

Chapitre 1 : Etat de l'art sur les réseaux de transport urbain

1. Introduction

Le développement progressif du trafic urbain incite les grandes villes à donner priorité aux transports publics. Le transport urbain est généralement confondu avec la terminologie de transports en commun. Il traite en réalité aussi le transport individuel comme la voiture ou le vélo. Autrement dit, le transport urbain concerne les divers moyens de transport qui sont propres à une ville ou un milieu urbain.

Ce chapitre est dédié à la présentation des systèmes de transport urbain et au processus de planification suivi par la description de la configuration d'un tel réseau. On abordera dans les sections suivantes, l'exploitation et l'offre de service dans un réseau de transport urbain. Enfin, une conclusion termine ce chapitre.

2. Présentation des systèmes de transport et du processus de planification

Le système de transport urbain se situe à la jonction d'un système de localisation de l'habitat et des activités et d'un système complexe de pratiques et de relations sociales. Il permet d'irriguer la ville en répondant à ses transformations.

La partie suivante décrit les différentes catégories de transport.

2.1. Les systèmes de transport

Les systèmes de transport en commun sont classés en plusieurs catégories :

- Les systèmes de transport non guidés
- Les systèmes de transport guidés tels que le tramway et le métro
- Les systèmes hybrides

Le réseau d'autobus est le système de transport non guidé le plus répandu. L'avantage du bus est de pouvoir contrôler son itinéraire. L'absence d'une infrastructure dédiée induit un coût d'exploitation peu important et permet de desservir des zones à faible densité de population. Les principaux inconvénients des systèmes de transport non guidés sont leur grande instabilité face à un événement instantané, leur totale dépendance vis-à-vis de la circulation routière, et leur gestion du personnel qui est lourde et difficile. Les inconvénients de ce mode de transport ont conduit les exploitations des grandes agglomérations à l'utiliser en complément d'autres systèmes guidés.

La principale caractéristique des systèmes de transport guidés est qu'ils sont exploités en sites propres. Par conséquent, ils ne sont pas totalement dépendants de la circulation. À la différence du métro qui dispose réellement d'un site propre, le tramway est plus ou moins dépendant de la circulation du fait qu'il emprunte généralement les voies routières.

Le tableau suivant synthétise les différents modes présentés précédemment, en mettant l'accent sur les avantages et les inconvénients de chacun d'eux.

Mode de transport	Avantages	Inconvénients
Non guidés (bus)	<ul style="list-style-type: none"> - Souplesse dans le choix d'itinéraire - Absence d'infrastructure dédiée - Coût d'exploitation peu important 	<ul style="list-style-type: none"> - Instabilité face à un événement instantané - Totale dépendance vis-à-vis de la circulation - Gestion du personnel lourde et difficile
Guidés (tramway, métro, train)	<ul style="list-style-type: none"> - Une exploitation en site propre - Une limitation stricte des mouvements autorisés 	<ul style="list-style-type: none"> - Dimensions réduites des réseaux - Des structures de lignes simples - Fréquence d'exploitation élevée - Comportement des usagers, ceux-ci arrivent aléatoirement en station

Tableau : Comparaison des modes de transport : Guidé et Non guidés

2.2. Processus de planification

Le processus de planification est effectué en général une fois par an et ne s'appuie que sur des prévisions de la demande et des durées des trajets entre les différents arrêts du réseau. L'objectif du processus de planification est d'établir une offre prévisionnelle de transport qui s'ajusterait à la demande. La configuration initiale des lignes du réseau ainsi que leur fréquence sont fixées comme données d'entrée. Les durées des trajets entre les différents points du réseau sont aussi considérées connues. A partir de ces données des tableaux

horaires sont établis et en résultent des courses qui correspondent aux temps et lieux d'arrivées et de départs des véhicules.

Le résultat de la planification se présente sous la forme de listes de service pour les différents intervenants dans l'exploitation, et aussi pour le Tableau de Marche théorique (TM). Ces TM représentent les différents horaires de passage des véhicules aux arrêts du réseau.

