

UNIVERSITE LIBRE DE BRUXELLES

IGEAT

Le péage urbain, une solution pour lutter  
contre la congestion en Région de  
Bruxelles-Capitale ?

Michaël Vande Velde

Mémoire réalisé sous la direction  
conjointe de Monsieur F.  
Dobruszkes et Monsieur P. Kunsch  
en vue de l'obtention du Master en  
Gestion de l'Environnement

---

Année académique 2007-2008



## Remerciements

Je tiens à remercier ici Monsieur Dobruszkes pour les précieux contacts qu'il m'a fournis et pour m'avoir poussé à ne pas me satisfaire de ce que j'estimais suffisant.

Je souhaite remercier également mon co-directeur, Pierre Kunsch pour ses idées, que je n'ai pas toujours suivies, dans le cadre de la modélisation et surtout pour sa passion communicative en la matière.

Que soient remerciés ici aussi :

T. Duquenne pour le temps qu'il a bien voulu me consacrer et pour les précieux documents, véritables mines d'information, qu'il m'a fournis.

Tous les auteurs, F. Mirabel en particulier, qui m'ont gracieusement envoyé leurs articles lorsque je leur en ai fait la demande.

Toutes celles et ceux qui m'ont proposé leur aide à un moment ou à un autre.

Toutes celles qui m'ont effectivement aidé dans les derniers instants à rendre mon mémoire dans des délais raisonnables...

# Table des matières

<b><u>Introduction</u></b> .....	1
<b><u>Chapitre I : Bruxelles et la mobilité</u></b> .....	3
1.1 Description de la Région Bruxelles-Capitale.....	3
1.2 Mobilité de la Région : état des lieux.....	5
1.3 Répartition des compétences en termes de mobilité.....	10
1.4 Impacts des transports.....	11
1.4.1 Pollution atmosphérique (y compris les GES).....	11
a) Transports et réchauffement climatique.....	12
b) Transports et qualité de l'air.....	15
1) Effets néfastes sur la santé .....	16
2) Dégradation des bâtiments.....	16
1.4.2 Le bruit.....	18
1.4.3 Les accidents.....	20
1.4.4 Consommation d'énergie.....	20
1.4.5 Congestion.....	21
1.4.6 Synthèse : comparaison auto vs autres modes de transport.....	23
1.5 Mobilité de demain.....	25
1.5.1 Engagements et objectifs.....	25
1.5.2 Prévisions tendanciennes à l'horizon 2015.....	27
1.5.3 Conclusion : il faut agir !.....	29
<b><u>Chapitre II : La congestion</u></b> .....	31
2.1 Définition et description du phénomène physique.....	31
2.2 La congestion : conséquence d'un déséquilibre des coûts.....	33
2.3 La congestion : conséquence de décennies de politiques pro-auto.....	35
2.4 La congestion au centre d'un cercle vicieux : le déclin urbain.....	37
2.4.1 Cercle vicieux congestion - dégradation des transports publics.....	38
2.4.2 Cercle vicieux congestion urbaine - qualité de vie - répartition du logement.....	40
2.4.3 Cercle vicieux congestion – compétitivité et attractivité économiques de la ville.....	42
2.5 Mesures pour lutter contre la congestion.....	43
2.5.1 Mesures visant le nombre de déplacements.....	44
2.5.2 Mesures visant la répartition modale des déplacements.....	45
2.5.3 Mesures visant la structure temporelle du trafic.....	45
2.5.4 Conclusions.....	46
<b><u>Chapitre III : Le péage urbain : Revue de la littérature</u></b> .....	47
3.1 Théorie économique du péage.....	48
3.2 Objectifs d'un péage.....	55

<b>3.3 Paramètres et types de péage</b> .....	<b>57</b>
<b>3.4 Technologies</b> .....	<b>60</b>
<b>3.5 Des effets pervers ?</b> .....	<b>62</b>
3.5.1 La délocalisation des entreprises.....	62
3.5.2 Le report de circulation.....	65
3.5.3 L'atteinte à la vie privée.....	65
3.5.4 L'injustice sociale.....	66
<b>3.6 Le passage à la pratique : résultats des expériences existantes</b> .....	<b>69</b>
3.6.1 Le cas de Londres.....	70
3.6.2 Le cas de Stockholm.....	74
<b>3.7 Un péage à Bruxelles : Configuration et implications</b> .....	<b>76</b>
<b>3.8 Autorité Compétente</b> .....	<b>78</b>
<b>3.9 Acceptabilité du péage par l'opinion publique</b> .....	<b>79</b>
<b><u>Chapitre IV : Modélisation et simulation</u></b> .....	<b>83</b>
<b>4.1 Introduction</b> .....	<b>83</b>
<b>4.2 Description du modèle</b> .....	<b>86</b>
4.2.1 Hypothèses fondamentales.....	86
4.2.2 Modèle de flux du trafic.....	87
a) Principe.....	87
b) Technologie du phénomène de congestion.....	88
c) Choix des heures de départ : Analyse multicritère.....	90
c.1) Méthode de classement d'actions inspirée de ProméthéeII (analyse multicritères).....	91
c.2) Les critères retenus et leurs fonctions de préférence.....	92
c.3) Les poids des critères.....	95
c.4) Le poids des habitudes (obstination).....	97
4.2.3 Modèle de choix modal.....	97
a) Principe.....	97
b) L'analyse multicritère des modes de transport.....	99
b.1) Méthode de classement des modes.....	99
b.2) Les critères et leurs fonctions de préférence.....	99
b.3) Les poids des critères.....	103
4.2.4 Modèle global.....	104
<b>4.3 Paramétrage et validation du modèle</b> .....	<b>105</b>
4.3.1 Le modèle de flux du trafic.....	105
4.3.2 Le modèle de choix modal.....	110
<b>4.4 Scénarios</b> .....	<b>112</b>
4.4.1 Scénario de référence (REF).....	113
4.4.2 Scénarios alternatifs.....	113
<b>4.5 Résultats</b> .....	<b>115</b>
4.5.1 Impacts sur le trafic automobile.....	115
a) Caractéristiques générales du trafic.....	115
b) Caractéristiques de congestion.....	117
c) Distribution horaire du trafic.....	118
4.5.2 Impacts sur la répartition modale.....	119
4.5.3 Impacts sur les recettes du péage.....	120
<b>4.6 Analyse</b> .....	<b>121</b>

<b>4.7 Discussion</b> .....	<b>124</b>
<b>4.8 Conclusions et perspectives</b> .....	<b>125</b>
<b><u>Conclusion</u></b> .....	<b>127</b>

# Table des figures

## Chapitre I : Bruxelles et la mobilité

<b>Figure 1.1</b> La Région Bruxelles- Capitale et la zone RER. Source : Mobil 2015.....	4
<b>Figure 1.2</b> Evolution du trafic dans la RBC en fonction de l'heure en 2001.Source: Mobil2015.....	7
<b>Figure 1.3</b> Choix modal pour le pic du matin 6h-10h en 2001 (déplacements tous motifs) Source: Mobil2015.....	8
<b>Figure 1.4</b> Evolution de la clientèle de la STIB (en millions de voyages par an) entre 1997 et 2005. Source : Mobil 2015.....	10
<b>Figure 1.5</b> Evolution des émissions de GES en Belgique de 1990 à 2005 et trajectoire Kyoto Source : <a href="http://www.climat.be">http://www.climat.be</a> .....	13
<b>Figure 1.6</b> Evolution des émissions de GES des différents secteurs par rapport au niveau en 1990. Source : <a href="http://www.climat.be">http://www.climat.be</a> .....	14
<b>Figure 1.7</b> Répartition sectorielle des principaux polluants atmosphériques en 2003 pour la Belgique. Source : Plan Air Climat.....	15
<b>Figure 1.8</b> Classement des sources de bruit selon la gêne ressentie personnellement.....	18
Source : PRD, Supplément au Moniteur Belge du 15/10/20002	
<b>Figure 1.9</b> Carte du bruit pour la Région Bruxelloise à la pointe du matin (source : IBGE)..	19
<b>Figure 1.10</b> Efficacité énergétique (en gep/voy.km) globale des modes de transport en zone urbaine et périurbaine. Source : ADEME (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie), janv. 2008. <i>Efficacités énergétique et environnementale des modes de transports. Synthèse publique</i> .....	21
<b>Figure 1.11</b> Temps de trajet (en minutes) en voiture particulière selon l'origine et la destination au sein de la Région pour 1991 et 2001 (source : Mobil 2015).....	22
<b>Figure 1.12</b> Coûts externes moyens, hors congestion, (en Euro/passager.km) selon le mode de transport. Source : INFRAS (2000).....	24
<b>Figure 1.13</b> Congestion à la pointe du matin à l'horizon 2015 en RBC. Source : Plan IRIS 2 .....	28

## Chapitre II : La congestion

<b>Figure 2.1</b> Relation liant vitesse moyenne et débit pour une section de voie rapide de capacité $D_{max}$ . Source : C. Raux (2007).....	31
<b>Figure 2.2</b> Temps moyen du déplacement sur une route en fonction du volume de trafic (véh/h).....	33
<b>Figure 2.3</b> Comparaison entre le coût pour l'utilisateur et le coût marginal social en RBC (2005) Source : Plan IRIS 2, citant Mayeres (2004), De Borger et Proost (2001).....	35
<b>Figure 2.4</b> Cercle vicieux congestion-dégradation des transports publics.....	39
<b>Figure 2.5</b> Cercle vicieux congestion urbaine- qualité de vie en ville – répartition du logement.....	41
<b>Figure 2.6</b> Cercle vicieux congestion-attractivité économique de la ville.....	42

## Chapitre III : Le péage urbain : Revue de la littérature

<b>Figure 3.1</b> Evolution du coût moyen de l'utilisateur en fonction du volume de trafic (véh/h). Source : C.Raux (2007).....	49
<b>Figure 3.2.</b> Offre et demande en heures creuses et en heures de pointe, perte sociale. Source : C. Raux (2007).....	50
<b>Figure 3.3</b> Tarification optimale (à court terme). Source : C. Raux (2007).....	52

<b>Figure 3.4</b> Gagnants et perdants de la mise en place du péage urbain. Source : C. Raux(2007).....	<b>54</b>
<b>Figure 3.5</b> Exemple de grille tarifaire à Singapour (2004). Source : F. Mirabel (2004).....	<b>59</b>
<b>Figure 3.6</b> Hôtellerie et restauration avant et après la mise en place du péage à Londres.....	<b>64</b>
Source: <i>Annual Business Inquiry</i> , Office for National Statistics (2007)	
<b>Figure 3.7</b> Extraits de la campagne d’affichage en faveur du péage de Londres.....	<b>81</b>

## **Chapitre IV : Modélisation et simulation**

<b>Figure 4.1</b> Schéma du principe du modèle de trafic.....	<b>88</b>
<b>Figure 4.2</b> Fonction de préférence associée au critère du « temps de parcours ».....	<b>93</b>
<b>Figure 4.3</b> Fonction de préférence associée au critère « péage ».....	<b>93</b>
<b>Figure 4.4</b> Fonction de préférence associée au critère « heure de réveil ».....	<b>94</b>
<b>Figure 4.5</b> Fonction de préférence associée au critère « retard à destination ».....	<b>94</b>
<b>Figure 4.6</b> Densité de probabilité du critère i.....	<b>96</b>
<b>Figure 4.7</b> Fonction de répartition du critère i.....	<b>96</b>
<b>Figure 4.8</b> Fonction de préférence du critère coût de déplacement.....	<b>102</b>
<b>Figure 4.9</b> Fonction de préférence du critère « incertitude quant à la durée du voyage ».....	<b>103</b>
<b>Figure 4.10</b> Le modèle global, résultante de l’interaction des deux sous-modèles.....	<b>105</b>
<b>Figure 4.11</b> (Nouvelle) fonction de préférence du critère « Heure de réveil ».....	<b>108</b>
<b>Figure 4.12</b> Comparaison des résultats fournis par le modèle et des relevés électroniques (Bertem).....	<b>109</b>
<b>Figure 4.13</b> Variation horaire du montant des péages des scénarios (les scén. PM1+ et PM1++ adoptent le même tarif que PM1).....	<b>115</b>
<b>Figure 4.14</b> Vitesse moyenne du trajet (en km/h) pour les différents scénarios.....	<b>116</b>
<b>Figure 4.15</b> Temps perdu en moyenne (en km/h).....	<b>116</b>
<b>Figure 4.16</b> Perte de temps maximale pour chaque scénario.....	<b>117</b>
<b>Figure 4.17</b> Distribution horaire du trafic pour les 4 premiers scénarios+référence.....	<b>119</b>
<b>Figure 4.18</b> Distribution horaire du trafic pour le scénario modulé 1 et les versions avec mesures supplémentaires sur les transports publics.....	<b>119</b>

## Table des tables

### Chapitre I : Bruxelles et la mobilité

<b>Table 1.1</b> Estimation de l'origine et du type de carburant des voitures des navetteurs. Source : Air bruxellois et transport, Rapport technique, IBGE.....	<b>6</b>
<b>Table 1.2</b> Nombre de déplacements et part des transports en commun selon l'origine et la destination, à la pointe du matin (6h-10h) en 2001. Source : Plan Iris 2.....	<b>9</b>
<b>Table 1.3</b> Qualité de l'air bruxellois en fonction des objectifs 2005 et 2010 pour la santé publique. Source : Air bruxellois et transport, Rapport technique, IBGE, 2006.....	<b>17</b>
<b>Table 1.4</b> Objectif de répartition modale pour la Région Bruxelles-Capitale en 2015. Source : Plan Iris2.....	<b>26</b>
<b>Table 1.5</b> Objectifs de réduction des émissions pour la Région en 2010 par rapport à 1990. Source : Plan Air Climat.....	<b>27</b>
<b>Table 1.6</b> Variations de temps d'accès moyen (en min) pondéré en transport routier à la pointe du matin 6h-10h pour le scénario tendanciel par rapport à 2001. Source : Plan IRIS 2.....	<b>29</b>

### Chapitre II : La congestion

<b>Table 2.1</b> Coût repris par l'usager et coût marginal social d'un déplacement automobile Source : Plan Iris2.....	<b>34</b>
<b>Table 2.2</b> Croissance économique 1985-1997 de la RBC et de sa périphérie. Source : IGEAT (INS) Supplément au Moniteur Belge 15/10/2002.....	<b>43</b>

### Chapitre III : Le péage urbain : Revue de la littérature

<b>Table 3.1</b> Revenus et coûts pour le péage de Londres pour l'année financière 2006/2007. Source : TfL (2007).....	<b>73</b>
<b>Table 3.2</b> Impacts financiers sur la zone centrale du péage londonien (en millions de Livres) Source : TfL (2007).....	<b>73</b>
<b>Table 3.3</b> Analyse coûts-bénéfices du péage de Stockholm (en millions de SEK). Source : Plan Iris 2, citant Transek.....	<b>75</b>
<b>Table 3.4</b> Analyse coût-bénéfice du scénario 2A-T du plan Iris2. Source : Plan Iris 2.....	<b>78</b>

### Chapitre IV : Modélisation et simulation

<b>Table 4.1</b> Caractéristiques générales du trafic pour les différents scénarios.....	<b>116</b>
<b>Table 4.2</b> Répartition modale (en pourcents) obtenus dans les scénarios.....	<b>120</b>
<b>Table 4.3</b> Nombre de navetteurs-payeurs et recettes totales pour les différents scénarios...	<b>120</b>



## **Introduction**

Depuis la fin de la seconde guerre mondiale, l'automobile, s'appuyant sur une croissance absolument phénoménale, s'est affirmée comme le mode de déplacement par excellence.

Cependant des voix, de plus en plus nombreuses, commencent à s'élever pour réclamer la tête et la fin du règne de cette reine des transports, toujours plus envahissante.

En effet, la domination de l'automobile sur les autres modes de transports n'est pas sans conséquence: pollution de l'air, réchauffement climatique, accidents, bruit et congestion figurent parmi les effets qu'elle entraîne dans son sillage.

Aujourd'hui l'ampleur de ces impacts est telle qu'elle met sérieusement en question la durabilité de nos choix en matière de mobilité.

En effet, les objectifs fixés par le Protocole de Kyoto en termes d'émissions de gaz à effet de serre, tant au niveau national que régional, sont loin d'être remplis (bien au contraire), et le secteur des transports, l'automobile en tête, est loin d'y être étranger !

La congestion est devenue également particulièrement problématique ces dernières années tant au sein de la ville que sur ses voies d'accès. La situation peut même être qualifiée de catastrophique pour les navetteurs, dont le temps de trajet a augmenté de près d'une demi-heure en 10 ans.

Face au constat d'inefficacité de l'ensemble des mesures mises en œuvre jusqu'ici pour inverser ces tendances, nous pensons qu'il est peut-être temps de mettre en œuvre à Bruxelles une nouvelle mesure, qui a déjà fait ses preuves ailleurs : le péage urbain.

Ce qui est sûr, en tout cas, c'est qu'elle mérite d'être étudiée de plus près et c'est ce que nous comptons faire au sein de ce travail. Pour ce faire, après avoir effectué un survol de la littérature sur le sujet, nous permettant notamment d'observer les résultats obtenus dans les villes qui ont mis en œuvre cette mesure, nous réaliserons un modèle de simulation afin d'obtenir des informations sur la configuration à adopter et sur les effets qu'on peut en attendre au niveau des conditions de trafic et de la répartition modale.

Le modèle sera un modèle dynamique se fondant sur l'analyse multicritère. Il sera constitué de deux sous-modèles : un relatif à l'évolution du trafic, l'autre au choix modal.

Outre l'introduction et la conclusion, ce travail sera constitué de quatre chapitres, les trois premiers étant basés essentiellement sur les informations trouvées dans la littérature et le quatrième étant consacré au modèle.

Dans le premier chapitre, nous ferons le point sur la mobilité en Région-Bruxelles-Capitale. Nous aurons l'occasion d'y détailler la mobilité d'aujourd'hui et ses effets et celle de demain si rien n'est fait. La répartition des compétences en la matière sera exposée ainsi que les différents engagements pris par la Région.

Dans le deuxième chapitre, nous nous pencherons plus particulièrement sur un des effets des choix de mobilité actuels et une des cibles du péage urbain : la congestion. Pour s'attaquer à un phénomène, il est toujours intéressant d'en connaître la cause. Ce chapitre sera l'occasion de montrer que la congestion, selon le point de vue adopté, peut être perçue, comme la conséquence d'un nombre trop important d'automobilistes se présentant sur une infrastructure (point de vue physique), comme celle d'un déséquilibre entre le coût perçu et le coût réel du déplacement (point de vue économique). Nous verrons aussi la congestion, dans sa dimension historique, comme la conséquence de décennies de politiques pro-automobiles, et enfin, comme celle de ... la congestion, puisqu'au centre de cercles vicieux, dans sa dimension systémique.

En fin de ce chapitre, nous verrons quelles sont les armes de lutte contre la congestion et les leviers sur lesquels elles peuvent jouer.

Une de ces armes justement, le péage urbain, sera l'objet du troisième chapitre.

Après en avoir exposé le fondement économique et les différents paramètres à configurer en fonction d'un objectif précis, nous examinerons les cas emblématiques de Londres et de Stockholm. Nous verrons également quels investissements cette mesure nécessiterait à Bruxelles ainsi que les facteurs-clés pour rendre le projet acceptable aux yeux de la population.

Enfin, le quatrième chapitre sera consacré au modèle de simulation.

Ce dernier, inscrit dans la lignée des modèles structurels de congestion, y sera décrit en détails, notamment l'approche originale des poids stochastiques. Ensuite quelques scénarios seront créés et analysés afin d'obtenir des informations sur la configuration à adopter et sur les effets au niveau des conditions de trafic et de la répartition modale de la mise en place d'un péage.

## **Chapitre I : Bruxelles et la mobilité**

Dans ce premier chapitre, nous commencerons par une brève description géographique et socio-économique de la Région Bruxelles-Capitale, avant de dresser un état des lieux de la mobilité régionale. Après avoir expliqué sommairement la répartition des compétences en matière de transports, nous développerons ensuite les différents impacts du secteur au sein de la capitale. Ce sera notamment l'occasion d'effectuer une comparaison entre l'automobile et les autres modes de transports. Enfin, nous terminerons en comparant les objectifs et les engagements pris pour 2015 aux prévisions tendanciennes à cet horizon.

### **1.1 Description de la Région Bruxelles-Capitale**

La Région de Bruxelles-Capitale est une région autonome depuis juin 1989. Elle s'étend sur une surface de 162 km<sup>2</sup>, divisée en 19 communes. La ville de Bruxelles est découpée en couronnes concentriques avec, au centre, le pentagone (centre-ville), délimité par la petite ceinture, ensuite vient la première couronne (11 communes), puis la seconde, qui trace les limites de la Région (cf. figure 1.1).

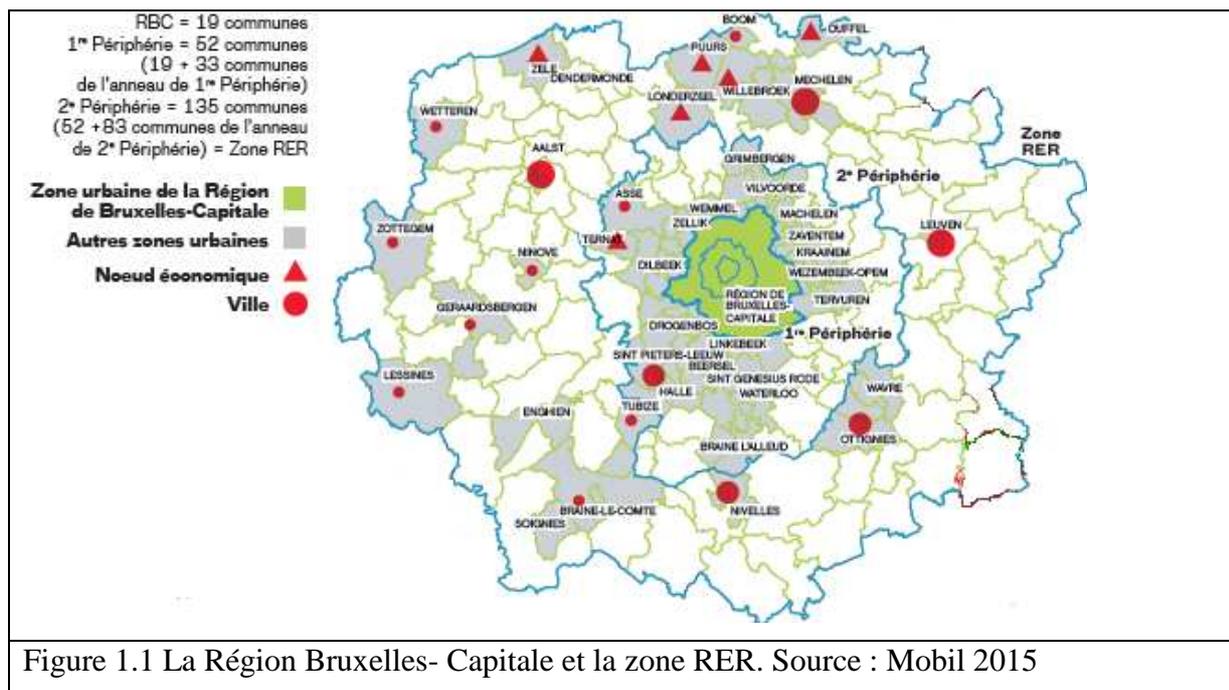
La population bruxelloise a atteint son pic au milieu des années 60 (1 081 000 habitants en 1967) avant de connaître une lente, mais régulière régression au profit de la périphérie proche (Brabants wallon et flamand) jusqu'au milieu des années 1990<sup>1</sup>. Depuis lors, une légère croissance démographique a été constatée.

Comme dans la plupart des grandes villes européennes, la zone urbaine s'est considérablement étendue ces trente dernières années. C'est le phénomène d'étalement urbain. D'un certain point de vue, on peut considérer que Bruxelles constitue maintenant une grande métropole de 3 millions d'habitants : la zone RER<sup>2</sup> (cf. figure 1.1).

---

<sup>1</sup> 950 000 habitants en 1994.

<sup>2</sup> Ensemble du territoire concerné par l'extension du réseau express régional, c'est-à-dire la RBC ainsi que les 1<sup>ère</sup> et 2<sup>ème</sup> périphéries telles que définies dans le PRD, soit 135 communes en tout.



Ce phénomène d'étalement urbain peut s'expliquer par divers facteurs, dont la quête d'une meilleure qualité de vie pour des actifs à revenus conséquents et l'augmentation du taux de motorisation, la voiture étant perçue comme LA réponse à l'augmentation des distances domicile-travail ou domicile-école.

Au cours des trente dernières années, l'économie de la Région a subi une mutation conséquente : d'un centre industriel, la ville s'est progressivement transformée en un centre administratif important en devenant la capitale de l'Union Européenne.

Si le PIB par tête d'habitant est largement supérieur à la moyenne nationale (+50% environ), cela ne fait pas pour autant de Bruxelles une ville riche.

En effet, le revenu moyen de ses habitants est inférieur à la moyenne (-9%), au point que la RBC<sup>3</sup> se classe dernière parmi les trois Régions. De plus, elle présente un taux de chômage assez conséquent : plus de 20% de la population active.

Cette tendance à la baisse du revenu moyen par rapport à la moyenne nationale est typique des villes en proie au phénomène d'étalement urbain. En effet, celui-ci se traduit notamment par une migration en périphérie des populations aisées et actives et leur remplacement par des populations fragilisées. Ainsi, à Bruxelles, les classes moyennes supérieures sont sous-représentées alors que les ménages à faibles revenus y sont, au contraire, surreprésentés.

<sup>3</sup> RBC : Région Bruxelles-Capitale

Ceci n'est pas sans effet sur la situation budgétaire bruxelloise, puisqu'un revenu inférieur à la moyenne, combiné à des dépenses sociales plus importantes (chômage, CPAS,...), induit une diminution des moyens financiers disponibles pour assurer les missions de service public, notamment celles relatives aux transports qui incombent à la Région.

La Région bruxelloise est la première zone d'emplois en Belgique. Elle présente une caractéristique importante à ce sujet, puisque moins d'un emploi sur deux est occupé par un résident de la capitale : en 2001, sur les 682 000 emplois à Bruxelles, 44,4% seulement étaient occupés par des bruxellois<sup>4</sup>. Cette particularité est liée au phénomène d'étalement urbain évoqué précédemment : les catégories professionnelles à revenu moyen ou élevé ont choisi de s'installer majoritairement en périphérie dans la zone RER. De même, près de 27,6% des élèves et étudiants scolarisés à Bruxelles résident en dehors de la Région.

Ces travailleurs qui se déplacent quasi quotidiennement entre la Région Bruxelles-Capitale et ses alentours constituent ce que l'on nomme les navetteurs.

Ces navetteurs ont une influence majeure sur les déplacements aux abords et au sein de la capitale d'autant qu'ils ont tendance à préférer la voiture pour leurs déplacements.

## **1.2 Mobilité de la Région : état des lieux**

Lorsqu'il désire se déplacer au sein de la Région Bruxelles-Capitale, plusieurs possibilités s'offrent à l'utilisateur : la voiture, bien sûr, mais aussi les transports publics, qui se répartissent entre quatre modes (le train, le tram, le bus et le métro), le vélo et, enfin, la marche à pied.

Concernant les déplacements au sein de la Région et vers celle-ci, plusieurs constatations ont été établies par les experts<sup>5</sup> au sujet de leur évolution ces vingt dernières années.

Tout d'abord, le nombre total de déplacements quotidiens a augmenté, ils sont de plus en plus motorisés et se font sur des distances de plus en plus longues.

On a également constaté que les motifs de déplacements ne se limitaient plus aux seuls motifs traditionnels « domicile-travail » ou « domicile-école ». En effet, la part des déplacements liés aux loisirs ou aux achats a fortement augmenté.

---

<sup>4</sup> Quant aux bruxellois travaillant en dehors de la Région, ils étaient 53 000 en 2001 selon MOBIL 2015.

<sup>5</sup> Notamment les auteurs de l'état des lieux MOBIL 2015

Enfin, dernière observation : pour éviter la congestion du trafic, les usagers ont modifié l'horaire de leurs déplacements en anticipant ou en retardant leurs départs si bien que les heures de pointe se sont étalées<sup>6</sup> dans le temps (on aura l'occasion de revenir sur le concept d'heure de pointe par la suite).

Avant de caractériser les déplacements, nous allons glisser un mot sur le parc automobile.

Le parc automobile belge, à l'image des autres pays européens, a connu une incroyable progression ces 30-40 dernières années, en passant de deux à cinq millions de véhicules.

Le parc bruxellois a, lui aussi, suivi -et même précédé historiquement- cette tendance, mais il a la particularité d'être en légère régression depuis quelques années (51 véhicules pour 100 habitants en 2001 contre 47,8 en 2005 selon EUROSTAT).

On ne peut réduire les véhicules circulant dans la capitale au parc automobile bruxellois. En effet, comme on l'a vu dans la section précédente, de nombreux travailleurs ne sont pas des résidents de la capitale. Ainsi, au parc automobile bruxellois, constitué de près de 500 000 véhicules (491 592 en 2003 selon l'INS), vient s'ajouter le parc des navetteurs, dont le nombre de véhicules en 2003 était estimé à 176 100, pour constituer le parc « fictif » de la Région Bruxelles-Capitale. On peut trouver une description selon l'origine et le type de carburant du parc des navetteurs dans le tableau suivant (table 1.1)

Nombre de voitures entrantes en Région bruxelloise : 176.100				
Origine	% origine	% essence	% diesel	% LPG
Brabant flamand	43	51	48	0,9
Région flamande hors Brabant flamand	28	53	45	1,7
Brabant wallon	13	62	36	1,4
Région wallonne hors Brabant wallon	16	56	40	4,5
Total des véhicules	100%	95.232	77.720	3.148

Table 1.1 Estimation de l'origine et du type de carburant des voitures des navetteurs.  
Source : Air bruxellois et transport, Rapport technique, IBGE

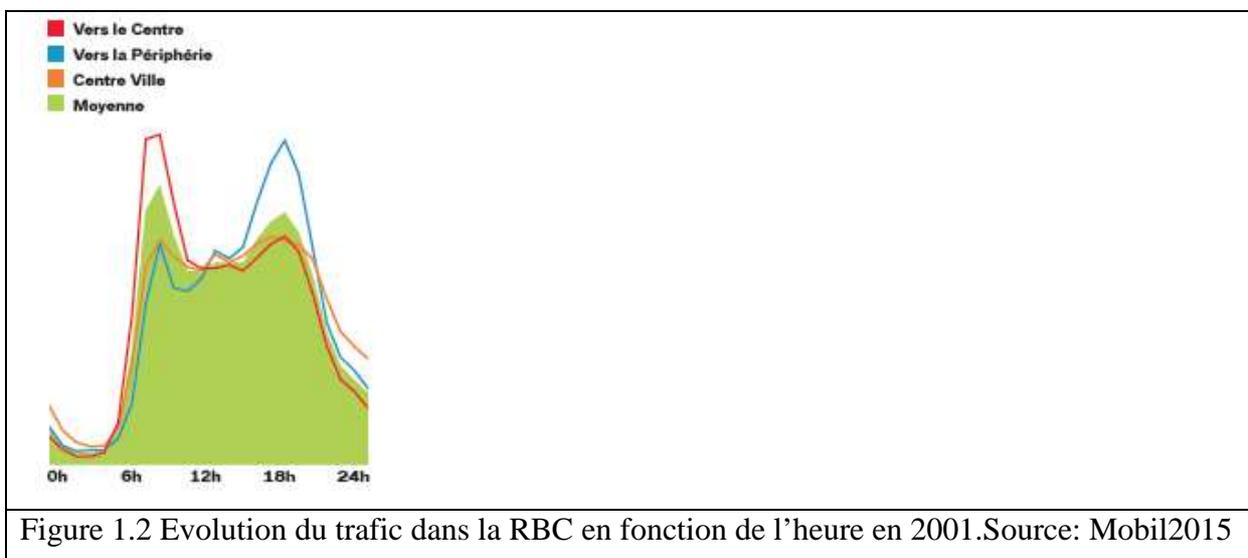
Nous allons maintenant nous atteler à décrire le trafic automobile régional en donnant successivement son intensité, sa vitesse moyenne et finalement sa structure temporelle.

<sup>6</sup> Alors qu'en 1991, par heures de pointe (du matin), on entendait le créneau 7h-9h, il faut maintenant comprendre 6h-10h.

Au niveau de l'intensité du trafic automobile total au sein de la Région, plutôt que le nombre de déplacements proprement dit, l'unité la plus adaptée pour le mesurer est une mesure de distance : le véhicule\*km. Dans le cas de la RBC, la distance totale parcourue (tous véhicules confondus) quotidiennement a été estimée à 2 160 957 véhicules\*km pour l'année 2001 (source : plan Iris 2).

Pour cette même année, la vitesse moyenne des déplacements automobiles a été évaluée à 27,3km/h.

Le trafic automobile n'est pas uniforme tout au long de la journée, ni en terme d'intensité ni de vitesse moyenne, principalement à cause des contraintes liées aux horaires de bureaux. Aussi, si l'on observe la structure temporelle du trafic, c'est-à-dire son évolution en fonction de l'heure (cf. Figure 1.2), on relève la présence de deux pointes : la pointe du matin (période 6-10h), qui voit passer la majeure partie du trafic vers le centre (24,9% du trafic total<sup>7</sup> selon Mobil 2015), et la pointe du soir (période 15h30-19h30), qui est l'objet principalement des trajets retours vers la périphérie (plus de 27% du trafic total). Ce phénomène de trafic de pointe est à la base de la congestion et des pertes de temps qu'elle induit.



Nous allons, à présent, nous intéresser à la répartition modale des déplacements à la pointe du matin<sup>8</sup> (6h-10h).

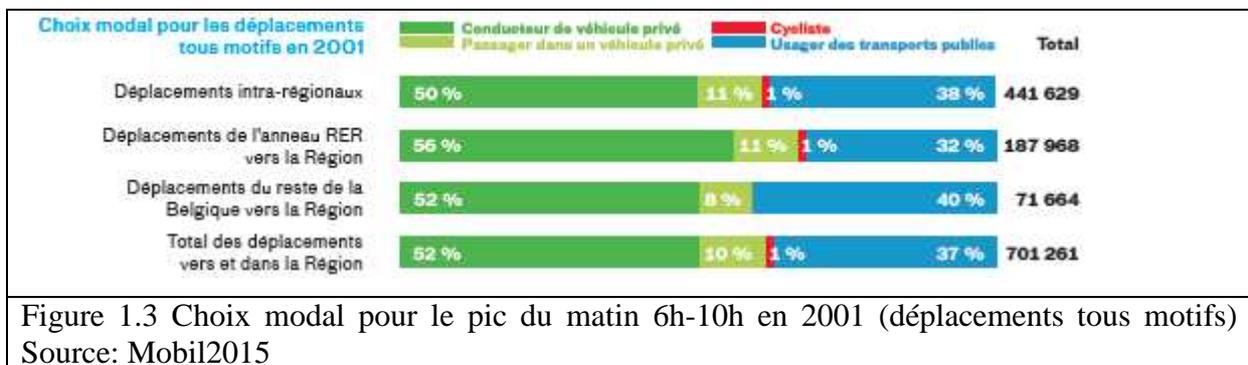
<sup>7</sup> Le plan IRIS 2 donne un part de 26,2% (en prenant le veh.km comme unité de mesure du trafic)

<sup>8</sup> On a choisi la pointe du matin, car c'est elle qui sera étudiée dans la partie modélisation et simulation du mémoire (chapitre 4). Cela étant, les valeurs observées sont transposables, peu ou prou, à la pointe du soir.

Il est bien évident que ce qui est vrai pour l'automobile l'est aussi pour les autres modes de transport : les déplacements réalisés dans la Région ne sont pas uniquement le fait de ses habitants.

Dans la suite, on portera donc également une attention particulière à la manière dont les navetteurs se déplacent (en particulier ceux originaires de la zone RER en dehors de Bruxelles, zone souvent nommée couronne ou anneau RER), puisque l'impact de leur choix est tout sauf négligeable vis-à-vis, notamment, de la congestion et des émissions atmosphériques au sein de la Région.

La répartition entre les différents modes pour la pointe du matin selon l'origine du déplacement est représentée à la figure 1.3



Que peut-on en dire ?

On constate d'abord que les déplacements en véhicule privé (c'est-à-dire, grossièrement, en voiture) sont prédominants (62% pour le total des déplacements dans et vers la Région), mais aussi que ceux-ci se font la plupart du temps seul. En effet, sur base des chiffres présentés, on peut calculer que le taux moyen d'occupation des véhicules est très faible : 1,19.

On observe également que la part totale des transports publics n'est pas ridicule (37%), mais pourrait être considérablement meilleure si l'on compare avec la situation d'autres villes comme Stockholm, Bern ou Lyon.

Un autre élément à souligner est la variation de l'usage des transports publics selon l'origine. Il y a, proportionnellement, beaucoup plus (40%) d'usagers des transports publics dont l'origine se situe loin de Bruxelles que dans son voisinage immédiat (32%) (couronne RER).

On peut en conclure que, au-delà de 30-40 km, la capitale bénéficie d'une bonne accessibilité en train, qui devient compétitif par rapport à la voiture sur de telles distances.

Par contre, en deçà de cette distance, l'offre des transports en commun apparaît beaucoup moins concurrentielle face à la voiture.

En réalité, si l'on étudie le problème d'un peu plus près et que l'on en croie le tableau ci-dessous (Table 1.2), le problème n'est pas tant l'accessibilité de la Région dans son ensemble que celle de la deuxième couronne. Lorsqu'il sera enfin mis en place, le projet RER devrait permettre, idéalement, de remédier à ces insuffisances et d'améliorer la desserte de la Région.

Origine	Nombre total	% en TC
Déplacements vers le Pentagone et la 1ère Couronne		
Région	266 800	42%
Périphérie	101 800	44%
Reste du pays	46 600	45%
Total	415 300	44%
Déplacements vers la 2e Couronne		
Région	174 800	32%
Périphérie	86 600	15%
Reste du pays	25 100	17%
Total	286 000	26%
Déplacements vers l'ensemble de la Région		
Région	441 600	38%
Périphérie	188 000	31%
Reste du pays	71 700	39%
Total	701 300	36%

Table 1.2 Nombre de déplacements et part des transports en commun selon l'origine et la destination, à la pointe du matin (6h-10h) en 2001. Source : Plan Iris 2

Il faut signaler que les chiffres mentionnés précédemment concernent l'année 2001.

Depuis, la part des transports publics a dû augmenter pour les déplacements intra-régionaux. Pour s'en convaincre, il suffit d'observer l'évolution récente, relativement fulgurante, du nombre de clients de la STIB (cf. figure 1.4) : + 40% entre 2001 et 2005.



Figure 1.4 Evolution de la clientèle de la STIB (en millions de voyages par an) entre 1997 et 2005. Source : Mobil 2015

En conclusion, le nombre de déplacements et les kilomètres parcourus au sein de la capitale n'ont fait qu'augmenter au cours des dernières décennies, notamment à cause des navetteurs. Le mode dominant reste largement l'automobile et, malheureusement, on ne peut que s'en plaindre, si on considère l'ensemble des effets négatifs qu'elle génère : détérioration de l'air, réchauffement climatique, congestion, etc. Nous aurons l'occasion d'y revenir par la suite, notamment dans la section 1.4.

### 1.3 Répartition des compétences en termes de mobilité

Au sein de la Région, la mobilité est du ressort de trois niveaux de pouvoir distincts :

- L'Autorité fédérale :

Elle est compétente pour la législation en matière de circulation routière (notamment les lois sur la sécurité routière, les normes<sup>9</sup> sur les véhicules, etc.). Elle joue également le rôle d'organisme de tutelle de la SNCB. Il faut ajouter qu'elle finance nombre d'infrastructures routières dans la Région en raison du statut de capitale de la ville.

- Les Régions :

La Région Bruxelles-Capitale est généralement compétente pour tout ce qui est lié aux transports et aux déplacements (équipements des voiries, infrastructures des transports publics, régimes juridiques de la voie terrestre, etc.).

Elle est responsable de la mise en œuvre du Plan Régional des Déplacements et est impliquée dans la mise en œuvre des Plans Air-Climat et Bruit. Elle exerce également le rôle de tutelle pour la STIB et contrôle le service des taxis.

<sup>9</sup> En général, dictées par les directives européennes.

Les Régions wallonnes et flamandes interviennent à travers leurs services de transports publics, TEC et De Lijn respectivement, qui circulent en partie au sein de la capitale.

- Les Communes :

Les dix-neuf communes sont en charge de la mobilité sur les voiries communales. Cela implique notamment l'entretien de ces voiries, l'élaboration d'une politique de stationnement, l'adoption de règlements complémentaires relatifs à la circulation, etc.

Il y a lieu d'ajouter deux intervenants dans le domaine de la mobilité bruxelloise : la STIB, qui assure l'exploitation du réseau urbain des transports publics de la Région et qui a un rôle consultatif auprès de celle-ci vis-à-vis de ses projets de mobilité urbaine, et, enfin, Bruxelles Environnement, qui intervient dans la planification et la mise en œuvre de certaines actions en matière de transports liées à l'environnement (bruit, qualité de l'air).

## **1.4 Impacts des transports**

La mobilité telle qu'elle a été décrite dans la section 1.2, avec la domination de l'automobile sur les autres modes de transports n'est pas sans effets sur la société. L'ampleur des impacts pour la Région Bruxelles-Capitale, au niveau de la pollution atmosphérique, du bruit, des accidents et de la congestion, est telle qu'elle met sérieusement en question la durabilité de nos choix en matière de mobilité.

### **1.4.1 Pollution atmosphérique (y compris les GES)**

Les choix effectués en matière de transport, en particulier la place prédominante réservée à l'automobile, ont une influence majeure sur les émissions de polluants atmosphériques de la Région Bruxelles-Capitale. Les effets, directs et indirects, de ces polluants constituent un ensemble très divers de phénomènes, parfois fort complexes.

Dans un premier temps, nous ferons le point sur l'impact des transports sur le réchauffement climatique à travers les émissions de gaz à effet de serre (GES) qu'ils rejettent.

Ensuite, nous traiterons de l'effet des transports sur la qualité de l'air et des dégâts que cela provoque au niveau de la santé humaine ainsi qu'au niveau de la dégradation des bâtiments.

a) Transports et réchauffement climatique

Aujourd'hui, la communauté scientifique dans son ensemble, dans le sillage des experts de l'IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), reconnaît que le renforcement de l'effet de serre, provoqué par la forte augmentation d'origine anthropique de la concentration des GES dans l'atmosphère ces cinquante dernières années, est la cause principale des dérèglements du système climatique.

Quels que soient les scénarios envisagés, même les plus optimistes, une chose est sûre : le changement climatique n'en est malheureusement qu'à ses débuts.

Ses effets seront multiples : augmentation de la fréquence des phénomènes climatiques extrêmes (ouragans, inondations, sécheresses, canicules, etc.) et leurs effets dévastateurs (sur les infrastructures, les biens, la santé et la nature), élévation du niveau des océans (entraînant l'inondation des terres les plus basses), modification des écosystèmes (induisant une diminution probable de la biodiversité), ...

Les effets sur la santé humaine ne seront pas négligeables non plus : effets physiologiques directs, propagation de maladies en dehors de leurs zones géographiques habituelles, augmentation des allergies, etc.

Les effets du réchauffement climatique sont d'ailleurs déjà bien présents : ainsi, selon une évaluation de l'OMS, plus de 160 000 (!) décès répertoriés dans le monde en 2000 seraient dus au changement climatique.

Dans le cadre de la lutte contre le changement climatique, le Conseil de l'Union Européenne a approuvé le protocole de Kyoto en 2002, s'engageant ainsi à réduire les émissions des GES<sup>10</sup> de l'Union, pour la période 2008-2012, de 8% par rapport au niveau de 1990.

L'objectif assigné à la Belgique est une réduction des émissions de 7,5% en moyenne sur cette même période par rapport au niveau de 1990.

Il faut noter que les objectifs cités ci-dessus ne constituent qu'un premier pas. A long terme, le Conseil envisage une réduction des rejets européens comprise entre 20 et 30 % à l'horizon 2020 et de 60 à 80% d'ici 2050.

---

<sup>10</sup> Le CO<sub>2</sub> est le principal contributeur des GES, mais n'est pas le seul : CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFC, PFC et SF<sub>6</sub> contribuent également à cet effet.

