

Comité méthodologique et scientifique de l'évaluation des projets de transport

**Prise en compte de la variabilité des temps de parcours
dans l'évaluation socio-économique des projets de transports :
Éléments pour les travaux à conduire**

La plupart des projets de transport ont un effet sur la distribution des temps de parcours dans son ensemble (moyenne, écart type, autres déciles de la distribution, etc.). Or, la variabilité des temps de parcours a un impact dans l'économie à la fois pour les personnes (productivité de l'activité économique liée au respect d'horaires précis, effets sur le bien être et la santé) et pour les marchandises (organisations en juste à temps par exemple) qu'il convient de valoriser.

La valorisation de la fiabilité des temps de parcours peut se faire selon trois grands types de méthode, de précision croissante :

- de façon exogène au modèle de trafic utilisé, en calculant le surplus lié une variation de la distribution des temps de parcours. Les caractéristiques de la distribution des temps de parcours peuvent être estimées notamment en fonction de caractéristiques de l'infrastructure, du service et du trafic, et de facteurs de variabilité exogènes (météo notamment) ;
- par l'intégration d'indicateur de fiabilité simple (quantile ou écart type) dans le modèle de trafic statique ;
- de façon endogène, en utilisant un modèle de choix d'horaire avec des temps de parcours aléatoires qui permet de capter explicitement le coût du déshoragage et de la fiabilité.

A court terme, la piste envisagée pour la prise compte de la fiabilité des temps de parcours consiste à intégrer l'effet de la variation de la distribution des temps de parcours dans le calcul de surplus par une approche exogène au modèle de trafic. Ce document explicite la justification de ce choix.

De façon schématique, les études à lancer doivent répondre à trois objectifs opérationnels :

- définir les caractéristiques de la distribution des temps de parcours à prendre en compte : périmètre temporel, déciles, écart type, etc.
- savoir estimer et projeter cette distribution en fonction des caractéristiques du projet considéré ;
- valoriser le surplus lié à une variation de cette distribution.

Les travaux à mener dans un premier temps sont donc les suivants :

Travaux sur les méthodes existantes.

A partir d'une revue des méthodes existantes de prise en compte des effets des projets sur la fiabilité, des éléments de choix de méthodes et des recommandations d'application opérationnelles seront proposés.

Travaux d'approfondissement.

1. Etude bibliographique sur la prise en compte de la fiabilité des temps de parcours par les usagers, et les pratiques étrangères de prises en compte de la fiabilité dans les évaluations.
2. Estimation des indicateurs de fiabilité :
 - 2.1. Recueil et traitement de données de temps de parcours: il s'agit d'estimer et de savoir projeter la distribution des temps de parcours (dont la moyenne) par origine-destination ;
 - 2.2. Effet des mesures de gestion de trafic sur la distribution des temps de parcours : les types de projets étudiés dans un premier temps sont les projets de voie bus réservée, les travaux sur voirie et DAI. Concernant les voies bus réservées, un recueil des données de temps de parcours routier et TC dans sera effectué afin d'évaluer l'effet de ce type de projet sur la distribution des temps de parcours.
3. Valorisation de la fiabilité
 - 3.1. Valorisation de la fiabilité des temps de parcours à partir d'enquêtes de préférence déclarées et test sur des projets (*Propositions d'amélioration des modèles de transports pour l'évaluation des projets d'infrastructures de transport.*, A. de Palma, N. Picard, S. Dantan) :
 - 3.2. Tests d'une méthode à trois moments sur les durées domicile-travail constatées en Île-de-France (Marc Gaudry, rapport du 1^{er} novembre 2015).

De plus, les estimations des consommations énergétiques et émissions de polluants des projets de transport seront évaluées, pour le mode routier, en prenant en compte la distribution de la vitesse et les parcs roulants par catégorie de voie.

A plus long terme, des travaux seront menés sur :

- la valorisation du temps et de la fiabilité pour le transport de marchandises ;
- les possibilités d'utilisation de modèles urbains dynamiques intégrant la fiabilité des temps de parcours.

Synthèse schématique de l'état des lieux de la valorisation de la fiabilité en France et des travaux proposés à court terme

Valorisation actuelle	<p>Valeur du temps + malus d'inconfort</p> <p>Possibilité de valoriser la fiabilité dans le référentiel d'évaluation de 2014, à partir des méthodes du rapport Quinet (valorisation et méthode non prescriptives)</p> <p>En général, pas de valorisation explicite de la fiabilité mais le coût est supposé important voire est l'avantage principal de certains projets et la valeur du temps et le malus d'inconfort comportent vraisemblablement une prise en compte partielle de la fiabilité des temps de parcours</p>
Etudes de valorisation existantes	<ul style="list-style-type: none"> - Méthode routière du rapport Quinet : valorisation du (P90-P50)/P50 - Méthodes TC STIF et RFF : enquêtes de préférences déclarées avec petits et grands retards (plus ou moins segmentés), et indicateurs ad hoc - Biblio internationale
Etudes de valorisation à mener	<ul style="list-style-type: none"> - Utilisation des estimations issues de Mimettic pour calculer la valorisation de la modification de la distribution des temps de trajet pour différents profils d'individus - Etude de la transférabilité de ces estimations
Estimation et projection de la distribution des temps de parcours	<ul style="list-style-type: none"> - Courbes débit vitesse à mettre à jour et adapter au périmètre temporel (horaires, HPM et HPS) - Modèle de projection des caractéristiques de la distribution des temps de parcours en fonction des caractéristiques de la voie, du débit et, si prévisibles, d'événements rares (accidents, travaux, météo) pour les queues de distribution (approfondissement des travaux en cours pour le mode routier sur l'Île de France)
<p>Points particuliers à examiner :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Lien entre les distributions par arc et par OD. - Etudes à mener sur une typologie de voies suffisamment vaste et hors IdF (à la fois pour la valorisation et l'estimation des distributions). - Question du passage entre les modèles soit statiques en TMJA soit dynamiques pour un jour donné et les distributions par tranche horaire sur l'année pendant la durée de l'évaluation utilisées dans le cadre de la valorisation de la fiabilité. - Etude des effets des projets de gestion de trafic sur les distributions des temps de parcours (moyenne, variance, déciles) 	

Annexe

Cette fiche détaille les pistes de travail d'approfondissement pour améliorer la prise en compte de la variabilité des temps de parcours dans les évaluations de projets.

