



PREMIER MINISTRE

**Commissariat général
à la stratégie
et à la prospective**

**Département
Développement durable**

**RAPPORTS
& DOCUMENTS**

Avril 2013

Valeurs du temps

**Contribution
Quentin Roquigny**

Tome 2

Rapport

« *L'évaluation socio-économique en période de transition* »

Groupe de travail
présidé par Émile Quinet

Sommaire

1	INTRODUCTION : LA VALORISATION DU TEMPS, UNE APPROCHE THEORIQUE BIEN DEFINIE ET DES METHODES DE MESURES CLAIREMENT IDENTIFIEES.....	5
2	HISTORIQUE DES VALEURS DU TEMPS ISSUES DU RAPPORT BOITEUX 1 (1994), BOITEUX 2 (2001), UE HANDBOOK (2008).....	7
3	LE PHENOMENE DE CONGESTION	9
4	LES VALEURS « DE REFERENCE » ET LES VALEURS DU TEMPS DES MODELES DE TRAFIC	10
5	ACTUALISATION DES VALEURS DU TEMPS DE REFERENCE POUR LES PASSAGERS ET LES MARCHANDISES.....	11
5.1	ACTUALISATION DES VALEURS DU TEMPS DE REFERENCE.....	11
6	CONFORT ET FIABILITE DU TEMPS DE PARCOURS.....	15
6.1	LE CONFORT EN PRE/POST ACHEMINEMENT ET DURANT LE TRAJET : UNE NOTION MULTIDIMENSIONNELLE QU'IL CONVIENDRAIT DE CLARIFIER AFIN DE LA MONETARISER INTEGRALEMENT	15
6.2	LA FIABILITE DU TEMPS DE TRANSPORTS : COMMENT LA MESURER ET LA VALORISER ?	18
6.3	LE PHENOMENE DE DESHORAGE, UN AJUSTEMENT (COUTEUX) DU CHOIX D'HORAIRE DE DEPART VISANT A EVITER L'EXCES D'INCONFORT, LE RISQUE DE RETARD OU LA DESUTILITE D'ARRIVER TROP EN AVANCE A DESTINATION.....	23
	ANNEXE 1 - LA VALORISATION DU TEMPS DANS LE RAPPORT BOITEUX 2.....	25
	ANNEXE 2 - LA COMPTABILISATION DES TEMPS DE CONGESTION DANS LE RAPPORT BOITEUX 2	31
	ANNEXE 3 - LES VALEURS DU TEMPS DE TRANSPORTS PASSAGERS	35
	ANNEXE 4 - VALEURS DU TEMPS, REVENUS, DUREE ET DISTANCE DES DEPLACEMENTS EN MILIEU URBAIN : ELEMENTS DE REFLEXIONS	43
	ANNEXE 5 - VALEURS DU TEMPS POUR LE TRANSPORT DE MARCHANDISES.....	53
	ANNEXE 6 - VALORISATION DES TEMPS DE MARCHÉ, D'ATTENTE ET DE CORRESPONDANCE	59
	ANNEXE 7 - PRISE EN COMPTE DU CONFORT DANS LES TRANSPORTS EN COMMUN URBAINS	63
	ANNEXE 8 - METHODES DE VALORISATION DE LA FIABILITE DU TEMPS DE TRANSPORT.....	67
	ANNEXE 9 - VALORISATION DE L'IRREGULARITE SUR LES RADIALES FERREES D'ÎLE-DE-FRANCE (ETUDE STIF 2006)	77

ANNEXE 10 - VALORISATION DE L'IRREGULARITE POUR LES USAGERS DU TGV (ETUDE RFF 2012)	81
ANNEXE 11 - PERCEPTION CLIENT DES RETARDS ET ANALYSE SUR LA DISTRIBUTION DES RETARDS SUR LE RESEAU TRANSILIE (ETUDE SNCF, 2012).....	83
ANNEXE 12 - VALORISATION DE LA FIABILITE DU TEMPS DE TRANSPORT PAR LE MINISTERE DES TRANSPORTS BRITANNIQUE	87
ANNEXE 13 - CONTRIBUTION DE SNCF ET DE RFF SUR LE LIEN ENTRE NIVEAU DE TRAFIC ET AUGMENTATION DU TEMPS DE TRANSPORTS.....	93

1 Introduction : la valorisation du temps, une approche théorique bien définie et des méthodes de mesures clairement identifiées

Le temps est un bien rare et en disposer davantage permet aux individus d'optimiser leur utilité en affectant ce temps aux activités qu'ils préfèrent. Inversement, passer du temps dans les transports suppose que ce temps sera perdu pour la réalisation d'autres déplacements ou d'autres activités.

Aussi, sur un trajet donné, la prise en compte de l'utilité à laquelle un voyageur renonce car il est obligé d'utiliser une partie de son temps dans les transports amène à définir plusieurs « coûts d'opportunité¹ ». Ces différents coûts d'opportunité rapportés à l'unité de temps de transport représentent diverses valeurs du temps de trajet économisé (ou plus communément appelées « valeurs du temps »). Les gains ou pertes de temps comprennent ainsi les variations de bien-être des agents (ménages et entreprises) relatives à l'utilisation qu'ils peuvent faire de cette ressource : travailler plus, optimiser la rencontre de l'offre et de la demande de travail, avoir plus de temps pour soi, habiter dans une zone où le marché immobilier est plus accessible, voyager plus loin, etc.

Théoriquement, comme le concédait M. Boiteux dans le rapport du Commissariat général du Plan (CGP) de 2001², « *il y a donc autant de valeurs du temps que de manières de le passer* » et, pourrait-on ajouter, que d'individus et de motifs de déplacement. Néanmoins, afin de rendre les analyses coûts-avantages opérationnelles, certains choix simplificateurs doivent être faits. C'est la raison pour laquelle cette note se restreint à distinguer d'une part, temps à bord du véhicule et temps de marche, d'attente et de transport, et d'autre part, à différencier les valeurs du temps à bord selon le mode de transport utilisé (véhicule particulier, train, bus, avion, etc.) et le motif du déplacement (professionnel, domicile-travail, personnel...).

Les mesures des valeurs du temps peuvent être regroupées en deux catégories. La première regroupe les analyses économétriques visant à calibrer le paramètre de la valeur du temps à partir des comportements *observés* dans la réalité. Un modèle de trafic est utilisé pour estimer les valeurs du temps des individus et l'on parle de **préférences « révélées »** (« *revealed preferences* »). La seconde catégorie regroupe, les enquêtes effectuées sur les préférences des individus face à des choix hypothétiques. On parle de **préférences « déclarées »** (« *stated preferences*³ »). À partir des choix que les individus déclarent faire dans chacune des situations, un modèle est là aussi utilisé pour estimer les valeurs du temps sur la population d'étude.

Chacune de ces deux catégories de méthodes dispose de ses propres avantages et inconvénients.

Les calibrages des modèles de trafic permettent, à tout le moins, d'obtenir des valeurs du temps (voire les caractéristiques d'une fonction de distribution probabiliste de la valeur du temps) qui correspondent, par définition du calage du modèle de trafic, aux

(1) En d'autres termes, des gains de temps permettent de desserrer la contrainte de temps que les individus ont pour réaliser d'autres activités que se déplacer.

(2) Commissariat général du Plan (2001), « *Transport : choix des investissements et coûts des nuisances* », présidé par M. Boiteux. Ce rapport est communément appelé « *rapport Boiteux 2* ».

(3) Une des sous-méthodes les plus utilisées est celle des « prix de transfert ».

choix réels d'itinéraires observés. Néanmoins, les valeurs du temps obtenues diffèrent selon la spécification du modèle (estimation d'un modèle prix-temps ou logit, segmentation ou non de la population, etc.). Par ailleurs, le faible nombre d'arbitrages auxquels sont soumis les voyageurs dans la réalité, ainsi que la variabilité limitée des paramètres d'intérêt, ne permettent pas toujours de restituer de manière robuste ce que serait le comportement des agents en cas de nouvelle alternative. En effet, pour plusieurs origines-destinations (OD), il n'existe parfois qu'un seul moyen de transport et les variations de prix ou de niveaux de confort sont, somme toute, restreintes. Par exemple, une telle limitation est particulièrement importante dans des cas où un nouveau mode de transport est introduit sur le marché ou lorsqu'une infrastructure de transport modifie substantiellement les temps de parcours sur une liaison donnée.

A contrario, les études réalisées sur la base de situations hypothétiques (étude des préférences déclarées), permettent de proposer à l'enquêté le choix entre plusieurs alternatives fictives pour lesquelles temps de transport, confort, prix du trajet, voire d'autres caractéristiques, varient. Le nombre d'alternatives possibles étant généralement infini, tout comme la variabilité des paramètres d'intérêt, les valeurs du temps obtenues sont supposées plus robustes. Cependant, il existe le risque que les enquêtés déclarent des préférences qui ne correspondent pas à leurs préférences réelles. On parle alors de biais de « non-engagement ». Par ailleurs, d'autres biais (biais d'affirmation positive, de réponse non-contrainte, de rationalisation, ou stratégique) peuvent aussi s'y ajouter¹. En conséquence, et comme le rappelle Crozet (2005²), dans les enquêtes sur les préférences révélées, il est rare d'observer que les enquêtés soient capables de donner un équivalent monétaire certain à une durée passée à pratiquer une activité donnée pour un motif donné. La valeur du temps est donc révélée à travers les comportements des agents qui, contrairement à ce que la théorie pourrait laisser supposer, peuvent parfois n'être pas complètement rationnels³. À titre d'exemple, Segonne (2001⁴) a observé que les utilisateurs du tunnel Prado-Carénage à Marseille avaient tendance à surestimer le temps gagné par l'usage du tunnel, ce qui signifie que les valeurs du temps révélées sont plus élevées que les valeurs déclarées par les usagers. Enfin, comme dans le cas des enquêtes de préférences révélées, l'estimation des valeurs du temps passe par une modélisation dont la spécification influe sur les résultats obtenus.

Il existe donc de nombreux débats sur le choix de la méthode d'estimation à utiliser en priorité afin d'obtenir la meilleure mesure de la valeur du temps (voir notamment Brownstone et Small (2002⁵) et Wardman (2004⁶)). Au final, la question n'est pas tranchée et le choix de la méthode dépend, comme nous l'avons mentionné, de l'usage qu'il est prévu de faire des valeurs.

(1) La littérature à ce sujet est riche. Voir notamment Ben-Akiva et Lerman (1989), « *Discrete choice analysis: theory and application to travel demand* », MIT Press, et de Dios Ortuzar et Garrido (1994), « *A practical assessment of stated preferences methods* », *Transportation*, Vol. 32, n°3.

(2) Crozet (2005), « *Time and passenger transport* », Round Table 125 ECMT.

(3) La théorie des « *prospects* » permet de distinguer entre la réaction au temps lui-même et le pessimisme ou l'optimisme dans la perception (transformation) des probabilités objectives. Ce « biais d'optimisme » est, dans le cadre de cette théorie, considéré comme de la rationalité.

(4) Segonne (2001), « *Choix d'itinéraires et péage urbain: le cas du tunnel Prado-Carénage à Marseille* », Recherche, Transport, Sécurité n°71, Avril-Juin.

(5) Brownstone, Small (2002). « *Valuing time and reliability: Assessing the evidence from road pricing demonstrations* », University of California at Irvine.

(6) Wardman (2004), « *Public transport values of travel time savings* », *Transport Policy*, 11, 363–377.

Les recommandations de la Commission sont les suivantes :

Dans le cadre des travaux réalisés par la Commission, les alternatives proposées aux usagers sont la plupart du temps déjà expérimentées par ces derniers. Par ailleurs, l'utilisation des modèles de trafic pour prévoir la demande en transport nécessite que leur construction puisse réexpliquer des comportements passés observés. Néanmoins, la Commission a aussi pour objectif de proposer des valeurs utilisables dans le cadre d'analyses coûts-avantages de projets modifiant substantiellement l'offre ou la demande de transport en France. On privilégiera donc les valeurs du temps révélées tout en ayant aussi recours à des valeurs déclarées, notamment pour les modes aujourd'hui peu développés en France.

2 Historique des valeurs du temps issues du rapport Boiteux 1 (1994), Boiteux 2 (2001), UE Handbook (2008)

En France, les valeurs du temps à utiliser dans l'analyse coûts-avantages des projets de transports ont fait l'objet de recommandations apportées successivement par les rapports du Commissariat général au Plan présidés par Marcel Boiteux en 1994 (Boiteux 1) puis 2001 (Boiteux 2).

Dès le rapport Boiteux 1 (1994), une attention particulière était portée au fait de disposer de valeurs du temps les plus cohérentes possibles avec les comportements observés. Une distinction était ainsi faite entre 1/ « valeurs révélées » et 2/ « valeurs tutélaires » (i.e. issues de « la sagesse de l'État »), et le rapport préconisait de tendre le plus possible vers l'utilisation de valeurs révélées. Suite à l'étude des résultats de trois modèles (appartenant à la SNCF, à l'INRETS, et à la Direction des Routes), il était ainsi recommandé d'utiliser le modèle SNCF et le modèle MATISSE (INRETS) lorsque des trafics ferroviaires ou aériens sont en jeu et, pour les projets routiers, d'utiliser à titre conservatoire la méthode de la Direction des Routes, en ayant recours à une valeur de 50 F₁₉₈₅ par véhicule-heure.

Le rapport Boiteux 2 (2001), dont les préconisations sont aujourd'hui en vigueur à travers l'application de l'instruction cadre de Robien de 2004 (révisée en 2005), a perpétué l'idée d'utiliser des valeurs du temps les plus cohérentes possible avec les comportements observés¹. L'actualisation des valeurs du temps a ainsi reposé sur plusieurs travaux datant des années 1990 ayant consisté à comparer les valeurs du temps issus notamment du modèle ARIANE du Sétra (1995), du modèle MATISSE de l'INRETS (1997) et du modèle de la SNCF (1998).

Néanmoins, les modèles de trafic se diversifiant, la possibilité de les contre-expertiser devenant plus ardue et la volonté de disposer d'un cadre d'évaluation socio-économique comparable entre projets s'affirmant comme étant nécessaire à leur hiérarchisation, les auteurs du rapport Boiteux 2 (2001) ont préconisé de retenir des valeurs « normalisées », distinguées selon quelques paramètres. Dans le rapport, on

(1) Les auteurs déclaraient qu'il était nécessaire que ces valeurs « s'appuient au plus près de ce que l'on sait sur le comportement des usagers à travers le calage des modèles et des enquêtes » (page 37).

constate notamment que les valeurs du temps pour les passagers varient (i) avec les modes et la distance pour l'interurbain et (ii) avec les motifs de déplacement pour l'urbain, mais pas les deux simultanément. Les valeurs du temps augmentent avec les contraintes pesant sur le motif de déplacement ainsi que selon qu'il s'agit respectivement de la valeur du mode routier, ferré ou aérien. Précisons que ces deux augmentations recouvrent des phénomènes très différents : si l'ordre par motif est la traduction empirique d'une augmentation théorique du coût d'opportunité du temps passé dans les transports, la hiérarchie des valeurs du temps par mode traduit, pour sa part, un effet de structure de la clientèle des différents modes de transport. L'annexe 1 propose un retour critique sur les propositions contenues dans le rapport Boiteux 2 (2001) concernant la valorisation du temps de parcours.

Encadré 1
Retour sur la hiérarchisation des valeurs du temps par mode
dans le rapport Boiteux 2 (2001).

Les différences de valeurs du temps entre modes de transport peuvent s'expliquer par deux phénomènes ayant des implications opposées : 1/la prise en compte du confort (au sens large) du mode, comme l'ergonomie des sièges, la possibilité de se reposer, de travailler, la sécurité, la propreté, etc. et 2/la présence d'un biais de sélection dans les enquêtes réalisées.

Dans le premier cas, la prise en compte du confort diminue la pénibilité voire, lorsque d'autres activités sont possibles durant le trajet, augmente la productivité du temps passé dans les transports. Pour un individu donné, sa valeur du temps intrinsèque sera donc diminuée avec l'augmentation du confort du mode emprunté. Aussi, le coût d'une heure passée en train 1^{ère} classe sera généralement inférieur ou comparable à celui d'une heure passée en train 2^e classe, qui lui-même sera inférieur à celui d'une heure passée dans un autocar, puis dans un véhicule particulier.

Le second phénomène correspond au fait que les données sont obtenues *via* des enquêtes effectuées mode par mode sur la valeur du temps, puis dont les résultats sont ensuite comparés tels quels alors qu'il s'agit de populations différentes (on parle de « biais de sélection »). Puisque, de fait, les voyageurs avec la plus forte valeur du temps auront tendance à choisir le mode le plus rapide, les résultats montrent très souvent que la valeur du temps moyenne du groupe empruntant l'avion est plus élevée que celle du groupe empruntant le train, puis que celle du groupe empruntant des véhicules particuliers. C'est notamment le cas de la majeure partie des études de méta-analyses internationales¹. Cette approche est particulièrement utile dans les évaluations socio-économiques de projets de transport² car elle permet d'apprécier *a priori* les valeurs du temps moyennes de gens qui emprunteront *in fine* un mode en particulier. Néanmoins, elle ne permet pas de connaître les valeurs du temps par mode pour un individu pris au hasard.

En définitive, il est possible de constater que les choix modaux dépendent de deux types de caractéristiques : (i) les caractéristiques des modes de transports eux-mêmes (ici, le confort au sens large) et (ii) les caractéristiques des individus, et notamment, de leur revenus. L'inversion de la hiérarchie des valeurs du temps entre mode de transports lors d'enquêtes mode par mode témoigne de la prépondérance de l'effet « individu » sur l'effet « mode ».

(1) Voir notamment les méta-analyses de Shires et De Jong (2009), Zamparini et Reggiani (2007), et Wardman (2001, 2004, 2010). Les résultats de certaines d'entre elles sont discutés dans la suite du document.

(2) De telles valeurs sont par exemple celles proposées dans le rapport Boiteux 2 (2001) qui vise à donner des valeurs tutélaires à la valeur du temps pour l'évaluation des coûts et bénéfices externes de projets d'infrastructures de transport.

Dans le rapport Boiteux 2 (2001), l'ensemble de valeurs du temps pour les passagers évolue d'une année à l'autre en fonction de la consommation finale des ménages (CFdM) par tête, avec une élasticité de 0,7, tandis que les valeurs du temps marchandises évoluent comme le PIB avec une élasticité de 2/3.

3 Le phénomène de congestion

Les bénéfices relatifs aux gains de temps de transport ont pour origine, soit la création de nouveaux trajets plus rapides (grâce à une nouvelle infrastructure ou un nouveau service de transport), soit des mesures ayant pour conséquence de réduire la congestion sur des trajets existants (investissements permettant la résorption des goulets d'étranglement ou politiques de régulation).

Dans la plupart des bilans coûts-avantages des projets de transport, les estimations des variations de temps de parcours engendrées par les changements de niveau de trafic sont directement issues des modèles utilisés par les bureaux d'études, qui intègrent des relations entre niveau de demande, caractéristiques de l'offre de transport (largeur des voies, pente, etc.) et temps de parcours¹. L'estimation des gains et des pertes de temps est donc obtenue en sortie du modèle.

À l'inverse, dans certains bilans coûts-avantages de projets de transport (politiques de tarification, par exemple), les administrations centrales et locales n'ont pas de modèle de trafic disponible et ont besoin d'estimer approximativement le lien entre une diminution du trafic et une diminution du temps de parcours des usagers du réseau (i.e. les bénéfices de « décongestion »). Le rapport Boiteux 2 ne fournit pas de telles relations en l'absence de modèle de trafic. De plus, il préconise de calculer les coûts de congestion comme étant égaux « *aux pertes de temps qu'un utilisateur impose aux autres lorsqu'il vient s'ajouter au trafic correspondant à une situation d'utilisation optimale du réseau* ». Comme nous le soulevons dans l'annexe n° 2, un tel propos soulève plusieurs problèmes opérationnels comme conceptuels.

À terme, pour remédier aux difficultés rencontrées en l'absence de modèle de trafic, il serait donc utile de proposer à nouveau des relations simplifiées et directement opératoires entre variation du trafic et temps passés en congestion, comme cela avait été proposé par Hautreux (1969) pour l'urbain. Les améliorations récentes apportées par le LVMT (cf. annexe n° 2) pourraient servir de base de travail pour le mode routier en urbain. Par ailleurs des recherches devraient être envisagées auprès des gestionnaires d'infrastructures et des opérateurs (RFF, SNCF, ADP, VNF notamment) concernant l'estimation du surcoût engendré sur le reste du trafic par l'ajout d'un véhicule supplémentaire dans le trafic. Dans le cas du transport ferroviaire, cette thématique a pu être abordée qualitativement et de manière conjointe par RFF et SNCF (voir annexe n° 13). Néanmoins, la Commission n'a pas pu initier de réflexion quantitative sur l'établissement de nouveaux coefficients « à la Hautreux ».

(1) Exemple : courbes débit/vitesse établies par le SETRA pour les divers types de routes et autoroutes interurbaines.

Les recommandations de la Commission sont les suivantes :

Dans la mesure du possible, il est préférable de disposer d'un modèle de trafic utilisant des courbes débit-vitesse ou une représentation des effets de l'augmentation du trafic sur les performances permettant de modéliser finement la congestion.

En l'absence de modèle, des travaux devraient être entrepris afin de proposer, pour chacun des modes de transport, des relations simplifiées entre le niveau de trafic et la perte de temps engendrée pour les autres véhicules.

4 Les valeurs « de référence » et les valeurs du temps des modèles de trafic

Le calcul de surplus associé aux gains de temps peut s'effectuer de deux manières différentes : (i) multiplier les variations de temps de parcours par des **valeurs du temps « de référence »**, celles-ci pouvant prendre des valeurs différentes selon les motifs de déplacements voire selon les caractéristiques des usagers ou (ii) multiplier les variations de temps de parcours de chaque usagers par sa **valeur du temps utilisée dans le modèle de trafic** pour reproduire les trafics observés.

La vertu de la première approche (valeurs « de référence ») est que le calcul du surplus associé aux gains de temps paraît limpide et aisément contre-expertisable. Par ailleurs, le choix est souvent fait de ne pas faire varier ces valeurs selon le revenu des usagers, ceci en invoquant des objectifs de redistribution ou d'équité : en effet, l'utilisation de valeurs du temps augmentant avec le revenu – phénomène largement établi par la recherche académique (cf. *annexe n° 4*) – conduirait à privilégier plus fréquemment des projets situés en zone aisée plutôt qu'en zone défavorisée.

Néanmoins, plusieurs de ces arguments peuvent être contestés :

- tout d'abord, s'il est vrai que le calcul du surplus associé aux gains de temps apparaît comme étant plus simple lorsqu'il est fait au moyen de valeurs « de référence », il n'en demeure pas moins que les prévisions de trafic auxquelles s'appliquent ces valeurs sont, dans les deux cas, issues du modèle de trafic. La possibilité de contre-expertise des surplus associés aux gains de temps n'est donc que partielle ;
- deuxièmement, l'utilisation de valeurs « de référence » peut parfois conduire à des résultats erronés quant à la variation de surplus des usagers. Cela s'explique par le fait que l'utilisation de valeurs trop « moyennées » diminue l'information disponible quant à la diversité des valeurs du temps et omet notamment les queues de distribution (i.e. l'existence d'usagers ayant une très faible ou une très forte valeur du temps). À titre d'exemple, si un mode de transport gratuit permettait d'aller de Marseille à Paris en 15 heures (au lieu de 3 heures actuellement en TGV), certains usagers à très faibles valeurs du temps seraient disposés à l'emprunter, ce que les modèles de trafic utilisant des distributions de valeurs du temps pourront prévoir. Pourtant, l'utilisation de valeurs du temps « de

référence » aboutira à la conclusion que ces usagers font l'expérience d'une augmentation du temps de trajet que la baisse du prix du transport ne permet pas de compenser. On conclurait donc que leur surplus diminue, ce qui serait contradictoire avec les comportements observés ;

- troisièmement, les valeurs du temps¹ issues du calage des modèles de trafic peuvent intégrer d'autres paramètres (confort, fréquence des services, etc.) qui permettent de reproduire les comportements observés et qui ne sont, jusqu'à présent, que peu voire pas quantifiés à travers l'application de valeurs tutélaires ;
- enfin, s'il est nécessaire d'examiner les impacts d'un projet en termes de redistribution, l'utilisation de valeurs du temps indépendantes du revenu n'est pas une solution satisfaisante. En premier lieu, il n'existe pas de raison pour traiter les questions de redistribution en ne modifiant que les valeurs du temps. Les questions de répartition de l'effort de financement de l'infrastructure ainsi que de distribution des externalités négatives et positives se posent aussi. Par ailleurs, l'utilisation de valeurs du temps uniques agit comme une « boîte noire » incapable de fournir des informations sur les choix de pondération des différentes classes de revenus qui ont été effectués.

Les recommandations générales pour le calcul du surplus associé aux gains de temps pourraient donc être les suivantes :

- **les trafics ainsi que les gains (ou pertes) de temps sont obtenus grâce à un modèle de trafic dont la qualité doit être certifiée (cf. recommandations du sous-groupe « modèles de trafics ») ;**
- **à partir de ces variations de temps de transport, la méthode préconisée pour le calcul des surplus associés est la suivante :**
 - **soit le modèle de trafic est capable de calculer des surplus, auquel cas il est utile de conduire les deux calculs (*via* le modèle et *via* l'utilisation de valeurs de référence). L'idée est ainsi de confronter les deux approches, les valeurs du temps de référence permettant une contre-expertise des résultats issus du modèle. Après contre-expertise, la spécificité du modèle de trafic ou l'inadéquation des valeurs de référence devraient être explicitées, ce qui rendra le calcul du surplus plus transparent.**
 - **soit le modèle de trafic ne peut pas calculer de surplus, et on utilise donc les valeurs de référence, ce qui correspond à la pratique actuelle.**

5 Actualisation des valeurs du temps de référence pour les passagers et les marchandises

5.1 Actualisation des valeurs du temps de référence

Dans le cas de l'estimation des valeurs du temps pour les passagers, les méthodes font aujourd'hui relativement consensus et, même si les segmentations des valeurs (par milieu géographique, par mode ou par motif) ne sont pas toujours identiques, il

(1) Ainsi que les constantes modales.

est possible d'identifier de grandes tendances. L'annexe n° 3 détaille la méthodologie qui a été suivie pour mettre à jour ces valeurs. Celles que nous recommandons de retenir sont présentées dans le tableau 1 pour l'urbain et dans le tableau 2 pour l'interurbain. On notera que, pour ces deux types de milieux, les valeurs du temps sont presque systématiquement croissantes avec la distance. Les valeurs du temps étant des coûts d'opportunité, cette croissance s'interprète comme le fait que, lorsque le temps de trajet du déplacement augmente, le temps disponible à destination se fait de plus en plus rare (pour travailler ou profiter de ces vacances) et la privation d'une minute de ce temps génère de plus en plus de désutilité.

Tableau 1 - Valeurs du temps en urbain, tous modes (en €₂₀₁₀/h en 2010)

Motif du déplacement	France entière	Île-de-France
Professionnel	17,5	22,3
Domicile-travail/études/garderie	10,0	12,6
Autres (achat, soin, visites, loisir, tourisme, etc.)	6,8	8,7
Sans détail du motif	7,9	10,7

Source : DG Trésor

NB : selon l'ENTD 2007-2008, sur la France entière, en 2006, les déplacements « locaux » (i.e. inférieurs à 80 km) étaient constitués de 2,2 % de déplacements professionnels, 27,1 % de déplacements domicile-travail/études/garderie et 70,7 % d'autres déplacements, d'où une valeur moyenne de 7,9 €₂₀₁₀/h pour la France entière sans détail du motif. Pour l'Île-de-France, l'ENTD donne la répartition suivante : 4,6 % de déplacements professionnels, 35,8 % de déplacements domicile-travail/études/garderie et 59,6 % d'autres déplacements (revue du CGDD la mobilité des français, déc. 2010, p.183), d'où une valeur tous motifs de 10,7 €₂₀₁₀/h.