Cet objectif national a lui-même été réparti entre le Fédéral et les trois Régions, la Région wallonne devant diminuer ses émissions par rapport à 1990 de 7,5% et la Région flamande de 5,2%. Quant à la RBC, on lui a octroyé le droit d'augmenter ses émissions de 3,475%, ce qui correspond à un plafond annuel de 4,13 millions de tonnes de CO<sub>2</sub>éq.

A l'heure actuelle, ces objectifs sont loin d'être remplis, tant au niveau national (la figure 1.5 est suffisamment éloquente à ce sujet) qu'au niveau régional. En effet, en 2001 déjà, la Région avait largement dépassé le plafond autorisé (4,13 Mtonnes) avec ses 4,44 Mtonnes de CO<sub>2</sub>éq émises, si bien que l'objectif à atteindre pour 2008-2012 pourrait tout aussi bien être défini comme une réduction à atteindre de 9,4% par rapport au niveau d'émissions de 2001.



Figure 1.5 Evolution des émissions de GES en Belgique de 1990 à 2005 et trajectoire Kyoto  
Source : <http://www.climat.be>

Pour pouvoir atteindre ces objectifs et ceux qui seront fixés à moyen et à long terme, des mesures strictes doivent être prises impérativement dans tous les secteurs.

En particulier, il ne faut pas négliger le secteur des transports, d'abord parce que celui-ci est responsable d'une part conséquente des émissions (18,5%<sup>11</sup> des GES en Belgique et 19% du CO<sub>2</sub> de la RBC<sup>12</sup>), et ensuite, parce que c'est le secteur dont la croissance au niveau des émissions a été la plus forte depuis 1990: +34% (cf. figure 1.6).

<sup>11</sup> Hors transports aériens et maritimes internationaux. Source : <http://www.climat.be>

<sup>12</sup> en 2001. Source : IBGE

Lorsque l'on parle de mesures sur le secteur des transports, il faut entendre réduire le nombre et la longueur des déplacements<sup>13</sup> et surtout agir sur la répartition modale, en diminuant la part de l'automobile, qui émet beaucoup plus de GES par individu transporté que les autres modes (cf. paragraphe 1.4.6)

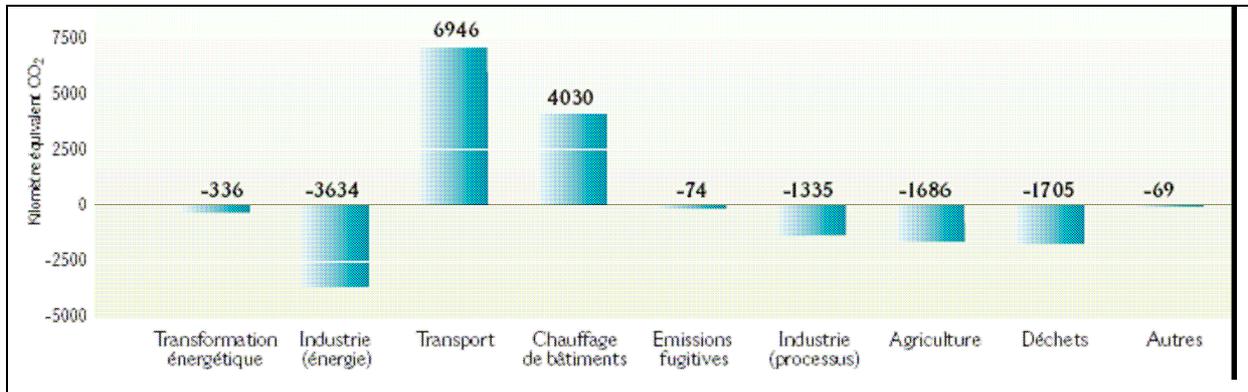


Figure 1.6 Evolution des émissions de GES des différents secteurs par rapport au niveau en 1990. Source : <http://www.climat.be>

Plusieurs études ont tenté d'évaluer monétairement les dommages liés au réchauffement climatique provoqués par les transports. Dans le cas du trafic routier bruxellois, les chercheurs du CEESE<sup>14</sup> ont estimé ce dommage à 1,7 million d'euros pour l'année 98. Ce coût est fortement lié à la valeur donnée au coût induit par l'émission d'une tonne de CO<sub>2</sub>éq (dans ce cas : 2,4 euros, ce qui est très faible). Henry et al. (2002) estimaient les coûts associés au réchauffement climatique des transports routiers, belges cette fois, à 625 millions d'euros pour l'année 2008 également.

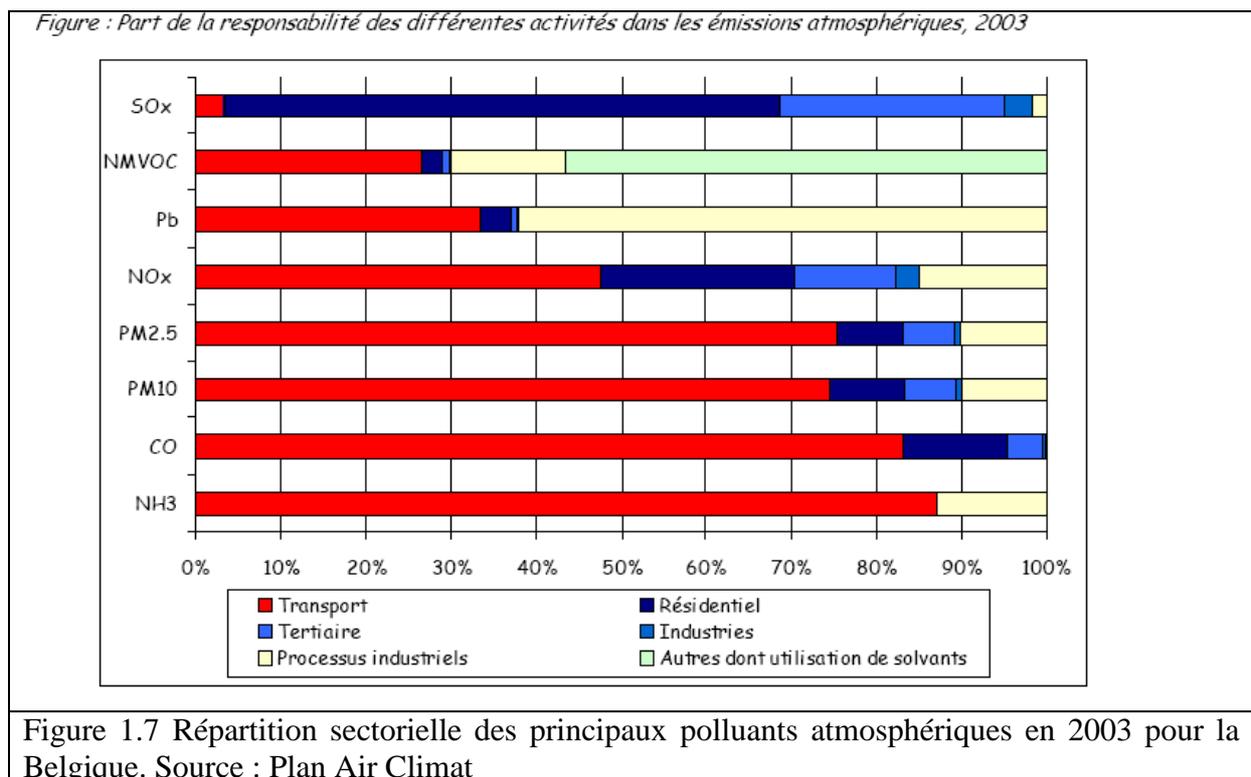
Vu les écarts énormes, on peut se poser la question de l'intérêt de telles valeurs monétaires dans le cas des externalités climatiques, dont l'ampleur est encore fort incertaine.

<sup>13</sup> L'objectif fixé dans le Plan Régional de Développement est une réduction de 20% de la longueur des déplacements automobiles à l'horizon 2010, ce qui passera notamment par une progression de 50% des déplacements en transports publics.

<sup>14</sup> *Mobilité Durable en Région Bruxelloise. Analyse des impacts sur l'environnement - Évaluation des externalités physiques et monétaires.* Étude réalisée par V. Favrel, Thais Pons, K. Marechal, P. Claeys, C. Ferdinand, Dr. W. Hecq (CEESE, ULB) et Prof. Ph. Vincke (ULB). Août 2001

## b) Transports et qualité de l'air

Les transports sont responsables du rejet dans l'atmosphère de nombreux autres polluants que les gaz à effet de serre. La figure suivante (fig.1.7) regroupe les principaux polluants atmosphériques et la part du secteur des transports (en rouge) au niveau des émissions :



Si les GES émis en Belgique participent au réchauffement climatique au niveau planétaire, les autres polluants ont un impact direct sur la qualité de l'air au niveau local. Cette dégradation induit des effets sur de la santé ainsi que sur les bâtiments et les paysages urbains.

Dans un premier temps, nous ferons un point rapide sur les effets sanitaires<sup>15</sup> de la pollution atmosphérique avant de passer aux effets sur les bâtiments.

<sup>15</sup> Bien sûr, c'est l'environnement dans son ensemble qui est touché. Cela étant, les connaissances concernant les effets sur la santé humaine sont bien plus avancées et nous nous contenterons de développer ceux-ci dans le cadre de ce travail.

## 1) Effets néfastes sur la santé

Certains polluants, notamment les particules fines (PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub>) et les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>), sont directement à l'origine de crises d'asthmes, de bronchites chroniques, d'accidents cardiovasculaires ou encore de cancers. D'autres, comme le monoxyde de carbone (CO), les composés organiques volatils (COV) ou encore les NO<sub>x</sub>, vont agir indirectement en étant à l'origine, sous l'effet du rayonnement solaire, de polluants secondaires : c'est la pollution photochimique. Celle-ci est caractérisée par une production d'ozone troposphérique (O<sub>3</sub>), gaz particulièrement toxique en cas de pic de pollution pour ceux qui souffrent de déficiences respiratoires, ainsi que d'autres substances dangereuses pour la santé (aldéhydes, acide nitrique, peroxyacétylnitrates, etc.).

La pollution atmosphérique représente une menace réelle pour la population bruxelloise. On considère que, chaque année, plus de 1100 personnes perdent la vie prématurément à cause de ses effets dans la Région Bruxelles-Capitale (10 000 décès prématurés pour la Belgique).

Les particules fines, seules, seraient responsables d'une diminution de l'espérance de vie comprise entre 12 et 36 mois (source : IIASA).

La valeur monétaire des dommages à la santé pour la Région a été estimée à 811 millions d'euros par les spécialistes du CEESE<sup>16</sup>.

## 2) Dégradation des bâtiments

Certains polluants vont contribuer à la dégradation des bâtiments et des paysages urbains, notamment par le biais d'attaques acides (dioxyde de soufre notamment) et de salissures par des fumées noires (poussières).

Ces dégradations vont engendrer des dépenses pour la Région, qui sont évaluées<sup>17</sup> à 70 millions d'euros par an.

Pour améliorer la qualité de l'air et limiter les effets néfastes de la pollution atmosphérique, la Belgique -et donc la RBC- a pris des engagements quant aux réductions des émissions de certains polluants, notamment à travers la Convention de Genève pour le SO<sub>2</sub>, les NO<sub>x</sub>, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et les COV.

---

<sup>16</sup> cf. note 14.

<sup>17</sup> cf. note précédente.

Différentes directives ont également été édictées par l'Union Européenne concernant les PM<sub>10</sub> (directive 1999/30/CE), par exemple, ou encore l'ozone troposphérique (directive-fille 2002/3/CE).

Cependant, par rapport aux normes à atteindre dictées par ces engagements, quelques polluants posent problème (cf. Table 1.3).

C'est le cas notamment des particules fines (PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub>), qui ne respectaient pas les normes de 2005 et pour lesquelles il sera très difficile, sinon impossible, de respecter celles, encore plus strictes, de 2010. Quant à l'ozone et au dioxyde d'azote, il est probable que les engagements pour 2010 ne soient pas tenus (surtout en cas d'été caniculaire pour l'ozone).

Polluant	Type de concentration	Valeur de la norme $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Norme à atteindre en :	Nbre de dépasse <sup>nt</sup> autorisés / an	Nbre de dépasse <sup>nt</sup> 2000	Nbre de dépasse <sup>nt</sup> en 2001	Nbre de dépasse <sup>nt</sup> en 2002	Situation régionale actuelle
SO <sub>2</sub>	Horaire	350	2005	< 24	0	0	0	O.K.
	Journalière	125	2005	< 3	0	0	0	O.K.
NO <sub>2</sub>	Horaire	200	2010	< 18	2	8	2	O.K.
	Annuelle	40	2010					?
PM10	Journalière	50	2005	< 35	65	70	76	Pas O.K.
			2010	< 7				?
	Annuelle	40	2005	/	1	1	1	Pas O.K.
			2010	/				?
Pb	Annuelle	0.5	2005*	/	0	0	0	O.K.
O <sub>3</sub>	8h-max	120	2010	< 25 (**)	14	28	14	Pas O.K.
CO	8h	10 mg/m <sup>3</sup>	2005	/	0	0	0	O.K.
Benzène	Annuelle	5	2010	/	0	0	0	O.K.

? : situation probablement problématique en 2005 et 2010

(\*\*): en moyenne sur 3 ans (cette norme pourrait ne pas être respectée si les étés à venir sont particulièrement chauds)

Table 1.3 Qualité de l'air bruxellois en fonction des objectifs 2005 et 2010 pour la santé publique. Source : Air bruxellois et transport, Rapport technique, IBGE, 2006

Face à ce constat d'échec programmé vis-à-vis d'engagements, qui, de plus, ne suffiraient pas à annihiler tous les effets sanitaires de la pollution atmosphérique, on ne peut que conclure qu'il faut réagir rapidement et intensément sur le secteur des transports et sur le trafic automobile en particulier.

L'établissement de nouvelles normes sur les véhicules ne suffira pas pour résoudre le problème, notamment à cause de l'existence de limites techniques (sur les particules fines entre autres). En conséquence, diminuer la place de la voiture dans nos déplacements apparaît impératif.

### 1.4.2 Le bruit

Les transports sont à l'origine de nuisances sonores, qui peuvent être considérées comme une véritable pollution. En particulier, le bruit lié à la circulation automobile serait celui perçu le plus négativement (cf. figure 1.8).

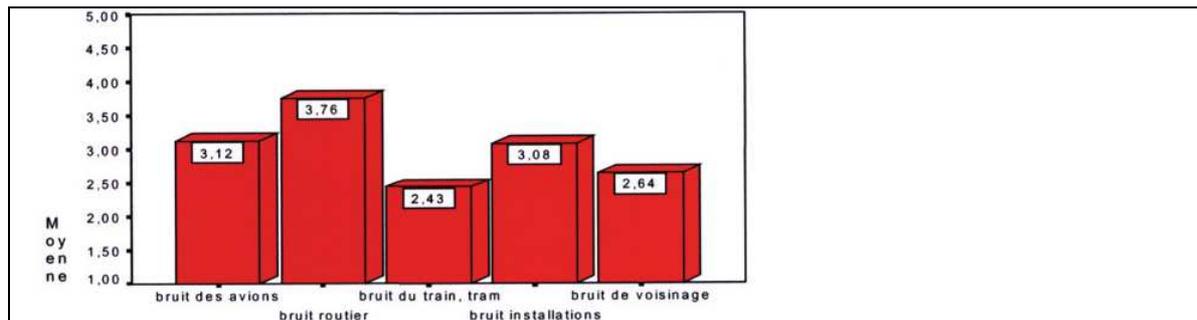


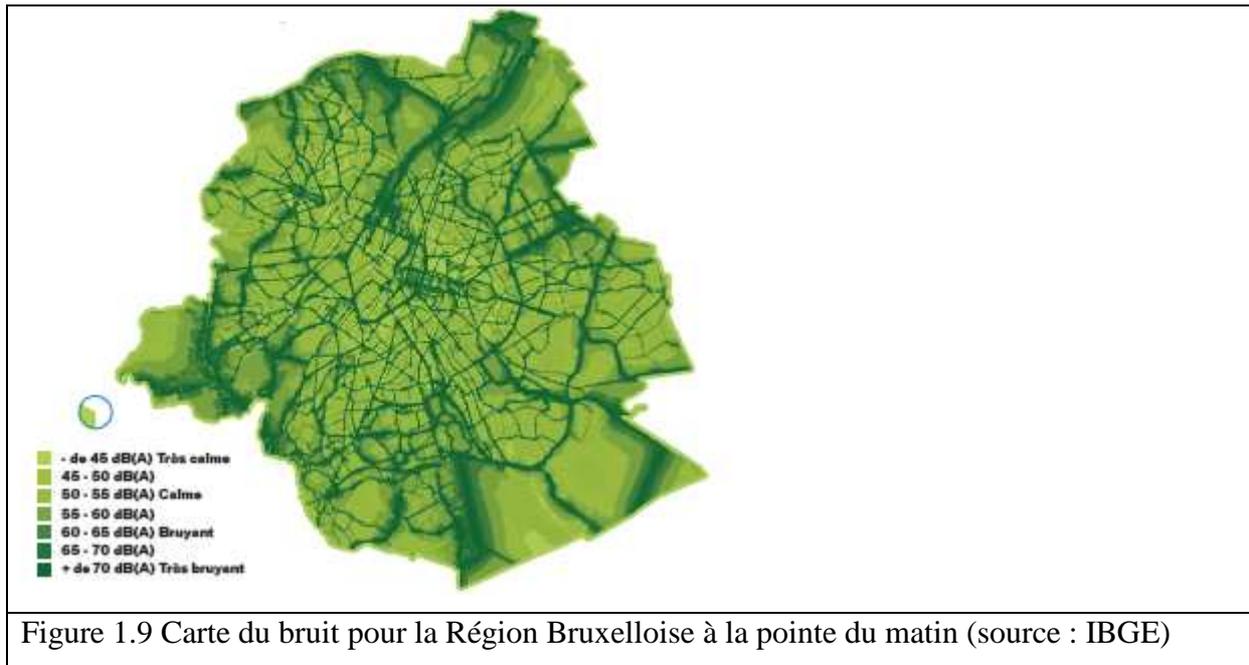
Figure 1.8 Classement des sources de bruit selon la gêne ressentie personnellement.

Source : PRD, Supplément au Moniteur Belge du 15/10/20002

Le bruit génère des effets non négligeables sur la qualité de vie et la santé des habitants : simple gêne, troubles du sommeil et de la concentration, troubles endocriniens, ...

Il a aussi un impact économique important : baisse de la productivité, moindre attractivité des quartiers et donc dépréciation du parc immobilier, etc.

La pollution sonore liée à la circulation automobile est un problème relativement généralisé au sein de la RBC, même si les problèmes les plus criants peuvent être identifiés le long des grands axes de pénétration de la ville, où le trafic est le plus intense (cf. figure 1.9).



Au sein de la Région, 6% de la population serait exposée à un niveau de bruit dû au trafic routier supérieur à 75 décibels et 23% à un niveau supérieur à 70 dB. Ces chiffres sont particulièrement éloquentes lorsqu'on sait que l'OCDE décrit un niveau de bruit de plus de 65 dB comme intolérable !

Favrel et ses acolytes (2001)<sup>18</sup> ont estimé, par évaluation contingente<sup>19</sup>, le coût externe associé au bruit routier à 35 millions d'euros par an. Henry et al.(2002) donnent une valeur, certes pour la Belgique dans son ensemble, bien plus importante pour les coûts liés au bruit : 655 millions d'euros. On peut donc estimer que le bruit routier coûte aux bruxellois entre 35 et 100 millions d'euros chaque année, ce qui n'est certainement pas négligeable.

Notons pour conclure cette section que le Gouvernement de la Région est bien conscient de ces désagréments et a adopté, à cet effet, un plan de lutte contre la pollution sonore en juin 2001.

<sup>18</sup> cf. note précédente

<sup>19</sup> Méthode d'évaluation visant à déterminer la disposition à payer pour recevoir un avantage : en l'occurrence, la réduction du niveau de bruit.

### **1.4.3 Les accidents**

Même si les nombres d'accidents avec lésions corporelles et de victimes (tués ou blessés) sont en régression nette ces dernières années, l'automobile reste de loin le mode le plus dangereux (66 366 victimes dont 1069 tués en 2006 pour la Belgique selon l'INS).

Par conséquent, toute mesure conduisant à une réduction des déplacements en voiture, au profit d'un autre mode ou non, est bonne à prendre.

Notons que la valeur de ces vies a été estimée à 876 millions d'euros par Henry et al. (2002).

### **1.4.4 Consommation d'énergie**

Le secteur des transports est un secteur très énergivore. En 2005, il représentait plus de 24% <sup>20</sup> de la consommation énergétique belge.

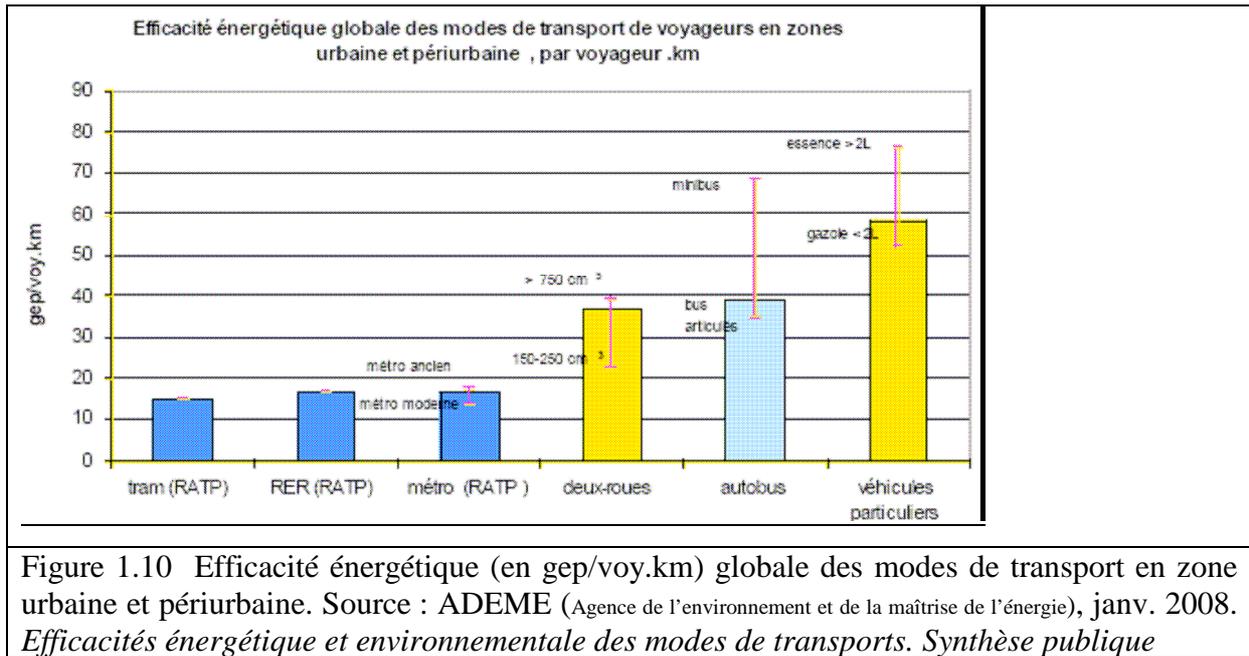
Dans le secteur des transports lui-même, c'est le transport routier, la voiture principalement donc, qui se taille la part belle du gâteau avec 83%.

Et cela n'est pas seulement dû à la prépondérance de l'automobile dans le choix du mode de transport. En effet, l'automobile est, de très loin, le moyen le moins efficace du point de vue énergétique.

A la figure 1.10, on peut voir la comparaison au niveau de l'efficacité énergétique globale (en gep/voy.km) des différents modes de transport en zone urbaine et périurbaine. Il s'agit du cas parisien, mais on peut le transposer sans problème au cas bruxellois. L'automobile y apparaît largement comme le mode le plus énergivore par rapport au nombre de passagers transportés. L'efficacité énergétique du train n'apparaît pas sur ce graphique, mais, selon les chiffres trouvés par Mirabel, il serait deux fois plus efficace que la voiture particulière (35.2 voy.km/kep pour le train contre 18.59 voy.km/kep pour la voiture particulière).

---

<sup>20</sup> Avec 9 835 ktep consommées annuellement. Source : Eurostat



Encore une fois les choix actuels concernant la mobilité en RBC ne semblent pas idéaux dans la mesure où ils provoquent une utilisation excessive d'énergie. D'autres choix, au profit des transports en commun et au détriment de l'automobile, conduirait à une réduction de la consommation énergétique non négligeable.

#### 1.4.5 Congestion

La congestion a un statut un peu particulier parmi les impacts des transports. En effet, d'une part, elle est une des conséquences des choix de mobilité, mais, d'autre part, elle va également avoir un rôle d'acteur en influant sur les choix de mobilité via des mécanismes rétroactifs relativement complexes (cf. chapitre 2). Elle constitue, de plus, un facteur aggravant pour les autres effets des transports (pollutions atmosphérique, sonore, etc.).

Ce statut particulier nous a décidé à lui consacrer un chapitre spécifique à découvrir dans la suite de ce travail. Au sein, de ce paragraphe, nous nous contenterons de décrire la congestion au sein de la Région Bruxelles-Capitale (et à ses abords) via quelques indicateurs et de dire quelques mots au sujet de l'impact économique de ce phénomène.

La congestion génère chaque année des milliers d'heures perdues. Ce phénomène n'en finit pas de croître en Belgique (+38%<sup>21</sup> entre 1998 et 2002) et, vis-à-vis de lui, l'agglomération bruxelloise ne semble pas constituer une exception, bien au contraire (+ 87% sur la même période). Au sein de la ville même, ce sont principalement les grands axes de la deuxième couronne et la grande ceinture en particulier qui posent problème. Cela dit, la congestion n'est pas seulement importante au cœur de la ville, mais aussi et surtout à ses abords.

Les années 1990 ont vu une très forte augmentation du trafic sur le réseau autoroutier convergeant vers la capitale (+37%<sup>22</sup> entre 1990 et 1998), provoquant la saturation de la plus grande partie de celui-ci (taux de saturation<sup>23</sup> moyen pour le trafic 6h-22h supérieur à 80%) et depuis, la situation ne s'est guère améliorée.

Cette saturation du réseau, sur les routes bruxelloises et sur les autoroutes y menant, a pour effet de diminuer les vitesses moyennes et, fatalement d'augmenter les temps de trajet.

Ce phénomène est particulièrement marqué à l'heure de pointe et ce, malgré son étalement.

A ce sujet, le graphique suivant, sur lequel on peut voir l'augmentation du temps de trajet entre 1991 et 2001, selon l'origine, est assez parlant :

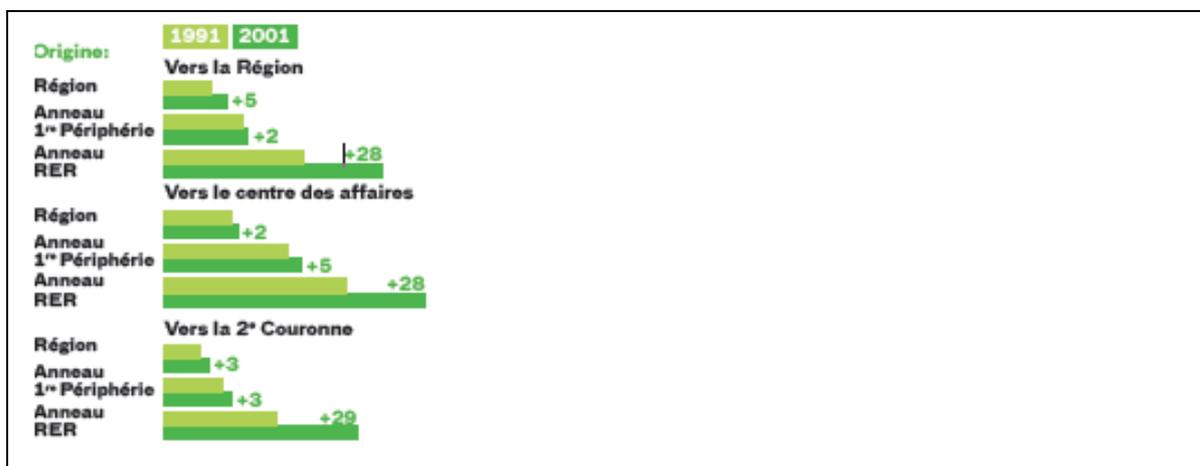


Figure 1.11 Temps de trajet (en minutes) en voiture particulière selon l'origine et la destination au sein de la Région pour 1991 et 2001 (source : Mobil 2015)

L'évolution de la situation a été particulièrement catastrophique pour les navetteurs issus de l'anneau RER, puisque leur temps de trajet a augmenté en 10 ans de 28 minutes, soit 56% du temps de trajet moyen !

<sup>21</sup> Source : Transport & Mobility Leuven: *Analyse van de mobiliteit op de Belgische autosnelwegen - Verkeersindices mei 1999 - december 2002*

<sup>22</sup> Source : Plan Régional de Développement

<sup>23</sup> taux de saturation = 100% si 2000 voitures par bande de circulation et par heure

Le coût de la congestion est difficile à évaluer, puisque ses impacts sont multiples :

- santé publique : stress, fatigue,...
- compétitivité et rentabilité des entreprises
- vitesse commerciale des transports publics
- augmentation de la pollution atmosphérique
- attractivité de la ville, etc.

Cela étant, la plupart des économistes du transport s'accordent à dire qu'elle représente le coût externe principal pour l'automobile : selon Samson et al. (2001), sa part dans les coûts externes serait de 81%, alors que *l'Institute for Transport Studies* de l'Université de Leeds irait encore plus loin en faisant varier cette valeur entre 87 et 97% selon le type de route employée<sup>24</sup>.

Pour la Belgique dans son ensemble, les coûts associés à la congestion ont été estimés pour l'année 1998 à 1 140 millions d'euros<sup>25</sup>.

Au vu de ces quelques informations, la congestion apparaît comme un problème majeur, tant pour la ville que pour ses habitants. Parmi les victimes, il ne faudrait pas oublier les navetteurs, dont les temps de trajets ont augmenté de façon spectaculaire.

#### **1.4.6 Synthèse : comparaison auto vs autres modes de transport**

Nous avons vu au cours des cinq sections précédentes que les choix concernant la mobilité des bruxellois et de ceux qui viennent travailler en RBC , notamment la préférence donnée à l'automobile, ne vont pas sans désagréments en termes de pollutions atmosphérique et sonore, ainsi qu'au niveau des accidents et de la congestion.

Diminuer la place de l'auto au profit des transports en commun permettrait d'atténuer ces effets négatifs. Pour s'en convaincre, nous allons réaliser une brève étude comparée des différents modes.

En ce qui concerne les GES, l'automobile apparaît clairement comme le mode le moins efficace<sup>26</sup> au niveau des émissions atmosphériques rapportées aux kilomètres parcourus par les usagers, avec une moyenne de 180 gCO<sub>2</sub>/voy.km contre 125 gCO<sub>2</sub>/voy.km pour l'autobus.

---

<sup>24</sup> Valeurs estimées lors de l'étude du cas de Londres.

<sup>25</sup> Source : INFRAS-IWW (2000)

<sup>26</sup> Source : ADEME (2008) pour l'ensemble des chiffres concernant les émissions des différents modes.

Les émissions des transports qui utilisent l'électricité vont dépendre du mode de production de celle-ci. Si on considère le mode de production européen moyen, les émissions sont de l'ordre de 27 gCO<sub>2</sub>/voy.km pour le métro, 23 pour le tram et comprises entre 13 et 42gCO<sub>2</sub>/voy.km pour le train.

Au niveau de la consommation énergétique, on a vu, dans la section 1.4.4, que l'automobile est le mode le plus énergivore (entre 1,5 et 4 fois plus que les autres modes).

Par rapport aux coûts externes, hors congestion, l'automobile est également le mode le moins approprié selon une étude réalisée par l'INFRAS/IWW (2000), notamment à cause des accidents (cf. figure 1.12)

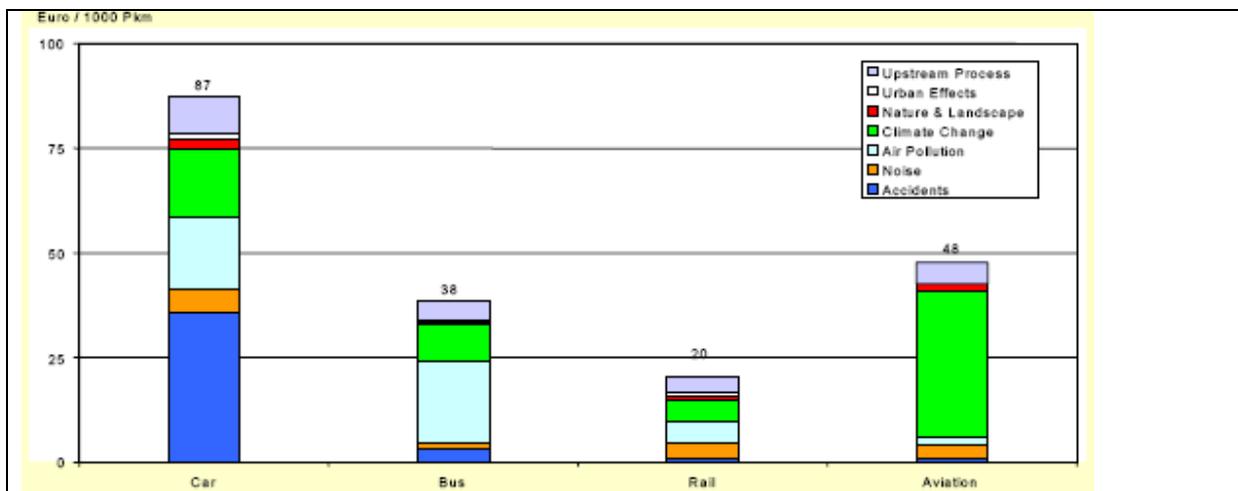


Figure 1.12 Coûts externes moyens, hors congestion, (en Euro/passager.km) selon le mode de transport. Source : INFRAS (2000)

François Mirabel (via STIF 2003) trouve des chiffres du même ordre de grandeur : l'automobile engendre un coût social, hors congestion, trois fois plus important que celui du transport public en général.

Jusqu'ici, nous n'avons pas tenu compte de la congestion qui, rappelons-le, est le coût externe le plus important<sup>27</sup> de l'automobile aux yeux des économistes. Cette négligence n'empêche pas la voiture d'être le mauvais élève de la classe à tous point de vue.

On peut en déduire aisément que si l'on veut diminuer les effets externes liés à la mobilité, cela va devoir passer par un report modal important de la voiture vers les transports collectifs.

<sup>27</sup> Pour plus de détails à ce sujet : cf. paragraphe 2.2 (en particulier, la figure 2.3)

## **1.5 Mobilité de demain**

### **1.5.1 Engagements et objectifs**

« *La politique de mobilité et de transports de la Région s’inscrit dans une logique de développement durable* » : voilà le leitmotiv qui apparaît dans les différents plans d’actions liés à la politique de demain concernant la mobilité et les transports au sein de la Région Bruxelles-Capitale. Il s’agit de concilier mobilité, compétitivité et développement, en atteignant un équilibre à long terme entre la demande de mobilité et le respect de contraintes sociales, économiques et environnementales.

Cette politique de mobilité pour la Région s’exprime de manière transversale à travers plusieurs plans d’actions : le Plan Régional de Développement (PRD), le Plan régional des Déplacements, mieux connu sous le nom de Plan IRIS, mais aussi le Plan Air Climat, le plan Bruxell’Air et le Plan Bruit.

Très clairement, l’automobile, et l’ensemble des effets néfastes qu’elle entraîne dans son sillage, semble être particulièrement dans la ligne de mire de ces différents plans.

Ainsi la priorité n° 8 du PRD est la mise « *en œuvre d’une politique de mobilité [...] qui s’inscrive dans l’optique de l’amélioration [...] du cadre de vie, notamment [...] par un transfert modal de la voiture vers les autres modes de déplacement* ».

La neuvième priorité du PRD prend, elle aussi, pour cible l’automobile, puisqu’il s’agit d’« *assurer une gestion rationnelle des ressources, mener une politique active de réduction des nuisances en s’attaquant en priorité à une réduction du trafic automobile* ».

Cela se traduit par les objectifs chiffrés suivants, fixés par la Région dans le cadre de la mise à jour de son Plan des Déplacements :

- au niveau de la répartition modale :

La répartition modale à atteindre en 2015 est la suivante (Table 1.4).

	Mouvements internes à la Région	Navette entrante
Transport public	38%	50%
Voiture particulière	52%	50%
Vélo	10%	-

Table 1.4 Objectif de répartition modale pour la Région Bruxelles-Capitale en 2015.  
Source : Plan Iris2

- au niveau de l'usage des véhicules automobiles :

L'objectif est de diminuer, à l'horizon 2015, la longueur des déplacements automobiles, plus précisément, le nombre total des véhicules.km (automobiles et poids lourds) effectués en moyenne chaque jour sur le territoire régional, de 20% par rapport au total atteint en 1999.

Ces objectifs en termes de répartition modale et de distance totale parcourue ont été fixés par le PRD et le Plan Iris2, de façon à pouvoir satisfaire aux divers engagements régionaux, fédéraux et européens en matière environnementale.

Ces engagements concernent notamment les émissions de GES et les émissions d'autres polluants atmosphériques.

Dans le cadre de la lutte contre le changement climatique et du Protocole de Kyoto, l'objectif assigné à la Belgique est une réduction de 7,5% des émissions des GES pour la période 2008-2012 par rapport au niveau de 1990, sachant que cet objectif sera revu à la hausse pour 2020 (-20 à -30%) et 2050 (-60 à -80%). Quant à la RBC, elle a obtenu le droit d'augmenter ses émissions de 3,475%, ce qui correspond à un plafond annuel de 4,13 millions de tonnes de CO<sub>2</sub>éq. Cependant, vu l'augmentation des émissions qu'on a connue depuis lors, l'objectif peut être redéfini comme une réduction de 9,4% par rapport au niveau d'émissions de 2001.

La Belgique s'est également engagée à réduire les émissions d'autres polluants liés aux transports à travers la Convention de Genève (pour le SO<sub>2</sub>, les NO<sub>x</sub>, les HAP, les COV et les métaux lourds) et différentes directives européennes (concernant les PM<sub>10</sub> ou encore l'ozone troposphérique).

Les objectifs fédéraux de réduction ont été traduits en objectifs pour la RBC et, plus spécifiquement encore, en objectifs de réduction pour les transports sur la Région de Bruxelles-Capitale. Ils sont regroupés pour les polluants principaux dans la table 1.5

Objectifs fédéraux de réduction des émissions (globales, hors transport et transport) sur la Région de Bruxelles-Capitale - pour l'année 2010 par rapport à 1990 et 1999 -						
Polluants	Réduction globale à atteindre en 2010 par rapport à 1990 en tonnes et %	Réduction hors transport à atteindre en 2010 par rapport à 1990 en tonnes et %	Réduction transport à atteindre en 2010 par rapport à 1990 en tonnes et %	Réduction globale à atteindre en 2010 par rapport à 1999 en tonnes et %	Réduction hors transport à atteindre en 2010 par rapport à 1999 en tonnes et %	Réduction transport à atteindre en 2010 par rapport à 1999 en tonnes et %
CO <sub>2</sub>	-300.679 (-7.6%)	-243.354 (-7.5%)	-57.325 (-7.6%)	-656.978 (-15%)	-650.970 (-16.5%)	-106.006 (-13%)
SO <sub>x</sub>	-3.124 (-88%)	-2.668 (-66.6%)	-465 (-88.7%)	-570 (-27.9%)	-458 (-24.7%)	-112 (-61.5%)
NO <sub>x</sub>	-4.321 (-44.6%)	-791 (-20.9%)	-3.530 (-69.8%)	-2.610 (-32.7%)	-405 (-11.9%)	-2.205 (-48.2%)
COV	-7.307 (-58.2%)	-2.533 (-38.8%)	-4.774 (-79.4%)	-5.199 (-49.8%)	-1.833 (-31.4%)	-3.366 (-73.1%)
FOPs dont dioxines HAP	Réduction la plus grande possible					
Métaux lourds	Réduction la plus grande possible					
Substances Appauvrissant la couche d'ozone	Bannissement					
Particules fines	Réduction la plus grande possible					

Table 1.5 Objectifs de réduction des émissions pour la Région en 2010 par rapport à 1990.  
Source : Plan Air Climat

Dans le paragraphe qui suit, nous aurons l'occasion de voir si les tendances pour la mobilité vont permettre à la Région de remplir ces objectifs et de respecter les engagements pris ou si, au contraire, de nouvelles mesures s'imposent.

### 1.5.2 Prévisions tendancielle à l'horizon 2015

Dans ce paragraphe, nous allons décrire succinctement l'évolution tendancielle<sup>28</sup> de la mobilité dans la RBC (et dans la zone RER) à l'horizon 2015. Par évolution tendancielle, on entend une évolution traduisant les tendances sociétales lourdes et incluant toutes les mesures déjà décidées à ce jour sans intégrer l'effet d'éventuelles politiques correctrices.

Dans cette évolution tendancielle, il n'est pas tenu compte de l'impact de la mise en place du RER, qui de toute façon, ne devrait pas être effective avant 2015.

D'ici 2015, le nombre de déplacements mécanisés devrait augmenter de 3% dans la zone RER.

Concentrons-nous maintenant sur la période la plus critique : la pointe du matin (6h-10h).

<sup>28</sup> Nous nous baserons sur les prévisions de Mobil 2015 ainsi que sur celles du plan IRIS 2.

Globalement, si on considère l'ensemble des trajets vers et dans la Région, la voiture y resterait largement le mode dominant avec une part de marché de 62%.

En ce qui concerne les transports publics, leur part de marché évoluerait peu : elle augmenterait légèrement pour les déplacements intra-régionaux (passant de 38 à 39%), mais elle tomberait à 29% (contre 32% en 2001) pour les déplacements au départ de l'anneau RER. In fine, le nombre de navetteurs ayant choisi l'automobile comme mode de transport à la pointe du matin devrait connaître une augmentation de plus de 6%, passant à 179 217 individus.

Cette perpétuation de la domination de l'automobile ne serait pas sans conséquence...

Au niveau de la congestion, elle augmenterait fortement dans la première Couronne et au sein du Pentagone, mais c'est surtout à l'entrée de Bruxelles que le problème serait le plus marqué : un anneau de congestion entourant la Région, tous les accès, ainsi que le Ring RO, seraient saturés (cf. figure 1.13).

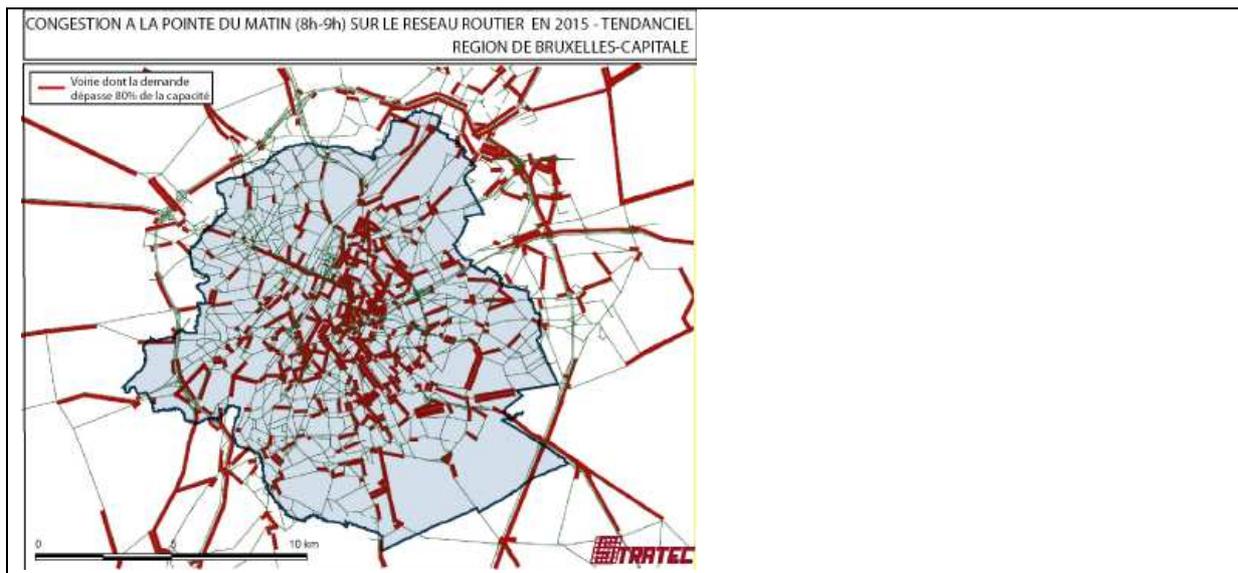


Figure 1.13 Congestion à la pointe du matin à l'horizon 2015 en RBC. Source : Plan IRIS 2

Il en résulterait des temps de trajets allongés : de 32% pour les déplacements intra-régionaux et de 45% au départ de la zone RER vers la Région et une diminution de la vitesse moyenne, passant de 27,3 à 22,5 km/h au sein de la RBC et de 34,9 à 28,1 km/h dans le reste de la zone RER. Le tableau 1.6 indique l'augmentation du temps de trajet moyen (en minutes) entre 2001 et 2015 en fonction de l'origine et de la destination.