Pour cela, elle rappelle les enjeux liés à cette variabilité et les pratiques actuelles de prise en compte de la variabilité des temps de parcours pour les projets sous maîtrise d'ouvrage ministère. Après un rappel des besoins en termes de connaissance de la variabilité des temps de parcours, elle présente les différents types de méthodes de valorisation et leur domaine de pertinence. Elle propose enfin une correspondance entre types de projets et types de modèles à utiliser, ainsi que des pistes d'approfondissement.

1. Les enjeux liés à la variabilité des temps de parcours et les projets concernés

La plupart des projets ont un effet sur la distribution des temps de parcours dans son ensemble (moyenne, écart type, autres déciles de la distribution, etc.) donc les enjeux de prise en compte fine de la congestion récurrente et non récurrente varient selon le type de projet. Les trois types de projets les plus concernés par la valorisation de la variabilité des temps de parcours sont :

- évaluation des projets de capacité (augmentation de la capacité ou projet de « redondance » pour réduire la congestion et augmenter la résilience du réseau), qui modifient principalement la moyenne des temps de parcours ;
- évaluation des plans et mesures de gestion de trafic, qui modifient peu la moyenne mais plus l'écart type (voies réservée), ou les queues de distribution (détection automatique d'incidents) ;
- évaluation des politiques de maintenance (fonction du nombre de petits travaux non prévus ; travaux de nuit ; baisse du nombre de pannes dans le cas du ferroviaire).

Les causes de la variabilité des temps de parcours sont principalement la congestion, les incidents, la météo, les zones de travaux, les problèmes de signalisation et les événements spéciaux. La variabilité des temps de parcours a un effet sur les comportements, mais elle a aussi un impact sur les consommations énergétiques des véhicules et les émissions de polluants atmosphériques.

1.1. Enjeux de valorisation de la variabilité des temps de parcours dans le surplus des usagers

La variabilité des temps de parcours a un impact dans l'économie :

- pour les personnes : productivité de l'activité économique liée au respect d'horaires précis (organisation de l'industrie, prise de rendez-vous...), effets sur le bien-être et la santé (stress) ;
- pour les marchandises : l'optimisation des organisations logistiques conduit souvent à des organisations en juste à temps pour lesquelles la ponctualité est essentielle. La fiabilité fait par ailleurs partie du service vendu.

La question de la valorisation socio-économique de la variabilité des temps de parcours se pose pour les projets et politiques de transport ayant pour objectif de réduire ces sources de variabilité en particulier pour améliorer la qualité de service.

Elle est particulièrement prégnante dans un contexte de réseaux matures, de contrainte budgétaire (les problèmes de fiabilité ne peuvent pas tous être réglés par des travaux importants), de préoccupations environnementales (maîtrise de la consommation foncière, de la consommation des ressources) et de congestion sur certains axes, en particulier dans les grandes agglomérations où l'essentiel de l'activité économique se fait.

1.2. Enjeux de prise en compte de la variabilité des temps de parcours dans le calcul des consommations énergétiques et des émissions des véhicules

La consommation énergétique ainsi que les émissions de polluants atmosphériques et de CO₂ dépendent significativement de la vitesse et de sa variabilité, ce qui a un effet sur le calcul des externalités environnementales des projets de transport.

Actuellement, les calculs de consommation énergétique des véhicules dans les évaluations de projets d'infrastructures sont généralement basés sur des vitesses annuelles moyennes, supposées constantes sur l'année. A travers les facteurs de concentration, la variabilité des temps de parcours est prise en compte dans le calibrage des courbes débit-vitesse donc dans les modèles de trafic statiques. Par contre, l'application de courbes de consommation de carburant et d'émissions de polluants sur ces vitesses annuelles moyennes peut fausser grandement les calculs d'externalités environnementales en ignorant la variabilité des vitesses.

2. Les pratiques actuelles dans les évaluations de projets de transport pour la prise en compte de la variabilité

Les pratiques décrites ci-dessous se réfèrent aux pratiques les plus courantes d'évaluation de projets de transport pour le compte du MEEM.

La variabilité des temps de parcours n'est généralement pas prise en compte explicitement dans les évaluations de projets de transport, que ce soit au niveau du calcul du surplus des usagers ou des calculs d'externalités environnementales. Cependant, les modèles utilisés pour les évaluations utilisent des valeurs du temps révélées incluant probablement une valeur de la fiabilité.

Cependant, bien que rarement utilisées et présentant des difficultés d'application, des méthodes de valorisation de la fiabilité des temps de parcours sont proposées, de façon non prescriptive, dans la fiche du référentiel d'évaluation « [Valeurs recommandées pour le calcul socio-économique](#) » (octobre 2014). Ces méthodes sont tirées du rapport Quinet et consistent :

- pour les VP, à une valorisation de l'écart entre le 90^{ème} percentile et la médiane des temps de parcours, normalisé par la valeur médiane du temps de parcours ;
- pour les TC, à une valorisation de la probabilité de retard sur une OD horaire.

Les modèles de trafic sont en général des modèles statiques :

- les modèles interurbains sont en TMJA (trafic moyen journalier annuel) et la congestion est prise en compte par des courbes débit-vitesse, dans lesquelles le lien entre TMJA et trafics horaires sur une année est fait à travers le calcul du facteur de concentration ;
- les modèles urbains sont détaillés en heures de pointe mais ne sont pas dynamiques.

Des modèles dynamiques locaux peuvent être réalisés pour examiner finement le fonctionnement de certains carrefours ou encore pour simuler l'évacuation d'une agglomération. La prise en compte de la fiabilité dans les modèles et évaluations suppose donc une évolution des modèles de transport, ou a minima un questionnement sur l'additivité des effets.

