à ce contexte. Dans la deuxième étude de cette thèse (chapitre 6), nous avons recueilli l'expérience réelle des usagers. Les points forts de cette étude sont qu'elle a mis en évidence l'étendue des facteurs intervenant lors de la planification d'itinéraires, et qu'elle apporte une vision réelle du processus cognitif situé. Cependant, l'interprétation des résultats est complexe et quelque peu subjective. En effet, les récits rapportés sont soumis à l'interprétation des participants et des expérimentateurs, qui recodent ensuite les données. De plus, de nombreux facteurs ne sont pas contrôlés. Pour remédier à ces problèmes, nous avons dû mettre en place une étude reproduisant des situations proches de la réalité et tenant compte des divers facteurs intervenants dans l'activité de planification d'itinéraires. Ainsi, dans la quatrième étude (chapitre 8), nous avons proposé aux participants de planifier des itinéraires à partir d'une carte représentant l'environnement réel, proposant ainsi de nombreuses possibilités d'itinéraires. Ensuite les participants réalisaient l'itinéraire dans un environnement virtuel réaliste. Cependant, malgré l'attention portée sur le contrôle de certains facteurs, proposer des situations proches de la réalité nécessite quand même d'intégrer des sources de variation liées à l'environnement qui sont difficilement contrôlables. Ceci a contribué, dans notre étude, à affaiblir la force de certains résultats pourtant établis dans nos études réalisées selon les principes de la méthode expérimentale classique. Du fait des faibles effets mis en évidence et de la complexité d'interprétation des effets d'interactions entre les nombreux facteurs considérés, la portée de nos résultats est limitée.

Au final, la combinaison des deux types de méthodes, nous aura permis de profiter de leurs avantages et aura contribué à la richesse de nos données. De plus, nous avons pu aborder l'activité de planification d'itinéraires en ciblant certains processus, ou en situant ces processus dans un contexte de mobilité plus large.

9.5. Conclusion

L'ensemble de nos travaux, menés dans la perspective proposée par la théorie de la cognition située, permet des avancées majeures du point de vue théorique dans le domaine

de la planification d'itinéraires. Nos résultats remettent en question les conceptions actuelles de la planification d'itinéraires, souvent restrictives, ou établies à partir de paradigmes que nous considérons comme peu écologiques, ou qui considèrent que la cognition opère hors de tout cadre physique et environnemental. Ces études sont nécessaires, dans un premier temps, pour poser les bases du fonctionnement cognitif et pour proposer des modèles, sur lesquels nous nous sommes appuyés pour étudier le processus cognitif de planification d'itinéraire, situé dans un contexte de mobilité urbaine. Aussi, nous avons pu mettre en évidence l'importance de facteurs individuels et liés au contexte social et de mobilité dans lequel s'effectue la tâche de planification d'itinéraires en transports en commun. Cette perspective nous a également permis de proposer, dans notre modèle PLANITRAC, un processus adapté à la situation de planification d'itinéraires en transports en commun, avec ou sans aides. De manière plus globale, nos résultats permettent d'apporter des pistes de réflexions sur ce qui compose nos représentations mentales, nécessaires à la planification d'itinéraires. De plus, de nombreux questionnements sont ouverts sur les processus cognitifs et les autres facteurs individuels et contextuels intervenant lors de cette tâche, pour mieux comprendre le processus de planification d'itinéraires situé dans un contexte de mobilité urbaine. Notre proposition de modèle était ambitieuse et nous n'avons pas testé toutes les hypothèses associées. Des expérimentations sont donc encore essentielles pour approfondir nos connaissances sur ce processus complexe, bien que mis en œuvre quotidiennement. De même, des travaux sur les différences interindividuelles cognitives et psychosociales, qui interviennent lors de la planification d'itinéraires, compléteraient les résultats déjà décrits. Ces nouveaux travaux empiriques permettront en outre de renforcer les propositions d'applications pratiques de nos résultats, pour améliorer et compléter les aides actuelles à la planification d'itinéraires en transports en commun.

Références

- Aarts, H., Verplanken, B., & Knippenberg, A. Van. (1997). Habits and information use in travel mode choice. *Acta Psychologica*, *96*(3), 1–14. doi:10.1016/s0001-6918(97)00008-5
- Abelson, R. P., & Levi, A. (1985). Decision making and decision theory. In G. Lindzey & E. Aronson (Eds.), *Handbook of social psychology* (pp. 231-309). New York : Random House.
- Anastassova, M., Burkhardt, J.-M., Mégard, C., & Ehanno, P. (2005). Results from a user-centred critical incidents study for guiding future implementation of augmented reality in automotive maintenance. *International journal of industrial ergonomics*, *35*(1), 67-77. doi:10.1016/j.ergon.2004.08.005
- Ajzen, I. (1985). From intentions to actions: A theory of planned behavior. In J. Kuhl & J. Beckmann (Eds.), *Action-control: From cognition to behavior* (pp. 11-39). Heidelberg: Springer.
- Ajzen, I. (1991). The Theory of Planned Behavior. *Organizational Behavior and Human Performance*, *50*, 179–211. doi:10.1016/0749-5978(91)90020-T
- Ajzen, I. (2002). Perceived behavioral control, self-efficacy, locus of control, and the theory of planned behavior. *Journal of Applied Social Psychology*, *32*(4), 665–683. doi:10.1111/j.1559-1816.2002.tb00236.x
- Ajzen, I., & Fishbein, M. (2005). The influence of attitudes on behavior. In D. Albarracin, B. T. Johnson & M. P. Zanna (Eds.), *Handbook of Attitude* (pp. 173–221). Mahwah, NJ : Erlbaum.
- Allinc, A., Cahour, B., & Burkhardt, J.-M. (2015). Psychological comfort and discomfort in transport modes. *Proceedings of the European Congress of Cognitive Ergonomics*, *8–10*. doi:10.1145/2788412.2788435
- Armitage, C. J., & Conner, M. (2001). Efficacy of the Theory of Planned Behaviour: a meta-analytic review. *The British Journal of Social Psychology*, *40*(4), 471–499. doi:10.1348/014466601164939
- Aydede, M., & Robbins, P. (Eds.). (2009). *The Cambridge handbook of situated cognition*. New York, NY: Cambridge University Press.
- Baccino, T. (2002). Oculométrie cognitive. In G. Tiberghien (Ed.), *Dictionnaire des Sciences Cognitives* (pp. 202-203). Paris: Armand Colin.
- Baddeley, A. D. (1986). *Working memory*. Oxford: Oxford University Press.

- Bailenson, J. N., Shum, M. S., & Uttal, D. H. (1998). Road climbing: Principles governing asymmetric route choices on maps. *Journal of Environmental Psychology, 18*(3), 251–264. doi:10.1006/jevp.1998.0095
- Bailenson, J. N., Shum, M. S., & Uttal, D. H. (2000). The initial segment strategy: A heuristic for route selection. *Memory and Cognition, 28*(2), 306–318. doi:10.3758/BF03213808
- Bargh, J. A. (1989). Conditional automaticity: Varieties of automatic influence in social perception and cognition. In J. S. Uleman & J. A. Bargh (Eds.), *Unintended thought* (pp. 3-51). New York: Guilford Press.
- Bartels, D. M., & Johnson, E. J. (2015). Connecting cognition and consumer choice. *Cognition, 135*, 47–51. doi:10.1016/j.cognition.2014.11.024
- Basso, D., Bisiacchi, P. S., Cotelli, M., & Farinello, C. (2001). Planning times during traveling salesman's problem: Differences between closed head injury and normal subjects. *Brain and Cognition, 46*(1), 38–41. doi:10.1016/S0278-2626(01)80029-4
- Basso, D., Lotze, M., Vitale, L., Ferreri, F., Bisiacchi, P., Belardinelli, M. O., Rossini, P. M., & Birbaumer, N. (2006). The role of prefrontal cortex in visuo-spatial planning: A repetitive TMS study. *Experimental Brain Research, 171*(3), 411–415. doi:10.1007/s00221-006-0457-z
- Beck, M. R., Trenchard, M., van Lamsweerde, A., Goldstein, R. R., & Lohrenz, M. (2012). Searching in clutter: Visual attention strategies of expert pilots. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 56*, 1411–1415. doi:10.1177/1071181312561400
- Beirão, G., & Cabral, J. S. (2007). Understanding attitudes towards public transport and private car: A qualitative study. *Transport policy, 14*(6), 478-489. doi:10.1016/j.tranpol.2007.04.009
- Bennett, A. T. (1996). Do animals have cognitive maps? *The Journal of Experimental Biology, 199*, 219–224.
- Berendt, B., Barkowsky, T., Freksa, C., & Kelter, S. (1998). Spatial representation with aspect maps. In C. Freksa, C. Habekl & K. F. Wender (Eds.), *Spatial Cognition II: An Interdisciplinary Approach to Representing and Processing Spatial Knowledge* (pp. 313–336). Berlin: Springer.
- Best, B. (2005). A model of fast human performance on a computationally hard problem. *Proceedings of the 27th Annual Conference of the Cognitive Science Society, 256–261*.
- Bettman, J. R., Johnson, E. J., & Payne, J. W. (1988). A componential analysis of cognitive effort in choice. *Organizational Behavior and Human Decision Processes, 45*(1), 111–139. doi:10.1016/0749-5978(90)90007-v

- Bisseret, A., Sebillotte, S., & Falzon, P. (1999). *Techniques pratiques pour l'étude des activités expertes*. Toulouse, France: Octarès.
- Blanc, N., & Tapiero, I. (2000). Mode de présentation et organisation de l'information dans l'acquisition de connaissances spatiales. *L'Année Psychologique*, *100*, 241-264. doi: 10.3406/psy.2000.28639
- Blaser, R. E., & Wilber, J. (2013). A comparison of human performance in figural and navigational versions of the traveling salesman problem. *Psychological Research*, *77*(6), 761–772. doi:10.1007/s00426-012-0470-8
- Brisbois, X. (2010). *Le processus de décision dans le choix modal : Importance des déterminants individuels, symboliques et cognitifs*. (Thèse de doctorat). Université de Grenoble, France.
- Brunyé, T. T., Andonova, E., Meneghetti, C., Noordzij, M. L., Pazzaglia, F., Wienemann, R., Mahoney, C. R., & Taylor, H. A. (2012). Planning routes around the world: International evidence for southern route preferences. *Journal of Environmental Psychology*, *32*(4), 297–304. doi:10.1016/j.jenvp.2012.05.003
- Brunyé, T. T., Gagnon, S. A., Waller, D., Hodgson, E., Tower-Richardi, S., & Taylor, H. A. (2012). Up north and down south: Implicit associations between topography and cardinal direction. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *65*(10), 1880–1894. doi:10.1080/17470218.2012.663393
- Brunyé, T. T., Mahoney, C. R., Gardony, A. L., & Taylor, H. A. (2010). North is up(hill): Route planning heuristics in real-world environments. *Memory and Cognition*, *38*(6), 700–712. doi:10.3758/MC.38.6.700
- Brunyé, T. T., & Taylor, H. A. (2009). When goals constrain: Eye movements and memory for goal-oriented map study. *Applied Cognitive Psychology*, *23*(6), 772–787. doi:10.1002/acp.1508
- Burkhardt, J.-M. (2003). Réalité virtuelle et ergonomie : Quelques apports réciproques. *Le Travail Humain*, *66*(1), 65-91. doi:10.3917/th.661.0065
- Burkhardt, J.-M., Bardy, B., & Lourdeaux, D. (2003). Immersion, réalisme et présence dans la conception et l'évaluation des environnements virtuels. *Psychologie Française*, *48*, 35–42.
- Butterfield, L. D., Borgen, W. A., Amundson, N. E., & Maglio, A.-S. T. (2005). Fifty years of the critical incident technique: 1954-2004 and beyond. *Qualitative Research*, *5*(4), 475–497. doi:10.1177/1468794105056924
- Cadwallader, M. T. (1976) Cognitive distance in intraurban space. In G. T. Moore & R. G. Golledge (Eds.), *Environmental Knowing* (pp. 316–324). Stroudsburg, PA: Dowden, Hutchinson, & Ross.

- Caenen, Y., Courel, J., Paulo, C., & Schmitt, D. (2011, avril). Les Franciliens utilisent autant les transports en commun que la voiture pour se rendre au travail. *Île-de-France à la page*, 353.
- Cahour, B. (2008). Discomfort, affects and coping strategies in driving activity. *Proceedings of the 15th European Conference on Cognitive Ergonomics the Ergonomics of Cool Interaction*. doi:10.1145/1473018.1473046
- Caplat, G. (2002). *Modélisation cognitive et résolution de problèmes*. Lyon : Presses Polytechniques et Universitaires Romandes.
- Carroll, J. B. (1993). *Human Cognitive Abilities: A survey of factor-analytical studies*. New York: Cambridge University Press.
- Casakin, H., Barkowsky, T., Klippel, A., & Freksa, C. (2000). Schematic maps as wayfinding aids. In C. Freksa, C. Habel & K. F. Wender (Eds.), *Spatial cognition II: An Interdisciplinary Approach to Representing and Processing Spatial Knowledge* (pp. 54-71). Berlin: Springer.
- Cazzato, V., Basso, D., Cutini, S., & Bisiacchi, P. (2010). Gender differences in visuospatial planning: An eye movements study. *Behavioural Brain Research*, 206(2), 177–183. doi:10.1016/j.bbr.2009.09.010
- Chalmé, S., Visser, W., & Denis, M. (2002). Planification d'itinéraires urbains: pistes pour un système d'assistance. *Proceedings of the 14th French-speaking conference on Human-computer interaction (Conférence Francophone sur l'Interaction Homme-Machine)*, 247-250. ACM. doi:10.1145/777005.777046
- Chowdhury, S., & Ceder, A. (2013). The effect of interchange attributes on public-transport users' intention to use routes involving transfers. *Psychology and Behavioral Sciences*, 2(1), 5–13. doi:10.11648/j.pbs.20130201.12
- Chowdhury, S., Ceder, A., & Sachdeva, R. (2013). The effects of planned and unplanned transfers on public transport users' perception of transfer routes. *Transportation Planning and Technology*, 37(2), 154-168. doi:10.1080/03081060.2013.851511
- Christenfeld, N. (1995). Choices From Identical Options. *Psychological Science*, 6(1), 50–55. doi:10.1111/j.1467-9280.1995.tb00304.x
- Chronicle, E. P., MacGregor, J. N., Ormerod, T. C., & Burr, A. (2006). It looks easy! Heuristics for combinatorial optimization problems. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 59(4), 783–800. doi:10.1080/02724980543000033
- Clancey, W. J. (1997). *Situated cognition: On human knowledge and computer representations*. Cambridge University Press.
- Costermans, J. (1998). *Les activités cognitives. Raisonnement, décision et résolution de problèmes*. Bruxelles : De Boeck & Larcier.

- Cutini, S., Di Ferdinando, A., Basso, D., Silvia Bisiacchi, P., & Zorzi, M. (2008). Visuospatial planning in the travelling salesperson problem: A connectionist account of normal and impaired performance. *Cognitive Neuropsychology*, 25(2), 194–217. doi:10.1080/02643290701606408
- Dawes, R. M. (1964). *Towards a general framework for evaluation*. Ann Arbor, MI: University of Michigan, Department of Psychology.
- De Beni, R., Meneghetti, C., Fiore, F., Gava, L., & Borella, E. (2014). *Batteria VS. Abilità visuo-spaziali nell'arco di vita adulta [VS battery. Visuo-spatial abilities in adults' life span]*. Firenze: Hogrefe.
- De Beni, R., Pazzaglia, F., Gyselinck, V., & Meneghetti, C. (2005). Visuospatial working memory and mental representation of spatial descriptions. *European Journal of Cognitive Psychology*, 17(1), 77–95. doi:10.1080/09541440340000529
- Denis, M. (Ed.) (1997). *Langage et cognition spatiale*. Paris: Masson.
- Denis, M. (2012). *La psychologie cognitive*. Paris : Edition de la Maison des sciences de l'homme.
- Denis, M., Mores, C., Gras, D., Gyselinck, V., & Daniel, M.-P. (2014). Is memory for routes enhanced by an environment's richness in visual landmarks? *Spatial Cognition and Computation*, 14, 284-305.
- Denis, M., & De Vega, M. (1993). Modèles mentaux et imagerie mentale. In M.-F. Ehrlich, H. Tardieu, & M. Cavazza (Eds.), *Les modèles mentaux: Approche cognitive des représentations* (pp. 79-100). Paris: Masson.
- De Vega, M., & Rodrigo, M. J. (1997). Les représentations topologiques dans le traitement des descriptions spatiales. In M. Denis (Ed.), *Langage et cognition spatiale* (pp. 51-68). Paris : Masson.
- Dey, A. K. (2001). Understanding and Using Context. *Personal and Ubiquitous Computing Journal*, 1(5), 4–7.
- Dieleman, F., Dijst, M., & Burghouwt, G. (2002). Urban Form and Travel Behaviour: Mirco-level Household Attributed and Residential Context. *Urban Studies*, 39(3), 507–527. doi:10.1080/0042098022011280
- Dumur, E., Barnard, Y. & Boy G. (2004). Designing for comfort. In D. de Waard, K. A. Brookhuis & C. M. Weikert (Eds.), *Human Factors in design* (pp.111-127). Maastricht: Shaker Publishing.
- Eagly, A. H., & Chaiken, S. (1993). *The psychology of attitudes*. Fort Worth, TX: Harcourt Brace Jovanovich.

