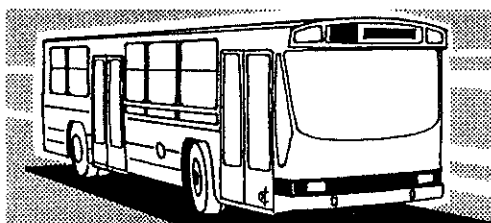


# Autobus non-polluants : quelles solutions techniques pour les réseaux ?

Patrick COROLLER,  
Jean-Loup  
GAUDUCHEAU,  
Département  
Technologies des  
Transports  
ADEME



La prise en compte des phénomènes de pollution atmosphérique ainsi que la Loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie viennent de placer sous les feux de l'actualité les nécessaires actions en faveur des véhicules propres et économes. Les mesures liées à la réduction des pollutions atmosphériques et sonores revêtent une importance particulière dans le secteur des autobus urbains. Ces derniers, présentant une efficacité énergétique favorable, sont en effet largement évoqués comme une solution de dépollution notamment en milieu urbain.

Les mesures de limitation des émissions des autobus illustrent dans bien des cas l'image environnementale de la ville et contribuent à renforcer l'attractivité des transports en

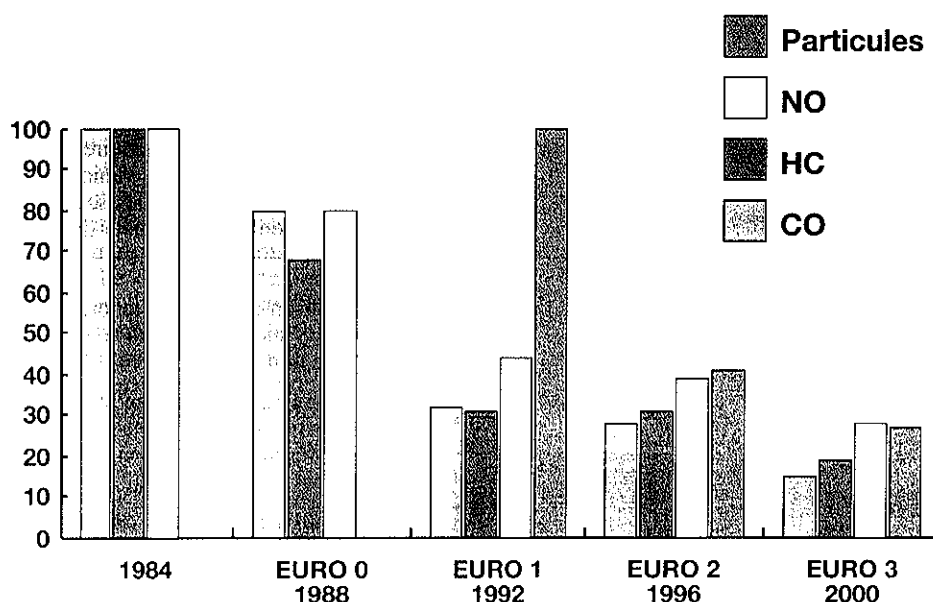
commun. Le parc actuellement en service, estimé à 14 000 unités, consomme environ 2 % du total de l'énergie des transports en ville. Il est à l'origine d'environ 2 % des émissions HC et de 4 à 6 % des émissions de NOx et de particules. Ces véhicules sont caractérisés par une durée de vie longue (environ 15 ans) et par un prix d'achat élevé, de l'ordre d'un million de francs par unité).

Le processus de réduction des émissions polluantes des véhicules lourds est relativement récent. Il a débuté en 1984 avec le règlement R49. Depuis cette date, trois étapes de sévrisation de ces normes se sont succédé pour aboutir aujourd'hui à la norme EURO 2.

Le graphique ci dessous montre l'évolution des valeurs réglementaires (1) maximales de quatre polluants durant cette période ; la mesure des particules est apparue en 1992 (la base 100 correspond à la première norme).

Ainsi coexistent au sein d'un même réseau des autobus obéissant à des normes d'émission

(1) Mesurées sur banc moteur en utilisant un cycle constitué de 13 points de régimes et de charges stabilisés, les valeurs normatives, exprimées en g/kWh, sont la combinaison linéaire des valeurs obtenues sur chaque point affectées de coefficients spécifiques.