	TEND	DESTINATION							TOTAL
		Pentagone	1ère Cour	2ème Cour	1ère Péri	2ème Péri	reste RER	Reste Belgique	
ORIGINE	Pentagone	0.5	2.4	3.9	7.1	5.0	11.8	21.5	3.8
	1ère Cour	3.3	3.1	3.8	7.9	7.0	14.4	20.5	5.1
	2ème Cour	4.8	2.7	1.9	5.3	4.5	10.5	19.6	4.4
	1ère Péri	8.2	6.3	6.0	4.2	4.8	10.2	25.2	7.4
	2ème Péri	20.1	17.1	17.6	10.6	4.8	8.0	22.6	10.8
	reste RER	27.3	25.0	25.1	21.5	10.9	6.4	16.2	11.5
	reste Belgique	37.0	33.1	31.8	30.6	21.4	14.2	32.4	21.7
TOTAL		8.4	6.2	8.5	12.6	8.8	8.3	18.0	9.8

Table 1.6 Variations de temps d'accès moyen (en min) pondéré en transport routier à la pointe du matin 6h-10h pour le scénario tendanciel par rapport à 2001. Source : Plan IRIS 2

On ne pourrait conclure ces prévisions tendanciennes sans glisser un mot sur les prévisions au sujet des émissions polluantes, qui ne seraient pas aussi négatives que l'on pourrait s'y attendre. En effet, l'évolution technologique du parc de véhicules, grâce aux normes EURO, permettrait d'obtenir en 2015, des émissions nettement plus faibles que celles de 2001 : - 40 à 70 % selon les polluants (CO, VOC, NO<sub>x</sub> et PM<sub>10</sub>).

Par contre, cette évolution technologique ne permettrait pas de réduire de manière importante les émissions de CO<sub>2</sub> et finalement on observerait une augmentation des émissions comprise entre 13 et 16%, au sein de la RBC, selon les estimations et tournant autour des 22% pour le reste de la zone RER, loin, très loin même des objectifs relatifs à Kyoto.

### 1.5.3 Conclusion : il faut agir !

En observant les prévisions tendanciennes, on constate qu'elles ne satisfont pas aux objectifs fixés tant en matière de mobilité qu'au niveau des émissions atmosphériques.

En particulier, les émissions de CO<sub>2</sub> ne respectent pas du tout les plafonds fixés par Kyoto, malgré les améliorations technologiques, et les navetteurs utilisent beaucoup trop la voiture au détriment des autres modes de transports pour se rendre dans la Région, conduisant à une congestion généralisée sur toutes les voies d'accès à la capitale et en son sein.

Il est donc clair que de nouvelles mesures s'imposent.

En ce sens, le RER lorsqu'il sera effectivement mis en place, constituera un pas dans la bonne direction en améliorant considérablement l'accessibilité de la ville en provenance du reste de la zone RER. Cependant, il est probable que ses effets seuls soient insuffisants<sup>29</sup> pour atteindre les objectifs fixés en matière de répartition modale.

<sup>29</sup> Cf. scénarios du Plan Iris 2.

Vande Velde Michaël

*Le péage urbain, une solution pour lutter contre la congestion en Région de Bruxelles-Capitale ?*

---

Il faudra donc mettre en place des mesures dissuasives concernant l'usage de l'automobile. Parmi celles-ci, l'instauration d'un péage urbain, qui a fait ses preuves dans bien d'autres cités, mérite d'être investiguée. C'est ce que nous tâcherons de faire dans la suite de ce travail.

## Chapitre II : La congestion

Dans ce chapitre, nous présenterons la congestion dans ses différentes dimensions (physique, économique, historique et systémique) avant d'exposer brièvement les mesures de lutte contre ce phénomène et les leviers sur lesquels celles-ci s'appuient.

### 2.1 Définition et description du phénomène physique

Il nous paraît intéressant de définir précisément la congestion et de décrire la formation de ce phénomène, d'autant plus que cela nous sera utile au sein de la quatrième section consacrée à la modélisation. Charles Raux (2007) décrit la congestion routière ainsi : « [Elle] résulte d'une inadéquation entre le flot de véhicules qui cherchent à circuler sur une infrastructure et la capacité que cette dernière peut offrir ». Par capacité d'une infrastructure, il faut entendre le nombre maximum de véhicules qui peuvent la parcourir en une heure, soit le débit maximum. L'unité généralement employée pour la capacité est l'evp/heure<sup>30</sup>.

La congestion est provoquée par chacun des véhicules et génère pour tous diminution de la vitesse moyenne, pertes de temps et, à fortiori, retards à destination.

Pour définir plus précisément la congestion et décrire la formation du phénomène physique, nous allons étudier la relation débit-vitesse sur une section de voie rapide.

Le graphique de cette relation est présenté à la figure 2.1.

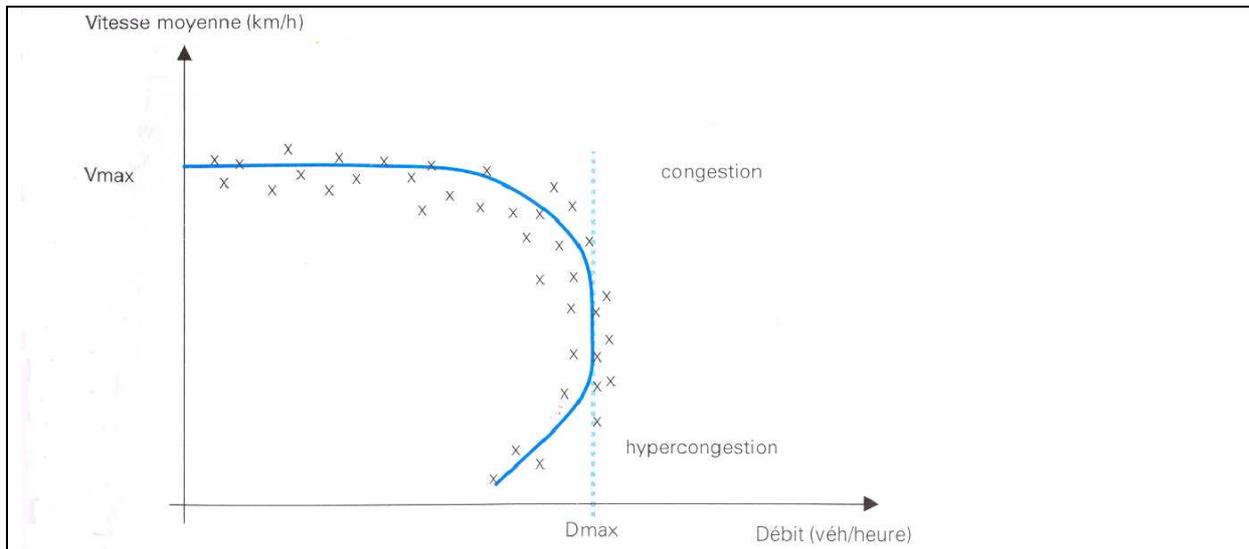


Figure 2.1 Relation liant vitesse moyenne et débit pour une section de voie rapide de capacité  $D_{max}$ . Source : C. Raux (2007)

<sup>30</sup> evp= équivalent voiture particulière. A titre d'exemple, les modélisateurs considèrent que la capacité d'une bande autoroutière est de 2000 evp/h.

Considérons que, initialement, l'infrastructure est vide, le débit initial est donc nul.

Les véhicules commençant à rejoindre l'infrastructure, le débit augmente légèrement, mais il reste tellement faible que ceux-ci ne se gênent pas et peuvent donc circuler à vitesse maximale. Au fur et à mesure de la croissance du débit, les véhicules vont commencer à se gêner et connaître une diminution, légère d'abord, de leurs vitesses.

Le débit peut continuer à augmenter - et la vitesse moyenne diminuer en conséquence - jusqu'au débit maximum. Par la suite, une fois le débit maximum atteint, lorsque d'autres véhicules viennent à se présenter pour emprunter l'infrastructure, c'est le débit qui diminue (et la vitesse aussi) : on entre dans la situation d'hypercongestion, situation où l'on constate une perte de capacité de l'infrastructure.

Pour Charles Raux, il y a deux définitions de la congestion selon que l'on adopte le point de vue de l'économiste ou celui de l'ingénieur. Pour le premier, il y a congestion dès que les véhicules commencent à se gêner (par convention, lorsque le débit est supérieur à 80% de la capacité), donc lorsque la vitesse n'est plus maximale. Pour le second, la congestion intervient lorsque le débit maximum a été atteint et qu'il y a une perte de capacité de l'infrastructure.

Nous adopterons généralement, au sein de ce travail, la vision de l'économiste et la congestion sera exprimée en termes de diminution de la vitesse moyenne, ou, ce qui revient au même, d'augmentation du temps de parcours.

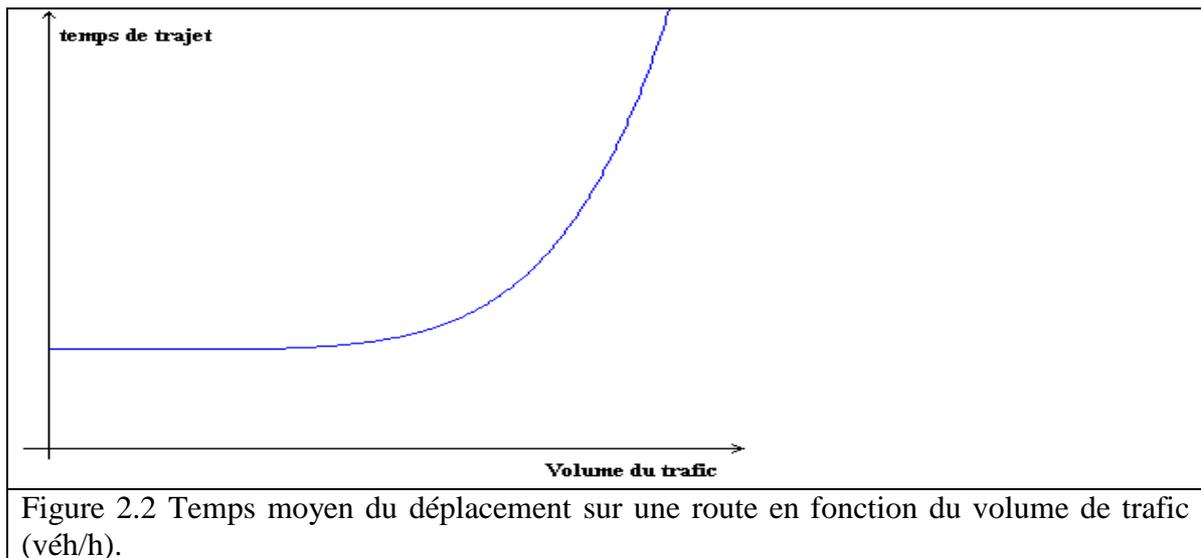
Mathématiquement, l'expression de l'évolution du temps de parcours,  $t$ , en fonction du volume de trafic<sup>31</sup>,  $V_{\text{traf}}$  (en evp/h), est une exponentielle du type :

$$t = t_{\text{min}} + t_{\text{congestion}} * (V_{\text{traf}}/C)^n$$

où  $t_{\text{min}}$  est le temps du trajet parcouru à vitesse maximale,  $t_{\text{congestion}}$  le temps de congestion (supplémentaire) lorsque le volume du trafic est égal à la capacité nominale de la route,  $C$ , et  $n$  est le taux d'élasticité du temps de trajet par rapport au volume du trafic. Cette courbe est présentée à la figure 2.2.

---

<sup>31</sup> en cas d'hypercongestion, c'est le nombre de véhicules qui se présentent à l'entrée de l'infrastructure.



## 2.2 La congestion : conséquence d'un déséquilibre des coûts

Si l'on considère un déplacement, celui-ci va entraîner un certain coût pour l'utilisateur de la route. Ce coût est constitué de plusieurs termes, principalement : les coûts fixes d'amortissement du véhicule, la fiscalité sur la possession et les assurances, les coûts variables d'exploitation du véhicule (carburant, stationnement, péage éventuel), le coût lié au temps passé en déplacement et le coût d'un accident pour l'utilisateur.

Ce déplacement va également créer des coûts pour le producteur des infrastructures (entretien, usure des routes, ...).

Enfin, il va entraîner un ensemble de coûts non repris par le marché (ni a fortiori par l'utilisateur), que l'on nomme coûts externes. Ils sont constitués des coûts liés à la dégradation de l'environnement (bruit, pollution atmosphérique locale et globale, consommation d'énergie fossile non renouvelable, réchauffement climatique, effets de coupure dans les paysages), ceux liés aux accidents causés à autrui et, enfin, le coût relatif à la perte de temps provoquée chez les autres usagers de la route (automobilistes et usagers des transports en commun), que l'on peut nommer simplement coût de congestion.

Le tableau 2.1 résume la situation.

Coût pour l'utilisateur	Coût marginal social
Coût du véhicule hors taxes (investissement, carburant, maintenance, stationnement,...)	Coût du véhicule hors taxes (investissement, carburant, maintenance, stationnement,...) + coût collectif du stationnement, usure des routes,...
Valeur du temps passé par l'utilisateur	Valeur du temps passé par l'utilisateur + valeur du temps passé par les autres usagers
Taxes	
Coût d'un accident pour l'utilisateur	Coût des accidents pour l'utilisateur
+ prime d'assurance RC	+ coût des accidents causés à autrui
	Coûts environnementaux

Table 2.1 Coût repris par l'utilisateur et coût marginal social d'un déplacement automobile  
Source : Plan Iris2

Ce déséquilibre entre les coûts supportés par l'automobiliste et ceux engendrés par celui-ci contribue à rendre l'automobile beaucoup plus attractive que ce qu'elle ne devrait être.

Cela a pour conséquence de créer une concurrence déloyale vis-à-vis des autres modes de transport.

De plus, ce phénomène est exacerbé par le fait qu'un automobiliste a tendance à ne pas prendre en considération l'ensemble de ses coûts lorsqu'il se déplace.

En effet, les coûts fixes (achat du véhicule, taxe de roulage et d'immatriculation, assurance) étant largement supérieurs aux coûts variables, ils incitent l'automobiliste à rentabiliser son investissement en roulant davantage de sorte que celui-ci ne va finalement prendre en considération, par rapport à son choix de déplacement, que les coûts variables d'exploitation du véhicule (essence, stationnement, péage éventuel), outre la valeur qu'il accorde à son temps : c'est ce que l'on appelle les coûts « ressentis ».

Les auteurs du plan IRIS 2, en se basant sur les travaux de Mayeres (2004), De Borger et Proost (2001), ont réalisé la comparaison entre le coût pour la société<sup>32</sup> et le coût pour l'utilisateur d'un déplacement automobile dans la Région Bruxelles-Capitale.

Cette comparaison est illustrée à la figure 2.3.

<sup>32</sup> En fait, il s'agit du coût marginal social, c'est-à-dire le coût pour la société d'une automobiliste supplémentaire.

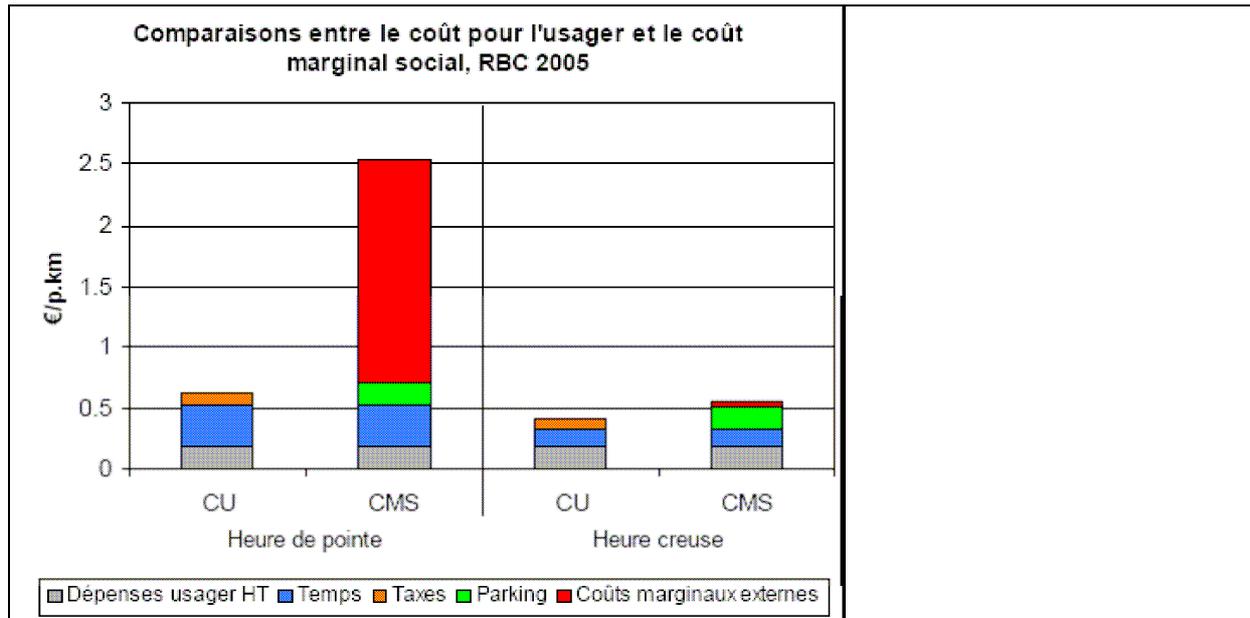


Figure 2.3 Comparaison entre le coût pour l'utilisateur et le coût marginal social en RBC (2005)  
Source : Plan IRIS 2, citant Mayeres (2004), De Borger et Proost (2001)

Sur ce graphique, il apparaît clairement que le prix payé par l'automobiliste est trop faible en général, et même beaucoup trop faible durant les heures de pointe, où les coûts externes liés à la congestion sont les plus importants (plus de 90% des coûts externes).

Le déséquilibre entre le coût engendré pour la société par l'automobiliste et le coût supporté, et surtout « ressenti » par ce dernier, est à la base de l'utilisation excessive de l'automobile, grande bénéficiaire de ce marché inique.

Ce déséquilibre est encore plus marqué à l'heure de pointe, ce qui est à la fois la cause et la conséquence du phénomène de congestion. Idéalement, le coût payé par l'utilisateur pour son déplacement devrait être égal au coût social, il faudrait donc introduire une taxe, adaptée en fonction de l'heure : c'est le principe même du péage urbain. Nous aurons l'occasion d'étudier cette mesure de lutte contre la congestion qui nous intéresse particulièrement dans le troisième chapitre, qui lui sera entièrement consacré.

### **2.3 La congestion : conséquence de décennies de politiques pro-auto**

Depuis le milieu du vingtième siècle, l'automobile s'est imposée comme le mode de déplacement le plus utilisé. Plus confortable et plus flexible, symbole d'ascension sociale et synonyme pour beaucoup de liberté de se déplacer, y compris sur de longues distances, elle a clairement supplanté tous les autres modes de déplacement.

Dans cette société, que l'on pourrait baptiser société de l'automobile, c'est tout naturellement que l'aménagement du territoire et des villes a été pensé en fonction de ce mode de déplacement.

En Europe, et plus encore en Amérique, les villes ont été structurées et modelées par l'auto et pour l'auto : réseaux de voiries étendus, ceintures périphériques (le Ring et les Petite et Grande Ceintures à Bruxelles) si bien que l'espace urbain a véritablement été envahi<sup>33</sup> par la route. Cette extension avait pour but affiché de rendre plus fluide un trafic automobile sans cesse croissant. Mais cette politique n'a pas eu l'effet escompté. Au contraire.

En effet, au lieu de réduire la congestion, l'extension du réseau, selon Mirabel (2004), est *«venue soutenir et amplifier l'accroissement de la demande des déplacements en automobile : l'offre de voirie a créé sa propre demande de trafic»*. Au bout du compte, non seulement la congestion n'a pas diminué, mais, bien souvent, elle a même augmenté avec, et même à cause de cette capacité supplémentaire (« Paradoxe de Downs »).

Les politiques de développement de la voirie ont également fortement contribué à la modification de la structure spatiale des villes : avec la mise en place de nouvelles voies plus rapides, du moins initialement, les citadins ont eu l'occasion d'accéder, à temps de déplacement identique, à une qualité de vie supérieure (espaces verts, air pur, logements spacieux,...) en périphérie. Cette délocalisation des habitants a conduit à terme à une dispersion de l'espace urbain : c'est le phénomène d'étalement urbain.

L'étalement urbain n'est pas sans conséquence au niveau de la mobilité. En effet, vu la dispersion de l'habitat, il n'est pas possible d'offrir un service de transports en commun de qualité, capable de concurrencer la voiture qui, elle, offre un service porte-à-porte.

Cela l'est d'autant moins que les politiques de développement des infrastructures routières ont contribué à *«l'effondrement des systèmes de transports collectifs»*, pour reprendre l'expression de Mirabel. En effet, les usagers, attirés notamment par les gains de temps supposés des déplacements en automobile, délaissent les transports en commun à son profit, entraînant le déficit systématique des premiers. Ce déficit, à terme, ne peut conduire qu'à une diminution de la qualité du service offert, tantôt en supprimant certains points de desserte, tantôt en diminuant la fréquence des passages, rendant l'automobile d'autant plus attractive.

---

<sup>33</sup> On considère qu'un tiers de l'espace urbain est affecté à la voiture d'une façon ou d'une autre (voiries, parkings).

En conclusion, il apparaît que cette politique pro-automobile menée pendant des décennies, basée sur le développement des infrastructures routières, n'a en rien réduit la congestion en ville et aux abords de celle-ci, puisqu'elle a, d'une part, créé une nouvelle demande et d'autre part, contribué à rendre une partie de la population captive de l'automobile, suite à l'étalement urbain et à la diminution de la qualité du service offert par des transports publics au déficit accru. *In fine*, ces nouvelles capacités de voirie n'ont fait qu'augmenter le nombre d'automobilistes au point que la congestion, loin de diminuer comme c'était l'objectif à la base, n'a fait que s'étaler et se diffuser sur l'ensemble du réseau de la ville et à ses abords. La congestion apparaît donc, de façon un peu paradoxale, comme la conséquence d'un demi-siècle d'une politique du « tout-à-l'auto ».

## **2.4 La congestion au centre d'un cercle vicieux : le déclin urbain**

Le Plan Iris, approuvé par le gouvernement régional en 1998, constatait déjà que la forte croissance du trafic automobile, à l'origine de la congestion urbaine, détériore l'accessibilité de la ville et ses qualités résidentielles et peut inciter les habitants et les entreprises à migrer vers la périphérie. Lobe et Duchâteau (1998), soulignant en outre l'impact néfaste de la congestion sur les services de transports publics, vont plus loin en plaçant carrément la croissance du trafic automobile, et la congestion qu'elle induit, au centre d'une « spirale de déclin urbain ».

Si la congestion peut amener une ville à son déclin, nous ne pensons absolument pas que ce soit le cas de Bruxelles; cependant, la congestion apparaît comme un élément fondamental de plusieurs cercles vicieux qui concourent à affaiblir les finances et l'éclat de la capitale de l'Europe.

Dans les sections qui suivent, nous allons essayer d'isoler ces cercles vicieux du reste du système urbain, opération périlleuse et réalisée à des fins purement didactiques, afin d'en exposer les principes de fonctionnement.

Nous tenterons de confronter ces principes aux effets réels au sein de la Région Bruxelles-Capitale.

### **2.4.1 Cercle vicieux congestion - dégradation des transports publics**

La circulation automobile génère des nuisances, non seulement pour les automobilistes, mais aussi pour l'ensemble des usagers de la route. Les transports publics de surface, et, à fortiori leurs occupants, sont également victimes de pertes de temps dues à la congestion malgré la part croissante des transports en commun circulant en site protégé. Ainsi, il n'est pas rare que l'on note une dégradation de la vitesse commerciale<sup>34</sup> de 30% entre 6h et 8h du matin par rapport à la moyenne.

Des transports publics à la durée de trajet plus longue, mais aussi plus irrégulière, s'en retrouvent forcément moins attractifs et, sans intervention correctrice, le nombre des usagers diminuerait fortement : c'est le début du cercle vicieux présenté en bas de la figure 2.4<sup>35</sup>.

Lorsque le nombre d'usagers diminue, les recettes en subissent les conséquences et le déficit des transports en commun se creuse. Sans intervention extérieure, cela induit une réduction du budget qui doit être compensée, selon le choix des dirigeants soit par une augmentation des tarifs, soit par une réduction de la flotte et donc de la fréquence de passage. Quel que soit le choix posé, le résultat est toujours perçu de la même façon par le citoyen : une diminution de la qualité de l'offre des transports publics, qui peut le pousser à terme à quitter les transports pour le confort du déplacement individuel en automobile. Ce faisant, il va contribuer à augmenter la congestion urbaine, qui était déjà à l'origine de la dégradation de la qualité du service de transports publics.

Le cercle vicieux (à double boucle) menant à une croissance de la congestion et à *l'effondrement des transports publics*, pour reprendre l'expression de Mirabel, s'est refermé.

---

<sup>34</sup> Vitesse commerciale : vitesse moyenne d'une ligne en tenant compte des temps d'immobilisation aux arrêts.

<sup>35</sup> Cette figure présente quelques boucles de rétroaction (b.r), éléments fondamentaux de la dynamique des systèmes. Un signe positif sur le lien entre deux variables indique que lorsque la première croît (décroît), la seconde croît (décroît) aussi. Un signe négatif indique que lorsque la première croît (décroît), la seconde décroît (croît). Le signe de la b.r est positif s'il y a un nombre nul ou pair de '-' : il s'agit d'une boucle explosive (cercle vicieux). Il est négatif sinon : il s'agit alors d'une boucle stabilisatrice (« goal-seeking »)

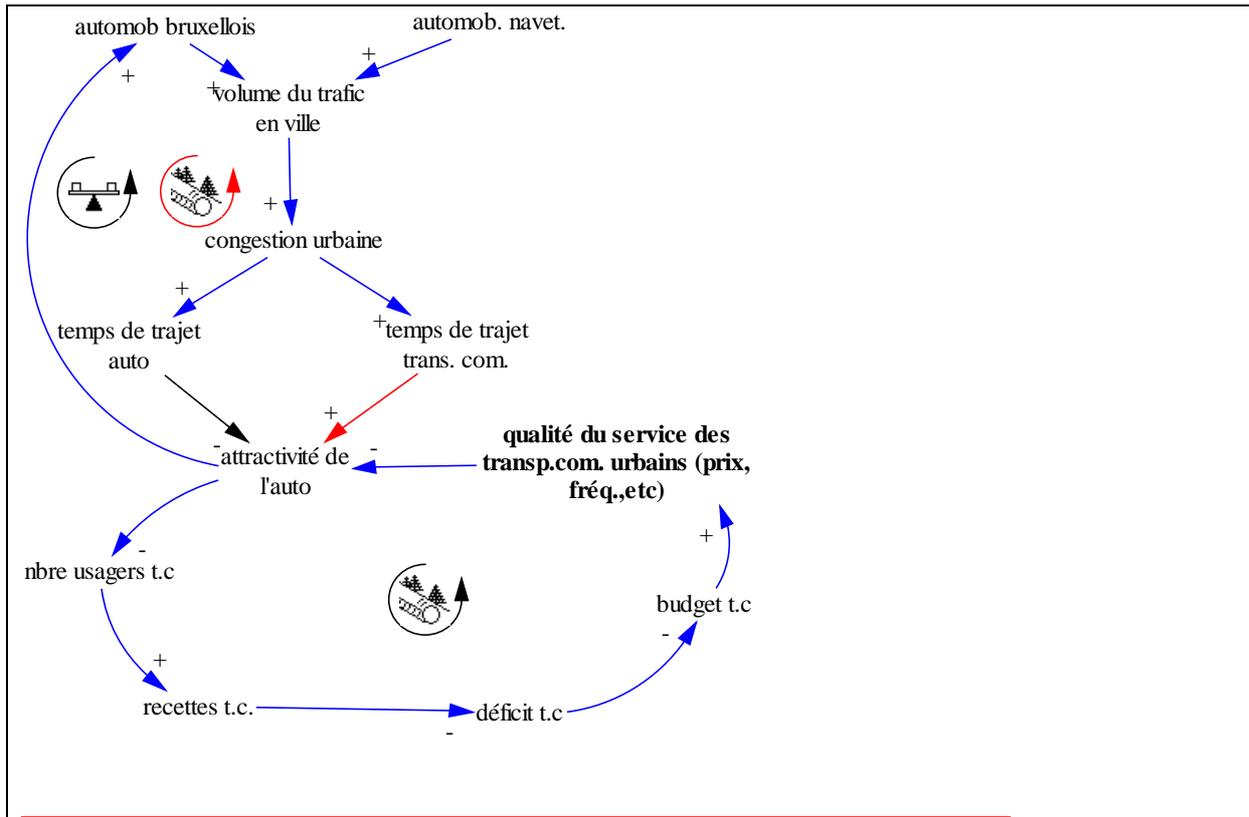


Figure 2.4 Cercle vicieux congestion-dégradation des transports publics.

Cela étant dit, on ne peut décemment prétendre que l'offre des transports en commun à Bruxelles est ravagée. Si la STIB avait été une société comme les autres, devant couvrir ses dépenses par ses recettes, il en aurait probablement été autrement, mais le soutien financier de la Région permet de casser le cercle vicieux du bas de la figure 2.4.

En effet, les fonds régionaux permettent à la STIB de « vivre au-dessus de ses moyens » et de maintenir une qualité de l'offre suffisante, lui permettant de rester relativement compétitive face à l'automobile.

Mais cela a un coût : pour maintenir une fréquence de passage constante malgré une vitesse commerciale amoindrie par la congestion, il n'y a d'autre solution que d'augmenter le nombre de véhicules en circulation, ce qui augmente tant les coûts d'investissements que ceux d'exploitation. Selon, Dobruszkes et Fourneau, l'influence de la circulation automobile à Bruxelles est telle qu'elle impose à la STIB de posséder un parc de tramways et de bus supérieur de près de 32% à ce qui est nécessaire pour assumer les fréquences requises par le niveau de la demande.

Au final, la circulation routière provoquerait des dépenses annuelles supplémentaires de 17,34 millions d'euros (chiffre pour 1999) à charge de la STIB, soit 18% du coût de la production de l'offre. Cela n'est pas négligeable pour une société déficitaire et ne peut que contribuer à la maintenir sous l'assistance respiratoire, pardon financière de la Région.

#### **2.4.2 Cercle vicieux congestion urbaine - qualité de vie - répartition du logement**

Le Plan Régional de Développement le constate : les bruxellois sont de plus en plus attirés par les « maisons avec jardins » situées en périphérie, notamment parce qu'elles proposent des espaces verts, du calme et des coûts plus attractifs. L'attractivité résidentielle des quartiers de la capitale et leur capacité à conserver leurs habitants vont fortement dépendre de la qualité de l'environnement urbain. En effet, le huitième constat du PRD nous dit que, tant en termes de choix de résidence que d'inconvénients d'habiter en ville, la qualité de l'environnement, le bruit, la propreté et la pollution atmosphérique viennent en tête des préoccupations des bruxellois.

Le principe du cercle vicieux de base liant congestion, qualité de vie en ville et répartition du logement est assez simple : c'est la boucle de rétroaction marquée d'un « plus » sur la figure 2.5.

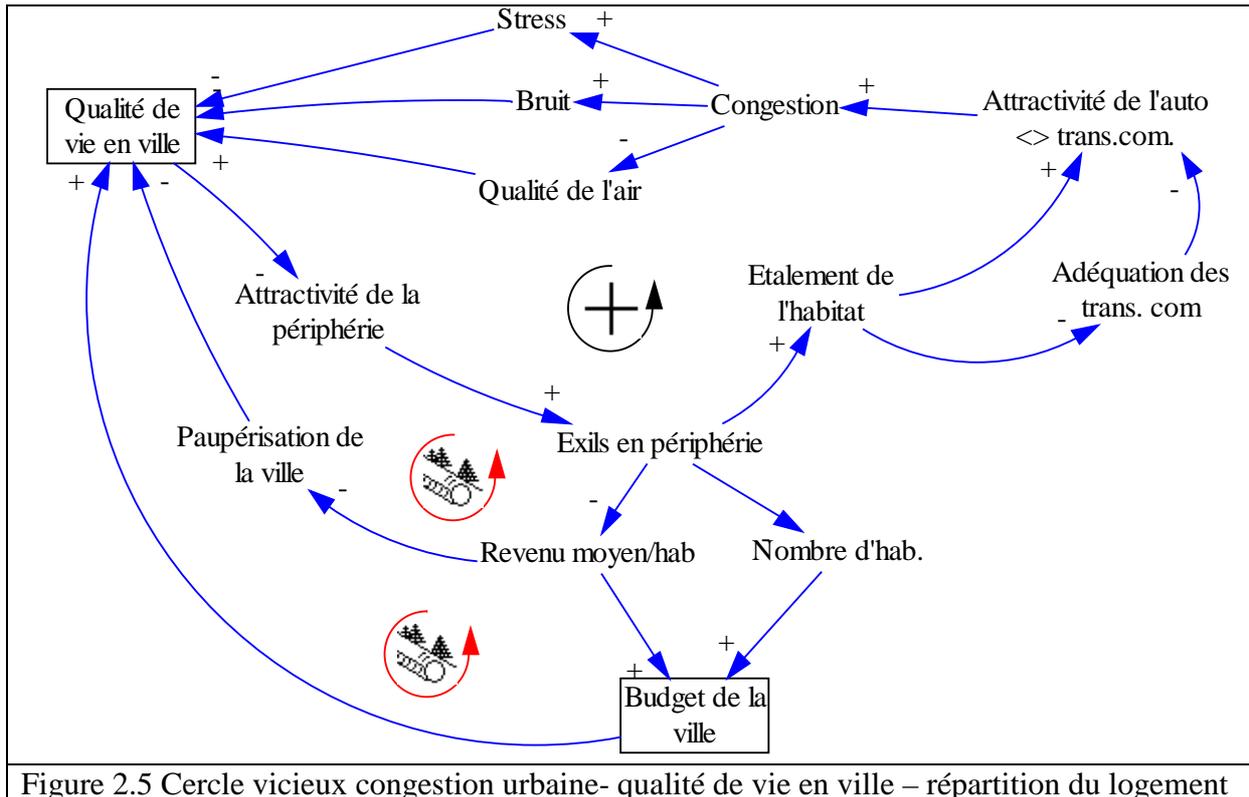
La congestion, et l'usage de l'automobile en général, sont à l'origine de bruit, de stress et d'une dégradation de l'air ambiant suite à l'émission de polluants atmosphériques.

Tous ces facteurs sont de nature à diminuer la qualité de vie en ville et, par conséquent, contribuent à rendre la périphérie plus attractive encore.

In fine, ils poussent à l'exil en périphérie ceux qui peuvent se le permettre.

Un des attraits des logements en périphérie par rapport à la ville est l'espace, c'est pourquoi l'habitat a tendance à être étalé. Dans ces conditions, il est évidemment plus difficile d'avoir un arrêt de transports en commun à proximité immédiate de son logement comme c'est le cas généralement en ville. La voiture devient donc beaucoup plus attrayante pour les déplacements, presque indispensable. En particulier, les « exilés périphériques » qui se rendent en ville pour travailler auront plus tendance à faire usage de la voiture que lorsqu'ils y habitaient avec pour effet d'accroître les déplacements automobiles en ville.

Au final, la boucle est bouclée et un cercle vicieux s'est installé, tendant à augmenter la congestion et à diminuer la qualité de vie en ville.



Cet effet est encore amplifié par le fait que ces migrations en périphérie sont le fait des plus nantis (classes moyennes et aisées), ce qui porte doublement atteinte aux rentrées financières de la ville, en diminuant d'une part, le nombre d'habitants et d'autre part, le revenu moyen des habitants. A Bruxelles, le nombre d'habitants a ainsi diminué<sup>36</sup> de 0.5% de 1980 à 1996 alors qu'il augmentait de 0.6% dans les deux Brabants au cours de cette même période. Quant au revenu moyen par habitant, alors qu'il était largement supérieur à la moyenne nationale auparavant (139% en 1971), il est aujourd'hui plus faible que dans les deux autres Régions (91.3% de la moyenne nationale).

Une ville avec des rentrées financières moindres, et une population paupérisée, aura d'autant plus de mal à maintenir un cadre de vie agréable: c'est le sens des rétroactions au bas de la figure 2.5.

Finalement, on est en face de trois cercles vicieux qui concourent à faire augmenter la congestion en ville, tout en diminuant ses recettes et la qualité de vie de ses habitants.

<sup>36</sup> Notons qu'il y a eu un léger regain ces dernières années : cf. chapitre 1.

### 2.4.3 Cercle vicieux congestion – compétitivité et attractivité économiques de la ville

La congestion urbaine rend la ville moins attractive pour les entreprises et les industries.

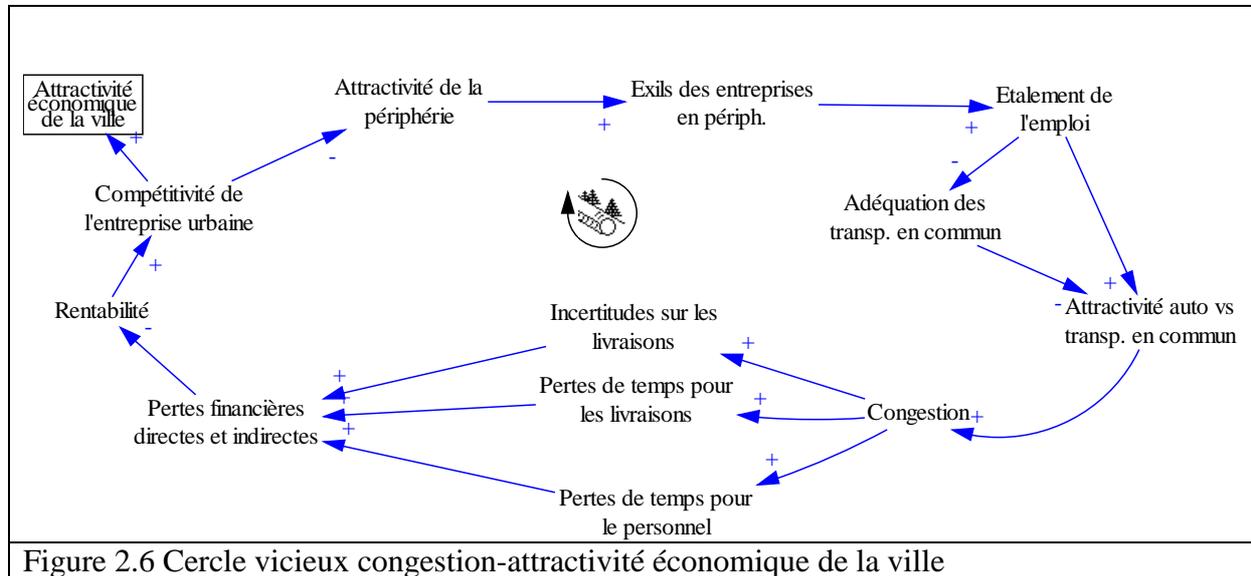


Figure 2.6 Cercle vicieux congestion-attractivité économique de la ville

En effet, elle génère, outre des pertes de temps pour les employés, des pertes de temps et également une incertitude au niveau des délais de livraison tant pour les matières premières que pour les produits finis, ce qui est particulièrement dommageable pour les entreprises travaillant en flux tendus. Les pertes financières directes et indirectes induites par la congestion pour les entreprises urbaines sont loin d'être négligeables : elles affectent leur rentabilité et les rendent moins compétitives par rapport à leurs concurrents.

Pour contrer ce problème, sans avoir à se débarrasser du personnel et à en reformer un nouveau, la délocalisation en périphérie peut apparaître comme une solution attrayante.

Une partie de l'industrie, et donc de l'emploi, va donc subir une logique centrifuge, quitter la ville et se répandre en périphérie aux abords des grands réseaux routiers.

Pour les employés de ces industries délocalisées en périphérie, l'attractivité de l'automobile pour les déplacements domicile-travail s'en trouve renforcée, vu la moindre performance des services de transports en commun face à cet emploi « étalé ».

L'augmentation de la motorisation des déplacements de ces employés d'entreprises « périphériques », qui en découle à terme, aura pour effet d'accroître encore la congestion urbaine, particulièrement aux heures de pointe, affectant d'autant plus la rentabilité des entreprises urbaines restantes, poussant celles-ci à migrer à leur tour, etc.

Le cercle vicieux est lancé...et ses effets sont marqués au niveau de la Région Bruxelles-Capitale. En effet, la dynamique économique y est trois fois moins élevée qu'en périphérie. De tels résultats suggèrent qu'il existe un transfert important de croissance de la Région bruxelloise vers son hinterland (cf. Table 2.2).

	Croissance économique 1985-1997
Bruxelles – 19 communes	1.19
Wallonie	1.71
Flandre	2.59
Hal-Vilvorde	3.94
Nivelles	2.99
Périphérie (Hal-Vilvorde + Nivelles)	3.61
Belgique	2.13

Table 2.2 Croissance économique 1985-1997 de la RBC et de sa périphérie.  
 Source : IGEAT (INS) Supplément au Moniteur Belge 15/10/2002

Toutefois, il s'agit de remettre ces chiffres dans leur contexte, celui d'une ville qui, d'un centre industriel, s'est progressivement transformée ces dernières décennies en un centre administratif d'envergure devenant la capitale de l'Union Européenne.

## 2.5 Mesures pour lutter contre la congestion

Dans le troisième paragraphe, nous avons eu l'occasion de montrer que la congestion était la conséquence des mesures pro-auto prises dans le cadre des politiques de la seconde moitié du XX<sup>ème</sup> siècle. On a également vu en fin de premier chapitre que les mesures actuelles prises dans les différents plans en cours (Plan Iris, PRD, Plan Air Climat, etc.) ne permettront pas d'atteindre les objectifs désirés en terme de mobilité, ni en terme d'émissions de gaz à effet ou de qualité d'air. Il y a donc lieu de prendre de nouvelles mesures afin d'atteindre ces objectifs et de lutter plus sévèrement contre le phénomène de congestion.

Ces mesures, pour pouvoir être pleinement efficaces, doivent s'inscrire dans une approche globale, cohérente et dans une perspective à long terme. Comme le dit le (futur) Plan de Développement Durable 2009-2012, « *une approche sectorielle limitée à la politique des transports ne suffit pas pour traiter les causes et les conséquences des choix en matière de transports* ». En effet, les besoins de déplacements s'alignent sur les choix de résidence ou d'activités (économiques, loisirs, etc.) et les effets se répercutent sur la santé, l'économie, l'environnement, l'intégration sociale, ...

Il faut donc prendre également des mesures dans le cadre d'autres politiques que celle des transports, notamment dans les domaines suivants:

- Politique économique : mesures pour assurer le découplage entre la croissance économique et la croissance de la demande de transports
- Politique d'urbanisme et d'aménagement du territoire: mesures pour éviter une planification déséquilibrée entre logements et lieux de travail
- Politique budgétaire et fiscale: mesures pour tendre vers l'internalisation des coûts
- Politique sociale et d'éducation: meilleur aménagement des horaires.

De façon élémentaire, la congestion urbaine et périurbaine est due au fait qu'un nombre trop important de déplacements sont effectués en automobile durant les heures de pointe.

Dans cette assertion simpliste apparaissent les trois leviers<sup>37</sup> sur lesquels on peut jouer pour lutter contre la congestion :

- La diminution du nombre total de déplacements
- La diminution du nombre de déplacements en automobiles, autrement dit, jouer sur la répartition modale des déplacements
- La diminution du nombre de déplacements automobiles effectués à l'heure de pointe, c'est-à-dire jouer sur la structure temporelle des déplacements automobiles

Nous avons tenté de classer les mesures relevant du domaine des transports en fonction des leviers sur lesquels elles jouent. Cela dit, cette séparation est un peu artificielle vu qu'une mesure peut se retrouver dans plusieurs catégories.