- Ehrlich, M. F., Tardieu, H., & Cavazza, M. (1993). *Les modèles mentaux. Approche cognitive de représentations*. Paris: Masson
- Eriksson, L., & Forward, S. E. (2011). Is the intention to travel in a pro-environmental manner and the intention to use the car determined by different factors?. *Transportation research part D: transport and environment*, 16(5), 372-376.
doi:10.1016/j.trd.2011.02.003
- Ettema, D., Friman, M., Gärling, T., Olsson, L. E., & Fujii, S. (2012). How in-vehicle activities affect work commuters' satisfaction with public transport. *Journal of Transport Geography*, 24, 215–222. doi:10.1016/j.jtrangeo.2012.02.007
- Farr, A. C., Kleinschmidt, T., Yarlagadda, P., & Mengersen, K. (2012). Wayfinding: A simple concept, a complex process. *Transport Reviews*, 32(6), 715-743.
doi:10.1080/01441647.2012.712555
- Fishbein, M., & Ajzen, I. (1975). *Belief, attitude, intention, and behavior: An introduction to theory and research*. Reading, MA: Addison-Wesley.
- Fishburn, P. (1974). Lexicographic order, utilities and decision rules: A survey. *Management Science*, 20(11), 1442-1471. doi:10.1287/mnsc.20.11.1442
- Flanagan, J. C. (1954). The critical incident technique. *Psychological Bulletin*, 51(4), 327–358.
doi:10.1037/h0061470
- Fontaine, S. (2001). Spatial cognition and the processing of verticality in underground environments. In D. Montello & M. Hegarty (Eds.), *Spatial Information Theory* (pp.387-399). Berlin: Springer. doi:10.1007/3-540-45424-1_26
- Fontaine, S., & Denis, M. (1999). The production of route instructions in underground and urban environments. In C. Freksa & D. M. Mark (Eds.), *Spatial information theory: Cognitive and computational foundations of geographic information science*, (pp. 83–94). Berlin: Springer-Verlag. doi:10.1007/3-540-48384-5_6
- Freksa, C. (1999). Spatial aspects of task-specific wayfinding maps: A representation-theoretic perspective. In J. S. Gero & B. Tversky (Eds.), *Visual and spatial reasoning in design* (pp. 15–32). Sydney: Key Centre of Design Computing and Cognition, University of Sydney.
- Friman, M. (2004). The structure of affective reactions to critical incidents. *Journal of Economic Psychology*, 25(3), 331–353. doi:10.1016/S0167-4870(03)00012-6
- Friman, M. (2010). Affective dimensions of the waiting experience. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 13(3), 197–205.
doi:10.1016/j.trf.2010.04.006

- Gandit, M. (2007). *Déterminants psychosociaux du changement de comportement dans le choix du mode de transport : Le cas de l'intermodalité*. (Thèse de doctorat). Université Pierre Mendès-France-Grenoble II, France.
- Garland, H. C., Haynes, J. J., & Grubb, G. C. (1979). Transit map color coding and street detail. *Environment and Behavior*, *11*(2), 162–184. doi:10.1177/0013916579112002
- Gärling, T., Böök, A., & Lindberg, E. (1984). Cognitive mapping of large-scale environments the interrelationship of action plans, acquisition, and orientation. *Environment and Behavior*, *16*(1), 3-34. doi:10.1177/0013916584161001
- Gärling, T., Säisä, J., Book, A., & Lindberg, E. (1986). The spatiotemporal sequencing of everyday activities in the large-scale environment. *Journal of Environmental Psychology*, *6*(4), 261–280. doi:10.1016/S0272-4944(86)80001-9
- Golden, B., Bodin, L., Doyle, T., & Stewart Jr, W. (1980). Approximate traveling salesman algorithms. *Operations Research*, *76*(3), 694-711. doi:10.1287/opre.28.3.694
- Golledge, R. G. (1995). Path selection and route preference in human navigation: A progress report. In A. U. Frank & W. Kuhn (Eds.), *Spatial Information Theory A Theoretical Basis for GIS* (pp. 207–222). Berlin: Springer. doi:10.1007/3-540-60392-1_14
- Golledge, R. G. (1999). Human cognitive maps and wayfinding. In R. G. Golledge (Ed.), *Wayfinding behavior: Cognitive mapping and other spatial processes* (pp. 1–45). Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Golledge, R. G., & Garling, T. (2001). Spatial behavior in transportation modeling and planning. In K. Goulias (Ed.), *Transportation systems planning: Methods and applications* (pp. 3-1–3-21). New York: CRC Press. doi:10.1201/9781420042283.ch3
- Golledge, R. G., & Gärling, T. (2004). The role of spatial cognition in transport. In D. Hensher, K. J. Button, K. E. Haynes & P. R. Stopher (Eds.), *Handbook of transport geography and spatial systems* (pp. 501-512). Amsterdam: Pergamon/Elsevier.
- Gras, D., Gyselinck, V., Perrussel, M., Orriols, E., & Piolino, P. (2012). The role of working memory components and visuospatial abilities in route learning within a virtual environment. *Journal of Cognitive Psychology*, *25*(1), 38–50. doi:10.1080/20445911.2012.739154
- Grisson, E., Gyselinck, V., & Burkhardt, J.M. (Accepté) Exploring Factors Related to Users' Experience of Public Transport Route Choice: Influence of Context and Users profiles. *Cognition, Technology and Work*.
- Grisson, E., Gyselinck, V., & Burkhardt, J.-M. (2015) Influence of User's Preferences and Spatial Abilities on Criteria to Choose a Route in Public Transport. *European Congress of Psychology*. Milan: Italia.

- Grison, E., Gyselinck, V., & Burkhardt, J.-M. (2014) Cognitive constraints of route planning: does it influence eco-friendly mobility behaviour? *28th International Congress of Applied Psychology*. Paris : France.
- Grison, E., Gyselinck, V., & Burkhardt, J.-M. (2014) Exploring factors related to users' experience of public transport: users profile and route choice. *Transport Research Arena*. Paris: France.
- Grison, E., Gyselinck, V., & Burkhardt, J. -M. (2013) Using the Critical Incidents Technique to Explore Factors Related to Users' Experience of Public Transport Modes. *European Conference on Cognitive Ergonomics*. Toulouse : France
- Guo, Z. (2011). Mind the map! The impact of transit maps on path choice in public transit. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 45(7), 625–639. doi:10.1016/j.tra.2011.04.001
- Guo, Z., & Wilson, N. H. M. (2011). Assessing the cost of transfer inconvenience in public transport systems: A case study of the London Underground. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 45(2), 91–104. doi:10.1016/j.tra.2010.11.002
- Gyselinck, V., De Beni, R., Pazzaglia, F., Meneghetti, C., & Mondoloni, A. (2007). Working memory components and imagery instructions in the elaboration of a spatial mental model. *Psychological Research*, 71(3), 373–382. doi:10.1007/s00426-006-0091-1
- Gyselinck, V., Gras, D., & Grison, E. (2015). Apprentissage d'itinéraires virtuels: Quel codage verbal en mémoire de travail? *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 69(1), 104–114. doi:10.1037/cep0000039
- Gyselinck, V., Meneghetti, C., De Beni, R., & Pazzaglia, F. (2009). The role of working memory in spatial text processing: What benefit of imagery strategy and visuospatial abilities? *Learning and Individual Differences*, 19(1), 12–20. doi:10.1016/j.lindif.2008.08.002
- Gyselinck, V., Picucci, L., Nicolas, S., & Piolino, P. (2006). Construction of a spatial mental model from a verbal description or from navigation in a virtual environment. *Cognitive Processing*, 7(1), 46–48. doi:10.1007/s10339-006-0059-5
- Hassenzahl, M., & Tractinsky, N. (2006). User experience - a research agenda. *Behaviour and Information Technology*, 25(2), 91–97. doi:10.1080/01449290500330331
- Hayes-Roth, B., & Hayes-Roth, F. (1979). A cognitive model of planning. *Cognitive Science*, 3(4), 275–310. doi:10.1207/s15516709cog0304_1
- Hegarty, M., Montello, D. R., Richardson, A. E., Ishikawa, T., & Lovelace, K. (2006). Spatial abilities at different scales: Individual differences in aptitude-test performance and spatial-layout learning. *Intelligence*, 34(2), 151–176. doi:10.1016/j.intell.2005.09.005

- Hegarty, M., Richardson, A. E., Montello, D. R., Lovelace, K., & Subbiah, I. (2002). Development of a self-report measure of environmental spatial ability. *Intelligence, 30*(5), 425–447. doi:10.1016/S0160-2896(02)00116-2
- Hegarty, M., & Waller, D. A. (2005). Individual differences in spatial abilities. In P. Shah & A. Miyake (Eds.), *The Cambridge handbook of visuospatial thinking* (pp. 121–169). New York: Cambridge University Press.
- Henderson, J. M., Weeks, P. A., & Hollingworth, A. (1999). The effects of semantic consistency on eye movements during complex scene viewing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 25*(1), 210–228. doi:10.1037/0096-1523.25.1.210
- Hershler, O., & Hochstein, S. (2009). Tactile perception of thermal diffusivity. *Attention, Perception and Psychophysics, 71*(7), 1478–1486. doi:10.3758/APP.71.7.1478
- Heye, C., & Timpf, S. (2003). Factors influencing the physical complexity of routes in public transportation networks. *Electronic proceedings of the 10th international conference on travel behaviour research*. Lucerne.
- Hine, J., & Scott, J. (2000). Seamless, accessible travel: Users' views of the public transport journey and interchange. *Transport Policy, 7*(3), 217–226. doi:10.1016/S0967-070X(00)00022-6
- Hirtle, S. C., & Gärling, T. (1992). Heuristic rules for sequential spatial decisions. *Geoforum, 23*(2), 227–238. doi:10.1016/0016-7185(92)90019-Z
- Hochmair, H. (2009). The influence of map design on route choice from public transportation maps in urban areas. *The Cartographic Journal, 46*(3), 242–256. doi:10.1179/000870409X12472347560623
- Hollingworth, A. (2012). Guidance of visual search by memory and knowledge. In *Nebraska Symposium on Motivation* (pp. 63–89). doi:10.1007/978-1-4614-4794-8-4
- Hölscher, C., Tenbrink, T., & Wiener, J. M. (2011). Would you follow your own route description? Cognitive strategies in urban route planning. *Cognition, 121*(2), 228–247. doi:10.1016/j.cognition.2011.06.005
- Huber, G. P. (1974). Multi-attribute utility models: A review of field and field-like studies. *Management Science, 20*(10), 1393–1402. doi:10.1287/mnsc.20.10.1393
- Huestegge, L., & Radach, R. (2012). Visual and memory search in complex environments: Determinants of eye movements and search performance. *Ergonomics, 55*(9), 1009–1027. doi:10.1080/00140139.2012.689372
- Hull, C. L. (1943). *Principles of behavior: An introduction to behavior theory*. New York: Appleton-Century Crofts.

- Hunecke, M., Blobaum, A., Matthies, E., & Hoger, R. (2001). Responsibility and environment: Ecological norm orientation and external factors in the domain of travel mode choice behavior. *Environment and Behavior*, 33(6), 830–852. doi:10.1177/00139160121973269
- Hunecke, M., Haustein, S., Bohler, S., & Grischkat, S. (2008). Attitude-based target groups to reduce the ecological impact of daily mobility behavior. *Environment and Behavior*, 42(1), 3–43. doi:10.1177/0013916508319587
- ISO. 9241–210: 2009 (2009) Ergonomics of human system interaction-Part 210: Human-centred design for interactive systems (formerly known as 13407). *International organization for standardization, ISO*.
- James, W. (1890). *The principles of psychology (Vol. 1)*. London: Macmillan and Co., Ltd.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models: Towards a cognitive science of language, inference and consciousness*. New York, É.-U. : Cambridge University Press.
- Kaplan, S. (1976). Adaptation, structure and knowledge. In G. Moore & R. Golledge (Eds.), *Environmental Knowing* (pp. 32-46). Stroudsburg, Penn: Downden, Hutchinson and Ross.
- Kitchin, R. M. (1994). Cognitive maps: What are they and why study them? *Journal of environmental psychology*, 14(1), 1-19. doi:10.1016/s0272-4944(05)80194-x
- Klößner, C. A., & Friedrichsmeier, T. (2011). A multi-level approach to travel mode choice – How person characteristics and situation specific aspects determine car use in a student sample. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 14(4), 261–277. doi:10.1016/j.trf.2011.01.006
- Kulhavy, R. W., & Stock, W. A. (1994). Reference maps as a framework for remembering text. In W. Schnotz & R. W. Kulhavy (Eds.), *Comprehension of Graphics* (pp. 153-162). Holland: Elsevier Science.
- Langer, E. (1989). Minding matters: The consequences of mindlessness-mindfulness. *Advances in Experimental Social Psychology*, 22, 137-173. doi:10.1016/s0065-2601(08)60307-x
- Lanyi, C. S., Simon, V., Simon, L., & Laky, V. (2005). Using virtual public transport for treating phobias. *International Journal on Disability and Human Development*, 4(3), 57–62. doi:10.1515/IJDHD.2005.4.3.211
- Le Roux, B., & Rouanet, H. (2010). *Multiple Correspondence Analysis*. Thousand Oaks: SAGE.
- Litman, T. (2008). Valuing transit service quality improvements. *Journal of Public Transportation*, 11(2), 43–63. doi:10.5038/2375-0901.11.2.3
- Lynch, K. (1960). *The Image of the City*. Cambridge, MA: MIT press.

- MacGregor, J. N., Chronicle, E. P., & Ormerod, T. (2006). A comparison of heuristic and human performance on open versions of the traveling salesperson problem. *The Journal of Problem Solving*, 1(1), 33–43. doi:10.7771/1932-6246.1005
- MacGregor, J. N., Chronicle, E. P., & Ormerod, T. C. (2004). Convex hull or crossing avoidance? Solution heuristics in the traveling salesperson problem. *Memory and Cognition*, 32(2), 260–270. doi:10.3758/BF03196857
- MacGregor, J. N., & Chu, Y. (2011). Human performance on the traveling salesman and related problems: A review. *The Journal of Problem Solving*, 3(2), 1–29. doi:10.7771/1932-6246.1090
- MacGregor, J. N., & Ormerod, T. (1996). Human performance on the traveling salesman problem. *Perception and Psychophysics*, 58(4), 527–539. doi:10.3758/BF03213088
- MacGregor, J. N., Ormerod, T. C., & Chronicle, E. P. (1999). Spatial and contextual factors in human performance on the travelling salesperson problem. *Perception*, 28(11), 1417–1427. doi:10.1068/p2863
- MacGregor, J. N., Ormerod, T. C., & Chronicle, E. P. (2000). A model of human performance on the traveling salesperson problem. *Memory and Cognition*, 28(7), 1183–1190. doi:10.3758/BF03211819
- Malhotra, A., Thomas, J. C., Carroll, J. M., & Miller, L. A. (1980). Cognitive processes in design. *Internationnal Journal of Man-Machine Studies*, 12(2), 119–140. doi:10.1016/S0020-7373(80)80013-7
- Mann, E., & Abraham, C. (2006). The role of affect in UK commuters' travel mode choices: An interpretative phenomenological analysis. *British Journal of Psychology*, 97(2), 155–176. doi:10.1348/000712605X61723
- McGee, M. G. (1979). Human spatial abilities: Psychometric studies and environmental, genetic, hormonal, and neurological influences. *Psychological bulletin*, 86(5), 889–918. doi:10.1037//0033-2909.86.5.889
- Meilinger, T., Hölscher, C., Büchner, S. J., & Brösamle, M. (2007). How much information do you need? Schematic maps in wayfinding and self localisation. In T. Barkowsky (Ed.), *Spatial cognition V – Reasoning, action, interaction* (pp. 381–400). Berlin: Springer. doi:10.1007/978-3-540-75666-8_22
- Meilinger, T., & Knauff, M. (2008). Ask for directions or use a map: A field experiment on spatial orientation and wayfinding in an urban environment. *Journal of Spatial Science*, 53(2), 13–23. doi:10.1080/14498596.2008.9635147
- Meilinger, T., Knauff, M., & Bülthoff, H. H. (2008). Working memory in wayfinding—a dual task experiment in a virtual city. *Cognitive Science*, 32(4), 755–770. doi:10.1080/03640210802067004