Tableau 2 - Valeurs du temps en interurbain (en €₂₀₁₀/h en 2010)

Mode	Motif du déplacement	Pour les distances inférieures ou égales à 20km	Pour les distances comprises entre 20 et 80 km			Valeurs à 80 km	Pour les distances comprises entre 80 km et 400 km -			Pour les distances supérieures ou égales à 400 km			Pour une distance non spécifiée (valeur pour la distance moyenne)	Distance moyenne du mode (km)	
				x d +					x	d +					
Route – véhicule particulier	Tous motifs	7,9	0,090	x d +	6,1	13,3	0,006	x	d +	12,8	15,2		14,4	266,7	
	Professionnel	17,5	0,202	x d +	13,5	29,6	0,016	x	d +	28,4	34,8		32,7		
	Personnel-vacances	6,8	0,031	x d +	6,2	8,7	0,012	x	d +	7,7	12,4		10,9		
	Personnel-autres	6,8	0,067	x d +	5,5	10,8	0,019	x	d +	9,3	17,0		14,4		
Route – autocar	Tous motifs	7,9	0,166	x d +	4,6	17,9	-0,019	x	d +	19,3	11,9		13,9	293,8	
	Professionnel	17,5	0,153	x d +	14,5	26,7	0,004	x	d +	26,3	28,0		27,6		
	Personnel-vacances	6,8	0,031	x d +	6,2	8,7	0,003	x	d +	8,4	9,8		9,4		
	Personnel-autres	6,8	0,067	x d +	5,5	10,8	0,006	x	d +	10,4	12,8		12,1		
Fer	Tous motifs	7,9	0,246	x d +	3,0	22,7	0,011	x	d +	21,8	26,2		25,4	331	
	Professionnel	17,5	0,429	x d +	9,0	43,3	0,000	x	d +	43,3	43,3		43,3		
	Personnel-vacances	6,8	0,250	x d +	1,8	21,8	0,000	x	d +	21,8	21,8		21,8		
	Personnel-autres	6,8	0,265	x d +	1,5	22,7	0,000	x	d +	22,7	22,7		22,7		
Aérien	Tous motifs										0,001	x d +	53,2	54,2	1208,9
	Professionnel										0,000	x d +	72,9	72,9	
	Personnel-vacances										0,000	x d +	52,2	52,2	
	Personnel-autres										0,000	x d +	53,4	53,4	
Tous modes	Tous motifs	7,9	0,155	x d +	4,8	17,2	0,021	x	d +	15,5	0,006	x d +	21,6	19,1	
	Professionnel	17,5	0,218	x d +	13,2	30,6	0,029	x	d +	28,3	0,020	x d +	32,0	36,2	
	Personnel-vacances	6,8	0,055	x d +	5,7	10,1	0,022	x	d +	8,4	0,005	x d +	15,1	11,2	
	Personnel-autres	6,8	0,215	x d +	2,5	19,7	0,003	x	d +	19,5	0,008	x d +	17,3	23,0	

Source : DG Trésor.

NB : En raison de l'absence de service très développé (et, en conséquence, de modèle de trafic intégrant ce mode de transport), les valeurs du mode « autocar » sont à manier avec précaution et sont proposées à titre prospectif. La décroissance de la valeur du temps de ce mode « tous motifs » s'explique par la chute brutale dès 150-200 km du trafic « professionnel » au profit du trafic « vacances » et « autres personnels ».

Une attention particulière a été portée aux temps d'attente, de marche en pré/post acheminement et au temps de correspondance. L'annexe n° 6 fournit une revue des résultats disponibles dans la littérature. Sur la base de ces études, nous recommandons de pondérer chaque minute de ces types de temps par un facteur de pénibilité (ou d'improductivité) supérieur à un. Ces pondérations sont présentées dans le tableau 3.

On remarque qu'il n'est pas fait de différence entre temps d'attente prévu et imprévu, distinction qui pourrait être faite entre l'attente d'un bus en milieu urbain et l'attente obligatoire pour formalités d'embarquement pour le transport aérien.

Tableau 3 - Temps d'attente, de marche en pré/post acheminement et de correspondance

Type de temps hors véhicule	Minutes équivalentes
Temps d'attente	1,5
Temps de marche en pré/post acheminement	2
Temps de correspondance	2

Source : DG Trésor d'après revue de la littérature.

Note de lecture : une minute de temps d'attente est ressentie, en temps équivalent, comme 1,5 minute de temps de transport

Dans le cas des valeurs du temps marchandises, la perspective est la même que pour le transport de voyageurs, excepté que les entreprises cherchent à maximiser leur profit et non une fonction d'utilité. Néanmoins la complexité des chaînes logistiques et la multiplicité des agents qui y opèrent rendent la tâche plus difficile et les estimations de valeurs du temps plus dispersées. L'annexe n° 5 détaille les enjeux identifiés quant à l'estimation de valeurs du temps pour le transport de marchandises. Les valeurs de référence qu'il est proposé de retenir sont présentées dans le tableau 4. Par ailleurs, outre les gains de temps, les choix de modes, d'opérateurs et d'itinéraire reposent aussi sur la fiabilité, la minimisation du risque de dommages et de pertes des marchandises, la ponctualité du service, sa fréquence, son adaptabilité et la qualité de son information. Comme dans le rapport Boiteux 2 (2001), il est nécessaire de faire le constat que chacune de ces valeurs devrait être intégrée, sans double compte, dans le calcul économique mais qu'actuellement une telle connaissance fait défaut. Des études devraient être menées sur ces points.

Tableau 4 - Valeurs du temps marchandises (en €₂₀₁₀/h en 2010)

Type de marchandises	Valeur du temps de déplacement
Marchandises à forte valeur ajoutée <i>Valeur indicative : > 35 000 €/t</i> <i>Exemples : transport combiné, conteneurs maritimes, messagerie, transports frigorifiques, route roulante, trafic roulier...</i>	0,60 €/t
Marchandises courantes <i>Valeur indicative : entre 6 000 et 35 000 €/t</i> <i>Exemples : autres trafics ferroviaires, maritimes et fluviaux</i>	0,20 €/t
Marchandises à faible valeur ajoutée <i>Valeur indicative : < 6 000 €/t</i> <i>Exemples : vrac, granulats...</i>	0,01 €/t

Source : DG Trésor.

**Les recommandations de la Commission sur les valeurs du temps
« de référence » pourraient donc être les suivantes :**

- dans la continuité du rapport Boiteux 2, il est proposé de distinguer les trajets urbains et interurbains. Pour les trajets urbains, il est proposé de distinguer l'Ile-de-France et la province ;
- les valeurs du temps de références en urbain sont présentées dans le tableau 1 ;
- les valeurs du temps de référence en interurbain sont présentées dans le tableau 2 ;
- en complément, des multiplicateurs de valeurs du temps de références sont aussi proposés pour les temps d'attente, les temps de marche (en pré-post acheminement) et les temps de correspondance (cf. tableau 3) ;
- enfin, les valeurs du temps marchandises sont présentées dans le tableau 4.

6 Confort et fiabilité du temps de parcours

Les modèles de trafic, comme le calcul économique, ont tendance à différencier de plus en plus finement la quantification et la valorisation des temps passés dans les transports en y intégrant de nouveaux paramètres (temps d'attente, temps debout, etc.).

Sous l'angle du calcul économique, Litman (2007¹) affirme néanmoins que les évaluations traditionnelles de projets de transport ont tendance à sous-évaluer les facteurs de coût du temps de trajet qui sont qualitatifs, au contraire des constructeurs automobiles privés qui, eux, ont saisi l'importance du confort dans le choix du véhicule de transport. En conséquence, ces sous-évaluations amèneraient les décideurs à s'orienter plus généralement vers des investissements visant à réduire le temps de trajet à tout prix au détriment d'autres améliorations.

Les parties suivantes ont donc pour objectif de proposer une méthodologie pour prendre en compte, dans le calcul coûts-avantages, le confort et la fiabilité du temps de parcours.

6.1 Le confort en pré/post acheminement et durant le trajet : une notion multidimensionnelle qu'il conviendrait de clarifier afin de la monétariser intégralement

Les auteurs du rapport Boiteux 2 (2001) avaient déjà noté que le confort s'avèrerait déterminant dans les choix modaux effectués par les voyageurs, sans pour autant parvenir à proposer de recommandations fermes (cf. *annexe n° 1*). Sa prise en compte diminue la pénibilité voire, lorsque d'autres activités sont possibles durant le trajet, augmente la productivité du temps passé dans les transports (possibilité de lire, de

(1) Litman (2007), "*Build for Comfort, not just speed: valuing service quality impacts in transport planning*", Victoria Transport Policy Institute.

travailler depuis son téléphone mobile ou son ordinateur portable, de se reposer, etc.). Pour un individu donné, la valeur du temps de transport sera donc diminuée avec l'augmentation du confort du mode emprunté et il devient par exemple possible de pondérer les caractéristiques du voyage en « équivalent temps de parcours¹ ». La difficulté de l'estimation de l'influence du confort réside majoritairement dans son caractère multidimensionnel, expliquant notamment que des niveaux de confort peuvent être différents pour un même mode (par exemple entre une ligne de métro très fréquentée et une ligne où le trafic est faible, ou entre les autocars de luxe et les autocars *low cost*). Des réflexions identiques existent dans la littérature académique concernant la valorisation du temps d'attente et du temps de marche à pied, lorsque ceux-ci sont passés dans des conditions variables.

Aujourd'hui, les enjeux en termes de confort sont les plus marqués dans les transports en commun. Par ailleurs, parmi les multiples dimensions relatives au confort (bruit, température, taux de remplissage du véhicule, propreté, etc.), l'aspect le plus documenté dans la littérature académique reste le confort comme faible taux de charge des véhicules. Nous nous restreignons donc à des recommandations sur la prise en compte du confort comme valorisation du nombre de personnes debout par mètre carré dans les transports en commun, en attendant que de plus amples recherches aient été effectuées sur les autres dimensions.

Les résultats des études menées jusqu'ici aboutissent à deux constats portant, d'une part, sur la modélisation à adopter et, d'autre part, sur la qualité des estimations de la valeur du confort :

- concernant la modélisation de la valeur du confort, certains travaux considèrent que le confort doit être modélisé comme un *premium* fixe tandis que d'autres lui préfèrent une modélisation dépendant du temps de trajet passé dans le mode. Enfin, une approche intermédiaire est envisageable. Il n'y a pas de consensus ;
- concernant la qualité des estimations, on constate des différences marquées entre les estimations de la valeur accordée au confort selon que ces estimations sont issues d'enquêtes de préférences déclarées ou révélées. Dans le cas des valeurs déclarées, les estimations aboutissent à des résultats relativement élevés, ce qui peut s'expliquer par d'éventuels biais stratégiques. À l'inverse, dans le cas des valeurs révélées, les estimations sont nettement plus faibles, ce qui peut s'expliquer par l'imperfection de l'information dont disposent les usagers concernant les taux de remplissage des véhicules sur les itinéraires/horaires alternatifs.

Au regard des travaux présents dans la littérature et des études récentes réalisées spécifiquement sur le cas français (*cf. annexe n° 7*), la prise en compte du confort pourrait être effectuée de la manière détaillée dans le tableau 5.

(1) Si un individu est indifférent entre voyager une minute debout et prolonger à 10 minutes son temps de parcours si on lui donne l'assurance de voyager assis, alors en « équivalent temps de parcours » une minute debout (dans l'inconfort) vaut dix minutes assises.

Tableau 5 - Pondération du temps réel selon le taux de charge du véhicule de transport collectif

Situation de l'utilisateur dans le mode, tous modes confondus (tram, métro, bus, trains de banlieue).	Évolution du multiplicateur K(p) du temps réel selon le nombre de passagers debout « p » par m ² dans le véhicule.	
	pour des situations où des places assises en dur sont disponibles.	Pour p > 0
Assis	K(p) = 1,00	Ka(p) = 1,00 + 0,08*p
Debout		Kd(p) = 1,25 + 0,09*p

Source : DG Trésor d'après STIF et Significance (2012). Note de lecture : un usager debout faisant l'expérience d'un trajet durant lequel une moyenne de 3 personnes/m² sont aussi debout devrait voir sa valeur du temps (spécifique au motif de déplacement) multipliée par $1,25 + 3 \cdot 0,09 = 1,52$.

Les recommandations de la Commission pour la prise en compte du confort pourraient être les suivantes :

- si le projet envisagé n'impacte pas le niveau de confort moyen de chacun des modes de transport sur l'O-D étudiée, alors les variations d'utilité mesurées à partir des variations de temps de parcours et de prix suffisent ;
- en revanche, si le projet a des conséquences sur le niveau moyen de confort sur l'O-D, on pourra inclure des bonus/malus d'inconfort. Pour cela :
 - le maître d'ouvrage doit tout d'abord être en mesure de présenter de manière robuste quel sera l'impact du projet sur le niveau de confort du mode étudié (ex : passage de 4 personnes debout par m² à 2 personnes debout par m² dans le métro) ;
 - sur la base du trafic prévu par le modèle, le surplus relatif au temps pourra être bonussé/malussé pour prendre en compte le confort, à l'aide des valeurs de référence du tableau 5 : les temps de parcours dans le modèle sont ainsi modulés afin de calculer des « temps ressentis » et ainsi obtenir 1/ des équivalents « gains de temps » pour les passagers déjà sur le mode de transport et 2/ les trafics induits et reportés grâce à l'augmentation du confort. On note que cette méthode ne tient pas compte de deux phénomènes : d'une part le nouveau trafic (induit et reporté) pourra conduire à dégrader à nouveau le confort ressenti par les usagers, de sorte que le modèle parfait devrait « boucler ». D'autre part, le nouveau trafic induit et reporté pourra conduire à un effet « *Mohring* » permettant à l'exploitant du mode de transport de dégager davantage de revenus d'exploitation et donc d'améliorer la qualité de service, qu'il s'agisse de confort ou de fiabilité ;
- le calcul socio-économique devrait donc pouvoir produire une valeur actualisée nette avec et sans prise en compte du confort ;
- à terme, une modélisation *ad hoc* du confort devrait intervenir dans les modèles de trafic afin que les variations de surplus puissent être directement issues du modèle, tout comme les gains de temps.

6.2 La fiabilité du temps de transports : comment la mesurer et la valoriser ?

La littérature académique montre que les coûts généralisés des déplacements ont tendance à augmenter avec le manque de fiabilité accompagnant l'heure d'arrivée des déplacements. Intuitivement, ces augmentations sont d'autant plus importantes que le motif du trajet requiert de respecter des horaires précis (trajets professionnels, trajets domicile-travail, livraison de marchandises périssables, etc.). De plus, à niveau de fiabilité donnée, les coûts associés à ce phénomène peuvent d'autant plus augmenter que la fréquence des services est faible. Ces aspects demeurent jusqu'à présent absents des évaluations socio-économiques puisque le rapport Boiteux 2 (2001) n'en proposait pas de valorisation quantitative.

Afin de compléter la méthodologie des analyses coûts-avantages, il est donc nécessaire de définir la notion de fiabilité, savoir comment la mesurer et savoir comment les usagers la valorisent quantitativement. Dans la suite du document, on utilisera de manière indifférente les notions de « régularité » ou de « fiabilité » pour faire référence à la notion de fiabilité du temps de transports.

On se concentre ici sur la fiabilité temporelle, i.e. la capacité des systèmes de transports à permettre à ses usagers d'arriver à l'heure prévue à destination. Au regard des travaux académiques, on remarque que la valorisation de la fiabilité du temps de transport correspond à la désutilité provenant du caractère *aléatoire* (et donc imprévisible) du temps d'arrivée, qu'il s'agisse d'arriver en avance ou en retard¹.

Aussi, en théorie, une telle variation du temps d'arrivée exclut donc les facteurs anticipés (mauvais temps, traversée d'un bassin d'emplois congestionné, retards réputés « presque certains »...) et comprend uniquement les variations du temps de transports dues à des facteurs inattendus (collision de véhicule, changement brusque des conditions météorologiques, etc.).

Au regard de la littérature académique (*cf. annexe n° 8*), deux méthodes semblent pouvoir être adoptées pour mesurer la fiabilité du temps de transports : l'approche moyenne-variance et l'approche des écarts-horaires, qui est une forme généralisée de la première approche. Ces méthodes présentent néanmoins des inconvénients :

- l'approche la plus générale, celle des écarts-horaires, ne peut pas être mise en œuvre lorsque l'on ne dispose pas de modèle de trafic capable de simuler les choix d'horaires de départ des usagers, en fonction de l'hypothèse qui est faite sur leurs heures préférées d'arrivée ;
- l'approche de moyenne-variance, plus simple d'application, n'est pertinente que lorsque la distribution des temps de trajets est symétrique. Or, comme le suggère l'étude de la SNCF (2012) sur la fiabilité des Transiliens (*cf. annexe n° 11*), la distribution des temps d'arrivée s'approche davantage d'une loi log-normale, asymétrique. Par ailleurs, l'approche en moyenne-variance tend à sous-estimer l'importance des très longues perturbations, imprévues et peu fréquentes.

(1) En effet, s'il est relativement intuitif que les individus sont plus averses au risque d'arriver en retard qu'à celui d'arriver en avance, arriver en avance peut aussi produire une désutilité, soit car le gain de temps réalisé n'est pas aisément convertible en temps productif, soit car l'individu aurait pu poursuivre son activité au départ tout en arrivant à l'heure à destination (voir Small, 1982).

En conséquence, dans la lignée des travaux du STIF (2006) (*cf. annexe n° 9*) et de RFF (2012) (*cf. annexe n° 10*), les mesures qu'il nous semble préférable de préconiser sont construites sur une description approximative mais plus appropriée des déformations apportées par un projet à la distribution des temps de trajets.

Deux approches sont développées selon que l'on considère des déplacements en véhicule particulier ou en transports collectifs.

Dans le cas du transport en véhicule particulier, l'utilisateur est capable de choisir l'horaire de départ qu'il souhaite. L'incertitude réside donc sur le temps de trajet total. Les travaux de Markovich aux États-Unis nous conduisent à proposer une prise en compte de l'irrégularité du temps de transports qui reposent sur une mesure simple de la largeur de la queue de distribution des temps de trajet (cf. tableau 6). Dans cette approche, on considère donc que les automobilistes n'anticipent les retards que par une connaissance de la médiane des temps de trajet sur l'origine-destination-horaire et que les arrivées en avance ne sont pas dommageables.

Tableau 6 - Valorisation de la régularité du temps de parcours pour le trafic de véhicules particuliers sur une origine-destination-horaire donnée

Valeur du temps = vdt	
Indicateur de régularité du temps de parcours	Écart entre le 90 ^{ème} percentile et la médiane des temps de parcours, normalisé par la valeur médiane du temps de parcours.
Pondération de l'indicateur pour les motifs contraints (professionnels et domicile-travail/études)	2,5 * vdt
Pondération de l'indicateur pour les motifs non-contraints	1 * vdt

Source : DG Trésor d'après Markovich (2009).

Note de lecture : Supposons que sur une origine-destination-horaire (ex : Bordeaux-Toulouse, départ à 17 h), la médiane des temps de parcours soit de 2 h et que le 90^e percentile des temps de parcours soit de 3 h. Alors, pour un projet qui aura pour conséquence d'abaisser le 90^e percentile des temps de trajet à 2 h 30 sans modifier la durée médiane du parcours, il conviendra de compter comme bénéfique une réduction de « temps de trajet équivalent » de $2,5 \cdot (3 - 2,5) / 2 = 0,625$ heures (soit 37,5 minutes) pour les motifs contraints et $(3 - 2,5) / 2 = 0,25$ heures (soit 15 minutes) pour les motifs non-contraints. Chacun de ces « gains de temps équivalents » devra être monétarisé grâce à la valeur du temps du motif concerné.

Dans le cas des transports collectifs, les services proposés à l'utilisateur sont de deux types : les services basés sur le respect d'un horaire de départ et d'un horaire d'arrivée (comme l'avion ou le train en milieu interurbain) et les services basés sur le respect d'une fréquence de départ (comme le bus en milieu urbain). Dans ces deux cas, la valorisation de l'irrégularité que nous proposons pour l'analyse coûts-avantages pourrait être la suivante :

- si une prise en compte différenciée de la régularité est parfois proposée entre ces deux types de services, il semble suffisamment général de considérer que les services basés sur la fréquence sont aussi des services basés sur des horaires.

même si les usagers ne les consultent pas systématiquement¹. Nous proposons donc, pour les transports collectif de retenir une mesure reposant sur les écarts à l'horaire prévu d'arrivée ;

- par ailleurs, il est souvent fait l'hypothèse que les opérateurs de transports publics essaient d'éviter les arrivées en avance dans chacune des stations², de telle sorte que seules les arrivées en retard sont étudiées ;
- enfin, dans la pratique, il est difficile de savoir si les usagers d'un mode de transport anticipent ou non certains retards : le groupe des usagers étant composé d'habitueés (que l'on peut supposer être au fait des perturbations récurrentes) et d'usagers occasionnels, la réalité est certainement entre les deux. De plus, il s'avère aussi compliqué de savoir quelle est la durée exacte des retards que les usagers habitués anticipent. En l'absence d'éléments précis sur ces sujets, une solution opérationnelle – mais qui devra être approfondie – est de considérer que dans le cas des transports collectifs urbains (respectivement interurbains), les retards inférieurs à 5 minutes (respectivement 10 minutes) sont anticipés par les usagers et ne doivent donc pas être pris en compte.

Tableau 7 - Relation entre probabilité de retard sur une origine-destination-horaire et valorisation en minutes équivalentes dans le cas des transports collectifs urbains et péri-urbains (tramway, métros, bus, trains de banlieue)

Probabilité du retard (ex : sur l'ODH, x % de trains sont en retard)	Retards inférieurs ou égaux à 5 minutes	Retards compris entre 5 et 15 minutes		Retards strictement supérieurs à 15 minutes	
	Tous motifs	trajets domicile- travail/études	autres trajets	trajets domicile- travail/études	autres trajets
Minutes équivalentes pour chaque point de pourcentage entre 0 et 5 %	Les retards de moins de 5 minutes sont valorisés comme du temps de trajet	0,92	1,24	1,34	1,78
Minutes équivalentes pour chaque point de pourcentage entre 5 et 15 %		0,92	1,22	1,32	1,78
Minutes équivalentes pour chaque point de pourcentage entre 15 et 30 %		0,84	1,12	1,08	1,44
Minutes équivalentes pour chaque point de pourcentage entre 30 et 100 %		0,52	0,38	1,08	1,44

(1) L'étude du STIF (2006) montre qu'une approche « horaires » est utilisable sur l'intégralité des lignes de métro, que l'offre soit celle des heures de pointe (assimilable à un service basé sur la fréquence) ou celle des heures creuses (parfois assimilable à un service basé sur l'horaire). Les auteurs de l'étude estiment que la fréquence charnière au-delà de laquelle plus de 50 % des voyageurs arrivent à la gare sans référence à l'horaire des trains se situe vers 7 ou 8 trains par heure, soit un train toutes les 8 minutes.

(2) En effet, ne pas arriver trop en avance dans les stations situées au milieu d'un parcours donné est une des méthodes les plus efficaces afin d'éviter, d'une part, que certains usagers fassent l'expérience d'un temps improductif à leur arrivée dans ces stations et, d'autre part, que les usagers qui provenaient d'un autre véhicule et qui prévoyaient de prendre le mode de transport en question à l'horaire initialement prévu ne ratent leur correspondance.

	Retards inférieurs ou égaux à 5 minutes	Retard supérieurs à 5 minutes, tous motifs confondus
Minutes équivalentes pour chaque point de pourcentage entre 0 et 15 %	Les retards de moins de 5 minutes sont valorisés comme du temps de trajet	1,24
Minutes équivalentes pour chaque point de pourcentage entre 15 et 30 %		1,10
Minutes équivalentes pour chaque point de pourcentage entre 30 et 100 %		0,60

Source : DG Trésor d'après STIF (2006)

Note de lecture : si un projet permet que, sur une ODH, les petits retards ne concernent que 29 mètres sur 100 au lieu de 30 mètres sur 100 (soit un gain d'un point de pourcentage entre 15 et 30 %), il convient de compter comme bénéfice 0,84 minute sur les trajets domicile-travail et 1,12 minute sur les autres trajets. Si aucune précision n'est connue concernant l'impact d'un projet sur la distinction entre petits et grands retards, on appliquera les estimations simplifiées. Elles sont obtenues en supposant que les retards sont composés à 4/5 de petits retards et à 1/5 de grands retards et sur la base du fait que selon l'ENTD 2007-2008, sur la France entière, en 2006, les déplacements locaux étaient constitués de 27,1 % de déplacements domicile-travail/études/garderie et 72,9 % d'autres déplacements.

Tableau 8 - Relation entre probabilité de retard sur une origine-destination-horaire et valorisation en minutes équivalentes dans le cas des transports collectifs interurbains (aérien, ferroviaire, autocar)

Probabilité du retard (ex : sur l'ODH, y % de trains sont en retard)	Tous motifs	
	Retards inférieurs ou égaux à 10 minutes	Retards strictement supérieurs à 10 minutes
Minutes équivalentes pour chaque point de pourcentage	Les retards de moins de 10 minutes sont valorisés comme du temps de trajet	+ 2,5

Source : DG Trésor, d'après RFF (2012)

Note de lecture : un projet ayant pour conséquence de faire de passer un service de 6 % de TGV en retard de plus de 10 minutes à 5 % de TGV en retard de plus de 10 minutes dégage, pour l'ensemble des usagers de l'ODH, un gain équivalent à 2,5 minutes de temps de transport.

Les recommandations de la Commission pour la prise en compte de la fiabilité/irrégularité du temps de transport pourraient être les suivantes :

- si le projet envisagé n'impacte pas le niveau moyen de fiabilité temporelle de chacun des modes de transport sur l'O-D étudiée, alors les variations d'utilité mesurées à partir des variations de temps de parcours et de prix suffisent ;
- en revanche, si le projet impacte le niveau moyen d'irrégularité sur l'O-D, on pourra inclure des bonus/malus d'irrégularité. Pour cela :
 - le maître d'ouvrage doit tout d'abord être en mesure de présenter de manière robuste quel sera l'impact du projet sur le niveau d'irrégularité du mode étudié (ex : passage de 10 % de trains en retard de plus de 5 minutes à 5 %) ;
 - sur la base du trafic prévu par le modèle, le surplus relatif au temps de transport moyen pourra être bonussé/malussé pour prendre en compte la variation de l'irrégularité, en suivant les valeurs de référence des tableaux 6, 7 et 8 : les temps de parcours dans le modèle sont ainsi modulés afin d'obtenir des « temps ressentis » et ainsi obtenir 1/ des équivalents « gains de temps » pour les passagers déjà sur le mode de transport et 2/ les trafics induits et reportés grâce à l'augmentation de la régularité. On note que cette méthode ne tient pas compte de deux phénomènes : d'une part, le nouveau trafic induit et reporté pourra conduire à dégrader le confort ressenti par les usagers, de sorte que le modèle parfait devrait « boucler ». D'autre part, le nouveau trafic induit et reporté pourra conduire à un effet « Mohring » permettant à l'exploitant du mode de transport de dégager davantage de revenu d'exploitation et donc d'améliorer la qualité de service, qu'il s'agisse de confort ou de fiabilité ;
- le calcul socio-économique pourra donc produire une valeur actualisée nette avec et sans prise en compte de la régularité ;
- à terme, une modélisation *ad hoc* de la fiabilité devrait intervenir dans les modèles de trafic afin que les variations de surplus puissent être directement issues du modèle, tout comme pour les gains de temps ;
- enfin, des recherches devraient être engagées sur la notion de résilience des réseaux. En particulier, il convient de clarifier les interactions entre valorisation de la fiabilité et densité des réseaux de transport. Intuitivement, la fiabilité est d'autant moins importante que les réseaux sont denses et offrent de multiples itinéraires pour un même déplacement. Néanmoins, si un réseau dense est utilisé à un niveau proche de la saturation de sa capacité, les reports massifs sur des itinéraires alternatifs peuvent conduire à son blocage.

6.3 Le phénomène de déshorage, un ajustement (coûteux) du choix d'horaire de départ visant à éviter l'excès d'inconfort, le risque de retard ou la désutilité d'arriver trop en avance à destination

Le concept de déshorage réside dans un ajustement (coûteux) des choix d'horaires des individus dont l'objectif est d'éviter de l'inconfort (par exemple en période de pointe dans les transports en commun), d'éviter un retard, voire d'éviter une arrivée en avance. En pratique, l'existence du phénomène de déshorage explique notamment l'étalement des pointes de trafic : si l'on n'observe pas autant de congestion, c'est que certains individus s'adaptent en partant un peu plus tôt ou un peu plus tard.... mais cela leur est coûteux.

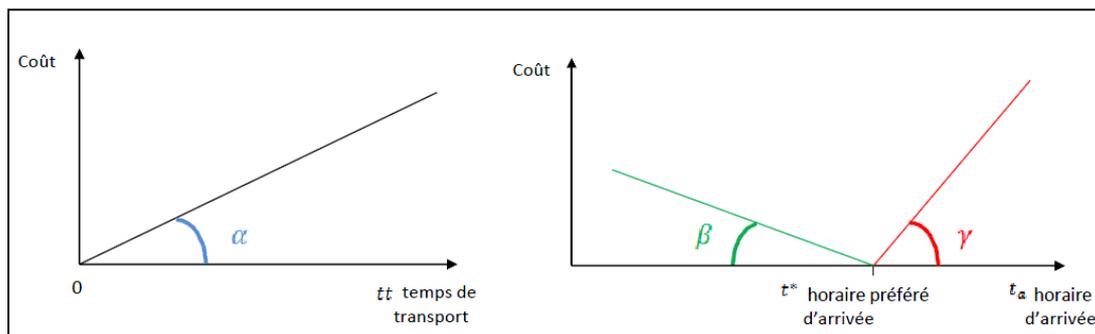
De manière formelle, le coût de transport peut donc s'exprimer de la manière suivante (cf. figure ci-dessous) :

Coût de transport

$$= \text{temps de transport} + \text{coût du retard}_{\text{si arrivée en retard}} + \text{coût de l'avance}_{\text{si arrivée en avance}}$$

$$= \alpha \cdot t + \beta \cdot \text{Min}(0; (t - t^*)) + \gamma \cdot \text{Max}(0; (t - t^*)).$$

Figure 1 - Composantes du coût de transport en cas de prise en compte du déshorage



Source : A. de Palma et G. Monchambert, présentation au CAS, octobre 2012.