Pour estimer les flux des voyageurs, des enquêtes sont menées auprès des usagers et des systèmes de comptage sont placés au niveau des véhicules et des arrêts. Ces enquêtes et ses systèmes de comptage sont placés au niveau des véhicules et des arrêts. Ces enquêtes et ses systèmes de comptage permettent de modéliser les déplacements à travers des matrices origine-destination.

Il existe d'autres approches de planification du transport qui s'appuient sur des modèles stochastiques de la demande et sur les principes de files d'attente pour estimer les durées des attentes des voyageurs aux arrêts.

3. Configuration d'un réseau de transport urbain

Afin de décrire les éléments nécessaires à l'exploitation d'un réseau de transport urbain, on présente maintenant les constituants d'un tel réseau de transport.

3.1. Configuration physique

Un réseau de transport urbain est constitué, physiquement, d'un ensemble de lignes. Une ligne contient plusieurs arrêts. Parmi ces arrêts, on distingue quatre types.

- **Les arrêts simples** : sont caractérisés par des horaires de départ et d'arrivée des véhicules
- **Les arrêts de régulation** : sont caractérisés, en plus des arrêts simples, par la localisation des véhicules et la possibilité de commander les actions de régulation
- **Les arrêts terminus** : sont caractérisés, en plus des arrêts de régulation, par des véhicules vidés des clients
- **Les arrêts nœud de correspondances** : un arrêt de correspondance est un endroit d'échange de voyageurs entre deux modes de transport à une date donnée. Donc une correspondance est par définition spatio-temporelle.

Sur une ligne, on trouve au moins deux arrêts terminus. Lorsqu'une ligne comporte plus que deux arrêts terminus, elle est dite à antennes. Les structures de ligne X ou Y forment des antennes. Certains arrêts de ligne offrent la possibilité de commander des demi-tours et la possibilité de garer des véhicules.

La structure d'une ligne peut être plus au moins complexe, la figure suivante présente quelques exemples de structure de ligne.