- Mellet, E., Laou, L., Petit, L., Zago, L., Mazoyer, B., & Tzourio-Mazoyer, N. (2010). Impact of the virtual reality on the neural representation of an environment. *Human Brain Mapping, 31*(7), 1065–1075. doi:10.1002/hbm.20917
- Meneghetti, C., Borella, E., Pastore, M., & De Beni, R. (2014). The role of spatial abilities and self-assessments in cardinal point orientation across the lifespan. *Learning and Individual Differences, 35*, 113–121. doi:10.1016/j.lindif.2014.07.006
- Meneghetti, C., Gyselinck, V., Pazzaglia, F., & De Beni, R. (2009). Individual differences in spatial text processing: High spatial ability can compensate for spatial working memory interference. *Learning and Individual Differences, 19*(4), 577–589. doi:10.1016/j.lindif.2009.07.007
- Michael, W. B., Guilford, J. P., Fruchter, B. & Zimmerman, W. S. (1957). The description of spatial-visualization abilities. *Educational and Psychological Measurement, 17*(2), 185-199. doi:10.1177/001316445701700202
- Mondschein, A., Blumenberg, E., & Taylor, B. (2009). Accessibility and cognition: The effect of transport mode on spatial knowledge. *Urban Studies, 47*(4), 845–866. doi:10.1177/0042098009351186
- Neider, M. B., & Zelinsky, G. J. (2006). Scene context guides eye movements during visual search. *Vision Research, 46*(5), 614–621. doi:10.1016/j.visres.2005.08.025
- Newell, A., & Simon, H. A. (1972). *Human problem solving*. New York: Prentice-Hall.
- Hoc, J. M. (1987). *Psychologie cognitive de la planification*. Grenoble: Presses universitaires de Grenoble.
- Nöllenburg, M., & Wolff, A. (2011). Drawing and labeling high-quality metro maps by mixed-integer programming. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 17*(5), 626–641. doi:10.1109/TVCG.2010.81
- Nys, M., Gyselinck, V., Orriols, E., & Hickmann, M. (2015). Landmark and route knowledge in children's spatial representation of a virtual environment. *Frontiers in Psychology, 5*, 1522. doi:10.3389/fpsyg.2014.01522
- Ormerod, T. C., & Chronicle, E. P. (1999). Global perceptual processing in problem solving: The case of the traveling salesperson. *Perception & Psychophysics, 61*(6), 1227–1238. doi:10.3758/BF03207625
- Payne, J. W., Bettman, J. R., & Johnson, E. J. (1988). Adaptive strategy selection in decision making. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 14*(3), 534–552. doi:10.1037/0278-7393.14.3.534
- Pazzaglia, F., Cornoldi, C., & De Beni, R. (2000). Differenze individuali nella rappresentazione dello spazio e nell'abilità di orientamento: Presentazione di un questionario autovalutativo. *Giornale italiano di psicologia, 27*(3), 627-650. doi:10.1421/310

- Pazzaglia, F., & De Beni, R. (2006). Are people with high and low mental rotation abilities differently susceptible to the alignment effect? *Perception, 35*(3), 369-383. doi:10.1068/p5465
- Pazzaglia, F., Gyselinck, V., Cornoldi, C., & De Beni, R. (2012). Individual differences in spatial text processing. In V. Gyselinck & F. Pazzaglia (Eds.), *From mental imagery to spatial cognition and language: In honor of Michel Denis* (pp. 127-161). Hove, UK: Psychology Press.
- Pazzaglia, F., Meneghetti, C., De Beni, R., & Gyselinck, V. (2010). Working memory components in survey and route spatial text processing. *Cognitive Processing, 11*(4), 359–369. doi:10.1007/s10339-009-0353-0
- Picucci, L., Gyselinck, V., Piolino, P., Nicolas, S., & Bosco, A. (2013). Spatial mental models: The interaction of presentation format, task requirements and availability of working memory components: Visual and verbal routes. *Applied Cognitive Psychology, 27*(3), 314–327. doi:10.1002/acp.2909
- Pineau, C. (1982). The psychological meaning of comfort. *International Review of Applied Psychology, 31*(2), 271–283. doi:10.1111/j.1464-0597.1982.tb00097.x
- Pizlo, Z., Stefanov, E., Saalweachter, J., Li, Z., Haxhimusa, Y., & Kropatsch, W. G. (2006). Traveling salesman problem: A foveating pyramid model. *The Journal of Problem Solving, 1*(1), 83–101. doi:10.7771/1932-6246.1009
- Popuri, Y., Prousaloglou, K., Ayvalik, C., Koppelman, F., & Lee, A. (2011). Importance of traveler attitudes in the choice of public transportation to work: Findings from the Regional Transportation Authority Attitudinal Survey. *Transportation, 38*(4), 643–661. doi:10.1007/s11116-011-9336-y
- Quercia, D., Pesce, J. P., Almeida, V., & Crowcroft, J. (2013). Psychological Maps 2.0: A web engagement enterprise starting in London. *Proceedings of the 22nd International Conference on the World Wide Web*, 1065–1075.
- Raveau, S., Guo, Z., Muñoz, J. C., & Wilson, N. H. M. (2014). A behavioural comparison of route choice on metro networks: Time, transfers, crowding, topology and socio-demographics. *Transportation Research Part A: Policy and Practice, 66*, 185–195. doi:10.1016/j.tra.2014.05.010
- Raveau, S., Muñoz, J. C., & de Grange, L. (2011). A topological route choice model for metro. *Transportation Research Part A: Policy and Practice, 45*(2), 138–147. doi:10.1016/j.tra.2010.12.004
- Rinck, M., & Bower, G. H. (2000). Temporal and spatial distance in situation models. *Memory and Cognition, 28*(8), 1310–1320. doi:10.3758/BF03211832
- Roberts, M. J. (2008). *Underground maps after Beck (2nd ed)*. Harrow Weald, UK: Capital Transport Publishing.

- Roberts, M. J., Newton, E. J., Lagattolla, F. D., Hughes, S., & Hasler, M. C. (2013). Objective versus subjective measures of Paris Metro map usability: Investigating traditional octolinear versus all-curves schematics. *International Journal of Human Computer Studies*, 71, 363–386. doi:10.1016/j.ijhcs.2012.09.004
- Robertson, G., Czerwinski, M., & van Dantzich, M. (1997). Immersion in desktop virtual reality. *Proceedings of the 10th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, 11–19. doi:10.1145/263407.263409
- Rubens, L., Gosling, P., & Moch, A. (2011). Favoriser le report modal: Connaître les raisons liées au choix d'un mode de déplacement pour le changer. *Pratiques psychologiques*, 17(1), 19-29. doi:10.1016/j.prps.2009.12.002
- Rüetschi, U. J., & Timpf, S. (2005). Modelling wayfinding in public transport: Network space and scene space. In C. Freksa, M. Knauff, B. Krieg-Brückner, B. Nabel & T. Barkowsky (Eds.), *Spatial Cognition IV: Reasoning, Action, Interaction* (pp. 24-41). Berlin : Springer.
- Russo, J. E., & Doshier, A. B. (1983). Strategies for muttiattribute binary choice. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 9(4), 676–696. doi:10.1037/0278-7393.9.4.676
- Schmid, F., Richter, K., & Peters, D. (2010). Route aware maps: Multigranular wayfinding assistance. *Spatial Cognition and Computation*, 10(2-3), 184–206. doi:10.1080/13875861003592748
- Schmitt, L., Currie, G., & Delbosc, A. (2013). Measuring the impact of unfamiliar transit travel using a university access survey. *Transport Policy*, 30, 301-307. doi:10.1016/j.tranpol.2013.09.003
- Siegel, A. W., & White, S. H. (1975). The development of spatial representations of large-scale environments. In H. W. Reese (Ed.), *Advances in child development and behavior*, 10 (pp. 9–55). New York, É.-U. : Academic Press.
- Slovic, P. (1975). Choice between equally valued alternatives. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 1(3), 280–287. doi:10.1037/0096-1523.1.3.280
- Slovic, P. (1995). The construction of preference. *American Psychologist*, 50(5), 364–371. doi:10.1037/0003-066X.50.5.364
- Sobel, K. V, Gerrie, M. P., Poole, B. J., & Kane, M. J. (2007). Individual differences in working memory capacity and visual search: The roles of top-down and bottom-up processing. *Psychonomic Bulletin and Review*, 14(5), 840–845. doi:10.3758/BF03194109
- Stern, E., & Leiser, D. (1988). Levels of spatial knowledge and urban travel modeling. *Geographical Analysis*, 20(2), 140–155. doi:10.1111/j.1538-4632.1988.tb00172.x

- Svenson, O. (1979). Process descriptions of decision making. *Organizational Behavior and Human Performance*, 23(1), 86–112. doi:10.1016/0030-5073(79)90048-5
- Taylor, H. A. & Tversky, B. (1992). Spatial mental models derived from survey and route descriptions. *Journal of Memory and Language*, 31(2), 261-292. doi:10.1016/0749-596X(92)90014-O
- Timpf, S. (2002). Ontologies of wayfinding: A traveler's perspective. *Networks and Spatial Economics*, 2(1), 9–33. doi:10.1023/A:1014563113112
- Tlauka, M., Keage, H., & Clark, C. R. (2005). Viewing a map versus reading a description of a map: Modality-specific encoding of spatial information. *Cognitive Science*, 29(5), 807–818. doi:10.1207/s15516709cog0000_26
- Tolman, E. C. (1948). Cognitive maps in rats and men. *Psychological Review*, 55(4), 189–208. doi:10.1037/h0061626
- Treisman, A. M., & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12(1), 97-136. doi:10.1016/0010-0285(80)90005-5
- Triandis, H. C. (1977). *Interpersonal behavior*. Monterey, CA: Brooks/Cole.
- Tversky, A. (1972). Elimination by aspects: A theory of choice. *Psychological Review*, 79(4), 281–299. doi:10.1037/h0032955
- Tversky, A., Sattath, S., & Slovic, P. (1988). Contingent weighting in judgment and choice. *Psychological Review*, 95(3), 371–384. doi:10.1037/0033-295X.95.3.371
- Vandenberg, S. G., & Kuse, A. R. (1978). Mental rotations, a group test of three-dimensional spatial visualization. *Perceptual and Motor Skills*, 47(2), 599–604. doi:10.2466/pms.1978.47.2.599
- Verplanken, B., Aarts, H., & Van Knippenberg, A. (1997). Habit, information acquisition, and the process of making travel mode choices. *European Journal of Social Psychology*, 27(5), 539–561. doi:10.1002/(sici)1099-0992(199709/10)27:5<539::aid-ejsp831>3.0.co;2-a
- Verplanken, B., Aarts, H., Van Knippenberg, A., & Van Knippenberg, C. (1994). Attitude versus general habit: Antecedents of travel mode Choice1. *Journal of Applied Social Psychology*, 24(4), 285–300. doi:10.1111/j.1559-1816.1994.tb00583.x
- Verplanken, B., Walker, I., Davis, A., & Jurasek, M. (2008). Context change and travel mode choice: Combining the habit discontinuity and self-activation hypotheses. *Journal of Environmental Psychology*, 28(2), 121–127. doi:10.1016/j.jenvp.2007.10.005
- Vertesi, J. (2008). Mind the gap: The London underground map and users' representations of urban space. *Social Studies of Science*, 38(1), 7–33. doi:10.1177/0306312707084153

- Vickers, D., Butavicius, M., Lee, M., & Medvedev, A. (2001). Human performance on visually presented traveling salesman problems. *Psychological Research*, *65*(1), 34–45. doi:10.1007/s004260000031
- Vickers, D., Lee, M. D., Dry, M., & Hughes, P. (2003). The roles of the convex hull and the number of potential intersections in performance on visually presented traveling salesperson problems. *Memory and Cognition*, *31*(7), 1094–1104. doi:10.3758/BF03196130
- Johansson, M. V., Heldt, T., & Johansson, P. (2006). The effects of attitudes and personality traits on mode choice. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *40*(6), 507–525. doi:10.1016/j.tra.2005.09.001
- Waller, D., Hunt, E., & Knapp, D. (1998). The transfer of spatial knowledge in virtual environment training. *Presence*, *7*(2), 129–143. doi:10.1162/105474698565631
- Wallergård, M., Eriksson, O., & Johansson, G. (2008). A suggested virtual reality methodology allowing people with cognitive disabilities to communicate their knowledge and experiences of public transport systems. *Technology and Disability*, *20*(1), 9–24.
- Ward, G., & Morris, R. (2005). Introduction to the psychology of planning. In R. Morris & G. Ward (Eds.), *The cognitive psychology of planning* (pp. 1–34). Hove, UK: Psychology Press.
- Watson, J. B. (1914). *Behavior: An introduction to comparative behavior*. New York: Holt.
- Wen, W., & Kawabata, H. (2013). The best route is not always the easiest one: Spatial references in heuristics of route choice. *Psychology*, *4*(9), 704–710. doi:10.4236/psych.2013.49100
- Wiener, J. M. & Mallot, H. A. (2003). 'Fine-to-coarse' route planning and navigation in regionalized environments. *Spatial Cognition and Computation*, *3*(4), 331–358. doi:10.1207/s15427633scc0304_5
- Wiener, J. M., Büchner, S. J., & Hölscher, C. (2009). Taxonomy of human wayfinding tasks: A knowledge-based approach. *Spatial Cognition and Computation*, *9*(2), 152–165. doi:10.1080/13875860902906496
- Wiener, J. M., Ehbauer, N. N., & Mallot, H. A. (2007). Path planning and optimization in the traveling salesman problem: Nearest neighbor vs. region-based strategies. In *Dagstuhl Seminar Proeeding. Spatial Cognition : Specialization and Integration* (pp. 1–21).
- Wiener, J. M., Ehbauer, N. N., & Mallot, H. A. (2009). Planning paths to multiple targets: Memory involvement and planning heuristics in spatial problem solving. *Psychological Research*, *73*(5), 644–658. doi:10.1007/s00426-008-0181-3

- Wiener, J. M., & Mallot, H. A. (2006). Path complexity does not impair visual path integration. *Spatial Cognition and Computation*, 6(4), 333–346. doi:10.1207/s15427633scc0604_3
- Wiener, J. M., Schnee, A., & Mallot, H. A. (2004). Use and interaction of navigation strategies in regionalized environments. *Journal of Environmental Psychology*, 24(4), 475-493. doi:10.1016/j.jenvp.2004.09.006
- Wiener, J. M., & Tenbrink, T. (2008). Traveling salesman problem: The human case. *Künstliche Intelligenz. KI und Kognition*, 1(08), 18–22.
- Witmer, B. G., & Singer, M. J. (1998). Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire. *Presence: Teleoperators*, 7(3), 225–240. doi:10.1162/105474698565686
- Wolfe, J. M. (1994). Guided Search 2.0 A revised model of visual search. *Psychonomic Bulletin and Review*, 1(2), 202–238. doi:10.3758/BF03200774
- Zanakis, S. H., Solomon, A., Wishart, N., & Dubish, S. (1998). Multi-attribute decision making: A simulation comparison of select methods. *European Journal of Operational Research*, 107(3), 507–529. doi:10.1016/S0377-2217(97)00147-1
- Zhang, J. (1997). The nature problem of external in solving representations. *Cognitive Science*, 21(2), 179–217. doi:10.1207/s15516709cog2102_3
- Zuber, H. (1996). *Le patrimoine de la RATP*, Grandvilliers : Flohic.

Liste des figures

Figure 1. Le processus de planification d'itinéraires selon le modèle de Gärling et al. (1986). En noir, le modèle (traduit en français) comme il figure dans l'article et en rouge les indications sur les processus. _____	31
Figure 2. Exemple du problème du voyageur de commerce dans la version visuelle. En haut la version fermée est présentée, à gauche avant résolution et à droite un exemple de résolution. En bas une version ouverte est présentée, avec un « D » pour le départ et un « A » pour le point d'arrivée, à gauche le problème non résolu et à droite un exemple de résolution. _____	33
Figure 3. Exemple de résolution du problème selon la méthode de la "Coque Convexe". Dans un premier temps tous les points extérieurs sont reliés (traits pleins) puis dans un second temps les points intérieurs sont intégrés (traits en pointillés). _____	35
Figure 4. Architecture du modèle de Cutini et al. (2008). La figure présente les différents modules (module visuel, module de sélection compétitive, module spatial), la carte de prépondérance et les mécanismes inhibitoires (d'après Cutini et al., 2008). _____	40
Figure 5. Les deux configurations des itinéraires à choisir dans les expériences d'après Christenfeld (1995). A gauche (a) le choix dans l'expérience 1 représentant un parking avec les trois options. A droite (b) le choix dans l'expérience 2 représentant une rue à traverser avec les trois options. _____	55
Figure 6. Exemple d'une carte routière d'une partie de la ville de Paris d'après Google Map. Sur la carte sont présentés le réseau routier, des informations sur les emplacements de métro, des parcs, et par exemple des locaux de France Télévision. _____	64
Figure 7. Illustration de la stratégie de la route ascendante d'après Christenfield (1995). Si on part de A pour aller à B le chemin répondant à la stratégie est le 3 alors que si on part de B c'est le 1. _____	67
Figure 8. Exemple de carte présentée dans l'étude de Brunyé et al. (2010) avec un exemple de dilemme est/ouest et un de nord/sud. _____	70
Figure 9. Utilisation des cartes, plans et panneaux lors de la réalisation d'un itinéraire en transports en commun utilisant le bus et le métro, d'après Timpf (2002). _____	73
Figure 10. Exemple d'une partie de la carte du métro de Paris d'après la carte de le RATP (Régie Autonome des Transports Parisiens). _____	74
Figure 11. Carte en courbe proposée par Maxwell J. Roberts (2007). _____	76
Figure 12. Indicateur d'itinéraires à la station Charles Michel de la ligne 10 du métro de Paris, France. Septembre 2015. _____	79
Figure 13. Exemple d'une recherche pour un trajet allant de la Gare Montparnasse au métro Marcel Sembat. En bas à gauche sont présentées deux alternatives avec les différents critères (nombre de correspondances, temps de trajet, temps de marche à pieds). D'après le site internet © 2012 vianavigo. _____	80
Figure 14. Une représentation schématique des théories de l'action raisonnée et du comportement planifié d'après Ajzen et Fishbein (2005). _____	95
Figure 15. Le processus de choix selon que l'utilisateur a des fortes ou faibles habitudes, d'après Verplanken et al. (1997). _____	98
Figure 16. Modélisation de l'effet des préférences des usagers envers les attributs des correspondances sur leur contrôle perçu du comportement, d'après Chowdhury et Ceder (2013). _____	105
Figure 17. Schématisation de la proposition de modèle PLANITRAC, dans le cas où l'utilisateur utilise une aide de type carte. _____	116
Figure 18. Schématisation de la proposition de modèle PLANITRAC, dans le cas où l'utilisateur utilise une aide de type planificateur. _____	117
Figure 19. Proposition de fonctionnement du processus de planification d'itinéraires en transports en commun à partir de carte, dans le cas où le critère est de trouver l'itinéraire avec le moins de correspondance. _____	132
Figure 20. Exemple d'une carte fictive de réseaux de transports. _____	134
Figure 21. Schéma de la procédure d'un essai. _____	137