### **2.5.1 Mesures visant le nombre de déplacements**

Les mesures à prendre pour diminuer le nombre total de déplacements relèvent peu, nous semble-t-il, de la politique des transports, mais plus des politiques d'aménagement du territoire, de l'emploi et de la fiscalité.

---

<sup>37</sup> Pour les faire apparaître, il suffit de replacer le point final dans la phrase après 'effectués', après 'automobiles' ou bien de le laisser après 'pointe'.

### **2.5.2 Mesures visant la répartition modale des déplacements**

Deux types de mesures vont permettre de diminuer la part modale de l'automobile au profit des autres modes de transport : les mesures contraignantes au niveau de l'usage de la voiture et les mesures qui contribuent à augmenter l'attractivité des modes alternatifs.

Parmi les premières figurent la tarification du stationnement qui, sagement menée, peut mener à de très bons résultats. De plus, cette mesure a l'avantage de récolter des fonds.

D'une certaine façon, la hiérarchisation de la voirie est aussi de nature à contrarier l'usage de l'automobile.

Enfin, le péage urbain, tout comme la tarification du stationnement, permet d'amasser des fonds tout en diminuant l'attrait de l'automobile.

Cependant, on ne peut espérer atteindre les objectifs en termes de répartition modale sur base seulement de mesures contraignantes. Il faut agir également sur l'attractivité des modes alternatifs. En particulier, l'augmentation et l'amélioration de l'offre des transports publics (au niveau de la capacité, de la vitesse commerciale et de la fréquence, notamment) est un *must*, ne serait-ce que pour pouvoir accueillir ceux qui auraient renoncé à la voiture.

Pour la Région, la mise en place du RER, lorsqu'elle sera effective, est un pas dans la bonne direction, mais reste insuffisante (cf. scénarios du Plan Iris2), il faudra également améliorer le réseau de transport public urbain (notamment au niveau du métro : TRIAS)

### **2.5.3 Mesures visant la structure temporelle du trafic**

Deux mesures peuvent viser la structure temporelle du trafic et avoir des résultats efficaces en la matière : la tarification du stationnement et le péage urbain, avec l'avantage pour ce dernier, nous semble-t-il, de s'attaquer à la congestion en faisant payer les voitures en mouvements plutôt que celles à l'arrêt comme le stationnement payant.

## **2.5.4 Conclusions**

Pour lutter contre la congestion, diverses mesures sont à la disposition des décideurs. Notre objectif au sein de ce travail n'est nullement de détailler les effets que l'on peut attendre de chacune d'entre elles. Cependant les mesures employées jusqu'ici ayant été globalement inefficaces face à la congestion qui gangrène la ville, nous pensons qu'il est temps d'au moins étudier une nouvelle mesure qui a déjà fait ses preuves en maints endroits : le péage urbain. Cette mesure présente la particularité de viser à la fois la structure temporelle des déplacements et leur répartition modale. Elle agit sur celle-ci même doublement, dans la mesure où elle pénalise financièrement l'usage de l'automobile et contribue<sup>38</sup> à augmenter l'attractivité des transports publics, en améliorant indirectement l'offre proposée grâce aux recettes perçues.

---

<sup>38</sup> (peut contribuer)

## **Chapitre III Le péage urbain : Revue de la littérature**

On l'a vu, un des éléments fondamentaux à l'origine de la congestion réside dans le fait qu'un automobiliste ne considère par rapport à son choix de déplacement qu'une partie des coûts totaux. Idéalement, pour une concurrence loyale au niveau des modes de transport, il faudrait introduire une taxe, différenciée selon l'heure du déplacement, qui permettrait de rapprocher ainsi le coût de l'usager du coût social total de son déplacement.

Le péage urbain est le prototype même de ce genre de taxe, pigouvienne<sup>39</sup>, et semble plus adapté et plus souple que d'autres solutions permettant d'influencer le prix de l'usage de la route, comme les taxes sur les carburants, la fiscalité sur la possession de l'automobile ou encore le stationnement payant, dont l'acceptabilité pose question dans le cadre de la lutte contre la congestion (dans la mesure où il frappe des véhicules immobiles).

Le péage urbain, modulable géographiquement et temporellement, grâce aux technologies de télépéage, semble donc être l'arme ultime pour lutter contre la congestion. Sa réussite en de multiples endroits du monde semble d'ailleurs en attester.

Tout ça ne peut que titiller notre curiosité et nous inciter à nous intéresser de plus près à cette mesure. C'est ce que nous allons faire dans les paragraphes qui suivent, d'abord d'un point de vue théorique (fondements économiques, objectifs potentiels, paramètres), puis d'un point de vue technique avant de passer en revue l'argumentaire traditionnel des opposants au péage. Le sixième paragraphe sera l'occasion de se concentrer sur le passage à la pratique et ses résultats, notamment en étudiant les cas de Londres et de Stockholm. Nous donnerons ensuite un aperçu de ce que pourrait être un péage à Bruxelles, et notamment des investissements qu'il implique, avant de préciser de quelle autorité institutionnelle relèverait son instauration. Le neuvième et dernier paragraphe sera l'occasion pour nous d'énoncer les facteurs à ne pas négliger vis-à-vis de l'acceptabilité du péage.

---

<sup>39</sup> Taxe pigouvienne (ou pigovienne) : recouvre la notion de taxe destinée à internaliser le coût marginal social des activités économiques (externalités négatives) sur le marché, notamment en ce qui concerne la pollution.

### 3.1 Théorie économique du péage<sup>40</sup>

Dans un premier temps, nous montrerons que la société dans son ensemble est bénéficiaire de l'instauration d'un péage urbain, puisqu'elle permet d'éliminer un coût. Ensuite, nous établirons quel montant théorique doit prendre le péage pour éliminer ce coût. Enfin, nous verrons que la répartition de ce surplus ne se fait pas a priori équitablement, qu'il y a des gagnants et des perdants suite à l'installation du péage et qu'il y a donc lieu de prendre des mesures pour tendre à éliminer ces inégalités de sorte que ce dernier soit acceptable par le plus grand nombre.

Attelons-nous à démontrer que l'instauration d'une taxe comme le péage est nécessaire pour éliminer un coût pour la société.

Le coût total de production du service de transport peut se décomposer en trois termes : le coût des usagers, le coût du producteur des infrastructures et les coûts externes.

$$C_{\text{total}} = C_{\text{usagers}} + C_{\text{externes}} + C_{\text{producteur}} \quad (3.1)$$

Penchons nous sur l'évolution de ce coût, et de ses termes constitutifs, en fonction du volume de trafic<sup>41</sup> (véhicules par heure). Les coûts supportés par l'utilisateur comprennent les coûts fixes (amortissement du véhicule, fiscalité sur la possession dudit véhicule et assurances), les coûts variables d'exploitation du véhicule (stationnement payant et carburant), les coûts associés au temps de trajet et ceux liés aux retards et aux avances par rapport à l'heure d'arrivée désirée.

Pour un trajet donné, on peut considérer la plupart de ces termes comme indépendants du débit, à l'exception de deux d'entre eux : le coût lié au carburant, qui peut augmenter en cas de congestion (la consommation varie en fonction de la vitesse moyenne selon une « courbe en U »), et surtout le coût associé au temps de trajet.

En effet, vu que le temps de trajet croît avec le volume du trafic de façon exponentielle (cf. parag. 2.1), le coût qui lui est lié va suivre tout naturellement cette tendance selon la valeur que l'utilisateur accorde à son temps.

Si l'on nomme  $CM_{\text{usager}}$  le coût moyen de chaque usager pour un niveau de trafic donné  $Q$ , alors le coût total des usagers peut s'écrire sous la forme suivante:

$$C_{\text{usagers}} = Q \cdot CM_{\text{usager}} \quad (3.2)$$

<sup>40</sup> Ce paragraphe s'inspire essentiellement du premier chapitre de l'ouvrage de C. Raux (2007) : RAUX Charles, 2007, *Le péage urbain (Le point sur)*. Paris, La Documentation Française

<sup>41</sup> Dans la suite de cette section, nous utiliserons indifféremment à la place de volume de trafic, les termes débit ou même demande, le trafic étant simplement la résultante de la demande de déplacements.

L'allure de l'évolution de ce coût moyen en fonction du débit, c'est-à-dire de la demande, est présentée à la figure 3.1. C'est une courbe croissante conformément aux remarques effectuées précédemment.

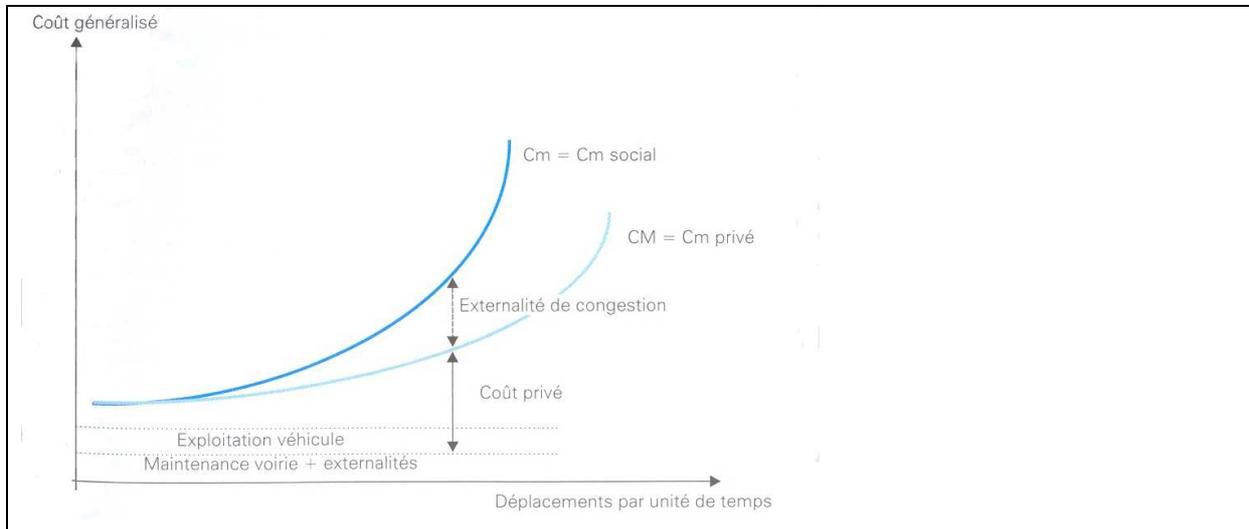


Figure 3.1. Evolution du coût moyen de l'utilisateur en fonction du volume de trafic (véh/h).  
Source : C.Raux (2007)

Pour notre démonstration, au-delà du coût moyen, il y a une autre variable qui va nous intéresser : le coût marginal, c'est-à-dire le coût résultant de l'introduction sur la route d'un usager supplémentaire.

Le coût marginal (relatif aux usagers), par définition, nous est donné par la dérivée partielle du coût (des usagers) par rapport au volume de trafic  $Q$ . En appliquant les règles de base des dérivées partielles, on obtient la formule suivante :

$$C_m^{usager} = \frac{\partial C^{usager}}{\partial q} = CM^{usager} + Q \cdot \frac{\partial CM^{usager}}{\partial q} \quad (3.3)$$

L'allure de l'évolution du coût marginal en fonction du volume de trafic est également tracée sur le graphique de la figure 3.1.

Comme on peut le voir dans la formule (3.3), le coût marginal, aussi nommé coût marginal social, est constitué de deux termes : le premier représente le coût moyen que supporte l'automobiliste supplémentaire (incluant notamment le coût lié au temps passé à se déplacer), le second représente le coût qu'il inflige à l'ensemble des autres voyageurs déjà présents sur l'infrastructure, principalement en augmentant leur temps de trajet.

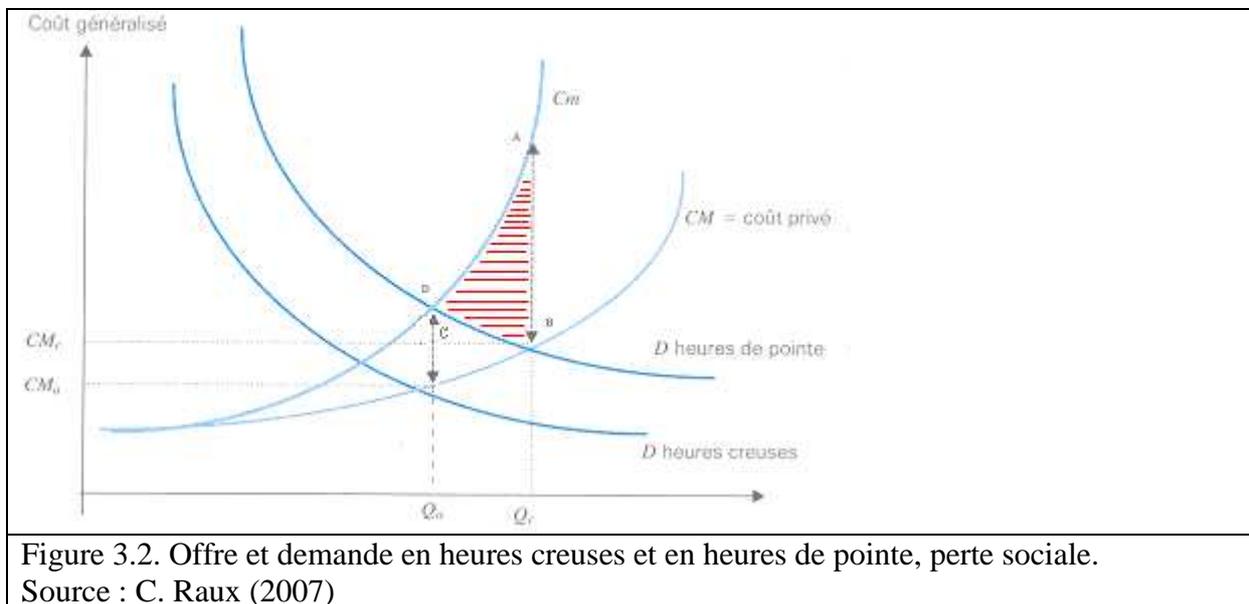
Quand l'automobiliste évalue le choix de se déplacer ou non, il ne prend en considération que le premier terme, qui est dès lors appelé aussi coût marginal privé.

Quant au second terme, ce n'est autre que l'externalité de congestion.

Examinons à présent comment s'établit l'équilibre entre offre et demande pour les déplacements (figure 3.2).

La courbe de demande représente le nombre d'utilisateurs en fonction de l'avantage, de l'utilité qu'ils retirent de leur déplacement. On peut voir aussi cette courbe de demande comme la représentation du nombre d'utilisateurs en fonction de leur disposition à payer pour un certain déplacement. Il faut remarquer que cette courbe n'est pas statique, mais varie selon l'heure du déplacement. Ainsi, la courbe de demande des heures de pointe est décalée vers la droite par rapport à celle des heures creuses, puisqu'à avantage retiré équivalent, le trafic en heures de pointe est supérieur.

La courbe de l'offre représente simplement l'évolution du coût du déplacement en fonction du nombre d'utilisateurs de la route. En réalité, il s'agit d'une courbe de l'offre que l'on pourrait qualifier de « fictive », car le coût considéré n'est pas le coût réel du déplacement, mais uniquement le coût perçu par l'utilisateur et donc supporté par celui-ci, c'est-à-dire le coût marginal privé.



Le niveau de trafic à l'équilibre s'établit à l'intersection des courbes de demande et d'offre.

Si on se concentre sur les heures de pointes, le trafic à l'équilibre s'établit donc en  $Q_c$  (cf.figure 3.2) pour un coût moyen des usagers de  $CM_c$ .

Ce niveau de trafic entraîne une perte sociale. En effet, jusqu'à un volume de trafic  $Q_a$ , chaque usager de la route supplémentaire retire une utilité de son déplacement (donnée par la courbe de demande) supérieure au coût que son déplacement engendre pour la société (donné par le coût marginal  $C_m$ ). La société dans son ensemble a donc intérêt à ce que ces déplacements se fassent.

Par contre, au-delà du volume  $Q_a$ , chaque usager supplémentaire retire un avantage, certes supérieur coût de son déplacement  $CM_c$  - rappelons-le identique à l'équilibre pour tous les usagers- (il a donc intérêt personnellement à se déplacer), mais inférieur au coût qu'il engendre pour la collectivité.

L'ensemble de ces  $(Q_c - Q_a)$  voyages supplémentaires génère une somme de bénéfices « individuels » correspondant à l'aire du « triangle » BCD sur la figure 3.2, mais aussi un coût pour la société, dont l'ampleur est donnée par l'aire du « trapèze » ABCD sur ce même graphique.

Finalement la perte sociale due à la congestion, puisque c'est bien elle qui est la responsable de la divergence entre le coût marginal privé et le coût marginal social, est donnée par l'aire de la surface « triangulaire » ABD, hachurée sur la figure 3.2.

Que déduire de cela ? Simplement que dans une situation de libre accès à la route, c'est-à-dire en l'absence d'une taxe de type péage, le fait que l'utilisateur effectue son choix en fonction du coût privé et pas du coût social de son déplacement conduit à une perte économique pour la collectivité dans son ensemble.

L'introduction d'une tarification va permettre d'éliminer la perte sociale due à la congestion tout simplement en diminuant le nombre de voyageurs.

Pour ce faire, il faut introduire un péage dont le montant serait tout simplement dissuasif pour ceux dont l'utilité du déplacement est inférieure à son coût social, mais sans pour autant empêcher de se déplacer ceux qui génèrent un bénéfice pour la société, c'est-à-dire les  $Q_a$  premiers voyageurs.

Par conséquent, le montant de la redevance doit être égal à la différence entre le coût marginal social et le coût marginal privé à l'équilibre « désiré », c'est-à-dire lorsque le volume du trafic vaut précisément  $Q_a$ .

Le montant théorique de la redevance,  $r$ , doit donc valoir :  $(C_m^{\text{usager}} - CM^{\text{usager}})$ .

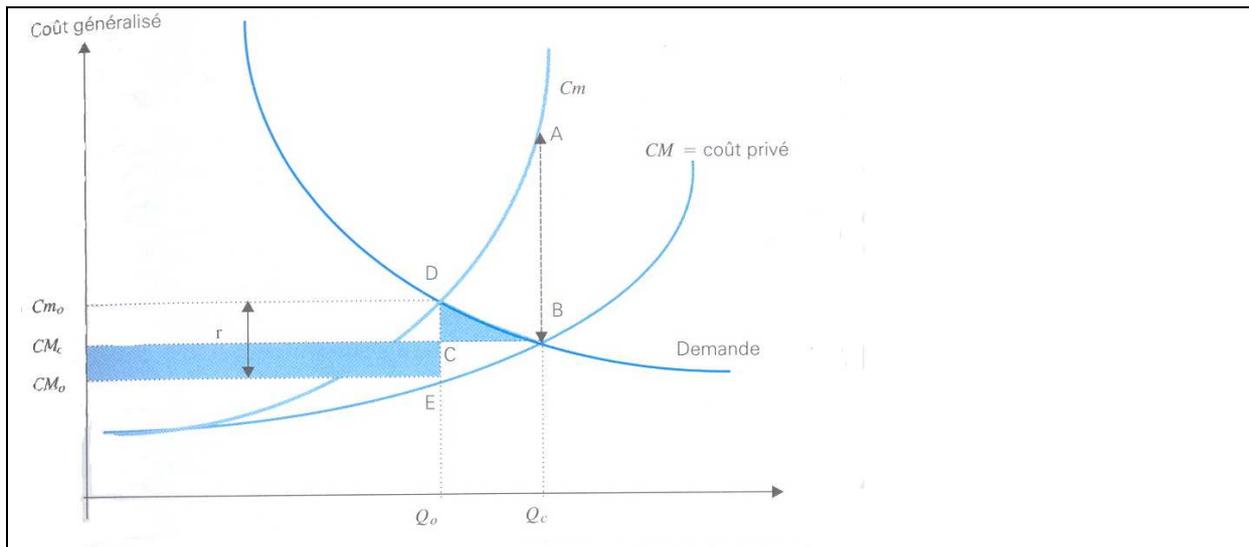


Figure 3.3 Tarification optimale (à court terme). Source : C. Raux (2007)

Il nous faut faire une remarque : jusqu'à présent, nous n'avons tenu compte que du coût des usagers et pas du coût total tel qu'il avait été présenté au début de ce paragraphe.

Si l'on veut tenir compte des coûts externes (accidents, pollution, bruit) et du coût des producteurs (maintenance, exploitation), il faut effectuer quelques modifications, mais le raisonnement pour trouver la valeur du montant théorique de la redevance reste similaire : en l'absence de contrainte extérieure, l'utilisateur ne tient toujours compte que de son coût privé. Cependant, pour connaître la perte générée pour la collectivité, il ne faut plus considérer le coût marginal des usagers, mais le coût marginal total qui est donné par :

$$C_m^{total} = \frac{\partial C^{usager}}{\partial q} + \frac{\partial C^{externe}}{\partial q} + \frac{\partial C^{producteur}}{\partial q} = CM^{usager} + Q \cdot \frac{\partial CM^{usager}}{\partial q} + \frac{\partial C^{externe}}{\partial q} + \frac{\partial C^{producteur}}{\partial q} \quad (3.4)$$

On peut alors facilement montrer<sup>42</sup> que la formulation générale de la redevance théorique<sup>43</sup>,  $r$ , permettant de supprimer la perte sociale totale, est donnée par la formule suivante (3.5) :

$$r = (C_m^{usager} - CM^{usager}) + \frac{\partial C^{externe}}{\partial q} + \frac{\partial C^{producteur}}{\partial q} \quad (3.5)$$

Autrement dit, à la redevance de congestion viennent s'ajouter le coût marginal des externalités et celui relatif à l'usage de l'infrastructure (maintenance, exploitation).

Finalement, quel est l'effet de cette redevance ?

<sup>42</sup> Le lecteur intéressé peut trouver la démonstration complète dans l'ouvrage de Charles Raux auquel il a déjà été fait allusion.

<sup>43</sup> NB: il s'agit de la redevance théorique à court terme.

Dans un premier temps, on peut dire qu'elle améliore le bien-être général de la société, puisqu'elle supprime la perte sociale ABD.

Dans un second temps, il faut se rendre compte que ses effets ne sont pas bénéfiques pour tout le monde. En effet, il y a  $(Q_c - Q_a)$  personnes qui avaient un avantage personnel à se déplacer avant son instauration et qui ne l'ont plus après sa mise en place. Quant aux autres voyageurs, le coût de leur déplacement a augmenté, passant de  $CM_c$  à  $Cm_0$  (cf. Figure 3.3).

Cependant, il ne faut pas en déduire que ces derniers sont forcément perdants, car, le trafic ayant diminué, les trajets sont plus rapides et ceux pour qui le temps est très important seront finalement bénéficiaires de la mise en place du péage.

Pour mettre en évidence que cette dernière crée des gagnants et des perdants selon la valeur qu'ils accordent à leur temps, on peut faire une analyse graphique. On va étudier l'utilité nette en fonction de la valeur du temps (cf. Figure 3.4), avant (indice 1 sur le graphique) et après (indice 2) la mise en place du péage pour la voiture et un mode alternatif<sup>44</sup>.

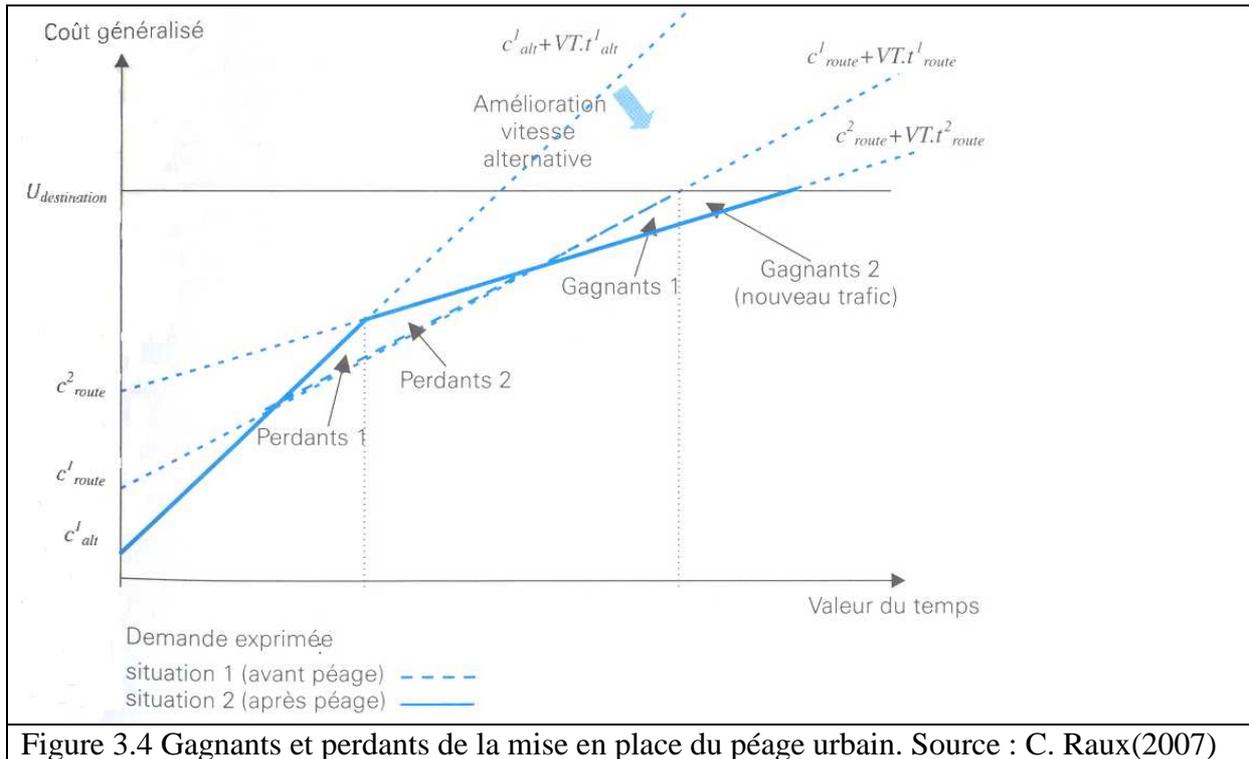
On admet l'hypothèse simplificatrice que l'utilité nette du déplacement peut s'écrire comme suit :  $U_{option} = U_{destination} - (c + VT.t)_{option}$  où

- « option » désigne le mode de déplacement (voiture ou alternatif)
- $U_{destination}$  désigne l'utilité de l'activité de destination que l'on va supposer, par simplification didactique, identique pour tous les usagers
- $c$  est le coût monétaire du déplacement (différent selon le mode, et plus grand après la mise en place du péage)
- $t$  est la durée du déplacement pour un mode donné, que l'on va supposer, par simplification didactique une fois encore, identique pour tous les usagers (mais plus importante avant la mise en place du péage)
- $VT$  est la valeur que chaque usager accorde au temps de son trajet

En comparant les situations avant et après péage, on peut facilement distinguer les gagnants des perdants : ils sont indiqués sur la figure 3.4 ci-dessous.

---

<sup>44</sup> On suppose pour simplifier que le péage n'a pas d'impact sur les paramètres du mode alternatif.



Les perdants ont une utilité réduite après la mise en place du péage, les « perdants 1 » devant même passer au mode de transport alternatif pour atténuer cette perte.

Les gagnants accordent une valeur tellement importante à leur temps que le coût supplémentaire du péage est finalement compensé par le gain de temps obtenu. Ce gain est si appréciable pour les « gagnants 2 » qu'il les pousse à se déplacer alors qu'ils ne le faisaient guère avant l'instauration du péage.

Dans cette explication, on n'a pas tenu compte de l'impact du péage ni sur le coût d'un trajet en transport en commun, ni sur le temps de trajet. Si on en tenait compte - et cet impact dépendrait en partie de la redistribution des recettes du péage -, il serait possible que ceux qui se voient contraints d'utiliser les transports en commun soient malgré tout gagnants du point de vue du temps et/ou du point de vue du coût, et donc finalement gagnants tout court. Graphiquement, cela se manifesterait par une droite décalée vers le bas et dont la pente serait plus faible.

Tout ceci ne reste bien évidemment qu'une explication théorique très simplifiée qui nous permet juste de mettre en évidence les mécanismes créant des gagnants et des perdants lors de la mise en place d'un péage.

En pratique, il y a des effets de report sur les voies qui ne sont pas payantes, il y a également des disparités géographiques et surtout sociales et puis, l'afflux de voyageurs supplémentaires nécessiterait des investissements pouvant être importants pour les transports alternatifs.

Dans le même ordre d'idée, la valeur du montant du péage donnée par la formule 3.5 n'est que théorique. Concrètement, pour limiter le nombre d'opposants au péage, les autorités locales peuvent jouer sur les paramètres du péage, à savoir, non seulement le niveau de la redevance (éventuellement différencié selon la condition sociale ou selon d'autres critères), mais aussi la zone géographique et les horaires.

Un élément-clé pour l'acceptabilité réside dans la redistribution des recettes obtenues.

On l'aura compris, le choix des paramètres du péage obéit moins à des valeurs dictées par la théorie qu'à des considérations sociales et politiques, elles-mêmes liées à l'objectif qui se trouve derrière la mise en place du péage.

Il nous a cependant paru intéressant de montrer que le péage urbain repose sur une base théorique solide, à savoir qu'une tarification au coût marginal total permet d'éliminer les pertes engendrées par la congestion.

### **3.2 Objectifs d'un péage**

Globalement, on peut distinguer trois types d'objectifs pour un péage.

Le premier est la réduction de la congestion, on parle alors de péage de congestion.

Le deuxième est l'obtention de ressources financières afin de financer des infrastructures routières et/ou les transports en commun, on a affaire dans ce cas à un péage de financement.

Enfin, le dernier objectif potentiel est la réduction de la pollution et des nuisances environnementales en général, il s'agit alors d'un péage environnemental.

Ces trois objectifs ne sont pas exclusifs et pas forcément contradictoires, mais peuvent nécessiter des mesures distinctes comme nous le verrons par la suite.

Un péage de financement a pour but principal de fournir des moyens financiers à l'exploitant de l'infrastructure pour qu'il puisse d'abord couvrir les investissements effectués avant, éventuellement, de développer le réseau de voiries ou celui des transports collectifs. Il s'agit donc d'amasser un maximum de recettes.

Pour ce faire, il est généralement plus efficace d'adopter un niveau de péage faible et constant au cours du temps de façon à toucher un plus grand nombre d'usagers en esquivant ainsi les effets d'évitement d'une zone ou d'une tranche horaire payante. C'est ce type de péage qui a été mis en place dans certaines cités norvégiennes, Oslo et Trondheim notamment, en vue de financer le développement des capacités de transport.

Le péage environnemental et le péage de congestion vont tenter d'orienter le choix des automobilistes (quant à leur mode de déplacement, leur horaire de déplacement ou encore leur itinéraire) en modifiant le signal-prix de leur déplacement.

L'objectif est d'intégrer, d'internaliser dans le prix du déplacement le coût que supporte la collectivité du fait de la congestion ou des nuisances environnementales (pollution atmosphérique, bruit, gaz à effet de serre, etc). Les usagers vont s'adapter à ce nouveau coût et ceux dont la disposition à payer est inférieure au tarif du péage vont alors changer d'itinéraire, d'heure de déplacement (en cas de tarification modulée au cours du temps) ou bien carrément de mode de transport.

Généralement pour avoir un impact important sur les comportements de déplacement, il est plus efficace d'adopter un niveau de péage élevé, tel que cela est pratiqué à Londres (environ 12 Euros par jour et par véhicule).

La différence entre le péage de congestion et le péage environnemental se situe au niveau de l'application d'une modulation horaire du tarif.

François Mirabel (2001) a montré<sup>45</sup> que l'impact d'un péage uniforme au cours du temps est plus important sur la répartition modale et, donc sur les émissions polluantes qu'un péage de pointe finement modulé. Ce dernier sera plus utilisé dans le cadre d'un péage de congestion, puisque les usagers vont pouvoir modifier leurs heures de déplacement en fonction du niveau du péage et ainsi diminuer très fortement la congestion.

Bien sûr, un péage de congestion, en fluidifiant le trafic (mais sans forcément induire une baisse du trafic automobile global), va également permettre de réduire la consommation de carburant et les émissions de polluants, mais cette diminution sera en général beaucoup plus faible que celle que l'on peut obtenir en imposant un péage environnemental.

---

<sup>45</sup> MIRABEL F. 2001 : « *Impact du péage urbain sur la répartition modale et la structure temporelle du trafic automobile* », Revue d'Economie Régionale et Urbaine, N°3.

En conclusion, définir précisément le ou les objectifs d'un péage est fondamental : d'une part, car la communication à son/leur sujet est un facteur-clé pour l'acceptabilité du péage (on aura l'occasion d'y revenir au sein du paragraphe 3.9) et, d'autre part, car la détermination des paramètres du péage et sa configuration en découle directement, comme nous le verrons dans le paragraphe qui suit.

### **3.3 Paramètres et types de péage**

Un péage peut prendre plusieurs formes selon les configurations géographique et temporelle qui auront été choisies afin d'être en adéquation avec les objectifs préalablement assignés par les décideurs.

En fonction de la configuration spatiale, on peut distinguer trois types de péage selon qu'il soit mis en place sur une voie de circulation (péage d'infrastructure) ou bien sur une zone (péage de zone ou péage de cordon).

Un péage d'infrastructure, sur une infrastructure déjà existante ou sur une nouvelle voie, va permettre de fluidifier le trafic en sélectionnant économiquement les usagers.

Ceux qui ont une forte disposition à payer et qui accordent une haute valeur à leur temps sélectionneront la voirie payante. Les autres se rabattront sur les autres voies, probablement davantage congestionnées et en tous cas plus lentes. Dans ce type de péage, le but est de récolter des recettes permettant de financer (rembourser) l'infrastructure. On peut citer, comme exemples illustratifs, le péage TEO de Lyon ou encore les HOT lanes aux Etats-Unis (aux abords de San Diego entre autres).

Une autre configuration possible est celle d'un péage portant sur l'ensemble d'une zone.

Dans ce cas, il peut s'agir d'un péage de zone lorsqu'on doit s'acquitter d'un montant, une fois au cours de la journée, afin de circuler dans la zone. L'exemple le plus célèbre est celui de Londres.

On parle de péage de cordon lorsqu'il faut s'acquitter d'une taxe à chaque passage pour entrer ou sortir de la ville. C'est ce type de péage qui a été mis en place dans les villes norvégiennes et à Singapour depuis 1998.

D'une manière générale, pour un péage de zone comme pour un péage de cordon, le choix de la zone géographique constitue un paramètre très important pour la réussite du projet.

Souvent, il s'agit de « ceinturer » un lieu temporairement investi par certaines fonctions, travail (central business district) et tourisme (centre historique) principalement.

Le deuxième paramètre fondamental, après la zone géographique, est le prix du péage.

Dans la constitution de la tarification interviennent deux éléments : le montant lui-même du péage et la modulation horaire, ou configuration temporelle, de ce dernier.

Au niveau du montant, la règle est simple : au plus celui-ci est élevé, au plus les usagers sont dissuadés de prendre la voiture. Ils changent alors, selon les possibilités qui leur sont offertes, de mode de transport, d'itinéraire ou simplement d'horaire de déplacement.

Lorsque l'objectif du péage est de récolter des fonds, le niveau du péage est faible et constant tout au long de la journée de façon à toucher un maximum d'usagers en esquivant ainsi les effets d'évitement d'une tranche horaire payante ou d'une zone. Un tel niveau de péage tourne autour du montant de 1 Euro par jour (0,6 à Bergen ou 1,3 à Trondheim par exemple).

Lorsque l'objectif est de réguler le trafic, le montant se veut dissuasif et est beaucoup plus important. Ainsi, à Londres, le tarif est de 8 Livres (originellement 5 Livres) par jour et par véhicule, ce qui correspond à environ 12 Euros par jour.

Au niveau de l'horaire du péage, la cible des péages urbains étant souvent constituée des navetteurs, l'horaire va souvent se calquer sur celui des bureaux (7h30-17h30 environ). Dans le même ordre d'idée, il ne sera souvent d'application que les jours de semaine.

Cela étant, pour une même période considérée, le péage peut prendre plusieurs formes selon la façon dont il est modulé.

Il peut être uniforme, constant tout au long de la période ; ce qui constitue le cas le plus fréquent : péages de Londres, Stockholm, Oslo et des autres cités norvégiennes.

Il peut, au contraire, être finement modulé en fonction de l'heure de déplacement. Dans ce dernier cas, le montant du péage est d'autant plus élevé que l'horaire de déplacement est proche de l'heure de pointe. Le meilleur exemple de ce type de péage, finement modulé, est celui de Singapour.

On peut voir l'évolution au cours de la journée de sa grille tarifaire (juin 2004) dans le graphique suivant (Figure 3.5). Durant la pointe, le montant y varie toutes les trente minutes environ.

2,5\$															
2 \$															
1,5\$															
1\$															
0,5\$															
	8h00 8h05	8h05 8h10	8h30 9h00	9h00 9h25	9h25 9h30	9h30 9h55	9h55 10h00	10h00 12h00	12h00 12h30	12h30 17h30	17h30 18h00	18h00 18h25	18h25 18h30	18h30 18h55	18h55 19h00

Figure 3.5 Exemple de grille tarifaire à Singapour (2004). Source : F. Mirabel (2004)

Enfin, le dernier paramètre à examiner pour les décideurs avant l’instauration d’un péage est celui de la cible du dispositif, autrement dit, le type de personnes qui vont être taxées.

Les personnes ciblées par un péage sont, en général, les résidents temporaires de la ville, à savoir ceux qui viennent y travailler : les navetteurs, et ceux qui viennent la visiter : les touristes. Il est bien évident que, dans le cas de Bruxelles, les navetteurs constitueront la cible principale.

En général, les habitants de la zone bénéficient de réductions conséquentes. Ainsi, à Londres, les résidents vivant à l’intérieur de la zone bénéficient d’une ristourne de 90%.

Certains véhicules sont généralement exemptés, comme les taxis, les véhicules de secours ou encore les véhicules pour handicapés. Les véhicules les moins polluants (voitures électriques et hybrides) et ceux « congestionnant » le moins (deux-roues) peuvent également avoir une réduction partielle voire totale.

Pour résumer, lorsque les décideurs veulent mettre en place un péage urbain, ils doivent prendre le temps d’évaluer, en fonction de leurs objectifs, quel type de péage sera le plus adapté, sur quelle zone géographique il devra être appliqué, avec quel système de tarification, modulé ou non, et enfin quels véhicules devront être (partiellement) exemptés.

Ces choix sont des choix politiques sur lesquels peuvent néanmoins peser diverses contraintes, notamment technologiques, bien que les progrès en la matière soient phénoménaux.

### 3.4 Technologies

Selon Charles Raux, le progrès technologique, qui a permis la téléperception de redevances variables selon le lieu, le jour ou l'heure de passage des véhicules, est un des éléments fondamentaux qui a permis de mettre en œuvre ou d'envisager de mettre en œuvre le péage urbain. En effet, sans téléperception, on est obligé de se retourner vers des péages physiques, qui nécessitent l'arrêt des véhicules et semblent dès lors tout, sauf efficaces vis-à-vis des problèmes de congestion et même de pollution.

Divers systèmes de perception et d'enregistrement sont envisageables. Nous allons les exposer brièvement dans les quelques lignes qui suivent. Le lecteur qui souhaite davantage de détails est invité à se plonger dans la littérature, notamment le rapport du projet PROGRESS<sup>46</sup>.

La DSRC est présentée par C. Raux comme la technologie la plus mature. Cette technologie repose sur la communication, via DSCR (Dedicated Short Range Communications), entre une balise embarquée à bord du véhicule et des récepteurs placés en bord de route. A chaque passage, ceux-ci identifient le véhicule et donc le propriétaire afin de lui facturer le voyage. Une version plus sophistiquée, nécessitant l'utilisation d'une carte prépayée, anonyme, prête à insérer dans la balise, permet de répondre aux préoccupations concernant la vie privée que la première version aurait pu soulever. C'est un système de ce type qui est employé actuellement à Singapour.

Selon le rapport du projet PROGRESS (2004), cette technologie fonctionne bien, mais est assez coûteuse à mettre en œuvre, car elle nécessite d'équiper tous les véhicules de balises.

Les auteurs du plan IRIS 2 recommandent plutôt l'emploi de la technologie GPS<sup>47</sup> pour peu que les progrès technologiques à venir permettent, d'une part, d'éliminer les problèmes techniques résiduels, comme les pertes de connexion le long des grands immeubles ou au sein des tunnels, et d'autre part, de diminuer le coût unitaire des équipements embarqués.

---

<sup>46</sup> PROGRESS Project 2000, Juillet 2004, *Pricing road use for greater responsibility, efficiency and sustainability in cities* (Bristol . Copenhagen . Edinburgh . Genoa . Gothenburg . Helsinki . Rome . Trondheim), - CM.10390, Main Project Report.

<sup>47</sup> GPS : Global Positioning System.

Ce système amène beaucoup de souplesse et de finesse au niveau du péage (variabilité géographique et horaire très précise du montant de la taxe) et est particulièrement intéressant lorsqu'on veut adjoindre à celui-ci une taxe kilométrique, c'est-à-dire une taxe proportionnelle à la distance parcourue.

Selon le rapport du projet PROGRESS, cette technologie n'est pas encore au point et il est recommandé, pour un futur proche (avant 2015 au minimum), d'utiliser des technologies plus matures comme la DSRC ou la reconnaissance automatique des plaques d'immatriculation que nous allons évoquer ci-dessous.

Un autre système de perception est envisageable : le système de reconnaissance automatique des plaques d'immatriculation, ou ANPR<sup>48</sup>, tel qu'il est pratiqué à Londres notamment.

La détection se fait via un système de caméras, quadrillant la zone payante, capable de reconnaître automatiquement les plaques des véhicules.

En fin de journée, la base de données reprenant les plaques identifiées est comparée à la base de données des plaques des propriétaires qui se sont acquittés de la taxe journalière. Cette comparaison va permettre d'identifier les fraudeurs. Pour pouvoir intégrer cette seconde base de données, l'usager doit simplement effectuer son paiement le jour même<sup>49</sup> ou dans les jours qui précèdent via un des nombreux modes mis à disposition : téléphone, sms, internet, stations-essence, etc.

Un des grands avantages de ce système, souligné par le rapport PROGRESS, est son coût relativement modeste comparativement aux autres systèmes préalablement cités.

En résumé, la technologie du futur est le GPS, en particulier lorsque le système Galileo sera parfaitement au point.

D'ici là, le choix entre deux technologies s'offre aux décideurs : la DSRC, qui semble la meilleure d'un point de vue qualitatif et l'ANPR, autrement dit la reconnaissance automatique des plaques, qui est déjà au point et dont la mise en place serait moins coûteuse.

Ces différentes technologies peuvent soulever des réticences, notamment au point de vue des risques d'atteinte à la vie privée.

---

<sup>48</sup> ANPR : Automatic Number Plate Recognition

<sup>49</sup> A Londres, un paiement en retard le lendemain est possible, mais majoré de deux Livres.

Nous aurons l'occasion d'aborder cette problématique dans le paragraphe qui suit, en compagnie des nombreux autres effets pervers qu'un péage est supposé induire, selon ses détracteurs du moins...

### **3.5 Des effets pervers ?**

Les opposants au péage urbain ne sont jamais en manque d'épouvantails à agiter pour justifier le rejet qu'il faut lui opposer et tenter ainsi de faire fuir son spectre.

Au sein de ce paragraphe, nous nous concentrerons plus spécialement sur certains effets négatifs présumés, à savoir la délocalisation des entreprises et les reports de circulation, ainsi que sur les problématiques, quasi intrinsèquement liées au péage urbain moderne, que sont le problème de l'atteinte à la vie privée et l'injustice sociale.

#### **3.5.1 La délocalisation des entreprises**

Le risque de délocalisation des entreprises en dehors de la Région est un argument fréquemment employé par les opposants au péage et, très honnêtement, cet argument ne peut être balayé d'un simple revers de main, tout simplement car les prévisions à ce sujet sont très ardues. Elles varient d'ailleurs fortement d'un modèle à l'autre.

Cependant, pour tenter d'objectiviser ce débat sur la délocalisation des entreprises, on peut regarder ce qu'il en a été concrètement dans des villes qui sont passées à l'acte en mettant en place un péage urbain.

En particulier, on va se pencher sur le cas londonien en se basant sur les résultats et les conclusions présentés dans le cinquième rapport<sup>50</sup>, dernier édité à ce jour, de *Transport for London* concernant les impacts annuels du péage.

Avant tout, il nous faut faire les mêmes avertissements que les auteurs dudit rapport.