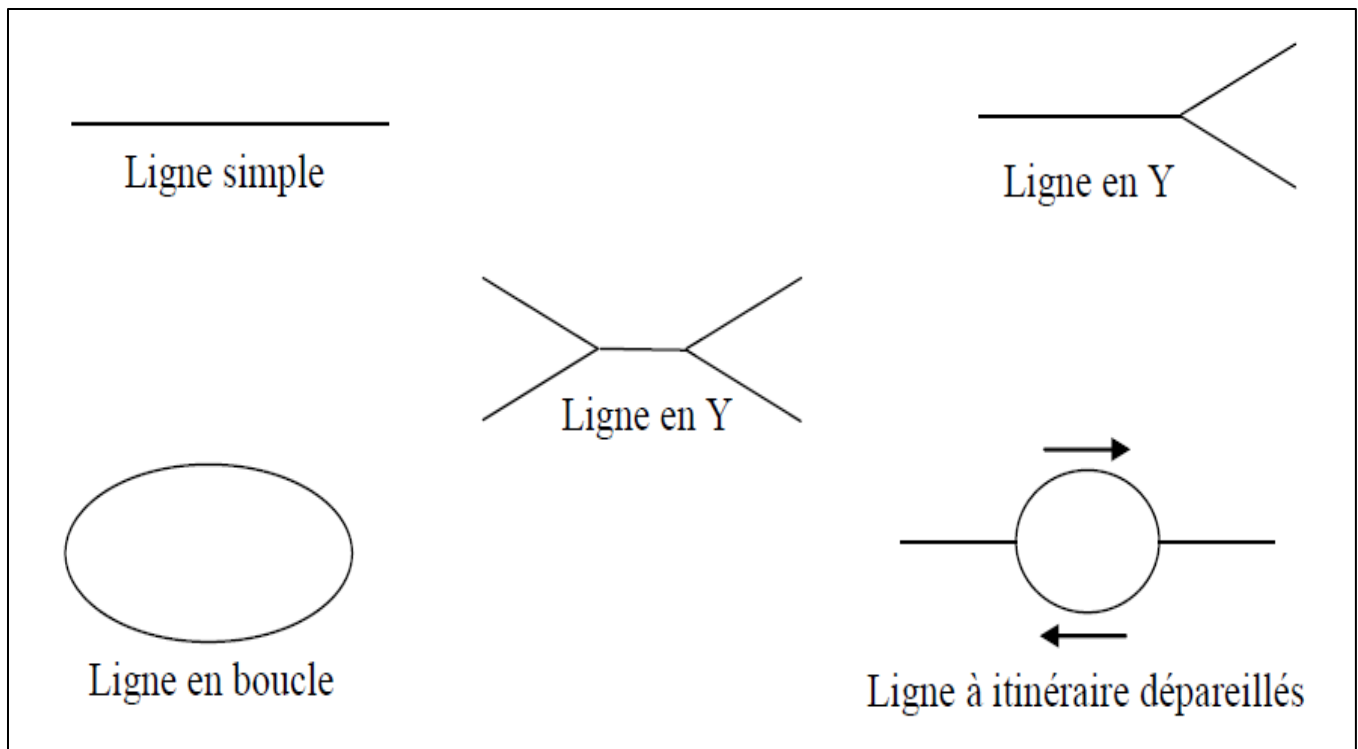


Figure 1.1 : Les structures des lignes

Logiquement, une ligne contient plusieurs itinéraires, des itinéraires commerciaux et des itinéraires spéciaux (par exemple : chercher des élevés d'école, ou chercher des travailleurs à la sortie d'une usine) qui appartiennent respectivement, aux lignes commerciales et aux lignes spéciales.

Un réseau par contre est composé de lignes. On peut regrouper ces lignes en plusieurs groupes de lignes selon les besoins. Chaque ligne est composée d'itinéraire. Un itinéraire est une liaison composite, de même qu'un tronc commun. Ce dernier peut être commun à plusieurs itinéraires. La figure 1.2 présente la structure d'un réseau de transport bus selon un formalisme entité association.

Dans un réseau de transport urbain, on trouve deux types de dépôts :

- Dépôt d'exploitation : assure la préparation et le contrôle d'un service sur une ligne.

- Dépôt de remisage : assure l'affectation des conducteurs, l'entretien des véhicules et le remisage proprement dit qui permet d'acheminer un véhicule du dépôt à l'itinéraire commercial et réciproquement.