Figure 22. Schéma illustrant la segmentation d'un essai en deux étapes à partir de l'analyse des mouvements oculaires et les différentes mesures enregistrées et indicateurs calculés.	138
Figure 23. Pourcentage de bonnes réponses selon le nombre de correspondances aux itinéraires (correspondance = 0, M = 71,07%, ES = 4,06 ; correspondance = 1, M = 83,93%, ES = 3,02 ; correspondance = 2, M = 84,64%, ES = 2,48). ns = non significatif, * = $p < 0,05$, ** = $p < 0,005$, *** = $p < 0,001$.	143
Figure 24. Temps en millisecondes selon l'étape et la complexité. Alors que le temps ne diffère pas en fonction du nombre de correspondances à l'étape de recherche (correspondance = 0, M = 4266 ms, ES = 308 ; correspondance = 1, M = 4114, ES = 126 ; correspondance = 2, M = 4697, ES = 261), on remarque qu'il augmente graduellement à l'étape sélection en fonction du nombre de correspondances (correspondance = 0, M = 5343 ms, ES = 346 ; correspondance = 1, M = 9970, ES = 805 ; correspondance = 2, M = 17284, ES = 1557). ns = non significatif, *** = $p < 0,001$.	145
Figure 25. Amplitudes des saccades en degrés visuels selon la complexité et l'étape. Alors que pour l'étape de recherche on ne remarque pas d'effet du nombre de correspondances (correspondance = 0, M = 4,6°, ES = 0,14 ; correspondance = 1, M = 4,6°, ES = 0,15 ; correspondance = 2, M = 4,6°, ES = 0,14), on remarque bien un tel effet à l'étape de sélection (correspondance = 0, M = 3,9°, ES = 0,08 ; correspondance = 1, M = 3,9°, ES = 0,10 ; correspondance = 2, M = 3,5°, ES = 0,09). ns = non significatif, *** = $p < 0,001$.	147
Figure 26. Temps moyen passé à regarder les stations selon leur type et la complexité. On observe une diminution du temps moyen passé à regarder les stations de destination constante selon le nombre de correspondances (correspondance = 0, M = 5,9, ES = 0,19 ; correspondance = 1, M = 3,8, ES = 0,22 ; correspondance = 2, M = 2,1, ES = 0,11), mais uniquement une différence entre aucune et une correspondance pour les stations d'origine (correspondance = 0, M = 4,7, ES = 0,18 ; correspondance = 1, M = 2,22, ES = 0,11 ; correspondance = 2, M = 1,7, ES = 0,07). ns = non significatif, *** = $p < 0,001$.	150
Figure 27. Temps moyen passé à regarder les stations selon leur nombre de correspondances et l'étape. Alors que les stations avec aucune correspondance sont plus regardées à l'étape de recherche qu'à l'étape de sélection, le pattern n'est pas retrouvé pour les stations avec une correspondance et s'inverse pour celles avec deux correspondances. ns = non significatif, *** = $p < 0,001$.	152
Figure 28. Temps moyen passé à regarder les stations selon leur nombre de correspondances et la complexité de l'itinéraire. Alors que le temps passé à regarder les stations avec deux correspondances diminue avec le nombre de correspondances de l'itinéraire, ce dernier n'a pas d'effet sur le temps passé à regarder les stations avec aucune ou une correspondance. ns = non significatif, *** = $p < 0,001$.	153
Figure 29. Répartition des 19 participants selon les modes de transports qu'ils utilisent pour se rendre au travail ou sur leur lieu d'étude.	167
Figure 30. Nuage des variables actives des deux axes retenus sur le plan en deux dimensions.	178
Figure 31. Exemple d'une mise en situation pour aller sur le lieu de travail ou d'études.	192
Figure 32. Paire d'itinéraires qui constituent un choix.	194
Figure 33. Schéma résumant la procédure de la tâche de choix.	196
Figure 34. Plan de la ville en réalité virtuelle avec les 14 stations et les modes de transports disponibles à ces stations.	212
Figure 35. Exemples d'une vue de l'environnement (a) et des stations de bus (b) et de métro (c).	212
Figure 36. Carte support pour planifier les itinéraires.	214
Figure 37. Exemple de photographie de Cible, Distracteur Paris ou Distracteur Autre, pour un des itinéraires pour le trajet de Cardinal Lemoine à Palais Royal.	215
Figure 38. Vue de l'installation d'un participant pendant la navigation en environnement virtuel. Le participant est placé face à l'écran et dispose d'un joystick pour se déplacer et d'une souris pour effectuer les sélections.	217
Figure 39. Procédure pour prendre le métro dans l'environnement virtuel. La procédure est la même pour le bus sauf que l'étape de marche sur le quai de métro n'est pas à réaliser.	217
Figure 40. Procédure d'un essai avec les variations selon les conditions, en vert pour la condition SRVi et en bleu pour la condition RV. Les mesures réalisées sont également présentées.	220
Figure 41. Justifications apportées pour le choix d'itinéraires en fonction du type d'itinéraires.	227
Figure 42. Pourcentage du type d'itinéraires choisi selon la longueur de ceux-ci.	229

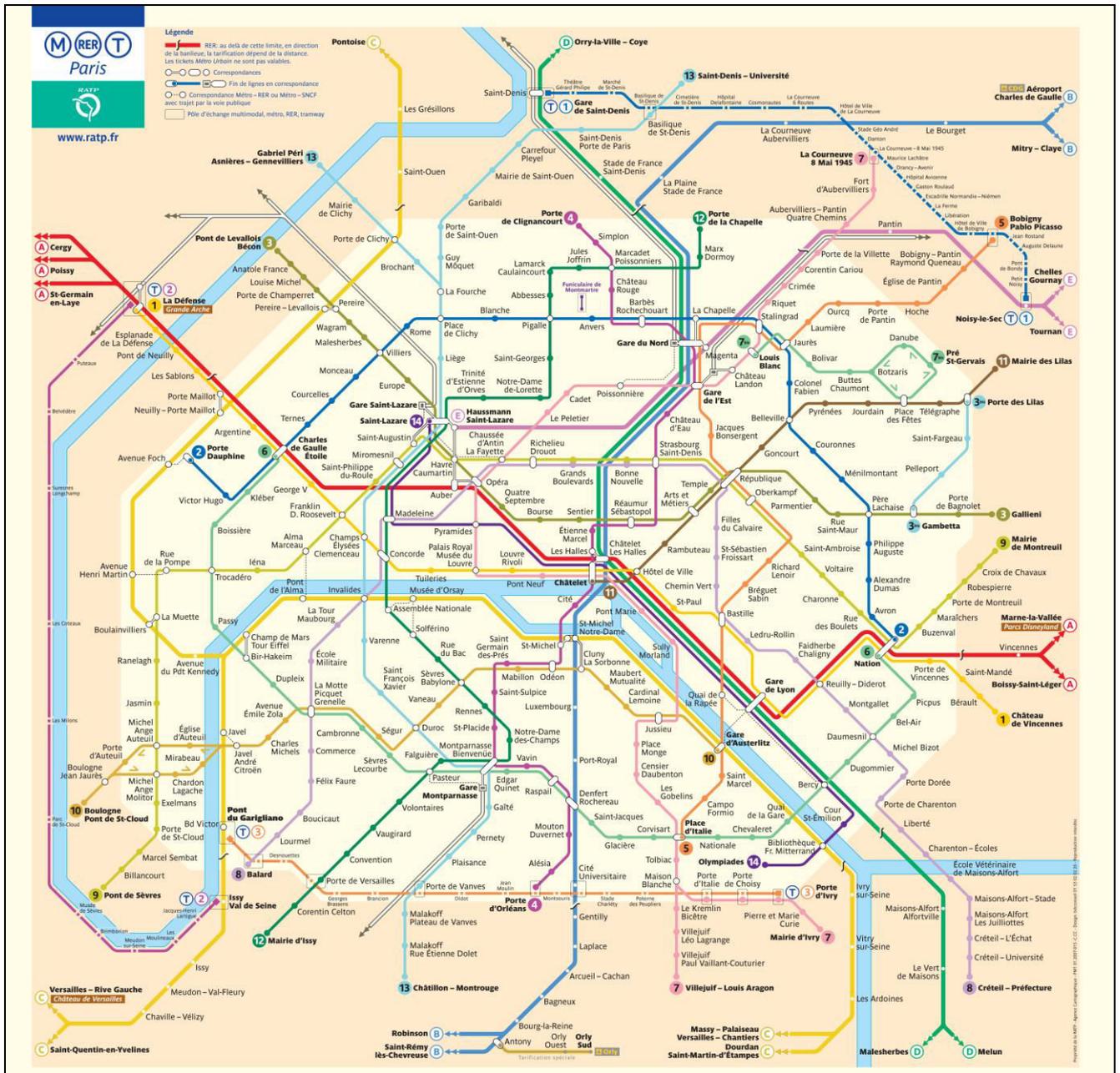
<i>Figure 43. Pourcentage des justifications du choix d'itinéraires en fonction de la longueur de celui-ci.</i>	229
<i>Figure 44. Pourcentage des justifications selon que l'itinéraire soit pour aller au travail ou aux loisirs.</i>	230
<i>Figure 45. Type de mode choisi selon les capacités spatiales perçues.</i>	231
<i>Figure 46. Le modèle PLANITRAC et les points investigués ayant donné lieu à la confirmation du modèle dans nos études (en rouge), dans le cas de la planification à partir de carte.</i>	245
<i>Figure 47. Le modèle PLANITRAC et les points investigués ayant donné lieux à la confirmation du modèle (en rouge), dans le cas de planification avec un planificateur.</i>	247
<i>Figure 48. Effet de la condition sur le temps réel estimé de l'itinéraire. ns = non significatif, * = $p < 0,05$, ** = $p < 0,005$, *** = $p < 0,001$.</i>	318
<i>Figure 49. Effet de la longueur de l'itinéraire sur le temps en RV et le temps imaginé en SRV. ns = non significatif, * = $p < 0,05$, ** = $p < 0,005$, *** = $p < 0,001$.</i>	319

Liste des tableaux

Tableau 1. Exemple d'un choix parmi plusieurs alternatives en transports en commun (A, B et C) toutes composées de trois attributs (multi-attributs) : temps de trajet, nombre de correspondances et fréquence des trains.	83
Tableau 2. Nombre de stations centrales et périphérique (minimum = Min et maximum = Max) en fonction du nombre de correspondances des stations par carte.	135
Tableau 3. Moyennes et erreur standard du temps passé à regarder les stations selon leur nombre de correspondances, la complexité et l'étape. Les erreur-types sont entre parenthèses.	151
Tableau 4. Grille pour la réalisation des entretiens, selon la technique des incidents critiques.	169
Tableau 5. Exemple d'incident critique positif raconté par un homme de 24 ans pour un itinéraire habituel.	171
Tableau 6. Exemple de codage de l'incident présenté dans le tableau 4.	171
Tableau 7. Les catégories des variables Facteur critique et Motivation et leur définition.	172
Tableau 8. Les catégories contribuant à la formation des axes selon leur position par rapport à l'axe.	176
Tableau 9. Exemple d'incidents représentatifs de l'axe 1.	177
Tableau 10. Exemple d'un incident représentatif de l'axe 2.	177
Tableau 11. Poids et coordonnées des variables supplémentaires sur les deux axes.	179
Tableau 12. Tableau résumant les oppositions des catégories des variables supplémentaires sur les axes à partir de leurs coordonnées.	181
Tableau 13. Combinaisons possibles des modes de transports dans les choix d'itinéraires.	193
Tableau 14. Résultats de la régression logistique binaire effectuée sur le choix d'itinéraires avec les odds-ratios (OR), intervalles de confiance (IC) et les valeurs p (* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,005$; *** = $p < 0,001$).	200
Tableau 15. Les cinq variables de la tâche de choix avec leurs modalités et les descriptions de ces dernières. .	222
Tableau 16. Variables liées à l'utilisation des TC et à la connaissance du quartier avec leurs modalités et descriptions.	223
Tableau 17. Tests t par rapport aux valeurs de références de Witmer et Singer (1998) pour les scores totaux et aux sous-échelles du questionnaire de présence.	235
Tableau 18. Tests T de Student réalisés pour vérifier l'équivalence entre nos groupes concernant les caractéristiques des participants. Aucun T de Student n'est significatif.	310
Tableau 19. Test de Chi^2 réalisés pour vérifier l'équivalence entre nos groupes concernant les caractéristiques des participants. Aucun Chi^2 n'est significatif.	310

Annexes

1. Carte complète du réseau de transport en commun ferré de Paris.



Carte d'après Maxwell J. Roberts (2007).

2. Echelles utilisées dans les études

a. Echelle du sens de l'orientation

Santa Barbara Sense of Directions Scale (French) - Version 15 items

Ce questionnaire propose plusieurs affirmations concernant vos capacités spatiales et de navigation, vos préférences et expériences. Après chaque affirmation, vous devez entourer un chiffre pour indiquer à quel point vous êtes d'accord avec l'affirmation. Entourez "1" si vous n'êtes pas du tout d'accord pour dire que l'affirmation vous correspond, "7" si vous êtes tout à fait d'accord d'accord, ou un chiffre entre les deux pour nuancer votre réponse. Entourez "4" si vous êtes ni tout à fait d'accord ni pas du tout d'accord.

1. Je suis vraiment bon pour donner les directions.

Pas du tout d'accord 1 2 3 4 5 6 7 Tout à fait d'accord

2. J'ai une mauvaise mémoire pour savoir où j'ai laissé les choses.

Pas du tout d'accord 1 2 3 4 5 6 7 Tout à fait d'accord

3. Je suis vraiment bon pour juger des distances.

Pas du tout d'accord 1 2 3 4 5 6 7 Tout à fait d'accord

4. Mon sens de l'orientation est vraiment bon.

Pas du tout d'accord 1 2 3 4 5 6 7 Tout à fait d'accord

5. J'ai tendance à penser à mon environnement en terme de point cardinaux (Nord, Sud, Est, Ouest).

Pas du tout d'accord 1 2 3 4 5 6 7 Tout à fait d'accord

6. Je me perds facilement dans une nouvelle ville.

Pas du tout d'accord 1 2 3 4 5 6 7 Tout à fait d'accord

7. J'aime bien lire des cartes.

Pas du tout d'accord 1 2 3 4 5 6 7 Tout à fait d'accord

8. J'ai des difficultés pour comprendre les directions.

Pas du tout d'accord 1 2 3 4 5 6 7 Tout à fait d'accord

9. Je suis vraiment bon pour lire les cartes.

Pas du tout d'accord 1 2 3 4 5 6 7 Tout à fait d'accord

10. Je ne me rappelle pas bien des trajets quand je voyage en tant que passager d'une voiture.

Pas du tout d'accord 1 2 3 4 5 6 7 Tout à fait d'accord

11. J'aime bien donner des directions.

Pas du tout d'accord 1 2 3 4 5 6 7 Tout à fait d'accord

12. Ce n'est pas important pour moi de savoir où je suis.

Pas du tout d'accord 1 2 3 4 5 6 7 Tout à fait d'accord

13. Je laisse souvent une autre personne préparer la feuille de route pour les long trajets.

Pas du tout d'accord 1 2 3 4 5 6 7 Tout à fait d'accord

14. Je me rappelle bien d'un nouveau trajet après l'avoir effectué une seule fois.

Pas du tout d'accord 1 2 3 4 5 6 7 Tout à fait d'accord

15. Je ne me représente pas très bien mon environnement mentalement.

Pas du tout d'accord 1 2 3 4 5 6 7 Tout à fait d'accord

b. Echelle d'attitude envers les transports en commun

Concernant l'usage des transports en commun pour vos déplacements au quotidien, à quel point êtes-vous d'accord avec chacune des affirmations suivantes - 1 signifiant pas du tout d'accord et 5 tout à fait d'accord.