*Le marché des autobus non polluants est actuellement en rapide évolution, tant du fait du resserrement progressif en Europe des valeurs limites de polluants autorisées que des progrès technologiques réalisés par les constructeurs. Un nombre croissant de solutions s'offrent aux réseaux exploitants, d'abord dans le domaine du choix des carburants – gazoles reformulés ou oxygénés, gaz naturel, gaz de pétrole liquéfié – que dans celui du système de post-traitement : catalyseurs d'oxydation, filtres à particules, etc. En complément se développe également le marché des véhicules électriques ou hybrides. Chaque solution a ses atouts et ses faiblesses : les marchés sont complémentaires et la conjonction des différentes filières au sein d'un réseau est probablement la solution au défi technologique de réduction des émissions.*

■ Fig. 1. Évolution des émissions autorisées de polluants (réglementation européenne)

## Qu'est ce que la pollution atmosphérique ?

La pollution est définie par tout ce qui est susceptible de dégrader l'environnement humain. Les transports, tels que nous les connaissons actuellement, sont à l'origine d'un grand nombre de phénomènes que l'on peut qualifier de polluants (émissions de gaz, de liquides et de solides, bruits, etc.). Couramment, le terme de polluant se limite généralement aux émissions de gaz et de solides à l'échappement des véhicules.

La combustion complète d'un hydrocarbure dans l'oxygène de l'air ne conduit qu'à la formation de vapeur d'eau et de CO<sub>2</sub>. Or un moteur en utilisation réelle rejette plusieurs milliers de composés à l'atmosphère. Tous ne sont pas connus ni détectables, on limite donc les investigations à quelques classes de produits.

Actuellement les normes antipollution portent sur quatre classes de produits (polluants réglementés) :

- le **monoxyde de carbone** est engendré par une combustion incomplète des hydrocarbures. Il est inodore et incolore. Il est toxique et mortel à forte dose. Le moteur diesel conduit à de faibles émissions de CO. Ce gaz est facilement oxydable par traitement catalytique ;
- les **NOx (ou oxydes d'azote)** sont des gaz irritants et entrant dans le mécanisme de formation de l'ozone. Ils sont formés lorsque

la combustion est très énergétique et en présence d'un excès d'air (typiquement dans le cas d'un moteur diesel en forte charge). Dans ces conditions, son élimination par post-traitement est très difficile ;

- les **particules** sont définies par l'ensemble des poussières solides émises à l'échappement. Leur taille (de 10 nm à 0,3 mm) et leur composition chimique est très variée. L'effet des particules sur la santé n'est encore que partiellement connu : il apparaît cependant que les particules visibles de forte taille (fumées) ont un pouvoir de pénétration dans les voies respiratoires qui est inférieur à celui des particules plus fines. La mesure réglementaire ne concerne que la masse totale de ces particules ;
- la classe des **hydrocarbures imbrûlés (HC)**, regroupe des espèces très variées aussi bien au niveau des quantités émises que de leur nocivité.

Parmi les polluants **non réglementés**, figurent des composés dont l'action néfaste sur la santé est reconnue :

- les composés aromatiques légers (en particulier le benzène) sont surveillés du fait de leur action cancérigène ;
- les aldéhydes (composés oxygénés) ont aussi un impact cancérigène ;
- les aromatiques lourds (HAP) ;

- les composés à base de soufre qui conduisent à la formation d'acide sulfurique ;
- les extraits métalliques.

Le CO<sub>2</sub>, gaz à effet de serre, qui n'est pas à proprement parler un polluant mais dont les émissions mesurent la consommation d'une énergie fossile.

La limitation des émissions polluantes est un exercice rendu délicat par la complexité de la mesure et le nombre de paramètres à prendre en compte :

- le nombre d'espèces ;
- la difficulté de caractérisation de certains polluants (mesure, conditions d'essais représentatives) ;
- la multitude de paramètres influents (carburants, technologie moteur, post-traitement, conditions d'utilisation du moteur) ;
- l'évolution antagoniste de certains d'entre eux lors d'une modification d'un paramètre ; par exemple, l'amélioration de la combustion permettant de réduire les émissions de particules conduit généralement à une augmentation des émissions de NOx ;

On voit donc d'une part que la comparaison directe entre différentes filières est un exercice hasardeux, le choix d'une ou de plusieurs d'entre elles est le fruit d'un compromis entre les éléments précédents.