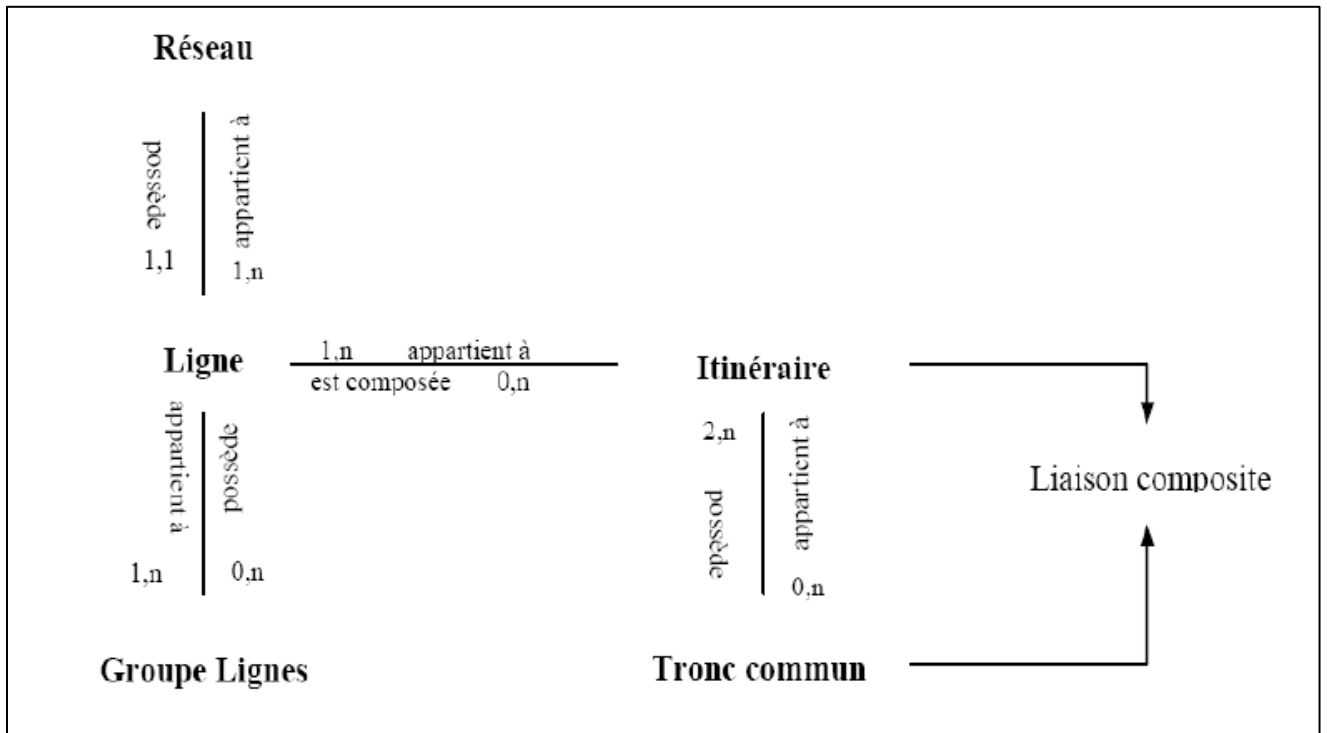


Figure 1.2 : structure d'un réseau

3.2. Configuration horaire

Le respect des horaires, la régularité de passage des véhicules, la qualité de déplacement conditionnent la qualité du service rendu aux usagers des réseaux de transport urbain.

Afin de pouvoir définir l'offre d'une ligne, une représentation graphique de l'ensemble des parcours au cours d'une journée est nécessaire. Cette opération, appelée graphilage, définit l'heure de passage des véhicules aux arrêts, la vitesse, les temps de battements, le nombre de véhicules nécessaires

et le nombre d'heure de conduite nécessaire pour la satisfaction de la demande sur la ligne.

Lorsque les données sont définies, il faut répartir les heures de travail à effectuer par les conducteurs en tenant compte de la législation du travail, des conventions locales qui président à la définition du temps travaillé au cours d'une journée, des types d'organisation du travail (services coupés, nombre de jours travaillés par série,...), Cette opération est dite habillage des services. L'habillage est un exercice fondamental pour le fonctionnement de toute l'entreprise de transport urbain, puisqu'elle détermine les plannings de travail des conducteurs d'une part, et doit veiller à minimiser les coûts et ainsi construire une solution acceptable pour l'entreprise d'une autre part.

Il est assez difficile d'obtenir une solution optimale d'habillage. Plusieurs semaines sont parfois nécessaires pour effectuer manuellement l'habillage, et si l'offre de service (le graphichage) est modifiée au cours d'une période, il faut réaliser un nouvel habillage. En outre, il faut réaliser plusieurs habillages d'un même graphichage afin de permettre un choix entre plusieurs solutions acceptables.

Lorsque le réseau est défini, le résultat doit être communiqué, pour chaque type de période (scolaires, vacances,) et de jour, à l'extérieur, par l'édition de documents horaires (affiches aux arrêts,), mais également à l'intérieur, pour le graphiqueur qui doit pouvoir juger de son travail, pour le conducteur, qui doit recevoir une description détaillée du service, pour le contrôleur, qui doit connaître le nombre de véhicules nécessaires à l'exploitation, leurs dates de sortie et leurs types.

La conception de l'horaire d'une ligne est une tâche assez complexe qui nécessite la définition de tous les itinéraires de la ligne. Le travail manuel peut

être assez lourd ; puisque la vitesse varie en cours de la journée (heures de pointes ou creuses) et que l'offre change suivant le type de la journée (jour férié, ...), la période de l'année (vacances scolaires, saison,...), des conditions météorologiques et des contraintes d'exploitation (nombre de véhicules, ...). Afin de pouvoir définir l'offre d'une ligne, une représentation graphique de l'ensemble des parcours au cours d'une journée est donc nécessaire.