	Pas du tout d'accord				Tout à fait d'accord
	1	2	3	4	5
1. En me déplaçant en Transport en Commun, je prends du plaisir à me faire conduire	1	2	3	4	5
2. Le déplacement en Transport en Commun est confortable pour moi	1	2	3	4	5
3. Le déplacement en Transport en Commun me stresse	1	2	3	4	5
4. Dans les Transports en Commun, je ne suis pas gêné(e) par la promiscuité	1	2	3	4	5
5. Lorsque je me déplace en Transport en Commun, je me sens tranquille	1	2	3	4	5
6. Lorsque je me déplace en Transport en Commun, c'est moi qui organise mon trajet	1	2	3	4	5
7. Dans les Transports en Commun, je me sens protégé(e) contre les agressions	1	2	3	4	5
8. Quand je me déplace en Transport en Commun, je me sens exposé(e) aux accidents	1	2	3	4	5
9. Pour moi, les déplacements en Transport en Commun sont dangereux	1	2	3	4	5
10. Le déplacement en Transport en Commun est coûteux financièrement pour moi	1	2	3	4	5
11. Les déplacements en Transport en Commun participent à la pollution atmosphérique et à l'effet de serre	1	2	3	4	5

	Pas du tout d'accord				Tout à fait d'accord
12. Lorsque je me déplace en Transport en Commun, je subis les effets de la pollution	1	2	3	4	5
13. Les Transports en Commun connaissent beaucoup de problèmes techniques (grèves, retards, etc.)	1	2	3	4	5
14. Les déplacements en Transport en Commun permettent d'être disponible pour lire, travailler, écouter de la musique, etc.	1	2	3	4	5
15. Avec les Transports en Commun je me sens autonome pour me déplacer	1	2	3	4	5
16. Lorsque je me déplace en Transport en Commun, je me sens libre	1	2	3	4	5
17. Le déplacement en Transport en Commun me fait gagner du temps	1	2	3	4	5
18. Quand je me déplace en Transport en Commun, je peux mieux maîtriser mes horaires	1	2	3	4	5
19. Les Transports en Commun sont pour moi le moyen d'être à l'heure	1	2	3	4	5

c. Questionnaire de présence

**QUESTIONNAIRE SUR L'ÉTAT DE PRÉSENCE (Laboratoire de Cyberpsychologie de l'UQO
,2002)**

Décrivez votre expérience dans l'environnement en marquant d'un "X" la case appropriée de l'échelle en 7 points, et ce en accord avec le contenu de la question et les étiquettes descriptives. Veuillez prendre en compte l'échelle en entier lorsque vous inscrivez vos réponses, surtout lorsque des niveaux intermédiaires sont en jeu. Répondez aux questions indépendamment les unes des autres et dans l'ordre dans lequel ils apparaissent. Ne sautez pas de questions et ne retournez pas à une question précédente afin de modifier votre réponse.

EN FONCTION DE L'ENVIRONNEMENT DANS LEQUEL VOUS ÉTIEZ

1. Dans quelle mesure étiez-vous capable de contrôler les événements?

|_____| |_____| |_____| |_____| |_____| |_____| |_____|
PAS DU TOUT ASSEZ COMPLÈTEMENT

2. Dans quelle mesure l'environnement était-il réactif (sensible) aux actions que vous y faisiez?

|_____| |_____| |_____| |_____| |_____| |_____| |_____|
PAS RÉACTIF MODÉRÉMENT RÉACTIF COMPLÈTEMENT RÉACTIF

3. Dans quelle mesure vos interactions avec l'environnement vous semblaient-elles naturelles?

|_____| |_____| |_____| |_____| |_____| |_____| |_____|
EXTRÊMEMENT ARTIFICIELLES À MI-CHEMIN COMPLÈTEMENT NATURELLES

4. Dans quelle mesure les aspects visuels de l'environnement vous invitaient-ils à vous y impliquer?

|_____|_____|_____|_____|_____|_____|_____|
PAS DU TOUT ASSEZ COMPLÈTEMENT

5. Dans quelle mesure les mécanismes permettant votre mouvement dans l'environnement vous semblaient-ils naturels?

|_____|_____|_____|_____|_____|_____|_____|
EXTRÊMEMENT ARTIFICIELLES À MI-CHEMIN COMPLÈTEMENT NATURELLES

6. Dans quelle mesure vos sens étaient-ils trompés par le réalisme du mouvement des objets à travers l'espace?

|_____|_____|_____|_____|_____|_____|_____|
PAS DU TOUT MODÉRÉMENT TROMPÉS TRÈS TROMPÉS

7. Dans quelle mesure les expériences que vous avez vécues dans l'environnement virtuel ressemblaient-elles à celles de l'environnement réel ?

|_____|_____|_____|_____|_____|_____|_____|
PAS RESSEMBLANT MODÉRÉMENT RESSEMBLANT TRÈS RESSEMBLANT

8. Étiez-vous capable d'anticiper les conséquences des mouvements que vous faisiez?

|_____|_____|_____|_____|_____|_____|_____|
PAS DU TOUT ASSEZ COMPLÈTEMENT

9. Jusqu'à quel point étiez-vous en mesure d'explorer activement l'environnement de façon visuelle?

|_____|_____|_____|_____|_____|_____|_____|

PAS DU TOUT

ASSEZ

COMPLÈTEMENT

10. Jusqu'à quel point la sensation de déplacement à l'intérieur de l'environnement virtuel était-elle confondante (réaliste)?

|_____|_____|_____|_____|_____|_____|_____|

PAS CONFONDANTE

MODÉRÉMENT CONFONDANTE

TRÈS CONFONDANTE

11. À quelle distance pouviez-vous examiner les objets?

|_____|_____|_____|_____|_____|_____|_____|

PAS PROCHE DU TOUT

PLUTÔT PROCHE

TRÈS PROCHE

12. Jusqu'à quel point pouviez-vous examiner les objets sous différents angles?

|_____|_____|_____|_____|_____|_____|_____|

PAS DU TOUT

ASSEZ

COMPLÈTEMENT

13. Jusqu'à quel point étiez-vous impliqué(e) dans l'expérience vécue dans l'environnement virtuel?

|_____|_____|_____|_____|_____|_____|_____|

PAS DU TOUT ENGAGÉ(E)

MOYENNEMENT ENGAGÉ(E)

COMPLÈTEMENT ABSORBÉ(E)

14. Jusqu'à quel point avez-vous ressenti un délai séparant vos actions de leurs conséquences?

|_____|_____|_____|_____|_____|_____|_____|

AUCUN DÉLAI

DÉLAI MODÉRÉ

LONG DÉLAI

15. À quel rythme vous êtes-vous adapté(e) à l'expérience vécue dans l'environnement virtuel?

|_____|_____|_____|_____|_____|_____|_____|

21. Dans quelle mesure arriviez-vous à identifier correctement les sons produits dans l'environnement?



22. Dans quelle mesure arriviez-vous à localiser correctement les sons produits dans l'environnement?



23. Dans quelle mesure pouviez-vous explorer activement et de façon tactile (par le toucher) l'environnement?



24. Jusqu'à quel point pouviez-vous déplacer ou manipuler les objets dans l'environnement virtuel?



3. Questionnaires utilisés dans les études

a. Etude 2

Questionnaire : choix d'itinéraires

Partie 1 : Caractéristiques personnelles et itinéraires

1. Vous êtes :

1. Un homme
2. Une femme

2. Quel est votre âge :

3. Quelle est votre profession ?

4. Quelle est l'arrêt de transport en commun la plus proche de chez vous (<15 minutes) ? (*Plusieurs possibles*)

5. Quelle est l'arrêt de transport en commun de votre lieu de travail/études (<15 minutes) ? (*Plusieurs possibles*)

6. Quel est votre itinéraire habituel ?

7. Avez-vous déjà emprunté une ou plusieurs alternatives, pour vous rendre sur votre lieu de travail/études en partant de chez vous ?

1. Oui
 2. Non
- Si oui, le(s)quel(s) ?

8. En ce qui concerne vos itinéraires de manière générale, vous arrive-t-il de combiner différents modes de transport (par exemple : métro + bus) :

1. Oui
 2. Non
- Si oui, (*Cochez les cases correspondantes*)

	Oui	Non
Avec quels modes combinés ?		
1 Métro		

2	RER/ Transilien/ TER		
3	Bus		
4	Vélo		
5	Voiture		
Pour quelle(s) raison(s) ?			
1	Trajet plus court		
2	Trajet plus agréable		
3	Trajet plus fiable		
4	Vous n'avez pas le choix		
Pour quel(s) déplacement(s) ?			
1	Fréquent(s) (domicile - travail/études, activités, etc.)		
2	Occasionnel(s)		

Partie 2 : Planification et choix d'itinéraires

1. En ce qui concerne votre itinéraire habituel domicile-travail (études) en transport en commun, à quel point êtes-vous d'accord avec les affirmations suivantes : (1 signifiant pas du tout d'accord et 5 tout à fait d'accord).

	Pas du tout d'accord				Tout à fait d'accord
1. Je prends cet itinéraire par habitude.	1	2	3	4	5
2. Je prends cet itinéraire car c'est le plus rapide.	1	2	3	4	5
3. Je prends cet itinéraire car c'est le plus agréable.	1	2	3	4	5
4. Je prends cet itinéraire car après en avoir expérimenté plusieurs, c'est celui que je préfère/qui est le plus optimal.	1	2	3	4	5
5. Je prends cet itinéraire car il est fiable.	1	2	3	4	5
6. Je prends cet itinéraire car je n'en connais pas d'autre.	1	2	3	4	5
7. Je prends cet itinéraire car c'est celui qui a le moins de correspondances.	1	2	3	4	5
8. Je prends cet itinéraire car je n'ai pas besoin de changer de mode de transport.	1	2	3	4	5

2. Imaginez-vous en train de préparer un déplacement nouveau ou qui ne vous est pas habituel. Pour celui-ci, vous empruntez les transports en commun. Merci de donner votre opinion sur les phrases suivantes.

	Jamais	Rarement	De temps en temps	Assez souvent	Souvent
1. Je planifie avant si c'est un trajet que je ne connais pas.	1	2	3	4	5
2. Je regarde sur un plan de métro, bus, RER, etc.	1	2	3	4	5
3. Je regarde sur un site internet dédié (ratp, vianavigo, transilien, etc.)	1	2	3	4	5
4. J'utilise des applications spécifiques sur mon téléphone.	1	2	3	4	5
5. Je regarde sur les sites internet ou sur mon téléphone pour connaître le temps de trajet.	1	2	3	4	5
6. Je me renseigne et prends des instructions auprès de personnes connaissant le lieu ou le trajet.	1	2	3	4	5
7. Je consulte les informations sur le réseau urbain sur les sites internet ou via mon téléphone.	1	2	3	4	5
8. Je choisis un itinéraire avec le moins de correspondances.	1	2	3	4	5
9. Je prends un itinéraire pour lequel je n'ai pas à changer de mode de transport.	1	2	3	4	5

b. Etude 3

Nom :

Age :

Prénom :

Sexe : F M

Profession :

1. Concernant votre usage des transport en commun de la région Île-de-France

Lors d'une semaine, à quelle fréquence utilisez-vous les transports en commun (bus, métro, train, tramway) pour :

- Allez au travail / lieu d'étude

Jamais Rarement De temps en temps Assez souvent Souvent

- Allez à des activités des loisirs en semaine (loisirs, sport, voir des amis, etc.)

Jamais Rarement De temps en temps Assez souvent Souvent

- Allez à des activités des loisirs le week-end (loisirs, sport, voir des amis, etc.)

Jamais Rarement De temps en temps Assez souvent Souvent

2. Concernant votre itinéraire domicile – travail/lieu d'étude

Décrivez cet itinéraire (ex : métro ligne 1 de la station X à la station Y, puis Bus n°154 de la station Y à la station Z) :

Quel est le temps de parcours de cet itinéraire ?

Pourquoi avez-vous choisi cet itinéraire plutôt qu'un autre ?

- 1. Pour le temps de parcoursOUI NON
- 2. Pour le confort.....OUI NON
- 3. Car il y a peu ou pas de changements.....OUI NON
- 4. Car il n'y a pas de changement de mode de transport.....OUI NON

Classez ces 4 critères par ordre d'importance pour vous dans ce contexte (avec les chiffres):

Comment avez-vous procédé pour choisir votre itinéraire :

- Vous connaissiez suffisamment le réseau pour choisir de tête.....OUI NON
- Vous avez cherché sur un plan du réseau.....OUI NON
- Vous avez utilisé un site internet dédié (RATP, vianavigo ou autre).....OUI NON
- Vous avez utilisé une application sur un smartphone.....OUI NON
- Vous avez demandé conseil auprès d'une personne.....OUI NON

Utilisez-vous le même itinéraire pour aller au travail ou sur votre lieu d'étude et pour revenir chez vous ?

OUI NON

Si non, décrivez-le trajet du retour et dite pourquoi vous utilisez celui-ci (plusieurs raisons/exemples possibles).

Avez-vous des alternatives à cet itinéraire (autre mode de transport, combinaison différentes des modes) ?

OUI NON

Si oui, décrivez celui que vous prenez le plus.

Dans quelles conditions préférez-vous utiliser cet itinéraire plutôt que l'habituel (plusieurs raisons/exemples possibles) ?

3. Concernant votre itinéraire pour vous rendre à une activité de loisirs régulière s'effectuant toujours ou très souvent au même endroit (sport, cinéma, etc.)

Décrivez cet itinéraire (ex : métro ligne 1 de la station X à la station Y, puis Bus n°154 de la station Y à la station Z) :

Quel est le temps de parcours de cet itinéraire ?

Pourquoi avez-vous choisi cet itinéraire plutôt qu'un autre ?

- Pour le temps de parcoursOUI NON
- Pour le confort.....OUI NON
- Car il y a peu ou pas de changements.....OUI NON

- Car il n'y a pas de changement de mode de transport.....OUI NON

Classez ces 4 critères par ordre d'importance pour vous dans ce contexte (avec les chiffres):

Comment avez-vous procédé pour choisir votre itinéraire :

- Vous connaissiez suffisamment le réseau pour choisir de tête.....OUI NON
- Vous avez cherché sur un plan du réseau.....OUI NON
- Vous avez utilisé un site internet dédié (RATP, vianavigo ou autre).....OUI NON
- Vous avez utilisé une application sur un smartphone.....OUI NON
- Vous avez demandé conseil auprès d'une personne.....OUI NON

Utilisez-vous le même itinéraire pour aller au travail ou sur votre lieu d'étude et pour revenir chez vous ?

OUI NON

Si non, décrivez-le trajet du retour et dite pourquoi vous utilisez celui-ci (plusieurs raisons/exemples possibles).

Avez-vous des alternatives à cet itinéraire (autre mode de transport, combinaison différentes des modes) ?

OUI NON

Si oui, décrivez celui que vous prenez le plus.

Dans quelles conditions préférez-vous utiliser cet itinéraire plutôt que l'habituel (plusieurs raisons/exemples possibles) ?

c. Etude 4

Concernant les itinéraires que vous avez décrits durant le test

Vous sentiez-vous limité par le nombre d'alternatives possibles ?

Pas du tout	Un peu	Pas important	Plutôt	Tout à fait
-------------	--------	---------------	--------	-------------

Pensez-vous que les trajets que vous avez planifiés étaient efficaces et rapides ?

Pas du tout	Pas vraiment	Je ne sais pas	Plutôt	Tout à fait
-------------	--------------	----------------	--------	-------------

Êtes-vous satisfait des trajets que vous avez planifiés ?

Pas du tout	Pas vraiment	Je ne sais pas	Plutôt	Tout à fait
-------------	--------------	----------------	--------	-------------

Les trajets que vous avez choisis ont-ils semblé facile à mémoriser ?

OUI	NON
-----	-----

Pourquoi ?

Le quartier dans lequel vous avez planifié des itinéraires au cours de la tâche était une version modifiée d'un quartier parisien : entre Montparnasse, Palais Royal, Hôtel de ville et Cardinal.

• **Concernant ce quartier:**

Vous rendez-vous souvent dans ce quartier ?

Pas du tout	Rarement	Parfois	Souvent	Tous les jours
-------------	----------	---------	---------	----------------

Si oui, pensez-vous que les trajets disponibles dans le test représentent bien l'offre de transports disponible dans ce quartier ?

OUI	Plutôt	NON
-----	--------	-----

Pourquoi ?

Décrivez le/les trajets que vous empruntez dans ce quartier ? (mode, changements etc.)

Pour quelles raisons vous rendez vous dans ce quartier ? (travail, études, loisirs, famille/amis etc.)

Avez-vous trouvé la carte des transports de ce quartier claire/lisible durant le test ?

OUI	NON
-----	-----

Concernant vos habitudes d'usager des transports en commun

A quelle fréquence utilisez-vous les transports en commun pour :

1) Aller au travail/Lieu d'étude ?

Jamais	Rarement	De temps en temps	Assez souvent	Souvent
--------	----------	-------------------	---------------	---------

2) Aller à des activités de loisir en semaine ? (sports, sorties, etc.)

Jamais	Rarement	De temps en temps	Assez souvent	Souvent
--------	----------	-------------------	---------------	---------

3) Aller à des activités de loisir en week-end ?

Jamais	Rarement	De temps en temps	Assez souvent	Souvent
--------	----------	-------------------	---------------	---------

Possédez-vous un véhicule autonome ? (voiture, moto, scooter etc.)

OUI	NON
-----	-----

Quel titre de transport utilisez-vous pour vous déplacer en transports publics (Passe navigo, ticket à l'unité, carnet de ticket, autre...)

• **Concernant votre itinéraire domicile – travail/lieu d'étude**

Décrivez cet itinéraire (ex : métro ligne 1 de la station X à la station Y, puis Bus n°154 de la station Y à la station Z) :

Quel est le temps de parcours de cet itinéraire?

Pourquoi avez-vous choisi cet itinéraire plutôt qu'un autre ?