La principale difficulté afin de prendre en compte le déshorage dans les analyses coûts-avantages est que l'on n'observe pas, sauf enquête *ad hoc*, les horaires préférés d'arrivée des individus. Aussi, afin de connaître l'impact d'un projet de transport en termes de déshorage, il est, d'une part, nécessaire de disposer d'un modèle de trafic qui simule les choix d'horaires effectués par les usagers du mode compte tenu de leur horaire d'arrivée désiré et, d'autre part, que ce modèle soit calé sur des enquêtes permettant de connaître ces horaires d'arrivée préférés. De plus, il faut aussi qu'il dispose d'une description des tranches horaires suffisamment fine.

Enfin, la littérature est encore naissante concernant les valeurs « de référence » qu'il serait possible de donner aux paramètres β et γ .

Les recommandations de la Commission sur la prise en compte du déshorage pourraient être les suivantes :

- des recherches devraient être favorisées afin de :
 - développer des modèles de trafic prenant en compte les choix d’horaires ;
 - obtenir une connaissance plus fine et plus robuste des valeurs qui pourraient être associées aux minutes d’arrivée en avance et en retard ;
 - clarifier la manière dont s’agence le concept de déshorage avec les coûts d’irrégularité et d’inconfort et, en particulier, éclairer l’existence ou non de doubles comptes si chacune de ces notions est valorisée.

La valorisation du temps dans le rapport Boiteux 2

(Discussion sur le chapitre II « La valeur du temps dans l'évaluation des projets »
pages 35 à 50, annexe 2 pages 167 à 202)

La présente annexe a pour objectif de proposer une lecture synthétique et critique du rapport Boiteux 2 (2001) afin d'orienter les recherches de la Commission sur les aspects relatifs à la valeur du temps.

1. Le concept théorique et les estimations empiriques

Le rapport expose tout d'abord la manière dont le concept théorique de valeur du temps est défini pour l'analyse économique, puis la manière dont les valeurs empiriques sont obtenues.

Sur le premier aspect, les auteurs préconisent, au regard des pratiques de la littérature académique, de distinguer la valeur du temps des déplacements professionnels de celle des déplacements non-professionnels (visite à la famille, loisir, etc.). Sur le second aspect, les auteurs constatent que les différentes méthodes d'estimations de la valeur du temps possèdent chacune des avantages et des faiblesses. Ils observent que :

- les méthodes de calibrage des valeurs du temps par les modèles de trafic (« **préférences révélées** ») permettent d'estimer des valeurs du temps qui correspondent le mieux possible aux trafics observés. Néanmoins, elles aboutissent à des valeurs hétérogènes selon les modèles et les projets étudiés, et elles englobent des effets (biais de sélection, confort, régularité, etc.) dont la représentation varie selon les modèles. Les valeurs obtenues ne peuvent donc pas être déconnectées des autres paramètres spécifiques au modèle. De plus, lorsque l'on utilise ces valeurs pour des exercices de simulation, les choix des individus peuvent être incorrectement prédits à cause du fait qu'il s'agit d'analyser des situations très différentes de celles ayant servi à calibrer le modèle de trafic ;
- les méthodes fondées sur des questionnaires (« **préférences déclarées** ») permettent de simuler les comportements des individus dans n'importe quelle situation et de faire varier indépendamment les paramètres de confort, régularité, etc. Toutefois, les estimations souffrent des biais classiques des questionnaires (biais de non-engagement, d'affirmation positive, etc.).

Ces constats aboutissent *in fine* à recommander¹, dans le calcul socio-économique, l'utilisation de valeurs du temps (i) normalisées et (ii) cohérentes

(1) Outre une réflexion plus approfondie sur les modèles de trafic, notamment pour améliorer leur fiabilité et leur précision.

avec les pratiques étrangères, qui s'appuient au plus près sur le comportement des usagers. Ces pratiques révèlent une différenciation selon divers axes (motifs de déplacement, mode de transport utilisé, revenu de l'utilisateur, interurbain/urbain, durée de déplacement¹, conditions de déplacement-confort,...).

Par la suite, les auteurs s'engagent dans la préconisation de valeurs du temps différenciées selon les modes de transport, sans distinguer les effets du confort des biais de sélection.

2. Recommandations de valeurs du temps dans Boiteux 2

a. Pour le transport de passagers.

En milieu urbain, des valeurs sont proposées au regard de la littérature et d'une étude relative au tunnel du Prado-Carénage (Marseille). Les valeurs du temps sont différenciées pour trois types de motifs (professionnels, domicile-travail, autres), entre région Ile-de-France et reste de la France, et correspondent à un pourcentage du coût horaire ou du salaire brut. En plus, le rapport propose, en attendant des éléments plus précis, des surcoûts d'inconfort dans les transports collectifs définis de la manière suivante :

- une demie fois le coût du temps passé, pour les situations de congestion dans les transports collectifs. Le seuil de définition de la « congestion » n'est toutefois pas précisée ;
- une fois le coût du temps, pour les temps d'attente et les temps de marche à pied que nécessitent l'accès aux stations et les correspondances.

Commentaires

- *Les recommandations relatives au confort et au temps d'attente et de marche n'ont pas été retenues dans l'instruction cadre de Robien (2005).*
- *Les aspects d'amélioration de l'information disponible ne sont pas traités.*

En milieu interurbain, il est proposé que la valeur du temps soit différenciée par mode et augmente avec la distance. Afin de prendre en compte le confort et la fréquence des services de transport, le principe d'un ajustement de la valeur du temps à l'aide d'un malus/bonus est retenu, comme pour l'urbain, mais cette fois-ci sans fournir de modalité opératoire précise. Ces malus/bonus sont évoqués dans l'annexe 2 du rapport, qui traite des pratiques de la Direction des routes et de la SNCF, tout en mentionnant que ces pratiques n'ont pas été contre expertisées. Enfin, ces deux bonus/malus ne sont pas des termes correctifs proportionnels au temps passé par l'utilisateur (il s'agit d'un coût au véhicule.km pour les routes, et d'une fonction de l'écart de temps moyen entre deux trains pour le rail).

(1) Il est possible qu'une minute de temps économisé vaille autre chose sur un trajet de deux minutes que sur un trajet de deux heures. Cette variation de la valorisation d'une minute économisée avec la *durée* totale du trajet peut être exprimée, grâce à la vitesse, en une variation de la valorisation d'une minute économisée avec la *distance* du trajet.

L'annexe 2 soulève par ailleurs le risque d'appauvrissement progressif des informations disponibles pour estimer les valeurs du temps de façon suffisamment ouverte et contrôlable¹.

Tableau 9 - Valeurs du temps passagers en milieu interurbain dans le rapport Boiteux 2 (2001)

Valeur du temps en interurbain (1998) par voyageur (en euros par heure)

Mode	pour des distances inférieures à		Pour les distances d comprises entre 50 km ou 150 km et 400 km	Stabilisation pour les distances supérieures à 400 km
	50 km	150 km		
Route	8,4 €	-	50 km < d VDT= (d/10+50).1/6,56	13,7 €
Fer 2° Cl.	-	10,7 €	150 km < d VDT=1/7(3d/10+445) .1/6,56	12,3 €
Fer 1° Cl.	-	27,4 €	150 km < d VDT=1/7(9d/10+1125) .1/6,56	32,3 €
Aérien	-	-	45,7 €	45,7 €

Source : rapport Boiteux 2 (2001)

Tableau 10 - Valeurs du temps passagers en milieu urbain dans le rapport Boiteux 2 (2001)

<i>Valeur du temps en urbain par voyageur (euros 1998/h)</i>				
Mode de déplacement	% du coût salarial	% du salaire brut	France entière 1998	Île-de-France 1998
Déplacement professionnel	61 %	85 %	10,5 €	13 €
Déplacement domicile-travail	55 %	77 %	9,5 €	11,6 €
Déplacements autres (achat, loisir, tourisme, etc.)	30 %	42 %	5,2 €	6,4 €
Lorsqu'on ne dispose pas du détail des trafics par motifs, prendre une valeur moyenne pour tous les déplacements	42 %	59 %	7,2 €	8,8 €

Source : rapport Boiteux 2 (2001)

Commentaires

La différenciation des valeurs du temps par mode et avec la distance est justifiée dans le rapport par le fait qu'elle repose sur les résultats des calibrations des modèles de trafic. Il serait utile de faire la distinction entre ce qui pourrait provenir d'un problème de sélection (les caractéristiques des voyageurs sur les trajets courts sont différentes de celles sur les trajets longs), et ce qui pourrait correspondre, pour un individu donné, à une variation de la valorisation de la minute gagnée avec le temps total de transport.

Par ailleurs, il n'est pas expliqué pourquoi le profil de variation des valeurs du temps avec la distance n'est pas le même selon les modes (il est constant dans l'aérien, en « S » pour le fer...).

(1) « Par ailleurs, on peut penser que d'ici quelques années, le contexte concurrentiel se faisant plus prégnant, les opérateurs qui disposent de tels modèles [de trafic] ne fourniront plus d'information suffisante pour obtenir ces valeurs du temps et les contrôler » (annexe 2 page 78).

Enfin, il serait utile d'examiner si les nouvelles pratiques commerciales et nouveaux modèles économiques (politique tarifaire, yield management, low-cost aériens,...) ne remettent pas en cause ce type de différenciation.

Pour finir, pour les déplacements urbains comme interurbains, quels qu'en soient les motifs, le rapport propose une élasticité de la valeur du temps avec les dépenses de consommation par tête égale à 0,7.

Commentaires

Ne faut-il pas tenir compte de ce que, dans le futur, les transports publics permettront à chaque voyageur d'utiliser aisément les NTIC, et donc de rendre plus productif (ou moins désagréable) leur temps de transport ? Dans ce cas, à dépenses de consommation constantes, la valeur du temps pourrait connaître une tendance baissière qu'il s'agirait de documenter.

b. Pour les marchandises.

Le rapport préconise de réaliser plusieurs études et note que les aspects de fiabilité du transport, de fréquence et de sûreté sont primordiales mais ne sont pas valorisées *per se*.

Malgré ces incertitudes, trois valeurs (en €/tonne/heure) sont retenues « à titre expérimental » :

- pour la route, le transport combiné, les conteneurs maritimes, le trafic roulier, le ferroviaire de messagerie ou de frigorifique ;
- pour les « marchandises courantes » du fer et du transport maritime ;
- pour les marchandises en vrac à faible valeur ajoutée (ex : granulats).

Tableau 11 - Valeurs du temps marchandises dans le rapport Boiteux 2 (2001)

<i>Valeur du temps marchandises</i>			
Valeur du temps marchandises	2000	Règle d'évolution	La valeur du temps marchandises ne dépend pas du mode de transport, mais de la nature de ce qui est transporté.
Marchandises à haute valeur	0,45 €/t/h	Évolution des valeurs à raison des 2/3 de l'évolution du PIB	Route, transport combiné, conteneurs maritimes, messagerie, transports frigorifiques, route roulante, trafic roulier, etc.
Marchandises courantes	0,15 €/t/h		Autres trafics ferroviaires, maritimes et fluviaux.
Marchandises à faible valeur	0,01 €/t/h		Vrac, granulats, etc.
Réduction de coût pour les exploitants route	31 € (1998)	Stable dans le temps en francs constants	

Source : rapport Boiteux 2 (2001)

Commentaires

On note que le rapport ne mentionne pas le transport de marchandises par voie aérienne, ce qui peut s'expliquer par l'ordre de grandeur des tonnages concernés, qui sont sans comparaison avec ceux des autres modes. Dispose-t-on du retour sur expérience souhaité dans le rapport Boiteux 2 (2001) sur ce thème ?

c. Utilisation de ces valeurs dans les évaluations coûts-avantages

Afin d'éclaircir certaines questions techniques qui se posent durant les évaluations socio-économiques des projets de transports, le rapport recommande de suivre les pratiques suivantes :

- trajets multimodaux : lors d'un trajet multimodal avec un mode dominant, le rapport préconise de retenir la valeur du temps du mode « principal ». Néanmoins, dans le cas où aucun mode principal n'est identifiable, il est recommandé de retenir la valeur moyenne de chaque mode.

Commentaires

Cette approche mériterait d'être précisée : le mode de transport « principal » correspond-il à la distance majoritaire au sein du déplacement ? Au temps majoritaire ? Au mode « obligé » (ex. : maritime ou aérien) ? La justification de la règle avancée pourrait être précisée.

- Voyageurs induits : la variation de surplus des passagers induits doit correspondre à la moitié de la variation des coûts généralisés.

Commentaires

Une telle méthode correspond à une approximation au premier ordre du surplus des voyageurs induits, qui coïncide exactement avec le calcul précis dans le cas où le coût généralisé (CG) est identique pour tous les voyageurs et la courbe de demande est affine.

Il faudrait néanmoins préciser de quels coûts généralisés il s'agit en pratique : la plupart du temps, dans les modèles de trafic, le trafic induit est estimé au niveau des modules de génération ou de distribution des trafics. Il existe donc des passagers induits sur divers modes et divers itinéraires, dont certains sont nouveaux et n'ont donc pas de valeur de coût généralisé en référence. Dans ces cas, le modèle de trafic ne garde pas toujours l'information sur l'« origine » du trafic induit.

L'approche du rapport semble se référer à une autre pratique d'estimation du trafic induit, l'estimation par origine-destination (OD) pré-affectée à un mode, pour laquelle il existe toujours une valeur de CG pré-projet à partir du moment où l'OD existe en situation sans projet.

- Choix du modèle de trafic : le rapport préconise d'utiliser un même modèle de trafic pour étudier la rentabilité de plusieurs projets d'un même mode, ceci afin d'éliminer les possibles biais systématiques.

Commentaire

En pratique, il semble que cette recommandation n'ait pas pu suivie.

- Audit des prévisions de trafic : le rapport préconise de s'interroger sur les procédures d'audit auxquelles les études de trafic devraient être soumises

ainsi que sur les informations statistiques qui seraient nécessaires pour les améliorer.

Commentaires

De tels audits ont lieu de façon simplifiée (et inégale) lors des bilans LOTI des grandes infrastructures. Au-delà de ces bilans, d'autres audits ont lieu en cas de désaccords prononcés entre les administrations techniques et financières, et sont réalisés par des missions CGEDD/IGF, par exemple.

3. Analyses, études et recherches complémentaires demandées dans le rapport Boiteux 2

Le rapport demande que diverses études et analyses complémentaires soient réalisées :

- programme de recherche sur l'influence et la valorisation des caractéristiques de confort et de qualité de service en urbain, et commission spécifique pour mettre au point des méthodes adaptées avec des valeurs de référence (p.42-43 et 49) ;
- estimation des valeurs du temps pour les passagers transportés par mer (p.44) ;
- études et recherches pour aboutir à une méthodologie de différenciation des valeurs du temps adaptée aux divers types de marchandises comme aux divers modes de transport (p.45) ;
- études sur la valorisation des éléments de qualité de service (fiabilité, minimisation du risque de dommages et de pertes des marchandises, ponctualité, fréquence, adaptabilité aux variations des besoins de transports et qualité de l'information) de façon à pouvoir les intégrer, sans double compte, dans le calcul économique (p.45) ;
- études sur l'évaluation des gains de décongestion (p.49).

La comptabilisation des temps de congestion dans le rapport Boiteux 2

(Discussion sur le chapitre III « Congestion urbaine et interactions entre la circulation des véhicules particuliers et les autres usages de la voirie », pages 51 à 62, annexe 3 pages 211 à 224)

Comme pour l'annexe 1, la présente annexe a pour objectif de proposer une lecture synthétique et critique du rapport Boiteux 2 (2001) afin d'orienter les recherches de la Commission sur les aspects relatifs à la valeur du temps.

1. Le concept théorique et les estimations empiriques

La congestion *interurbaine*, hors du mandat du groupe Boiteux 2 (2001), n'y a pas été traitée. Le rapport se concentre donc sur la congestion en milieu urbain et aborde qualitativement les questions d'interactions entre véhicules particuliers et transports collectifs. En définitive, les auteurs ont décidé de ne pas statuer : « *l'état actuel des études ne permet de recommander ni des méthodes avérées ni des valeurs susceptibles d'être utilisées dès maintenant dans les évaluations socio-économiques. Les réflexions du groupe (...) permettent toutefois de proposer des recommandations d'ordre méthodologique, ainsi que la mise en œuvre d'études spécifiques* » (page 53).

Comme précisé au début du chapitre du rapport Boiteux 2 (2001) consacré à la congestion urbaine, et sans remettre en cause le principe du calcul du différentiel des temps de transports passés avec/sans projet analysés dans le chapitre précédent, il s'agissait d'éclairer les pratiques, très diversifiées, observées en milieu urbain, du point de vue de l'interprétation économique de la congestion et des modalités de comptabilisation des temps de congestion.

Commentaires

La question de la congestion en interurbain n'a pas été abordée dans le rapport Boiteux 2 (2001). Or, pour certains modes, elle fait l'objet de nombreux débats et pourrait mériter des développements, d'autant que certains projets à évaluer visent justement à traiter ces problèmes (notamment congestion aéroportuaire ou, lorsque le terme est accepté, congestion ferroviaire).

a. Description qualitative du phénomène de congestion en milieu *urbain* et complexités conceptuelles.

Les auteurs définissent le coût externe de congestion comme étant égal aux pertes de temps qu'un utilisateur impose aux autres « *lorsqu'il vient s'ajouter au trafic correspondant à la capacité de l'infrastructure dans le scénario de référence* ». Par ailleurs, le rapport indique que cette situation de référence devrait correspondre à une situation dans laquelle l'infrastructure serait utilisée

de manière « optimale » eu égard à un objectif en termes de qualité de service, avant de constater les problèmes d'application que ce principe théorique imposerait.

Commentaires

Cela appelle plusieurs remarques :

- *il n'est pas expliqué en détails comment procéder pour estimer cette situation de référence. Il est cependant indiqué que l'optimum ne s'apprécie pas au niveau du tronçon mais relève du fonctionnement global du réseau. Il s'agit donc d'une problématique plus globale que celle de l'évaluation d'un projet de transport (politique des transports, politique de tarification, ...)* ;
- *des difficultés pratiques de calcul demeurent non traitées. Par exemple, les coûts marginaux de congestion étant non-linéaires avec le niveau de trafic, la différenciation fine qui serait nécessaire se heurte, d'un côté, à la possibilité de disposer d'un modèle de trafic fiable et adapté, et de l'autre, aux caractères souhaitables de cohérence et de simplicité que l'on attend généralement de valeurs tutélaires. Enfin, l'utilisation « optimale » des réseaux d'infrastructures ne sera pas la même dans la situation de projet et dans la situation de référence.*

Par ailleurs, il serait nécessaire de clarifier pourquoi l'estimation d'une situation de référence économiquement efficace intervient dans l'estimation des coûts de congestion, alors qu'elle n'intervient pas dans l'estimation des autres coûts, comme par exemple les coûts de pollution atmosphérique.

b. Description des méthodes pratiques utilisées

Les auteurs estiment que la congestion peut être caractérisée par la différence entre la vitesse mesurée des véhicules sur une infrastructure pendant une période déterminée et la vitesse dans une situation de référence telle que décrite *supra*.

Commentaires

Si la perte de vitesse peut facilement être traduite en perte de temps, il aurait été utile de fournir des mises en garde afin de garantir que les pertes de temps infligées aux différents véhicules soient valorisées correctement. Les pertes de temps des poids lourds et des véhicules utilitaires doivent être valorisées par la valeur du temps du transport de marchandises, et celles infligées aux transports collectifs et aux véhicules particuliers doivent être valorisées par la valeur du temps du transport de passager (et le cas échéant du transporteur), rectifiée des taux de remplissage des véhicules.

2. Recommandation des coûts de congestion dans le rapport Boiteux 2

Pour cet item, le rapport ne propose pas de recommandation quantitative, mais cite le précédent rapport qui s'était interrogé sur la pertinence et le domaine de validité des valeurs issues du rapport Hautreux (1969¹) en recommandant la réalisation d'études complémentaires. Constatant que ces études n'avaient pas encore été menées et s'inscrivant contre l'application des « coefficients Hautreux », le rapport Boiteux 2 (2001) reprend donc implicitement la recommandation précédente. Il invite par ailleurs à :

- disposer de statistiques sur les vitesses des véhicules particuliers et des véhicules de transport en commun, selon les horaires de la journée ;
- travailler à la définition de ce que serait une situation optimale ;
- engager des études sur les effets que peut avoir une transformation d'usage de la voirie sur la circulation générale (ex : suppression d'une ligne de tramway) ;
- mieux mesurer les coûts de l'inconfort engendrés par de mauvaises conditions de transport et étudier notamment les aspects plus qualitatifs que peuvent être l'insécurité, la fréquence, etc. ;
- disposer de plus d'informations sur les liens entre débit et vitesse sur chaque type de voirie ;
- étudier le surcoût/la désutilité correspondant aux départs décalés visant à éviter les périodes de pointe ;
- analyser les interactions entre les véhicules particuliers et les transports en commun au-delà d'une approche en termes de congestion (par exemple impact sur la qualité de l'espace urbain, probabilité d'accidents, etc.) ;
- mieux saisir les effets externes positifs connus sous le nom d'effet *Mohring* (situation dans laquelle une augmentation du trafic de transport en commun engendre des recettes supplémentaires et conduit l'opérateur à augmenter les fréquences des services puis la qualité de service proposée notamment aux anciens voyageurs).

Le rapport insiste sur les modalités de définition de la situation de référence à prendre en compte pour l'évaluation du projet, car c'est une source de distorsion potentielle très importante, surtout quand aucune option alternative au projet n'est envisagée pour répondre aux problèmes de congestion urbaine.

Commentaires

Les nouvelles analyses menées sur ce thème (notamment rapport du LVMT et groupe de travail du Ministère des transports) pourraient fournir un matériau nouveau sur lequel le sous-groupe pourrait proposer une actualisation des règles applicables à la comptabilisation des temps de (dé)congestion du réseau pour les projets de transport en commun urbain.

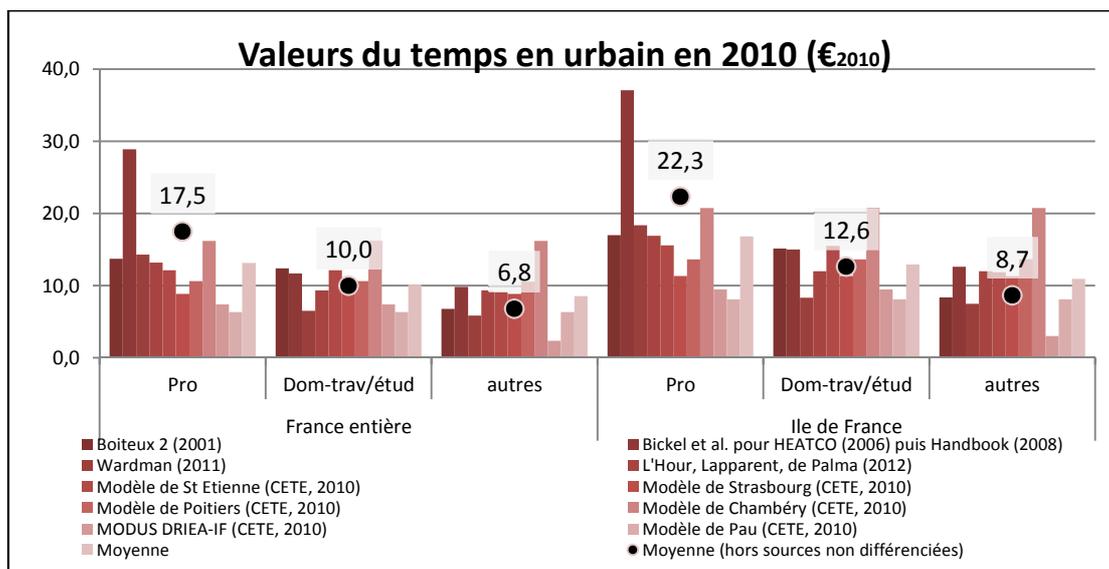
(1) Ce rapport fournissait des montants unitaires de gains de temps par véhicule.kilomètre évité sur la route (coefficients Hautreux), grâce à des règles simples de différenciation selon divers niveaux de vitesse moyenne.

Les valeurs du temps de transports passagers

1. Valeurs du temps en milieu urbain

En plus du rapport Boiteux 2 (2001), neuf autres sources fournissant des valeurs du temps pour des périodes *post* 2001 ont été utilisées pour mettre à jour les valeurs du temps en milieu urbain. Les valeurs obtenues pour chacune des sources de données sont représentées dans la figure ci-dessous. Les valeurs moyennes que nous proposons de retenir dans le rapport sont les valeurs moyennes pour chaque motif de déplacement (professionnel, domicile-travail/études/garderie, et autres) lorsque la source du chiffrage distinguait effectivement les motifs entre eux¹. On vérifie que les résultats obtenus sont du même ordre de grandeur que ceux que l'on aurait obtenu si l'on faisait une moyenne de toutes les sources de données, sans distinction.

Figure 2- Revue des valeurs du temps en milieu urbain



Source : DG Trésor

Note de lecture : selon les sources, les données concernent une ville (modèles de St Etienne, Poitiers, Strasbourg, Chambéry, Pau), une région particulière (modèle DRIEA-IdF, L'Hour et al. (2012)), la France entière (Boiteux 2 (2001)) ou d'autres pays européens (Abrantes et Wardman (2011), Bickel et al. (2006)). Les données de villes spécifiques ont été extrapolées pour la France (respectivement l'Île-de-France) grâce au rapport des « salaires et traitements bruts par personne » de la France entière (respectivement de l'Île-de-France) et de la région à laquelle la

(1) Lorsque la source utilisée ne mentionnait qu'une valeur du temps « tous motifs », on aurait alternativement pu utiliser cette valeur pour chacun des motifs, ce qui aurait « tassé » les écarts de valeurs moyennes par motif.

ville appartient. Les données de pays voisins ont été extrapolées pour la France grâce au rapport des PIB par tête. Enfin, une fois les données converties en euros pour la France à la date de l'étude source, les résultats ont été convertis en €₂₀₁₀ pour 2010 en suivant de la méthodologie recommandée dans le rapport Boiteux 2 (2001).

Tableau 12 - Valeurs du temps en milieu urbain, tous mode (en €2010/h en 2010)

Motif du déplacement	France entière	Île-de-France
Professionnel	17,5	22,3
Domicile-travail/études/garderie	10,0	12,6
Autres (achat, soin, visites, loisir, tourisme, etc.)	6,8	8,7
Sans détail du motif	7,9	10,7

Source : DG Trésor d'après revue de la littérature et des modèles de trafic

NB : selon l'ENTD 2007-2008, sur la France entière, en 2006, les déplacements « locaux » (i.e. inférieurs à 80 km) étaient constitués de 2,2 % de déplacements professionnels, 27,1 % de déplacements domicile-travail/études/garderie et 70,7 % d'autres déplacements, d'où une valeur moyenne de 7,9 €₂₀₁₀/h pour la France entière sans détail du motif. Pour l'Île-de-France, l'ENTD donne la répartition suivante : 4,6 % de déplacements professionnels, 35,8 % de déplacements domicile-travail/études/garderie et 59,6 % d'autres déplacements (revue du CGDD la mobilité des français, déc 2010, p.183), d'où une valeur tous motifs de 10,7 €₂₀₁₀/h.

Comme les parties suivantes le proposent pour la valeur du temps en milieu interurbain, on peut se demander si les valeurs du temps en milieu urbain ne devraient pas varier avec la distance des déplacements. De premiers éléments de réflexion sur ce sujet sont présentés dans l'annexe n° 4. À l'heure actuelle, nous n'avons pas pu mener de travaux suffisamment approfondis afin de proposer des recommandations autres que celles issues d'un *statu quo* par rapport au rapport Boiteux 2 (2001), c'est-à-dire une constance des valeurs en milieu urbain.