Ces avertissements concernent, d'une part, le fait que les impacts du péage urbain se manifeste(ro)nt nettement plus vite au niveau du trafic et de la mobilité qu'au niveau économique, et d'autre part, que ces effets sur l'économie, si effets il y a, ne doivent pas être considérés isolément de tendances économiques plus larges.

---

<sup>50</sup> Transport for London (TfL), juillet 2007. *Central London Congestion Charging: fifth annual impacts monitoring report*. Rapport disponible via <http://www.tfl.gov.uk/assets/downloads/fifth-annual-impacts-monitoring-report-2007-07-07.pdf>

Au niveau macroéconomique, le rapport indique, sur base d'une analyse comparative de l'évolution de divers indicateurs (nombre d'emplois, chiffres d'affaires, nombre d'entreprises, etc.), qu'il n'y a aucune preuve d'effets différentiels entre la zone taxée et le reste de Londres qui pourraient indiquer un impact, positif ou négatif, du péage urbain sur la performance économique globale.

L'augmentation de la taxe en 2005<sup>51</sup> n'a pas altéré ce constat.

Si on regarde l'évolution entre la période avant (2001-2002) et après la mise en place du péage (2003-2005) des secteurs économiques principaux de la zone taxée, à savoir le secteur des finances, l'hôtellerie et la restauration, le secteur public (éducation, santé) et le commerce, on constate globalement une évolution positive.

Certes, imputer cette croissance aux seules vertus du péage urbain serait présomptueux, puisqu'elle est généralisée à l'ensemble de la ville.

Pour tenter d'y voir plus clair, il paraît intéressant de comparer l'évolution des résultats sectoriels de la ville et de ceux de la zone taxée.

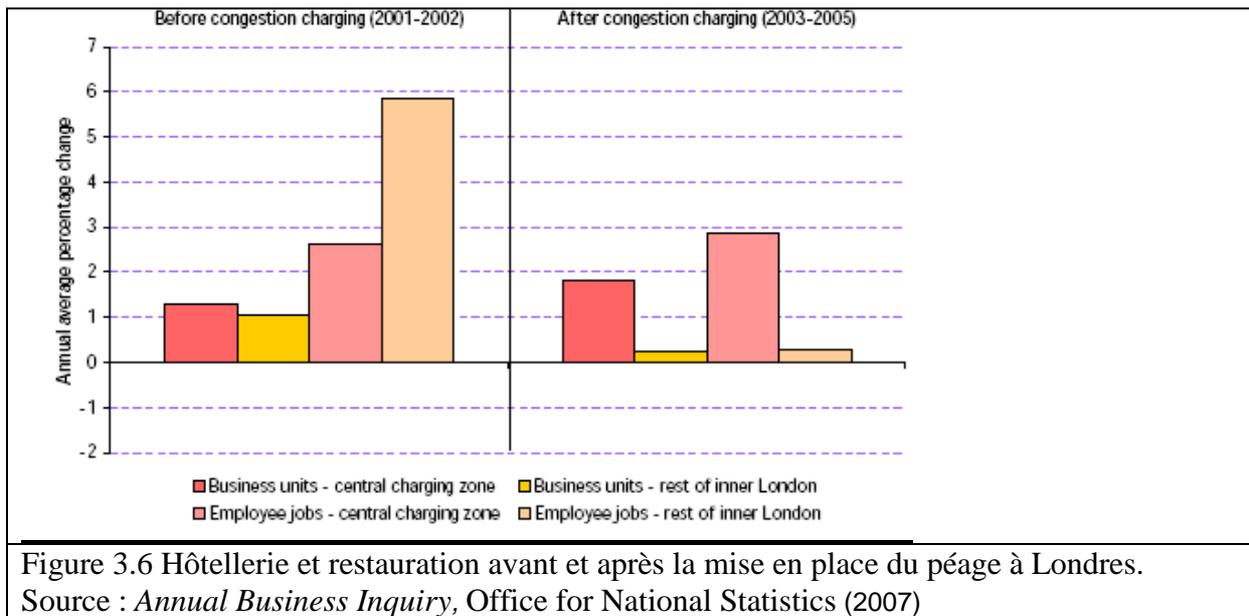
On constate que le secteur des finances y progresse certes, mais un peu moins rapidement que dans le reste de la capitale. Par contre, au niveau de l'hôtellerie et de la restauration, les résultats sont nettement meilleurs dans la zone taxée qu'ailleurs, comme le montre le diagramme de la figure 3.6.

En effet, la croissance au niveau des emplois et des établissements y est en hausse après l'introduction du péage alors qu'elle est en chute libre dans les autres quartiers, probablement à cause des attentats.

Dans ces conditions, il est difficile de ne pas attribuer ces progrès à l'amélioration de la convivialité résultant de l'instauration du péage de congestion.

---

<sup>51</sup> 8 Livres contre 5 Livres auparavant



En ce qui concerne le secteur public et le commerce, le péage ne semble guère avoir d'effet significatif, que ce soit dans un sens ou dans l'autre.

En conclusion, à l'heure actuelle, cinq années après sa mise en place, le péage londonien n'a pas eu les effets néfastes au point de vue économique que ses détracteurs pouvaient lui prêter. D'ailleurs, il se dégage même aujourd'hui une majorité de défenseurs du péage parmi les différents entrepreneurs de la zone taxée.

En outre, le péage semble clairement avoir des effets positifs sur certains secteurs, notamment la restauration et les infrastructures touristiques.

Bien sûr, toutes ces constats concernent Londres et non Bruxelles, mais ils ne peuvent que mettre à mal l'idée reçue qu'un péage entraîne forcément des mauvais résultats économiques pour la zone taxée et une délocalisation de ses entreprises en périphérie.

C'était d'ailleurs une des conclusions que tiraient Lobe et Duchateau dans leur article<sup>52</sup> (1998) sur l'impact d'un péage urbain à Bruxelles: les effets négatifs du péage sur l'économie et le nombre d'emplois de la Région peuvent être compensés, notamment grâce à une amélioration du service des transports publics.

<sup>52</sup> H. Duchâteau, P. Lobe, nov. 1998 *Impacts of transport price on mobility and land use in the Brussels area*, presented at the *Symposium International sur le Financement de la Route*

### **3.5.2 Le report de circulation**

Quelques uns des adversaires du péage urbain affirment l'inutilité du péage sur base du report de circulation qu'il engendrerait.

Ainsi, la tarification mise en place détournerait les automobilistes des axes à péage vers d'autres voies gratuites à proximité. Celles-ci s'en retrouveraient à leur tour congestionnées et, somme toute, le seul effet du péage n'aurait été que de déplacer le problème.

Cet argument nous paraît fallacieux, pour ne pas dire sophiste, mais cela ne nous prive pas de l'envie de le démonter.

Tout d'abord, concrètement, aucun problème de détournement de la circulation suite à l'instauration d'un péage urbain n'a été rapporté à notre connaissance.

A Londres, les mesures effectuées sur les axes extérieurs à la zone de péage ont même été interrompues pour la simple et bonne raison que la circulation déviée y était insignifiante.

Ensuite, quand bien même un report de circulation sur certaines voies serait effectivement constaté après la mise en œuvre d'un péage, ce problème ne serait guère insoluble : il suffirait d'étendre la tarification sur les voies concernées et perpétuer cette extension jusqu'à ce que le problème soit définitivement résolu.

En conclusion, il nous apparaît que le report de circulation est un faux problème, en particulier si l'on admet qu'un système de péage urbain mis en place est susceptible d'évoluer et de s'adapter en fonction des effets qu'il suscite.

### **3.5.3 L'atteinte à la vie privée**

Le risque d'atteinte à la vie privée est indubitablement un des gros effets pervers du péage urbain.

Parmi les différentes technologies décrites dans le paragraphe 3.4, la technologie préconisée par le plan IRIS 2<sup>53</sup>, c'est-à-dire la détection et le contrôle du positionnement des véhicules par GPS, à terme via le système Galiléo, semble la pire de ce point de vue-là.

---

<sup>53</sup> Ministère de la Région de Bruxelles-Capitale, AED, Direction de la politique des déplacements, *Mise à jour et adaptation du plan des déplacements urbains de la Région de Bruxelles-Capitale Rapport Final*, dec 2006, STRATEC.

En effet, cette technologie permettrait aux autorités publiques de connaître les déplacements de chacun dans les moindres détails.

Cela étant dit, les autres technologies, que ce soit la reconnaissance de plaques automatiques (ANPR) ou la DSRC, qui permettent d'identifier les passages de voitures sont elles aussi génératrices de données privées potentiellement utilisables par les autorités pour contrôler la population, ou du moins contrôler la population des possesseurs de véhicules.

Pour éviter les abus, à des fins commerciales, politiques ou autres, le bon usage de ces bases de données doit être garanti.

En ce sens, des remparts législatifs et des organes de contrôle doivent être mis en place.

Le risque est-il pour autant nul ? Certes, non.

Connaissant les bénéfices pour la collectivité que peut générer un péage urbain, le jeu en vaut-il la chandelle ? Chacun répondra à cette question en son âme et conscience...

### **3.5.4 L'injustice sociale**

La qualification du péage urbain comme étant un système socialement inéquitable est des plus fréquentes chez ses détracteurs.

Et, il est vrai, comme le dit François Mirabel<sup>54</sup> (2004), que, par principe, « *le péage urbain entraîne des discriminations importantes entre les individus : il introduit une ségrégation sociale du trafic automobile dans la mesure où il provoque une exclusion des usagers dont la disposition à payer est la plus faible* ».

En effet, seuls les automobilistes ayant une disposition à payer supérieure au montant du péage vont continuer à employer la voie devenue payante.

D'un point de vue économique, si l'on reprend les idées du paragraphe 3.1, il favorise ceux qui ont une valeur de temps importante et une utilité marginale du revenu faible, autrement dit (et plus grossièrement), les *riches* et ceux dont les frais de déplacements sont payés par les employeurs.

En ce sens, prétendre que le péage est socialement injuste n'apparaît pas comme complètement inepte. Cependant, cette affirmation nous semble un peu rapide pour plusieurs raisons.

---

<sup>54</sup> MIRABEL François, 14 sept. 2004, *Les péages urbains, une solution pour un développement durable des villes ?*, Colloque Monder (Québec)

Premièrement, une *ségrégation sociale du trafic automobile*, pour reprendre les termes de Mirabel, est déjà bel et bien à l'œuvre à la base. Pour s'en convaincre, il suffit d'observer le taux de possession de voiture des ménages en fonction de leurs revenus.

Dans les faits, l'instauration d'un péage, ne viserait donc pas les *pauvres*, car ceux-ci n'ont pas de voiture. Au contraire, le péage serait l'occasion de prendre de l'argent aux plus riches. Pour peu qu'on investisse une partie des recettes dans les transports en commun, comme c'est le cas à Stockholm ou à Londres, il deviendrait aussi une occasion de le redistribuer aux *pauvres*<sup>55</sup>, « captifs » des modes de transport public.

Deuxièmement, il nous semble que l'instauration d'un péage urbain va justement contribuer à remédier à une injustice.

Nous en avons déjà parlé lors du premier paragraphe traitant de la théorie économique du péage : l'ensemble des frais que supporte un automobiliste (carburant, assurances, fiscalité, etc.) ne couvre pas la totalité des coûts qu'il engendre pour la société.

Les coûts externes (atteinte à la santé due à la pollution atmosphérique, contribution au changement climatique, perte de temps des autres usagers, etc.) sont à la charge de la collectivité dans son ensemble.

Le péage urbain, en internalisant une partie de ces coûts, contribue à ce que chacun paie ce qu'il doit : c'est la consécration du principe pollueur-payeur.

En ce sens, il agit en réparateur d'une injustice, certes tolérée depuis des décennies.

Enfin, dans le cas bruxellois plus spécifiquement, le péage urbain va permettre d'effacer une injustice entre la Région Bruxelles-Capitale et les deux autres Régions.

En effet, les navetteurs provenant de Wallonie et de Flandres représentent plus de 26%<sup>56</sup> du parc fictif des voitures particulières circulant dans la capitale. Les dégâts qu'ils occasionnent (dégradation des bâtiments et atteinte à la santé à cause de la pollution, émissions de gaz à effet de serre, etc.) ne sont donc nullement négligeables pour la ville.

Pourtant, les navetteurs ne participent en rien à leur réparation, grevant ainsi le budget de la Région et indirectement celui de ses habitants.

---

<sup>55</sup> Tel Robin des Bois ...

<sup>56</sup> 176 100 sur un total de 667 692 voitures particulières. Source : INS (2003)

D'ailleurs, comme le souligne le GRACQ<sup>57</sup>, « à mesure inchangée, les contribuables bruxellois paieront obligatoirement des droits de polluer (accords de Kyoto) pour celles et ceux qui, venant de Flandre ou de Wallonie, ont fait le choix de venir bosser en voiture en Région bruxelloise! »

Que le navetteur paie enfin les dégâts qu'il occasionne au lieu de l'innocent contribuable bruxellois grâce à la mise en place d'un péage urbain ne nous semble pas une mesure des plus injustes...

Tout cela étant dit, il est vrai qu'une catégorie de la population est quand même la victime de la mise en place du péage : non pas les *pauvres*, mais les pauvres parmi les possesseurs de voiture. (C'est une nuance, mais elle est d'importance.) La classe victime est donc la classe des revenus moyens bas, obligés d'abandonner leur voiture pour les transports en commun.

Pour ceux-là, une redistribution adéquate des recettes doit aider à compenser les pertes ressenties suite à l'introduction du péage.

Investir dans les transports publics, de façon à les rendre concurrentiels par rapport à la voiture, augmente grandement le degré d'acceptabilité du péage selon de nombreuses études. L'idée sous-jacente est, comme le dit Mirabel, de « redistribuer les recettes vers les usagers qui n'utilisent plus la voirie du fait de leur faible disposition à payer et qui circulent en transports collectifs ». C'est d'ailleurs ce qui est réalisé à Stockholm ou à Londres comme nous le verrons dans le paragraphe suivant 3.6.

Finalement, que conclure de tout ça ?

D'abord que le problème d'équité, d'injustice sociale est un problème complexe. D'ailleurs, le lecteur qui souhaite davantage d'information que les pistes de réflexion distillées dans ce paragraphe est invité à se plonger dans la littérature, abondante à ce sujet<sup>58</sup>.

De notre point de vue, il ne nous semble pas que le péage urbain soit un système socialement injuste, car il permet de corriger des injustices préexistantes en matérialisant le principe pollueur-payeur. Le conducteur paie pour les dégâts qu'il commet.

En particulier, les navetteurs paient enfin l'entité qui doit faire face aux dommages dont ils sont responsables, à savoir la Région.

---

<sup>57</sup> Source : Villeàvélo, numéro 129 (2007).

<sup>58</sup> Citons, par exemple, Stéphanie Souche, 2003. *Péage urbain et équité : une revue de la littérature*, in les Cahiers Scientifiques du Transport, n° 43.

Enfin, pour peu que les recettes allouées aux transports publics leur permettent de devenir parfaitement concurrentiels par rapport à la voiture, les perdants présumés dans l'affaire ne le sont plus et le péage devient même un moyen de transfert financier entre les plus riches et les plus pauvres, devenus « captifs » volontaires de ces transports en commun améliorés.

### **3.6 Le passage à la pratique : résultats des expériences existantes**

Jusqu'à présent, nous avons abordé le péage urbain principalement dans sa dimension théorique, mais le péage urbain n'est pas qu'une belle idée.

Au début des années 1970, déjà, Singapour passait à la pratique en installant un péage de zone (adapté depuis en péage multi-cordons). L'Europe suivait le mouvement à la fin des années 1980 à travers les expériences de quelques cités norvégiennes, mais le péage urbain ne s'arrêta pas en si bon chemin et son plus grand coup médiatique fut incontestablement en février 2003 la *prise* de Londres, première grande métropole à passer l'acte.

Depuis, il fait *tourner la tête* de pas mal de grandes villes européennes qui songent sérieusement à le mettre en œuvre. Dernièrement<sup>59</sup>, c'est la ville de Milan qui s'y est mise à travers une phase d'expérimentation d'un an d'un péage selon un ticket antipollution.

On verra, au sein de ce paragraphe, à travers les cas de Londres et de Stockholm comment, sur base d'objectifs préalablement définis, les péages ont été conçus et quels impacts ils ont pu engendrer, non seulement au niveau du trafic et de l'économie, mais aussi en termes d'environnement. On commencera par décortiquer minutieusement le Congestion Charging avant de regarder les résultats de l'expérience de Stockholm, ces deux péages ayant des objectifs relativement similaires à ceux qu'aurait, selon nous, un péage à Bruxelles (réduction de la congestion, financement des transports publics et amélioration de la qualité de l'air principalement).

Les cas des cités norvégiennes et de Singapour ne seront pas évoqués au sein de ce mémoire, bien qu'ils puissent être considérés comme des réussites, d'une part, car notre objectif n'est pas d'être exhaustif, et d'autre part, car ils nous semblent trop différents de ce que pourrait être un péage en RBC (notamment au niveau des objectifs). Le lecteur qui désire davantage de détails au sujet de ces expériences est invité à jeter un coup d'œil à la littérature<sup>60</sup>.

---

<sup>59</sup> Depuis le premier janvier 2008.

<sup>60</sup> Par exemple, C. Raux (2007) *Le péage urbain (Le point sur)*. Paris, La Documentation Française

### **3.6.1 Le cas de Londres**

Avant la mise en place du *Congestion Charging*, en février 2003, Londres se caractérisait par une mauvaise offre au niveau des transports. La congestion était largement reconnue comme une menace pour l'économie de la ville et la qualité de vie des habitants et, en ce sens, un consensus, si important pour l'acceptabilité du projet<sup>61</sup>, se dégagait clairement pour dire qu'il fallait intervenir afin de réduire le trafic automobile.

Le premier des objectifs du péage était de réduire la congestion, de façon à diminuer l'incertitude concernant la durée du voyage et rendre la livraison des marchandises plus sûre.

Le second objectif annoncé était d'améliorer la desserte en transports en commun (bus principalement) grâce aux recettes<sup>62</sup> du péage.

Pour décrire le système mis en place à Londres, reprenons point par point les paramètres d'un péage tels qu'ils ont été exposés dans le paragraphe 3.3.

Tout d'abord le type de péage qui a été sélectionné est un péage de zone.

La zone choisie à l'origine<sup>63</sup> ne constituait, avec une superficie de 22 km<sup>2</sup>, qu'une toute petite portion géographique du Grand Londres (environ 1,5%), mais regroupait en son sein plus de 25% des emplois.

Au niveau du tarif du péage, il s'agit d'un forfait journalier dont tout usager souhaitant circuler dans la zone entre 7h et 18h00 doit s'acquitter.

Notons que le péage ne fonctionne que du lundi au vendredi, jours fériés exceptés.

Le montant se veut dissuasif : après avoir été fixé initialement à 5 Livres, il est passé à 8 Livres en juillet 2005 avec des ristournes pour des abonnements mensuels ou annuels.

Il faut signaler, et cela a d'ailleurs constitué un facteur-clé pour l'acceptabilité du système, que les résidents de la zone bénéficient d'une réduction du prix de 90%.

En ce qui concerne la cible, un certain nombre de véhicules sont exemptés : les taxis ainsi que les véhicules de transports collectifs, les véhicules de secours et ceux pour handicapés.

---

<sup>61</sup> Même si à l'origine, seulement 39% de la population était favorable à la mesure

<sup>62</sup> A ce sujet, dans la loi britannique, les recettes des péages doivent être affectés aux transports pour une durée minimale de dix ans.

<sup>63</sup> Depuis la zone a été étendue à l'Ouest le 19 février 2007.

Enfin, certains véhicules à énergie alternative (moteur électrique, carburant alternatif) bénéficient de réductions.

Pour terminer cette description, rappelons que la technologie employée est un système de reconnaissance automatique des plaques d'immatriculation grâce à un réseau de caméras placées en 173 points de la ville (à l'origine).

Après avoir énoncé les objectifs et décrit le système mis en place afin de les satisfaire, examinons concrètement les effets du *Congestion Charging*.

Les effets au niveau du trafic<sup>64</sup> sont assez importants, puisqu'on a constaté une diminution de 21% du nombre de véhicules entrant dans la zone depuis l'introduction du péage.

La diminution est encore plus importante pour les voitures particulières, puisqu'elle atteint 36%. En ce qui concerne le trafic au sein de la zone, il a régressé de 19%. Cette diminution de la circulation a ainsi permis d'augmenter la vitesse moyenne du trafic, qui est passée de 14,3 km/h à 16,7 km/h en moyenne.

Quant à la congestion (mesurée comme le temps de trajet supplémentaire par rapport à une situation fluide), sa diminution peut paraître faible avec 8% seulement par rapport à 2002, mais un mot à son sujet s'impose.

En effet, cette réduction était de 30% en 2003 après la première année de mise en application du péage. Le fait qu'elle soit redescendue à 8% alors même que le tarif a depuis été augmenté peut paraître surprenant. Cependant, il ne faut pas se méprendre, cet effet n'est pas dû à l'augmentation du trafic, mais à une réduction de la capacité des routes, consécutive à des aménagements pour le bien-être des piétons et des cyclistes et afin d'augmenter l'efficacité des services des bus. Compte tenu de cette capacité routière réduite, les experts estiment que le péage a pour effet de réduire la congestion d'une trentaine de pourcents par rapport à ce qu'elle serait en son absence, ce qui constitue un chiffre tout à fait similaire à celui de 2003.

Il faut remarquer que tous les chiffres cités ci-dessus concernent la zone taxée à l'origine.

---

<sup>64</sup> Les chiffres concernant les effets sur le trafic concernent l'année 2006 et sont principalement issus du dernier rapport du tfl : Transport for London (TfL), juillet 2007. *Central London Congestion Charging: fifth annual impacts monitoring report*.

En ce qui concerne la zone d'extension, il y a beaucoup moins de recul par rapport aux observations vu son introduction récente. Les chiffres avancés au bout de 3 mois d'expérience sont un peu moins impressionnants : - 10% de trafic au sein de la zone et une réduction de la congestion comprise entre 20 et 25%.

Globalement, pour conclure, on peut dire que les effets du *Congestion Charging* concernant la réduction du trafic et de la congestion sont plutôt satisfaisants.

Au niveau de l'offre de transport public, les recettes du péage (123 millions d'euros pour l'exercice 2006-2007) ont permis d'augmenter l'offre de bus de 10 000 places supplémentaires, ce qui correspond à une croissance de 20%.

A cette augmentation de l'offre a correspondu une augmentation de la demande matérialisée par une augmentation de la fréquentation des transports publics de près de 35% à l'heure de pointe (7-10h).

Il faut dire aussi qu'avec l'amélioration substantielle de la fluidité du trafic, les bus ont 30% de retard en moins aux arrêts.

Les effets concernant l'environnement, pour la zone concernée et non le Grand Londres, sont loin d'être ridicules : on évalue la diminution des émissions de CO<sub>2</sub> à 16%, celle des NO<sub>x</sub> à 13% et cela tourne autour de 15.5% pour les particules fines (PM<sub>10</sub>).

Plus spécifiquement, au niveau du changement climatique, les gaz à effet de serre ont connu une réduction spectaculaire de 34%.

Globalement, le gain environnemental pour la zone considérée a été évalué à près de 5 millions d'euros.

Au niveau économique, le système génère des revenus nets de 123 millions de Livres (pour l'exercice 2006-2007, cf. table 3.1). Ces revenus, comme la loi l'exige, ont été dépensés dans le cadre de la stratégie de transports de la ville selon la répartition suivante : 101 millions de Livres pour l'amélioration du réseau de bus, 14 millions pour les infrastructures routières ainsi que 5 millions en faveur de la sécurité routière et 3 millions pour des mesures en faveur des piétons et des cyclistes.

Revenues	
Standard daily vehicle charges (£8)	125
Fleet vehicle daily charges (£7)	27
Resident vehicles (£4 per week)	6
Enforcement income	55
<b>Total revenues</b>	<b>213</b>
Total operation and administration costs	-90
<b>Net revenues</b>	<b>123</b>

Table 3.1 Revenus et coûts pour le péage de Londres pour l'année financière 2006/2007.  
Source : TfL (2007)

Au niveau global, une analyse coût-bénéfice, réalisée par *Transport for London* en 2007, évalue le bénéfice socio-économique net à 90 millions de Livres depuis le passage du tarif à 8 Livres. Cette évaluation tient notamment compte des gains liés à la réduction des temps de trajets et de l'incertitude les concernant, ainsi que des bénéfices liés à la diminution des accidents et à l'amélioration de la qualité de l'air. L'analyse détaillée est présentée dans la table 3.2. L'honnêteté intellectuelle nous oblige à mentionner que cette analyse coût-bénéfice est fort contestée et que plusieurs économistes<sup>65</sup>, pensant que le bénéfice net est négatif, concluent à l'échec du *Congestion Charging*.

		Travel time and reliability		Operating costs		Other resources and surpluses		Financial impacts		Total	
		£5	£8	£5	£8	£5	£8	£5	£8	£5	£8
Car, van and goods vehicle users	Business	164	190	17	18	-16	-14	-143	-157	22	37
	Individuals	59	70	9	10	-6	-5	-72	-79	-10	-4
Bus passengers	Individuals	43	43							43	43
Deterred trips	Business					-8	-12			-8	-12
	Individuals					-12	-19			-12	-19
Society	Accidents					14	14			14	14
	CO <sub>2</sub>					2	2			2	2
	NO <sub>x</sub> and PM <sub>10</sub>					1	1			1	1
Transport for London/ Government/ boroughs	Fuel duty							-25	-27	-25	-27
	VAT							-13	-14	-13	-14
	Charging			-109	-109			215	236	106	127
	Additional buses			-18	-18			19	19	1	1
Infrastructure						-25	-25			-25	-25
	Parking net revenues							-15	-15	-15	-15
Private parking	Net revenues lost							-10	-10	-10	-10
<b>Total</b>		<b>266</b>	<b>303</b>	<b>-101</b>	<b>-99</b>	<b>-50</b>	<b>-58</b>	<b>-44</b>	<b>-47</b>	<b>71</b>	<b>99</b>

Table 3.2 Impacts financiers sur la zone centrale du péage londonien (en millions de Livres)  
Source : TfL (2007)

<sup>65</sup> Prud'homme et Bocarejo par exemple (2005) : *L'expérience du péage de Londres*, in la revue *Transports*, No.430 p 73-81

Il n'est pas de notre ressort de trancher ce débat sur le bénéfice net. Néanmoins, nous pouvons constater que les bénéfices liés aux gains de temps (et diminution de l'incertitude sur la durée des voyages) sont évalués à 260 millions de Livres dans l'étude de la TFL de 2007, alors que l'analyse préliminaire<sup>66</sup> coûts-bénéfices, réalisée en 2003 par la TFL également, les estimait à 145 millions de Livres seulement. L'ampleur de l'écart entre les deux estimations ne peut que prêter à confusion...

Quoi qu'il en soit, de notre point de vue, les résultats, beaucoup plus tangibles et concrets, concernant la réduction du trafic et de la congestion, l'amélioration de l'offre des transports publics et de la qualité de l'air, sans parler de la réduction des émissions des GES, nous incite plutôt à considérer le péage urbain instauré à Londres comme une réussite.

### **3.6.2 Le cas de Stockholm**

Le péage de Stockholm était à la base une expérience qui s'est déroulée durant le premier semestre de l'année 2006. Après un référendum favorable à la mise en œuvre définitive du péage de congestion, le gouvernement a décidé de le réintroduire en juillet 2007.

Les objectifs affichés sont (étaient) de réduire la congestion, d'accroître l'accessibilité de la ville, d'améliorer l'environnement tout en fournissant des ressources financières pour les transports publics<sup>67</sup>.

Techniquement, il s'agit d'un péage de cordon, encerclant le centre de la ville (35 km<sup>2</sup>) et muni de 18 portes de péage. Il fonctionne du lundi au vendredi de 6h30 à 18h30, jours fériés exceptés. Le montant du péage doit être acquitté pour chaque passage de porte, en entrée et en sortie. Le tarif varie selon les heures de 1,07 à 2,15 euros (en heures de pointe) avec un maximum journalier de 6,4 euros.

Le système est électronique et ne nécessite guère d'arrêt aux portes grâce à des boîtiers embarqués au sein de chaque véhicule.

Comme à Londres, certains véhicules sont exemptés : les véhicules d'urgence et ceux pour handicapés, les deux-roues, les taxis et certains véhicules *propres*.

Les effets du péage sont plutôt satisfaisants selon les experts scandinaves.

---

<sup>66</sup> On peut retrouver un tableau résumant cette analyse préliminaire dans PREDIT, Recherches & Synthèses n°31, 2006

<sup>67</sup> En fait, il s'agit de rembourser les investissements importants réalisés dans les transports publics préalablement à l'instauration du péage.

Au niveau du trafic, ils ont même dépassé les espérances. En effet, alors qu'une réduction de 10 à 15% était attendue, la circulation automobile a, en réalité, diminué de 22 % en moyenne<sup>68</sup> et une baisse comprise entre 30 et 50 % a été atteinte au niveau des durées d'attente dans les trafics. Par ailleurs, le péage serait responsable de 4,5 % de l'augmentation de la fréquentation des modes de transports collectifs.

Au niveau environnemental, les résultats sont plutôt positifs également. Ainsi, en ce qui concerne le CO<sub>2</sub>, la réduction des émissions est de 14% au sein du cordon et de 2-3% pour le comté de Stockholm dans son ensemble.

Les résultats économiques, au premier regard, peuvent paraître négatifs, puisque le résultat de l'expérience de 2006 est déficitaire de 2,6 milliards de SEK (couronnes suédoises), soit 263 millions d'euros environ.

Mais il faut savoir que, dans ce bilan, on reprend tous les coûts d'investissement, y compris ceux liés à l'amélioration des transports publics, qui étaient très lourds (350 Meuros).

Cependant, si on exclut ces investissements<sup>69</sup>, l'analyse coût-bénéfice (cf table 3.3) dégage un bénéfice net de 683 millions de SEK, soit 70 millions d'euros. Ce surplus devrait permettre équilibrer les coûts d'investissements en 4 ans, ce qui est très peu pour le secteur.

Le péage de Stockholm apparaît donc finalement comme une réussite économique également.

Millions de SEK par an (10SEK = 1.10€)	Gains/pertes
Gains de temps	498
Gain de fiabilité des temps de parcours	78
Exploitation des véhicules	-68
Péage	-763
<b>Surplus des usagers</b>	<b>-257</b>
Gaz à effet de serre	64
Effets sur la santé et l'environnement	22
Sécurité du trafic	125
<b>Total des externalités</b>	<b>211</b>
Recettes du péage	763
Coûts d'exploitation du péage	-220
Augmentation des recettes du transport public	164
Augmentations des capacités du transport public	-64
Baisse des revenus des taxes sur les carburants	-63
Economie de maintenance des routes	1
<b>Total pour l'Etat (surplus de l'exploitant)</b>	<b>611</b>
Coût marginal des fonds publics	118
<b>Surplus socio-économique total, investissements exclus</b>	<b>683</b>

Table 3.3 Analyse coûts-bénéfices du péage de Stockholm (en millions de SEK).

Source : Plan Iris 2, citant Transek

<sup>68</sup> Source: *Facts and results from the Stockholm trials. Final version*. December 2006

<sup>69</sup> qui, de fait, ne doivent pas être réitérés chaque année, mais ont été effectués une fois pour toutes.

En conclusion, il apparaît que le péage de Stockholm est une réussite à tout point de vue : trafic routier en baisse, transports publics et environnement améliorés et rentabilité économique à court terme.

### **3.7 Un péage à Bruxelles : Configuration et implications**

Dans ce paragraphe, nous nous proposons de décrire ce à quoi pourrait ressembler un péage en RBC et quels seraient les investissements nécessaires, sur base des résultats de différentes études, notamment celles réalisées par le bureau d'études Stratec dans le cadre du renouvellement du Plan Iris. Il ne s'agit pas ici de réaliser une étude critique de ces travaux, mais juste de donner les informations qui nous paraissent pertinentes par rapport à cet aperçu que nous voulons donner de la mise en place d'un péage urbain dans la capitale européenne.

Dans un premier temps, intéressons nous à la configuration du péage.

Au niveau du type de péage, si, dans l'étude de Lobe et Duchateau (1998), c'était un péage cordon qui était étudié, le Plan Iris 2 recommande lui un péage de zone de façon à pouvoir toucher également les automobilistes bruxellois, cible indispensable pour pouvoir atteindre les objectifs fixés en terme de longueur totale des déplacements motorisés (cf 1.5) au sein de la Région.

La zone géographique concernée serait la Région Bruxelles-Capitale dans son ensemble, avec une quarantaine d'entrées à contrôler pour les accès à la ville et au Ring, dans le cas d'un péage électronique, et sans porte d'entrée spécifique si c'est la technologie GPS qui est employée comme le souhaite le Plan Iris 2.

Les différentes études consultées préconisent un montant du péage élevé et variable en fonction de l'heure, bien que la modulation horaire du trafic n'ait pas été testée, à notre connaissance, dans les scénarios mis en place.

Pour avoir un ordre d'idée au niveau du tarif, il serait différencié, selon que l'automobiliste soit résident ou non, et tournerait autour de 3 et 5 euros respectivement. Notons que le plan Iris 2 a également étudié la possibilité de mettre en place une taxe kilométrique (0.3 euro/km) au-delà de ce montant fixe.

La cible du péage serait constituée des bruxellois et des navetteurs avec les traditionnelles exceptions (véhicules d'urgence, véhicules pour handicapés, etc.).

La mise en place d'un péage urbain nécessite des investissements importants, pour la perception et les autres postes liés au péage même, mais aussi et surtout pour l'ensemble des infrastructures (et leur exploitation) nécessaires pour faire face au report modal espéré.

En ce qui concerne les coûts d'investissements nécessaires à la perception du péage, ils sont, selon le Plan Iris 2, très difficiles à évaluer pour la technologie de positionnement par satellites. Les auteurs ont néanmoins retenu un ordre de grandeur de 200 millions d'euros d'investissement, tout en précisant que cette somme pourrait descendre à 80 millions avec les progrès technologiques de Galileo.

En principe avant la mise en place du péage, il faut également réaliser les investissements pour les parkings de dissuasion (Park and Ride) et pour l'amélioration des transports publics, de sorte qu'ils soient capables d'accueillir les nouveaux usagers issus du transfert modal.

Le plan Iris 2 évalue la somme nécessaire pour le Park and Ride à 276 millions d'euros.

En ce qui concerne les transports publics (infrastructures, matériel roulant, et coûts d'exploitation supplémentaires), divers montants sont avancés selon l'évolution du réseau.

Le scénario le moins cher, qui respecte les objectifs concernant la répartition modale et le nombre total de kilomètres parcourus, indique des investissements pour les infrastructures à hauteur de 793 millions d'euros.

A ces investissements au niveau des infrastructures viennent s'ajouter ceux nécessaires pour le matériel roulant supplémentaire et l'exploitation de celui-ci, respectivement 219 et 241 millions d'euros.

Finalement, les investissements supplémentaires totaux du scénario le moins cher respectant les objectifs (2A-T), par rapport au scénario tendanciel (qui comprend déjà les frais liés à la mise en place du RER), sont de 1 613 millions d'euros.

On le voit, les investissements sont colossaux. Cependant, les recettes du péage, énormes elles aussi, devraient permettre à la Région de rentrer à court terme dans ses frais si l'on en croit l'analyse coût-bénéfice du plan Iris2, résumée dans le tableau suivant (Table 3.4) :

scénario 2A-Trias	par rapport au scénario 1 M€ / an
Coût généralisé des usagers du transport public	148.8
Coût généralisé des usagers de la route	995.8
Exploitation des véhicules automobiles HT	133.0
Achat de titres de transport public	2.7
Péage	
- partie fixe	-542.1
- partie proportionnelle	-2 749.1
Surplus des usagers	-2 011.1
CO2	97.8
Polluants	
- PM	39.0
- Nox	17.1
- CO	0.0
- COV	1.2
Bruit	
- voitures	7.6
- bus, camions	0.5
Accidents	184.4
Total des externalités	347.7
Recettes du péage	3 291.2
Coûts d'exploitation du péage	-80.0
Recettes du transport public	
- STIB	37.9
- SNCB, TEC, De Lijn	77.5
Exploitation des transports publics	
- STIB	-69.0
- SNCB, TEC, De Lijn	-160.8
Total à charge des Pouvoirs Publics	3 096.8
Total socio-économique par an	1 433.4
Investissements	1 613
Taux de rendement interne	38.6%
Valeur actualisée nette à 4.1%	10 264.3

Table 3.4 Analyse coût-bénéfice du scénario 2A-T du plan Iris2. Source : Plan Iris 2

### 3.8 Autorité Compétente

On peut se demander qui de l'Etat Fédéral ou de la Région est l'autorité compétente pour l'instauration d'un péage dans la capitale. Selon l'IBGE (2006), pour répondre à cette question, il faut connaître la nature de la taxe et donc l'objectif précis du péage.

Plus précisément, il faut savoir si la taxe de péage est une redevance, auquel cas *«le montant payé correspond raisonnablement<sup>70</sup> au prix de l'utilisation du réseau routier ouvert à la circulation»*, ou bien un impôt, dont *«le but est de financer d'autres politiques publiques que l'usage d'un réseau routier et dont le montant prélevé semble plus élevé que le service rendu à l'automobiliste»*.

<sup>70</sup> encore faut-il pouvoir évaluer le montant « raisonnablement objectif » d'une telle utilisation...

Dans le cas d'une redevance, où l'objectif serait d'inciter les automobilistes à passer aux transports en commun en leur faisant payer le coût réel de leurs déplacements, la Région Bruxelles-Capitale serait alors l'autorité compétente, même si elle devrait agir en concertation avec les autres Régions.

Dans le cas d'un impôt, où l'objectif est de financer une nouvelle politique de mobilité au-delà du territoire régional, en finançant le RER par exemple, l'Etat Fédéral serait l'autorité idoine.

De notre point de vue, la Région Bruxelles-Capitale apparaît comme l'autorité compétente dans la mesure où les recettes du péage devraient être prioritairement réinvesties dans les transports publics bruxellois. Il y aurait certes un transfert financier des navetteurs des deux autres Régions vers la RBC, mais cela ne serait que justice, vu les désagréments qu'ils génèrent (cf. 3.5.4).

### **3.9 Acceptabilité du péage par l'opinion publique**

En général, avant sa mise en place, la population est plutôt hostile au péage urbain.

Selon François Mirabel, il y a deux conditions qui sont particulièrement importantes pour contribuer à l'acceptabilité du projet.

La première est liée au fait que la population reconnaisse la nécessité d'une action afin de diminuer les nuisances engendrées par le trafic automobile, nuisances qui doivent par conséquent être exposées clairement à la population.

La seconde condition a trait à la redistribution des recettes, qui doit être transparente et se faire de façon à compenser les désagréments du péage, en particulier pour les exclus de la route.

Pour préciser un peu la première condition, Mirabel ajoute que le degré d'acceptation apparaît d'autant plus fort que le péage urbain est perçu comme le seul instrument vraiment efficace.

Le niveau d'acceptation est aussi clairement lié aux objectifs fixés du péage: il est faible (cf. TEO à Lyon) lorsqu'il s'agit de diminuer les temps de déplacements ou de financer des infrastructures routières, mais bien plus important lorsqu'il s'agit de protéger l'environnement, en faisant de l'automobiliste un pollueur-payeur.

En ce qui concerne l'utilisation des recettes, pour Mirabel, « *il est important de corriger les effets du péage via des compensations pour ceux qui sont exclus de la voirie* » de sorte que le péage ne soit pas perçu comme injuste.

Dans cette perspective, les enquêtes menées sur la question<sup>71</sup> semblent montrer que le degré d'acceptabilité vis-à-vis du péage augmente si les recettes sont redistribuées vers les transports collectifs, ce qui permet en quelque sorte d'opérer un transférer financier vers ceux qui, du fait de leur faible disposition à payer, ont dû quitter la route pour les transports publics.

La transparence au niveau des affectations est également primordiale. C'est pour cette raison que la population préfère largement que le péage soit géré par les pouvoirs publics plutôt que par un exploitant privé (cf. TEO à Lyon).

D'autres éléments, selon Mirabel, vont intervenir dans l'acceptabilité du projet de péage urbain.

Ainsi, il est important d'intégrer le péage urbain dans un ensemble de mesures politiques cohérent. En particulier, par rapport au développement des transports collectifs, « *[il] doit précéder l'instauration du péage afin de garantir le droit à la mobilité dans [et vers] la ville* » (Mirabel, 2004). Il faut respecter « *la séquentialité [] dans la mise en place des politiques publiques* », comme cela a été si bien réalisé à Stockholm.

Il est préférable de réaliser une mise en place du péage progressive plutôt que brutale. En ce sens, il vaut mieux ne pas suivre l'exemple du TEO<sup>72</sup> lyonnais, qui a dû, devant le mécontentement populaire, diminuer son tarif initial, très élevé, mais plutôt celui du *Congestion Charging* de Londres, qui a augmenté ses tarifs et étendu sa zone d'exploitation au fur et à mesure.

Enfin, un dernier point central pour l'acceptabilité, souligné par le projet PRoGRESS, est l'information, la communication. En la matière, Londres, et ses campagnes publicitaires avant et après la mise en place du péage, furent exemplaires (cf. figure 3.7).

---

<sup>71</sup> Schade, J., Schlag, B. 2003. *Acceptability of urban transport pricing strategies in Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 6 (1), 45-61

<sup>72</sup> Le TEO n'est pas un péage urbain, mais en tant que nouveau péage routier, il a aussi dû faire face à des problèmes d'acceptabilité. En ce sens, il constitue souvent un bon (contre-)exemple dans ce paragraphe.

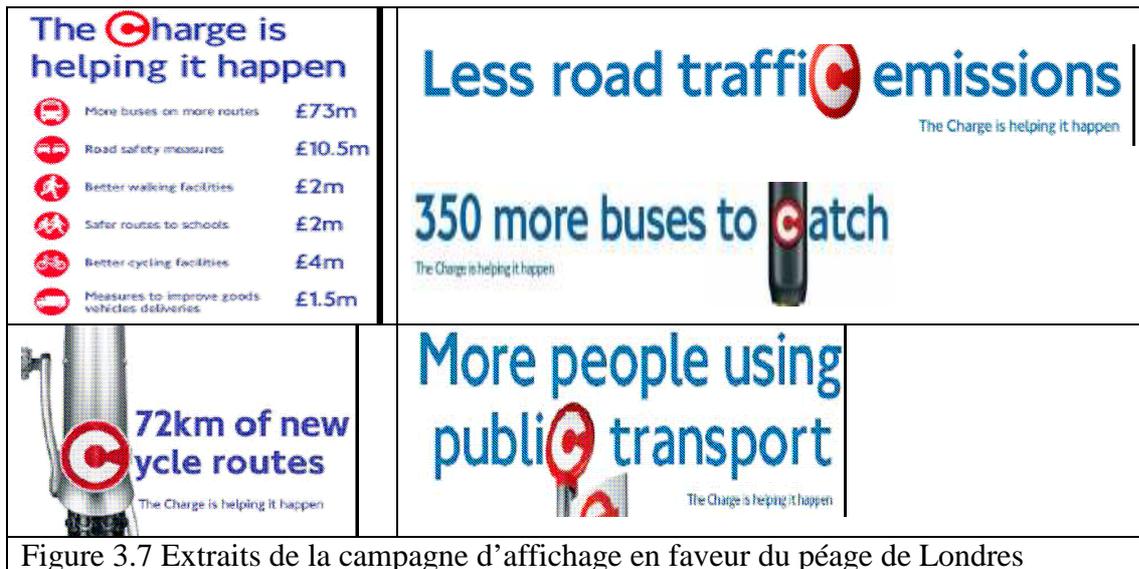


Figure 3.7 Extraits de la campagne d'affichage en faveur du péage de Londres

Respecter l'ensemble des éléments cités précédemment est important afin de faire accepter la mise en place d'un péage urbain, mais les faits montrent qu'il n'y a pas de meilleur avocat pour le péage urbain que le péage urbain lui-même, et l'expérience que l'on en fait : « l'essayer, c'est l'adopter ».

En effet, systématiquement, avant son introduction, la population était majoritairement hostile au péage dans les différentes cités où il a été installé. Cependant, il n'a guère fallu généralement plus de quelques mois d'expérimentation pour que les habitants ne changent d'opinion.

A Trondheim, par exemple, l'immense majorité des habitants (72%) était hostile avant la mise en place du péage alors que, deux ans plus tard, ils n'étaient plus que 35% à avoir une opinion défavorable.

A Londres, également, le nombre d'opinions favorables est passé de 39%, lors de son inauguration (février 2003), à 59% (juin 2006) en un peu plus de 3 ans.