## Règlements antipollution

La réglementation antipollution poids lourds, à laquelle se rattachent les autobus, consiste en une limitation des émissions des quatre polluants réglementés CO, HC, NOx et la masse de particules. Les seuils, donnés par le tableau ci-contre, correspondent aux valeurs maximales admissibles mesurées sur une série de 13 points prédéfinis de fonctionnement stabilisé. Seuls le moteur et son post-traitement éventuel sont testés.

Ces conditions sont peu réalistes par rapport à l'utilisation réelle d'un autobus car elles ne tiennent pas compte des phénomènes transitoires (phases d'accélération et de décéléra-

Tableau 1. Valeurs maximales admissibles des quatre polluants réglementés.

CO g/kWh	HC g/kWh	NOx g/kWh	particules g/kWh
4	1,1	7	0,15

tions fréquentes caractéristiques d'un parcours d'autobus) généralement défavorables aux émissions (fumées à l'accélération par exemple). L'évolution normative des émissions polluantes d'un autobus n'est donc pas forcément représentative des émis-

sions réelles de ce dernier ; en d'autres termes si un autobus "EURO 2" émet 60 % de particules en moins sur le cycle réglementaire que son homologue "EURO 1" il n'est pas établi que le même ratio s'applique en conditions réelles de circulation.

La future norme EURO 3, applicable dès le 1-1-2000, résout en partie ce problème en intégrant des phases transitoires dans les essais réglementaires (toujours réalisés sur banc moteur). Ces essais concernent les véhicules utilisant des motorisations au gaz (GPL, GNV) ainsi que les véhicules diesel équipés de filtres à particules.



■ Fig. 2. "Pour mémoire, actuellement, près de la moitié des véhicules circulant en France ont été mis en service avant 1992, date d'entrée en vigueur de la norme Euro 1" (photo J.-L. La Rosa).

très différentes. Pour mémoire, actuellement, près de la moitié des véhicules circulant en France ont été mis en service avant 1992, date d'entrée en vigueur de la norme EURO 1.

Cette situation conduit les autorités organisatrices et les exploitants à mener une réflexion à deux niveaux :

- les actions à mettre en œuvre pour dépolluer le parc existant (les solutions envisagées diffèrent en fonction de l'âge des véhicules) ;
- les mesures nouvelles à adopter lors du renouvellement des flottes : il s'agit dans ce cas d'opter pour des véhicules dont les émissions sont plus faibles que celles des autobus diesel actuels.

# 1. Les actions à mettre en œuvre sur le parc existant

Certaines solutions d'ordre technique peuvent être appliquées sur un grand nombre de véhicules. Elles peuvent être rapidement mises en œuvre et avoir, par voie de conséquence, un impact immédiat sur les émissions et consommation du parc.

On peut citer en premier lieu les **carburants améliorés** destinés à remplacer le gazole. Leur formulation est prévue pour réduire les émissions des véhicules. On situe les gains entre 5 et 20 % par polluant selon les formulations envisagées et les véhicules concernés.

Deux catégories de carburant sont distinguées : les gazoles reformulés et les gazoles oxygénés.

- **Les gazoles reformulés** : ces carburants sont composés d'une base gazole ayant subi des traitements afin de réduire les concentrations de certains composés néfastes aux émissions. Le paramètre le plus représentatif est la teneur en soufre (2). Actuellement de 500 ppm (soit 0,05 % en masse) cette concentration sera réduite pour l'ensemble du parc gazole à 350 ppm en 2000 puis 50 ppm en 2005. L'utilisation de souches à très basse teneur (moins de 50 ppm) permet une réduction modérée de certains polluants (particules surtout). Cette mesure se heurte actuellement aux difficultés de production de l'industrie pétrolière en raison d'une technique de raffinage plus complexe imposant un surcoût et limitant, dans l'état actuel des technologies, la capacité de production. Le prix au litre est supérieur à celui du gazole traditionnel. L'utilisation seule de ces carburants n'est cependant pas une solution optimale. L'intérêt principal de ces carburants réside dans le fait qu'ils permettent l'utilisation de post-traitements (voir plus loin).