2. Valeurs du temps en milieu interurbain

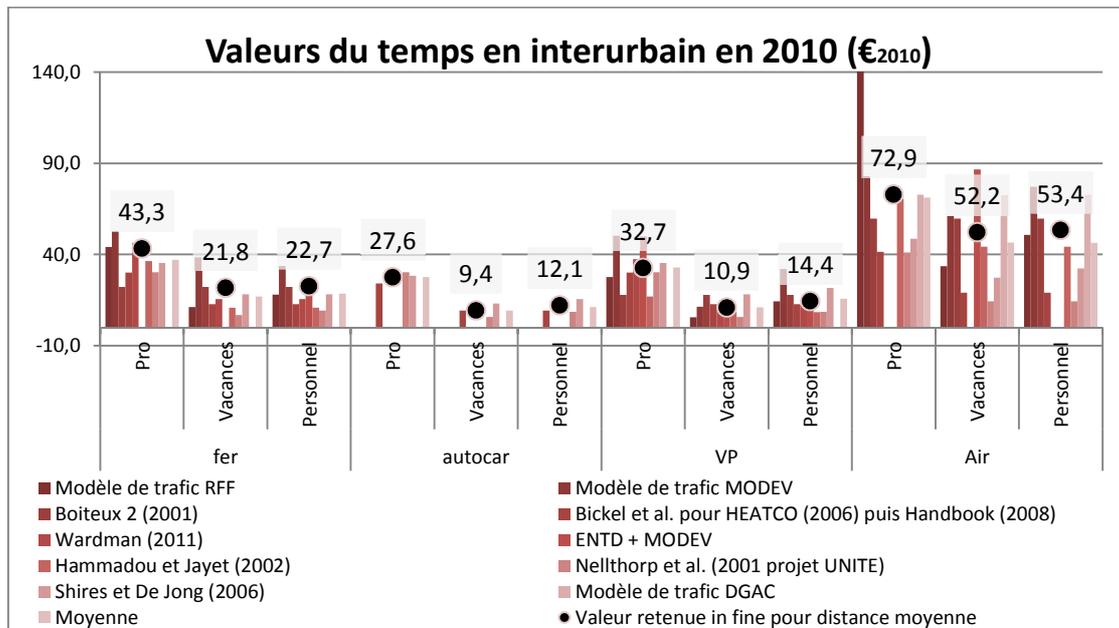
a. Valeurs du temps en milieu interurbain pour une distance moyenne

Comme en milieu urbain, dix sources ont été utilisées pour mettre à jour les valeurs du temps en milieu interurbain. Les valeurs obtenues pour chacune des sources de données sont représentées dans la figure 3 ci-dessous, pour les distances moyennes de chaque échantillon de données¹. Lorsque la distance du déplacement n'est pas spécifiée, les valeurs que nous proposons de retenir sont les valeurs moyennes pour chaque motif de déplacement (professionnel, vacances, autres personnel). Par ailleurs, pour le mode ferroviaire, la modification rapide de l'offre de transport entre courtes et moyennes distances (passage du métro voire train de banlieue à des trains grandes lignes souvent TGV) semble justifier un saut relativement rapide des valeurs du temps aux environ de cent kilomètres. Pour ce faire, nous avons eu recours aux

(1) Selon les sources, les valeurs du temps varient ou non avec la distance. Pour les sources où la variation existe, nous avons pris les valeurs associées à la distance moyenne de l'échantillon de déplacements utilisées. Dans le cas spécifique des modèles de trafic MODEV (CGDD, Ministère du Développement durable) et MNV (RFF), la connaissance des taux marginaux de substitution entre temps et coût pour 10 origines-destinations a permis d'extrapoler la valeur du temps pour un trajet fictif dont la distance correspond à la distance moyenne (en 2006) des trajets effectués avec le mode donné. Ces distances moyennes proviennent de l'ENTD 2007-2008.

valeurs du temps inférées par les modèles de trafic MODEV et MNV, appartenant respectivement au CGDD et à RFF. Le choix de la plage de distance au sein de laquelle les valeurs du temps du mode ferré connaissent une forte augmentation s'est fait « à dire d'experts » afin de garantir une cohérence de l'évolution des valeurs du temps entre 100 km et des distances supérieures à 1 000 km.

Figure 3 - Revue des valeurs du temps en milieu interurbain



Source : DG Trésor

Note de lecture : L'absence de certaines données s'explique par le périmètre variable des études examinées. Par ailleurs, selon les sources, les données concernent la France ou un autre pays. Les données de pays voisins ont été extrapolées pour la France grâce au rapport des PIB par tête. Une fois les données converties en euros pour la France à la date de l'étude source, les résultats ont été convertis en €₂₀₁₀ pour 2010 en suivant de la méthodologie recommandée dans le rapport Boiteux 2 (2001).

b. Calibrage de l'évolution des valeurs du temps interurbaines avec la distance.

L'augmentation des valeurs du temps en interurbain avec la distance est un résultat classique des études empiriques en économie des transports. Toutes distances confondues, les méta-analyses conduites par Wardman depuis plus d'une décennie ont permis d'estimer que l'élasticité de la valeur du temps (tous modes confondus) avec la distance était comprise entre 0,1 et 0,2 (cf. tableau ci-dessous).

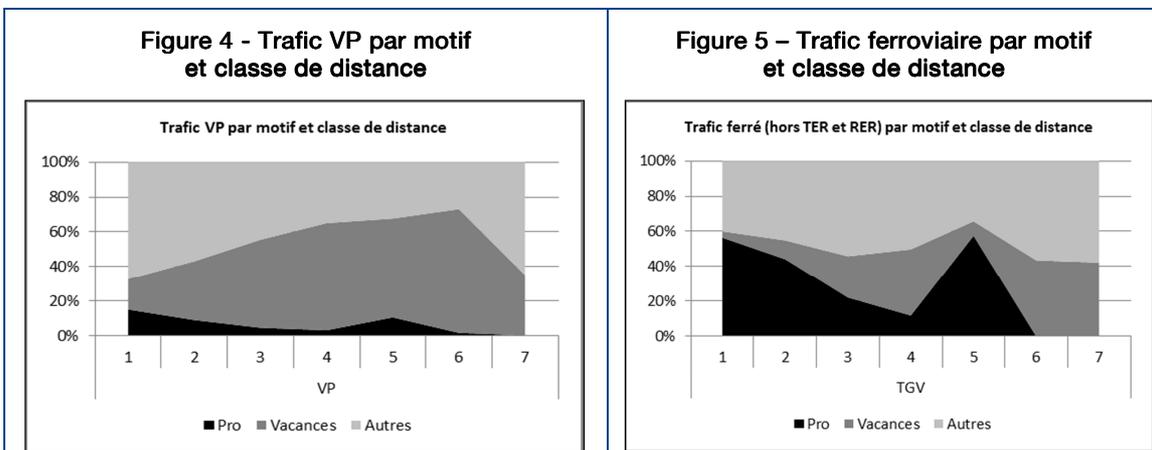
Tableau 13 - Revue des élasticités de la valeur du temps à la distance

Sources	Élasticités
Wardman (1998), méta-analyse	0,21
Wardman (2001), méta-analyse	0,10
Wardman (2004), méta-analyse	0,18
Abrantes, Wardman (2011), meta-analyse	0,17
Rapport Boiteux 2 (2001)	Actualisées en 2010, pour des distances comprises entre 50 et 400 km, les valeurs du temps Boiteux 2 dépendent de la distance avec une élasticité de 0 (sur la partie constante) et de 0,12 à 0,18 sur la partie affine.

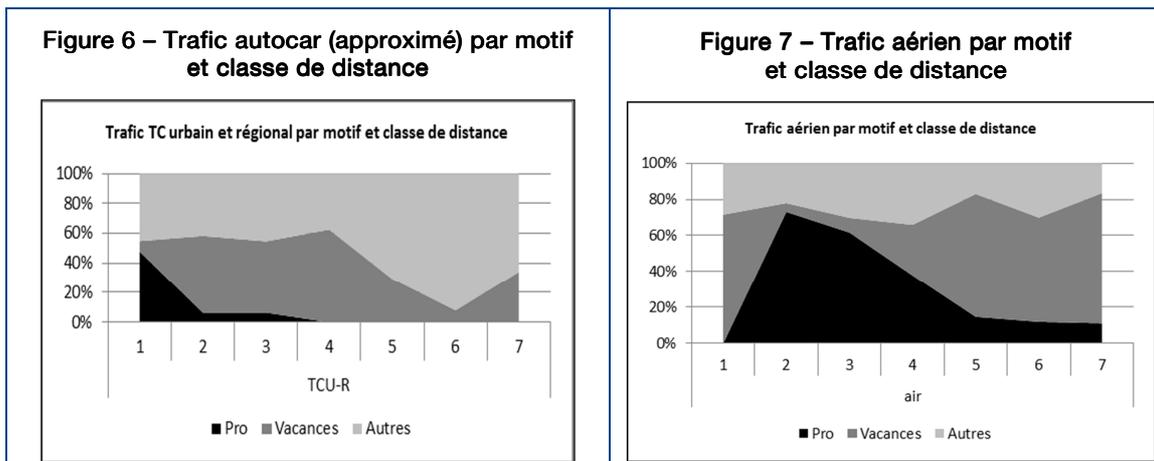
Source : revue DG Trésor

Dans le cas des trajets longue distance, ce phénomène semble être majoritairement dû au changement de la structure de la clientèle entre courte et longue distance. Tout d'abord, au sein d'un mode donné, les parts des trafics de chaque motif (professionnel, vacances et autres personnels) ne restent pas constantes avec la distance. Grâce à l'Enquête nationale transport et déplacements (ENTD) de 2007-2008, on a représenté l'évolution de la part de chacun de ses motifs avec la distance pour les quatre modes de transport considérés en interurbain (cf. figures ci-dessous) : le véhicule particulier (VP), le mode ferré, l'autocar (approximé par des statistiques concernant les transports en commun urbains et régionaux¹) et l'aérien.

Les classes de distances étudiées sont les suivantes : classe 1 (80 km – 200 km), classe 2 (200 km – 400 km), classe 3 (400 km – 600 km), classe 4 (600 km – 800 km), classe 5 (800 km – 1 000 km), classe 6 (1 000 km – 1 500 km) et classe 7 (au-delà de 1 500 km).



(1) On approxime la décomposition par motif du trafic d'autocars interurbains par celle d'une catégorie plus large comprenant les trajets effectués en « Transport en commun urbains et régionaux (TCU-R) ». Cette catégorie regroupe des trajets d'autobus, de navettes fluviales, d'autocars, de tramways, de métros, de RER, de TER ou d'autres TCU-R non précisés. Néanmoins, au-delà de 80 km, on peut considérer que la majeure partie des trajets de cette catégorie sont effectués soit en autocar soit en TER.



Source : ENTD 2007-2008, traitement DG Trésor.

Par ailleurs, on observe que les individus les plus aisés, et donc ceux avec une valeur du temps élevée, tendent à voyager plus loin. Ceci peut expliquer que, pour un mode donné et un motif donné, les valeurs du temps varient aussi avec la distance. Abrantes et Wardman (2011) estiment par ailleurs que les valeurs du temps pour chacun des motifs de déplacements augmentent avec la distance, mais que leurs vitesses d'augmentation peuvent différer.

En définitive, pour chacun des modes de transport et pour chacun des motifs de déplacement, nous proposons donc des valeurs du temps qui évoluent avec la distance. Si la littérature n'est pas très claire sur le fait qu'il existe ou non un plafond en termes de kilomètres à partir duquel les valeurs (par motif pour chaque mode) stagnent, il a néanmoins été décidé de supposer qu'un tel plafond existe et qu'il se situe aux alentours de 400 km¹, sauf pour le mode aérien pour lequel aucun plafond n'est préconisé. Enfin, le taux de croissance des valeurs du temps avec la distance a été inféré de sorte (i) que la valeur du temps à courte distance corresponde aux valeurs actuellement observés dans les modèles du CGDD, de RFF et de l'INRETS et (ii) que pour la distance moyenne des trajets effectués avec le mode et le motif donnés, on retrouve bien la valeur du temps moyenne issue de la revue de la littérature.

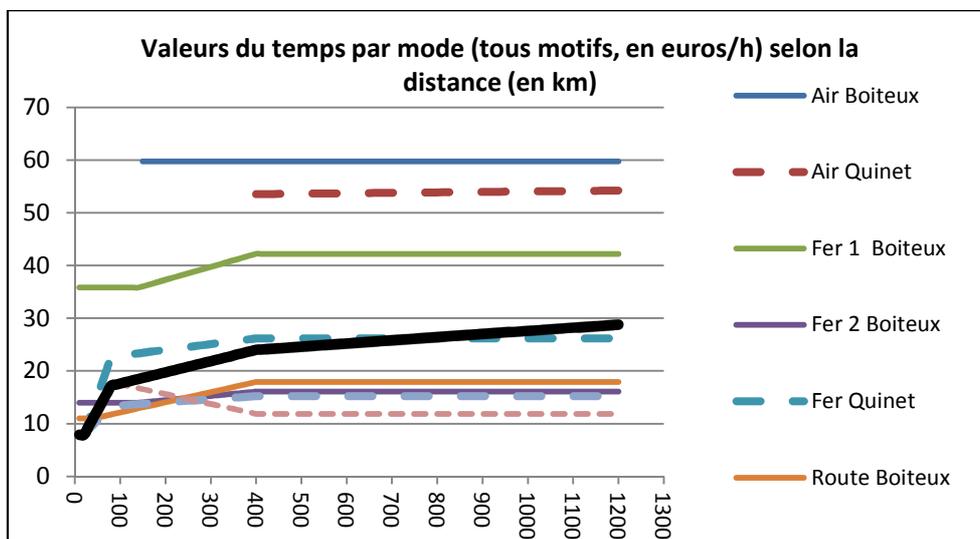
Pour finir, pour chacun des modes, les valeurs du temps « tous motifs » ont été obtenues en commençant par pondérer les valeurs du temps de chacun des motifs par la part des motifs dans les trajets selon la classe de distance considérée (les parts de différents motifs dans les trafics ont été présentés plus haut). Néanmoins, étant donné que la structure des trafics en termes de motifs n'est pas constante – même après 400 km – les valeurs du temps « tous motifs » ainsi obtenues croissaient ou

(1) Il s'agissait déjà de l'hypothèse faite dans le rapport Boiteux 2 (2001).

décroissaient selon la classe de distance et le mode considérés. Afin d'obtenir des valeurs du temps « tous motifs » opérationnelles et comparables à celles obtenues pour chacun des motifs, ces valeurs « pondérées » ont été approchées par une fonction croissante avec la distance entre 80 km et 400 km, puis constante après 400 km.

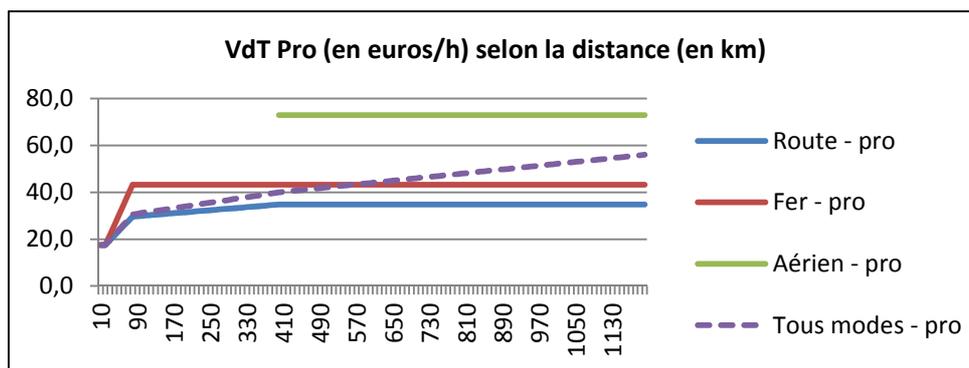
Les valeurs du temps obtenues pour l'interurbain sont données dans le tableau 2 et représentées dans les graphiques suivants. On remarque que si les valeurs par motif et par mode sont, à partir d'une certaines distances, constantes, les valeurs par motif tous modes confondus sont toujours croissantes. Ce phénomène s'explique par le fait qu'à très longue distance, les valeurs par motif tous modes confondus tendent vers les valeurs par motif du mode aérien puisque celui-ci devient le seul mode pertinent.

Figure 4 – Valeurs du temps par mode (tous motifs) selon la distance



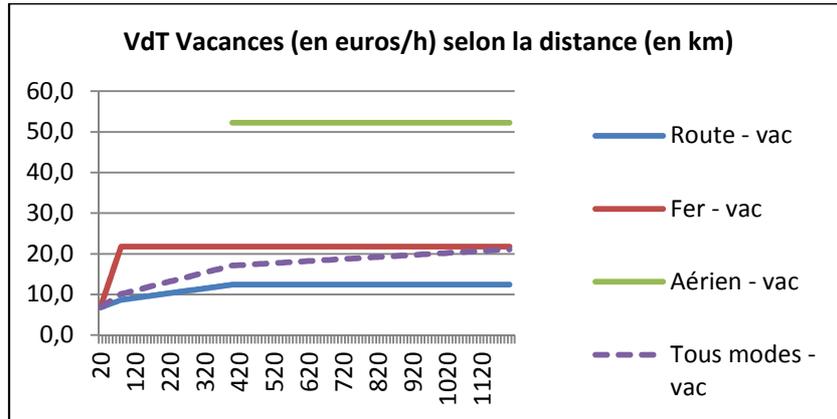
Source : DG Trésor

Figure 5 – Valeurs du temps du motif « professionnel » selon la distance



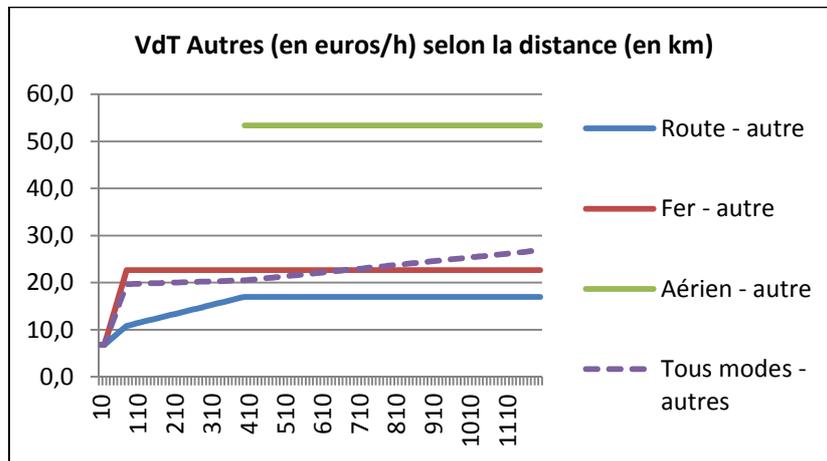
Source : DG Trésor

Figure 6 - Valeurs du temps du motif « vacances » selon la distance



Source : DG Trésor

Figure 7 – Valeurs du temps du motif « autres personnels » selon la distance



Source : DG Trésor

Valeurs du temps, revenus, durée et distance des déplacements en milieu urbain : éléments de réflexions

1 Toutes choses égales par ailleurs, la valeur du temps croît avec le revenu des individus

Les études économétriques sont unanimes pour dire que la valeur du temps, qu'elle soit issue d'enquêtes de préférences déclarées ou de préférences révélées, augmente avec le revenu des individus (toutes choses égales par ailleurs¹). A motif et origine-destination donnée, c'est ce qui explique, par exemple, que la valeur du temps moyenne des passagers des modes les plus rapides (et les plus chers) soit la plus élevée.

2 De plus, toutes choses égales par ailleurs, la valeur du temps croît avec la durée du déplacement

Comme de multiples articles académiques d'économétrie empirique ont pu le constater, une fois contrôlée pour les caractéristiques du déplacement (notamment le mode et le motif du voyage) ainsi que pour les caractéristiques de l'individu (âge, genre, revenu, etc.), la régression de la valeur du temps sur la durée du déplacement témoigne d'une relation croissante entre ces deux variables. Micro-économiquement, ce phénomène s'explique par le fait que la valeur du temps est un coût d'opportunité : si les individus se déplacent, c'est afin de réaliser une activité à destination. Plus le temps de parcours s'allonge, moins le temps disponible à destination est important. Enfin, si l'on fait l'hypothèse (relativement réaliste) d'une utilité marginale décroissante du temps passé à réaliser cette activité², alors la désutilité engendrée par la perte d'une minute d'activité à destination est d'autant plus grande que ce temps se réduit en peau de chagrin.

Dans un grand nombre d'études, on observe toutefois que ce n'est pas la durée qui est utilisée comme variable explicative mais plutôt la distance du déplacement. S'il s'agit de déterminer des valeurs du temps pour un motif, un type d'environnement (urbain ou interurbain) et un mode de transport donnés, un tel changement est approximativement sans conséquence. En effet, pour chaque type d'environnement et chaque mode, on peut faire l'hypothèse que la vitesse du mode en question est

(1) Voir par exemple l'article De Palma et Fontan (2001), « *Choix modal et valeurs du temps en Île-de-France* ».

(2) Passer une minute à la plage, auprès de ses proches ou au travail suscite une certaine satisfaction, mais plus la durée totale de l'activité augmente (jusqu'à la durée maximale des vacances, d'heure dans la journée, ou de la durée de travail maximale), moins la minute supplémentaire d'activité augmente la satisfaction de l'individu.

constante et que la distance du trajet correspond à sa durée, à une constante multiplicative près (qui se trouve être la vitesse).

En revanche, dans le cas où l'on propose des valeurs du temps par motif tous modes confondus, la relation entre distance et durée du déplacement dépend de la part de chaque mode de transport dans les trafics par motif. Par ailleurs, si le trajet comprend des zones congestionnées, la vitesse d'un même mode peut extrêmement varier selon la période de la journée ou de l'année. La part de chaque mode dans les trafics n'ayant *a priori* pas de raison d'être constante d'un motif à l'autre, et l'existence de zones congestionnées étant un fait, la relation entre distance et durée du déplacement est moins directe.

3 Des valeurs du temps par motif (tous modes) qui varient avec la distance

Dans le cadre du rapport de la Commission Quinet, les participants du sous-groupe relatif à la valeur du temps ont approuvé que la mise à jour des valeurs proposées dans le rapport Boiteux 2 (2001) s'effectue en gardant, pour les trajets urbains, une structure dans laquelle les valeurs du temps seraient uniquement différenciées par motif de déplacement. Par ailleurs, il a été demandé que la Commission réfléchisse, dans un souci de cohérence avec ce qui est proposé sur l'interurbain, à la variation que pourraient connaître ces valeurs avec la distance. Enfin, l'opportunité de proposer des valeurs du temps explicitement différenciées selon le revenu des individus a été écartée.

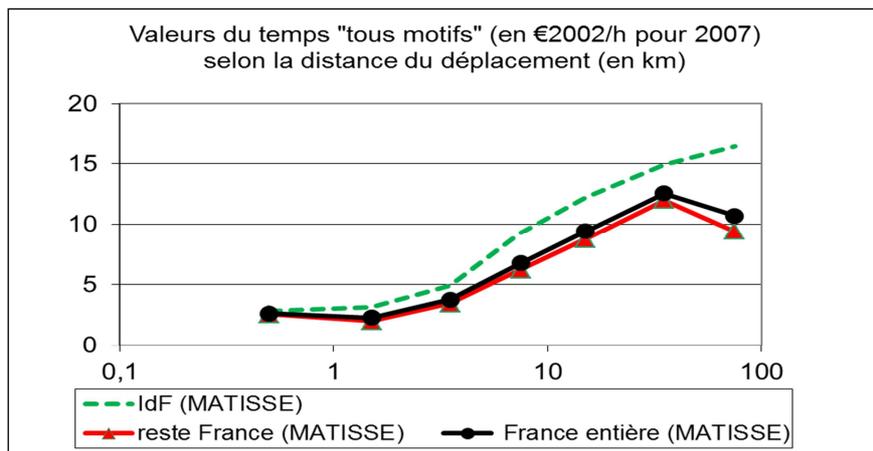
L'objectif est donc d'étudier la possibilité de disposer de valeurs du temps obtenues « après sélection », c'est-à-dire après choix de localisation et d'itinéraires effectués par les ménages, les individus effectuant – pour un motif donné – de longs trajets pouvant ne pas être comparables (par exemple en revenu) avec les individus réalisant de courts trajets.

Comme nous l'avons évoqué plus haut, la dépendance de la valeur du temps à la distance n'a de fondement microéconomique que dans la mesure où il existe une relation, *via* la vitesse, avec la durée du déplacement. Aussi, afin de proposer, pour chacun des motifs de déplacement, une valeur du temps par motif qui soit uniquement fonction de la distance des déplacements, deux méthodes sont possibles :

- la première, qui est la plus directe, consiste à observer les valeurs du temps moyennes par motif et par classe de distance issues des **modèles de trafic**. Ces modèles fournissent directement des valeurs du temps « *après sélection* » dans la mesure où les taux marginaux de substitution entre prix et temps sont obtenus sur des déplacements observés. Pour chaque classe de distance, la valeur du temps moyenne pour un motif donné tiendra compte de la composition du trafic en terme de revenu des individus, mais aussi en termes de modes et donc, de vitesse et de durée des déplacements. Dans la suite, nous revenons sur la relation entre valeur du temps et distance pour les déplacements courts obtenue grâce au modèle MATISSE de l'INRETS ;
- la seconde méthode consiste à étudier les statistiques descriptives des **enquêtes de déplacements** afin de connaître, pour chaque classe de distance, la

Les graphiques ci-dessous donnent les valeurs du temps moyennes obtenues avec MATISSE (en €₂₀₀₂ pour l'année 2007) en fonction de la distance de trajet (en km), respectivement pour les résidents de l'Île-de-France et pour ceux du reste de la France. On observe une croissance des valeurs (après sélection) avec la distance du trajet, en France comme en Ile-de-France.

Figure 8 - Valeurs du temps « tous motifs » MATISSE en France métropolitaine, en Île-de-France, et en province



Source : O. Morellet, MATISSE.

Note de lecture : afin de décrire les valeurs du temps sur un intervalle de distances allant de 0 à 100 km, l'échelle des abscisses est logarithmique.

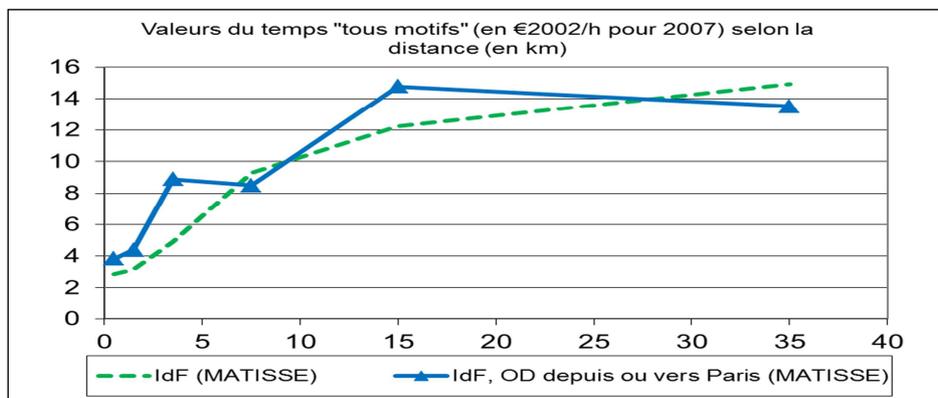
Les graphiques suivants présentent de nouveau les valeurs obtenues pour les résidents de l'Île-de-France tous déplacements confondus, juxtaposées à celles que l'on obtient si l'on n'étudie que les trajets ayant la ville de Paris comme origine ou destination, soit des origines-destinations (OD) effectuées en totalité ou en grande partie en milieu urbain dense.

Pour les OD liées à Paris, la croissance des valeurs avec la distance est moins régulière que pour l'ensemble des origines-destinations d'Île-de-France, du fait (i) des revenus plus élevés des résidents parisiens (qui sont à l'origine de la majorité des trajets à très courte distance sur les OD depuis ou vers Paris) et (ii) des vitesses plus faibles en centre-ville¹. Néanmoins, même en se restreignant aux OD depuis et vers

(1) De plus faibles vitesses implique que l'on passe plus de temps pour parcourir une distance donnée. Pour une distance donnée, toutes choses égales par ailleurs, on peut donc supposer que

Paris, la croissance de la valeur du temps (après sélection) avec la distance reste encore significative.

Figure 9 - Valeurs du temps « tous motifs » MATISSE en Île-de-France (toutes OD) et en Île-de-France pour les OD ayant Paris comme origine ou comme destination



Source : O. Morellet, MATISSE

Selon MATISSE, la concentration des plus hauts revenus dans les centres villes et dans la ville de Paris en particulier, ne semble pas suffire pour neutraliser l'effet de croissance de la valeur du temps avec la distance.

5 Résultats des enquêtes de déplacements (dont notamment l'ENTD 2008 et l'EGT 2010)

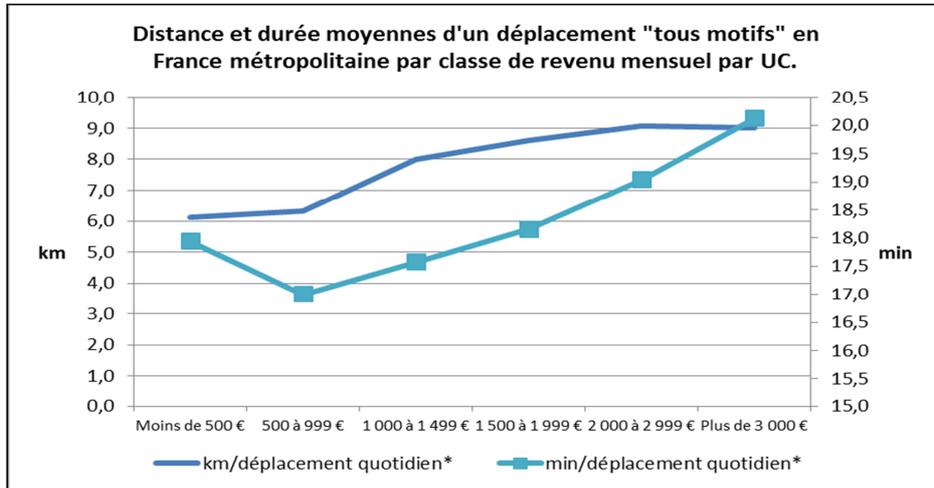
5.1 L'Enquête nationale transport et déplacements (ENTD 2008)

Les résultats ci-dessous sont issus d'exploitations de l'ENTD 2008 effectuées par différents organismes et rassemblées par le CGDD¹. On observe que la distance et la durée par déplacements quotidiens « tous motifs » et « domicile-travail » croissent avec le revenu par unité de consommation (UC) des ménages.

les valeurs du temps en milieu urbain dense (où les vitesses sont limitées et où on observe de la congestion) sont plus élevées que celles en milieu moins dense.