Et il en va de même pour l'ensemble des villes qui sont passées à l'acte.

En conclusion, une opinion à priori défavorable ne saurait constituer un obstacle insurmontable à la mise en place d'un péage. Il s'agit de préparer au mieux le terrain, en respectant les quelques principes de base énoncés, c'est-à-dire en mettant en place une politique globale cohérente, en faisant en sorte de rendre le péage juste et transparent et puis en informant convenablement la population.

Vande Velde Michaël

*Le péage urbain, une solution pour lutter contre la congestion en Région de Bruxelles-Capitale ?*

---

Ce faisant, au vu des expériences dans les autres villes, on peut raisonnablement tabler sur le renversement d'une opinion défavorable au bout de quelques mois, quelques années tout au plus.

## **Chapitre IV : Modélisation et simulation**

### **4.2 Introduction**

Afin de mieux comprendre le phénomène de congestion et les impacts potentiels de certaines mesures, en particulier ceux consécutifs à l'instauration d'un péage urbain, nous avons décidé de réaliser un modèle de simulation.

Le modèle créé s'inscrit dans la lignée de la famille, en pleine expansion, des modèles structurels de congestion. La congestion précisément, dans cette *tradition littéraire*, est conçue comme le résultat de l'interaction stratégique entre les usagers de la route et apparaît comme le produit d'un défaut de coordination au niveau des décisions quotidiennes des usagers concernant leurs déplacements.

Notre modèle combine en son sein plusieurs outils conceptuels de la recherche opérationnelle, essentiellement l'analyse multicritères et la dynamique des systèmes.

Il est constitué de deux sous-modèles qui interagissent : un modèle de flux du trafic et un modèle de choix modal.

Le sous-modèle de trafic définit explicitement la technologie de congestion des infrastructures routières, c'est-à-dire comment évolue la vitesse moyenne et le temps moyen de déplacement en fonction du nombre d'usagers se présentant sur une route. Pour ce faire, il s'inspire du modèle de Small (1992) et décrit le phénomène à l'aide d'une courbe débit-vitesse<sup>73</sup>.

Il modélise également les décisions individuelles des usagers quant à leurs choix d'heure de départ dans le cadre des déplacements quotidiens (domicile-travail) de la périphérie vers la ville.

Ce choix, dynamique<sup>74</sup>, est réalisé sur base d'une analyse multicritère dans la lignée des travaux de Kunsch et al.(2001) notamment. Ce faisant, nous nous sommes un peu écartés de la tradition, peu convaincante en la matière nous semble-t-il, qui a pour habitude de comparer les options possibles en fonction d'un coût total agrégé.

---

<sup>73</sup> semblable à celle exposée au chapitre 2, mais légèrement améliorée via un modèle élémentaire de file d'attente fifo (cf. paragraphe 2)

<sup>74</sup> c'est-à-dire que les usagers vont adapter leur choix au fil des jours en fonction de leur expérience (cf. parag. 2)

Quatre critères ont été retenus concernant le choix de l'heure de départ : l'heure de lever, le temps de trajet présumé, le retard à destination présumé et le fait de devoir s'acquitter ou non d'un montant lié au péage urbain.

Une des difficultés majeures du traitement de la problématique du choix des heures de départ par une analyse multicritère est le nombre extrêmement important des « preneurs de décisions », *in extenso* les navetteurs (automobilistes).

Pas entièrement convaincu par les quelques articles qui s'y sont essayés<sup>75</sup>, nous proposons, au sein de ce travail, une toute nouvelle approche, jamais employée à notre connaissance, basée sur la caractérisation de la population à l'aide de « poids stochastiques ».

Cette approche, que nous aurons l'occasion de décrire en détails dans le paragraphe suivant, consiste à modéliser la population des preneurs de décisions en attribuant à chaque individu, pour chaque critère, un poids tiré au sort selon une distribution de probabilité donnée<sup>76</sup>. Une fois la population ainsi caractérisée, chaque individu qui la compose choisit l'heure de départ qui lui convient le mieux en fonction du poids personnel qu'il accorde aux différents critères et des informations à sa disposition. Ce choix, individuel, sera réalisé à l'aide d'une méthode inspirée de la méthode Prométhée<sup>77</sup> introduite par Brans et Mareschal (1994).

Cette approche des poids stochastiques nous permet d'éviter un des écueils traditionnels des modèles de flux de trafic, qui consiste à considérer des usagers parfaitement identiques. Ces modèles, pour la plupart, sont alors obligés de sortir un artifice de leur chapeau, pas toujours très probant d'ailleurs, pour que des individus, similaires en tout point et ayant des préférences identiques, choisissent finalement des heures de départ différentes.

Pour en terminer, provisoirement du moins, avec ce modèle de flux de trafic, soulignons encore que les choix des usagers vont être réexaminés et s'ajuster dynamiquement au fil des jours en fonction notamment des temps de trajet et des retards à destination réellement observés (plus de détails dans la section 4.2).

Beaucoup de modèles structurels de congestion fonctionnent avec un nombre de navetteurs (automobilistes) constant.

---

<sup>75</sup> Entre autres De Smet et al.(2003), Springael et al.(2002).

<sup>76</sup> censée représenter la distribution effective, et ses disparités, de l'importance d'un certain critère au sein de la population étudiée (les navetteurs).

<sup>77</sup> Un rappel sommaire de cette méthode de comparaison d'actions par paire sera fourni dans le paragraphe suivant

L'idée est alors de voir l'impact de différentes politiques sur la répartition horaire du trafic uniquement, sans prendre en considération les conséquences qu'elles peuvent avoir sur la répartition modale.

Cela nous est apparu comme un manque important, en particulier si on veut étudier l'impact d'une mesure comme le péage urbain.

En conséquence, nous avons décidé d'adjoindre au modèle de flux de trafic précité, un modèle de choix modal qui va permettre aux usagers de quitter un mode pour un autre lorsque celui-ci leur paraît plus attractif, les deux modes en option étant la voiture particulière et le transport en commun.

La consultation de la littérature relative à la modélisation du choix modal ne nous a guère convaincu. En effet, dans la littérature consultée, les calculs se font presque systématiquement sous l'hypothèse d'une population de navetteurs aux attributs sociaux et économiques identiques. La variation de la répartition modale y est trouvée soit via des élasticités à certaines variables (en utilisant les valeurs moyennes) soit, indirectement, par maximisation d'une fonction d'utilité agrégée.

Peu satisfaits des méthodes existantes, nous avons décidé d'en créer une nouvelle afin de modéliser le choix modal. Elle s'appuie sur un schéma similaire à celui mis en place pour le choix des heures de départ. L'évolution de la répartition modale se fait donc de façon dynamique, sur base d'analyses multicritères réalisées par des usagers accordant un poids attribué stochastiquement à chaque critère.

Six critères ont été retenus concernant le choix entre l'une ou l'autre option de transports : le mode actuellement utilisé, la possession d'une voiture ou non (ce qui n'est pas la même chose que le premier critère), la durée du voyage<sup>78</sup>, le coût du déplacement<sup>79</sup> (y compris le montant du péage s'il y a lieu), un critère environnemental et, enfin, l'incertitude quant à la durée du voyage.

Tout comme, précédemment, le choix de l'heure de départ, celui du mode de transport est dynamique : ainsi, un usager de la route qui serait initialement passé aux transports en commun suite à la mise en place d'un péage urbain pourrait changer d'avis et revenir à la voiture si ce mode lui paraissait à nouveau le plus compétitif, en raison, par exemple, de la diminution substantielle de la durée des voyages sur des routes désertées.

---

<sup>78</sup> ce critère étant dépendant de l'heure de départ souhaitée

<sup>79</sup> ce critère peut dépendre de l'heure de départ et il dépend aussi de la possession d'une voiture ou non (cf. infra)

Enfin, on a donc créé un modèle structurel de congestion doublement dynamique : au niveau du choix des heures de départ, d'une part, et au niveau de la répartition modale, d'autre part. Ces choix se font à l'aide « d'analyseurs » multicritères et de poids stochastiques.

Les hypothèses fondamentales et la description détaillée du modèle seront l'objet du deuxième paragraphe. Il sera validé et calibré dans le troisième avant que l'on passe à l'étude de quelques scénarios permettant de décrire et de mesurer l'impact d'un péage dans les quatrième et cinquième sections. Les résultats obtenus seront analysés et discutés dans les sections 6 et 7. Enfin, conclusions et perspectives d'évolution du modèle seront au rendez-vous du huitième paragraphe pour clore ce quatrième chapitre.

### **4.3 Description du modèle**

#### **4.3.1 Hypothèses fondamentales**

Différentes hypothèses restrictives sont employées au sein du modèle et n'ont sans doute pas été suffisamment explicitées au sein du premier paragraphe, dans la mesure où elles peuvent parfois nous paraître évidentes tant leur usage représente la norme dans le domaine des modèles structurels de congestion.

La première hypothèse concerne la configuration spatiale du modèle. Celle-ci est simplifiée à l'extrême : on considère que l'ensemble des usagers doit se rendre d'un même point A à un même point B (censé représenter le Centre des Affaires). Pour effectuer ce trajet, les automobilistes ne peuvent employer qu'une seule (auto)route reliant ces deux points. Cette hypothèse est certes une simplification importante, mais elle permet de déjà bien appréhender le phénomène de congestion et d'évaluer l'effet de différentes politiques sur le comportement en matière de mobilité des navetteurs pour peu que le point A représente (un point de) la périphérie.

A terme, cette hypothèse pourrait être supprimée sans trop de difficultés, conceptuelles du moins, en intégrant le modèle que nous avons créé dans un modèle plus vaste reprenant la configuration des différentes routes d'accès à la ville et les lieux d'habitation des voyageurs.

La seconde hypothèse concerne le nombre de navetteurs.

Il est considéré comme constant, même si la répartition de ces navetteurs entre les deux modes de transports, elle, peut varier au cours du temps.

Cela revient à considérer la répartition géographique de l'emploi et du logement comme fixes. Pour une évaluation à court terme, cette hypothèse n'induit probablement pas d'erreurs trop importantes. Par contre, à moyen et surtout à longs termes, elle doit être levée, puisque les politiques en matière de transports ont clairement un impact sur l'emploi ainsi que sur le logement, et réciproquement.

Corriger cette approximation ne pourra se faire qu'en faisant « travailler » notre modèle en collaboration avec d'autres modèles spécifiques à l'évolution de la répartition de l'habitat et de l'emploi.

La troisième hypothèse concerne la configuration temporelle du trafic : nous souhaitons étudier le phénomène de congestion. Par conséquent, nous allons nous concentrer sur l'étude des déplacements effectués lors des périodes de pointe. En l'occurrence, pour ce modèle, c'est celle du matin qui est envisagée. On ne prendra en considération que les déplacements réalisés (en fait, entamés) entre 5h et 11h du matin. De ce fait, le choix des usagers concernant leurs heures de départ est restreint à la plage horaire citée.

Une adaptation du modèle à la pointe du soir ne semble pas devoir poser de problème majeur.

Un tas d'autres hypothèses ont bien évidemment été posées tout au long de la conception du modèle : elles seront énoncées en temps utile lors de sa description dans la section suivante.

### **4.3.2 Modèle de flux du trafic**

#### **a) Principe**

Chaque matin, un navetteur<sup>80</sup> doit poser, individuellement, un choix concernant son heure de départ. Pour ce faire, nous pensons qu'il va se baser sur un nombre restreint de critères.

Nous avons retenu les critères suivants : l'heure de réveil, la durée du voyage ainsi que le retard à l'arrivée présumés et, le cas échéant, le montant dont il doit s'acquitter pour le péage.

Il effectue son choix en fonction de l'importance qu'il accorde à ces différents critères et de son expérience personnelle : c'est ce qui va ressortir du module de choix individuel d'analyse multicritère (MCIAM), que nous aurons l'occasion de détailler au point c).

Chaque navetteur part à l'heure qu'il a choisie individuellement.

---

<sup>80</sup> Au sein de ce paragraphe 4.2.2, nous appellerons simplement navetteur, le navetteur qui a pour mode de transport l'automobile. Nous nous permettons cet abus de langage, car le modèle de flux de trafic ne concerne que les automobilistes.

Par heure choisie, il faut entendre un des 50 intervals de départ, d'une durée de 6 minutes, compris entre 5h et 11h du matin. En effectuant la « somme » de chacun de ces choix individuels, on obtient la distribution horaire des départs de l'ensemble des navetteurs.

C'est cette distribution que l'axe (auto)routier va devoir « assumer ».

En fonction du débit de navetteurs se présentant sur l'infrastructure et des caractéristiques de celle-ci, ceux-ci vont plus ou moins se gêner, leur trajet sera plus ou moins long (cf. point b) et, in fine, ils arriveront ou non à l'heure désirée.

Le navetteur va pouvoir prendre en considération ces nouvelles informations (c'est-à-dire qu'en partant à telle heure, le voyage dure tant de temps et on arrive avec un tel retard) pour effectuer son choix d'heure de départ du lendemain.

Ce schéma, illustré à la figure 4.1, va se répéter jusqu'à ce que la différence entre la distribution du trafic soit indifférente d'un jour à l'autre. On peut alors considérer qu'on est arrivé à une situation d'équilibre.

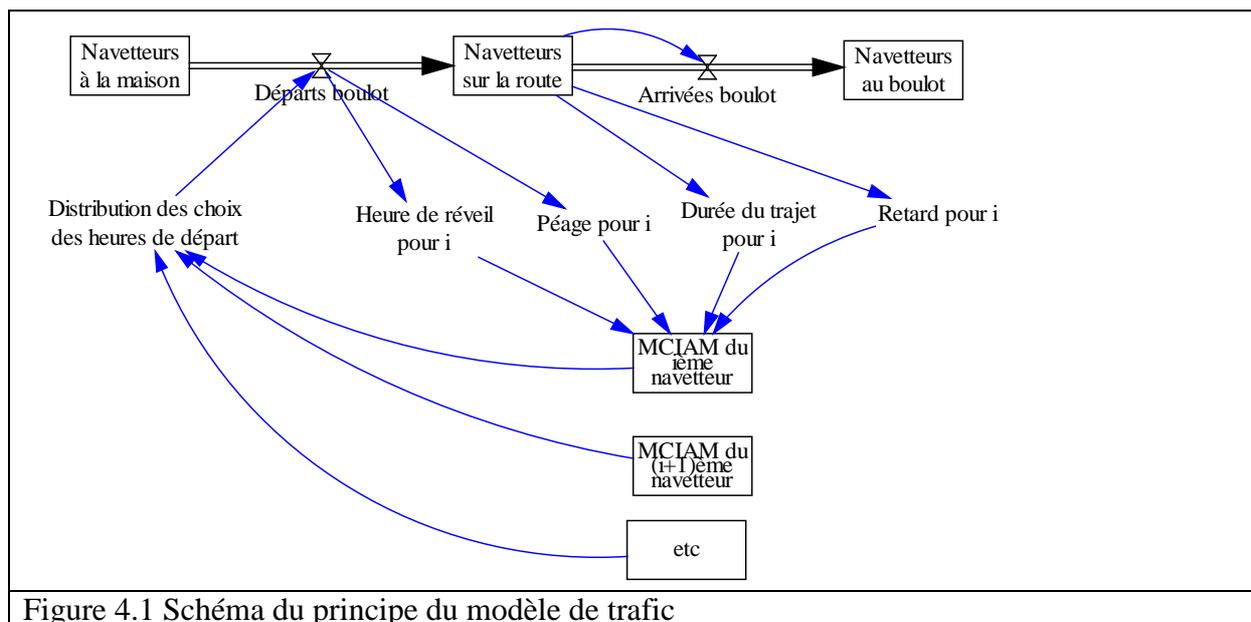


Figure 4.1 Schéma du principe du modèle de trafic

Ce schéma illustre bien que le processus d'ajustement des heures de départ des navetteurs est un processus dynamique.

### b) Technologie du phénomène de congestion

Que se cache-t-il derrière cette expression qui peut paraître de prime abord un peu effrayante?

Il s'agit simplement de la modélisation du processus physique de la congestion, décrit en détails au sein du paragraphe 2.1. Autrement dit, il s'agit de la « réponse » de l'infrastructure routière aux choix de l'ensemble des navetteurs concernant leurs heures de départ.

Lorsque le nombre d'usagers qui débarquent sur une infrastructure croît, ils vont commencer à se gêner, progressivement, et donc se déplacer un peu moins vite. Au fur et à mesure que ce nombre se rapproche de la capacité de l'infrastructure, mesurée en evp/heure<sup>81</sup>, la gêne devient de plus en plus importante. Cela entraîne une diminution de plus en plus conséquente de la vitesse des véhicules et donc une croissance des pertes de temps pour les usagers de la route.

Pour décrire ce phénomène, nous allons utiliser un modèle de congestion basé sur la relation vitesse-flux du trafic, telle qu'elle a été introduite par Small (1992).

Le temps passé sur la route par un navetteur, ayant choisi l'intervalle  $i$  comme heure de départ, est déterminé par la formule suivante :

$$t = t_{\min} + t_{\text{congestion}} * (V_{\text{trafi}}/C)^n \quad (\text{Eq. 4.1})$$

où  $t_{\min}$  est le temps du trajet parcouru à vitesse maximale,  $t_{\text{congestion}}$  le temps de congestion (supplémentaire) lorsque le volume du trafic est égal à la capacité nominale de la route,  $C$ , et  $n$  est le taux d'élasticité du temps de trajet par rapport au volume du trafic.

Quant à  $V_{\text{trafi}}$ , il s'agit du nombre des navetteurs qui ont également choisi l'intervalle  $i$  comme heure de départ et qui vont donc débarquer sur l'infrastructure routière au même moment que le navetteur en question.

A ce modèle introduit par Small, nous avons décidé d'ajouter un « mini-modèle » de file d'attente afin d'éviter certaines incohérences. En effet, si l'on s'en tient strictement au modèle de Small, il peut arriver que les navetteurs partant dans l'intervalle  $(i+1)$  arrivent avant ceux partis durant l'intervalle  $(i)$  pour peu qu'ils soient beaucoup moins nombreux (cf formule 4.1). Afin de corriger ce problème, nous avons fait en sorte que les partants d'un intervalle arrivent au mieux en même temps que les partants de l'intervalle précédent.

Il y a plusieurs hypothèses implicites dans ce modèle de congestion. La première est que tous les navetteurs partant à une même heure arrivent en même temps : il n'y a donc pas de disparité au niveau de la façon de conduire. Deuxièmement, à chaque voiture correspond un navetteur : c'est donc le règne de l'autosolisme.

---

<sup>81</sup> Equivalent voiture particulière par heure

Des développements futurs pourraient permettre de soulager cette deuxième hypothèse, sans trop de difficultés, en considérant le covoiturage comme un troisième mode de transports venant s'ajouter à l'automobile individuelle et aux transports publics.

Finalement, en fonction de la distribution horaire des départs, on sait maintenant évaluer combien de temps durera chaque trajet et, à fortiori, à quel retard il mènera. C'est sur cette base, en partie, que le navetteur choisira son heure de départ du lendemain, même si rien ne dit que demain ressemblera à aujourd'hui, puisque tous les autres navetteurs sont également susceptibles de modifier leur choix...

### **c) Choix des heures de départ : Analyse multicritère**

Nous allons maintenant exposer comment nous avons modélisé le choix effectué par l'ensemble des usagers de la route concernant leurs heures de départs.

Comme on l'a mentionné précédemment, on suppose que chaque navetteur a le choix entre 50 intervals de départ distincts, appelons les actions<sup>82</sup>, et qu'il va effectuer ce choix en fonction des différents critères déjà évoqués, à savoir le temps passé sur la route, le retard à destination, l'heure de réveil et le fait de devoir payer un certain montant en cas de péage.

La plupart des études rencontrées dans la littérature ont tendance, par facilité ou par tradition, à évaluer les actions sur base d'un coût agrégé, obtenu en attribuant une valeur monétaire à l'action pour chaque critère et en sommant le tout. Le décideur choisit alors l'action la moins « coûteuse ». Cette méthode ne nous satisfait pas pour deux raisons : d'une part, il ne nous semble pas forcément évident de donner une valeur monétaire à tout critère et, d'autre part, l'agrégation en un coût total a tendance à effacer les avantages et/ou désavantages que peut avoir une action vis-à-vis d'un critère spécifique.

Nous avons décidé de modéliser le choix du navetteur par une « véritable » analyse multicritère, l'heure de départ finalement choisie étant obtenue par une technique s'inspirant très largement de Prométhée II, introduite par Brans et al. (1994).

Avant de détailler les différents critères retenus, nous proposons une présentation rapide de cette technique de classement d'actions.

Le lecteur présentant une aversion prononcée pour les symboles arithmétiques est cordialement invité à « s'accrocher » durant les quelques lignes qui suivent...

---

<sup>82</sup> pour nous conformer à la nomenclature usuelle de la discipline

**c.1) Méthode de classement d'actions inspirée de ProméthéeII (analyse multicritères)**

Supposons qu'un individu doive faire un choix entre  $n$  actions  $a_i$  (les intervalles de départ dans notre cas) sur base de  $m$  critères  $C_K$  (pour nous, les 4 critères évoqués précédemment).

A chaque critère  $C_K$  est associée d'une part, un poids,  $w_K$ , et, d'autre part, une fonction de préférence,  $P_K(a_i)$  afin de pouvoir évaluer une action  $a_i$  par rapport à ce critère.

La fonction de préférence est comprise entre 0 et 1 et on peut, *grosso modo*, considérer que  $P_K(a_i)$  est la note qu'attribue l'utilisateur à l'action  $i$  pour ce critère  $K$ .

Le classement des actions se fera en comparant les actions par paire.

L'indice de préférence de l'action  $a_i$  sur l'action  $a_j$ ,  $\Pi(a_i, a_j)$  est donné par la formule suivante :

$$\Pi(a_i, a_j) = \sum_{K=1}^m w_K \cdot \max(0, (P_K(a_i) - P_K(a_j))) \quad (\text{Eq. 4.2})$$

Cet indice de préférence est, en quelque sorte, la somme pondérée des avantages<sup>83</sup> d'une action sur une autre.

On peut à présent définir les flux de dominance positif et négatif, qui expriment respectivement le caractère dominant et dominé d'une action  $i$  par rapport à l'ensemble des  $(n-1)$  autres actions. Ils sont donnés par les formules suivantes :

$$\Phi^+(a_i) = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{j=1}^n \Pi(a_i, a_j) \quad (\text{Eq. 4.3})$$

$$\Phi^-(a_i) = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{j=1}^n \Pi(a_j, a_i) \quad (\text{Eq. 4.4})$$

Et finalement, on peut ordonner l'ensemble des actions en fonction de leur flux net, défini comme la différence des deux flux précités (cf Eq 4.5)

$$\Phi(a_i) = \Phi^+(a_i) - \Phi^-(a_i) \quad (\text{Eq. 4.5})$$

On obtient ainsi un classement des différentes actions. L'action la plus appropriée pour le décideur est, en principe, celle qui a le flux net le plus important et on considère que c'est celle-là qu'il va choisir.

Le choix va donc dépendre fortement des fonctions de préférence associées à chaque critère ainsi que du poids accordé aux différents critères par le décideur.

<sup>83</sup> C'est le sens du max dans la formule: si l'action  $a_j$  a une meilleure note pour le critère  $K$ , le terme  $\max(0, \dots)$  est nul.

### **c.2) Les critères retenus et leurs fonctions de préférence**

Pour choisir une nouvelle heure de départ (interval de départ en fait), l'utilisateur va se baser sur un certain nombre de critères pour comparer les différentes options qui s'offrent à lui.

Les critères que nous avons retenus sont les suivants :

- le temps passé sur la route
- le retard à destination par rapport à l'heure d'arrivée souhaitée
- l'heure de réveil
- le montant du péage

S'il peut facilement évaluer une heure de départ par rapport à l'heure de réveil ou au montant du péage dont il devra s'acquitter, la chose se complique lorsqu'il doit le faire par rapport au temps passé sur la route et au retard à destination, deux éléments qu'il ne peut qu'estimer.

Pour pallier à ce manque d'information directe et pouvoir effectuer sa comparaison entre les différentes heures de départ, il va devoir se baser sur son expérience.

En particulier, on suppose qu'il va estimer que, pour une certaine heure de départ, la durée du trajet et le retard à destination seront égaux aux valeurs respectives de la veille.

Bien sûr, en principe, un usager n'a pas accès à toutes ces informations : il est peu probable qu'un navetteur partant aux alentours de 8h ait une quelconque idée de la durée de trajet des navetteurs partant à 11h par exemple. Cette ignorance conduit souvent, dans la réalité, les navetteurs à ne pas trop s'écarter de leur choix de départ. Pour tenir compte de ce phénomène, nous avons mis en place un facteur d'obstination dans le choix de l'heure de départ (cf. c.4).

Finalement, dans le modèle, l'utilisateur va effectuer son choix, dans un premier temps, en étant considéré comme « omniscient »<sup>84</sup>. Par la suite, ce choix sera « amendé » via le facteur d'obstination.

Considérons maintenant le choix de cet usager omniscient.

Il va effectuer son choix en fonction de sa propre perception des différents critères, c'est-à-dire, au sein du modèle, via ses propres fonctions de préférence et les poids qu'il accorde à chaque critère.

Dans cette version du modèle, on considère que l'ensemble des usagers ne se différencient guère vis-à-vis des fonctions de préférence, mais par rapport au poids qu'ils accordent aux différents critères (cf. c.3).

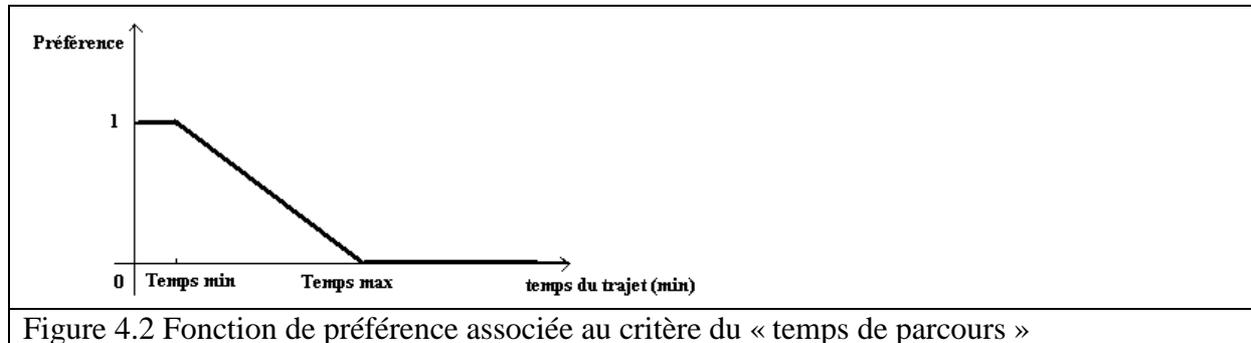
---

<sup>84</sup> NB: omniscient sur les informations de la veille, par sur ce qu'il va advenir !

Par conséquent, les fonctions de préférence sont identiques pour l'ensemble des navetteurs.

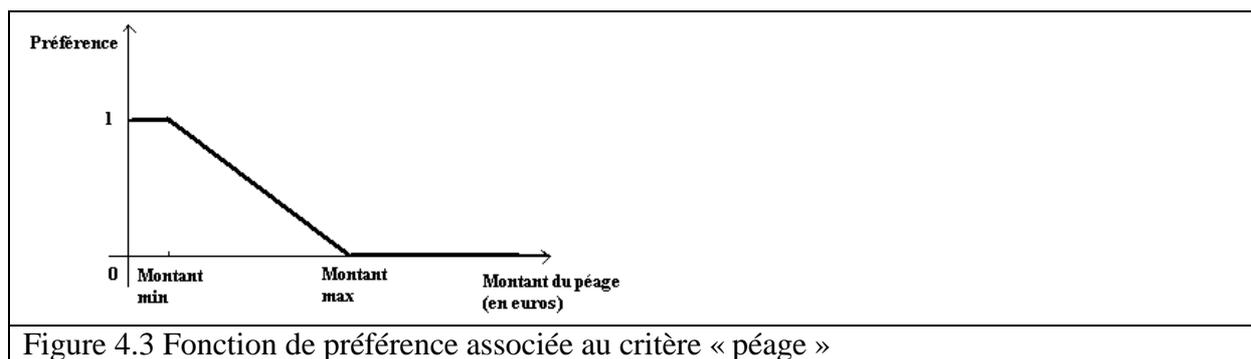
Les fonctions de préférence utilisées sont illustrées sur les figures 4.2 à 4.5.

La fonction de préférence associée au critère temps passé sur la route a l'allure suivante :



Les paramètres « Temps min. » et « Temps max » sont des critères d'indifférence : toutes les heures de départ donnant lieu à des temps de trajet inférieurs à « Temps min. » obtiennent la note maximale et sont donc considérées comme équivalentes de ce point de vue. De façon similaire, toutes les heures de départ donnant lieu à des temps de trajet supérieurs à « Temps max. » obtiennent la note minimale et sont considérées comme équivalentes.

La fonction de préférence liée au montant du péage est donnée à la figure 4.3. Elle est adaptée au cas des péages dont le montant est modulé en fonction de l'heure.



La fonction de préférence du critère « heure de réveil » est présentée à la figure 4.4

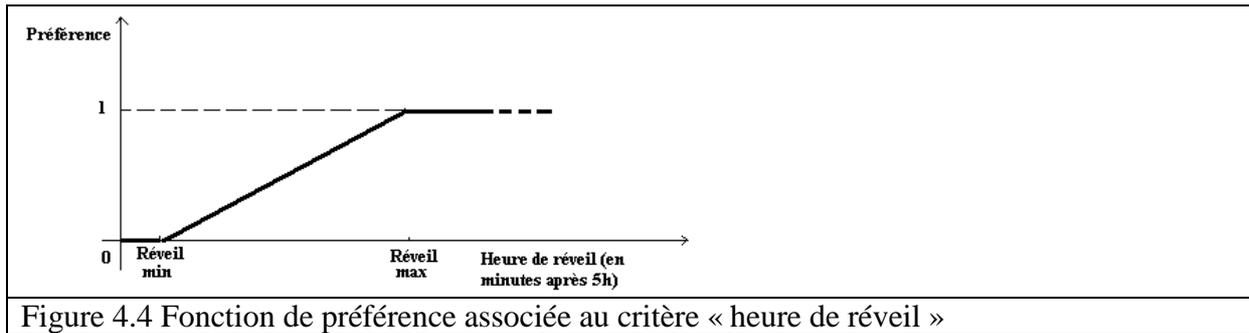


Figure 4.4 Fonction de préférence associée au critère « heure de réveil »

En ce qui concerne le critère « retard à destination », on considère au sein de ce modèle que l'heure d'arrivée prévue est identique pour l'ensemble des usagers. Les différentes heures de départ seront donc jugées par rapport au retard qu'elles induisent par rapport à une heure d'arrivée prévue unique, qui constitue un des paramètres du modèle.

La fonction de préférence pour le critère « retard à destination » est présentée à la figure 4.5

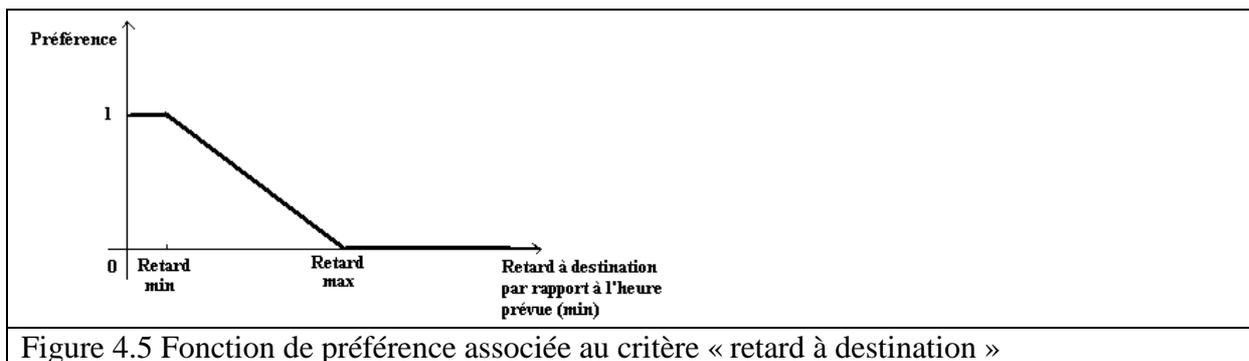


Figure 4.5 Fonction de préférence associée au critère « retard à destination »

Il faut remarquer que les critères « heure de réveil » et « retard à destination » sont fortement dépendants : très clairement, au plus on se lève tard, au plus le retard lorsque l'on arrive au boulot risque d'être important. Employer des critères distincts alors qu'ils sont dépendants est généralement à proscrire en analyse multicritère, c'est pourquoi, nous avons combiné ces deux critères en un seul que nous nommons « critère agrégé ».

La valeur de la fonction de préférence associée à ce critère agrégé pour une heure de départ donnée est simplement obtenue en multipliant les valeurs des deux fonctions de préférence pour ladite heure :

$$P_{\text{crit.agreg}}(a_i) = P_{\text{réveil}}(a_i) * P_{\text{retard}}(a_i) . \quad (\text{Eq. 4.6})$$

### **c.3) Les poids des critères**

L'ensemble des usagers ayant des fonctions de préférence identiques, comment se fait-il que ceux-ci fassent finalement des choix différents au niveau des heures de départ ?

Notre hypothèse est que ces différences proviennent du fait qu'ils n'accordent tout simplement pas la même importance, le même poids, aux différents critères.

Différentes études prouvent que la valeur accordée au temps passé sur la route dépend de plusieurs éléments comme la profession, la condition sociale ou encore le motif de déplacement. Le fait d'arriver en retard au boulot a également une importance relative selon le type de profession, la flexibilité horaire permise, etc. Et il en va de même pour les deux autres critères : se lever tôt est perçu plus ou moins négativement selon la personnalité et l'éducation de chacun, et concernant le péage, « un euro n'a pas la même valeur pour tout le monde »...

Si le nombre de navetteurs était limité, on pourrait aller les interroger sur le poids qu'ils estiment accorder aux différents critères, mais leur nombre est bien trop important que pour pouvoir les questionner individuellement.

C'est pourquoi nous avons mis en place une méthode de répartition stochastique des poids.

Les poids pour chaque critère seront attribués aux usagers (virtuels) de façon aléatoire selon une distribution de probabilité donnée.

Cette distribution est censée représenter, notamment, les disparités sociales, économiques, culturelles, professionnelles qui existent au sein de la population des navetteurs et qui ont pour effet que ceux-ci n'accordent pas la même importance aux mêmes choses.

En première approximation, nous allons considérer les poids comme des variables aléatoires (continues) ayant pour densité de probabilité des distributions rectangulaires.

Ces distributions (cf.figure 4.6), propres à chaque critère, sont caractérisées par une valeur centrale, c'est-à-dire la valeur moyenne donnée au poids, et la largeur du rectangle, qui caractérise l'amplitude des disparités au sein de la population.

Au plus un critère a de l'importance, en général, pour la population, au plus la valeur centrale est grande<sup>85</sup> et, au plus les disparités au sein de la population sont importantes, au plus la largeur du rectangle est grande.

---

<sup>85</sup> Ceci est une présentation un peu simplifiée. En fait, la taille du poids va aussi dépendre de la fonction de préférence (en particulier de sa pente dans notre cas).

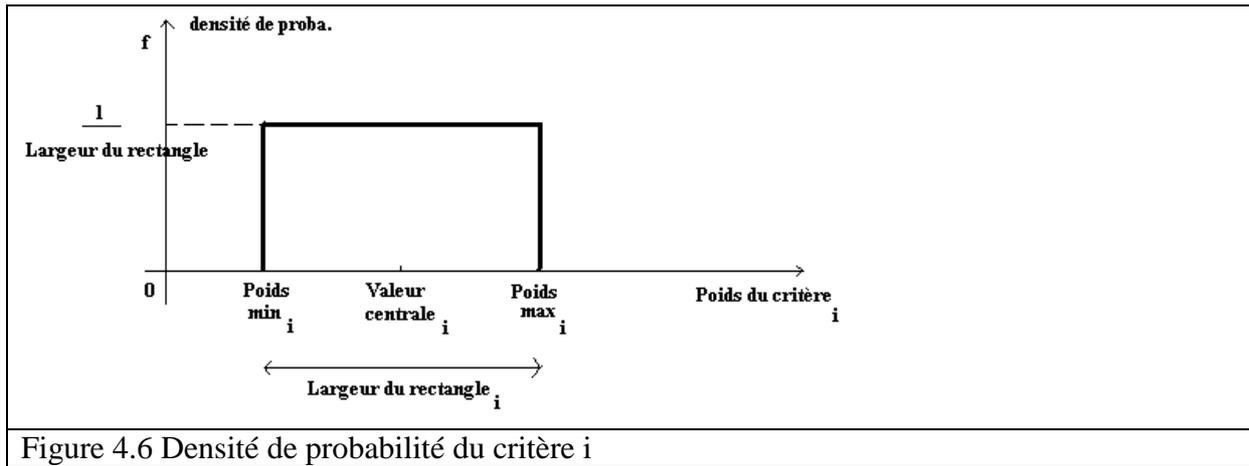


Figure 4.6 Densité de probabilité du critère i

En observant la fonction de répartition<sup>86</sup> qui lui est associée (figure 4.7), il est clair que la valeur du poids attribuée<sup>87</sup> à un usager virtuel pour un critère i appartiendra à l'intervalle  $[\text{Val.cent.}_i - 1/2 \cdot \text{Larg. rect.}_i, \text{Val.cent.}_i + 1/2 \cdot \text{Larg. rect.}_i]$ .

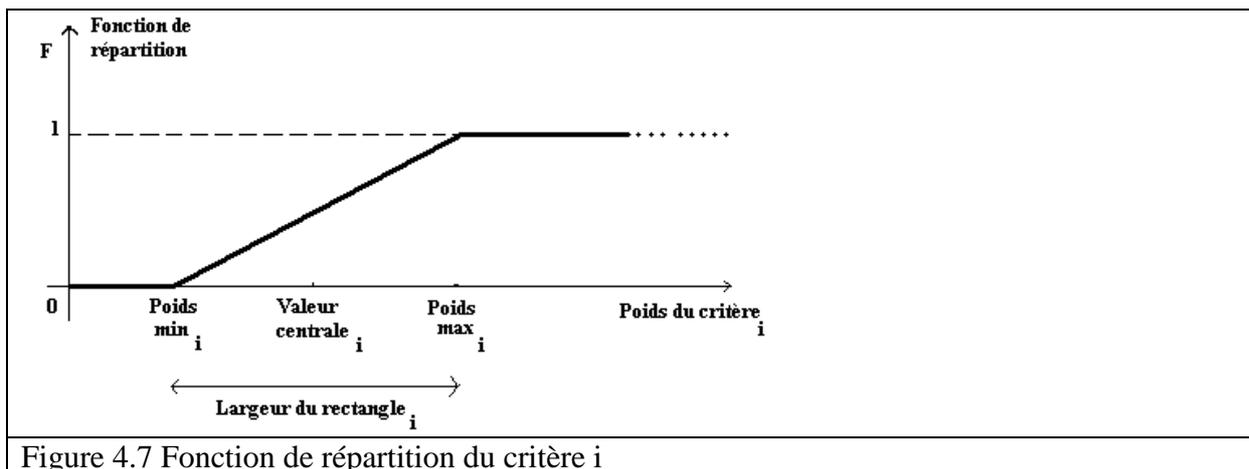


Figure 4.7 Fonction de répartition du critère i

Les valeurs données aux paramètres de ces distributions pour les trois critères (durée du trajet, critère agrégé et péage) seront précisées dans le paragraphe 4.3.

A l'avenir, si on veut perfectionner encore le modèle, il pourrait être utile de procéder à un échantillonnage afin d'affiner les distributions de probabilité.

<sup>86</sup> C'est la fonction qui associe à tout x (valeur de poids), la probabilité que le poids d'un usager lui soit inférieure ou égale.

<sup>87</sup> En pratique, cela est réalisé en générant un nombre aléatoire compris entre 0 et 1 et en trouvant la valeur du poids qui lui est associée via la fonction de répartition (ou plutôt sa réciproque).

#### **c.4) Le poids des habitudes (obstination)**

Les navetteurs virtuels, pour peu qu'ils soient informés des « attributs » (durée du voyage, retard au boulot, péage éventuel, heure de réveil) des différents choix possibles, sont en principe capables de prendre la décision qui leur est la plus favorable concernant leurs heures de départ pour le lendemain.

Cependant, dans la vie réelle, les navetteurs n'ont pas un accès complet aux informations, contrairement à ce que nous avons supposé pour leurs homologues virtuels. En particulier, la durée du voyage et le retard qu'elle peut engendrer pour des heures de départ très différentes de la sienne lui sont généralement inconnues.

De plus, il ne faut pas sous-estimer non plus l'inertie des comportements en la matière.

C'est pourquoi nous avons ajouté un facteur d'obstination au niveau du choix des heures de départ.

Au final, les heures de départ que choisissent l'ensemble des navetteurs pour le lendemain apparaissent comme un compromis, un mix, entre les heures d'aujourd'hui et les heures qui seraient optimales pour chacun. On considère que le mix est très majoritairement composé des heures habituelles (de l'ordre de 90 à 95%).

#### **4.3.3 Modèle de choix modal**

##### **a) Principe**

Le modèle de choix modal est globalement calqué sur celui du choix des heures de départs : c'est un modèle dynamique où les usagers vont choisir le mode qui leur paraît le plus attractif sur base d'une analyse multicritère.

Deux modes de transports sont en option : la voiture particulière et les transports en commun.

Comment cela fonctionne-t-il ?

On considère que les navetteurs sont répartis en deux catégories d'usagers : les automobilistes et les usagers des transports en commun. Cette deuxième catégorie est elle-même subdivisée en deux sous-catégories : ceux qui possèdent une voiture et ceux qui n'en possèdent pas.

Le fait d'appartenir à l'une ou l'autre de ces catégories et sous-catégories aura une influence sur l'attractivité de l'autre mode (cf. description des critères au point b), mais n'est en aucun cas rédhibitoire : un automobiliste peut passer aux transports en commun<sup>88</sup> et un usager des transports publics peut (re)devenir automobiliste, même s'il ne possède pas à la base de voiture<sup>89</sup>.

Régulièrement<sup>90</sup>, les usagers vont réévaluer leur mode de transport sur base d'un certain nombre de critères et en fonction de leurs habitudes de déplacements<sup>91</sup>.

On a retenu six critères concernant le choix entre l'une ou l'autre option : le mode actuellement utilisé, la possession d'une voiture, la durée du voyage, le coût du déplacement (y compris le montant du péage s'il y a lieu), un critère environnemental et l'incertitude quant à la durée du voyage.

Le choix de conserver son mode actuel ou bien d'en changer est individuel, il va dépendre de deux<sup>92</sup> types d'éléments liés au navetteur.

D'une part, ce choix va dépendre de l'importance personnelle que celui-ci il accorde aux différents critères (traduite par leurs poids respectifs).

D'autre part, il va dépendre des caractéristiques des deux modes du point de vue du navetteur en question.

Il nous faut préciser ce dernier point : les caractéristiques des deux modes ne sont pas fixes et déterminées une fois pour toutes : elles varient, notamment selon l'heure à laquelle le navetteur veut se déplacer. Par exemple, la durée du trajet en voiture ou le coût du déplacement (en cas de péage modulé) peuvent varier selon l'heure de départ de l'usager.

Les caractéristiques des deux modes vont également dépendre de la catégorie à laquelle appartient le navetteur : par exemple, le coût d'un trajet en automobile n'est pas évalué de la même façon selon que celui-ci possède ou non une voiture (cf. infra).

Pour effectuer la comparaison via l'analyse multicritère, il faut donc préalablement déterminer l'heure d'usage envisagée.

---

<sup>88</sup> Il appartiendra alors forcément à la sous-catégorie des possesseurs de voiture.

<sup>89</sup> mais cela sera plus difficile dans ce cas : cf. b).

<sup>90</sup> Dans le modèle global, il y a deux rythmes de changement : l'un, concernant les heures de départ, quotidien, l'autre, concernant le mode de transport, d'une période d'une dizaine de jours.

<sup>91</sup> cf. infra.

<sup>92</sup> On considère que les navetteurs ont les mêmes fonctions de préférence

Cela se fait de la façon suivante au sein du modèle : on considère que l'heure d'usage envisagée (c'est-à-dire l'heure de départ) pour les deux modes, est celle que choisirait le navetteur si il était un automobiliste. Elle est calculée en utilisant le modèle du choix d'heure de départ décrit précédemment (sans tenir compte du facteur d'obstination).