4. Exploitation d'un réseau de transport urbain

Dans l'ensemble des réseaux de transport urbain, l'exploitation d'une ligne se décompose en deux phases distinctes (figure) :

- Une phase de conception et d'élaboration du programme de production concrétisé par le plan théorique appelé Tableau de Marche (TM) de base. Ce TM est défini pour une période donnée tout au long d'une journée d'exploitation donnée.
- Une phase d'adaptation du programme de production (TM) aux conditions réelles d'exploitation concrétisées par le TM commande qui est perpétuellement actualisé.

Les données issues de l'exploitation en temps réel (phase d'adaptation) viennent alimenter en permanence le TM (phase de conception) et sont ainsi susceptible de se traduire par les modifications du TM de base.

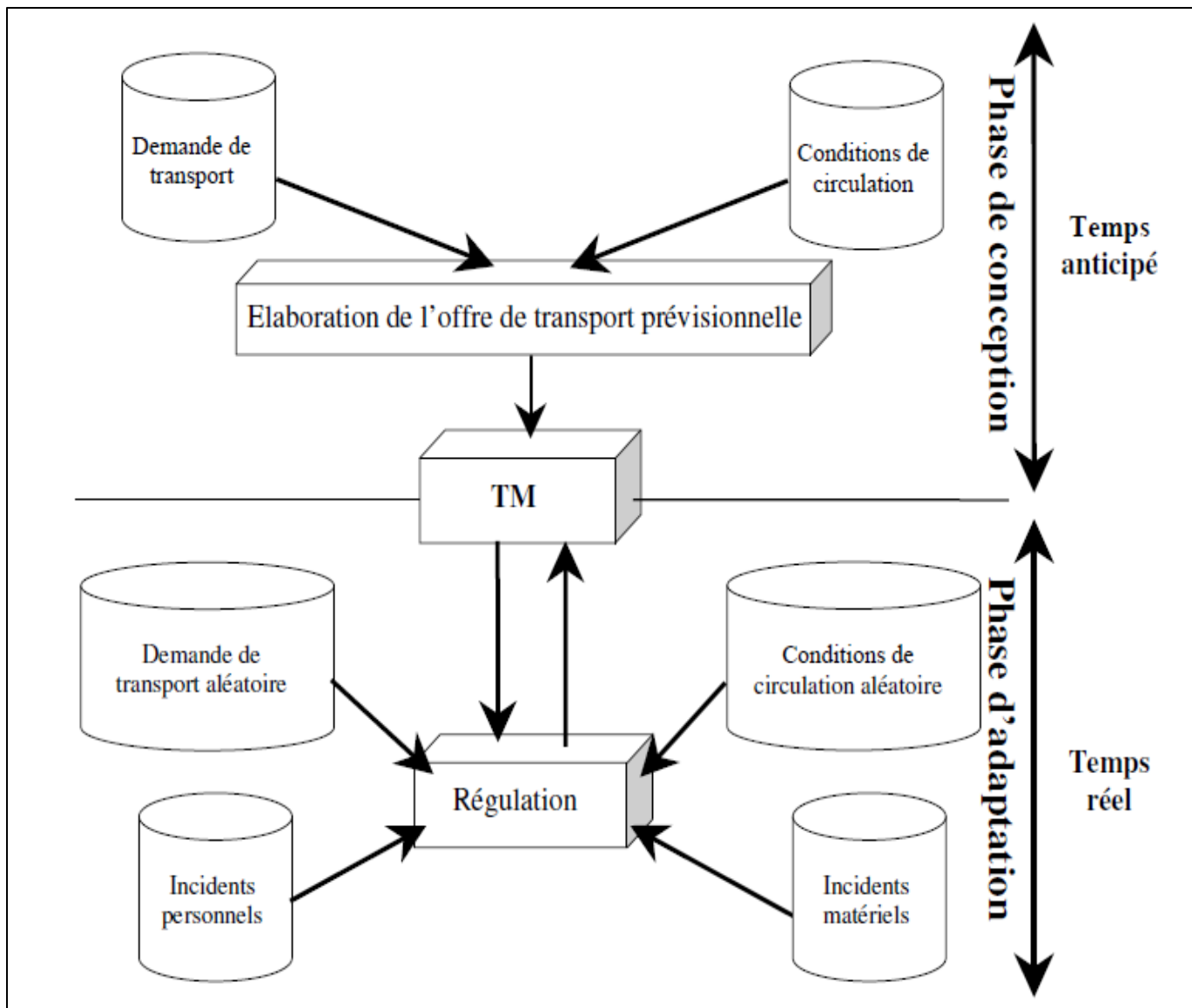


Figure 1.3 : Construction et évaluation du Tableau de Marche

✓ Définition : (Tableau de Marche)

Le tableau de marche (TM) est le résultat d'une optimisation de l'offre de service en fonction des objectifs et en respectant les contraintes d'exploitation.

Cette optimisation étant réalisée en temps anticipé, elle nécessite la formulation d'hypothèses sur les conditions de circulation et la demande de transport. Ces deux facteurs sont des phénomènes complexes de nature aléatoire. C'est pourquoi le TM ne peut définir les modalités du fonctionnement optimal de la ligne que pour des conditions moyennes

d'exploitation, dès que l'on s'écarte de ces conditions moyennes, il devient nécessaire de réguler pour faire face à la dégradation de la qualité du service.

5. Offre de service

L'offre de service sur une ligne est composée de courses reliant un terminus de départ à un terminus d'arrivée et desservant des arrêts selon un horaire.

Une course est une mission effectuée par un véhicule :

- Entre deux terminus extrêmes (course pleine).
- Entre un terminus extrême et un arrêt (course partielle).
- Sans desserte des arrêts entre l'arrêt de départ et l'arrêt d'arrivée (course HLP : haut le pied).
- L'emprunt des itinéraires spéciaux (course spéciale).