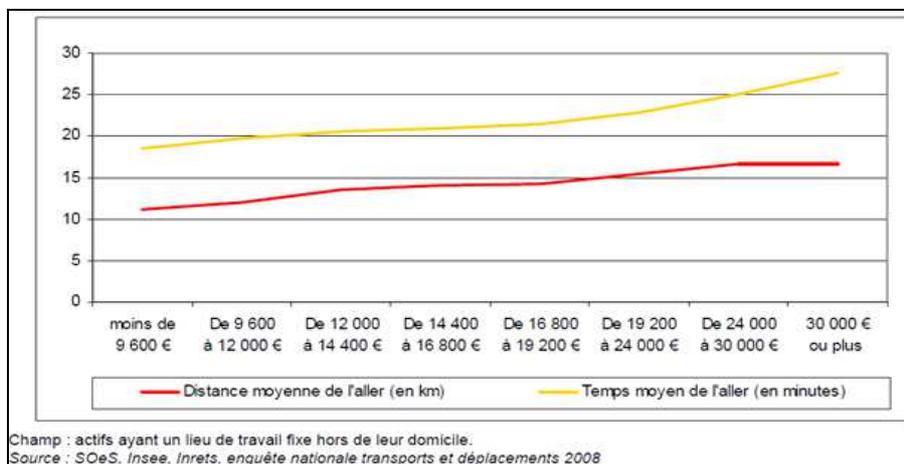
(1) La Revue du CGDD, « *La mobilité des Français – Panorama issu de l'enquête nationale transports et déplacements 2008* », décembre 2010.

Figure 10 - Distance et durée moyennes d'un déplacement quotidien « tous motifs » par classe de revenu mensuel par UC, en France métropolitaine (ENTD 2008)



Source : B. Quételard, Cete Nord-Picardie, « Se rendre au travail ou faire ses courses motive toujours un déplacement quotidien sur deux - Le recours à la voiture se stabilise » dans *La Revue du CGDD (2010)*, *La mobilité des Français - Panorama issu de l'enquête nationale transports et déplacements 2008*, pp46-47.

Figure 11 - Distance et durée moyennes d'un déplacement quotidien « domicile-travail fixe » par classe de revenu annuel par UC, France métropolitaine (ENTD 2008)



Source : D. François, CGDD, SOeS, « Se rendre au travail : distances et temps de transport s'allongent », dans *La Revue du CGDD (2010)*, « La mobilité des Français - Panorama issu de l'enquête nationale transports et déplacements 2008 », p97.

temps « France entière » croissent donc avec la distance, même si cette augmentation n'est pas quantifiée ici.

5.2 L'Enquête globale transports (EGT 2010) pour l'Île-de-France

Dans le cas spécifique de l'Île-de-France, la particularité de la localisation des ménages¹ et des emplois ainsi que le développement important des transports en commun comme alternative au VP impose un examen spécifique.

À la fin des années quatre-vingt-dix, des premières études sur la mobilité des franciliens ont été réalisées. Selon Baccaïni (1996²), la propension des individus à réaliser des navettes « domicile-travail » longue distance s'accroît, toutes choses égales par ailleurs, avec le revenu du ménage. Ce résultat est confirmé trois ans plus tard par Zaninetti (1999³) : « *toutes choses égales par ailleurs, les salariés les mieux rémunérés sont les plus susceptibles de résider loin de leur lieu de travail. Ce résultat est important car il affaiblit les arguments relatifs à l'influence de la tradition latine [les riches sont attirés par le centre où s'y concentrent emplois de cadre et lieux culturels] sur les pratiques spatiales des français* ». Néanmoins, Polacchini et Orfeuil (1998, 1999⁴) montrent que, si les individus aisés d'Île-de-France semblent effectuer des déplacements de plus longue distance que les plus défavorisés, l'utilisation de modes plus rapides (la voiture) leur permet de ne pas augmenter la durée moyenne qu'ils consacrent à un déplacement.

Une telle tendance est-elle toujours observable dans la dernière Enquête globale transport (EGT) réalisée en 2010⁵ ? Les graphiques ci-dessous sont issus d'une extraction réalisée par le Syndicat des Transports d'Île-de-France (STIF) pour le compte de la Commission, centrée sur les déplacements domicile-travail. Les données de l'EGT 2010 sont présentées par ménage. Le revenu de chaque ménage n'est pas connu précisément mais est situé au sein d'un intervalle.

Afin de tracer un graphique représentant les comportements de mobilité en fonction du revenu d'un individu dans le ménage, les simplifications suivantes ont dû être réalisées :

1. Pour chacune des classes de revenus, nous calculons un revenu de référence. Pour les catégories 2 à 9, il s'agit de la médiane. Pour la catégorie « moins de 800 € », nous proposons une valeur moyenne de 533 € (le RSA est de 480 €). Pour

(1) La thèse d'A. Berri (2005), « *Dynamiques de la motorisation et des dépenses de transport des ménages : Analyses sur données individuelles et semi-agrégées* », Publication AJD-92, Agora Jules Dupuit, Université de Montréal, met en évidence l'existence d'un gradient Est-Ouest des revenus des ménages et de la consommation de transport urbain en Île-de-France.

(2) Baccaïni (1996), « *les trajets domicile-travail en Ile-de-France* », Économie et statistique n° 294/295.

(3) Zaninetti (1999), « *Les déplacements domicile-travail au sein du bassin parisien – une approche statistique* », Espace, Populations, Sociétés (page 219-230) – Disponible sur http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/espos_0755-7809_1999_num_17_2_1887

(4) Polacchini et Orfeuil (1999), « *Les dépenses des ménages franciliens pour le logement et les transports* », Recherche Transports Sécurité, N° 63, pp. 31-46 ; Polacchini et Orfeuil (1998), « *Dépenses pour le logement et pour les transports en Ile-de-France* », Rapport de convention DREIF-INRETS.

(5) Document de synthèse disponible sur http://www.driea.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Fiche_Actifs_cle0cecb9.pdf

la catégorie « 5 500 € et plus », nous proposons une valeur de 7 000 € qui correspond au 9^e décile des revenus par ménage en Île-de-France.

Figure 12 – Construction du revenu équivalent pour les ménages appartement à chaque classe de revenu dans l’EGT 2010

Classe de revenu	Revenu équivalent
1. Moins de 800 €	533 €
2. De 800 à 1 200 €	1 000 €
3. De 1 200 à 1 600 €	1 400 €
4. De 1 600 à 2 000 €	1 800 €
5. De 2 000 à 2 400 €	2 200 €
6. De 2 400 à 3 000 €	2 700 €
7. De 3 000 à 3 500 €	3 250 €
8. De 3 500 à 4 500 €	4 000 €
9. De 4 500 à 5 500 €	5 000 €
10. 5 500 € et plus	7 000 €
11. Refus	Non étudié
12. Ne sait pas	Non étudié

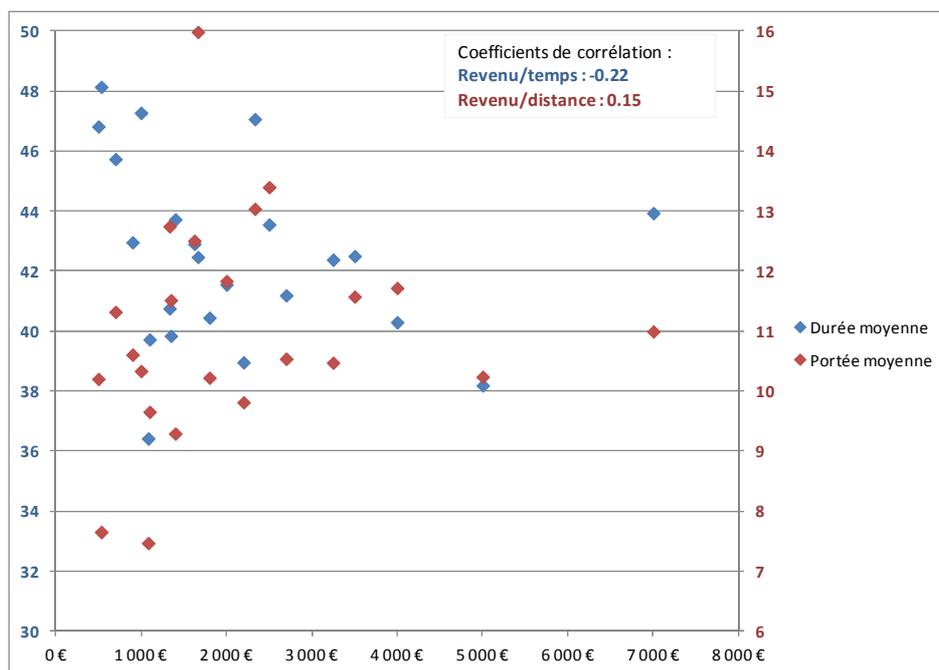
Source : STIF

Nous obtenons de la sorte un revenu mensuel net par ménage.

2. Nous ne conservons que les ménages ayant au moins un actif occupé (soit 10 127 ménages sur les 14 855 ménages enquêtés un jour de semaine) ;
3. Pour ces ménages, le revenu est réparti entre les actifs occupés : on obtient alors un revenu par actif occupé (les effectifs de moins de 50 actifs sont supprimés par la suite)¹ ;
4. Nous analysons alors les durées et portées des déplacements entre domicile et travail, pour ces actifs (*cf.* figure ci-dessous).

(1) Ainsi, pour un ménage ayant un revenu de 3250 € net par mois, soit il n’y a qu’un unique actif occupé, son revenu net mensuel est alors de 3250 € (et seule cette personne du ménage est retenue dans la suite de l’analyse) soit, s’il y a deux actifs occupés au sein du ménage, chacun d’eux a un revenu net mensuel de 1625 € (et les deux actifs sont conservés dans la suite de l’analyse).

Figure 13 - Premier déplacement domicile-travail, hors marche



Source : STIF. Note de lecture : chacun des points correspond à un niveau de revenu par actif : il y a 10 valeurs possibles de revenu par ménage au départ. Chaque ménage comprend 1, 2 actifs occupés (ou plus) – on obtient donc finalement 34 valeurs possibles de revenus par actifs. Parmi ces valeurs, nous ne poursuivons l'analyse que si l'effectif de personnes enquêtées correspondant est d'au moins 50 personnes. Par valeur de revenu, on peut calculer la durée (axe de gauche, en minutes) et la portée moyenne (axe de droite, en km) du premier déplacement de la journée entre le domicile et le lieu de travail habituel.

Sur les déplacements domicile-travail, la corrélation entre revenu et temps/distance n'est pas évidente. Une des causes probables est la répartition géographique des revenus en Ile-de-France, avec un clivage entre l'est et l'ouest plutôt qu'un clivage entre banlieue proche et banlieue éloignée

Dans la mesure où, en Île-de-France, distance et durée du déplacement ne semblent pas parfaitement corrélés, l'utilisation de la distance comme *proxy* à la durée du déplacement n'est pas adéquat. Au regard des corrélations observées grâce à l'EGT 2010, il semblerait que les tendances suivantes soient observables :

- les déplacements des ménages modestes se concentrent à courte distance, mais cela leur prend du temps. « L'effet revenu » et « l'effet durée » jouent donc en sens inverse ;
- de même, les déplacements des ménages aisés se concentrent sur longue distance, mais cela leur requiert un temps légèrement plus faible que celui des ménages modestes. « L'effet revenu » et « l'effet durée » jouent donc en sens inverse.

6 Éléments de conclusion

Pour les déplacements quotidiens en France métropolitaine, « effet revenu » et « effet durée » semblent jouer dans le même sens. Les résultats de MATISSE et de l'ENTD 2008 sont compatibles. Il semblerait donc raisonnable de proposer des valeurs du temps qui augmentent avec la distance en milieu urbain.

En revanche, pour l'Île-de-France, une analyse plus approfondie est nécessaire afin de savoir si les résultats de l'EGT 2010 confirment ou infirment ce à quoi aboutit le modèle MATISSE. Plus précisément, il s'agirait, pour approfondir les recherches, non plus d'exprimer les distances et durées par classe de revenu mais plutôt de connaître, par classe de distance moyenne par déplacement, le revenu moyen des individus ainsi que le temps consacré au déplacement :

- si revenu moyen et durée varient dans le même sens avec la classe de distance moyenne par déplacement, il sera alors possible de conclure ;
- néanmoins, si ces variables varient en sens contraire, des calculs plus aboutis (utilisant notamment des résultats académiques sur l'élasticité de la valeur du temps au revenu et à la durée du déplacement) seront nécessaires.

Enfin, et il s'agit du point le plus important, ces réflexions montrent clairement que l'expression des valeurs du temps en fonction de la distance et sans distinction des modes de transport n'est pas adaptée au milieu urbain. Dans les prochains travaux de mise à jour de ces valeurs de référence, il pourrait être proposé de se questionner sur l'opportunité de travailler dans un cadre où les valeurs du temps, en urbain comme en interurbain, varieraient avec la durée totale du déplacement.

En attendant de plus amples travaux relatifs au sens de variation de la valeur du temps « après sélection » en milieu urbain, la Commission pourrait :

- faire état de l'ensemble de ces réflexions ;
- et, dans l'incertitude actuelle, il pourrait être recommandé de maintenir des valeurs du temps constantes en urbain pour l'Île-de-France comme pour la France métropolitaine.

Valeurs du temps pour le transport de marchandises

1 Les gains de « temps » dans le fret

Dans le cas des valeurs du temps marchandises, le concept de valeur du temps est *a priori* le même que pour le transport de voyageurs, excepté que les entreprises cherchent à maximiser leur profit et non une fonction d'utilité. Néanmoins la complexité des chaînes logistiques et la multiplicité des agents qui y opèrent rendent le concept plus complexe et les estimations de valeurs du temps plus dispersées.

Valeur du temps « chargeur » et valeur du temps « transporteur »

Une distinction est parfois réalisée entre « valeur du temps chargeur » et « valeur du temps transporteur ». Ces deux concepts, qui peuvent être théoriquement différenciés, sont empiriquement très difficiles à distinguer.

De manière théorique, cette difficulté repose sur la question de l'identification de l'agent dont la fonction de profit doit être maximisée : si le choix du mode de transport et de l'itinéraire est effectué par l'entreprise transporteuse, la valeur du temps de transport de la marchandise peut faire partie de la fonction de profit de l'entreprise d'envoi ou de l'entreprise destinataire. Par ailleurs, l'usage qui est fait des gains de temps détermine qui bénéficie *in fine* des gains de temps puis quelle valeur leur attribuer. Dans la pratique, on peut, par exemple, observer deux types de situations qui suggéreraient d'utiliser, soit la valeur du temps chargeur, soit celle transporteur :

- le premier cas correspond à une situation dans laquelle un gain de temps sur un déplacement permet au transporteur d'optimiser sa chaîne logistique, mais sans diminuer le temps total de l'opération logistique. Il pourra ainsi utiliser plus efficacement ses véhicules (camions, bateaux ou avions) tout en continuant à offrir une prestation identique en termes de temps mais *(i)* à un prix moindre ou *(ii)* avec une meilleure qualité (par exemple une meilleure fiabilité). Du point de vue du chargeur, le temps de transport n'a donc pas changé et il serait théoriquement nécessaire d'utiliser une valeur du temps « transporteur » ;
- le second cas correspond à une situation dans laquelle un gain de temps sur un déplacement permet au chargeur de bénéficier de temps de transport effectivement plus courts et ainsi de disposer d'une réactivité accrue pour livrer ces destinataires, par exemple. Dans ce cas-là, une valeur du temps « chargeur » devrait être utilisée.

Toutefois, dans la pratique, il n'est pas possible de distinguer le premier cas du deuxième. Dans la suite, nous présentons donc une revue de la littérature sans effectuer cette distinction.

Temps de livraison, temps de transport et temps de déplacement

Selon Massiani (2003¹), la notion de temps de transport marchandises peut, selon les cas, se référer à trois concepts différents : (i) le temps de livraison (délai entre la date d'accord entre l'expéditeur et le transporteur et la date de livraison à l'entreprise destinataire), (ii) le temps de transport (comprenant toutes les opérations logistiques, dont les temps de chargement-déchargement, le temps de stockage, etc.) et (iii) le temps de parcours ou temps de déplacement, qui ne concerne que le déplacement de la marchandises entre une origine et une destination. Les deux premières mesures embrassent davantage de préoccupations propres au transport de marchandises mais en incluent qui ne sont pas directement liées à la valeur du temps. La plupart des études se sont donc concentrées sur la troisième et dernière notion, ce que nous faisons ici.

2 Revue de la littérature

Le tableau ci-dessous présente les valeurs du temps marchandises issues d'études françaises et internationales. De manière générale, la littérature sur les valeurs du temps marchandises est beaucoup moins riche (ou, à tout le moins, accessible pour le grand public à titre gratuit) que celle sur les valeurs du temps passagers. À partir du tableau, on constate que les valeurs du temps sont soit exprimées par mode soit par type de marchandises. Par ailleurs, entre deux études utilisant les mêmes unités de mesure, les valeurs du temps peuvent varier d'un facteur allant de 1 à 5.

Tableau 14 - Revue des valeurs du temps marchandises

Source	Commentaires	Valeur du temps marchandises
Modèle de trafic MODEV (CGDD)	Valeurs en € ₂₀₀₇ pour 2007.	entre 5 c€/t et 2 €/t selon le type de marchandises. Pas de valeurs par mode.
Rapport Boiteux 2 (2001)	Valeurs en € ₂₀₁₀ pour 2010 (actualisation DG Trésor)	A haute valeur 0,60 €/t ; Courants 0,20 €/t ; à faible valeur 0,01 €/t. Pas de valeurs par mode.
Bickel et al. pour HEATCO (2006) puis Handbook (2008)	Valeurs en € ₂₀₀₂ pour 2002.	Route 3,18 €/t ; fer : 1,30 €/t. Pas de valeurs par type de marchandises.
Nellthorp et al. (2001 projet UNITE)	Valeurs en € ₁₉₉₈ pour 1998.	Chargement VUL 40 € (soit environ 1,3 €/t) ; chargement PL 43 € ; fer 0,76€/t ; fluvial 0,18 €/t ; maritime 0,18 €/t ; aérien 4 €/t. Pas de valeurs par type de marchandises.
Zamparini et al. (2007)	Valeurs en USD ₂₀₀₂ pour 2002 convertis en € ₂₀₀₂ . L'article réalise une méta-analyse de 46 études (41 sur la route et 5 sur le rail) publiées entre 1990 et 2005, couvrent 22 pays situés en Europe et en Amérique du	Route 29,0 €/h/envoi ; fer 12,1 €/h/wagon. Pas de valeurs par type de marchandises.

(1) Massiani (2003), «*Can we use hedonic pricing to estimate freight value of time ?*», article présenté à la 10^e Conférence internationale sur la recherche sur les comportements dans les transports, Lucerne, Suisse.

	Nord. Les valeurs du tableau sont celles obtenues pour un calcul spécifique pour la France.	
CGDD (2005)	Valeurs en € ₂₀₀₅ pour 2005, enquête portant sur les chargeurs routiers transpyrénéens.	Route vrac 0,1 €/h/t (1,94 €/h/camion) ; route manufacturés 0,23 €/h/t (3,95 €/h/camion).

Source : revue DG Trésor. *NB* : dans leur méta-analyse, Zamparini et al (2007) ne disposent que de trois articles spécifiques pour la France : De Jong (1995), Massiani (2003) et Bickel et al. (2006) pour HEATCO, ces derniers proposant par ailleurs des valeurs sur la base de la méta-analyse de Shires et De Jong (2006).

3 Des valeurs en €/h/tonne selon le type de marchandises ou selon la mode de transport ?

Les résultats présentés dans le tableau ci-dessus indiquent que, selon les sources utilisées, l'unité de mesure de la valeur du temps dans le transport de marchandise n'est pas uniforme. Il semble donc légitime de se demander quelle est – ou quelles sont – la/les meilleure(s) unité(s) à retenir afin de proposer des valeurs « de référence ».

À première vue, des valeurs du temps en €/tonne/mode de transport semblent plus simples d'utilisation que des valeurs du temps en €/tonne différenciées selon le type de marchandises. Comme le constatent les auteurs du projet HEATCO, en termes méthodologiques, le choix fait dans certaines études d'utiliser cette unité de mesure repose sur le fait que la valeur du temps marchandises est obtenue en mesurant la variation de coûts du transporteur directement engendrés par les gains de temps (il s'agit donc ici de valeurs « transporteur »). Ces coûts comprennent principalement les salaires des conducteurs et les coûts de l'énergie.

Néanmoins, la valeur du temps est, par nature, associée à la marchandise. En conséquence, l'utilisation de valeur du temps par mode, même issue d'une moyenne des chargements transportés par le mode en question, peut être ambiguë et source d'erreurs, notamment dans le cas de projets engendrant des reports modaux¹. À titre d'exemple, si une marchandise (disons un lot de voitures devant être livré à un concessionnaire ou du matériel de construction) passe du routier au ferroviaire sans que le temps de déplacement ne soit modifié, on ne comprendrait pas que la valeur du temps associée à cette marchandise ait soudainement changé. Il est donc recommandé d'utiliser des valeurs du temps distinguées selon le type de marchandises.

(1) Dans la pratique, on peut vérifier que les reports modaux dans le transport de marchandises peuvent se produire aussi bien sur la courte distance que sur la longue distance. Sur la courte distance, le transport de matériaux de construction, qui représentent environ 50 % des tonnages transportés, peuvent utiliser aussi bien la route que le rail ou le fluvial (si les infrastructures existent). Sur très longue distance, selon la contrainte du chargeur (lancement mondial d'un nouveau produit ou approvisionnement standard), une marchandise peut transiter par avion ou par cargo. Enfin, sur moyenne distance, fer, route et fluvial peuvent tous trois être compétitifs pour un large éventail de marchandises.

À partir de la revue de la littérature, et à titre conservatoire, il est proposé de conserver les valeurs proposées dans le rapport Boiteux 2 (2001), obtenues après actualisation en €₂₀₁₀ pour 2010. Néanmoins, d'importantes recherches doivent être mises en œuvre afin de connaître la valeur du temps lors d'opérations logistiques et de pouvoir proposer une segmentation plus fine des valeurs du temps par sous-types de marchandises.

Tableau 15 - Valeurs du temps marchandises (en €2010/h en 2010)

Type de marchandises	Valeur du temps de déplacement
Marchandises à forte valeur ajoutée <i>Valeur indicative : > 35 000 €/t</i> <i>Exemples : transport combiné, conteneurs maritimes, messagerie, transports frigorifiques, route roulante, trafic roulier...</i>	0,60 €/t
Marchandises courantes <i>Valeur indicative : entre 6 000 et 35 000 €/t</i> <i>Exemples : autres trafics ferroviaires, maritimes et fluviaux</i>	0,20 €/t
Marchandises à faible valeur ajoutée <i>Valeur indicative : < 6 000 €/t</i> <i>Exemples : vrac, granulats...</i>	0,01 €/t

Source : les valeurs du temps sont issues du rapport Boiteux 2 (2001) tandis que les valeurs mercantiles des marchandises sont issues de l'article de Beuthe et Bouffioux (2008), « *Analysing Qualitative Attributes of Freight Transport from Stated Orders of Preference Experiment* » (*Journal of Transport Economics and Policy*, Volume 42, Part 1) et sont proposées à titre indicatif.

Des valeurs variant avec la distance ?

Les méta-analyses étudiées (Bickel et al. (2006) pour HEATCO et Zamparini et al. (2007)) font état du fait que les valeurs du temps marchandises ne varient pas de manière significative avec la distance. Néanmoins, ce constat devrait être étayé par de plus amples recherches, certains travaux utilisant des modélisations Box-Cox concluant plutôt à une relation croissante avec la distance¹.

4 Évolution dans le temps

Dans le rapport Boiteux 2 (2001), il était préconisé que ces valeurs varient comme le PIB avec une élasticité de 2/3. Dans les méta-analyses qui ont pu être effectuées dans les années qui ont suivies, HEATCO a tout d'abord estimé que l'évolution dans le temps suivait le PIB avec une élasticité comprise entre 0,30 et 0,40, puis Zamparini et al. (2007) ont aboutit – sur une estimation réalisée sur des données en coupe (« cross section ») – à une élasticité de la valeur du temps au PIB de 0,68.

(1) Voir notamment Gaudry M., Briand A, Paulmyer I. and C.-L. Tran (2008), « *Choix modal transpyréen ferroviaire, intermodal et routier: un modèle Logit Universel de forme Box-Cox généralisée* », In Lebacque P., Boillot F. and M. Aron (eds), *Modélisation du trafic – Actes du groupe de travail 2004-2005*, Actes INRETS N°110, p.11-119, décembre. www.e-ajd.net.

Les élasticités possibles au PIB étant relativement dispersées (comprises entre 0,3 et 0,7), il pourrait être proposé de conserver la règle d'évolution donnée dans le rapport Boiteux 2 (2001), à savoir une élasticité de 2/3. Intuitivement, l'élasticité au PIB doit effectivement être sensiblement plus faible que l'unité dans la mesure où les marchés de transport de marchandises sont relativement ouverts et que les coûts de transports varient moins entre pays que ne varient les PIB.

Valorisation des temps de marche, d'attente et de correspondance

1 Temps de marche à pied et temps d'attente du véhicule de transport

Plusieurs auteurs ont cherché à estimer la valorisation du temps de marche à pied (Goodman (2001¹), Wardman (2001 et 2010) notamment). Intuitivement, et comme lors de la valorisation du temps de parcours, dans de bonnes conditions, marcher ou attendre un moyen de transport peut avoir un coût très bas voire négatif (s'il s'agit d'une activité désirée *per se*). En revanche, dans des circonstances désagréables (marcher le long d'une voirie très fréquentée ou attendre un bus dans une zone sale et dangereuse), ces mêmes coûts unitaires peuvent être deux à trois fois plus élevés que les coûts unitaires du temps passé dans les véhicules. L'influence de tels paramètres est rapidement discutée dans la partie suivante.

Si dans certaines études, comme celle de Wardman (2001), il est observé que les valeurs du temps d'attente et de marche n'augmentent presque pas avec la distance du trajet à effectuer, d'autres, comme celle de Wardman (2010) trouvent le contraire. Enfin, le niveau de ces valeurs est parfois présenté comme changeant selon le type de mode emprunté par la suite : par exemple, un automobiliste valorise davantage son temps d'attente et de marche qu'un utilisateur de bus. Cependant, comme dans le cas de la valorisation du temps de transport, il peut s'agir de problèmes de biais de sélection dans les mesures effectuées. Les résultats les plus récents (tous modes confondus puis désagrégés selon les modes, la distance totale du trajet, et la durée de marche/attente), portant sur le Royaume-Uni, sont présentés dans les tableaux 16 et 17. Enfin, les tableaux 18 et 19 proposent des valeurs spécifiques estimées sur données respectivement suédoises et danoises.

Tableau 16 - Pondération du temps hors véhicule au Royaume-Uni

Pondérations du temps	Moyennes	Nombre d'observations	Ecart-type
Marche	1,65	296	0,74
Attente	1,70	90	0,81
Recherche	1,38	10	0,53
Temps hors du véhicule*	1,43	73	0,76

Source : Abrantes et Wardman (2010), « *Meta-analysis of UK value of time : an up-date* », *Transportation Research Part A 45 (2011) 1-7*

* Le temps hors du véhicule rassemble les temps de marche, d'attente, de sortie, et, quand les estimations sont disponibles, leur combinaison.

(1) Goodman (2001), « *A traveller in Time: Understanding Deterrents to Walking to Work* », World Transport Policy and Practice.

Tableau 17 - Pondérations appliquées à une minute dans le cas des temps d'attente et de marche selon le mode de transport et la longueur du trajet (km) au Royaume-Uni

Marche/ Attente (min)	Nombre de km du trajet complet*	Voiture		Rail		Bus	
		Marche	Attente	Marche	Attente	Marche	Attente
2	3,2	1,42	1,42	1,45	1,45	1,25	1,25
5		1,56	1,52	1,59	1,55	1,37	1,34
10		1,67	1,6	1,7	1,63	1,47	1,41
20		1,78	1,69	1,82	1,72	1,57	1,49
2	16,1	1,33	1,32	1,45	1,45	1,25	1,25
5		1,45	1,42	1,59	1,55	1,37	1,34
10		1,55	1,49	1,7	1,63	1,47	1,41
20		1,66	1,57	1,82	1,72	1,57	1,49
2	80,5	1,05	1,05	1,23	1,23	1,06	1,06
5		1,15	1,12	1,35	1,31	1,16	1,14
10		1,23	1,18	1,44	1,38	1,25	1,2
20		1,31	1,24	1,54	1,46	1,33	1,26
2	160,9	0,99	0,99	1,19	1,19	n/a	n/a
5		1,08	1,06	1,31	1,28	n/a	n/a
10		1,16	1,11	1,4	1,34	n/a	n/a
20		1,24	1,17	1,5	1,42	n/a	n/a
2	321,9	0,93	0,93	1,16	1,16	n/a	n/a
5		1,02	1	1,27	1,24	n/a	n/a
10		1,09	1,05	1,36	1,31	n/a	n/a
20		1,17	1,1	1,45	1,38	n/a	n/a

Source : Abrantes et Wardman (2010), « Meta-analysis of UK value of time : an up-date », *Transportation Research Part A 45 (2011) 1-7*. Note de lecture : sur un trajet de moins de 3,2 km majoritairement effectué en voiture, la première minute de marche est valorisée comme 1,42 minute de voiture. Notons que les auteurs mettent toutefois en doute la robustesse de leurs résultats, d'autres méta-analyses trouvant des valeurs plus proches du facteur 2.