Lorsqu'un navetteur doit effectuer un choix concernant son futur mode de transport, il le fera donc, grâce à une analyse multicritères, en comparant les deux modes sur base de leurs caractéristiques à l'heure d'usage qu'il estime(ra)it optimale (s'il était un automobiliste).

L'analyse multicritères proprement dite est décrite au point b.

Rappelons encore que ce choix est dynamique. Dans le modèle global, liant le modèle de flux de trafic et celui du choix de mode, il sera réévalué plusieurs fois au cours de la simulation, en principe jusqu'à ce que l'équilibre du trafic soit atteint.

### **b) L'analyse multicritère des modes de transport**

La particularité de cette analyse multicritère est qu'elle ne fait pas seulement intervenir les caractéristiques des deux actions comparées, mais aussi celles du décideur (par exemple, son mode de transport actuel).

En outre, les caractéristiques des actions ne sont pas fixées, mais sont dépendantes de l'heure de départ choisie par le décideur.

#### **b.1) Méthode de classement des modes**

La méthode de classement est similaire à celle qui a été exposée au point c.1 de la section 4.2.2. Comme il n'y a dans ce cas-ci que deux actions à comparer (la voiture vs le transport public), on ne prendra pas le flux net, mais le flux de dominance positif pour les hiérarchiser.

Celle qui a le flux le plus grand sera choisie comme futur mode de transport du navetteur.

Notons que nous n'adjoindrons pas ici un facteur d'obstination, car le caractère *inertiel* du choix est déjà pris en compte via le critère « mode en cours ».

#### **b.2) Les critères et leurs fonctions de préférence**

Sur base, notamment, des études réalisées dans le cadre du Plan Régional des déplacements, nous avons retenu six critères concernant le choix du mode de transport :

- le mode actuellement utilisé
- le fait de posséder une voiture
- la durée du voyage
- le coût du déplacement

- le critère environnemental
- l'incertitude quant à la durée du voyage

On va supposer, comme dans le premier modèle, que les navetteurs ne se distinguent guère par leurs fonctions de préférence. Celles-ci sont donc identiques pour tous les navetteurs.

Étudions un à un tous ces critères.

#### Le mode actuellement utilisé

Les enquêtes sur la mobilité des ménages et l'économie expérimentale, appliquée aux transports<sup>93</sup>, confirment que l'inertie des comportements en la matière est très importante et est souvent sous-estimée par les modèles de simulation.

Le poids de ce critère sera donc assez conséquent.

Au niveau de sa fonction de préférence, elle est *on ne peut plus simple* : elle vaut 1 pour le mode actuellement utilisé par le navetteur et 0 pour l'autre mode.

#### La possession d'une voiture

Ce critère n'est pas tout à fait identique au précédent : un navetteur peut très bien effectuer ses trajets quotidiens en transports en commun, malgré la possession d'une voiture.

Nous avons ajouté ce critère, car il nous semble qu'un usager des transports en commun se laissera plus difficilement convaincre de passer à l'automobile, s'il n'en possède pas que s'il en possède une « qu'il laisse au garage ». La non-possession d'une voiture constitue en quelque sorte un facteur d'inertie supplémentaire pour les usagers des transports publics.

Au niveau de la fonction de préférence, elle est là aussi élémentaire : elle vaut 1 si le navetteur ne possède pas de voiture pour le mode transports publics et 0 sinon.

#### La durée du voyage

C'est un des facteurs majeurs dans le choix du mode de déplacement, en particulier pour les déplacements quotidiens domicile-travail.

---

<sup>93</sup> cf. l'excellent article *Les modèles structurels de congestion : une étude expérimentale*, Laurent Denant-Boémont et al. dans le cadre du programme PREDIT

En principe, avant d'effectuer la comparaison entre les deux modes de transports proposés, le navetteur a dû choisir son heure de départ idéale (qui n'est pas forcément celle qui correspond à la durée de trajet la plus courte) via le module du choix d'heure de départ présenté dans la section 4.2.2.

La durée du trajet considérée pour l'automobile sera celle de la veille correspondant à cette heure de départ.

La durée du trajet en transports en commun est considérée comme une constante, indépendante du choix de l'heure de départ.

Les deux modes sont évalués à l'aide de la fonction de préférence du critère « temps de parcours », déjà présentée dans la partie c.2 de la section 4.2.2 et illustrée à la figure 4.2.

### Le coût du déplacement

La différence entre les coûts de déplacement des deux modes est un facteur évident intervenant dans la prise de décision du navetteur.

C'est d'ailleurs précisément ce qui nous motive à étudier l'impact potentiel d'un péage urbain sur la répartition modale.

L'évaluation du coût du déplacement en voiture par le navetteur va dépendre de l'heure de départ (en cas de péage modulé dans le temps) et du fait qu'il possède ou non une voiture :

- Pour un possesseur de véhicule, le coût du déplacement en voiture est constitué de trois termes : un coût fixe (assurances, etc.), un coût lié à la consommation de carburant, qui sera également considéré comme fixe<sup>94</sup> au sein du modèle, et le montant du péage, éventuellement variable selon l'heure.
- Pour celui qui ne possède pas de véhicule automobile, le coût du déplacement en voiture est plus élevé, car à ces trois termes vient s'ajouter un quatrième qui correspond au montant lié à l'amortissement de l'achat d'un véhicule neuf.

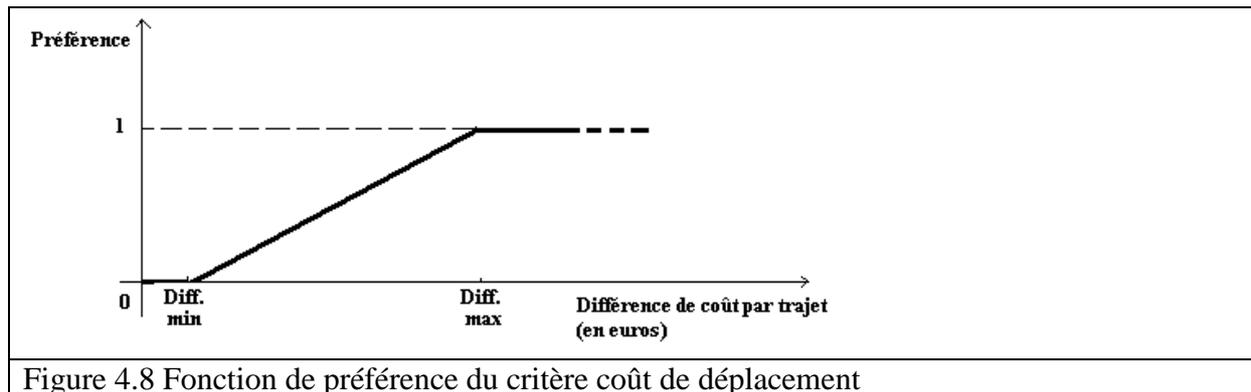
Le coût du déplacement en transports en commun est considéré comme fixe et identique pour l'ensemble des navetteurs.

Les deux modes sont évalués vis-à-vis du coût grâce à une fonction de préférence appliquée, cette fois, à la différence entre les coûts de trajet.

Par conséquent, la valeur de cette fonction est nulle pour le mode le plus coûteux et, pour le mode le moins coûteux, elle est donnée par la fonction représentée à la figure 4.8:

---

<sup>94</sup> On ne prend donc pas en compte la variation de la consommation de carburant associée à la congestion.



Les paramètres *diff.min* et *diff.max* sont des seuils d'indifférence semblables à ceux expliqués précédemment dans le cadre des autres fonctions de préférence. Ce sont des paramètres du modèle à calibrer.

### Le critère environnemental

Dans le choix du mode de déplacement, on peut supposer que toutes autres choses étant égales par ailleurs, un individu va donner sa préférence au mode le moins polluant.

Il nous paraît clair que chacun, même s'il n'y accorde pas forcément beaucoup d'intérêt, sait aujourd'hui que la voiture est plus polluante que les autres modes de transports.

Par conséquent, la fonction de préférence est une fonction binaire qui vaut 0 pour la voiture et 1 pour les transports en commun.

Il est vraisemblable que le poids accordé à ce critère soit en général assez faible dans la société actuelle.

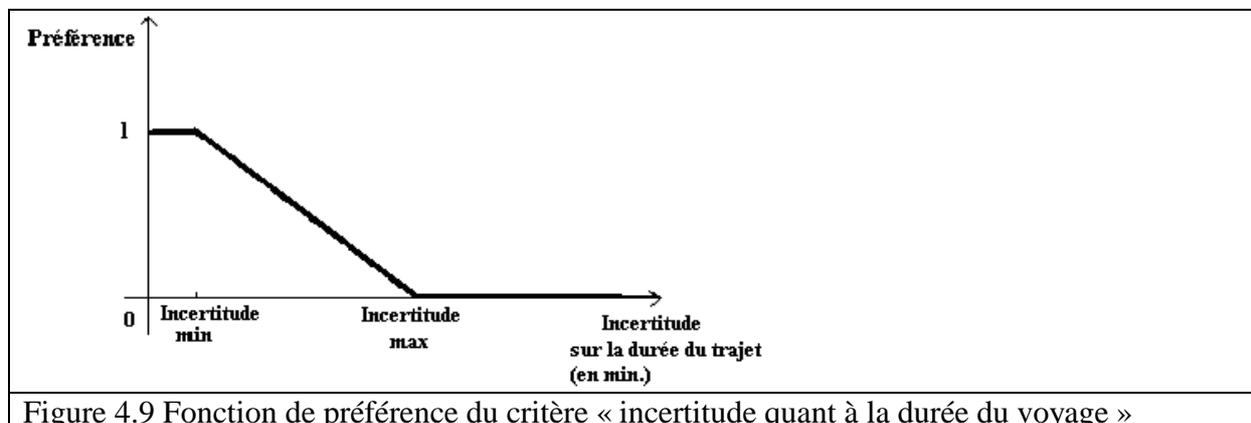
### L'incertitude quant à la durée du voyage

Bien souvent dans les modèles, on ne tient compte que de la durée du voyage comme critère de choix modal alors que de nombreuses études montrent que l'incertitude sur le temps de trajet est un facteur également très important. Beau nombre de voyageurs seraient ainsi prêts à voyager plus longtemps afin de réduire ce facteur d'incertitude, en particulier lorsque le motif du déplacement est de se rendre au travail.

Au sein du modèle, l'incertitude concernant la durée du trajet en voiture est considérée comme étant une fonction de l'heure de départ. En effet, les trajets en pleine heure de pointe ne sont pas seulement plus longs, leur durée est également beaucoup plus aléatoire.

Pour modéliser cela, nous avons émis l'hypothèse, certes un peu artificielle, que l'incertitude prise en compte par le navetteur est égale au maximum de l'écart entre la durée du voyage de son interval de départ et celle des deux interval qui le précèdent et lui succèdent directement. L'incertitude concernant la durée du trajet en transports en commun est considérée comme la somme de deux termes : le premier, fixe, représente le retard potentiel du train (ou du bus), le second est lié à l'incertitude par rapport à l'attente à l'arrêt. On suppose que ce second terme est lié à la fréquence de passage du transport public<sup>95</sup>.

Les deux modes sont évalués vis-à-vis de l'incertitude grâce à une fonction de préférence à l'allure suivante (figure 4.9) :



### b.3) Les poids des critères

Tout comme dans le modèle des heures de départ, les poids sont attribués aléatoirement aux navetteurs virtuels sur base de distributions de probabilité censées représenter les disparités au sein de la population.

On considère ici aussi les poids comme des variables aléatoires (continues) ayant pour densité de probabilité des distributions rectangulaires, caractérisées par la valeur centrale, et la largeur du rectangle.

<sup>95</sup> En effet, au plus la fréquence de passage est élevée, au moins l'incertitude concernant le temps d'attente est grand. En théorie, si l'on se présente au hasard à l'arrêt, le temps moyen d'attente à l'arrêt sera égal à  $1/(2 \cdot \text{fréq. de passage})$ .

#### **4.3.4      Modèle global**

Les deux modèles, décrits dans les sections précédentes, à savoir le modèle de flux du trafic et le modèle de choix modal, ont été réunis en un modèle global au sein duquel ils interagissent.

Ainsi l'occupation quotidienne de la route obtenue via le premier modèle va influencer le choix modal effectué par les navetteurs dans le second.

Et réciproquement, la nouvelle répartition modale obtenue via le modèle de choix modal va déterminer le nombre d'automobilistes qui vont se partager la route dans le premier modèle.

Le schéma d'interaction entre les deux modèles est présenté à la figure 4.10.

Ces deux modèles sont dynamiques et le modèle global est donc dynamique également.

Mais si les résultats du premier modèle, c'est-à-dire, la répartition horaire du trafic est réajustée quotidiennement, ceux du second modèle, la répartition modale et donc le nombre d'automobilistes, ne sont eux mis à jour que tous les 10 jours environ.

Cela permet une meilleure stabilité du modèle global.

Le modèle décrit précédemment a été programmé intégralement dans l'environnement Matlab<sup>®</sup>. Le code assorti de quelques commentaires est fourni en annexes.

Diverses variables-indicateurs sont disponibles lors de la simulation, notamment la répartition modale, la distribution horaire du trafic, le temps de trajet moyen et la vitesse moyenne, qui peuvent servir d'indicateurs pour la congestion, le nombre d'automobilistes s'acquittant d'un péage, etc.

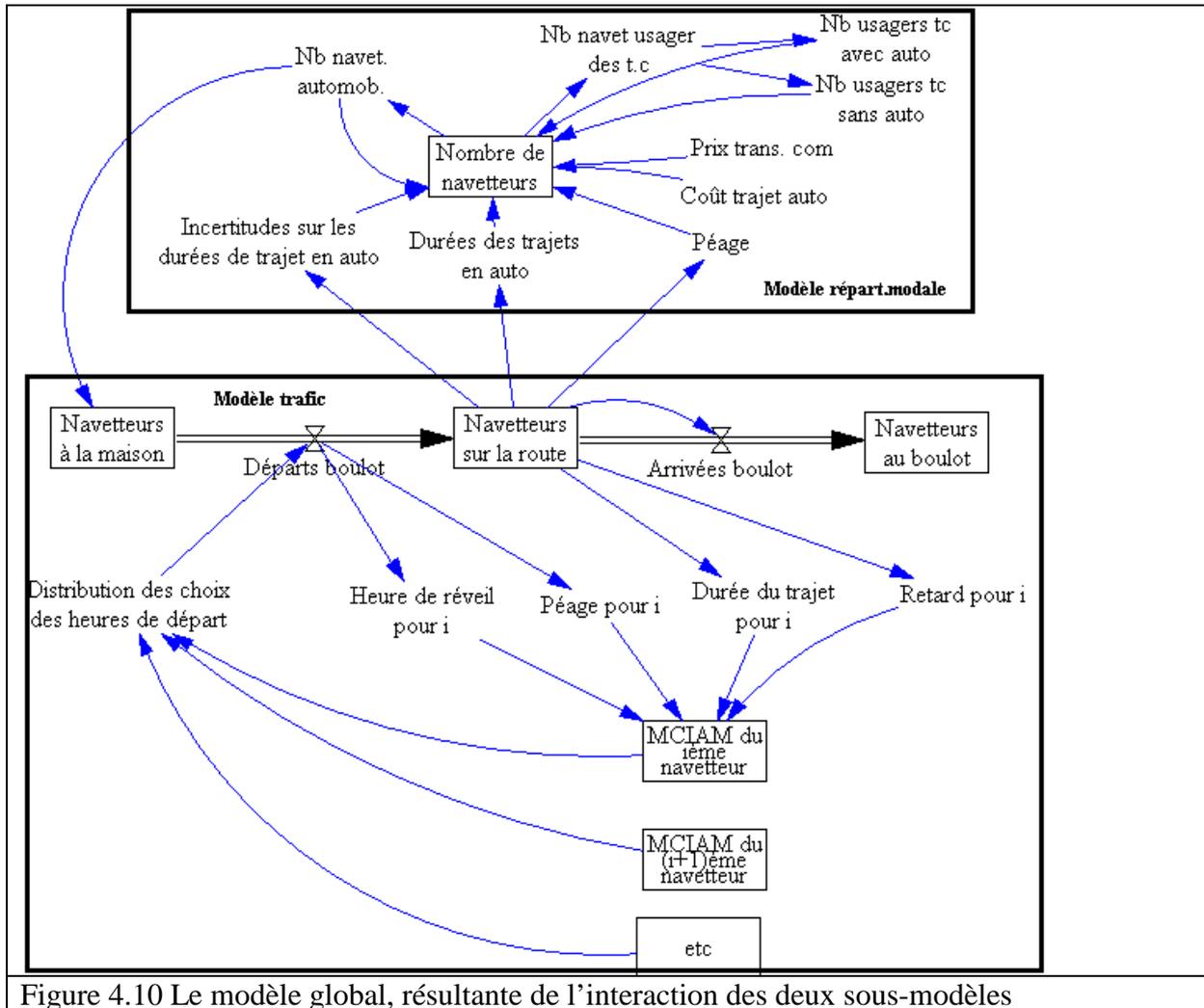


Figure 4.10 Le modèle global, résultant de l'interaction des deux sous-modèles

## 4.4 Paramétrage et validation du modèle

### 4.4.1 Le modèle de flux du trafic

Le paramétrage et la validation du modèle ont été réalisées en deux étapes.

La première étape est celle que nous allons nommer « paramétrage », elle a consisté en la recherche dans la littérature de valeurs précises de paramètres techniques, comme ceux intervenant dans le module de technologie de congestion, ainsi que d'ordres de grandeurs (relatifs) pour les autres paramètres du modèle, notamment les poids des critères ou encore les seuils d'indifférence des fonctions de préférence.

La seconde étape est l'étape « calibrage-validation du modèle », elle a consisté à affiner les valeurs des différents paramètres en comparant les résultats fournis par le modèle à la réalité, le but, in fine, étant de trouver des résultats similaires afin de valider le modèle proposé.

Il ne nous paraît pas intéressant pour le lecteur de mentionner l'ensemble des valeurs utilisées au sein du modèle pour les paramètres: elles peuvent être trouvées au sein du code Matlab fourni en annexe<sup>96</sup>. Nous ne mentionnerons ici que les valeurs relatives aux poids des critères et aux pentes des fonctions de préférence qui leur sont associées.

Nous soulignerons également les observations marquantes qui ont jalonné ces deux étapes.

### Première étape : Paramétrage

Pour paramétrer le modèle, il nous fallait tout d'abord des informations sur les valeurs des paramètres du module de technologie de congestion, autrement dit de l'équation (4.1) liant temps de trajet et débit du trafic.

Elles ont pu être trouvées grâce à une note de travail utilisée dans le cadre du Plan Iris 2<sup>97</sup> au sujet de la courbe débit-vitesse relative à une section autoroutière. On y apprend notamment

- que - la vitesse sur le réseau libre, pour calculer le  $t_{\min}$  de l'équation (4.1), est de 120 km/h
- la vitesse à capacité, pour calculer le  $t_{\text{congestion}}$ , est de 20 km/h
- la capacité nominale de la route C est de 2 000 evp/h par bande de circulation
- le taux d'élasticité,  $n$ , du temps de trajet par rapport au volume du trafic est de 6,0.

Ces valeurs sont des valeurs empiriques : elles ont été calibrées sur base de mesures de temps de parcours réalisées avec des véhicules-témoins insérés dans le trafic.

Bien que nous ayons été un peu critique précédemment à l'égard des études agrégeant les différents coûts en un coût total, nous nous sommes dits qu'elles pourraient néanmoins nous apporter des informations pertinentes pour paramétrer le modèle.

En particulier, elles nous ont aidé à donner des premières approximations pour les valeurs centrales<sup>98</sup> des poids des critères ainsi que sur les pentes des fonctions de préférence (de façon à ce que, combinées avec le poids du critère, celles-ci respectent plus ou moins les valeurs de coût horaire prescrites dans ces études).

On s'est appuyé principalement sur le rapport Boîteux (2001) et sur l'article de De Palma, Khattak et Gupta (1997), qui évalue notamment le coût du retard par rapport au coût du trajet dans le cas de Bruxelles.

Avant la seconde étape de calibrage, qui a permis d'affiner ces valeurs, nous sommes partis sur l'idée d'un rapport de 1.5 entre le poids du critère agrégé et celui relatif au temps de trajet.

---

<sup>96</sup> En particulier dans le fichier donnees.m et dans les différents fichiers relatifs aux fonctions de préférence (qui commencent tous par « fctpref... »)

<sup>97</sup> que nous a aimablement fournie T.Duquenne. Nous l'en remercions encore.

<sup>98</sup> Plus exactement, le rapport entre les valeurs centrales des poids des différents critères

La valeur du poids du péage dépend, elle, du montant qu'on souhaite lui assigner.

Elle sera fixée par comparaison avec la valeur du poids du temps du trajet, sachant que le coût d'une heure de trajet est évaluée à 8-9 euros.

#### Deuxième étape : Calibrage-Validation du modèle

Nous avons réalisé cette deuxième étape en partant du postulat que notre modèle, correctement paramétré, donnerait des résultats conformes à la réalité observée.

Pour pouvoir comparer les résultats et avoir une idée plus précise de la répartition horaire du trafic, nous nous sommes procuré le relevé minute par minute des postes de comptage automatique de diverses autoroutes menant à Bruxelles<sup>99</sup>.

En particulier, nous avons effectué le calibrage sur base des relevés de l'autoroute A3 à hauteur de Bertem (à un peu moins de 20 km de Bruxelles).

Bien sûr, il y a un biais entre les résultats donnés par le modèle et les relevés dans la mesure où on compare des heures de passage (relevés) et des heures de départ (simulation) à Bertem. Ce biais a tendance à avantager les intervals de départ « matinaux » au sein du modèle, puisque on minimise l'heure de réveil réelle et, à fortiori, le désagrément qui l'accompagne. Nous avons, dans la mesure du possible, tenu compte de ce biais.

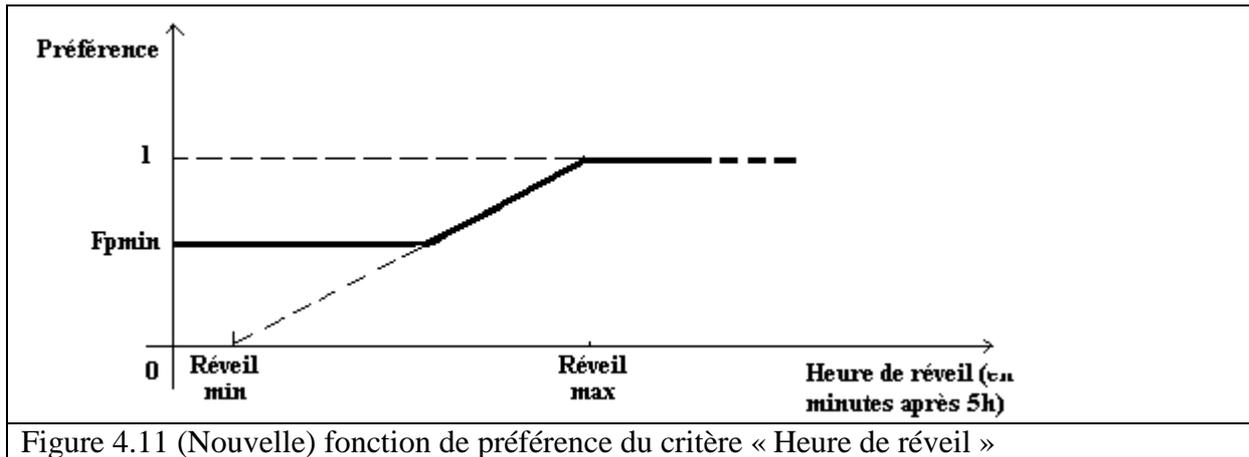
Au cours de cette étape de calibrage-validation, nous nous sommes aperçu que les fonctions de préférence liées au retard et à l'heure de réveil ne pouvaient pas être utilisées telles quelles. En effet, la fonction de préférence du critère agrégé étant le produit de ces deux fonctions, utiliser ces dernières en l'état (cf. figures 4.3 et 4.4 de la section 4.2.2) a pour effet de rendre les heures de départ extrêmes (très tôt ou très tard) trop peu attractives.

Le trafic à ces heures obtenu par le modèle, avant la modification explicitée ci-dessous, minimisait fortement les résultats observés.

Pour corriger ce problème, nous avons modifié les fonctions de préférence et leur avons attribué une valeur minimale supérieure à 0 (fpmin), qui constitue un nouveau paramètre à ajuster. L'allure de la nouvelle fonction de préférence du critère « heure de réveil » est donnée à la figure 4.11. La fonction de préférence du retard à destination est corrigée de façon similaire, *mutatis mutandis*.

---

<sup>99</sup> Par l'entremise de B. Thys, serviable attaché au Service Public Fédéral Mobilité et Transports.



Au cours de cette phase de calibrage, il nous est apparu également que le poids du critère agrégé était plus important que la première approximation que nous en avons faite sur base de la littérature. Ainsi le rapport entre le poids du critère agrégé et celui relatif au temps de trajet est compris entre 2.2 et 2.3 (par rapport à une estimation initiale de 1.5).

Finalement, après des ajustements successifs au niveau de l'ensemble des paramètres, voici les valeurs que nous avons retenues pour la distribution des poids des critères et les pentes des fonctions de préférence liées à ces derniers.

Pour avoir du sens, ces données ne peuvent être considérées isolément :

Critère de la durée du trajet :

- Poids compris dans l'intervalle [27-5.4 et 27+5.4]
- Pente de la fonction de préférence : -1/150 par minute de trajet supplémentaire

Critère agrégé :

- Poids compris dans l'intervalle [60-22 et 60+22]
- Pente des fonctions de préférence : +1/500 par minute de « sommeil » supplémentaire et -1/205 par minute de retard supplémentaire

Critère du péage : (non étudié dans cette phase de calibrage)

- Poids dépendant du montant maximum du péage : environ 1,35\* (montant en Euros<sup>100</sup>).
- Pente de la fonction de préférence : -1/100 par pourcentage du montant max du péage.

<sup>100</sup> Estimation obtenue par comparaison avec la valeur d'une heure de temps de trajet trouvée dans la littérature (8euros)

Sur base de ces valeurs, il semblerait qu'une minute de retard à destination équivaille, en moyenne pour le navetteur, à 1,63 minute de trajet supplémentaire et à 2,44 minutes de sommeil en plus...

L'ensemble des valeurs des paramètres restants peut être trouvée en annexe comme cela a été mentionné précédemment.

#### Comparaison des résultats fournis par le modèle avec le relevé du poste de comptage

La figure 4.12 nous montre les résultats obtenus par le modèle et les valeurs du relevé de comptage<sup>101</sup>. L'allure de ces deux courbes est globalement la même, même si celle du modèle est légèrement décalée sur la gauche.

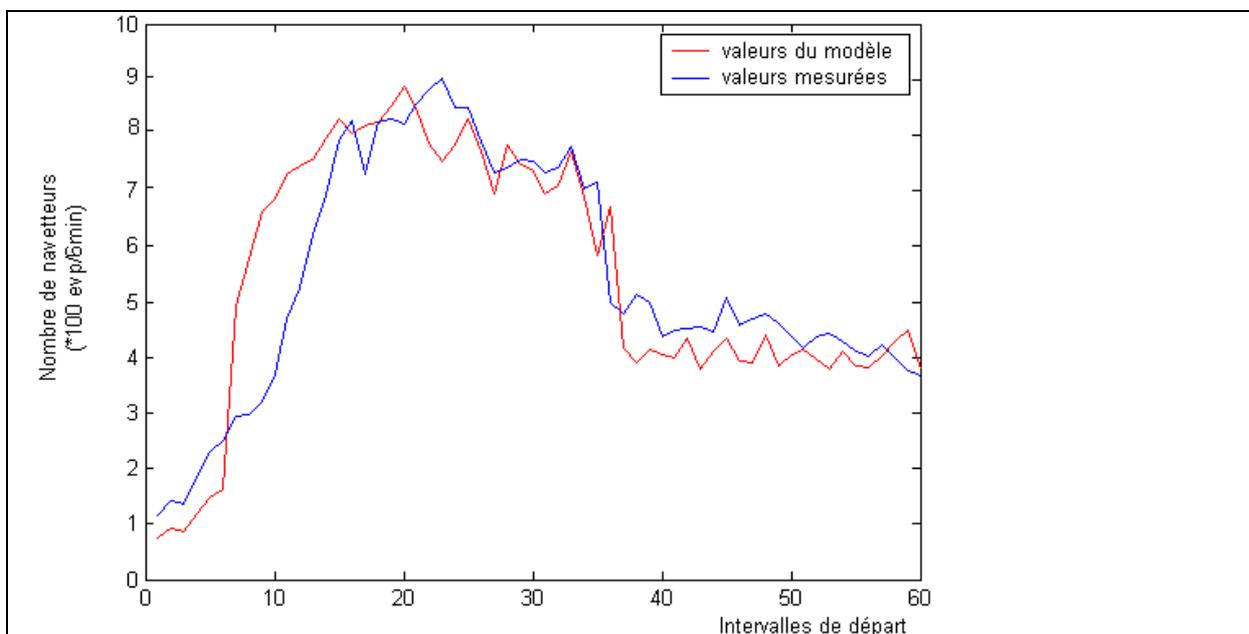


Figure 4.12 Comparaison des résultats fournis par le modèle et des relevés électroniques (Bertem)

Ce décalage et le léger écart entre les deux courbes résultent vraisemblablement du biais exposé précédemment. Ce biais a tendance à rendre plus attractifs les intervalles de départ « matinaux », de 5h40 environ jusqu'à 6h10-6h15, au sein du modèle. En effet, ces heures y sont considérées comme les heures de réveil (départ) des navetteurs alors que, dans la réalité, la plupart des automobilistes<sup>102</sup> passant à cette heure-là sont partis bien plus tôt de leurs domiciles...

<sup>101</sup> Nous avons groupé les mesures par intervalles de 6 minutes et avons ôté les quelques valeurs "suspectes" devant relever d'un dysfonctionnement temporaire des compteurs électroniques.

<sup>102</sup> En fait tous, sauf les habitants de Bertem...

Il est probable qu'une partie du flux supplémentaire qui occupe ces intervalles dans les chiffres du modèle ait d'ailleurs été subtilisée aux heures de départs précédentes (5h-5h30) ainsi qu'aux heures qui suivent immédiatement la pointe (après 8h40).

Il est clair que l'écart entre les deux courbes ne peut seulement être expliqué par le biais, cependant, on peut considérer qu'il est suffisamment faible pour pouvoir déclarer notre modèle valide.<sup>103</sup>

#### **4.3.2 Le modèle de choix modal**

Le paramétrage et la validation du modèle ont été réalisés simultanément.

Lors du paramétrage du premier modèle, nous avons pu nous appuyer sur une idée de l'ordre de grandeur des différents poids associés aux critères grâce à la littérature.

Le paramétrage de ce sous-modèle fut plus difficile à réaliser dans la mesure où cette dernière se borne souvent à ne considérer que les critères de temps de trajet et de coût dans le cadre du choix modal. Cependant, nous étions persuadés que parmi les autres critères que nous employions, certains, notamment le mode actuellement utilisé, avaient un poids dans le choix modal des navetteurs au moins aussi important.

Hormis l'ordre de grandeur relatif entre le critère du coût et celui du temps<sup>104</sup>, nous sommes donc un peu partis dans le noir à propos des valeurs à attribuer aux différents paramètres...

Nous avons procédé de la façon suivante: après avoir attribué des valeurs aux différents critères basées sur nos convictions et intuitions personnelles (en plus de l'information sur le rapport temps-coût), nous avons affiné ce paramétrage « arbitraire » de façon à respecter au mieux les trois contraintes suivantes:

- En partant d'une répartition modale conforme<sup>105</sup> à la répartition actuelle, le modèle, sans péage, doit conduire à un maintien de la répartition modale ou à une augmentation, limitée, de la part de l'automobile.

---

<sup>103</sup> (d'autant que le calibrage des paramètres pourrait être encore affiné).

<sup>104</sup> Comme nous l'avons déjà mentionné précédemment, on s'appuie sur une estimation du coût de déplacement de 8-9 euros par heure, basée sur le rapport Boîteux (2001) essentiellement.

<sup>105</sup> La répartition modale actuelle des navetteurs est de 56% pour la voiture individuelle et de 32% pour les transports en commun (la part restante étant l'apanage du covoiturage). Nous avons pris une répartition respectant le rapport de ces pourcentages (64.2% vs 35.8%).

- En réduisant le temps de parcours de 20% des transports en commun, le modèle doit mener à un report modal de 4-5% des automobilistes vers les transports en commun.
- En augmentant de 50% le coût du déplacement en automobile, le modèle doit conduire à un report modal de 5% des automobilistes vers les transports publics

Les deux dernières contraintes sont issues de constatations faites dans l'étude MOBIL 2015 et sont étayées par les valeurs d'élasticité que nous avons pu trouver dans la littérature.

Finalement, les valeurs que nous avons retenues pour les différents paramètres du modèle, mènent, selon les hypothèses de contrainte considérées, respectivement à:

- une croissance la part de l'automobile inférieure à 3% (+2,97%)
- un report modal de l'automobile vers les transports en commun de 6,12%
- un report modal de l'automobile vers les transports en commun de 6,42%

Le modèle, ainsi paramétré, respecte donc globalement les contraintes même si il semble être légèrement trop « réactif ».

Les valeurs retenues pour la distribution des poids des critères et les pentes des fonctions de préférence liées à ces derniers sont les suivantes :

Critère du mode actuel :

- Poids compris dans l'intervalle [8-1.4 et 8+1.4]
- Pente de la fonction de préférence : sans objet (cf.supra)

Critère lié à la possession d'une voiture :

- Poids compris dans l'intervalle [6-0.3 et 6+0.3]
- Pente des fonctions de préférence : sans objet (cf.supra)

Critère de la durée du voyage : (identique à celui utilisé dans le premier modèle)

- Poids compris dans l'intervalle [27-5.4 et 27+5.4]
- Pente de la fonction de préférence : -1/150 par minute de trajet supplémentaire.

Critère de la différence de coût :

- Poids compris dans l'intervalle [13.5-3.8 et 13.5+3.8]
- Pente de la fonction de préférence : -1/8 par euro de différence

Critère environnemental :

- Poids compris dans l'intervalle [0.26-0.26 et 0.26+0.26]
- Pente de la fonction de préférence : sans objet (cf.supra)

Critère lié à l'incertude sur le temps du voyage :

- Poids compris dans l'intervalle [9-2 et 9+2]
- Pente de la fonction de préférence : -1/45 par minute d'incertitude supplémentaire.

Ce paramétrage est encore trop imprécis bien qu'il respecte (pratiquement) les contraintes prescrites. Les marges d'erreur sont importantes, en particulier sur les critères moins « décisifs » comme le critère environnemental ou la possession d'une voiture.

Par conséquent, le modèle donnera probablement<sup>106</sup> plus un ordre de grandeur des transferts modaux que des valeurs extrêmement précises.

Cela étant dit, pour peu que le calibrage soit encore affiné (en ayant recours par exemple à des enquêtes sur les préférences), nous demeurons persuadé que le modèle proposé peut constituer un modèle de prédiction de qualité.

## **4.5 Scénarios**

On l'a vu, la paramétrisation du modèle, en particulier du sous-modèle relatif au choix de mode, doit encore être raffinée. Devant ce constat, nous avons renoncé à faire des scénarios précis pour la ville de Bruxelles, parce que tirer des conclusions définitives des résultats numériques fournis par le modèle, à l'heure actuelle, aurait un peu relevé de l'imposture intellectuelle.

Néanmoins, nous avons développé quelques scénarios qualitatifs avec en tête un double objectif : - montrer l'intérêt du modèle proposé

- avoir une idée générale de la configuration du péage à mettre en place afin de satisfaire à un objectif précis.

Pour ce faire nous avons développé six scénarios, outre le scénario de référence.

Ces différents scénarios, qui présentent chacun une politique tarifaire de péage, parfois accompagnée de mesures complémentaires, seront décrits dans la section 4.4.2.

Leurs résultats seront fournis et analysés dans les paragraphes 4.5 et 4.6 respectivement.

---

<sup>106</sup> Notons quand même que les erreurs de prédiction ne sont que supposés, elles n'ont pas été prouvées non plus !

#### **4.5.1 Scénario de référence (REF)**

Le scénario de référence est une version « étendue »<sup>107</sup> de la configuration qui nous avait permis de valider le premier modèle. C'est un scénario du type *Business-as-usual*.

On considère les départs de 5h à 11h du matin de navetteurs partant d'un point A et désirant arriver en un point B vers 8h.

Le nombre de navetteurs total est de 50900, dont, initialement, 32700 automobilistes et 18200 usagers des transports en commun (10% de ceux-ci possèdent une voiture).

Concernant les caractéristiques du trajet en voiture, les valeurs  $t_{\min}$  et  $t_{\text{congestion}}$  de l'équation (4.1) sont respectivement de 8,15 et 40,74 minutes, la capacité de la route est de 8000evp/h. Le coût associé à ce trajet en automobile est de 1,3 euro<sup>108</sup>.

Concernant les caractéristiques du trajet en transport en commun, le temps de trajet est de 45 minutes avec une incertitude de retard fixée à 4,5 minutes. On considère une fréquence constante : un transport en commun toutes les 20 minutes. Le prix du trajet est de 0,84 euro.

#### **4.5.2 Scénarios alternatifs**

Nous avons élaboré plusieurs scénarios alternatifs afin d'évaluer l'impact de la mise en place d'un péage sur la répartition modale<sup>109</sup> des navetteurs ainsi que sur la congestion automobile, et les caractéristiques du trafic automobile en général, de la route d'accès à B.

Les scénarios se distinguent par l'ordre de grandeur et la modulation horaire de leurs tarifs. Les deux derniers scénarios ont, en outre, été pourvus de mesures complémentaires au niveau des transports publics.

---

<sup>107</sup> Bien qu'il s'agisse de modèles qualitatifs, les différents paramètres ont été ajustés sur base des valeurs réelles associées au trajet Bertem-Bruxelles, que ce soit pour la voiture ou les transp. publics. Les montants intervenant dans les coûts sont, eux aussi, réalistes et correspondent aux valeurs actuelles du prix d'un abonnement SNCB, de l'essence, etc.

<sup>108</sup> auquel vient s'ajouter 2,68 euros pour celui qui n'en possède pas.

<sup>109</sup> Nous supposons que les transports en communs sont capables d'accueillir les éventuels nouveaux voyageurs qui auraient abandonné leurs voitures.

Exceptés les péages et les éventuelles mesures complémentaires, les scénarios sont similaires au scénario de référence en tous points.

Les deux premiers scénarios sont dotés de péages uniformes : le premier avec un tarif modique de 0.8 unité de péage<sup>110</sup> (u.p.), le second avec un tarif plus élevé de 3 u.p. Ils sont parfois cités sous les *acronymes* PUmud et PUfort.

Les troisième et quatrième scénarios sont dotés de péage dont le montant est modulé au cours du temps. Le tarif maximal des deux scénarios est identique : 3,5 u.p.

Pour le premier (troisième scénario en fait), le tarif est maximal entre 6h30 et 7h30<sup>111</sup> et un demi-tarif est appliqué durant les périodes 5h48-6h30 et 7h30-8h18<sup>112</sup>. En dehors de ces périodes, l'accès à la route est gratuit. Ce scénario est nommé PM1.

Pour le second (quatrième scénario), le tarif est maximal entre 6h30 et 7h30, un tarif de 2/3 du montant maximal est appliqué durant les périodes 5h48-6h30 et 7h30-8h18. En dehors de ces périodes, l'accès à la route est moins cher, mais payant : 1/3 du montant maximal. Ce scénario est nommé PM2.

Enfin, les deux derniers scénarios nous permettront d'évaluer l'effet de mesures sur les transports publics, au niveau de la fréquence de passage et du prix, en complément d'un péage urbain (ici le PM1).

Le cinquième scénario (dit PM1+) considère une amélioration de la fréquence des transports en commun, passant à 1 véhicule toutes les 15 minutes (au lieu de 20).

Le sixième scénario (nommé PM1++) ajoute à cette première mesure la gratuité des transports publics pour tous.

Pour résumer, l'évolution horaire du montant du péage des différents scénarios est présenté à la figure 4.13

---

<sup>110</sup> Nous choisissons de mesurer les tarifs des péages en "unité de péage". Cela permet de les qualifier sans devoir donner une valeur monétaire, qui pourrait faire croire à une simulation non pas qualitative, mais prédictive

<sup>111</sup> plage horaire correspondant à la période d'hypercongestion du scénario de référence : trafic >100% de la capacité théorique.

<sup>112</sup> plages correspondant à la période de congestion du scénario de référence : trafic >80% de la capacité théorique.

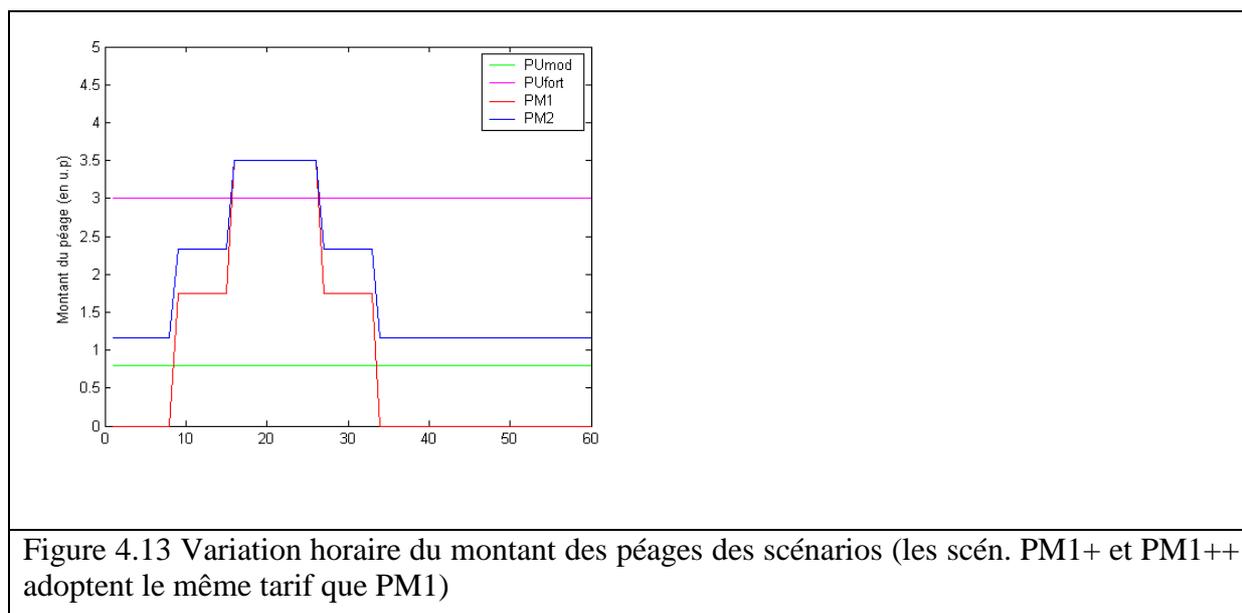


Figure 4.13 Variation horaire du montant des péages des scénarios (les scén. PM1+ et PM1++ adoptent le même tarif que PM1)

## 4.6 Résultats

Les résultats présentés ici ont été obtenus après une simulation constituée de 500 itérations (changement de mode envisagé toutes les 10 itérations) des scénarios décrits dans la section précédente. Nous avons regroupé les résultats de façon à pouvoir comparer les scénarios par rapport aux effets qu'ils provoquent :

- sur le trafic automobile (et la congestion)
- sur la répartition modale
- sur les rentrées financières que le péage génère.

L'analyse de ces résultats est réalisée dans la section 4.6.

### 4.6.1 Impacts sur le trafic automobile

Nous présenterons les résultats qu'ont obtenus les scénarios vis-à-vis du trafic automobile en trois temps : caractéristiques générales du trafic, caractéristiques de la congestion, distribution horaire du trafic.

#### c) Caractéristiques générales du trafic

Un bon indicateur des conditions générales relatives à la fluidité du trafic est la vitesse moyenne de déplacement.

Elle est fournie pour l'ensemble des scénarios au sein de la table 4.1, en compagnie du temps moyen de déplacement pour les différents scénarios, qui permet d'évaluer les pertes de temps moyennes dues à l'occupation de la route.