- 1. Pour le temps de parcoursOUI NON
- 2. Pour le confort.....OUI NON
- 3. Car il y a peu ou pas de changements.....OUI NON
- 4. Car il n'y a pas de changement de mode de transport.....OUI NON
- 5. Car il y a peu de retards/aléas en général.....OUI NON
- 6. Car moins de monde l'emprunte.....OUI NON

- 7. Parce qu'il vous semble agréable.....OUI NON

Classez ces 7 critères par ordre d'importance pour vous dans ce contexte (avec les chiffres):

Comment avez-vous procédé pour choisir votre itinéraire :

- Vous connaissiez suffisamment le réseau pour choisir de tête.....OUI NON
- Vous avez cherché sur un plan du réseau.....OUI NON
- Vous avez utilisé un site internet dédié (RATP, vianavigo ou autre).....OUI NON

→ Si oui, vous utilisez les informations données par ces sites sous forme de:

→ Cartes

→ Feuille de route

→ Les deux

- Vous avez utilisé une application sur un smartphone.....OUI NON

→ Si oui, vous utilisez les informations données par ces applications sous forme de:

→ Cartes

→ Feuille de route

→ Les deux

- Vous avez demandé conseil auprès d'une personne.....OUI NON

Pour finir, classer ces modes de transport par préférence à l'aide de chiffres (1 à 5) :

Métro Bus Tramway RER Marche

Merci de votre participation

4. Compléments résultats étude 1 : Analyse de variance pour le nombre de correspondances aux stations

Nous présentons ici les interactions de l'ANOVA Correspondance aux stations (0, 1, 2) x Complexité (0, 1, 2) x Etape (recherche, sélection) x Répétition (1, 2, 3, 4, 5) non présentées et discutées dans l'étude.

Toutes les interactions sont significatives : Complexité x Etape ($F(2, 26) = 10,21$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,44$), Complexité x Répétition ($F(8,96) = 5,88$, $p < 0,001$; $\eta_p^2 = 0,33$), Répétition x Etape ($F(4,48) = 5,98$, $p = 0,0055$; $\eta_p^2 = 0,33$), Répétition x Correspondance ($F(8,96) = 10,14$, $p < 0,001$; $\eta_p^2 = 0,89$), Complexité x Répétition x Etape ($F(8,96) = 2,88$, $p = 0,0065$; $\eta_p^2 = 0,19$), Complexité x Répétition x Correspondance ($F(16,192) = 6,64$, $p < 0,001$; $\eta_p^2 = 0,36$), Répétition x Etapes x Correspondance ($F(8,96) = 4,91$, $p < 0,001$; $\eta_p^2 = 0,29$) et l'interaction entre les quatre facteurs ($F(16,192) = 2,32$, $p = 0,0038$; $\eta_p^2 = 0,16$).

L'analyse post hoc (Bonferroni) de l'interaction Répétitions x Correspondances montre que le temps moyen passé à regarder les stations avec aucune et une correspondance ne change pas selon le nombre de la répétition. En revanche on observe des différences pour les stations avec trois correspondances selon les répétitions. Le temps moyen à regarder ces stations est plus important pour les répétitions « une » ($M = 2,69$; $ES = 0,1$) et « cinq » ($M = 2,47$; $ES = 0,19$) que pour les répétitions « trois » ($M = 1,71$; $ES = 0,07$) et « quatre » ($M = 1,79$; $ES = 0,09$) (tous les $p < 0,001$, sauf pour la différence entre la répétition 3 et 5, $p = 0,49$).

L'analyse post hoc (Bonferroni) de l'interaction Complexité x Répétition x Correspondance montre que le temps passé à regarder les stations avec aucune ou une correspondance ne change pas selon les répétitions pour toutes les complexités d'itinéraires (tous les $p > 0,05$). Pour les itinéraires avec trois correspondances le temps passé à regarder les stations avec deux correspondances ne change pas en fonction de la répétition (tous les $p > 0,05$). En revanche il change pour les itinéraires avec aucune et une correspondance. On remarque alors que pour les itinéraires avec une correspondance les stations avec deux correspondances sont plus regardée à la première ($M = 2,83$; $ES = 0,2$), troisième ($M = 2,93$;

$ES = 0,35$) et cinquième ($M = 3,79$; $ES = 0,42$) répétition et moins regardée à la deuxième ($M = 1,85$; $ES = 0,14$) et quatrième répétition ($M = 2,04$; $ES = 0,15$)(tous les $p < 0,005$, sauf pour la différence entre la première et quatrième répétition $p > 0,05$).

L'analyse post hoc (Bonferroni) de l'interaction Répétitions x Etapes x Correspondance montre de faibles modulations du pattern observé pour l'interaction Etapes x Correspondances, qui montre que les stations avec aucune correspondance sont plus regardées à l'étape de recherche que de sélection, les stations avec une correspondance sont regardées en moyenne aussi longtemps dans les deux étapes et les stations avec deux correspondances sont moins regardées pour l'étape de recherche que l'étape de planification, selon le nombre de répétition.

Etant donné que l'un des facteurs d'intérêt majeur de notre étude est le nombre de correspondances des itinéraire (*i.e.* complexité) nous allons analyser l'interaction entre les quatre facteurs, en la décomposant selon les conditions de la complexité. Ainsi nous avons mené une ANOVA à trois facteur ($3 \times \dots \times 5$) avec les facteurs intra-sujets Correspondances (0, 1, 2), Etape (recherche, sélection) et Répétition (1, 2, 3, 4, 5) pour chaque des condition du facteur Complexité.

En ce qui concerne l'ANOVA réalisée pour les itinéraires ayant aucune correspondances on note des effets significatifs de la Répétition ($F(4,48) = 7,35$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,38$), de l'Etape ($F(1,12) = 38,94$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,76$) et du facteur Correspondance ($F(2, 24) = 269,5$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,96$). Toutes les interactions doubles sont significatives : Répétition x Etape ($F(4,48) = 2,82$, $p = 0,035$, $\eta_p^2 = 0,19$) ; Répétition x Correspondance ($F(8,96) = 7,18$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,37$) et Etapes x Correspondance ($F(2,24) = 35,64$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,75$). En revanche l'interaction entre les trois facteurs n'est pas significative ($F(8,96) = 1,69$, $p = 0,11$).

L'analyse post hoc (Bonferroni) sur le facteur Correspondance montre le temps d'observation des stations diffères significativement entre toutes les conditions du nombre de correspondances aux stations (tous les $p < 0,001$). Ainsi les participants observent moins les stations sans correspondance ($M = 0,63$; $ES = 0,02$) que les stations avec une correspondance ($M = 1,1$; $ES = 0,03$), et les stations avec deux correspondances sont les plus regardées ($M = 2,69$; $ES = 0,10$).

L'analyse post hoc (Bonferroni) de l'interaction Etapes x Correspondances montre que le temps passé à observer les stations avec aucune ou une correspondance ne diffère pas selon l'étape (tous les $p > 0,5$). En revanche le temps d'observation des stations avec deux correspondances est plus court à l'étape de recherche ($M = 1,95$; $ES = 0,11$) qu'à l'étape de sélection ($M = 3,44$; $ES = 0,2$), $p < 0,001$).

L'analyse post hoc (Bonferroni) de l'interaction Répétitions x Correspondance montre que le temps moyen passé à regarder les stations avec aucune et une correspondance ne change pas selon le nombre de la répétition. En revanche on observe des différences pour les stations avec trois correspondances selon les répétitions. Le temps moyen à regarder ces stations est plus important pour la cinquième répétition ($M = 3,79$; $ES = 0,42$) que pour la première ($M = 2,83$; $ES = 0,2$; $p = 0,041$), ou que pour la deuxième ($M = 1,85$; $ES = 0,14$, $p < 0,001$) ou que pour la quatrième ($M = 2,04$; $ES = 0,15$, $p < 0,001$). On note également le que le temps passé à observer les stations avec deux correspondances est plus court pour la deuxième répétition que pour la première ($p = 0,031$) et la troisième ($M = 2,93$; $ES = 0,35$, $p = 0,008$).

En ce qui concerne les itinéraires avec une correspondances l'ANOVA révèle des effets significatifs de la Répétition ($F(4,52) = 11,24$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,46$), de l'Etape ($F(1,13) = 120,48$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,9$) et du facteur Correspondance ($F(2, 26) = 124,9$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,91$). Toutes les interactions doubles sont significatives : Répétition x Etape ($F(4,52) = 9,27$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,42$) ; Répétition x Correspondance ($F(8,104) = 11,45$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,47$) et Etapes x Correspondance ($F(2,26) = 97,07$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,88$). L'interaction entre les trois facteurs est aussi significative ($F(8,104) = 10,18$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,44$).

L'analyse post hoc (Bonferroni) sur le facteur Correspondance montre le temps d'observation des stations diffère significativement entre toutes les conditions du nombre de correspondances aux stations (tous les $p < 0,001$). Ainsi les participants observent moins les stations sans correspondances ($M = 0,70$; $ES = 0,01$) que les stations avec une correspondance ($M = 1,68$; $ES = 0,02$), et les stations avec deux correspondances sont les plus regardées ($M = 2,03$; $ES = 0,10$).

L'analyse post hoc (Bonferroni) de l'interaction Etapes x Correspondances montre que le temps passé à observer les stations avec une correspondance ne diffère pas selon l'étape ($p > 0,5$). En revanche le temps d'observation des stations avec aucune ou deux correspondances diffère. Les stations avec aucune correspondance sont plus regardées pendant la recherche ($M = 0,87$; $ES = 0,01$) que la sélection ($M = 0,54$; $ES = 0,02$; $p = 0,038$). On remarque l'inverse pour les stations avec deux correspondances, elles sont moins regardées pendant la recherche ($M = 1,24$; $ES = 0,06$) que la sélection ($M = 2,81$; $ES = 0,16$; $p < 0,001$).

L'analyse post hoc (Bonferroni) de l'interaction Répétitions x Correspondances montre que le temps moyen passé à regarder les stations avec aucune et une correspondance ne change pas selon la répétition. En revanche on observe des différences pour les stations avec trois correspondances selon les répétitions. Le temps moyen à regarder ces stations est plus important pour la première répétition ($M = 2,72$; $ES = 0,13$) que pour la deuxième ($M = 2,03$; $ES = 0,16$; $p < 0,001$), ou que pour la troisième ($M = 2,11$; $ES = 0,14$; $p < 0,001$) ou que pour la quatrième ($M = 1,33$; $ES = 0,17$; $p < 0,001$) ou la cinquième ($M = 1,93$; $ES = 0,2$; $p < 0,001$). On note également le que le temps passé à observer les stations avec deux correspondances est plus court pour la quatrième répétition que pour la deuxième ($p < 0,001$) et la troisième ($p < 0,001$).

L'analyse post hoc (Bonferroni) de l'interaction Répétitions x Etapes x Correspondances montre que le pattern observé pour l'interaction Etapes x Correspondances; qui est qu'il n'y a pas de différences significatives entre les deux étapes pour les stations avec aucune et une correspondance mais qu'il y a une différence pour les stations avec deux correspondances ; est observé pour toutes les répétitions à l'exception de la quatrième ou aucune différence n'est observée pour toutes les stations.

En ce qui concerne les itinéraires avec deux correspondances l'ANOVA révèle des effets significatifs de la Répétition ($F(4,52) = 4,08$, $p = 0,006$, $\eta_p^2 = 0,24$), de l'Etape ($F(1,13) = 35,41$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,73$) et du facteur Correspondance ($F(2, 26) = 110,4$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,89$). Toutes les interactions doubles sont significatives : Répétition x Etapes ($F(4,52) = 3,08$, $p = 0,24$, $\eta_p^2 = 0,19$) ; Répétition x Correspondance ($F(8,104) = 6,32$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,33$) et

Etapes x Correspondance ($F(2,26) = 57,17, p < 0,001, \eta_p^2 = 0,81$). L'interaction entre les trois facteurs est aussi significative ($F(8,104) = 2,5, p = 0,016, \eta_p^2 = 0,16$).

L'analyse post hoc (Bonferroni) sur le facteur Correspondances montre le temps d'observation des stations diffère significativement entre toutes les conditions du nombre de correspondances aux stations (tous les $p < 0,001$). Ainsi les participants observent moins les stations sans correspondance ($M = 0,76 ; ES = 0,02$) que les stations avec une correspondance ($M = 1,08 ; ES = 0,02$), et les stations avec deux correspondances sont les plus regardées ($M = 1,68 ; ES = 0,07$).

L'analyse post hoc (Bonferroni) de l'interaction Etapes x Correspondances montre que le temps passé à observer les stations avec une correspondance ne diffère pas selon l'étape ($p > 0,5$). En revanche le temps d'observation des stations avec aucune ou deux correspondances diffère. Les stations avec aucune correspondance sont plus regardées pendant la recherche ($M = 0,96 ; ES = 0,02$) que la sélection ($M = 0,57 ; ES = 0,02 ; p = 0,0037$). On remarque l'inverse pour les stations avec deux correspondances, elles sont moins regardées pendant la recherche ($M = 1,19 ; ES = 0,07$) que la sélection ($M = 2,18 ; ES = 0,12 ; p < 0,001$).

L'analyse post hoc (Bonferroni) de l'interaction Répétitions x Correspondances montre que le temps moyen passé à regarder les stations avec aucune et une correspondance ne change pas selon la répétition. En revanche on observe des différences pour les stations avec trois correspondances selon les répétitions. Le temps moyen à regarder ces stations est plus important pour la première ($M = 1,95 ; ES = 0,10$) et quatrième répétition ($M = 2,03 ; ES = 0,19$) par rapport à la deuxième ($M = 1,30 ; ES = 0,15$; tous les $p < 0,001$) et la troisième ($M = 1,49 ; ES = 0,07$; respectivement $p = 0,014$ et $p < 0,001$).

L'analyse post hoc (Bonferroni) de l'interaction Répétitions x Etapes x Correspondances montre que le pattern observé pour l'interaction Etapes x Correspondances; qui est qu'il n'y a pas de différences significatives entre les deux étapes pour les stations avec aucune et une correspondance mais qu'il y a une différence pour les stations avec deux correspondances ; est observé pour toutes les répétitions à l'exception de la troisième ou aucune différence n'est observée pour toutes les stations.

5. Compléments de l'étude 3

a. Détail des éléments d'habillage des choix d'itinéraires

Tableau 1. Récapitulatif des choix temps court.

Numéro choix	Itinéraire 1			Itinéraire 2		
	Confort	Modes	Temps	Confort	Modes	Temps
1	Très calme, possibilité de lire ou écouter de la musique tranquillement	bus-métro-RER	23	Très bruyant, difficile de lire ou écouter de la musique tranquillement	bus	25
2	Peu d'affluence, peu de bruit et pas trop chaud.	métro-bus-tramway	28	Grande affluence, beaucoup de bruit et chaleur.	bus	27
3	Peu de monde et possibilité de s'asseoir	bus-métro-RER	24	Debout avec beaucoup de monde	métro	22
4	Peu d'affluence, possibilité de s'asseoir pendant tout le voyage	RER-tramway-métro	27	Grande affluence, rester debout pendant tout le voyage	métro	28
5	Calme et pas trop chaud	RER-tramway-métro	25	Bruyant et très chaud	tramway	26
6	Peu de bruit, possibilité d'écouter la musique ou lire tranquillement	tramway-RER-bus	25	beaucoup de bruit, difficile d'écouter la musique ou de lire tranquillement	tramway	23
7	Peu de bruit, possibilité de s'asseoir pendant tout le voyage	RER-tramway-métro	26	Beaucoup de bruit, rester debout pendant tout le voyage	RER	29
8	Très calme, assis tout le trajet	tramway-RER-bus	30	Bruyant, debout tout le trajet	RER	29

Tableau 2. Récapitulatif des choix temps long.

Num choix	Itinéraire 1			Itinéraire 2		
	Confort	Modes	Temps	Confort	Modes	Temps
1	Très calme, possibilité de lire ou écouter de la musique tranquillement	bus-métro-RER	50	Très bruyant, difficile de lire ou écouter de la musique tranquillement	bus	53
2	Peu d'affluence, peu de bruit et pas trop chaud.	métro-bus-tramway	48	Grande affluence, beaucoup de bruit et chaleur.	bus	47
3	Peu de monde et possibilité de s'asseoir	bus-métro-RER	54	Debout avec beaucoup de monde	métro	52
4	Peu d'affluence, possibilité de s'asseoir pendant tout le voyage	RER-tramway-métro	47	Grande affluence, rester debout pendant tout le voyage	métro	48
5	Calme et pas trop chaud	RER-tramway-métro	46	Bruyant et très chaud	tramway	45
6	Peu de bruit, possibilité d'écouter la musique ou lire tranquillement	tramway-RER-bus	43	Beaucoup de bruit, difficile d'écouter la musique ou de lire tranquillement	tramway	45
7	Peu de bruit, possibilité de s'asseoir pendant tout le voyage	RER-tramway-métro	46	Beaucoup de bruit, rester debout pendant tout le voyage	RER	49
8	Très calme, assis tout le trajet	tramway-RER-bus	56	Bruyant, debout tout le trajet	RER	55

b. Résultats de l'effet de la version

Nous avons proposé deux versions aux participants de la tâche de choix permettant un contrebalancement de la position (gauche/droite) des itinéraires. Nous avons réalisé des tests T de Student et χ^2 de Pearson afin de s'assurer qu'il n'existait pas de différence entre les deux groupes pour les caractéristiques des participants. Les résultats sont présentés dans le Tableau 18 et le

Tableau 19. Aucun test, T de Student et χ^2 , n'est significatif. Ainsi nos deux groupes sont équivalents et seront traité ensemble pour la suite des analyses.

Tableau 18. Tests T de Student réalisés pour vérifier l'équivalence entre nos groupes concernant les caractéristiques des participants. Aucun T de Student n'est significatif.