3. Aperçu des méthodes de prise en compte de la fiabilité

L'évaluation socio-économique de la variabilité des temps de parcours passe tout d'abord par la connaissance de cette variabilité, de ses causes, puis par les méthodes de prédiction de cette variabilité. Enfin, l'impact de cette variabilité sur les comportements et son coût pour la collectivité doivent être étudiés.

3.1. Caractérisation de la variabilité des temps de parcours

Avant de valoriser la variabilité des temps de parcours, il est nécessaire de savoir la mesurer, en définissant des indicateurs utiles pour les différents volets de l'évaluation vus plus haut, de connaître les causes de cette variabilité, et les effets des projets sur la variabilité des temps de parcours. Ceci suppose des analyses de données de temps de parcours afin de savoir estimer la distribution des temps de parcours :

- prendre en compte la congestion récurrente ;
- connaître les incidents (type, fréquence, durée, etc.) et leur impact sur les temps de parcours ;
- connaître les impacts des projets que l'on souhaite évaluer sur les causes de la congestion récurrente et non récurrente.

3.2. Valorisation de la variabilité des temps de parcours

Le coût de la fiabilité des temps de parcours pour les usagers est notamment fonction de leur valeur du temps et de leur aversion au risque, dépendant eux-mêmes des caractéristiques de l'individu et de son motif de déplacement. La valorisation de la fiabilité des temps de parcours se fait en calculant le surplus lié une variation de la distribution des temps de parcours.

3.2.1. Aversion au risque et calcul de surplus

Afin de calculer le surplus lié à une variation de la distribution des temps de parcours, il est nécessaire de spécifier la fonction d'utilité des usagers (de type moyenne variance, CARA ou CRRA par exemple), de l'estimer, ce qui demande de connaître de leur aversion au risque, et d'estimer de la distribution des temps de parcours, dans son ensemble ou par certains déciles.

Une valorisation calculatoire « directe » de la fiabilité des temps de parcours, c'est-à-dire sans formule analytique type moyenne variance peut être effectuée à partir de la connaissance de la distribution des temps de parcours, et de la spécification de la fonction d'utilité elle-même calibrée à partir par exemple d'une enquête de préférence déclarée (de Palma, A. et N. Picard, 2005).

3.2.2. Cas particulier : le modèle « moyenne-variance »

Un cas particulier de calcul du surplus lié à la variation de la fiabilité des temps de parcours consiste à utiliser le modèle dit moyenne-variance, dans lequel la distribution est uniquement caractérisée par sa moyenne et son écart type.

Le modèle « moyenne-variance » le plus simple s'écrit sous la forme $E(U) = \alpha\mu + \beta\zeta$

avec μ la moyenne

ζ l'écart type de la distribution des temps de parcours

α = valeur monétaire du temps

β = valeur monétaire de la fiabilité.

Le modèle moyenne-variance, dans sa version la plus simple, présente deux inconvénients majeurs, liés à sa construction à partir de l'écart-type de la distribution des temps de parcours :

- le modèle est symétrique : il néglige par conséquent les dissymétries observées sur les distributions réelles de temps de parcours, qui évoluent en fonction de la période d'observation ;
- le modèle reflète une dispersion « moyenne » : à ce titre, il rend bien compte de la variabilité quotidienne des temps de parcours et a tendance à sous-estimer la durée des longs retards imprévus (du fait de leur faible fréquence).

Le modèle moyenne-variance suppose des simplifications importantes par rapport au modèle de choix d'horaire et ne permet donc pas, dans sa version la plus simple, d'évaluer finement les effets des variations des distributions de temps de parcours sur les trafics ni de calculer leur coût pour les usagers. Il semble néanmoins pertinent pour évaluer l'effet de la variabilité des temps de parcours pour les projets pour lesquels des modèles dynamiques ne sont pas disponibles mais dont on peut estimer simplement comment ils modifient de façon importante les paramètres d'une forme de distribution des temps de parcours de façon importante (projet de DAI ou de nœud ferroviaire par exemple). Une approche de type moyenne-variance peut rester intéressante dans certains cas pour les raisons suivantes :

- intérêt de la méthode pour les projets de type mesure de gestion de trafic : dans l'approche moyenne-variance, on considère que les automobilistes n'anticipent les retards que par une connaissance de la moyenne des temps de trajet sur l'origine-destination-horaire et que les arrivées en avance ne sont pas dommageables, ce qui constitue certes une limite à l'évaluation mais cet effet peut être négligé dans le cadre des évaluations des projets de type mesure de gestion de trafic ;
- disponibilité des données ;
- continuité avec les pratiques existantes de modélisation statique ;
- coût de mise en œuvre dans les bureaux d'étude ;
- homogénéité avec les pratiques existantes à l'étranger : le modèle moyenne-variance est utilisé notamment aux Etats-Unis, avec le 90^{ème} percentile comme indicateur de fiabilité, pour les évaluations de mesures de gestion de trafic notamment.

3.2.3. Evaluation sur données désagrégées : modèles de choix horaire

Les modèles de choix d'horaire peuvent permettre d'évaluer les effets d'un projet d'amélioration de la fiabilité des temps de parcours dès lors que les données et outils nécessaires sont disponibles, et que le modèle intègre des paramètres de fiabilité en plus de la caractérisation de la congestion récurrente.

Les données nécessaires sont les horaires d'arrivée souhaités des usagers (preferred arrival time), qui peuvent être modélisés par une distribution au sein de la population ; et des données de trajet désagrégées (motif, OD horaire, etc.). De plus, il est nécessaire de disposer d'un modèle de trafic dynamique, ce qui est actuellement très rare en France, à l'exception notable de l'île de France avec le modèle Métropolis (développé à l'université de Genève sous l'impulsion d'André de Palma et en collaboration avec Fabrice Marchal et Yurii Nesterov et calibré pour les villes de Lyon, Genève, Lausanne, Zurich, Stockholm, Séoul, Chicago et actuellement couramment utilisé sur l'Île-de-France) bien qu'il ne soit pas utilisé par les services de l'Etat.