	<i>REF</i>	<i>PUmod</i>	<i>Pufort</i>	<i>PM1</i>	<i>PM2</i>	<i>PM1+</i>	<i>PM1++</i>
Vitesse moyenne(km/h)	31.7	29.9	33.6	42.7	39.2	45.3	46.0
Durée trajet moy(min).	30.82	32.66	29.09	22.91	24.98	21.61	21.27
Temps moyenperdu(min)	22.82	24.66	21.09	14.91	16.98	13.61	13.27

Table 4.1 Caractéristiques générales du trafic pour les différents scénarios

Pour rendre ces données un peu plus lisibles nous avons réalisé des graphiques de la vitesse moyenne (cf.figure 4.14) et du temps perdu moyen (cf.figure 4.15)

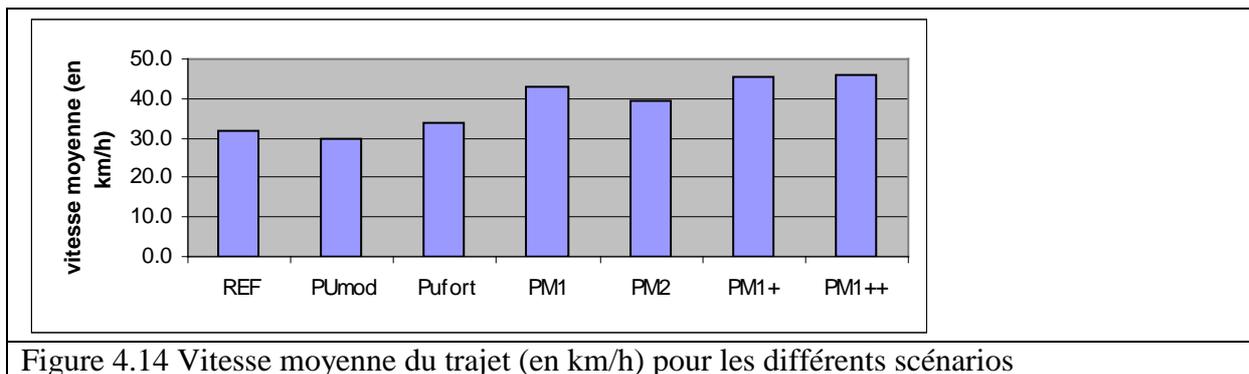


Figure 4.14 Vitesse moyenne du trajet (en km/h) pour les différents scénarios

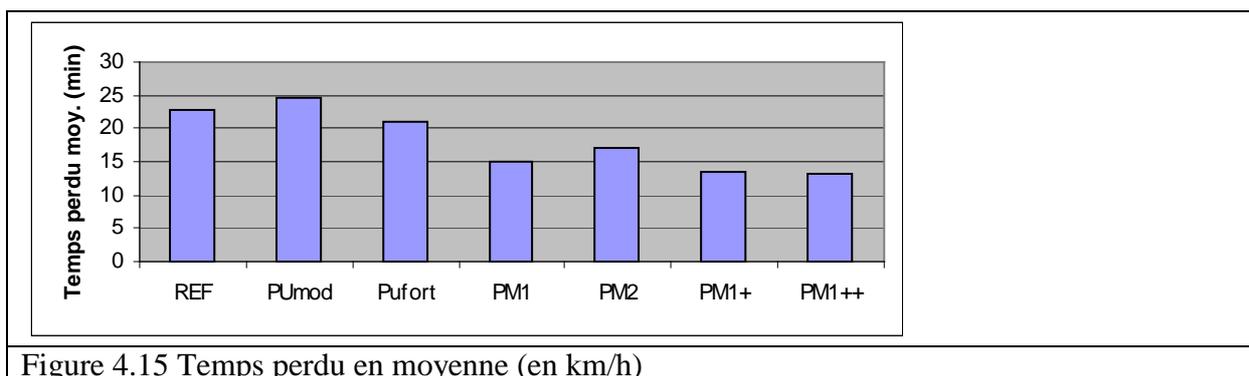


Figure 4.15 Temps perdu en moyenne (en min)

Très clairement, et sans surprise, les scénarios modulés gratuits en dehors des heures de pointe (PM1's) donnent les meilleurs résultats quant à ces caractéristiques.

Bien que les scénarios pourvus de mesures complémentaires soient les plus performants, l'intérêt de ces mesures, en particulier de la gratuité des transports publics, peut poser question dans la mesure où les bénéfices retirés sont relativement limités en termes de durée de trajet. Par ailleurs, on constate, de façon assez surprenante, que la mise en place d'un péage uniforme de montant modéré a tendance à augmenter le temps de trajet moyen, probablement à cause de la nouvelle répartition horaire du trafic.

#### d) Caractéristiques de congestion

Pour caractériser la congestion, nous allons donner les périodes de congestion, c'est-à-dire les périodes où le taux d'occupation de la route est supérieur à 80%<sup>113</sup> de la capacité de la route, ainsi que les périodes d'hypercongestion, où le taux d'occupation de la route est supérieur à 100% de la capacité nominale de la route.

Voici les périodes<sup>114</sup> de congestion (co) et d'hypercongestion (h) pour les différents scénarios :

- REF : [5h50 à 8h20] (co) et [6h40 à 7h40] (h)
- PUmod : [6h00 à 8h20] (co) et [6h40 à 7h15] (h)
- PUfort : [6h10 à 8h25] (co) et [7h00 à 7h10] (h)
- PM1 : [6h15 à 8h25] (co) et [7h15 à 7h20] (h) + [7h45 à 7h50] (h)
- PM2 : [6h15 à 8h25] (co) et [7h10 à 7h15] (h)
- PM1+ : [6h15 à 8h25] (co) et nulle part (h)
- PM1++ : [6h25 à 8h25] (co) et nulle part (h)

En sus, nous ajoutons la perte de temps maximale<sup>115</sup> pour chaque scénario (cf. figure 4.16)

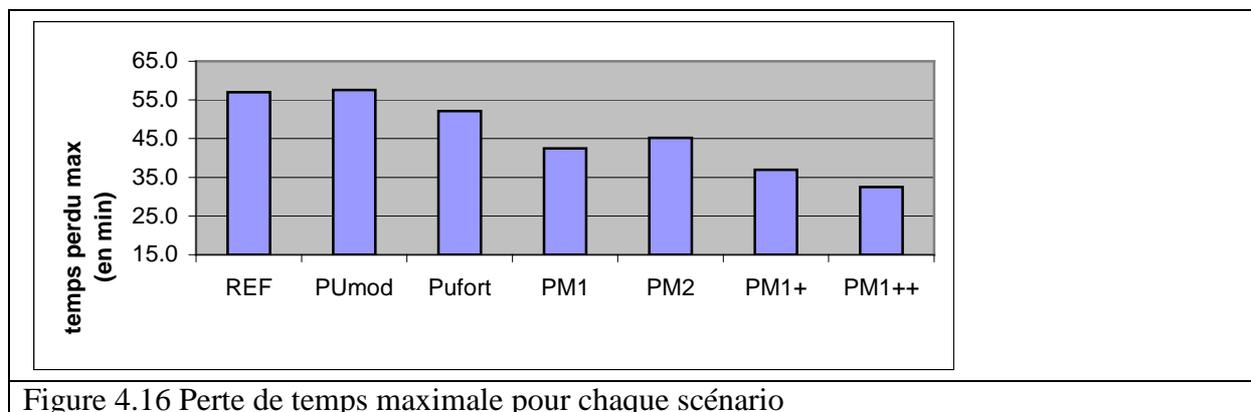


Figure 4.16 Perte de temps maximale pour chaque scénario

<sup>113</sup> C'est la convention généralement utilisée

<sup>114</sup> NB: les heures ont été arrondies

<sup>115</sup> données numériques disponibles dans les annexes

On s'aperçoit que les différents péages mis en place ont une influence relativement faible sur la durée de la période de congestion (2h au mieux au lieu des 2h30 du scénario de référence). Par contre, la réduction de la durée de la période d'hypercongestion, celle qui est la plus coûteuse en temps, est très sensible suite à la mise en place des péages, même dans le cas des péages uniformes.

En ce qui concerne la perte de temps maximale, la modulation horaire du tarif est un atout majeur comme on pouvait s'y attendre. Par rapport à cette caractéristique, les mesures complémentaires se justifient davantage, les gains de temps étant loin d'être négligeables (10 et 25 minutes respectivement par rapport à PM1 et à la référence).

#### e) **Distribution horaire du trafic**<sup>116</sup>

Les distributions des scénarios sans mesures complémentaires sont illustrées sur la figure 4.17

On y constate qu'un péage uniforme à tarif élevé a tendance à accentuer le déséquilibre de trafic entre les heures de pointe et les autres heures en réduisant fortement le trafic après 8h45. On observe également qu'un péage modulé a, au contraire, tendance à rééquilibrer le trafic, en diminuant le trafic de pointe et en augmentant<sup>117</sup> légèrement le trafic après cette période.

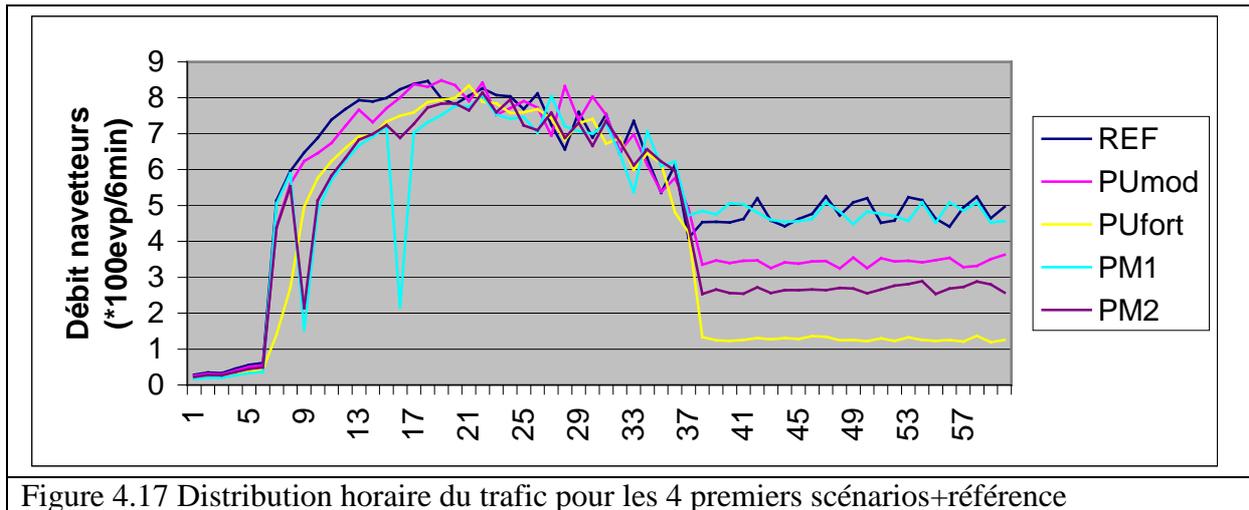
Sur ce graphique apparaît clairement l'effet d'évitement des tranches horaires payantes, avec des discontinuités importantes<sup>118</sup> entre le trafic juste avant et juste après l'heure de changement du tarif. Cet effet est plus marqué à l'entrée des zones payantes qu'en sortie et est d'autant plus fort que l'écart du montant entre les deux tranches horaires est important.

---

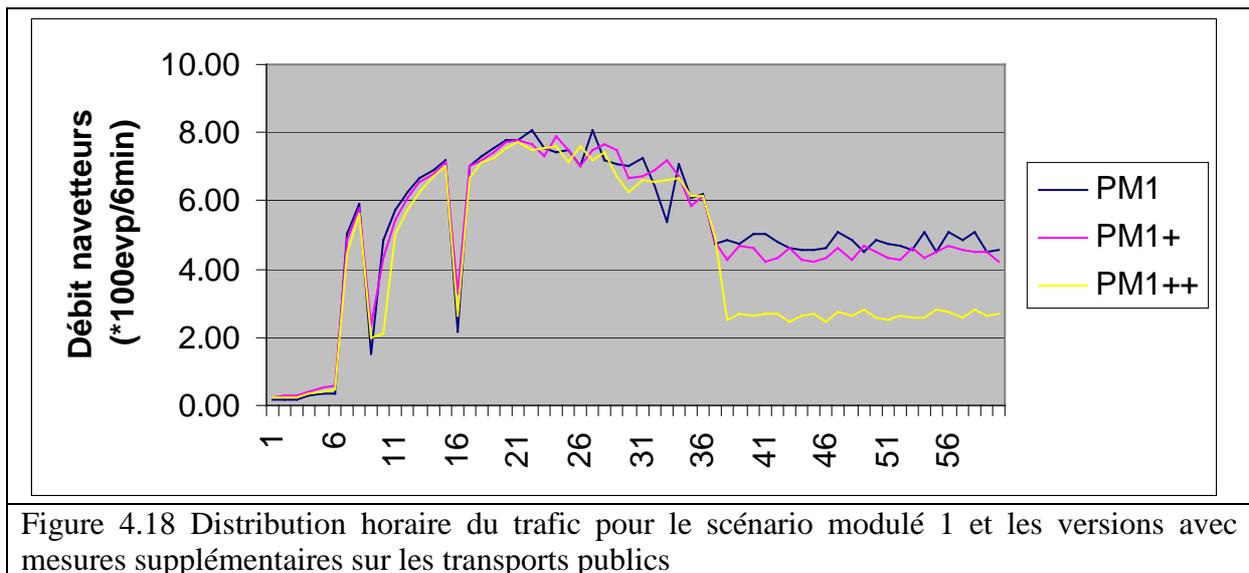
<sup>116</sup> Les distributions horaires de chaque scénario sont disponibles en annexe.

<sup>117</sup> En tout cas un péage avec des tranches horaires gratuites, comme le PM1

<sup>118</sup> Trop importantes mêmes : cela est dû au caractère idéalisé des navetteurs virtuels : l'intervalle à l'entrée d'une zone payante étant fortement pénalisé, il n'est pas ou peu choisi et un navetteur virtuel qui ne l'a pas choisi ne risque pas de s'y retrouver par mégarde (oubli du gsm à la maison, chaussures ou clés introuvables,...)



Les distributions horaires du trafic pour les scénarios dotés de mesures complémentaires sur les transports publics sont illustrées, en compagnie de leur scénario étalon (le scénario modulé 1), à la figure 4.18.



On y voit que ces mesures complémentaires, celle sur la gratuité en particulier, ont tendance surtout à réduire le trafic en dehors de la pointe, ce qui est d'un intérêt relativement limité...

#### 4.6.2 Impacts sur la répartition modale

Rappelons qu'au début de la simulation, la répartition modale est de 64,24% pour l'automobile contre 35,76% aux transports en commun.

Le tableau 4.2 résume les résultats obtenus pour les différents scénarios :

	Origine	REF	PUmod	Pufort	PM1	PM2	PM1+	PM1++
Auto	64.2	66.2	59.5	46.4	61.1	52.9	59.9	50.1
Trans. Com	35.8	33.8	40.5	53.6	38.9	47.2	40.1	49.9

Table 4.2 Répartition modale (en pourcents) obtenus dans les scénarios

On s'aperçoit que tous les péages ont bel et bien un effet positif vis-à-vis de la répartition modale, mais que l'intensité du report modal obtenu varie fortement d'un scénario à l'autre.

Les effets du péage uniforme modéré et du péage modulé 1, même accompagné de mesures sur la fréquence des transports, sont relativement limités (moins de 5% par rapport à l'origine). Les autres scénarios obtiennent des scores appréciables en la matière.

On constate l'importance de la hauteur du montant d'un péage uniforme. On remarque également que la façon de moduler un montant est primordiale vis-à-vis de la répartition modale. En particulier, le fait de faire payer tout trajet semble primordial.

Enfin, nous constatons qu'en la matière la gratuité des transports publics a un impact majeur, contrairement à la modification<sup>119</sup> de la fréquence des transports publics.

#### 4.6.3 Impacts sur les recettes du péage

Le nombre de navetteurs qui s'acquittent d'un droit de péage ainsi que les recettes totales (en unités de péage) sont rassemblés pour les différents scénarios au sein de la table 4.3.

	REF	PUmod	Pufort	PM1	PM2	PM1+	PM1++
Nombre de payeurs	0.0	303.0	236.0	171.7	269	166.5	158.5
Recettes totales ( en u.p)	0.0	242.4	708.0	570.1	603.5	563.1	544.3

Table 4.3 Nombre de navetteurs-payeurs et recettes totales pour les différents scénarios

Un péage uniforme à montant élevé est le plus rentable financièrement. On constate que les mesures liées à l'amélioration du service de transport collectif diminuent les recettes du péage alors qu'elles vont induire un coût supplémentaire.

<sup>119</sup> Il est vrai que celle-ci est limité entre les scénarios PM1 et PM1+.

## **4.7 Analyse**

Dans un premier temps, nous allons analyser les forces et faiblesses des mesures tarifaires (et autres) prises dans chaque scénario.

Scénario de référence : Il a pour avantage de ne pas créer de remous en suscitant l'ire d'automobilistes mécontents de devoir payer pour un service autrefois gratuit, et de ne pas nécessiter d'investissements. Il a contre lui tout le reste : des vitesses de déplacement lentes menant à des retards moyen et maximal conséquents, des périodes de congestion et d'hypercongestion particulièrement longues, une part modale de l'automobile accrue et, s'il ne coûte rien, en tout cas directement, il n'enregistre pas non plus de recettes.

Scénario PUmod : Ce scénario a de très mauvais résultats par rapport au trafic : ils sont pires à tout point de vue (excepté la durée des périodes de congestion, qui reste importante) que le scénario de référence ! Par contre, il permet d'atteindre une diminution de la part modale de la voiture de près de 5% par rapport à la situation initiale. Au niveau des recettes, il est loin derrière tous les autres scénarios (entre 2 et 3 fois moins de rentrées).

Scénario PUfort : Les résultats de ce scénario vis-à-vis de l'amélioration des conditions de trafic ne sont pas fameux (moins de deux minutes de gain de temps en moyenne par rapport à la référence et un temps perdu maximal qui reste supérieur à 50 min), tout au plus permet-il de réduire sensiblement la durée de la période d'hypercongestion (10 minutes au lieu d'une heure). Par contre, ce scénario est le meilleur vis-à-vis des recettes (+17% par rapport au deuxième meilleur scénario en la matière) et de la répartition modale : il permet aux transports en commun de gagner près de 18% de parts de marché par rapport à la situation initiale (+20% par rapport à la référence) et de devenir ainsi largement le mode dominant !

Scénario PM1 : Ce scénario est le meilleur des scénarios sans mesure complémentaire vis-à-vis de l'amélioration des conditions de trafic : l'augmentation de la vitesse moyenne est substantielle et la réduction du temps perdu en moyenne très appréciable (-35% par rapport à la référence). Quant au gain par rapport au retard maximal, il frôle le quart d'heure.

Si, au niveau des recettes, son résultat est honorable, sa grosse faiblesse est le peu d'impact au niveau de la répartition modale (+3% par rapport à l'origine) laissant la part des transports publics en dessous des 40%.

Scénario PM2 : Les résultats de ce scénario par rapport aux caractéristiques générales du trafic ne sont pas mauvais sans être exceptionnels : le gain au niveau du temps perdu en moyenne par rapport à la référence est quand même de près de 25%, mais est inférieur à tous ceux obtenus par le premier scénario modulé, avec et sans mesures complémentaires.

En ce qui concerne la répartition modale, le report modal obtenu est important: +11,4% pour le transport public par rapport à la répartition originelle, sans toutefois rivaliser avec PUfort.

Quant aux recettes, elles sont dans la partie haute de la moyenne des scénarios.

Ce scénario apparaît donc comme un scénario relativement performant dans tous les domaines sans jamais être le meilleur nulle part.

### **Les scénarios avec mesures additionnelles PM1+ et PM1++**

Le gros point faible de ces scénarios est lié aux investissements supplémentaires qu'ils nécessitent, en particulier celui pourvu de la mesure de gratuité des transports publics pour tous (PM1++).

En contrepartie, ces scénarios ont les meilleurs résultats par rapport aux conditions de trafic et en particulier vis-à-vis de la congestion. Leur avantage, par rapport à PM1, est surtout marqué au niveau du temps perdu maximal (-5 et -10 minutes pour PM+ et PM++ respectivement, soit près de 25% de temps perdu en moins par rapport à PM1).

Pour ces scénarios, il n'y a même pas de période d'hypercongestion.

Au sujet de la répartition modale, l'amélioration de la fréquence des transports en commun a un impact très limité. Par contre, la mesure de gratuité est assez efficace (part des t.c. en hausse de 10% par rapport à PM1+).

Au niveau des recettes, elles sont légèrement inférieures au scénario sans mesures complémentaires alors qu'au niveau des dépenses...

Peut-on en déduire la meilleure configuration de péage ?

Certainement pas ! Il n'y a pas de meilleure configuration absolue. En effet, la qualité d'un péage est à mesurer à l'aune de ses objectifs.

Si le but est d'amasser un maximum de recettes et d'obtenir le transfert modal le plus important, alors le péage uniforme avec un tarif élevé semble le plus adapté.

Si le but est d'obtenir les meilleurs conditions au niveau du trafic automobile quel qu'en soit le prix, alors le péage modulé avec les deux mesures complémentaires est le plus adapté.

Peut-on en déduire la meilleure configuration d'un péage pour Bruxelles?

Etudions d'abord cette question pour les péages sans mesure complémentaire au niveau des transports publics. Nous tenterons d'analyser par la suite si ces mesures sont pertinentes ou non vu les investissements qu'elles impliquent.

Si on ne considère strictement que l'objectif fixé par le Plan régional des déplacements, à savoir obtenir une répartition modale équilibrée 50-50 pour la navette entrante, le péage uniforme à tarif élevé est le seul à l'atteindre. C'est d'ailleurs un péage de ce type qui est mis en place à Londres.

Cependant, si on observe la répartition modale obtenue par le second péage modulé (PM2), on s'aperçoit qu'il n'est pas très loin de cette répartition équilibrée avec une part de marché de 47,2% pour les transports en commun et qu'il a nettement l'avantage sur le péage uniforme au niveau des conditions générales de trafic.

De plus, vu les résultats, encore meilleurs en termes de gain de temps, du scénario PM1, nous avons tendance à penser que ce serait une erreur de se priver de la possibilité de moduler le tarif au cours de la journée. Il s'agit simplement de trouver la bonne configuration, au niveau du montant du tarif et de sa répartition horaire, afin de pouvoir obtenir à la fois des bonnes conditions de trafic et la répartition modale souhaitée.

En ce sens, ces simulations nous indiquent qu'appliquer un tarif minimal non nul en dehors des heures de pointe est un élément primordial pour réaliser le transfert modal de la voiture vers les transports publics.

En ce qui concerne l'intérêt des mesures complémentaires, la première mesure concernant l'augmentation de la fréquence des transports publics n'apparaît pas très convaincante : elle n'améliore que peu les résultats du péage au niveau des conditions générales de trafic et son impact sur la répartition modale est faible. Bien sûr, ces constatations doivent être atténuées par le fait que la modification apportée par rapport à la fréquence de référence n'est pas très importante (un véhicule toutes les 15 minutes au lieu de 20).

Cependant, sur base des résultats fournis par la simulation, nous pensons que cette mesure ne se justifie pas, en tout cas pas en vue d'améliorer le trafic automobile via un report modal. Nous ne tenons pas compte dans notre jugement de l'effet positif sur les captifs des transports publics, c'est peut-être une erreur...

La mesure de gratuité quant à elle permet d'augmenter sensiblement la part modale des transports publics et de diminuer de façon relativement importante la perte de temps maximale par rapport au péage modulé sans mesure complémentaire (-10 minutes).

Malgré ces effets positifs, nous ne pensons pas non plus que cette mesure doive être prise, car elle est extrêmement coûteuse et parce que nous pensons qu'un péage modulé, mieux configuré, réussissant à combiner les qualités des deux scénarios PM1 et PM2, pourra obtenir des conditions de trafic et une répartition modale proches de celles de ce scénario PM1++.

## **4.8 Discussions**

Lors de l'analyse des résultats effectuée dans la section précédente, il nous est apparu que la meilleure solution pour un péage en Région Bruxelles-Capitale était un péage modulé dont la configuration tarifaire reste à déterminer.

Deux éléments semblent importants dans cette configuration. Tout d'abord, il faut un tarif minimal non nul en dehors des heures de pointe afin d'obtenir un transfert modal suffisant. Ensuite, il faut que les écarts au niveau des montants entre les différentes plages horaires soient suffisamment importants afin de convaincre une partie des navetteurs de l'opportunité d'un changement d'heure de départ. De la sorte, le trafic, ainsi étalé, s'en retrouvera fluidifié.

Nous n'allons pas nous lancer dans la recherche de ce péage idéal au sein de ce travail. En effet, comme nous l'avons mentionné précédemment, le paramétrage du modèle n'est pas encore assez fin pour tirer des conclusions numériques permettant de déterminer la configuration optimale du tarif (montant et répartition horaire).

De plus, même si nous n'avons pas réalisé d'analyse de sensibilité dans les règles de l'art, la phase de calibrage semble indiquer que le modèle soit assez *chatouilleux* vis-à-vis des valeurs de certains paramètres (notamment le temps de trajet en transport collectif).

Enfin, cela reste un modèle et, à ce titre, il faut toujours prendre du recul par rapport aux résultats fournis en gardant à l'esprit les différentes hypothèses et simplifications mises en œuvre. En particulier, il reste une grande inconnue relative au lien entre le montant du péage et le poids du critère associé au sein du modèle.

## **4.9 Conclusions et perspectives**

Nous avons présenté au cours de ce chapitre un modèle dynamique permettant d'analyser les déplacements des navetteurs à la pointe du matin. Le modèle créé présente une double dynamique : au niveau du choix des heures de départ d'une part et au niveau du choix du mode de déplacement d'autre part.

Les choix sont effectués individuellement grâce à une analyse multicritère par une population de navetteurs virtuels, caractérisés par les poids qu'ils accordent à chaque critère. Ces poids ont été attribués de façon aléatoire à chacun de ces navetteurs virtuels sur base de distributions de probabilité censées représenter les disparités existantes au sein de la population réelle.

Cette méthode des poids stochastiques nous permet de répondre du tac au tac à la question délicate traditionnelle à laquelle sont confrontés les modèles de congestion : « comment des navetteurs identiques arrivent-ils finalement à choisir des heures de départ différentes ? » Notre réponse en est effectivement grandement simplifiée : « Parce qu'ils sont différents ! » (au niveau de l'importance qu'ils accordent aux différents critères).

En outre, nous avons, contrairement à la plupart des modèles de trafic, considéré que le nombre des navetteurs automobilistes n'était pas constant mais pouvait varier. Cette variation est l'effet de transferts modaux éventuels qui peuvent aller dans les deux sens.

La grande originalité de notre modèle de choix modal est le fait que le choix est réalisé là aussi individuellement (par un navetteur virtuel) et sur base, non pas d'un coût agrégé, mais d'une véritable analyse multicritère ne se limitant pas aux seul coût et temps de parcours, mais prenant en compte divers critères comme l'incertitude sur la durée du trajet, le mode en cours, etc.

Si le sous-modèle de trafic a pu être calibré et validé de façon relativement solide, il n'en a pas été de même du sous-modèle du choix de mode, les contraintes posées étant insuffisantes pour un paramétrage suffisamment fin.

Ce constat nous a poussé à abandonner l'idée de réaliser des scénarios précis pour Bruxelles et à nous tourner vers des scénarios plus qualitatifs afin d'avoir une idée générale de la configuration du péage à mettre en place.

Nous avons développé six scénarios différents en plus d'un scénario de référence de type BAU. Les résultats obtenus ont montré que la meilleure solution pour un péage en Région Bruxelles-Capitale était un péage modulé dont la configuration tarifaire reste à déterminer avec deux éléments importants : un tarif minimal non nul afin d'obtenir un transfert modal suffisant et des écarts au niveau des montants entre les différentes plages horaires suffisamment importants pour étaler la pointe et fluidifier le trafic.

Le modèle proposé ne se réduit pas aux résultats qu'il peut donner actuellement. Il est, à nos yeux, un outil de qualité certes, mais qui reste à perfectionner.

Certaines améliorations seront très faciles à réaliser, comme la modification de fonctions de préférence ou bien l'ajout de nouveaux critères si nécessaire.

D'autres nécessiteront un peu de travail, mais sont faisables comme l'introduction d'un nouveau mode de déplacement (le covoiturage par exemple).

Il est possible également que les disparités ne soient pas entièrement traduisibles par des poids stochastiques. Dans ce cas, il faudra introduire plusieurs fonctions de préférence pour un même critère (par exemple, une pour les « cols blancs » et une pour « les cols bleus »). C'est une modification réalisable avec un peu de temps.

A terme, pour pouvoir améliorer le modèle, il faudra l'intégrer dans un modèle beaucoup plus large ayant une configuration géographique beaucoup plus développée et tenant compte de la répartition des logements et de l'emploi.

## **Conclusion**

Au début de ce mémoire, nous mentionnions que de plus en plus de voix s'élevaient contre la sacro-sainte voiture. Aujourd'hui, nous ne pouvons que leur faire écho après avoir vu les conséquences chiffrées de nos choix de mobilité en termes de qualité d'air, d'émissions de gaz à effets de serre et de congestion notamment.

Face aux échecs répétés des différentes mesures prises en matière de mobilité, nous voulions étudier de plus près une mesure très en vogue actuellement, notamment après le *ralliement* récent de Milan : le péage urbain.

Bien que nous ne saurions être exhaustif à ce sujet, nous pensons globalement avoir abordé les points essentiels au sein du chapitre 3.

Tant la théorie économique sur laquelle le péage se fonde que les résultats positifs des expériences de Londres et surtout de Stockholm nous conduisent à penser que l'instauration d'un péage à Bruxelles est une bonne mesure d'autant que les arguments des opposants semblent s'effondrer les uns après les autres.

Il en reste cependant un à nos yeux qui reste indémontable, c'est le problème de l'atteinte à la vie privée : des mesures peuvent être prises pour tenter de la préserver, mais rien ne permet de la garantir. Est-ce un argument suffisant pour empêcher la mise en place de cette mesure pourvue par ailleurs de tant d'avantages ? A voir.

La section 3.7 nous a permis de cerner un peu mieux à quoi ressemblerait un péage à Bruxelles : il s'agirait d'un péage de zone ciblant résidents et navetteurs avec probablement l'emploi de la technologie GPS . On y a trouvé une évaluation des investissements nécessaires au niveau du péage lui-même, mais aussi au niveau des transports publics de façon à pouvoir accueillir les voyageurs issus du report modal espéré..

Pour mieux comprendre l'impact d'un péage urbain au niveau du report modal et des conditions de trafic, notamment la congestion sur les routes d'accès de la ville, nous avons établi un modèle de simulation. Le modèle ainsi créé concerne les déplacements matinaux (5h-11h) des navetteurs uniquement, il étudie à la fois leurs choix en matière d'heures de déplacement et de mode de transport.

Ce modèle est doublement dynamique au niveau de ces choix, qui sont effectués grâce à des analyseurs multicritères et une population d'individus représentés par le poids qu'ils accordent aux différents critères.

La validation du sous-modèle de choix de mode étant insuffisante à nos yeux, nous avons pris la décision d'abandonner l'idée de réaliser des scénarios *prédictionnels* et de nous tourner vers des scénarios qualitatifs.

Six scénarios de ce type ont été réalisés et sur base des résultats obtenus, il semble que le meilleur choix de péage pour Bruxelles soit un péage modulé, suivant dès lors plus le modèle de Singapour que celui de Londres.

La modulation du tarif reste encore à préciser, mais deux éléments à son sujet semblent importants pour pouvoir atteindre les objectifs de la Région : un tarif minimal non nul afin d'obtenir un transfert modal suffisant et des écarts au niveau des montants entre les différentes plages horaires suffisamment importants pour étaler la pointe et fluidifier le trafic. Cela étant dit, il ne faut pas perdre de vue que le montant du tarif sera également un choix politique, enfin s'il se présente un jour...

## **Bibliographie**

ADEME (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie), janv. 2008. *Efficacités énergétique et environnementale des modes de transports. Synthèse publique*

ARNOTT R., DE PALMA A, LINDSEY R, 1993, *A Structural Model of Peak Period Congestion: "A Traffic Bottleneck with Elastic Demand"*, American Economic Review, pp.161-179

BOITEUX . M., BAUMSTARK L, juin 2001, *Transports : choix des investissements et coûts des nuisances, Commissariat Général du Plan, La Documentation Française.*

CENSYDIAM sa., juillet 2000, *Attente des habitants de Bruxelles : étude qualitative et quantitative* , tome 8

CORNELIS E., TOINT P. et al., Avril 2001, *Rapport final SSTC, Enquête nationale sur la mobilité des ménages*, (Programme mobilité durable)

DEGROOF A., CARLIER K, (CEESE et TML), juin 2006, *Indicateurs de transport géographiquement désagrégés pour la Belgique.*

DENANT-BOEMONT L (PREDIT 1996-2000, Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement) *Les modèles structurels de congestion : une étude expérimentale*, Rapport final produit dans le cadre de la recherche portant sur les « Eléments des politiques de transport : une approche par l'économie expérimentale – Application au choix d'itinéraire »

DE PALMA A, LINDSEY R, PROOST S., 2006, *Research Challenges in modelling urban road pricing: An overview*, Transport Policy, 13, pp.97-105

DE PALMA A, 1998, *Individual and Collective Decision Making: Application to Travel Choice*, Theoretical Foundations of Travel Choice Modeling, Gärling, T., Laitila, T. & Westin, K. eds., Chapter 2, Pergamon Press, Elsevier, pp.33-50

DE PALMA A., KHATTACK A, GUPTA D, 1997, *Commuters' Departure Time Decisions in Brussels, Belgium*, Transportation Research Record, 1607, pp;139-146

DE PALMA A, FONTAN C. 2001, *Choix modal et valeur du temps en Ile-de-France. Recherche Transports Sécurité*, n° 71, pp. 24-48.

DE SMET Y, SPRINGAEL J, KUNSCH P., 2002, *Towards Statistical Multi-Criteria Decision Modelling: a first approach* , Journal of Multi-Criteria Decision Analysis, vol. 11, n°6, pp.305-313.

DOBRUSZKES F., FOURNEAU Y., mai 2007, *Coût direct et géographie des ralentissements subis par les transports publics bruxellois*

DOBRUSZKES F., FOURNEAU Y, février 2001, *Coût et analyse spatiale des ralentissements subis par les transports publics de surface à Bruxelles*, Transport Public International, pp. 26-31

FAVREL V., MARECHAL K., HECQ W. et al. (CEESE), août 2001, *Mobilité Durable en Région Bruxelloise. Analyse des impacts sur l'environnement - Évaluation des externalités physiques et monétaires.*

FORRESTER J.W, *Urban dynamics*, Cambridge, M.I.T Press, 1969

GACOGNE V., journée Afscet octobre 2006. *Pédagogie de la Gouvernance et Gouvernance de la Pédagogie. Les modèles de dynamique des systèmes : des outils pédagogiques pour une aide à la gouvernance des systèmes.* (Complexio)

HUYTEBROECK E, SMET P, mai 2006, Conférence de presse « *Plan Air* » : *mesures de lutte contre la pollution de l'air générée par la circulation automobile.*

INFRAS-IWW, Mars 2000 *External Costs of Transport*, Study for the International Union of Railways

Inter Environnement Bruxelles, décembre 2007, *Le péage urbain aux portes de Bruxelles : la clé d'une ville humaine ?*

KUNSCH P, SPRINGAEL J. and BRANS J.-P, 2001, *Traffic Crowding in Urban Areas. Control with Urban Tolls and Flexible Working Hours*, Belgian Journal of Operational Research, Statistics and Computer Science, vol. 41 , pp. 189-202

LOBE P., DUCHATEAU H., nov. 1998, *Impacts of transport price on mobility and land use in the Brussels area*, presented at the Symposium International sur le Financement de la Route.

MAIBACH M., 2001, *The external costs of transportation*, Cat.Instit.,vol.32.

Ministère de la Région de Bruxelles-Capitale, AED, Direction de la politique des déplacements, décembre 2006, *Mise à jour et adaptation du plan des déplacements urbains de la Région de Bruxelles-Capitale Rapport Final*, STRATEC.

MIRABEL François, 14 sept. 2004, *Les péages urbains, une solution pour un développement durable des villes ?*, Colloque Monder (Québec)

MIRABEL François, 2001, *Impact du péage urbain sur la répartition modale et la structure temporelle du trafic automobile*, Revue d'Economie Régionale et Urbaine, n°3.

Groupe MOBILITE ET TRANSPORTS, *Mobilité et transports en Ile-de-France : état des lieux*, octobre 2005, chapitre 6: Contraintes financières et difficultés de mise en œuvre, paragraphe 6: Le péage urbain entre enjeux techniques et politiques.

PROGRESS Project 2000, Juillet 2004, *Pricing road use for greater responsibility, efficiency and sustainability in cities* (Bristol, Copenhagen, Edinburgh, Genoa, Gothenburg, Helsinki, Rome, Trondheim), CM.10390, Main Project Report.

RAUX Charles, 2007, *Le péage urbain (Le point sur)*, La Documentation Française

RAUX C., LHOMET E., MASSON S., 1996. *Un modèle stratégique de simulation des déplacements urbains. Conception et aspects méthodologiques*. Recherche Transports Sécurité, n°52, pp. 31-43.

SAFIROVA E. et al., septembre 2006, *Congestion Pricing, Long-Term Economic and Land-Use Effects*. Ressources for the future (RFF-DP-06-37)

Service Public Fédéral Mobilité et Transports, 2003, *Recensement de la circulation 2006*, N°22.

SOUCHE S., 2003. *Péage urbain et équité : une revue de la littérature*, in les Cahiers Scientifiques du Transport, n° 43

SPRINGAEL J, KUNSCH P.L. and BRANS J.-P, 2002, *A multicriteria-based system dynamics modelling of traffic congestion caused by urban commuters*, Central European Journal of Operational Research (CEJOR), 10, pp.81-97

SQUILBIN M. et al., mars 2006, *Air bruxellois et transport*, Rapport technique, IBGE

Transport for London (TfL), juillet 2007. *Central London Congestion Charging: fifth annual impacts monitoring report*.

VICKREY, 1969, *Congestion theory and transport investment*, Amer. Econ. Rev., n° 59, pp.251–260

## Les plans officiels (sites internet)

Service Public Fédéral Belge, 2004, *Plan Fédéral de Développement Durable. 2004-2008*.

Commission interdépartementale pour le développement durable, *Avant-projet de plan Fédéral de Développement Durable 2009-2012*

Plan Régional de Développement : <http://www.prd.irisnet.be/Fr/info.htm>

MOBIL 2015 : [www.mobil2015.irisnet.be](http://www.mobil2015.irisnet.be)

Plan Air Climat : <http://www.ibgebim.be/francais/contenu/content.asp?ref=463>

Plan IRIS: [www.iris2.irisnet.be/Public](http://www.iris2.irisnet.be/Public)

Plan IRIS 2 (à paraître)

Plan National Climat 2002-2012 : <http://www.mobilit.fgov.be/data/mobil/broch03f.pdf>

## Annexes

### 1) Programme Matlab

Disponible sur demande auprès de l'auteur (mvdeveld@ulb.ac.be)

### 2) Résultats des scénarios

#### Répartition modale

Origine	REF	PUmod	Pufort	PM1	PM2	PM1+	PM1++
Auto	64,2	66,2	59,5	46,4	61,1	52,9	59,9
Trans. Com	35,8	33,8	40,5	53,6	38,9	47,2	40,1

#### Caractéristiques générales du trafic

	REF	PUmod	Pufort	PM1	PM2	PM1+	PM1++
Vit.moy(km/h)	31,7	29,9	33,6	42,7	39,2	45,3	46,0
Durée traj.moy(min).	30,82	32,66	29,09	22,91	24,98	21,61	21,27
Temps moy.perdu(min)	22,82	24,66	21,09	14,91	16,98	13,61	13,27

#### Caractéristiques générales du trafic

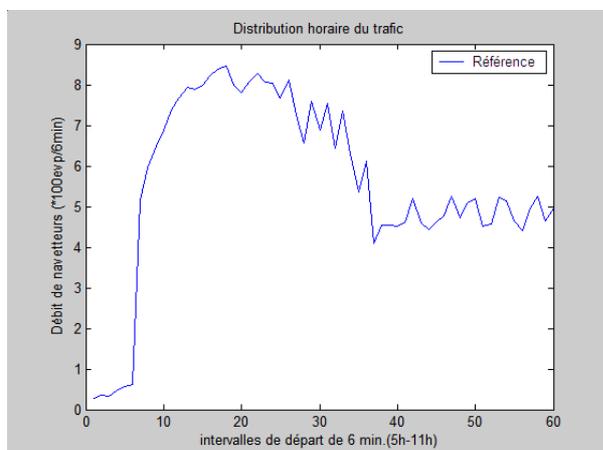
	REF	PUmod	Pufort	PM1	PM2	PM1+	PM1++
Durée de trajet max	65,017	65,535	60,134	50,492	53,178	44,97	40,516
Temps perdu maximal	57,017	57,535	52,134	42,492	45,178	36,969	32,516

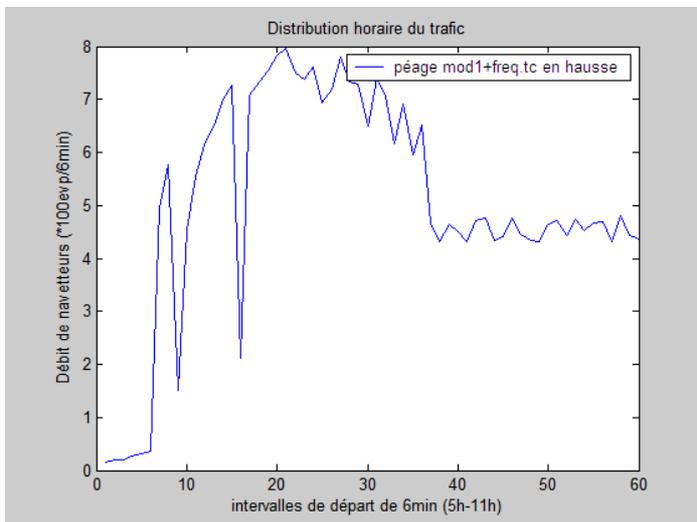
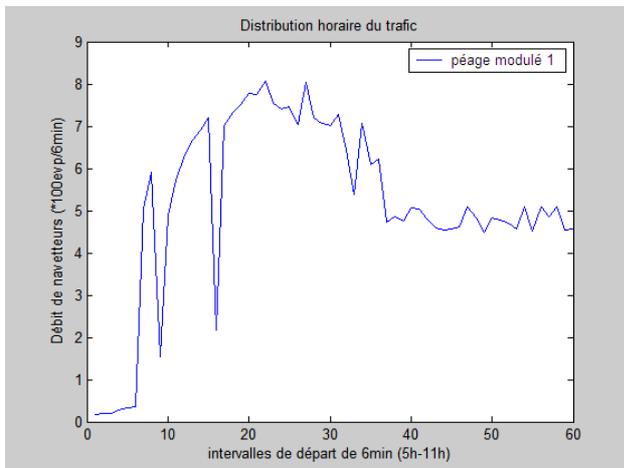
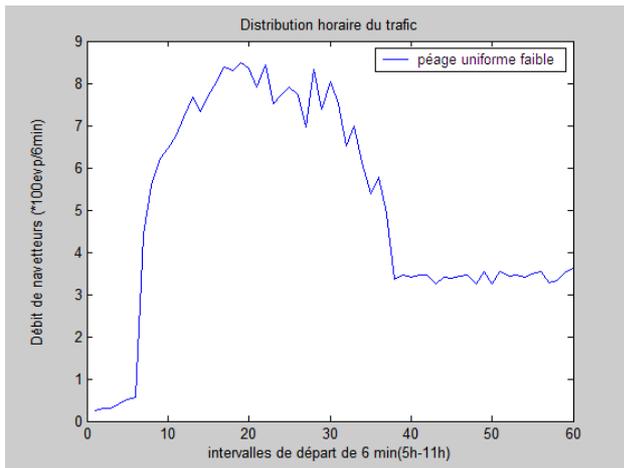
  

	REF	PUmod	Pufort	PM1	PM2	PM1+	PM1++
	57,020	57,540	52,130	42,490	45,180	36,970	32,520

#### Impacts péage

	REF	PUmod	Pufort	PM1	PM2	PM1+	PM1++
Nombre de payeurs	0,0	303,0	236,0	171,7	172,4	166,5	158,5
Recettes totales ( en u.p)	0,0	242,4	708,0	570,1	603,5	563,1	544,3





### 3) Relevé comptage autoroutier

Disponible sur demande auprès de l'auteur (mvdeveld@ulb.ac.be)