* Les distances étaient initialement exprimées en miles.

Tableau 18 - Valeurs du temps de parcours en Suède et pondération des temps de marche à pied, d'attente et de correspondance

	Parts	Valeur du temps de parcours (SEK/h)	Coefficients de pondération	
			Du temps d'attente	Du temps de correspondance et du temps de déplacement à pied
Déplacements personnels				
Travailleurs, 90 SK	20 %	90	0,6	2,0
Travailleurs, 70 SK	50 %	70	0,6	2,0
Étudiants	15 %	25	0,5	2,0
Personnes âgées	15 %	25	0,5	2,0
Déplacements de moins de 100 km	-	20	0,5	2,0
Déplacements professionnels	100 %	220	1,2	2,0

Source : « *La dérèglementation du transport par autocar en Suède* » dans OCDE (2001), « *Les services réguliers interurbains d'autocars en Europe* »

NB : les valeurs du temps et les coefficients de pondérations sont tirés d'une étude suédoise sur les préférences déclarées et résultent aussi d'un travail de calibration propre.

Tableau 19 - Pondérations des différentes composantes du temps de transport au Danemark, hors déplacements professionnels

	Véhicule particulier	Transport public
Temps à Bord (TaB)	67 DKK ₂₀₀₄ (9 € ₂₀₀₄) par heure	
Valeurs relatives		
Temps de congestion	1*TaB	
Temps de recherche de parking	1,5*TaB	
Temps d'accès/sortie	1,5*TaB	1,5*TaB
Premium de correspondance		6 min ou 7 DKK ₂₀₀₄ (0,9 € ₂₀₀₄)
Premium de planification, T*=12 min		
Faible période T < 12 min		1*T*TaB
Haute période T > 12 min		[12+0,4*(T-12)]*TaB
Temps d'attente en correspondance		1,5*TaB

Source : Fosgerau et al. (2007), « *The Danish Value of Time Study* »

NB : le premium de planification correspond à la désutilité engendrée par la planification nécessaire en cas de faible fréquence (ou haute période) des services de transport public. Afin d'éviter les doubles comptes, la prise en compte du premium de planification implique la non prise en compte du temps d'attente au départ du trajet.

2 Valorisation des caractéristiques du temps d'attente

Dans la majeure partie des articles sur la valeur du temps, des valorisations des caractéristiques du temps d'attente sont proposées (protection des intempéries, propreté, sécurité, niveau de service, etc.). En revanche, les évaluations sont plus

rare concernant les caractéristiques du temps de marche. Quelques estimations monétaires des *caractéristiques* propres aux zones d'attente d'autobus en Angleterre sont données ci-dessous. Tenant compte du fait que leurs valeurs sont relativement faibles, ainsi que du fait que les transports longue distance transitent la plupart du temps par des stations désormais bien équipées, ces aspects sont généralement négligés.

Tableau 20 - Valorisation monétaire des caractéristiques des zones d'attente d'autobus en Angleterre

Caractéristiques des stations de bus	Valeur (£/trajet)
Espace fermé et protégé de la pluie	[4,5 ; 5,6]
Lumière aux arrêts	3,1
Sièges moulés aux arrêts	3,4
Sièges rabattables aux arrêts	2,2
Bancs aux arrêts	0,9
Stations substantiellement sales	- 11,8

Source: Steer Davies Gleave (1996), dans R. Balcombe (2004) « The demand for public transport: a practical guide »

Annexe 7

Prise en compte du confort dans les transports en commun urbains

Le confort est ici appréhendé comme le *taux de remplissage des transports en commun urbains* : plus le véhicule (métro, bus, tram, train de banlieue) connaît un taux de chargement élevé, plus il y a d'usagers obligés de se tenir debout et serrés, et plus le mode de transport est perçu comme inconfortable.

Afin de valoriser l'inconfort, on propose donc un lien entre densité d'usagers debout par mètre carré et un coefficient dénommé « *multiplicateur du temps de parcours* ». Ce multiplicateur permet de passer du temps de parcours « réel » au temps de parcours « psychologique », tel qu'il est perçu par l'usager. Cette démarche s'inscrit dans le cadre de plusieurs travaux de recherche, dont certains spécifiques à l'Île-de-France.

Dans la méta-analyse britannique proposée par Wardman et Whelan (2011¹), la valeur moyenne du multiplicateur d'inconfort s'établit à 1,19 pour les personnes assises et 2,32 pour les usagers debout. Ils constatent par ailleurs que l'augmentation du taux de charge du véhicule engendre une hausse de la valeur du multiplicateur du temps de parcours, qu'il s'agisse des personnes assises ou debout.

À partir de plusieurs études menées au Royaume-Uni, aux États-Unis, en Australie et en Israël, Li et Hensher (2011) estiment que le multiplicateur d'inconfort est compris entre 1,34 et 2,00.

Dans le cas des transports en commun français, quatre études se sont intéressées spécifiquement au réseau de transport francilien.

La première de Debrincat et al. (2006), centrée sur l'étude des radiales d'Île-de-France, trouve que la valeur du multiplicateur d'inconfort est comprise entre cinq et plusieurs dizaines de minutes équivalentes supplémentaires sur les temps de trajets, soit, étant donné les durées moyennes de trajet sur ces réseaux, un multiplicateur compris entre environ 1,30 et 1,90.

La seconde et la troisième étude, toutes deux réalisées par Haywood et Koning (2012a, 2012b²), proposent pour les voyageurs debout des valeurs du multiplicateur globalement comprises entre 1,12 (pour une densité de 2 passagers debout au m²) et 1,69 (pour 6 passagers au m²). Cet intervalle de valeurs est par ailleurs confirmé par un article supplémentaire, en cours de publication par les auteurs à la date de rédaction du présent rapport.

(1) Wardman et Whelan (2011), « *Twenty Years of Rail Crowding Valuation Studies: Evidence and Lessons from British Experience* ».

(2) Haywood, Koning (2012a) : « *Avoir les coudes serrés dans le métro parisien : évaluation contingente du confort des déplacements* », A paraître. Haywood, Koning (2012b), « *Estimating Crowding Costs in Public Transport* », Work in progress.

Enfin, une étude du cabinet Significance pour le STIF (2012¹) aboutit au fait que le multiplicateur d'inconfort varie pour les voyageurs assis (respectivement debout) entre 1,00 (resp. 1,25) et 1,43 (resp. 1,61).

On retient de ces études que le multiplicateur d'inconfort est compris entre 1 (quand les usagers sont assis) et 1,1 (quand les usagers sont debout serrés) lorsque seules quelques personnes sont contraintes à se tenir debout et que, pour les personnes assises comme pour celles debout, la valeur du multiplicateur augmente avec le taux de charge du véhicule pour atteindre dans le pire des cas des valeurs proches de 2,5 pour les personnes debout serrées. Par ailleurs, l'utilisation d'une mesure du taux de charge en nombre de personnes debout par m² semble préférable à une mesure en pourcents de la capacité de sièges en durs. En effet, le même taux de charge en pourcents peut conduire, selon les types de métros, trains ou bus, à des sensations d'inconfort incomparables.

La littérature étant relativement concordante sur le sujet, l'évolution des valeurs du multiplicateur du temps de parcours a été déterminée de façon à être proche des résultats de la dernière étude en date réalisée sur le cas français, à savoir l'étude Significance-STIF de 2012, tout en étant simple d'application :

- à partir de l'instant où un passager ne plus peut s'asseoir dans un véhicule et est contraint de rester debout, 1 minute de temps de transport est perçue par cette personne comme 1,25 minute équivalente ;
- lorsque le taux de remplissage continue d'augmenter (et que davantage de personnes doivent se tenir debout dans le véhicule), les enquêtes de préférences déclarées ont abouti au fait que la fonction liant taux de remplissage des véhicules et sensation d'inconfort était affine par morceaux. La pente des différents segments étant néanmoins proche dans tous les cas de figure étudiés, il a été retenu que chaque personne debout supplémentaire par m² augmenterait le multiplicateur d'inconfort d'un facteur constant, égal à 0,08 pour les personnes assises et 0,09 pour les personnes debout ;
- deux décisions ont été prises par la Commission qui ne relevaient pas des conclusions du travail du STIF : la première est que le STIF constatait qu'à partir du moment où un passager ne pouvait plus s'asseoir, alors, en plus d'un coût variable fonction du nombre de personnes debout, le coût fixe des passagers assis était aussi augmenté. On constatait donc une discontinuité entre avant et après introduction du premier passager debout. Cette discontinuité s'explique pas le fait qu'avant même saturation de la capacité des places assises, la désutilité des voyageurs assis augmente (car voyager assis serré est moins agréable que voyager assis non-serrés ou encore car certains passagers préfèrent voyager debout plutôt que de s'asseoir serrés). La désutilité croissante de voyager assis serré n'étant pris en compte pour aucun des modes de transport jusqu'à présent (on considère toujours qu'une minute assis « vaut » une minute de temps de transport), la Commission a préféré maintenir la même modélisation du confort pour toutes les personnes assises et ne prendre en compte le confort qu'à partir du moment où la saturation des places assises est avérée. L'augmentation du coût fixe pour les passagers assis une fois l'introduction des passagers debout n'a donc pas été prise en compte. Deuxièmement, le domaine de validité de l'étude concernait des niveaux de densité de passagers debout allant de 0 passager/m² à

(1) Significance (2012), « *The value for comfort in Ile-de-France* », Work in progress.

4 passagers/m² en moyenne¹. Sans éléments complémentaires, la Commission a donc fait l'hypothèse qu'au-delà de ce niveau, la pente du multiplicateur d'inconfort était prolongée linéairement.

La proposition de multiplicateur d'inconfort est donc la suivante :

Tableau 21 - Valeurs du multiplicateur d'inconfort selon la densité de passagers debout au mètre carré

Situation de l'utilisateur dans le mode, tous modes confondus (tram, métro, bus, train de banlieue)	Évolution du multiplicateur K(p) du temps réel selon le nombre de passagers debout « p » par m ² dans le véhicule	
	pour des situations où des places assises en dur sont disponibles	Pour 4 > p > 0
Assis	K(p) = 1,00	Ka(p) = 1,00 + 0,08*p
Debout		Kd(p) = 1,25 + 0,09*p

Source : DG Trésor d'après STIF (2012)

(1) Si le niveau maximal de 4 passagers/m² peut sembler faible, c'est qu'il s'agit d'un taux *moyen* entre zones dites « centrales » (i.e. situées près des portes d'entrée/sortie du véhicule) et zones de couloir. Pour un véhicule possédant 10 m² de zones centrales et 5 m² de couloirs, une densité moyenne de 4 passagers/m² peut par exemple correspondre à une situation de 5,5 passagers/m² en zones centrales et 1 passager/m² en zones de couloir.

Méthodes de valorisation de la fiabilité du temps de transport

Les gains moyens de temps de transport sont souvent les bénéfices les plus importants dans les analyses coûts-bénéfices des projets de transport. Néanmoins, les enquêtes de préférences déclarées ainsi que les comportements observés révèlent que, dans le transport de marchandises comme dans celui du transport de passagers, la *fiabilité* du système de transport peut elle aussi être déterminante. Aux États-Unis par exemple, un intérêt notable s'est développé à ce sujet. Comme le soulignent les travaux de Markovich (2009¹) pour l'État de Floride (États-Unis), de bonnes mesures de la fiabilité du temps de parcours, ainsi que de la manière dont les individus valorisent ce paramètre, ont en effet été primordiales pour connaître les propensions à payer des automobilistes pour les voies « HOT » ou « HOV » (*High Occupancy Toll lanes* ou *High Occupancy Vehicules lanes*), des voies plus chères d'accès, réservées aux véhicules à fort taux d'occupation, mais en conséquence moins congestionnées et augmentant la fiabilité du temps d'arrivée.

Afin de compléter la méthodologie des analyses coûts-avantages, il est donc utile de définir la notion de fiabilité, savoir comment la mesurer et savoir comment les usagers la valorisent quantitativement. On se concentre ici sur la fiabilité temporelle, i.e. la capacité des systèmes de transports à permettre à leurs usagers d'arriver à l'heure prévue à destination.

1 Comment définir la fiabilité dans les transports ?

Au sens large, la fiabilité d'un système correspond à la probabilité de bon fonctionnement du système étudié. Pour un client d'un mode de transport, le LVMT (Laboratoire ville mobilité transports) estime² que la fiabilité rassemble les notions suivantes, non entièrement disjointes :

- le respect de la disponibilité programmée (dite « *fiabilité temporelle* »). Il s'agit du respect des horaires, la possibilité d'accéder aux services, etc ;
- le respect de la qualité de service (dite « *fiabilité qualitative* »). Cela concerne le respect du temps de parcours annoncé, la disponibilité des places assises, l'attente en gare, etc. ;
- la réactivité face aux perturbations (dite « *fiabilité adaptative* »), soit la capacité de résorption du système en cas d'incident, la bonne diffusion de l'information aux clients, etc.

(1) Markovich (2009), «*Synthesis of research on value of time and value of reliability*», Florida Department of Transport.

(2) LVMT, «*Inconfort, irrégularité, redondance*», Présentation PowerPoint du 15 décembre 2010 à destination du comité scientifique pour l'évaluation du projet EOLE.

La présente annexe se concentre sur la fiabilité temporelle et a pour objectif de faire une revue des travaux permettant de mesurer cette fiabilité et d'estimer comment les usagers des modes de transport la valorisent. On note que, dans la suite du document, on utilisera de manière indifférenciée les notions de « régularité » ou de « fiabilité » pour faire référence à la notion de fiabilité du temps de transports.

Enfin, au regard des travaux académiques, on remarque que valorisation de la fiabilité du temps de transport correspond à la désutilité provenant du caractère *aléatoire* du temps d'arrivée, qu'il s'agisse d'arriver en avance ou en retard¹. Aussi, une telle variation du temps d'arrivée exclut donc les facteurs anticipés (mauvais temps, traversée d'un bassin d'emplois congestionné, retards réputés « presque certains »...) et comprend uniquement les variations du temps de transports dues à des facteurs inattendus (collision de véhicule, changement brusque des conditions météorologiques, etc.).

Notons que le choix consistant à exclure de l'analyse de la fiabilité aux variations prévisibles du temps de trajet implique donc, par exemple, que les usagers du RER parisiens valorisent les retards répétés (et donc prévisibles) de la pointe matinale comme de simples minutes de trajet supplémentaires. Si l'on sait que les usagers seraient néanmoins prêts à payer davantage pour que cette irrégularité quotidienne soit réduite, l'approche présentée plus haut implique de considérer que cette disposition à payer est assimilable à une disposition à payer pour réduire le temps de trajet moyen.

2 Comment mesurer la fiabilité du temps de transport ?

De manière générale, la littérature académique (théorique et empirique) suggère qu'il existe de légères différences dans la manière de mesurer la fiabilité selon qu'il s'agit de transports privés ou de transports publics.

2.1 La fiabilité dans les transports publics est souvent mesurée par la variabilité non-prédictible des *retards*

Dans le cas de transports publics où il existe des horaires d'arrivées prévues à l'avance (typiquement les trains interurbains), la notion de fiabilité est souvent appréhendée comme la capacité à ne pas arriver en retard par rapport à l'horaire prévu. Par ailleurs, il est souvent fait l'hypothèse que les opérateurs de transports publics essaient d'éviter les arrivées en avance dans chacune des stations, de telle sorte que seules les arrivées en retard sont étudiées. La longueur et la fréquence des retards sont deux éléments qui doivent être précisés afin d'obtenir une spécification fine du phénomène d'irrégularité.

Dans le cas de transports publics où les horaires d'arrivée ne sont pas prépondérants mais où le service est construit sur le respect d'une certaine fréquence entre les véhicules (typiquement les services de bus urbains), la notion de fiabilité est appréhendée comme la capacité à respecter cette fréquence.

(1) En effet, s'il est relativement intuitif que les individus sont plus averses au risque d'arriver en retard qu'à celui d'arriver en avance, arriver en avance peut aussi produire une désutilité car le gain de temps réalisé n'est pas aisément convertible en temps productif et car un usage optimal de l'activité au départ aurait pu être fait, tout en arrivant à l'heure (voir Small, 1982).

2.2 La fiabilité en cas de transport en véhicule particulier est souvent mesurée par la variabilité non-prédictible des temps de trajets

Dans le cas des transports privés effectués en véhicules particuliers, la littérature¹ souligne qu'il est raisonnable de considérer que les usagers de la route connaissent, à chaque période de la journée, les durées médianes des trajets qu'ils envisagent. La fiabilité doit alors être mesurée par la variation *non-prédictible* des temps de transports autour de ces valeurs médianes.

3 Comment valoriser la fiabilité du temps de parcours dans les analyses coûts-avantages ?

Au regard de la littérature académique, la valorisation de la non-fiabilité sur une liaison origine-destination (O-D) dans les fonctions d'utilité des voyageurs reposent généralement sur deux grands types d'approches : celle de la *moyenne-variance* et celle de la *planification* (ou « *écart-horaire* »).

La première approche (*moyenne-variance*) suppose que les usagers d'un axe de transport endurent des coûts, d'une part, dus au temps moyen de transport et, d'autre part, à la variation du temps de transport en soi. Cette approche utilise donc des fonctions d'utilité de la forme suivante :

$U = \text{prix} + \alpha \cdot \text{Temps moyen} + \beta \cdot V(T)$, avec $V(T)$ une mesure de la dispersion des temps de transport. Les coefficients sont tels que α représente la valeur monétaire d'une unité de temps et $\frac{\beta}{\alpha}$ la valeur monétaire de la variabilité par rapport à celle d'une unité de temps (aussi appelée « *reliability multiplier, RR* »).

Ces fonctions d'utilité dépendent donc directement de la variabilité du temps de transport, par exemple en introduisant – en plus du coût financier du transport et du coût du temps – une mesure de la variabilité des horaires d'arrivées telle que la variance ou l'écart-type. Il s'agit de mesurer l'aversion au risque des voyageurs. On note que cette approche délivre des résultats symétriques qu'il s'agisse d'arrivées antérieures ou postérieures à l'heure d'arrivée prévue. Par ailleurs, elle est facile à mettre en œuvre puisqu'il n'est pas nécessaire de connaître parfaitement la distribution des temps de parcours mais seulement leur moyenne et une mesure de leur dispersion (écart-type ou variance, classiquement).

En revanche, lorsque la distribution des temps de trajet est très asymétrique, la répartition des temps de parcours n'est pas correctement représentée par ces grandeurs agrégées. Ceci explique notamment que cette méthode ne soit que rarement utilisée pour les transports en commun fonctionnant sur la base d'horaires d'arrivée fixes². Enfin, de manière légèrement différenciée, certaines méthodes utilisent d'autres mesures caractérisant les fonctions de distribution de temps de parcours (différences entre centiles, notamment) plutôt que la variance ou l'écart-type.

(1) Voir notamment Markovich (2009) pour une synthèse.

(2) Peu d'arrivées sont effectuées avant l'heure prévue, la majeure partie des arrivées sont effectuées à l'heure, puis quelques arrivées sont effectuées avec des retards moyens ou importants.

Cohen et Southworth (1999¹) et Markovich (2009) présentent plusieurs estimations du paramètre β/α présentes dans la littérature. La plupart des résultats concernent des trajets domicile-travail effectués en voiture. Ces résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous, avec différents indicateurs mesurant la variabilité du temps de parcours $V(T)$.

La connaissance de la fonction de distribution des temps de parcours ou, à défaut, de certaines grandeurs statistiques relatives à cette distribution (variance, niveau du 90^e percentile, etc.) est un prérequis à la valorisation de la fiabilité. Par ailleurs, notons que, jusqu'à présent, la Commission n'a pas connaissance d'articles proposant une valorisation de la fiabilité pour d'autres modes que le routier ainsi que pour du transport de marchandises avec cette approche.

Tableau 22 - Revue des valorisations de la variation du temps de parcours

Auteurs	Périmètre de l'étude	Définition de $V(T)$	Estimation de la valeur de la variation du temps de parcours
Brownstone et Small (2003)	Données de 1996-2000 sur deux voies « HOT » de Californie	Différence entre le 90 ^e centile et la médiane des temps de parcours	95 % à 140 % de la valeur du temps
Black et Towriss (1993)	Données londonniennes d'une étude sur les préférences révélées	Écart type des temps de parcours	55 % à 70 % de la valeur du temps
Small et al. (1995)	Données californiennes sur les trajets domicile-travail en matinée	Écart type des temps de parcours	127 % de la valeur du temps, le prix du trajet étant exclu de la régression
Small et al. (1997)	Données californiennes sur les trajets domicile-travail en matinée	Écart type des temps de parcours	131 % de la valeur du temps
Small, Noland, Chu and Lewis (1999)	Étude de 1995 sur les préférences révélées en Californie	Écart type des temps de parcours	Moyenne de 237 % de la valeur du temps pour les individus de revenus médians, valeur pouvant atteindre plus de 300 % pour les trajets professionnels et les hauts revenus
Tilahun et Levinson (2007)	Étude sur les préférences révélées d'employés de l'Université du Minnesota	Différence entre les horaires d'arrivée, des employés étant arrivés en retard et les horaires moyens du mode emprunté	100 % de la valeur du temps
Tseng, Ubbels, et Verhoef (2005)	Données hollandaises de 2004 issues d'enquêtes sur des trajets domicile-travail	Différence entre l'horaire d'arrivée des employés (qu'ils soient en avance ou en retard) et l'horaire	50 % de la valeur du temps.

(1) Cohen et Southworth (1999), «*On the measurement of travel time variability due to incidents on free-ways*», Transportation and Statistics.

		souhaité. Les arrivées en avance et en retard sont analysées séparément	
Hamer et al. (2005), Kouwenhoven et al. (2005)	Valeurs préconisées dans l'étude européenne HEATCO de 2006.	Écart type des temps de parcours	80 % de la valeur du temps pour les déplacements VP, 140 % dans les trains/trams/métros/bus (sans distinction de motif), et 120 % pour le transport routier de marchandises.

Sources : DG Trésor d'après Cohen et Southworth (1999), Markovich (2009), et Bickel et al. pour HEATCO (2006)

Au regard de la diversité d'indicateurs mesurant la variabilité du temps de parcours, ainsi que des différences entre les estimations de la valorisation de cette variabilité, Markovich (2009) recommande *in fine* :

- la mesure de la variabilité du temps de parcours comme l'écart entre le 90^e centile et la médiane des temps de parcours, normalisé par la valeur médiane du temps de parcours ;
- la pondération de l'indicateur de variabilité comme 80 % à 100 % de la valeur du temps dans des circonstances ordinaires (i.e. sans contraintes horaires majeures) ;
- la pondération de l'indicateur de variabilité jusqu'à 300 % de la valeur du temps, dans des cas d'horaires de départ ou d'arrivée inflexibles.

La seconde approche (planification ou écart-horaire) capture indirectement les coûts d'arrivée en avance ou en retard en observant comment les utilisateurs adaptent leurs horaires de départ afin de modifier la probabilité d'arriver trop tôt ou trop tard. La fonction d'utilité des usagers est donc de la forme suivante :

$U = \text{prix} + \alpha \cdot \text{Temps moyen} + \beta \cdot \text{SDE} + \gamma \cdot \text{SDL} + \delta \cdot D_{\text{retard}}$, avec SDE l'écart à l'avance par rapport à l'horaire d'arrivée souhaité, SDL l'écart au retard par rapport à l'horaire d'arrivée souhaité et D_{retard} une variable dichotomique valant 1 en cas de retard et 0 sinon attribuant un surcoût à une arrivée en retard indépendamment de sa longueur. Le ratio γ/α (parfois appelé « *reliability multiplier (RM)* ») correspond alors au ratio entre valeur d'une minute de retard et valeur d'une minute de temps de parcours. Notons que selon la forme de la fonction d'utilité, ce ratio peut parfois être confondu avec celui de « *reliability ratio (RR)* ». A notre sens, le RR correspond au cas où la fonction d'utilité est de la forme « moyenne-variance », et il est alors défini comme le ratio entre un point d'écart-type et une minute de temps moyen.

Lors de la maximisation de la fonction d'utilité de l'utilisateur, on constate donc (si $|\gamma| > |\beta|$, ce qui est généralement vérifié¹⁾) que l'utilisateur prend une marge pour limiter le risque d'arriver en retard. Ce type de modèle fonctionne sans restriction lorsque l'utilisateur peut choisir librement son horaire de départ.

(1) On peut néanmoins trouver des cas où les arrivées en avance causent davantage de désutilité que les arrivées en retard, en particulier dans le cas du transport routier.

Quelques valeurs du « *reliability multiplier* » estimées dans la littérature sont reprises dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 23 - Revue des valeurs du « reliability multiplier »
Valeurs issues de la littérature**

Source	Equivalent-temps d'une minute de retard (en minutes)	Précisions sur le marché étudié (mode, pays, distance,...etc.)
De Palma, Rochat (1996)	2,7	TRANSPORT URBAIN, Suisse <i>Etude sur les déplacements de l'agglomération de Genève</i>
Rietveld et al. (2001)	2,5	TRANSPORT PUBLIC, Pays-Bas <i>Etude de chaînes multimodales : métro, bus, train.</i>
Wardman (2001)	Valeur moyenne = 7,4 Intervalle à 90% = 1,94 – 14	META-ANALYSE : tous modes, Europe <i>330 études, 1180 valeurs obtenues, qui concerne aussi bien les valeurs du temps en véhicule, en cas de congestion, en cas de retard...etc.</i> <i>Concernant spécifiquement le coefficient de pénibilité du temps de retard : 5 études, 11 valeurs observées.</i> <i>A priori obtenue sur des enquêtes SP – pas de précision sur les modes étudiés.</i>
Passenger Demand Forecasting Handbook (2005)	6,1 (billet tarif normal) 4,2 (billet à tarif sous condition)	FER, Grande Bretagne <i>Ces valeurs concernent les voyageurs des trains à grande vitesse. Elle dépend du type de billets achetés par le voyageur.</i> <i>Le PDFH précédent, de 1984, indiquait une valeur de 2,5 pour tous les marchés ferroviaires</i>
Kroes & Duchâteau (2006) <i>calculs du multiplier réalisés et présentés dans l'article Börjesson & Eliasson (2011)</i>	Pendulaires domicile-travail : • retards de 5 à 15 min : 5 – 9 • retards de 15 à 60 min : 4 – 5 Autres motifs : • retards de 5 à 15 min : 4 – 12 • retards de 15 à 60 min : 5 – 6	FER, France <i>Voyageurs des radiales ferrées de l'Île de France (Transilien et RER)</i>
Abrantes & Wardman (2011)	Valeur moyenne = 6,4 Ecart-type = 3,8	META-ANALYSE (mise à jour de celle de 2001) : tous modes, Europe <i>226 études (dont le quart sur le mode ferroviaire), 1749 valeurs obtenues</i> <i>Concernant spécifiquement le coefficient de pénibilité du temps de retard : 8 études, 23 valeurs observées.</i> - <i>18 concernent des déplacements inférieurs à 20 miles (d < ~32km)</i> - <i>1 concerne des déplacements entre 100 et 200 miles (~160km < d < 320km)</i> - <i>4 concernent des déplacements supérieurs à 200 miles (d > ~320km)</i>
Börjesson & Eliasson (2011)	Fréquence de retard de 5% : 7 – 17 Fréquence de retard de 20% : 4 – 9	FER, Suède <i>Enquêtes réalisées auprès des voyageurs des trains reliant Stockholm, Norrköping et Göteborg. (Stockholm – Norrköping : 160km, Stockholm – Göteborg : 470km)</i>

Source : revue de la littérature effectuée par RFF (2012)

Enfin, deux indicateurs sont parfois calculés et mis à disposition du public¹ : (a) l'indicateur de marge (« *buffer time* ») et (b) l'indicateur du temps de planification.

Le premier représente le temps *additionnel* qu'un usager doit ajouter à son temps de parcours moyen (variant avec la période de la journée) pour s'assurer d'arriver à temps avec une probabilité de 95 %. Le second représente le temps *total* qu'un utilisateur doit prévoir pour s'assurer d'arriver à temps avec une probabilité de 95 %, incorporant ainsi les perturbations « classiques » (ex : congestion), ainsi que les perturbations inattendues (ex : accident sur la voie). La figure 14 propose une représentation graphique. L'avantage du second indicateur (indicateur du temps de planification) est de pouvoir être directement comparé avec le temps de parcours moyen².