Le modèle de choix d'horaire peut s'intégrer dans les modèles de tournée et de choix d'activité afin de prendre en compte explicitement les effets de la variabilité des temps de parcours sur la désorganisation des agendas. Les choix d'horaire peuvent être décomposés en choix micro ou macroscopiques : les choix microscopiques sont liés aux phénomènes de congestion (décalage de l'heure de départ de l'ordre de la minute pour un horaire d'arrivée voulu) et les choix macroscopique au choix d'activité (choix de la période dans la journée pour faire l'activité voulue, en fonction des périodes de pointe de trafic).

On peut donc distinguer le choix de l'ordre de la tournée et le choix des horaires de départ. Les modèles de choix d'horaire en préférences (α - β - γ : cf. formule ci-dessous) relèvent plutôt de la deuxième catégorie, bien que le cadre général puisse s'appliquer dans les deux cas.

Les choix d'horaire en préférences (α - β - γ) correspondent au modèle suivant :

$$E(U) = \alpha \cdot E(T(d)) + \beta \cdot E(SDE(d)) + \gamma \cdot E(SDL(d)) + \Theta \cdot E(DL)$$

où $T(d)$ = temps de parcours (variable aléatoire dans le cadre de la valorisation de la fiabilité)

$SDL(d)$ = retard $SDE(d)$ = avance

α = valeur monétaire du temps

γ et β = valeur monétaire du temps de retard (resp. d'avance): désutilité marginale de l'interruption d'une activité à l'arrivée (resp. au départ)

$DL = 1$ si retard, 0 sinon Θ est la pénalité de retard

4. Choix de la méthode de calcul des gains de fiabilité

4.1. Dans quels cas faut-il prendre en compte la fiabilité des temps de parcours ?

L'enjeu pour les projets de capacité ou de fluidité réside tout d'abord dans les avantages en temps, bien que les effets sur la variabilité des temps de parcours soient évidents. Il est donc proposé pour ce type de projets d'affiner et de consolider les calculs des gains de temps à travers un affinement des courbes débit-vitesse et des calibrages locaux de ces courbes, sans ajouter de valorisation de la fiabilité, considérée comme étant du second ordre.

Certains projets, comme des mesures de gestion de trafic, peuvent avoir un impact faible sur les gains de temps en moyenne, tout en modifiant fortement la variabilité des temps de parcours. Il est proposé de les valoriser par une approche exogène au modèle de trafic, à partir de l'intégration de l'effet de la variation de la distribution des temps de parcours dans le calcul de surplus.

Pour l'évaluation des mesures de gestion de trafic détaillées ci-dessous (de façon non exhaustive), il est nécessaire de connaître :

- l'effet des mesures ou projets évalués sur les causes de variabilité des temps de parcours ;
- l'effet d'une réduction des durées ou fréquences des incidents sur la variabilité des temps de parcours.

Concernant le premier point, une base de données existe par exemple aux Etats-Unis mais sa transférabilité ou, le cas échéant, le calcul de valeurs françaises est un pré-requis nécessaire à la valorisation socio-économique de la variabilité des temps de parcours liés à ces projets. Une autre option consiste à modéliser explicitement l'effet de la mesure sur la distribution des temps de parcours par l'utilisation d'un modèle de simulation dynamique. Les deux méthodes présentent des limites et doivent donc être utilisées de façon complémentaire.

Concernant le second point, une connaissance statistique des causes de la variabilité des temps de parcours est nécessaire.

4.2. Quelle méthode de valorisation de la fiabilité des temps de parcours utiliser en fonction du projet ?

En substance, les deux méthodes retenues d'intégration de la fiabilité des temps de parcours dans le calcul de surplus consistent :

- soit à valoriser la fiabilité de façon exogène au modèle de trafic, ce qui demande de choisir une forme de fonction d'utilité et de connaître les paramètres d'aversion au risque et de la valorisation du temps par les usagers, ainsi que de connaître ou savoir estimer la distribution des temps de parcours et l'impact du projet évalué sur cette distribution. Cette méthode de calcul du surplus peut être utilisée dans les deux cas suivants :
 - si la fiabilité n'est pas prise en compte dans le modèle de trafic ;
 - si la fiabilité est prise en compte sommairement dans le modèle de trafic (par le biais d'un indicateur de fiabilité par exemple), en complément du calcul de surplus en sortie

du modèle le cas échéant ;

- soit à calculer le surplus des usagers découlant de l'utilisation d'un modèle de choix d'horaire prenant en compte à la fois la congestion et la fiabilité des temps de parcours.

Au vu des données nécessaires et limites des modèles résumées ci-dessus, l'approche proposée part du constat que les modèles de trafic actuels, principalement statiques ou de simulation dynamique, ne peuvent pas capter de façon satisfaisante les coûts de la fiabilité.

L'utilisation de modèles de choix d'horaire relève donc plutôt du long terme. L'approche exogène au modèle de trafic se décline selon le type de modèle de trafic utilisé, et sa finesse en termes d'estimation des temps de parcours.

Concernant la valorisation des coûts de la variabilité des temps de parcours pour les usagers et les effets sur leurs comportements, le type et la finesse du modèle de trafic utilisé sont à choisir en fonction du projet évalué, de ses objectifs et des données disponibles.

4.3. Sans modèle de trafic

Ce cas se présente par exemple dans le cadre de l'évaluation sommaire de mesures de gestion de trafic.

Il s'agit alors en premier lieu d'estimer la variation des principaux paramètres (moyenne, variance, médiane, quelques percentiles) de la distribution des temps de parcours due au projet. L'impact du projet sur la distribution de temps de parcours est établi par analogie ou retour d'expérience, par élasticité ou par formules simples.

Une approche simplifiée pour estimer la variation de la distribution des temps de parcours par le projet pourrait consister à déterminer le percentile de la distribution le plus impacté par le projet (par exemple, le 90^{ème} percentile pour les accidents, la médiane pour les projets de capacité), puis à mesurer les variations des autres points de la distribution des temps de parcours en fonction de cet indicateur à partir de régressions sur des données de temps de parcours. Il s'agit donc de mesurer la variation de la distribution simplifiée des temps de parcours à partir de la variation d'un des points de cette distribution.