Variables	N actifs Version 1	N actifs Version 2	M Version1 (écart-type)	M Version 2 (écart-type)	Valeur t	dl	p
Age	31	29	21,77 (4,15)	22 (4,48)	-0,203	1	0,840
SBSODS	31	29	63,42 (17,3)	62,97 (18,72)	0,098	1	0,923
Avantages TC	31	29	35,61 (7,42)	37,52 (8,03)	-0,955	1	0,344
Désavantages TC	31	29	19,87 (4,42)	19,07 (1,08)	0,716	1	0,477
Fréquences TC	31	29	12,84 (1,98)	12,21 (2,8)	1,015	1	0,314

Tableau 19. Test de Chi² réalisés pour vérifier l'équivalence entre nos groupes concernant les caractéristiques des participants. Aucun Chi² n'est significatif.

Variables	N actifs Version 1	N actifs Version 2	Chi ²	dl	p
Sexe	31	29	0,56	1	0,46
Critère confort	31	29	0,00	1	0,97
Critère changements	31	29	0,23	1	0,63
Mode habituel	31	29	1,13	1	0,29

6. Compléments de l'étude 4

a. Matériel

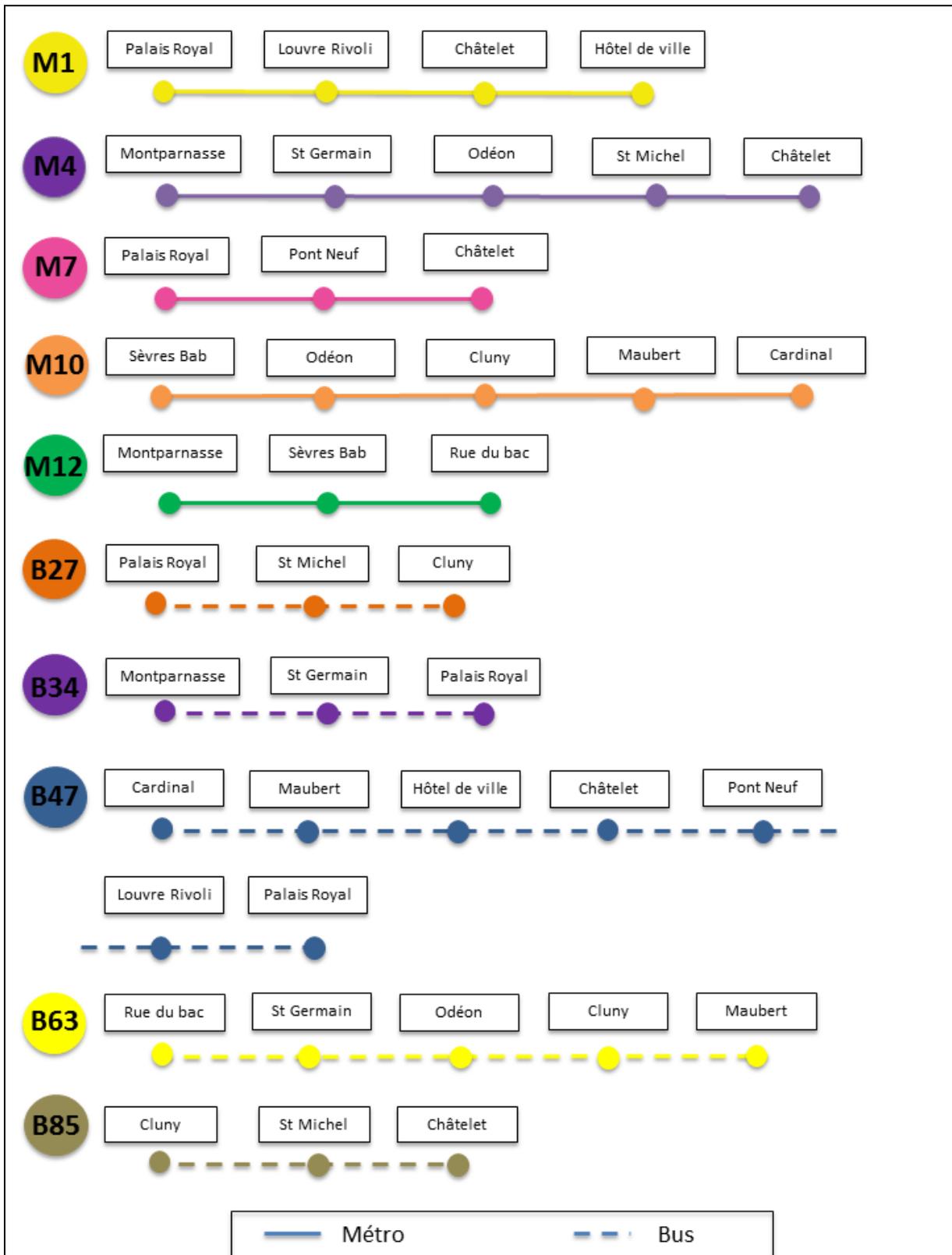
i. Information sur l'état du trafic

Trajets	itinéraires possible	Infos Pertinentes Réseau	Infos Pertinentes Confort	Infos Non Pertinentes Réseau	Infos Non Pertinentes Confort
PontNeuf_o deon	marche	####	####	Problème à la station Chatelet, le trafic peut être ralenti.	Beaucoup d'affluence sur la ligne 10.
	metro_chatelet_metro et inverse	####	####	Problème de circulation des bus boulevard Saint Michel, le trafic peut être ralenti.	Beaucoup d'affluence sur la ligne 10.
HoteldeVille _Montparna sse	metro_chatelet_metro et metro_chatelet_marche et marche_chatelet_metro	Un incident à la station Châtelet risque de perturber le trafic sur les lignes passant par cette station.	En raison d'un problème sur la ligne 7, nous notons une forte affluence sur la ligne 4.	Un incident à la station Cardinal risque de perturber le trafic sur les lignes passant par cette station.	En raison d'un problème sur la ligne 6, nous notons une forte affluence sur la ligne 12.
	bus_stgermain_bus_maubert_bus et inverse et bus_chatelet_marche	Un accident sur le boulevard Saint Germain risque de ralentir le trafic des bus.	Suite à un problème sur la ligne 86 au niveau du Bd Saint Germain, une forte affluence est attendue sur la ligne 63.	Un accident sur le boulevard Raspail risque de ralentir le trafic des bus dans cette rue.	Suite à un problème sur la ligne 27 au niveau de la rue Bonaparte, une forte affluence est attendue sur la ligne 34.
	bus_Palaisroyal_bus	Un accident rue de Rivoli risque de ralentir le trafic des bus.	Suite à un problème sur la ligne 27 au niveau de la rue Bonaparte, une forte affluence est attendue sur la ligne 34.	Un accident sur le boulevard Raspail risque de ralentir le trafic des bus dans cette rue.	Suite à un problème sur la ligne 86 au niveau du boulevard Saint Germain, une forte affluence est attendue sur la ligne 63.
Cardinal_Pal aisRoyal	bus et bus_hoteldeville_metro et inverse et bus_maubert_metro et bus_chatelet_metro	Manifestation sur la voie publique rue de Rivoli, possibilité de retard pour les bus.	Suite à un problème sur la ligne 24 au niveau de la rue de la cité, une forte affluence est attendue sur la ligne 47.	Manifestation sur la voie publique rue de Rennes, possibilité de retard pour les bus.	Suite à un problème sur la ligne 34 au niveau de la rue Bonaparte, une forte affluence est attendue sur la ligne 27.
	bus_cluny_marche et metro_cluny_bus et inverse	Manifestation sur la voie publique rue Bonaparte, possibilité de retard pour les bus.	Suite à un problème sur la ligne 34 au niveau de la rue Bonaparte, une forte affluence est attendue sur la ligne 27.	Manifestation sur la voie publique rue de Rennes, possibilité de retard pour les bus.	Suite à un problème sur la ligne 24 au niveau de la rue de la cité, une forte affluence est attendue sur la ligne 47.
	bus_stgermain_bus_maubert_marche	Manifestation sur la voie publique rue Bonaparte,	Suite à un problème sur la ligne 27 au niveau	Manifestation sur la voie publique rue de Rennes, possibilité de retard	Suite à un problème sur la ligne 24 au niveau de la rue de la

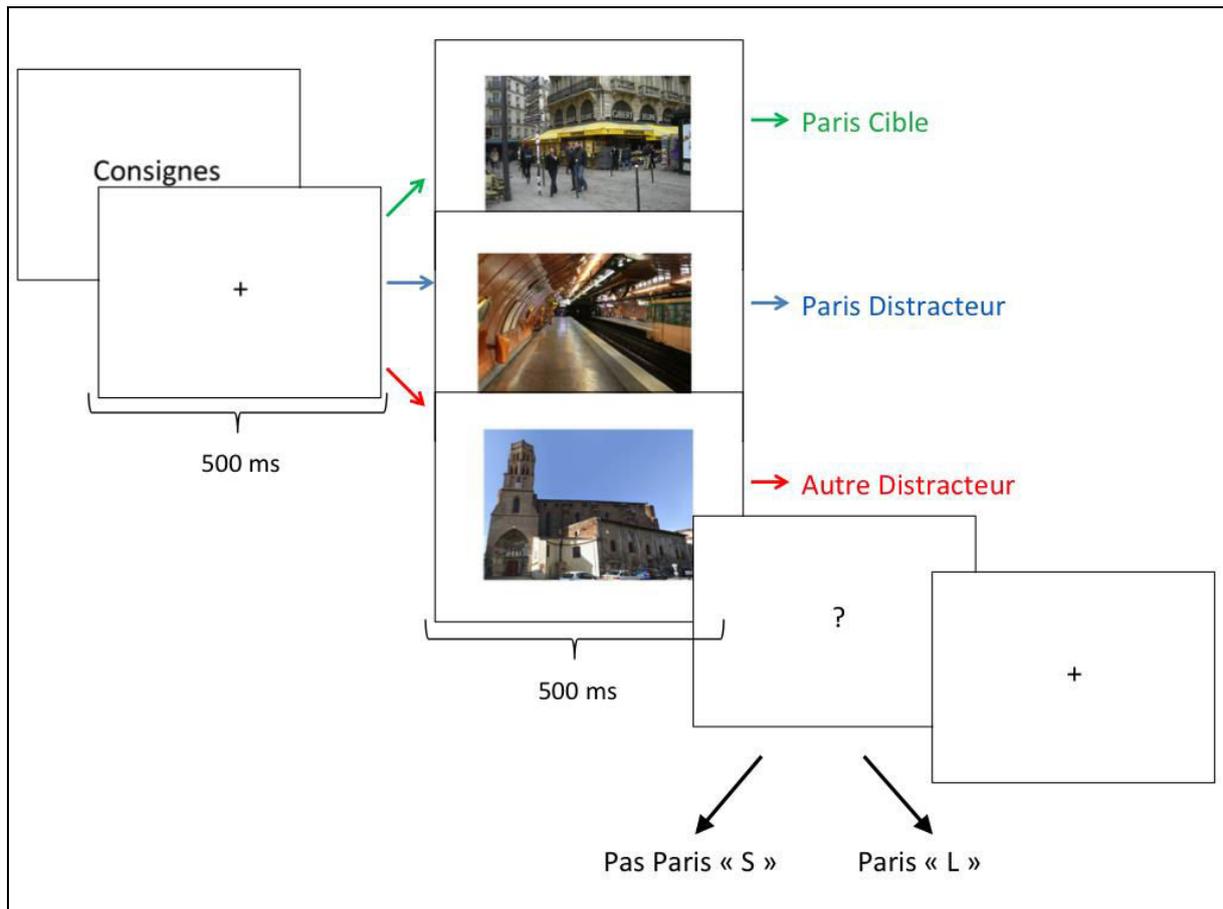
		possibilité de retard pour les bus.	de la rue Bonaparte, une forte affluence est attendue sur la ligne 34.	pour les bus.	cité, une forte affluence est attendue sur la ligne 47.
	marche_hoteldeville_metro et metro_chatelet_metro_odeon_metro	Intervention des services techniques à Châtelet, possibilité de retard pour toutes les lignes de cette station.	En raison d'un problème sur la ligne A, nous notons une forte affluence sur la ligne 1.	Intervention des services techniques à Montparnasse, possibilité de retard pour toutes les lignes de cette station.	En raison d'un problème sur la ligne 6, nous notons une forte affluence sur la ligne 12.
Cardinal_St Michel et inverse	marche	Le cortège d'une manifestation est attendu boulevard Saint Germain.	Des travaux ont eu lieu sur le boulevard Saint Germain, les trottoirs sont difficilement praticables.	Le cortège d'une manifestation est attendu boulevard Raspail.	Des travaux ont eu lieu sur le boulevard Raspail, les trottoirs sont difficilement praticables.
	metro_cluny_marche et inverse et metro_odeon_metro et metro_cluny_bus et metro_maubert_bus_cluny_marche et metro_odeon_marche	En raison d'une grève du personnel de la ligne 10, des ralentissements ou suppression de train sont attendus.	En raison d'un problème sur la ligne 6, nous notons une forte affluence sur la ligne 10.	En raison d'une grève du personnel de la ligne 12, des ralentissements ou suppression de train sont attendus.	En raison d'un problème sur la ligne 6, nous notons une forte affluence sur la ligne 12.
	bus_maubert_bus_cluny_bus et marche_cluny_bus_maubert_marche	En raison d'une grève des conducteurs de bus de la ligne 86, des ralentissements ou suppression de bus sont attendus.	Suite à un problème sur la ligne 86 au niveau du Bd saint Germain, une forte affluence est attendue sur la ligne 63.	En raison d'une grève des conducteurs de métro, des ralentissements ou suppression de train sont attendus.	Suite à un problème sur la ligne 27 au niveau de la rue Bonaparte, une forte affluence est attendue sur la ligne 34.
	bus_cluny_marche	En raison d'une grève des conducteurs de bus 27 et 85, des ralentissements ou suppression de bus sont attendus.	Suite à un problème sur la ligne 38 au niveau du Bd saint Michel, une forte affluence est attendue sur les lignes 27 et 85.	En raison d'une grève des conducteurs de métro, des ralentissements ou suppression de train sont attendus.	Suite à un problème sur la ligne 27 au niveau de la rue Bonaparte, une forte affluence est attendue sur la ligne 34.
Sevres_Stgermain	marche	Travaux boulevard raspail du 02/02 au 31/05, accès bloqué occasionnellement .	Des travaux ont eu lieu sur le boulevard Raspail, les trottoirs sont difficilement praticables.	Travaux boulevard du Palais du 02/02 au 31/05, accès bloqué occasionnellement.	Des travaux ont eu lieu sur le boulevard Saint Germain, les trottoirs sont difficilement praticables.
	metro_montparnasse_metro	Voyageur malade sur la ligne 4, possible ralentissement.	En raison d'un problème sur la ligne 7, nous notons une forte affluence sur la ligne 4.	Voyageur malade sur la ligne 1, possible ralentissement.	En raison d'un problème sur la ligne A, nous notons une forte affluence sur la ligne 1.
	bus_ruedubac_marche et bus_ruedubac_metro et inverse	Travaux boulevard raspail du 02/02 au 31/05, accès bloqué occasionnellement .	Suite à un problème sur la ligne 86 au niveau du Bd Saint Germain, une forte affluence est attendue sur la	Travaux boulevard du Palais du 02/02 au 31/05, accès bloqué occasionnellement.	Suite à un problème sur la ligne 27 au niveau de la rue Bonaparte, une forte affluence est attendue sur la ligne 34.

			ligne 63.		
	metro_odeon_metro et metro_odeon_marche	Voyageur malade sur la ligne 10, possible ralentissement.	En raison d'un problème sur la ligne 6, nous notons une forte affluence sur la ligne 10.	Voyageur malade sur la ligne 1, possible ralentissement.	En raison d'un problème sur la ligne A, nous notons une forte affluence sur la ligne 1.

ii. Détail des lignes



iii. Procédure de la tâche de classification de photographies



Les consignes sont d'abord présentées puis une fois que le participant les a lues, une croix de fixation apparaît pendant 500 ms puis la photographie est présentée également pendant 500 ms. La photographie est soit une Cible, soit un Distracteur Paris soit un Distracteur Autre. Ensuite un point d'interrogation s'affiche et les participants doivent répondre le plus rapidement possible si cette photographie représente un paysage parisien ou non. Si la réponse est oui les participants doivent appuyer sur la touche « L » du clavier et sur la touche « S » si la réponse est non. Une fois la réponse donnée un autre essai commence.