Notons que dans la pratique, *via* la méthode de planification, il s'avère difficile d'estimer les conséquences d'une perte de fiabilité sur l'utilité des usagers : en effet, étant donné que lors de l'observation des comportements, il n'est pas possible de savoir si l'heure de départ choisie par le voyageur correspond ou non à une anticipation de la variabilité du temps de transport, il est nécessaire de procéder à une simulation détaillée de l'ajustement des décisions des usagers.

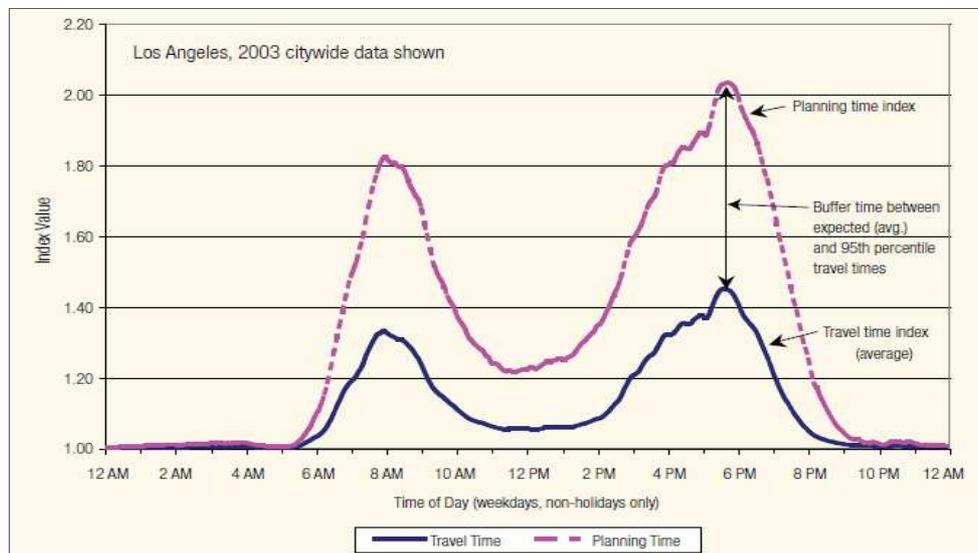
Comme le mentionne le SETRA (2012³) [citant Fosgerau et Karlström (2007)] le modèle de moyenne-variance est en réalité une forme simplifiée du modèle d'écart-horaire. À la question de savoir quel modèle préférer afin de représenter la valorisation par les usagers de l'irrégularité des temps de parcours, le SETRA (2012) préconise d'apprécier les éléments suivants : un modèle de *variance-moyenne* est plus facilement mis en œuvre qu'un modèle d'écart-horaire, si tant est qu'il est possible de connaître l'évolution de l'écart-type et de la moyenne des temps de parcours. Néanmoins, il présente deux inconvénients qui peuvent nécessiter de mobiliser des modélisations *ad hoc* : (i) le modèle est symétrique, ce qui néglige par définition les asymétries de la fonction de distribution de temps de parcours et (ii) le modèle reflète une dispersion « moyenne », et tend donc à sous-estimer l'importance des très longs retard imprévus et peu fréquents.

(1) Voir par exemple le site du *Washington State Department of Transport* : <http://...>

(2) Par exemple, un indicateur de Buffer égal à 0,5 correspond à un temps de trajet moyen auquel il faudrait ajouter 50 % pour être sûr à 95 % d'arriver à l'heure. L'indicateur de planification égal à 1,5.

(3) SETRA (2012), « *Fiabilité des temps de parcours – Éléments de valorisation économique* », Collection « Les rapports » du SETRA.

Figure 14 - Représentation graphique de l'indicateur temps de planification, de l'indicateur Buffer, et de l'indicateur temps de parcours (normalisé à un en cas de trafic fluide)



Source : « Los Angeles 2003 citywide data show », dans le document "Travel Time Reliability", Federal Highway Administration, U.S. Department of Transport.

4 Quelles sont les études existantes appliquées à la France et qu'indiquent leurs résultats sur la valorisation de la fiabilité ?

Ces dernières années, plusieurs études ont été menées par le STIF, par RFF et par SNCF (cf. annexes n° 9, 10, 11¹) pour connaître la manière dont les usagers des modes de transports ferrés valorisent la fiabilité du temps de transport. *A contrario*, les connaissances font défaut pour le transport aérien. Dans le cas des transports de marchandises, la Commission n'a eu connaissance que d'une étude, réalisée par le Ministère de charge des transports (2005²), sur le transport routier transpyrénéen.

Les méthodes employées par le STIF et par RFF sont relativement similaires. Toutes deux reposent sur des enquêtes de préférences déclarées réalisées directement auprès des usagers. De plus, la représentation de la fonction d'utilité des usagers ne correspond directement ni à l'approche de *moyenne-variance* ni à celle de *planification horaire*, mais plutôt à une spécification permettant d'estimer l'impact de l'augmentation d'un point de pourcentage de trains en retard pour une origine-destination-horaire donnée. La spécification générale de la fonction d'utilité utilisée est la suivante :

(1) Le STIF a étudié la valorisation de la fiabilité auprès des usagers des radiales ferrées d'Île-de-France, RFF auprès des usagers du TGV (en région parisienne et en province) et la SNCF auprès des usagers du Transilien.

(2) Ministère en charge des transports (2005), « Enquête de préférences déclarées sur le choix modal en transport de marchandises transpyrénéen ».

$$U = p + f(T) + \sum_{p > 5 \text{ minutes}} \beta_i \cdot (\% \text{ de trains en retard de plus de } p \text{ minutes}) + \gamma \cdot Z$$

avec p le prix du transports, $f(T)$ une fonction du temps de transport, et Z des variables de contrôle pouvant notamment porter sur les niveaux de confort dans les véhicules et sur le niveau d'information sur les perturbations. Les coefficients de cette fonction d'utilité peuvent être estimés avec des motifs de déplacements séparés ou confondus.

Les résultats aboutissent à estimer l'impact sur l'utilité des usagers (en minutes de transport équivalentes) de l'augmentation d'un point de pourcentage de trains en retard. Les résultats synthétisés sont les suivants :

- selon les motifs du trajet, la longueur du retard, et la fréquence des retards, **le STIF estime qu'un pourcent additionnel de train en retard équivaut entre 0,5 et 1,8 minute de temps de transports ;**
- en ayant choisi de rassembler tous les trains en retard de plus de 5 minutes dans la même variable (i.e. que tous les β_i sont égaux à β dans la fonction d'utilité ci-dessus), **RFF estime qu'un pourcent additionnel de trains en retard (quelle que soit la longueur du retard) équivaut à 2,6 minutes de temps de transports.** Cette estimation, plus élevée que celle du STIF, peut provenir de plusieurs phénomènes :
 - ✓ le choix d'avoir considéré tous les retards supérieurs à 5 minutes de la même manière ;
 - ✓ le type de clientèle du TGV par rapport à celle des radiales d'Île-de-France (plus aisée en moyenne et tolérant moins les retards) ;
 - ✓ le fait que les voyages en TGV supposent peut-être davantage de correspondances avec un autre mode reposant sur des horaires de départ précis (autre TGV ou aérien), ce qui augmente substantiellement les coûts endurés en cas de retard.

La méthode employée par la SNCF s'approche de celle de la *moyenne-variance* et correspond à celle préconisée par le DfT britannique (cf. annexe n° 12) pour les transports publics, en ce qu'une distinction est apportée entre « ponctualité » (respect des horaires) et « régularité » (mesure de la variabilité des écarts aux horaires). Elle est aussi construite sur une enquête de préférences révélées. Par ailleurs, comme dans les études de RFF et du STIF, l'importance du confort et de l'information est aussi prise en compte, ce que nous ne détaillons pas ici. La fonction d'utilité des usagers distingue donc retards moyens (supérieures à 5 minutes) et écart-type des retards, et possède l'originalité de distinguer la valorisation des retards selon qu'ils adviennent pendant le temps d'attente sur le quai ou pendant le temps de transport. La forme générale est donc la suivante :

$$U = p + \alpha \cdot \mathbb{E}(T) + \sum_{\substack{\text{retard en attente} \\ \text{retard en transports}}} (\beta \cdot \mathbb{E}(\text{retards}) + \gamma \cdot \sigma(\text{retards}))$$

Avec p le prix du transport, $\mathbb{E}(T)$ le temps de transport moyen, $\mathbb{E}(\text{retards})$ la durée moyenne des retards et $\sigma(\text{retards})$ l'écart-type des retards. Dans ce modèle aussi, les coefficients de cette fonction d'utilité peuvent être estimés avec des motifs de déplacements séparés ou confondus. Les résultats quantitatifs n'étaient pas encore disponibles à la date de rédaction de la présente note.

En définitive, il apparaît que :

- afin de valoriser les variations de fiabilité dans les analyses coûts-bénéfices, il est nécessaire de disposer de modèles qui permettent d'estimer quel sera l'impact d'un projet sur la fonction de distribution des temps de parcours. En l'absence de tels modèles, il n'est pas possible d'obtenir les grandeurs descriptives de l'irrégularité après mise en œuvre des projets (i.e. la variance des temps de transport, l'écart-type, la moyenne des retards, etc.) auxquelles il convient d'appliquer des valeurs tutélaires ;
- par ailleurs, puisque ces modèles semblent encore peu robustes, il semble préférable de n'aborder – pour le moment – que les aspects de fiabilité sous la forme de tests. De cette manière, les évaluations socio-économique devraient ainsi être réalisées avec et sans prise en compte de l'impact sur la fiabilité. Pour comparaison, il s'agit notamment de la recommandation faite par le *Department for Transport (DfT)* britannique (cf. annexe n° 12).

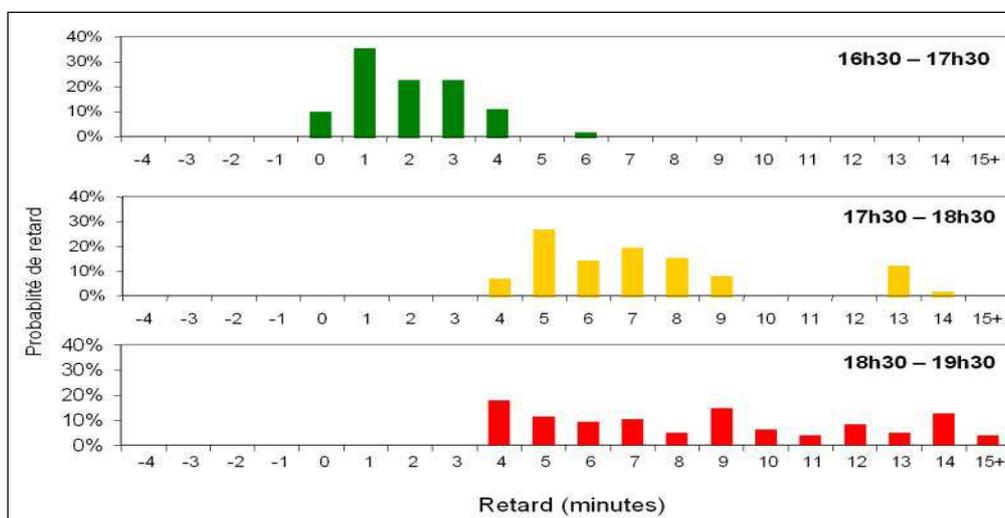
Annexe 9

Valorisation de l'irrégularité sur les radiales ferrées d'Île-de-France (étude STIF 2006)

Entre 2002 et 2005, le STIF a étudié la valorisation de l'irrégularité des radiales ferrées d'Île-de-France *via* une enquête de préférences déclarées. L'étude comprenait aussi des résultats sur la valorisation du confort et de l'information qui ne sont pas abordés dans la présente annexe.

L'analyse de la distribution des retards a fourni les résultats suivants : la pointe du matin semble connaître une exploitation régulière. En revanche, des signes d'irrégularité apparaissent dès le début de la pointe du soir (*cf.* graphique ci-dessous). La fin d'après-midi connaît des « petits retards » variant de 1 à 5-6 minutes. Ces petits retards s'accumulent au cours de la soirée, de telle sorte qu'en fin de soirée les retards peuvent dépasser les 15 minutes. Il a donc été choisi de distinguer petits retards (de 5 à 15 minutes) et longs retards (au-delà de 15 minutes).

Figure 15 - Distribution des retards sur les radiales d'IDF lors de la pointe du soir



Source : STIF (2006)

L'enquête de préférences déclarées a été menée sur 1 200 voyageurs, représentatifs des différents types de lignes (régularité et fréquence) et des différents motifs de déplacements (domicile-travail et motifs personnels). L'analyse bibliographique, la caractérisation de l'irrégularité et la phase quantitative ont permis de cerner les attributs des trajets à tester pour représenter l'irrégularité perçue par les voyageurs. Il s'agit des variables suivantes :

- durée du trajet ;
- proportion de trains rencontrant des « petits » retards (entre 5 et 15 minutes) ;

- Valeurs du temps -

- proportion de trains rencontrant des « grands » retards (sup. à 15 minutes) ;
- le niveau de confort – 3 niveaux testés : assis/debout/debout et serré ;
- le niveau d'information – 3 niveaux testés : pas d'information/information sur la cause des retards/information sur la cause des retards et estimation de leur ampleur ;
- le prix du trajet ne figure pas explicitement dans les variables testées mais l'utilisation de la valeur du temps permet indirectement d'apprécier une valorisation monétaire.

Concernant la modélisation de l'impact des retards sur l'utilité des usagers, la spécification de la fonction d'utilité qui a été retenue est donc de la forme suivante :

$$U = \alpha \cdot t + \beta_{C5\%} \cdot Freq_{C5\%} + \beta_{C10\%} \cdot Freq_{C10\%} + \dots + \beta_{L5\%} \cdot Freq_{L5\%} + \beta_{L10\%} \cdot Freq_{L10\%} + \dots$$

L'impact des retards courts (C) est décomposé selon leur fréquence : 5% (i.e. un train sur 20), 10%, etc...

L'impact des longs retards (L) est décomposé selon leur fréquence : 5% (i.e. un train sur 20), 10%, etc...

Les résultats des préférences déclarées sont recensés dans le tableau ci-dessous. Les valeurs du tableau concerne les valeurs de $\frac{\beta_{C5\%}}{\alpha}$, $\frac{\beta_{C10\%}}{\alpha}$, ..., $\frac{\beta_{L5\%}}{\alpha}$, $\frac{\beta_{L10\%}}{\alpha}$, ...

Tableau 24 - Valorisation du l'irrégularité et du confort sur les radiales d'IDF

en minutes équivalentes	Trajet depuis ou vers Paris			
	petits retards (entre 5 et 15 minutes)		longs retards (plus de 15 minutes)	
	trajets domicile-travail/études	autres trajets	trajets domicile-travail/études	autres trajets
5 %	4,6	6,2	6,7	8,9
10 %	9,2	12,3	13,3	17,8
15 %	13,8	18,5	20	26,7
20 %	18	24,1	25,3	33,9
25 %	22,2	29,7	30,7	41,1
30 %	26,4	35,3	36,1	48,3
35 %	29	37,2	41,5	55,5
40 %	31,6	39,1	46,9	62,7
45 %	34,2	41	52,3	69,9
50 %	36,8	42,9	57,7	77,1
55 %	39,4	44,8	63,1	84,3
60 %	42	46,7	68,5	91,5
65 %	44,6	48,6	73,9	98,7
70 %	47,2	50,5	79,3	105,9
75 %	49,8	52,4	84,7	113,1
80 %	52,4	54,3	90,1	120,3
85 %	55	56,2	95,5	127,5
90 %	57,6	58,1	100,9	134,7
95 %	60,2	60	106,3	141,9
100 %	62,8	61,9	111,7	149,1

Source : STIF (2006)

Note de lecture : pour un trajet domicile-travail vers Paris dont les trains ont 5 % de petits retards (1 train sur 20) et 10 % de longs retards, le temps généralisé ressenti obtenu (hors confort et information) s'exprime sous la forme **Tg = Temps de parcours + 4,6 + 13,3**.

On remarque que :

- la fréquence de l'irrégularité influence son acceptabilité ;
- contre intuitivement, un point de pourcentage d'irrégularité (qu'il s'agisse de petits ou de longs retards) est équivalent à davantage de minutes de temps de transport lorsqu'il s'agit de trajets pour motif privés que lorsqu'il s'agit d'un motif travail/études. Selon les enquêtes qualitatives effectuées en groupe restreint, ceci semble s'expliquer par le fait que le coût des retards en cas de déplacement vers le travail n'est pas intégralement supporté par le voyageur, contrairement aux retards lors de déplacements privés. Ce résultat pose la question de savoir quels sont les coûts de l'irrégularité pour les personnes autres que les voyageurs (employeurs, notamment) ;
- la désutilité associée au temps d'attente n'est pas particulièrement ressortie du questionnaire. Ce temps a donc été intégré dans la notion de temps de trajet total ;
- les résultats sont identiques selon que l'on se situe sur un trajet depuis ou vers Paris, et selon que l'on se situe sur une ligne dont la fréquence des services est basse ou haute.

Par ailleurs, pour chaque situation, il est possible d'en déduire les coûts (en minutes équivalentes) associés à la variation d'un point de pourcentage de la probabilité de retard (*cf.* tableau et graphique suivants). On constate que la relation entre point de pourcentage et valorisation en minutes équivalentes est affine par morceaux et que les usagers sont de moins en moins sensibles à un retard additionnel lorsque leur nombre est déjà élevé.

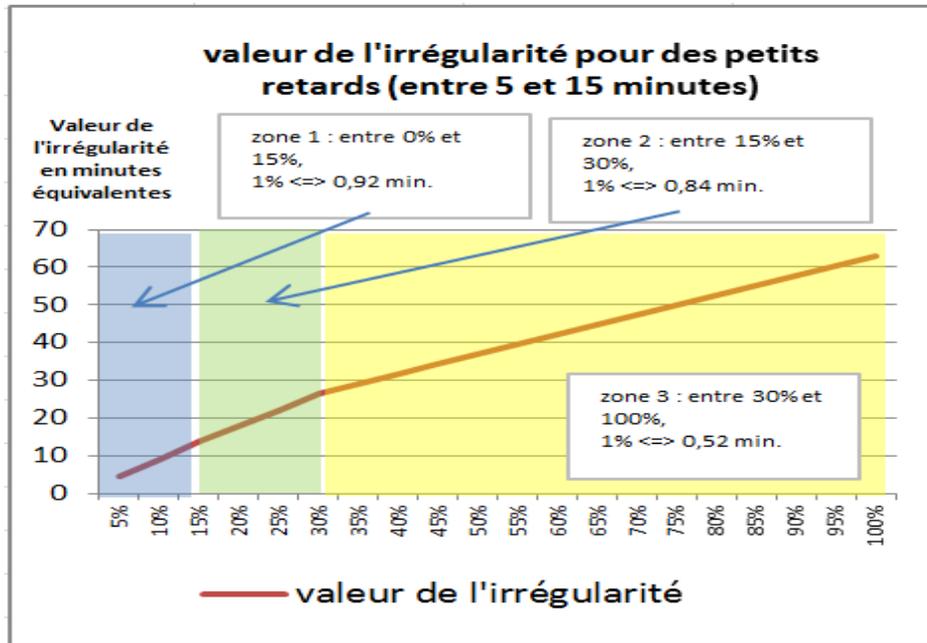
Tableau 25 - Relation entre probabilité de retard et valorisation en minutes équivalentes

Probabilité du retard	Bonnes et mauvaises fréquences			
	petits retards (entre 5 et 15 minutes)		longs retards (plus de 15 minutes)	
	trajets domicile- travail/études	autres trajets	trajets domicile- travail/études	autres trajets
Équivalent en minute d'un retard probable à 5 %	4,6	6,2	6,7	8,9
Minutes équivalentes pour chaque point de pourcentage entre 5 et 15 %	+ 0,92	+ 1,22	+ 1,32	+ 1,78
Minutes équivalentes pour chaque point de pourcentage entre 15 et 30 %	+ 0,84	+ 1,12	+ 1,08	+ 1,44
Minutes équivalentes pour chaque point de pourcentage entre 30 et 100 %	+ 0,52	+ 0,38	+ 1,08	+ 1,44

Source : DG Trésor d'après STIF (2006)

Note de lecture : l'amélioration d'un point de régularité entre 15 et 30 % de probabilité de retard sur des petits retards des trajets domicile-travail équivaut à un gain de 0,84 minutes.

Figure 16 - Illustration de la relation entre la valeur associée à l'irrégularité et la probabilité de retard (cas spécifique des petits retards sur un trajet domicile-travail)



Source : DG Trésor d'après STIF (2006)

Annexe 10

Valorisation de l'irrégularité pour les usagers du TGV (étude RFF 2012)

Réseau ferré de France (RFF) a réalisé, entre 2011 et 2012, une étude sur la valorisation de la régularité auprès des usagers du TGV construite sur une enquête de préférences déclarées. Au total, 1 200 voyageurs ont été interrogés (pour 1 002 questionnaires valides) au sein de diverses gares de Paris et de province. Dans cette étude, comme dans celle du STIF (cf. annexe n° 9), la régularité est exprimée sous la forme du pourcentage de trains connaissant un retard d'une durée supérieure à 5 minutes.

L'analyse des données a consisté à calibrer la fonction d'utilité du voyageur TGV en utilisant différentes formulations de modèles *Logit*. Parmi l'ensemble des formulations, un modèle particulièrement simple a été retenu permettant de donner une valeur unique de la minute de retard utilisable dans les bilans coûts-avantages. Ce modèle est non linéaire en temps et en coûts, linéaire en pourcentage de retard au-delà de 5 minutes¹ et sans segmentation par motif. Sa formulation est la suivante :

$$\begin{aligned} \text{Utilité} = & C_{\text{temps,lin}} \cdot \text{tps à bord} + C_{\text{temps,non-lin}} \cdot \ln (\text{tps à bord}) \\ & + C_{\text{retard}} \cdot \text{pourcentage de retard de 5 à 120 minutes} \\ & + C_{\text{suppression}} \cdot \text{pourcentage de trains supprimés} \\ & + C_{\text{info,niveau1}} \cdot \text{niveau d'information1} \\ & + C_{\text{info,niveau3}} \cdot \text{niveau d'information3} \\ & + C_{\text{prix,non-lin}} \cdot \ln (\text{prix du trajet}) \end{aligned}$$

*Trois niveaux d'information étaient présentés dans le questionnaire.
Niveau 1 = annonce du retard, niveau 2 = annonce du retard et de sa cause et
niveau 3 = annonce du retard, de sa cause et de la durée précise. Dans la
formulation d'utilité, le niveau de référence, est le niveau 2.*

(1) Dans cette spécification, un train en retard de 6 minutes et un train en retard de 120 minutes ont le même impact sur l'utilité des usagers.

Les valeurs des coefficients sont les suivantes :

<i>Valeurs des coefficients (et T de Student)</i>		
C temps, lin,	- 0,0293	(- 17)
C temps, non-lin	- 1,1775	(- 6,6)
C retard	- 0,0969	(- 26,1)
C suppression	- 0,436	(- 16,7)
C info, niveau 1	- 0,2691	(- 5,5)
C info, niveau 3	0,538	(10,9)
C, prix, non-lin	- 5,6109	(- 15,8)

Source : RFF

À partir d'un temps de transport moyen égal à 132 minutes sur l'échantillon, cette formulation de la fonction d'utilité et l'estimation des coefficients permettent de calculer **qu'une amélioration d'un point de régularité équivaut (en termes d'utilité pour le voyageur) à un gain de temps de 2,54 minutes de trajet en TGV¹.**

Par ailleurs, à partir de ce premier « équivalent temps », il a été possible de calculer un second indicateur appelé « *reliability multiplier (RM)* », qui correspond à la valeur d'une minute de retard moyen (au-delà de 5 minutes) en équivalent temps de transport. Sur la base d'une méthode simplifiée, une minute de retard est équivalente, dans la fonction d'utilité des usagers, à 6,8 minutes additionnelles de temps de transport. On remarque que cette valeur du RM est comparable avec les autres valeurs qu'il est possible de trouver dans la littérature (*cf.* annexe 8).

(1) On vérifie rapidement ce résultat par le fait que :

$$\begin{aligned} & [-0,0293 * (132 + 2,54) - 1,1775 * \ln(132 + 2,54)] - [-0,0293 * (132) - 1,1775 * \ln(132)] \\ & = - 0,0969 * 1 \end{aligned}$$

Perception client des retards et analyse sur la distribution des retards sur le réseau Transilien (étude SNCF, 2012)

Dans le cadre de la Commission CAS Quinet concernant le sous-groupe n° 4 « valeur du temps et assimilés » dont un sujet est la valorisation de la fiabilité dans les transports dirigé, la SNCF a présenté à Emile Quinet et à Quentin Roquigny, les résultats d'un projet de recherche menée à la direction Innovation & Recherche pour Transilien sur la méthodologie permettant de valoriser socio-économiquement les impacts de l'amélioration de la régularité et la perception du retard par les voyageurs. Dans le cadre de la présentation des résultats de cette étude, SNCF s'est interrogée sur la loi de distribution des retards.

1 Le calcul de la perception client des retards

Au préalable, nous rappellerons qu'il faut distinguer trois notions : le retard objectif des trains, le retard objectif des voyageurs et la perception du retard par les voyageurs.

Cette étude s'intéresse à la perception du retard par les voyageurs, dont on affirme qu'elle dépend à la fois de la moyenne et de la variabilité des retards objectifs des voyageurs. Ce temps d'irrégularité perçu a donc été construit en ajoutant à la valeur moyenne des retards, l'écart-type pour introduire une « pénalisation » exprimant le désagrément dû à la variabilité des retards. Cette étude a ainsi permis de mettre en lumière les enjeux, dans l'évaluation, de l'amélioration de la régularité. Ainsi la méthode issue de ce projet propose :

- d'être plus proche de la vision voyageur que de la vision production : en effet, elle prend en compte les impacts des irrégularités sur la perception du temps de voyage du point de vue de l'utilisateur (qui peut dépendre, par exemple, du moment où interviennent les retards : dès l'attente sur le quai ou pendant le trajet dans le train) ;
- de considérer à la fois la fréquence des retards mais aussi leur valeur ;
- de tenir compte de l'hétérogénéité des voyageurs en utilisant des valeurs du temps différenciées pour les individus en fonction de leur motif de déplacement.

En complément, pour illustrer les notions de fréquence et de valeur des retards étudiées dans ce modèle, une première analyse des retards objectifs des trains a été menée afin d'approcher une loi de distribution « type » des retards objectifs.

-
-
-

$$f(x; \mu, \sigma) = \frac{e^{-0,5((\ln x - \mu)/\sigma)^2}}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \quad x > 0$$

μ σ
 μ - σ

$$\mu_k = e^{k\mu + k^2\sigma^2/2}$$

$$e^{\mu + \sigma^2/2} \quad (e^{\sigma^2} - 1)e^{2\mu + \sigma^2}$$

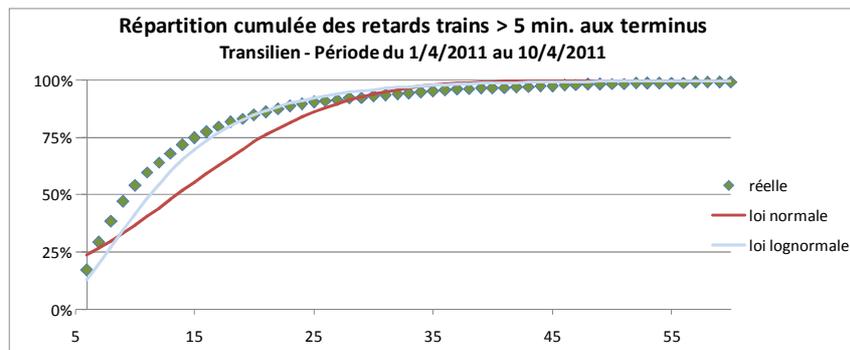
Les retards sont définis comme l'écart qui est supérieur à 5 minutes entre la circulation réelle et la circulation prévue.

Pour information, la part des trains à l'heure exacte aux terminus (0 minutes de retard) est de 51 %, celle des trains avec un retard au terminus inférieur à 6 minutes (≤ 5 minutes) de 90 %.

Au total, 38 865 données ont été traitées. Dans cette première approche, il n'a pas été effectuée la vérification de la cohérence de l'ensemble des données ni la détection des cas atypiques. Cette analyse ne correspond donc pas aux données publiques de ponctualité Transilien (périmètres différents entre prise en compte des trains versus les voyageurs, méthodes différentes de calcul [traitement des trains supprimés, seuil, ...], etc.). Une analyse plus approfondie serait nécessaire.

Premiers résultats et pistes d'approfondissement. L'étude de notre base a conduit aux résultats suivants :

Figure 17 - Répartition cumulée des retards sur le Transilien



Source : SNCF

Nous rappelons que seuls les trains Transilien sur une période de 10 jours représentative de l'année ont été étudiés. Il est fort probable que ces distributions diffèrent selon les contextes (inter et intra branches). Par ailleurs, dans cette première approche succincte, nous regardons les retards des trains aux terminus (et non aux arrêts intermédiaires) sans tenir compte du nombre de voyageurs présents au terminus ni au cours du trajet. Si la majorité des trains en retard de 15 minutes sont en période de pointe, on peut imaginer que la loi de distribution des retards voyageurs sera sensiblement différente.