- **Les gazoles oxygénés** : il s'agit d'ajouter des composés oxygénés au gazole traditionnel. Dans cette catégorie entrent les émulsions eau-gazole (EEG) telles que l'Aquazole dont le principe est une baisse de la température de combustion (et donc des NOx) par l'ajout d'eau. Un effet sur l'opacité des fumées est également attendu. Ce carburant fait actuellement l'objet d'une expérimentation sur des réseaux de transports en commun de la région parisienne. Le diester (esther méthylique de colza) est un composé oxygéné d'origine végétale. Il peut entrer dans la composition du gazole traditionnel jusqu'à 5 %. Des concentrations supérieures (couramment 30 %) permettent une réduction des émissions

imbrûlées de CO et HC et une réduction de la teneur en soufre. Cette filière présente des atouts réels sur le plan de la diversification énergétique et de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> (source renouvelable).

Outre les actions relatives au carburant, il convient de mettre en œuvre des systèmes de **post-traitement efficaces** pour la dépollution des autobus en circulation (jusqu'à EURO 2). Ces dispositifs permettent d'achever la combustion après la chambre et de réduire ainsi les émissions de produits imbrûlés (CO, HC et particules). On distingue trois voies possibles :

- **Le catalyseur d'oxydation** qui apparaît pour les nouvelles générations d'autobus, peut être installé (coût de 10 à 20 kF) sur les véhicules anciens avec des gains sur les CO, HC (plus de 60 %), ainsi que sur la fraction soluble des particules (30 % en masse environ). Ses performances doivent être cependant testées sur la durée. L'utilisation d'un carburant à très basse teneur en soufre est conseillée car ce dernier inhibe l'action catalytique.

- Si depuis de nombreuses années la mise au point de **filtres à particules** s'est heurtée à un problème de tenue mécanique lors des régénérations, des solutions techniquement satisfaisantes voient aujourd'hui le jour. C'est le cas du filtre à particules catalytique (combiné d'un filtre à particules et d'un catalyseur d'oxydation permettant la régénération – combustion des particules piégées – en continu du filtre). Ce dernier, aux performances attractives (entre 80 et 90 % de réduction des suies), impose cependant l'utilisation d'un carburant spécifique à très basse teneur en soufre (moins de 50 ppm). Des essais de fiabilité sont actuellement en cours de réalisation.

- Reste le problème sensible de la **réduction des oxydes d'azote** qui fait l'objet d'importantes recherches. Il est sans doute exclu de voir apparaître des systèmes de post-traitement de NOx avant 2005. Des solutions intermédiaires sont actuellement explorées (réglage des moteurs privilégiant les NOx au dépend des particules puis post-traitement de ces dernières).

Parallèlement aux actions sur les carburants et le post-traitement, il apparaît souhaitable de rechercher des solutions visant à **améliorer les conditions d'utilisation des autobus** en circulation. On peut citer l'optimisation des usages et de l'affectation des véhicules en fonction de leurs performances, la formation à la conduite économique, un entretien rigoureux du parc avec le renforcement des visites techniques.



■ Fig. 3. "Le diester (esther méthylique de colza) est un composé d'origine végétale [...]. Des concentrations de 30 % permettent une réduction des émissions imbrûlées de CO et HC et une réduction de la teneur en soufre" [...] C'est une source renouvelable" ("Je roule au colza", Evreux, photo A. Sutter).

*Certaines solutions techniques peuvent être appliquées sur un grand nombre de véhicules ; elles peuvent être rapidement mises en œuvre.*

(2) Les traitements mis en œuvre pour réduire la teneur en soufre du gazole conduisent à l'amélioration de certaines autres caractéristiques comme l'augmentation de l'indice de cétane ou la réduction de la teneur en polyaromatiques. Les gazoles fortement désulfurés ont une formulation sensiblement différente de celle du gazole traditionnel.

## 2. Les solutions nouvelles à adopter lors du renouvellement des flottes

*Il est nécessaire d'accélérer le renouvellement du parc afin de remplacer les vieux véhicules, au fonctionnement généralement dégradé, par des véhicules neufs.*

Il est nécessaire d'accélérer le renouvellement du parc afin de remplacer des véhicules anciens, au fonctionnement généralement dégradé, par des véhicules neufs (obéissant aux dernières normes en vigueur). Les motorisations traditionnelles au gazole subissent actuellement de nombreuses modifications visant à réduire les émissions polluantes (EGR, injection électronique, etc.). Les normes d'émissions tendent à se sévérer. Prochainement la norme EURO 3 permettra de tester les performances selon des cycles plus proches des conditions réelles d'exploitation. L'amélioration des carburants (évoquée plus haut) viendra s'ajouter à l'évolution technologique. Mais bien que bénéficiant d'un grand savoir faire technologique, la filière diesel présente des inconvénients au niveau des émissions polluantes :

- elle engendre des émissions de particules supérieures à celles des autres carburants routiers ;
- le gazole étant un produit lourd, sa combustion donne naissance à des hydrocarbures imbrûlés complexes (HAP) ;
- le moteur diesel émet des NOx en condition de forte charge.