Sur une ligne donnée, on trouve plusieurs types de courses selon les arrêts desservis, l'itinéraire emprunté ou les consignes d'exploitation. La révolution sur une ligne est constituée d'une course retour avec l'emprunt du même itinéraire.

6. Régulation d'un réseau de transport urbain

6.1. Définition

La régulation est définie comme étant l'ensemble des mesures permettant de respecter non plus le Tableau de Marche (TM) en tant que table d'horaires, mais de respecter les règles de gestion qui ont amené à la définition de celui-ci.

La régulation est considérée comme étant un ensemble de méthodes permettant de se rapprocher au plus près du TM initial, malgré les perturbations.

En général, la régulation d'un réseau de transport urbain peut être considérée comme un ensemble de mesures ou de méthodes (action de régulation) qui essayent de remettre de l'ordre dans un réseau perturbé afin de se rapprocher de ce qui a été annoncé aux voyageurs.

6.2. L'objectif de la régulation

L'objectif de la régulation consiste à minimiser l'écart entre la valeur mesurée et celle déterminée en mode de fonctionnement non perturbé, et cela en ce qui concerne la position et la vitesse. La figure 1.4 représente les étapes essentielles du processus de régulation.

Le processus de régulation contient différentes tâches allant de la détection de la perturbation jusqu'à la prise de décision. Ces tâches sont regroupées en deux phases : phase de diagnostic et phase de décision.

- Phase de diagnostic : consiste à détecter et analyser les perturbations afin d'évaluer leur gravité. Cette phase se base sur les données fournies par le Système d'Aide à l'Exploitation qui représente un support de surveillance du réseau de transport urbain car il fournit les informations représentant l'état du réseau en temps réel et les compare avec les informations théoriques du TM.
- Phase de décision : est entamée par le régulateur quand il doit choisir les mesures appropriées de régulation en tenant compte des contraintes d'exploitation, de la nature des perturbations, ainsi que des critères qui conviennent aux objectifs d'exploitation.