Ces estimations de la distribution des temps de parcours sont ensuite utilisées pour calculer la valorisation de la modification de la distribution des temps de trajet.

4.4. Avec un modèle de trafic statique

Ce cas se présente notamment pour les projets interurbains ou les projets urbains sans modélisation dynamique.

Il s'agit alors en premier lieu d'estimer la congestion récurrente à l'aide de courbes débit-vitesse calibrées, si possible localement (facteur de concentration notamment). Cette estimation peut se faire pour différentes segmentations du temps (heures de pointes/heure creuse, horaire, TMJA, etc.).

La seconde étape consiste à estimer la variation de la distribution des temps de parcours horaire due au projet (moyenne et indicateur de fiabilité) à l'aide de courbes débit-vitesse enrichies ou de corrélations entre moyenne et variance ou autres paramètres de la distribution des temps de parcours. Eventuellement, un indicateur de fiabilité être pris en compte dans l'étape de choix d'itinéraire du modèle de trafic peut, auquel cas celui-ci doit être calculé en moyenne sur l'année, pour être cohérent avec les TMJA.

La valorisation des temps de parcours peut se faire à plusieurs niveaux selon les enjeux du projet.

Dans le cas où les enjeux du projet sont des enjeux de baisse de la congestion plutôt que de baisse des valeurs extrêmes ou de l'étalement de la distribution des temps de parcours (enjeux de baisse des durées des incidents par exemple), les enjeux d'évaluation passent en priorité par la

qualité de l'estimation des gains de temps, ce qui nécessite un calibrage local des courbes débit-vitesse. La valorisation peut alors concerner uniquement les gains de temps en moyenne. Dans ce cas, la moyenne de la distribution des gains de temps est estimée par les courbes débit-vitesse et valorisée avec la valeur du temps.

Dans les autres cas pour lesquels les enjeux d'évaluation concernant en priorité la forme de la distribution des temps de parcours, il s'agit de calculer le surplus lié à une variation de la distribution des temps de parcours, à partir d'une spécification de la fonction d'utilité des usagers, d'une connaissance de leur aversion au risque et d'une estimation de la distribution des temps de parcours, dans son ensemble ou par certains déciles.

Le calcul de surplus lié à une variation de la distribution des temps de parcours demande de savoir estimer la distribution des temps de parcours en situation de projet, par exemple à partir de relations entre différents déciles, la moyenne des temps de parcours et des caractéristiques de la route. Cette relation peut être calibrée à partir de données de comptage dans un certain nombre de cas considérés comme représentatifs.

De plus, cette estimation de la distribution peut être affinée pour l'analyse de mesures spécifiques telles que la réduction de la durée d'intervention des incidents si l'on dispose de données (accidentologie, météo et fréquence des travaux pour les principales causes de la non-fiabilité). Des études statistiques sont donc nécessaires en amont afin de calibrer les courbes débit-vitesse, le lien entre variance des temps de parcours, moyenne, effets des mesures que l'on souhaite évaluer (fréquence et durée des accidents par exemple) et caractéristiques de la route.

4.5. Avec un modèle de simulation dynamique

Dans certains cas, l'approche par la modélisation statique de trafic peut devenir insuffisante. Il s'agit notamment des évaluations de projets urbains présentant des enjeux de congestion importants et des risques de propagation de la congestion liés à l'interdépendance des mailles du réseau. En effet, dans ce cas, les courbes débit-vitesse sont hors de leur domaine de pertinence et ne permettent plus d'estimer les gains de temps pour les usagers. Il peut devenir alors nécessaire, suivant les enjeux du projet, de mettre en place de la modélisation dynamique de trafic afin d'estimer les distributions de temps de parcours de façon explicite, voire utiliser des modèles comprenant du choix d'horaire.

Dans certains cas les modèles de microsimulations peuvent donner directement les distributions des temps de parcours, en référence et en projet.

Il s'agit alors d'utiliser ces estimations pour calculer la valorisation de la modification de la distribution des temps de trajet. La valorisation de la fiabilité se faisant a priori sur des OD et sur des heures.jour, cette étape peut cependant demander de faire un certain nombre d'hypothèses afin de pouvoir appliquer les méthodes de valorisation sur l'ensemble de la période d'évaluation.

5. Prise en compte de la variabilité des vitesses pour les calculs d'émissions

L'impact de la variabilité des temps de parcours sur la consommation énergétique, les émissions de polluants atmosphériques et les émissions de CO2 semble accessible à l'heure actuelle à partir des outils existants. L'intérêt est de prendre en compte dans l'évaluation socio-économique les effets de la congestion sur la consommation énergétique et les émissions des véhicules.

6. Pistes d'études

Comme indiqué précédemment, la prise en compte de la variabilité des temps de parcours dans le calcul socio-économique passe tout d'abord par la connaissance de cette variabilité, de ses causes, puis par les méthodes de prédiction de cette variabilité. Cette première phase de connaissance de la variabilité des temps de parcours suppose des analyses de données de temps de parcours afin de :

- connaître les temps de parcours (en moyenne, écart type, déciles, etc.) en situation fluide et de congestion récurrente : il s'agit alors des courbes de type débit-vitesse généralisées et de leur utilisation dans le cadre de la modélisation statique afin d'améliorer les calculs de gains de temps des projets routiers, préalable nécessaire à l'affinement des gains de temps par la valorisation de leur variabilité. Il s'agit de plus de caler ce type de courbes au niveau horaire ;
- connaître les incidents (type, fréquence, durée, etc.) et leur impact sur la distribution des temps de parcours ;
- connaître les impacts des projets que l'on souhaite évaluer sur les causes de la congestion récurrente et non récurrente.