Les travaux s'orientent donc sur le choix d'autres carburants permettant par leur nature de diminuer ces émissions.

Les carburants gazeux, du fait de leur grande légèreté (GNV ou GPL), présentent par rapport aux carburants classiques des atouts environnementaux incontestables liés à leur composition. Ils offrent une bonne compatibilité avec les motorisations à allumage commandé et permettent un excellent comportement à froid en matière d'émissions (petits parcours, basses températures), ce qui conduit à une utilisation particulièrement attractive en zone urbaine.

• Le fonctionnement des véhicules au **gaz naturel (GNV)** réduit de manière très sensible les émissions sonores et olfactives et supprime les fumées noires. Stocké sous forme gazeuse à 200 bars, il autorise une autonomie de l'ordre de 300 km sur un autobus. Les résultats en termes d'émissions polluantes montrent une absence totale de composés lourds ainsi que de particules. Les résultats obtenus sur les autres polluants progressent rapidement en fonction de l'évolution technique. Deux stratégies existent actuellement :

- la filière stœchiométrique (sans excès d'air ni de carburant) permettant l'adoption d'un catalyseur 3 voies réduisant dans une forte proportion les émissions de CO, HC, NOx ;
- la voie "pauvre" (fort excès d'air), très prometteuse en terme de consommation mais aussi d'émissions, est plus complexe à mettre en œuvre. Elle n'autorise actuellement que l'utilisation d'un catalyseur d'oxydation.

Un programme pilote en cours d'expérimentation sur six sites permettra de tirer tous les enseignements techniques et économiques de la filière GNV.

• **Le gaz de pétrole liquéfié (GPL)** possède comme le GNV des atouts environnementaux incontestables. L'offre industrielle d'autobus GPL apparaît. Des premières expérimentations vont voir le jour en France. Les motorisations utilisent des technologies issues des motorisations essence modernes (injection liquide, mélange stœchiométrique et catalyseur 3 voies). La filière mélange pauvre se développera à court terme en induisant un gain au niveau de la consommation.

• **L'électricité**, quant à elle, présente un intérêt environnemental réel pour des applications telles que les minibus ou midibus en centre ville : absence de gaz d'échappement et donc d'émissions à proximité de son lieu de conduite, suppression des émissions sonores, conduite plus souple et sécurisante diminuant les risques d'accident. Des lignes d'autobus électriques peuvent être mises en service pour des usages variés tels que la desserte de centres-villes ou de sites touristiques ou des navettes entre parcs de stationnement de périphérie et centres-villes.

• **L'hybridation** consiste à associer une motorisation thermique et une motorisation électrique, cette dernière permettant, par la dérivation d'une fraction de la puissance fournie et le stockage de l'énergie dans les batteries, d'augmenter le rendement (réduction importante de la consommation et donc des émissions de CO<sub>2</sub>). Le fonctionnement en mode électrique pur est parfois possible en zone urbaine dense. Les systèmes hybrides présentent l'avantage de ne pas nécessiter d'infrastructures d'approvisionnement spécifiques. Cantonnés jusqu'à présent au domaine de la recherche, des premiers autobus hybrides commencent à être commercialisés en Europe.

Enfin les "piles à combustible" présentent, à plus long terme, des perspectives de développement très prometteuses.

\*  
\* \*

**En conclusion**, le choix entre ces différentes filières est donc offert aux autorités organisatrices et aux réseaux. Elles ont chacune leurs propres atouts et leurs faiblesses pour des marchés le plus souvent complémentaires. Des études préalables doivent éclairer le choix des décideurs sur la solution optimale à mettre en œuvre pour leur flotte d'autobus en tenant compte de la taille du parc, de la vitesse commerciale, de la longueur des trajets et des contraintes d'infrastructures et de remplissage inhérentes aux filières envisagées. Sur un plan global, c'est la conjonction des différentes actions, dépollution et renouvellement, qui permettra de relever le défi technologique de la réduction des émissions et de consommation des réseaux d'autobus urbains.