De plus, pour être cohérent avec la réalité des circulations, il paraîtrait intéressant d'estimer la loi de distribution totale, c'est-à-dire la loi de l'ensemble des écarts horaires et de prendre en compte : les « en avance » (non négligeable), les ponctuels et les retards.

Les premiers résultats de cette analyse succincte tendent à conduire à une répartition de forme log-normale des retards trains. Ces conclusions devront être complétées avec l'analyse d'autres activités (TGV, TER) et en tenant compte des retards voyageurs plutôt que des retards trains pour généraliser une loi de distribution « type » des retards.

Conclusion

Ces premiers résultats semblent donc aboutir à **une forme de loi de distribution log-normale des retards trains**. Nous émettons toutefois des réserves sur la généralisation de ces conclusions et préconisons l'utilisation des outils de simulation actuellement développés dans les systèmes ferroviaires afin de connaître la distribution des retards pour un projet donné.

Dans tous les cas, si des résultats généraux de ce type de lois doivent être utilisés, il conviendrait de compléter l'analyse sur d'autres activités (TGV, TER) mais surtout de considérer les retards des voyageurs et non les retards des trains afin de mesurer au mieux la régularité.

Référence :

El Faouzi N.-E (LICIT- INRETS/ENTPE) et Maurin Michel (INRETS – LTE) : Sur la loi de la somme de variables log-normales : application à la fiabilité des temps de parcours routiers.

(<http://www.inrets.fr/ur/lte/publications/publications-pdf/Maurin-publi/ElFaouzi-Maurin-JDS06.pdf>)

Valorisation de la fiabilité du temps de transport par le Ministère des Transports britannique

La présente annexe propose un résumé de la méthode préconisée par le Ministère des Transports britannique (*Department for Transport, DfT*) pour valoriser les variations de fiabilité des systèmes de transport¹.

La notion de « *fiabilité du temps de transport* » est définie par la variation du temps de transport que les usagers ne sont pas en mesure de prévoir. Cette définition comprend donc les variations aléatoires engendrées par la congestion récurrente quotidienne ainsi que les variations non récurrentes dues, par exemple, à des incidents sur la voie. En revanche, elle exclut la variation due aux variations journalières ou saisonnières de la demande, que les usagers sont supposés pouvoir prévoir. **En conclusion, tout calcul de l'irrégularité doit au préalable déduire l'effet attribuable aux variations prédictibles du temps de transport.**

Dans la suite, nous exposons la manière dont le DfT suggère de mesurer et de valoriser la fiabilité dans les transports selon qu'il s'agit de transports routiers ou de transports publics. La valorisation de la fiabilité dans le transport aérien n'est pas traitée.

La plupart du temps, les préconisations sur la manière de valoriser les gains/pertes de fiabilité dans les projets (d'infrastructure, de tarification, etc.) supposent de disposer d'un modèle permettant de mesurer l'impact du projet sur la distribution des temps de transport afin notamment d'en calculer la moyenne et l'écart-type.

1 Valorisation des gains de fiabilité dans les transports routiers

Pour le mode routier, le DfT estime que la fiabilité se mesure essentiellement par la variation non-prédictible du temps de transport sur chaque origine-destination (OD) et à chaque période de chaque jour de la semaine. La mesure de la fiabilité est effectuée sur la base de l'écart-type (racine carrée de la variance) des temps de trajet sur l'OD.

Pour les transports en véhicule particulier comme en poids lourd, le DfT introduit un indicateur de fiabilité (« *Ratio of Reliability, RR* »), défini tel que :

$$RR = \frac{\text{Valeur de l'écart type du temps de transport}}{\text{valeur du temps}}$$

(1) Voir le document Department for Transport (2009), « *The reliability sub-objective – TAG Unit 3.5.7* », disponible sur le site internet www.webtag.org.uk.

Ce ratio permet de lier valeur du temps moyen de transport et écart-type. Pour le mode routier, sur la base d'estimations effectuées sur le réseau britannique, le DfT estime que ce ratio vaut 0,8.

Selon les types de voiries, le DfT propose ensuite différentes méthodologies pour estimer l'impact d'un projet sur la variation d'écart-type, valeur qu'il conviendra de multiplier par le produit du RR, de la valeur du temps, et du trafic concerné afin d'obtenir une valorisation monétaire.

1.1 Sur les liaisons interurbaines de 2*2 voies ou plus

Les modèles à disposition du DfT conduisent à penser que la capacité de ces voiries sont rarement atteintes, que la variabilité du temps de trajet sur une période donnée de la journée est faible, et que la seule source de variabilité concerne les incidents exceptionnels intervenant sur la voie. Afin d'estimer la probabilité d'incidents sur les voiries de 2*2 voies ou plus, ainsi que son impact sur l'écart-type des temps de transport, le DfT recommande d'utiliser un logiciel *ad hoc* dénommé « INCA » et développé par le cabinet Mott MacDonald. Une fois que l'on a estimé l'impact d'un projet sur l'écart-type des temps de transport, le bénéfice monétarisé B de la fiabilité est obtenu par la formule :

$$B = \sum_{ij} \Delta\sigma_{ij} \cdot \left(\frac{T_{ij2} + T_{ij1}}{2} \right) \cdot VOR$$

Avec

- $\Delta\sigma_{ij}$: le changement d'écart-type des temps de trajets (en secondes carrées) pour le déplacement de i à j ;
- T_{ij2} et T_{ij1} le nombre de trajets effectués après et avant le projet ;
- VOR , la valeur de la fiabilité (« value of reliability ») obtenue par
 - o $VOR = \text{Valeur du temps} * RR$.

Le DfT préconise (sans détailler explicitement son choix) que les avantages liés à la fiabilité ne soient pas pris en compte dans le calcul de la VAN, mais qu'ils soient incorporés dans le « *Appraisal Summary Table* » ainsi que dans l'appréciation des ressources financières pouvant être dégagées du projet (par exemple, concernant le montant des péages).

1.2 Sur les voiries urbaines

Selon le DfT, la multiplicité des itinéraires alternatifs en milieu urbain permet aux automobilistes de changer facilement leurs itinéraires, réduisant l'importance des incidents. En revanche, les voiries sont davantage saturées. Aussi, il est proposé une formule permettant de prévoir la variation du temps de transport (en écart-type) d'un nouveau projet en fonction du changement de durée moyenne du trajet avant et après le projet, et de la distance entre origine et destination, tout en mentionnant qu'il est toujours préférable de disposer d'un modèle de trafic local pour valider la robustesse des résultats. On note que, de manière surprenante cette formule ne fait pas intervenir le trafic sur l'OD comme paramètre variable. La formule est la suivante :

$$\Delta\sigma_{ij} = 0,0018 \cdot (t_{ij2}^{2,02} - t_{ij1}^{2,02}) \cdot d_{ij}^{-1,41}$$

Avec

- $\Delta\sigma_{ij}$: le changement d'écart-type des temps de trajets (en secondes carrées) pour le déplacement de i à j ;
- t_{ij2} et t_{ij1} les temps moyens de trajets (en secondes) après projet et avant projet ;
- d_{ij} est la distance de i à j (en kilomètres).

Une fois que l'on a estimé la variation de l'écart-type, le bénéfice B de la variation de fiabilité sur l'ensemble des trajets impactés par le projet est calculé de la même manière que pour les voiries 2*2 voies ou plus :

$$B = \sum_{ij} \Delta\sigma_{ij} \cdot \left(\frac{T_{ij2} + T_{ij1}}{2} \right) \cdot VOR$$

Enfin, dans ce cas aussi, le DfT préconise que les avantages liés à la fiabilité ne soient pas pris en compte dans le calcul de la VAN, mais qu'ils soient incorporés dans le « *Appraisal Summary Table* » ainsi que dans l'appréciation des ressources financières pouvant être dégagées du projet.

1.3 Sur les autres types de voiries

Pour les trajets effectués sur des routes à chaussées uniques situées hors des zones urbaines, le DfT estime qu'il n'est actuellement pas possible de mesurer les avantages monétarisés associés à un gain de régularité et ne propose pas de méthode de mesure et de valorisation de cet aspect. Il est en revanche recommandé de comparer le trafic moyen journalier annuel (TMJA) avec la capacité de la voirie, dans la mesure où l'atteinte de la capacité est associée à une probabilité accrue de perte de fiabilité, et d'effectuer des « tests » de variation du trafic de $\pm 20 - 25 \%$.

2 Valorisation de la fiabilité dans les transports publics (fer, bus, tram, métro)

La mesure de la fiabilité dans les transports publics diffère de celle utilisée plus haut pour le transport routier. En effet, selon le DfT, l'existence d'horaires à respecter implique qu'il est préférable de définir la fiabilité sur la base des *retards* plutôt que de la variation du temps de transport total.

Le DfT distingue les concepts de « ponctualité » et de « fiabilité », regroupées toutes les deux sous la définition de « performance » :

- **la « fiabilité »** (que l'on pourrait appeler « *réalisation effective du service* ») correspond au taux de trains annulés car ne pouvant pas sortir de la gare de départ ou ne pouvant pas s'arrêter à certaines stations ;
- **la « ponctualité »** (assimilable à la notion de « *fiabilité temporelle* ») correspond à la capacité des trains à arriver à l'heure.

2.1 Mesure et valorisation de la réalisation effective des services (ou « fiabilité » selon la terminologie du DfT)

Afin de prendre en compte le taux de trains annulés au départ ou ne s'arrêtant pas en station, le DfT recommande de multiplier la longueur de la période entre deux trains par 1,5. Sans estimations précises, le DfT justifie cette valeur par le fait que le temps d'attente engendré en cas d'annulation d'un train est davantage valorisé que le temps passé à bord du véhicule de transports, principalement car le temps d'attente est souvent réalisé debout et/ou sans pouvoir être transformé en temps productif. Aussi, on comprend l'idée générale de la DfT selon laquelle il serait logique que la longueur de l'intervalle soit multipliée par un facteur plus grand que ce que ne donnerait un calcul simple du temps d'attente supplémentaire dû à la suppression de certains trains. Néanmoins, il n'est pas expliqué comment a été estimé le coefficient 1,5 ni comment il devrait être actualisé selon les efforts réalisés pour diminuer ce taux d'annulation de trains.

Enfin, le DfT recommande que la valorisation de la « *fiabilité temporelle* » (cf. partie suivante) se fasse « *au regard des retards résultant de la prise en compte de l'augmentation de 1,5 de la période entre deux services* », sans donner davantage de précisions sur la méthode de calcul.

2.2 Mesure et valorisation de la fiabilité temporelle (ou « ponctualité », selon la terminologie du DfT)

Selon le DfT, le manque non-prédictible de ponctualité comprend deux éléments :

- **le coût du retard moyen sur l'OD.** Selon la revue de la littérature effectuée par le DfT, le coût d'une minute non-prévue de retard vaut, du point de vue de l'usager, entre 1 et 5 minutes de temps de transport équivalent selon le type de service et le motif du déplacement. Le DfT préconise donc de retenir une valeur de 3 minutes équivalentes pour chaque minute de retard moyen non-prévue (contre 1 minute équivalente pour chaque minute de retard lorsque celui-ci est prévu). Néanmoins, le DfT estime qu'il est probable que les usagers non-fréquents n'aient pas une bonne connaissance des variations prédictibles du temps de transport : seuls 25 % des usagers auraient une connaissance de ces variations supposées prédictibles. Aussi pour les autres utilisateurs, les variations prédictibles sont traitées comme des variations non-prédictibles. Au regard des préconisations en termes de pondérations en « minutes équivalentes » de chaque minute de retard, le poids moyen du retard sur l'ensemble des passagers des transports publics est donc : $25 \% * 1 + 75 \% * 3 = 2,5 \text{ minutes équivalentes pour chaque minute de retard moyen}$.
- **la désutilité psychologique d'une variation du temps de parcours,** mesurée par l'écart-type des retards. Comme dans le cas du transport routier, le DfT introduit un ratio RR dont l'expression est la suivante :

$$RR = \frac{\text{Valeur de l'écart - type des retards}}{\text{valeur du temps}}$$

Selon le DfT, la valeur de ce ratio dans la littérature est comprise entre 0,6 et 1,5. La recommandation finale est donc d'utiliser une valeur de **RR = 1,4 tous motifs et tous modes de transport public confondus**.

Dans le cas de modèles de trafic permettant de connaître l'impact d'un projet sur les retards et sur leur distribution, ces deux coûts sont estimés séparément.

Néanmoins, reconnaissant qu'il est peu fréquent de disposer de suffisamment de données sur la distribution des retards (et qu'il est donc ardu de connaître l'écart-type de la distribution), le DfT propose une **méthode approchée valorisant à la fois retards moyens et variabilité des retards**. Comme d'après Bates et al. (2001¹), c'est le retard moyen qui prédomine dans la fonction d'utilité des usagers, il suffira de valoriser le coût de retard moyen et d'augmenter cette valeur de 20 % afin de tenir compte de la variabilité des retards. **In fine, afin de prendre en compte retards moyens et variabilité des retards, le DfT préconise en première approche de pondérer chaque minute de retard moyen par $(25 \% \cdot 1 + 75 \% \cdot 3) \cdot (1 + 20 \%) = 3$ (minutes équivalentes)**.

Enfin, notons que lorsque qu'il n'existe pas de données sur les retards dans les stations intermédiaires, le DfT préconise d'utiliser les données sur les retards à la destination finale, toujours en appliquant le coefficient de 3 aux retards moyens observés (sauf si davantage d'information sur la distribution des retards est disponible).

(1) Bates et al. (2001), « *The valuation of reliability for personal travel* », Transportation Research Part E 37.

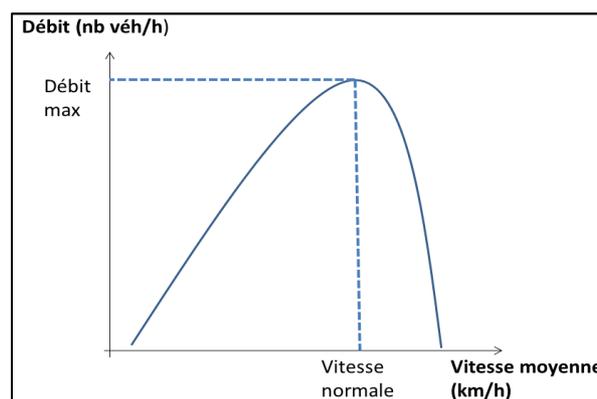
Contribution de SNCF et de RFF sur le lien entre niveau de trafic et augmentation du temps de transports

1 La congestion routière : un phénomène identifié, étudié et modélisé

Dans le secteur routier, la congestion se produit lorsque la présence d'un véhicule sur une route entraîne une augmentation de la durée de transport d'un autre véhicule. Ce phénomène peut intervenir pour deux raisons. En premier lieu, l'augmentation du trafic oblige les conducteurs à conduire moins vite parce que la distance entre les véhicules se réduit. En second lieu, des phénomènes de queues peuvent apparaître lors de jonctions ou autres goulots d'étranglement.

Un modèle standard pour représenter la congestion sur des réseaux routiers interurbains est la courbe débit/vitesse. Différents temps théoriques sont donc calculés pour une même infrastructure selon le nombre de circulations sur cette infrastructure. La figure ci-dessous représente cette relation entre la vitesse (en km/h) et le débit (nombre de véhicules/heure). Lorsque le débit dépasse un certain niveau, la vitesse se situe en dessous de la vitesse normale de cette infrastructure. Le temps de parcours augmente donc avec le trafic. On observe que la vitesse normale est différente de la vitesse maximale lorsque l'infrastructure est vide.

Figure 18 - relation débit-vitesse pour la route



Source : RFF et SNCF

La congestion correspond à l'écart entre le temps de parcours pour un certain trafic donné et le temps de parcours « normal ». Des modèles de ce type sont estimés dans la plupart des pays pour les différents types de réseaux routiers. Des modèles de goulot ou des modèles de dynamique de flux sont en revanche plus appropriés pour modéliser la congestion dans le transport urbain.

Par ailleurs, le temps constaté à un instant « t » sur une infrastructure routière dépend du temps théorique calculé et de la survenance de différents aléas non prévisibles (météo, accidents de la circulation, travaux non remis à temps...). En effet, du fait de la moindre résilience d'une infrastructure, un aléa occasionne des retards lorsque le trafic est élevé.

2 Pour les transports programmés, la gestion des sillons et la robustesse du plan de transport doivent prévenir l'apparition des retards...

Il convient de rappeler tout d'abord que nous abordons ici uniquement les impacts de la fréquentation sur les « temps » et non sur le confort.

L'étude des retards dans le secteur ferroviaire diffère de celle de la congestion routière (Quinet, 2003¹). En effet, pour le transport ferroviaire, le trafic est régulé, en ce sens qu'un sillon est attribué en amont à chaque circulation pour prévenir une utilisation simultanée de l'infrastructure. Les logiciels d'exploitation permettent de calculer la « marche théorique calculable » d'une infrastructure donnée selon le profil de la voie et la puissance des trains qui y circulent. Une marge est ajoutée à cette marche théorique pour offrir de la résilience aux circulations programmées. Le temps calculable pour un train isolé donné ne change pas lorsque ce train circule dans le cadre d'un graphique comprenant plusieurs autres trains planifiés selon les missions demandées (horaires, gares desservies). Une augmentation du nombre de voyageurs n'entraîne pas forcément une augmentation du nombre de trains si la capacité maximale de l'infrastructure est déjà utilisée.

Dans ce contexte, l'étude sur les coûts externes de CE Delft² pose l'hypothèse que pour le réseau ferroviaire, ainsi que pour le contrôle du trafic aérien, les objectifs d'efficacité poursuivis dans l'allocation des capacités excluent de calculer un coût de congestion pour ces modes. Toutefois, cette même étude observe que des retards apparaissent pour le ferroviaire et l'aérien en raison des contraintes de capacité. L'étude encourage dès lors de mettre en place des analyses sur les causes des retards notamment pour le transport ferroviaire³.

(1) [...] *the core of the doctrine expressed by the Commission of the European Union, following the case of road transport, is that Short Run Marginal Social Cost (SRMSC) should be the basis for infrastructure pricing. The main idea underlying this note is that, from an economic point of view, rail activity is quite different from road traffic. The differences lie in the nature of congestion, the extent of social values compared to private values, and the oligopsonistic nature of the market for infrastructure use [...].*

(2) Update Study, November 2011, CE DEFLT.

(3) « *Market failure due to congestion and partly congestion driven delays are only valid for modes with multiple and independent users or operators, who make travel decisions case by case depending on the prevailing situation. These conditions are fully met by road transport. Although the liberalisation of rail markets and the competition of airlines for scarce runway capacity at major airports create mutual impacts between multiple operators, rail and air services consist of central capacity allocation units. We assume that rail network operators and air traffic control follow the objective of efficient capacity allocation and thus exclude these modes from the computation of congestion costs. In contrast, delays due to capacity shortages also appear in rail and air transport (compare INFRAS/IWW, 2004). In particular in the European aviation sector Eurocontrol has available a systematic and rather comprehensive database on flight delays and delay causes*

Dans cette première approche, on retient donc, que la corrélation positive entre les temps de parcours programmé et le trafic d'une infrastructure, telle qu'elle peut être modélisée pour une infrastructure routière à travers les courbes débit-vitesse, n'est pas directement transposable aux modes ferroviaires.

3 ...mais une corrélation entre le trafic ferroviaire et le temps de transport est mise en évidence...

L'influence du niveau de trafic sur les temps de parcours a été peu étudiée dans les domaines où la circulation est programmée à l'avance. Toutefois, à la suite des travaux de Carlin et Park (1970), des travaux empiriques ont montré qu'il existe une relation entre l'activité d'aéroport et la probabilité de retard (Morrison et al. 1989, UNITE, 2002, Nombela Merchan et De Rus, 2006).

Pendant longtemps, ces phénomènes n'ont pas été un sujet de préoccupation pour le secteur ferroviaire car ils étaient internalisés par des entreprises intégrées en situation de monopole. Avec la libéralisation de ce secteur, l'analyse économique s'est progressivement penchée sur le sujet. Nash et Matthews (2003) ont souligné l'importance des enjeux posés par l'augmentation du temps de transport moyen engendré par la moindre résilience d'une ligne présentant un trafic dense¹. Ce phénomène est également identifié par le *High Level Group on infrastructure charge* de la Commission européenne (1999), et également repris par Quinet (2003).

D'un point de vue empirique, Gibson et al. (2002) ont vérifié l'existence d'une relation entre l'utilisation des capacités et les retards sur le réseau ferré britannique. Ce travail économétrique montre en effet que cette relation est statistiquement significative pour la plupart des lignes stratégiques britanniques (20 des 24 lignes).

En France, les retards observés dans les zones et les périodes de trafic dense tendent également à devenir un sujet central pour le gestionnaire de réseau ferré national. Dans ce contexte, Réseau ferré de France a confié au cabinet Microeconomix une étude sur le sujet. Ce travail montre qu'il existe une relation économétrique positive entre la densité trafic, l'irrégularité et la durée du retard. Formulé autrement, ce travail suggère que sur le réseau ferré un train supplémentaire sur une ligne entraîne une augmentation de la probabilité de retard et du retard moyen des autres trains, soit une augmentation de leur temps de transport moyen.

L'augmentation des temps de retard constaté avec l'augmentation du trafic peut résulter de retards intervenant lorsque des aléas perturbent la circulation. Les analyses de corrélation ne permettent pas d'identifier le poids de chaque facteur dans les retards car ces analyses statistiques sont basées sans détailler chaque sillon. On

(Eurocontrol, 2007). Similar analysis tools for road and rail transport would be desirable to get an idea of the most important causes of delays across all modes. »

(1) « *Congestion on the rail network represents the expected delays resulting from the transmission of delays from one train to another. The introduction of an additional rail service onto the network reduces the infrastructure manager's ability to recover from an incident and increases the probability of delays. This becomes worse at high levels of capacity utilisation, since there is a lack of spare capacity to recover from any delays. Congestion costs are the costs associated with these expected delays.* ».

retient donc que l'augmentation des temps de transport avec le trafic est imputable à la diminution de la capacité du système à absorber les aléas lorsque l'utilisation du réseau augmente.

En d'autres termes, ces différents travaux montrent que pour les services programmés, les temps de parcours constatés s'écartent des temps de parcours théoriques lorsque le trafic augmente. L'augmentation du temps moyen de transport avec l'augmentation du trafic est imputable à une moindre résilience du système ferroviaire à absorber les aléas (incidents, conditions météorologiques,). L'augmentation du trafic va donc se traduire par une évolution de la loi de distribution des retards (augmentation du retard moyen et/ou une augmentation de la probabilité des retards).

4 ... et un phénomène de saturation lié à la contrainte de rareté de l'infrastructure s'ajoute à l'irrégularité des temps de parcours

Au-delà de cette corrélation, qui se manifeste par les retards de trains, il existe une contrainte de rareté de l'infrastructure. Cette contrainte peut entraîner une saturation de l'infrastructure, à savoir une situation dans laquelle le gestionnaire du réseau ne pourrait satisfaire l'ensemble des demandes de sillons que lui adressent les entreprises ferroviaires. Dans la directive 2001/14, quand il y a conflit entre les demandes de sillons, le gestionnaire de l'infrastructure doit pratiquer une coordination, discussion avec les exploitants ferroviaires à la suite de laquelle les sillons peuvent être différents des demandes et si ce processus n'aboutit pas, alors la section est déclarée saturée¹.

Les questions de la saturation et de l'augmentation des temps de transport ne sont toutefois pas des sujets indépendants : le gestionnaire d'infrastructure pourrait en effet limiter l'apparition de cas de saturation en augmentant la capacité offerte sur une ligne, mais cela se produirait au prix d'une dégradation de la résilience du graphique de circulation et augmenterait, de ce fait, les temps de transport sur le réseau.

Ces éléments ont été partiellement étudiés par la littérature économique. Il serait néanmoins utile d'étudier plus amplement le coût de la contrainte de rareté (perte de chiffre d'affaires et perte de bénéfices pour le système ferroviaire, et perte d'utilité pour les clients), et de l'objectiver afin de mieux identifier les besoins de développement de capacité.

(1) À noter qu'en anglais, le terme « saturé » est traduit dans la directive 2001/14 par « *congested* ».

Bibliographie

Abrantes et Wardman (2010), «*Meta-analysis of UK value of time : an up-date*», Transportation Research Part A 45 (2011) 1-7

Algers et al. (1998), «*Mixed logit estimation of values of travel time*», University of Uppsala.

Balcombe (2004) «*The demand for public transport: a practical guide*».

Batley et al. (2008), «*Multimodal travel time variability*», Institute of Transport Studies, University of Leeds for the Department of Transport (UK).

Ben-Akiva et Lerman (1989), «*Discrete choice analysis: theory and application to travel demand*», MIT Press.

Boiteux (2001), «*Transports : choix des investissements et coûts des nuisances*», Commissariat général du Plan.

Brownstone, Small (2002). «*Valuing time and reliability: Assessing the evidence from road pricing demonstrations*», University of California at Irvine.

Carlin, Park (1970), «*Marginal cost pricing of airport runway capacity*», *American Economic Review*, 60 (3), pp. 310-319.

Cirillo (2004), «*Evidence on the distribution of values of travel time savings from a six-week diary*», IVT & ETH.

Cohen et Southworth (1999), «*On the measurement of travel time variability due to incidents on free-ways*», Transportation and Statistics.

Crozet (2005), «*Time and passenger transport*», Round Table 125 ECMT.

de Dios Ortuzar et Garrido (1994), «*A practical assessment of stated preferences methods*», Transportation, Vol. 32, n°3.

Fosgerau et al. (2007), «*The Danish Value of Time Study*».

Gibson, Copper, Ball (2002), «*Developments in transport policy: the evolution of capacity charges in the UK network*», *Journal of transport economics and policy*, 32 (2), pp. 341-354.

Goodman (2001), «*A traveller in Time: Understanding Deterrents to Walking to Work*», World Transport Policy and Practice.

Hammadou et Jayet (2002), «*La valeur du temps pour les déplacements à longue distance : une évaluation sur données françaises*», les Cahiers scientifiques du transport.

High Level Group on infrastructure charge (1999), “*Calculating transport congestion and scarcity costs*”, Final report of the expert advisors to the High level group on infrastructure charging (working group 2).

Hollander (2006) «*Direct versus indirect models for the effect of unreliability*», Transportation Research A.

Konig et al. (2003), «*Time is money – the valuation of travel time in Switzerland*».

Litman (2007), “*Build for Comfort, not just speed: valuing service quality impacts in transport planning*”, Victoria Transport Policy Institute.

Mackie, Wardman (2003), «*Value of travel time savings in the UK*».

Markovich (2009), «*Synthesis of research on value of time and value of reliability*», Florida Department of Transport.

Microeconomix (2012), «*Etude économétrique de l’effet de la congestion ferroviaire sur la régularité des trains à l’attention de RFF* ».

Ministère en charge des transports (2005), «*Enquête de préférences déclarées sur le choix modal en transport de marchandises transpyréneen* ».

Mokhtarian (2005), «*Special issue: the positive utility of travel*», Transportation Research, Vol. 39A February/March.

Morrison, Winston (1989), “*Enhancing performance of the deregulated air transportation system*”, Booking paper on economics affairs, microeconomics, pp. 61-123.

Nash, Matthews (2003), “*Rail infrastructure charges – the issue of scarcity*”, Working paper, University of Leeds.

Nombela Merchán, De Rus (2006), “*Análisis económico de la congestión en los aeropuertos europeos*” in De Rus, G. (ed.), “*La política de transporte europea : el papel del análisis económico*”, Fundación BBVA.

OCDE (2001), «*Les services réguliers interurbains d’autocars en Europe* ».

Polydoropoulou, Kapros, et Pollatou (2004), «*A national passenger transport mode choice model for the Greek Transport Observatory*», selected paper from the 2004 World Conference on Transport Research (Istanbul).

Quinet (2003), “*Short term adjustment in rail activity*”, *Transport Policy*. 10 (1), pp. 73-79.

Ramjerdi et al. (1997), «*The Norwegian Value of Time Study*».

Richardson (2003), "*Some evidence of travelers with zero value of time*", paper presented at the 82nd Transportation Research Board conference, Washington, D.C., January 2003.

Segonne (2001), « *Choix d'itinéraires et péage urbain : le cas du tunnel Prado-Carénage à Marseille* », Recherche, Transport, Sécurité n°71, Avril-Juin.

Shires, De Jong (2009), « *An international meta-analysis of values of travel time savings* », Evaluation and Program Planning, 32 (2009) 315–325.

Small et al. (1999), « *Valuation of travel-time savings and predictability in congested conditions for highway user-cost estimation* », NCHRP 431, TRB.

UNITE (2002), "*Evaluation of congestion cost for Madrid airport*", WP7.

Wardman (2004), "*Public transport values of travel time savings*", Transport Policy, 11, 363–377.

Welch, Williams (1997), « *Sensitivity of Transport Investments Benefits to the Evaluation of Small Travel-Time Savings* », Journal of Transport Economics and Policy.

Zamparini et Reggiani (2007), "*Freight Transport and the Value of Travel Time Savings: A Meta-analysis of Empirical Studies*", Transport Reviews: A Transnational Transdisciplinary Journal, 27:5, 621-636