Sur la base de cette connaissance, l'impact de la variabilité des temps de parcours sur les émissions de polluants, consommations de carburant, et émission de CO2 demande d'adapter les courbes de consommation et émissions à :

- des données en TMJA en prenant en compte la variabilité horaire avec un calcul sur des données horaires sur une année ;
- des modélisation dynamiques de trafic (cf. rapport d'étude publié par le SETRA « Évaluation environnementale des projets de gestion dynamique de trafic » (paru en juin 2012) qui présente notamment les possibilités et la pertinence de couplage entre modèles de trafic dynamiques et modèles d'émission permettant de prendre en compte la variabilité des vitesses dans les émissions de polluants : <http://www.infra-transports-materiaux.cerema.fr/evaluation-environnementale-des-a5152.html>).

Enfin, l'impact de cette variabilité sur les comportements et son coût pour la collectivité peuvent être étudiés. La première étape serait d'utiliser la connaissance statistique des temps de parcours obtenue par les études sur les données de comptage afin de savoir projeter les indicateurs de fiabilité en fonction des caractéristiques du projet considéré, des trafics et des vitesses moyennes estimées. Ensuite, des indicateurs peuvent être intégrés dans des modèles de trafic et/ou évalués à l'aide d'un ratio de fiabilité, à estimer. La deuxième étape de mesure des coûts de fiabilité pour les usagers consiste à affiner la connaissance du coût de la variabilité des temps de parcours, notamment en termes de désorganisation des agendas, pour les voyageurs et pour les marchandises. Une troisième étape, de plus long terme, consiste à mettre en place des modèles dynamiques de choix d'horaire.

En termes de gouvernance, la prise en compte de la variabilité des temps de parcours dans les modèles de trafic et l'évaluation socio-économique révèle un besoin de partenariat entre recherche et praticiens allant au-delà des échanges sur les travaux mutuels.

Le CEREMA prendra en charge les points 6.1 (Connaissance de la congestion récurrente et de la variabilité des temps de parcours) et 6.2 (Prise en compte de la variabilité des temps de parcours dans les calculs des externalités environnementales) au titre de son programme 2016.

Les points 6.3 (Valorisation), 6.4 (Recherche sur les coûts de non fiabilité) et 6.5 (Evolution à plus long terme vers les modèles de choix d'horaire) font appel à une expertise présente dans certains laboratoires de recherche qui sera mobilisée. Le point 6.3 sera étudié par l'ENS Cachan dans le cadre d'une convention de recherche.

6.1. Connaissance de la congestion récurrente et de la variabilité des temps de parcours

En priorité et préalablement à la valorisation socio-économique de la variabilité des temps de parcours dans le surplus des usagers, il est nécessaire de mener des travaux statistiques sur les données de comptage, pouvant être tirées des stations SIREDO et de données FCD pour les données routières. Cette étude demande de recueillir des données de comptage, ainsi que, si possible, des données par OD, sur France entière, avec les caractéristiques de voie, circulation, délais d'intervention, etc. correspondant.

Connaissance et appréciation de la variabilité des temps de parcours par les usagers

- Une étude bibliographique, complémentaire des études bibliographiques sur la projection des indicateurs de variabilité ou sur leur valorisation, sera menée sur les indicateurs pris en compte par les usagers (mémoire sur combien de temps, quel perception des temps de parcours ? indicateur retenu ? quelle segmentation par les usagers de la distribution des temps de parcours ? (cf. par exemple Uncovering the influence of commuters' perception on the reliability ratio, Carrion et Levinson, 2012)
- Revue des études de mesure et projection des indicateurs de variabilité des temps de parcours sur des villes en Europe (Eliasson 2006 ; Peer, 2010 ; de Jong, 2015)

Au-delà de la seule connaissance des impacts des projets sur les causes de variabilité, il pourrait être intéressant de caractériser les conditions dans lesquels les fortes variabilités de temps de parcours sont génératrices de désutilité.

S'agit-il plutôt de déplacements domicile/travail (le matin, le soir...), de déplacements de loisir ?

Cette caractérisation permettrait en effet de déterminer les indicateurs les plus à même de rendre compte de cette variabilité (faut-il la calculer uniquement en HPM, sur la journée entière, un jour ouvré, un jour de départ de vacances ?).

Les études en cours sur les voies réservées traitent en partie de ces questions, pour les VP comme pour les TC.

Connaissance et estimation de la distribution des temps de parcours : enrichissement et mise à jour des courbes débit-vitesse

Sur l'ensemble des sujets ci-dessous, un programme d'études portant sur une typologie des voies à déterminer, couvrant les principaux cas de figure de vitesse et type de route du réseau routier est nécessaire afin d'avoir des données robustes. Les données recueillies porteront notamment sur la distribution des vitesses par tronçon, par itinéraire, les caractéristiques des voies, un indicateur d'intervention en cas d'incident, etc. La base de données recueillie sera utilisée pour les points suivants :

- Mise à jour des courbes débit-vitesses en TMJA ;
- Calibrage horaire des courbes débit vitesse simultanément à l'étude du lien entre vitesse moyenne prévisible, caractéristiques de circulation et de la voie, et caractéristiques de la distribution des temps de parcours (déciles, moments, etc.) afin de pouvoir évaluer la modification de la moyenne des temps de parcours en fonction des causes de variabilité ;
- Etude d'une relation entre moyenne, écart type et autres déciles pertinents de la distribution des temps de parcours.

Ce travail devra également être mené pour les TC, bien que les questions posées par cette estimation de la distribution des temps de parcours par origine destination puissent différer.

Etude des propriétés des projections des indicateurs de la variabilité des temps de parcours :

- les distributions centrées normées sont-elles stables dans le temps (à quel pas de temps sont-elles stables ? horaire, HPM/HPS, journalier ?) et dans l'espace ?
- les indicateurs (moyenne et variance) sont-ils additifs sur les arcs ? comment les calculer par OD ? (cf. pour le mode routier Fosgerau and Fukuda (2010): *Valuing travel time variability: Characteristics of the travel time distribution on an urban road*).