■ Fig. 4. "L'électricité présente un intérêt environnemental réel pour des applications telles que les minibus en centre-ville" (desserte interne du centre historique de Florence, photo A. Sutter).



# De l'attrait contesté des centres-villes

Les trois récentes enquêtes-ménages de Rouen (1996), Toulouse (1996) et Strasbourg (1997) offrent l'opportunité de revenir sur une question permanente que pose l'évolution géographique des villes, celle de la place du centre-ville dans l'attractivité globale des agglomérations, qui permet de se faire une idée du processus de "multipolarisation" qui est à l'œuvre depuis deux décennies déjà. À Toulouse et à Strasbourg, l'enquête permet en outre d'apprécier les effets de la ligne de transport collectif en site propre, métro automatique VAL à Toulouse et tramway à Strasbourg.

## Poids absolu et poids relatif : des tendances contraires

À Rouen, les trois enquêtes menées dans les années soixante à quatre-vingts - 1968, 1973, 1983 - font apparaître une érosion régulière de la part du centre-ville (origine ou destination) dans le volume total des déplacements mécanisés (c'est-à-dire hors marche à pied) : entre ces deux dates, elle passe de 39 % à 30 %, soit un rythme moyen de 0,6 % par an. À Toulouse, entre 1978 et 1990, il atteint également 0,6 % par an. Pourtant, au cours de la dernière décennie, le rythme s'atténue fortement : il est identique à Toulouse et à Strasbourg, où il ne dépasse pas 0,3 % par an, mais s'élève encore à près de 0,5 % par an à Rouen. En 1996 et 1997, la part du centre-ville est de 24 % à Rouen, 18 % à Toulouse et 25 % à Strasbourg.

Ces parts relatives doivent cependant être replacées dans un contexte de croissance du nombre de déplacements, justifiée par l'évolution démographique et par l'augmentation du

### Centre-ville et ville centre

Les enquêtes-ménages découpent le périmètre d'étude en nombreuses zones. La commune centre de l'agglomération est constituée non pas d'une zone mais de plusieurs, ce qui permet d'isoler le centre-ville à proprement parler.

La commune de Strasbourg est ainsi découpée en cinq zones, le centre-ville regroupant 52 000 habitants sur les 206 000 que compte la commune. Outre Strasbourg, l'enquête a également porté sur une zone périphérique regroupant 357 000 habitants supplémentaires.

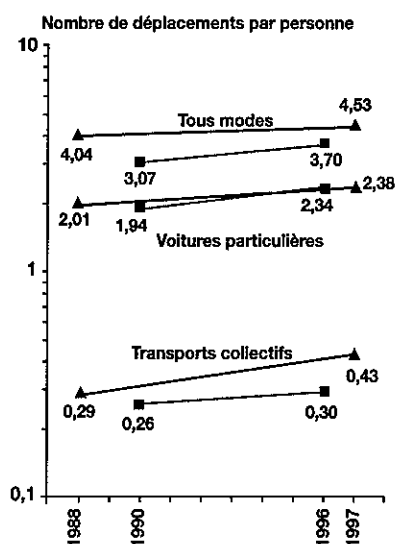
nombre de déplacements par personne (figure 1). De ce fait, en volume, le poids du centre-ville s'est accru de 16 000 déplacements à Toulouse entre 1990 et 1996 (soit 2,7 % par an) et de 31 000 à Strasbourg entre 1988 et 97 (soit 3,4 % par an).

Pendant le même temps, les déplacements mécanisés internes au centre-ville (c'est-à-dire ayant leur origine et leur destination au sein de la même zone centrale) ont régressé de 2 000 à Toulouse (-0,8 % par an) et de 5 600 à Strasbourg (-1,2 % par an).

## Part accrue pour les transports collectifs

Pour venir au centre-ville, le quitter pour la périphérie ou pour s'y déplacer sans en sortir, la répartition des déplacements entre les modes de transport mécanisés a-t-elle changé au cours de la dernière décennie, dans un contexte marqué par la création d'une ligne de transport en commun en site propre, métro automatique à Toulouse, tramway à Strasbourg et à Rouen ?