iv. Contrebalancement

Sujet	itinéraire a	itinéraire b	itinéraire c	Itinéraire d	Sujet	itinéraire a	itinéraire b	itinéraire c	Itinéraire d
s1	1	2	3	4	s17	1	2	3	4
	PT	NPC	NPT	PC		PT	NPC	NPT	PC
	Travail	Travail	Loisirs	Loisirs		Loisirs	Loisirs	Travail	Travail
s2	2	3	4	1	s18	2	3	4	1
	PT	NPC	NPT	PC		PT	NPC	NPT	PC
	Travail	Travail	Loisirs	Loisirs		Loisirs	Loisirs	Travail	Travail
s3	3	4	1	2	s19	3	4	1	2
	PT	NPC	NPT	PC		PT	NPC	NPT	PC
	Travail	Travail	Loisirs	Loisirs		Loisirs	Loisirs	Travail	Travail
s4	4	1	2	3	s220	4	1	2	3
	PT	NPC	NPT	PC		PT	NPC	NPT	PC
	Travail	Travail	Loisirs	Loisirs		Loisirs	Loisirs	Travail	Travail
s5	1	2	3	4	s21	1	2	3	4
	NPC	NPT	PC	PT		NPC	NPT	PC	PT
	Travail	Travail	Loisirs	Loisirs		Loisirs	Loisirs	Travail	Travail
s6	2	3	4	1	s22	2	3	4	1
	NPC	NPT	PC	PT		NPC	NPT	PC	PT
	Travail	Travail	Loisirs	Loisirs		Loisirs	Loisirs	Travail	Travail
s7	3	4	1	2	s23	3	4	1	2
	NPC	NPT	PC	PT		NPC	NPT	PC	PT
	Travail	Travail	Loisirs	Loisirs		Loisirs	Loisirs	Travail	Travail
s8	4	1	2	3	s24	4	1	2	3
	NPC	NPT	PC	PT		NPC	NPT	PC	PT
	Travail	Travail	Loisirs	Loisirs		Loisirs	Loisirs	Travail	Travail
s9	1	2	3	4	s25	1	2	3	4
	NPT	PC	PT	NPC		NPT	PC	PT	NPC
	Travail	Travail	Loisirs	Loisirs		Loisirs	Loisirs	Travail	Travail
s10	2	3	4	1	s26	2	3	4	1
	NPT	PC	PT	NPC		NPT	PC	PT	NPC
	Travail	Travail	Loisirs	Loisirs		Loisirs	Loisirs	Travail	Travail
s11	3	4	1	2	s27	3	4	1	2
	NPT	PC	PT	NPC		NPT	PC	PT	NPC
	Travail	Travail	Loisirs	Loisirs		Loisirs	Loisirs	Travail	Travail
s12	4	1	2	3	s28	4	1	2	3
	NPT	PC	PT	NPC		NPT	PC	PT	NPC
	Travail	Travail	Loisirs	Loisirs		Loisirs	Loisirs	Travail	Travail
s13	1	2	3	4	s29	1	2	3	4
	PC	PT	NPC	NPT		PC	PT	NPC	NPT
	Travail	Travail	Loisirs	Loisirs		Loisirs	Loisirs	Travail	Travail
s14	2	3	4	1	s30	2	3	4	1
	PC	PT	NPC	NPT		PC	PT	NPC	NPT
	Travail	Travail	Loisirs	Loisirs		Loisirs	Loisirs	Travail	Travail
s15	3	4	1	2	s31	3	4	1	2
	PC	PT	NPC	NPT		PC	PT	NPC	NPT
	Travail	Travail	Loisirs	Loisirs		Loisirs	Loisirs	Travail	Travail
s16	4	1	2	3	s32	4	1	2	3
	PC	PT	NPC	NPT		PC	PT	NPC	NPT
	Travail	Travail	Loisirs	Loisirs		Loisirs	Loisirs	Travail	Travail

Légende du tableau de contrebalancement :

Itinéraire : 1 = Montparnasse à Hôtel de ville ; 2 = Cardinal Lemoine à Palais Royal ; 3 = St Michel à Cardinal et 4 = Sèvres Babylone à St Germain.

Information trafic : PT = pertinente trafic ; PC = pertinente confort ; NPT = non pertinente trafic et NPC = non pertinente confort.

Le même contrebalancement a été effectué dans les conditions RV et SRV.

b. Résultats

i. Estimation temps itinéraire réel

Une ANOVA 3x2x2 avec la condition (avec RV, SRVi et SRV) en facteur inter-sujet, la longueur de l'itinéraire (court, long) et le contexte (travail, loisirs) en facteurs intra-sujet a été réalisée sur le temps réel estimé de l'itinéraire.

Les résultats révèlent un effet significatif de la condition ($F(2,237) = 8,04, p < 0,001, \eta_p^2 = 0,06$) et la longueur de l'itinéraire ($F(1,237) = 86,29, p < 0,001, \eta_p^2 = 0,27$). En revanche nous ne notons pas d'effet significatif du contexte ($F < 1$) et aucune interaction n'est significative ($F_s < 1$).

Cette analyse révèle que les participants estiment moins long les itinéraires courts ($M = 15,17$ minutes ; $ES = 0,75$) que les itinéraires longs ($M = 25,05$ minutes ; $ES = 0,75$).

L'analyse post-hoc de Bonferroni sur le facteur condition révèle des effets significatifs uniquement entre la condition réalité virtuelle et les deux conditions de sans réalité virtuelle (SRV imagination, $p = 0,02$; SRV, $p < 0,001$). On remarque donc que lorsque les participants ont réalisé l'itinéraire en réalité virtuelle ils vont globalement estimer le temps d'itinéraire réel moins long que lorsqu'ils ne l'ont pas réalisé en réalité virtuelle (RV : $M = 17,48$ minutes ; $ES = 0,69$; SRVi : $M = 20,53$ minutes, $ES = 1,21$ et SRV : $M = 22,33$ minutes, $ES = 0,9$, voir Figure 48).

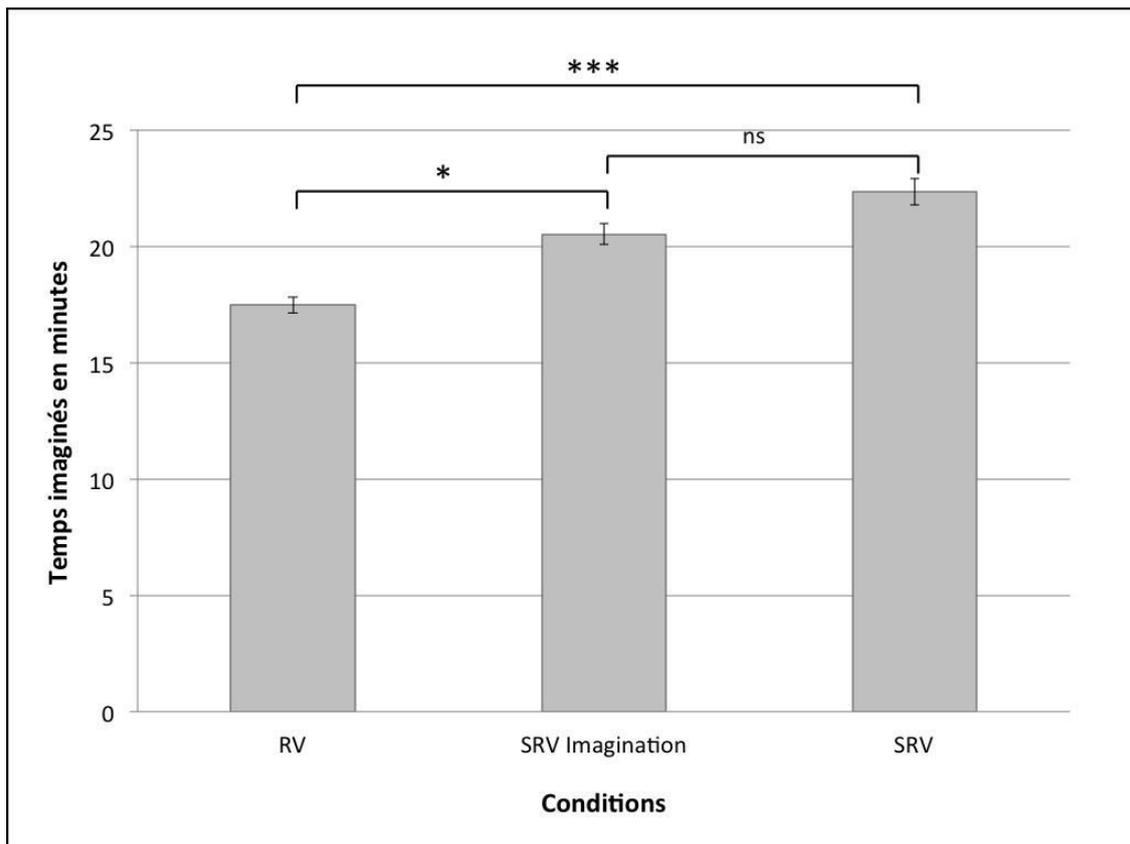


Figure 48. Effet de la condition sur le temps réel estimé de l'itinéraire. ns = non significatif, * = $p < 0,05$, ** = $p < 0,005$, *** = $p < 0,001$.

ii. Temps en réalité virtuelle : temps réel vs. Temps estimé

Une ANOVA avec le contexte (travail, loisirs), la longueur (court, long) et le type de temps (réel, estimé) comme facteur intra-sujets a été effectuée sur le temps en secondes.

L'analyse révèle un effet significatif de la longueur du trajet ($F(1,114) = 7,08$; $p < 0,05$, $\eta_p^2 = 0,058$) et du type de temps ($F(1,114) = 41,52$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,27$). En revanche on ne note pas d'effet significatif du contexte ($F < 1$) et aucune interaction double n'est significative ($F_s < 1$). Enfin, l'interaction entre les trois facteurs n'est pas significative ($F(1,241) = 1,9$, $p > 0,05$).

Les résultats mettent en évidence que lorsque l'itinéraire est long le temps de réalisation et le temps estimé sont plus long (186,27 secondes) que lorsque l'itinéraire est court (154,39 secondes). Cependant nous notons que les participants estiment le temps de réalisation plus long (200,66 secondes) qu'il ne l'a réellement été (140 secondes).

iii. Temps réel de la réalité virtuelle vs. Temps imaginé

Une ANOVA avec la condition (RV, SRV imagination) en facteur inter-sujet et la longueur (court, long) en facteur intra-sujet a été effectuée sur le temps de réalisation ou d'imagination du trajet.

L'analyse met en évidence un effet de la condition ($F(1,193) = 403,69, p < 0,001, \eta_p^2 = 0,68$) et de la longueur du trajet ($F(1,193) = 4,56 ; p < 0,05, \eta_p^2 = 0,023$). L'interaction entre les deux facteurs est elle aussi significative ($F(1,193) = 3,92, p < 0,05, \eta_p^2 = 0,02$).

Les résultats montrent que le temps de réalisation en réalité virtuelle est plus long (140,17 secondes) que le temps d'imagination de la réalisation de l'itinéraire (14,10 secondes). De plus le temps moyen est plus long pour les itinéraires longs (83,84 secondes) que pour les courts (70,43 secondes). Toutefois, la différence entre les itinéraires courts et longs est principalement notée pour les itinéraires réalisés en réalité virtuelle (Bonferroni, $p = 0,006$) et inexistantes pour les itinéraires imaginés (Bonferroni, $p > 0,05$, voir Figure 49).

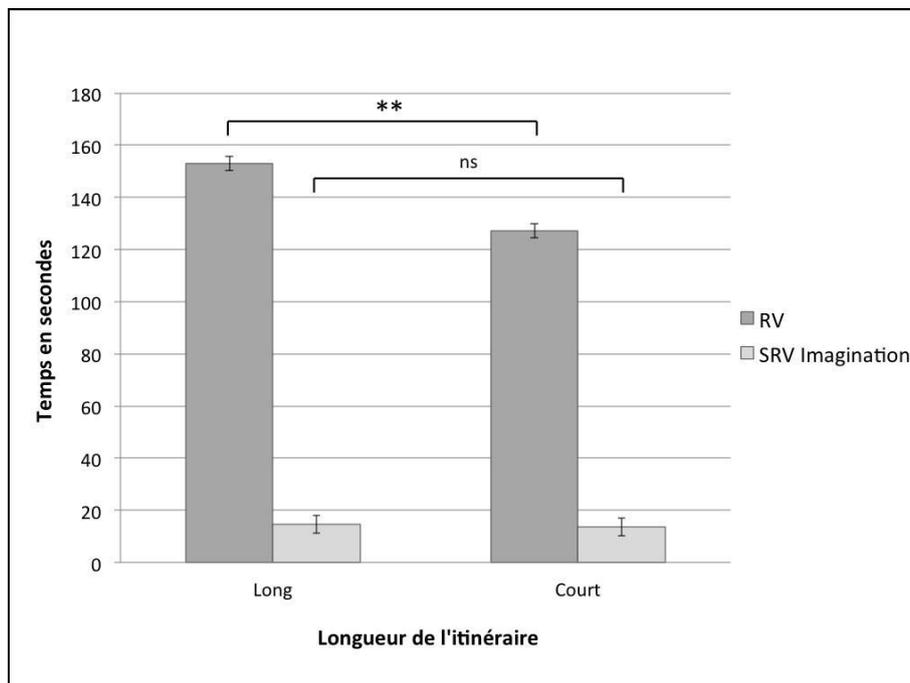


Figure 49. Effet de la longueur de l'itinéraire sur le temps en RV et le temps imaginé en SRV. ns = non significatif, * = $p < 0,05$, ** = $p < 0,005$, *** = $p < 0,001$.

iv. Même choix dans la réalité

Dans 73,15% des cas les participants expriment qu'ils feraient le même choix d'itinéraire dans la réalité. Cette proportion ne diffère pas selon la condition ($\chi^2(2) = 5,09$, $p > 0,05$).

v. Stratégie d'imagination dans la condition SRV Imagination

20 participants ont réalisé la condition sans réalité virtuelle avec imagination de la réalisation de l'itinéraire, soit 80 itinéraires. Parmi les 80 itinéraires, 79 ont été imaginé avec une stratégie de visualisation, dont deux combinés avec une stratégie auditive. Un seul itinéraire a été imaginé uniquement avec une stratégie auditive.

Résumé

Planifier un itinéraire est une tâche réalisée quotidiennement pour nos déplacements. Bien que cette tâche soit routinière, les recherches dans le domaine de la résolution de problème et de la cognition spatiale ont révélé nombre de stratégies adoptées et de ressources cognitives (e.g. mémoire de travail, capacités spatiales, fonctions exécutives) nécessaires à sa réalisation. Différents modèles cognitifs décrivant la planification en différentes étapes avec ou sans compétition entre stratégies ont été proposés pour expliquer la formation des plans de voyage (Cuntini, Di Fernando, Basso, Bisiacchi et Zorzi, 2008 ; Gärling, Säisä, Böök & Lindberg, 1986). L'étude plus écologique de la planification, c'est-à-dire en situation réelle, montre la mise en jeu de facteurs supplémentaires tels que les critères de sélection, des facteurs individuels et contextuels. Cependant à ce jour, peu d'études se sont intéressées à la planification d'itinéraire en transports en commun, alors que la valorisation de ces modes est cruciale pour répondre aux préoccupations environnementales et de congestion du réseau routier des grandes villes. Dès lors, une question est de savoir si les processus de planification et de choix d'itinéraires sont modifiés du fait de la spécificité des itinéraires en transports en commun (modes variés et changements de modes) et quels sont les facteurs cognitifs, psycho-sociaux, et contextuels impliqués. Pour répondre à cette question, nous avons mené quatre études pour explorer différentes dimensions de cette activité à l'aide de paradigmes et techniques variés tels que les mouvements oculaires (étude 1), l'entretien (étude 2), des choix forcés (étude 3) et la réalité virtuelle (étude 4). Ces études ont permis de mettre en évidence que la planification d'itinéraire à partir de cartes de réseaux de transports s'effectue en deux temps et qu'elle se complexifie avec l'augmentation du nombre de changements de lignes (étude 1). De plus, l'analyse de l'expérience des usagers (étude 2) et les résultats de mises en situations expérimentales (études 3 et 4) ont montré que le choix d'itinéraire dépend du contexte et du profil de l'utilisateur (défini par ses capacités spatiales, préférences, attitude, etc.). Les résultats permettent donc de proposer des préconisations pour adapter les aides à la planification en considérant les différents profils d'utilisateurs afin de favoriser l'utilisation de ces modes. Enfin, sur le plan théorique, nos études montrent que la prise en compte uniquement de l'aspect cognitif pour modéliser la planification n'est pas suffisante et que considérer les différents profils d'utilisateurs permet une modélisation plus complète de ce processus complexe.

Mots clés: attitude, cognition spatiale, mobilité, profils, résolution de problème, transport en commun, usagers.

Abstract

Route planning is an everyday task performed when we want to travel. Even though it is a routine task, researches in problem-solving and spatial cognition domains have revealed that various strategies and cognitive resources are involved (e.g. working memory, spatial abilities, and executive functions). Some models have been proposed to explain the formation of travel plans. They usually describe the planning process into different stages with or without competition between strategies (Cuntini, Di Fernando, Basso, Bisiacchi & Zorzi, 2008; Gärling, Säisä, Böök & Lindberg, 1986). More ecological studies, i.e. in real situations, have shown the implication of additional factors such as selection criteria, personal and contextual variables. To date however, few studies have taken an interest on the route planning using public transport, even though the promotion of these modes is necessary considering environmental concerns and saturation of traffic in large cities. A question is whether planning and choice processes are modified due to special features of public transports (various modes and changes of modes) and which are the cognitive, psycho-social and contextual factors involved. To answer this question, we conducted four studies to investigate different dimensions of public transport planning activity using various methodologies and paradigms as eye-tracking (study 1), interview (study 2), two alternatives forced-choice (study 3) and virtual reality (study 4). The outcomes of these studies are numerous. Route planning from a network map is a two-step process which becomes more complex with the number of changes of lines (study 1). The analyses of users' experience (study 2) and of different simulations (studies 3 and 4) show that the route choice depends both on the context and the user's profile (spatial abilities, preferences, attitudes, etc.). These results allow recommendation to better adapt assistance depending on various users profiles, in order to favour the use of public transports. Finally, on the theoretical side, our studies highlight that taking into account only the cognitive facet to build route-planning models is not sufficient, while considering different users' profiles provides a more complete picture of the processes involved.

Keywords: attitudes, mobility, profiles, problem-solving, public transport, spatial cognition, users.