Connaissance de l'impact des projets et mesures de gestion de trafic sur les causes de variabilité des temps de parcours

- Etude bibliographique sur les connaissances des impacts des projets de transport sur les causes de variabilité des temps de parcours (impact des projets sur la fréquence et la durée des incidents selon le type d'incident, impact sur la congestion récurrente) et sur les indicateurs de variabilité impactés par ces projets (percentile impacté) ;
- Utilisation des sorties de modèles de simulation dynamique pour la valorisation de la fiabilité des temps de parcours ;
- Analyse de la transférabilité de ces données et test sur des projets.

6.2. Prise en compte de la variabilité des temps de parcours dans les calculs des externalités environnementales

Utilisation de courbes de consommation de carburant, d'émissions de CO2 et polluants atmosphériques VL et PL basées sur des calculs d'émissions à partir des données de comptage, des courbes Copert et des parcs roulants par catégorie de voie, ou utilisation de modèles d'émissions cohérents avec les éventuelles modalisations dynamiques en application des recommandations du rapport d'études *Évaluation environnementale des projets de gestion dynamique de trafic* », 2012, Sétra.

6.3. Valorisation de la variation de la distribution des temps de parcours

- Valorisation de la fiabilité des temps de parcours à partir d'enquêtes de préférence déclarées et test sur des projets (*Propositions d'amélioration des modèles de transports pour l'évaluation des projets d'infrastructures de transport.*, A. de Palma, N. Picard, S. Dantan) :
 - Les estimations des paramètres de la valorisation du temps de trajet (aversion au risque, VOT, VOR) et des paramètres de déshorage seront effectuées à partir des données de l'enquête MIMETTIC. Une attention particulière sera portée à l'effet des caractéristiques sociodémographiques sur ces paramètres.
 - Ces estimations seront utilisées pour calculer la valorisation de la modification de la distribution des temps de trajet pour différents profils d'individus. En un second temps, cette méthode sera appliquée à la distribution des temps de trajet effectifs sur les arcs franciliens, collectée par la DGITM.
 - L'impact d'une réduction de la variabilité des temps de trajet sur le bien-être des usagers sera alors mesuré à partir de la distribution des temps de trajet observée sur des arcs franciliens et de la valorisation des différents profils pondérés de façon à être représentatifs de la population francilienne. La DGITM fournira les données sur les distributions des temps de trajet, et nous aidera à définir ce qu'on entend par une diminution de la variabilité des temps de trajet (de type MPS « *mean preserving spread* »). Il sera éventuellement nécessaire de déterminer les formes fonctionnelles qui rendent compte au mieux des distributions.
 - En utilisant des distributions de temps de trajet Origine-Destination qui seront fournies par la DGITM, l'effet de la variabilité sera mesuré pour les différents types de trajet ayant lieu durant une journée (en particulier pour différents motifs). L'ENS

Cachan examinera avec la DGITM les méthodes d'agrégation des distributions de temps de parcours par arc pour aboutir à des distributions de temps de parcours par OD. Le coût du temps, l'impact de la variabilité et les paramètres de deshorage dépendent à priori du motif de déplacement. Nous en prendrons compte au mieux avec les données existantes. Les travaux menés aboutiront notamment à la définition des éléments techniques nécessaires à la conception d'un prototype de démonstrateur de calcul permettant de calculer la valorisation de la modification de la distribution des temps de trajets pour différents profils d'individus. Le rapport de recherche détaillera les différentes étapes, les formulations mathématiques et les valeurs à employer par un tel démonstrateur.

- A plus long terme, l'étude pourra être transposée à d'autres régions que l'Île-de-France, en recalculant et en pondérant les paramètres de valorisation selon la composition sociodémographique des régions en question.
- Tests d'une méthode à trois moments sur les durées domicile-travail constatées en Île-de-France (Marc Gaudry, rapport du 1^{er} novembre 2015).

6.4. Coûts de non fiabilité dans le transport de marchandises

L'optimisation des organisations logistiques conduit souvent à des organisations en juste à temps pour lesquelles la ponctualité est essentielle. Une étude sera menée sur la valorisation du temps et de la fiabilité pour les déplacements de marchandises.

6.5. Evolution à plus long terme vers les modèles de choix d'horaire

L'évolution vers les modèles de choix d'horaire demande plusieurs étapes :

- revue des pratiques : exemples de mises en œuvre, identification des données nécessaires ;
- étude exploratoire de mise en œuvre.

7. Bibliographie

- Andrieu, L., A. de Palma et N. Picard (2007), Intégration du risque et de l'incertitude dans la construction du calcul économique, in *Economica : le calcul économique dans le processus de choix collectif des investissements de transport*, Joël Maurice et Y. Crozet (eds.), 128-164.
- Asensio, J., Matas, A. (2007), Value of time and reliability on C-32 highway near Barcelona, *Studies on public works and transportation*, n. 107, pp. 105-124.
- Bates, J., Polak, J., Jones, P., Cook A. (2001), The valuation of reliability for personal travel, *Transportation Research Part E*, 37-2/3, pp. 191-229.
- Batley, R. and Ibanez, J. N. (2009), Randomness in preferences, outcomes and tastes; an application to journey time risk, in 'Proceedings of the International Choice Modelling Conference, Harrogate, UK.'
- Black, I., Towriss, J. (1993), Demand effects of travel time reliability, Centre for Logistics and Transportation, Cranfield Institute of Technology.
- Brems, C. R. (2007), Traveller's benefits of reduced congestion, Danish Transport Research Institute.
- Brownstone, D., Small, K. (2005), Valuing time and reliability : assessing the evidence from road pricing demonstrations, *Transportation Research Part A*, 39, pp. 279-293.
- Carrion, C. and Levinson, D. (2010), Value of reliability: High occupancy toll lanes, general purpose lanes, and arterials, in 'Conference Proceedings of 4th International Symposium on Transportation Network Reliability in Minneapolis, MN (USA)'
- Carrion, C. and Levinson, D. (2011), A model of bridge choice across the mississippi river in minneapolis, in 'Presented at the 90th Annual Transportation Research Board Conference, January 23-27, 2011'.
- Certu (2008), Les temps de parcours – Estimation, diffusion et approche multimodale.
- Coulombel, N. et A. de Palma (2014). The variability of travel time, congestion, and the cost of travel. *Mathematical Population Studies*, sous presse.
- de Jong, Bliemer, On including travel time reliability of road traffic in appraisal *Transportation Research Part A* 73 (2015) 80–95
- de Palma et N. Coulombel (2014). The marginal social cost of travel time variability, *Transportation Research C, Emerging Technologies, Part 1* (47), 47-60.
- de Palma, A. et N. Picard (2005), Route Choice Decision and Travel Time Uncertainty, *Transportation Research: a Policy and Practice*, 39(4), 295-324.
- De Palma, A., Fontan, C. (2001), Éléments d'analyse de la composante horaire des déplacements : le cas de la région Ile-de-France, *Les Cahiers Scientifiques du Transport*, n° 39, pp. 55-86.
- de Palma, A., N. Picard et L. Andrieu (2012). Risk in Transport Investments, Networks and Spatial Economics, 12, 2, 187-204.
- DfT (2009), The Reliability Sub-Objective – TAG Unit 3.5.7., United Kingdom Department for Transport.
- Eliasson, J. (2004), Car drivers' valuations of travel time variability, unexpected delays and queue driving, *Proceedings of the European Transport Conference*, Transek AB.
- Eliasson, J. (2006), Forecasting Travel Time Variability, Working Paper.
- Eliasson, J. (2009), Reliability in Swedish CBA – Current practice and what needs to be done, Intervention lors d'une rencontre internationale organisée par le Strategic Highway Research Program (SHRP2) du Transportation Research Board (TRB) et le Joint Transport Research Centre.