À travers les enquêtes menées à Toulouse et à Strasbourg (tableaux 1a et 1b), c'est une même tendance qui apparaît : dans les déplacements radiaux, la part de la voiture particulière est constante à Toulouse (60 %), et elle a faiblement régressé à Strasbourg, où elle est passée de 62 à 60 %. En revanche, la part des transports collectifs augmente dans les deux villes : elle passe de 32 à 34 % à Toulouse et de 25 à 30 % à Strasbourg, ce qui s'explique à la fois par la diminution de la marche à pied et par l'augmentation du volume de déplacements.



■ Fig. 1. Évolution du nombre de déplacements par personne. En bleu, Strasbourg ; en rouge, Toulouse (échelle logarithmique).

Tableau 1a. Évolution des déplacements radiaux de ou vers le centre-ville selon le mode de transport (en pourcentage des déplacements mécanisés).

	Toulouse		Strasbourg	
	VP	TC	VP	TC
1988	—	—	62 %	25 %
1990	60 %	32 %	—	—
1996	60 %	34 %	—	—
1997	—	—	60 %	30 %
variation	0	+2 %	-2 %	+5 %

Tableau 1b. Évolution des déplacements internes au centre-ville selon le mode de transport (en pourcentage des déplacements mécanisés).

	Toulouse		Strasbourg	
	VP	TC	VP	TC
1988	—	—	67 %	11 %
1990	58 %	22 %	—	—
1996	56 %	24 %	—	—
1997	—	—	58 %	17 %
variation	-2 %	+2 %	-9 %	+6 %

Car la stagnation ou le léger tassement de la part de marché de la voiture ne doit pas faire illusion : même si l'absence d'augmentation est une performance dans le contexte de la périurbanisation et de la poussée de l'usage de la voiture particulière, le volume des déplacements quotidiens en voiture impliqué dans les seuls trajets radiaux touchant le centre-ville a augmenté : 188 000 pour Toulouse en 1990, 199 000 en 1996, soit 11 000 de plus (+6 %) ; 185 000 pour Strasbourg en 1988, 203 000 en 1997 (+10 %). Cette progression en valeur absolue n'est nullement contradictoire avec celle des transports collectifs, si l'on prend en considération à la fois l'augmentation de la mobilité par personne, l'augmentation de la population et la diminution de la part de la marche à pied et des deux-roues. L'accroissement de la part de marché du transport collectif est donc loin de s'alimenter exclusivement au report modal.

Tableau 2. Effets du transport collectif en site propre sur le partage modal (en pourcentage des modes mécanisés).

	Toulouse dans la zone "métro"		Strasbourg dans la zone "tramway"	
	VP	TC	VP	TC
1988	—	—	60 %	27 %
1990	74 %	11 %	—	—
1996	68 %	27 %	—	—
1997	—	—	55 %	36 %
variation	-6 %	+16 %	-5 %	+9 %

### L'effet site propre est-il perceptible ?

Les enquêtes permettent enfin d'isoler le fameux "effet site propre", grâce à un découpage du territoire urbain adapté à ce suivi (un ruban autour des lignes de métro et de tramway). À distance rapprochée des stations (600 mètres au plus), l'effet des sites

propres – haute fréquence de passage, très bonne régularité, vitesse commerciale élevée – se fait nettement sentir (tableau 2) : entre 1990 (ou 1988 à Strasbourg) et 1996-97, la part de la voiture dans les déplacements mécanisés y tombe de 74 à 68 % à Toulouse et de 60 à 55 % à Strasbourg. Celle des transports collectifs bondit de 11 à 27 % à Toulouse et de 27 à 36 % à Strasbourg.

Ces résultats militent clairement en faveur de réseaux de TCSP, et non seulement d'une ligne sur laquelle il suffirait de greffer le reste du réseau, dont le service demeurerait assuré par des autobus sur voirie commune. À l'échelle des agglomérations, l'effet structurant est évidemment un effet de réseau et non un effet de ligne, insuffisant à faire basculer la tendance lourde favorable à la voiture particulière, ni à faire baisser le trafic routier en valeurs absolues.

Francis BEAUCIRE



■ Fig. 2. À distance rapprochée des stations (600 m au plus), à Strasbourg, la part de la voiture particulière tombe de 60 à 55 %, celle des transports collectifs s'élève de 27 à 36 % (photo E. Charlier).