- FHWA (2006), Travel time reliability: Making it there on time, all the time, United States Federal Highway Administration.
- Fosgerau, M. and Engelson, L. (2011), "The value of travel time variance", Transportation Research Part B , Vol. 45, pp. 1–8.
- Fosgerau, M. and Karlstrom, A. (2010), "The value of reliability", Transportation Research Part B , Vol. 44, pp. 38–49.
- Fosgerau, M., Fukuda, D. (2010), Valuing Travel Time Variability: Characteristics of the travel time distribution on an urban road, MPRA Paper 24330.
- Fosgerau, M., Karlström, A. (2007), The Value of Reliability, MPRA Paper 5733.
- Guillou, V. (2010), Étude d'opportunité pour un outil d'évaluation des mesures de régulation du trafic, Master d'Action Publique Ecole des Ponts ParisTech, Sétra.
- Hamer, R., de Jong, G., Kroes, E. (2005), The value of reliability in Transport – Provisional values for the Netherlands based on expert opinion, RAND Technical Report Series, TR-240-AVV.
- HEATCO (2006), Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment, Deliverable 5, Proposal for harmonized guidelines.
- Hollander, Y. (2005), The attitudes of bus users to travel time variability, Proceedings of the European Transport Conference, Institute for Transport Studies, University of Leeds.
- Jackson, W. and Jucker, J. (1982), "An empirical study of travel time variability and travel choice behavior.", Transportation Science , Vol. 16, pp. 460–475.
- Joel P. Franklin, 2009, Modeling Reliability as Expected Lateness: A Schedule-Based Approach for User Benefit Analysis,.
- Kouwenhoven, M., Caussade, S., Kroes, E. (2006), Value of Reliability of Travellers on the Paris Suburban Railway Network, RAND Technical Report Series.
- Li, Z., Hensher, D., Rose, J. (2010), Willingness to pay for travel time reliability in passenger transport: a review and some new empirical evidence, Institute of Transport and Logistics Studies, University of Sydney, Working Paper.
- Lomax, T., Schrank, D., Turner, S., Margiotta, R. (2003), Selecting travel reliability measures, Texas Transportation Institute Cambridge Systematics.
- Markovich (2009), «Synthesis of research on value of time and value of reliability», Florida Department of Transport.
- Noland, R. and Small, K. (1995), "Travel-time uncertainty, departure time choice, and the cost of morning commutes", Transportation Research Record , Vol. 1493, pp. 150–158.
- NZTA (2008), Economic Evaluation Manual, Volume 1, Amendment No 2, New Zealand Transport Agency.
- OCDE (2009), Améliorer la fiabilité des réseaux de transport de surface, Centre de recherche sur les transports.
- Small, K (1982), The Scheduling of Consumer Activities: Work Trips, American Economic Review, 72, pp. 467-479.
- Small, K, Noland, R., Chu, X., Lewis, D. (1999), Valuation of travel time savings and predictability in congested conditions for highway user-cost estimation, Report 431, National Cooperative Highway Research Program.
- Small, K. (1982), "The scheduling of consumer activities: Work trips", American Economic Review, Vol. 72, The American Economic Association, pp. 467–479.
- Small, K., Winston, C., Yan, J. (2005), Uncovering the distribution of motorists' preferences for travel time and reliability, Econometrica, vol. 73, issue 4, pp. 1367-1382.

Tilahun, N. and Levinson, D. (2010), "A moment of time: Reliability in route choice using stated preference", *Journal of Intelligent Transportation Systems*, Vol. 14, pp. 179 –187.

Tseng, Y.-Y. (2008), *Valuation of Travel Time Reliability in Passenger Transport*, PhD theses, Tinberger Institute.

Tseng, Y.-Y., Ubbels, B., Verhoef, E. (2005), *Value of time, schedule delay and reliability*, Department of Spatial Economics, Free University.

Van Lint, J., Zuylen, H. (2004) *Monitoring and predicting freeway travel time reliability: Using width and skew of the day-to-day travel time distribution*, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, n° 1917, pp. 54-62.

Van Lint, J., Zuylen, H., Tu, H. (2008), *Travel Time Reliability on Freeways: Why measures based on variance tell only half the story*, *Transportation Research Part, Volume 42, Issue 1*, pp. 258-277.

Vickrey, W. (1969), *Congestion theory and transport investment*, *American Economic Review*, 59, pp. 251-261.

Zerguini, S., Khademi, N. (2011), *La variabilité des temps de déplacement : élaboration d'un modèle de valorisation et conséquences dans le calcul économique*, *Congrès International ATEC-ITS*.