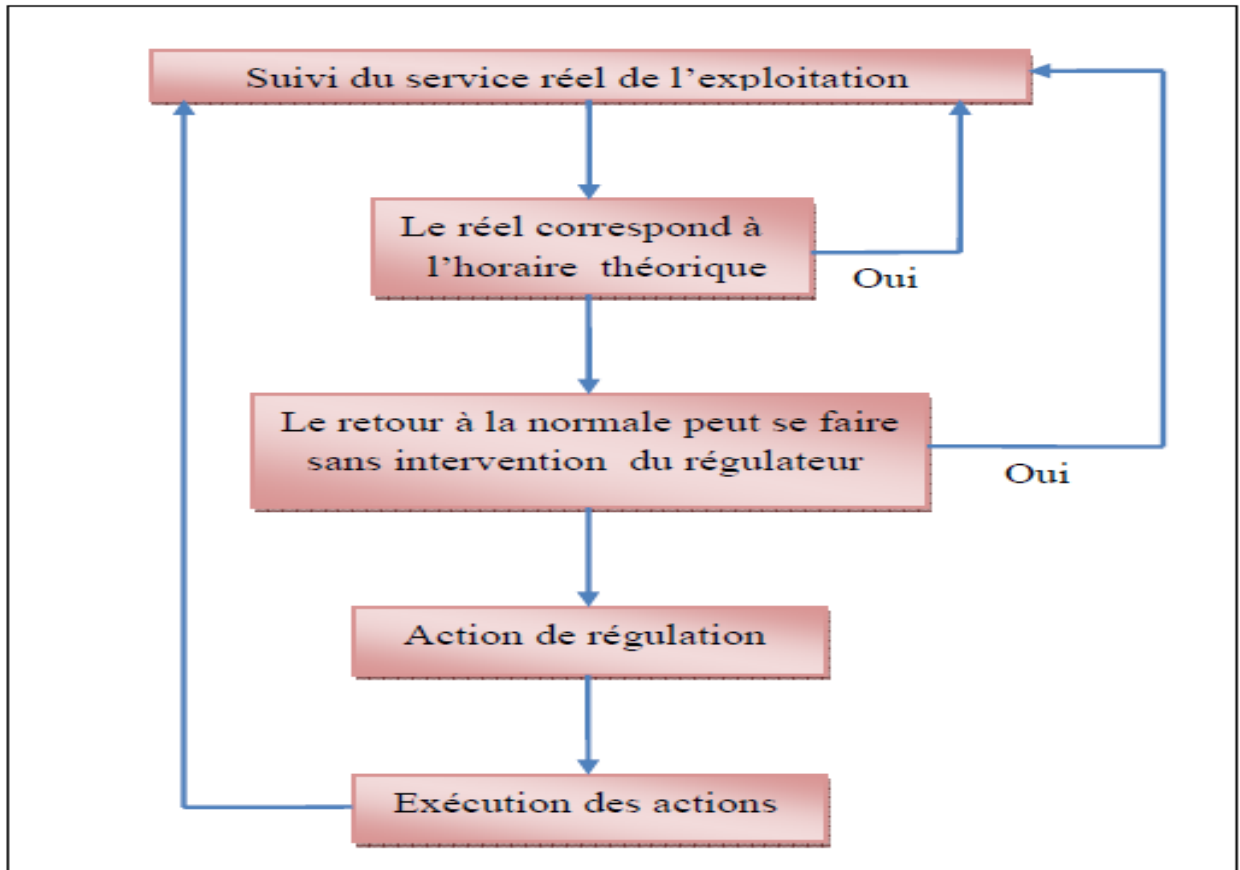


Figure 1.4 : Etapes du processus de régulation

7. Coût de transport

Le coût de transport est une notion en partie abstraite (pour ce qui concerne par exemple l'internalisation des coûts socio-environnementaux ou les coûts pris en charge par la collectivité). Il varie selon les pays, époques et le mode de transport. L'analyser nécessite de le décomposer en plusieurs variables :

- **Coût direct** : le coût est la mesure, de la dépense associée à un événement ou une action de nature économique, il est exprimé généralement sous forme d'un prix ou d'une valeur monétaire. Le coût direct dans le domaine de transport signifie le prix du ticket, de l'abonnement aux transports urbains. Il varie selon le mode de transport utilisé.

- **Coût d'investissement, de planification d'entretien** : c'est une part importante du coût caché des infrastructures de transport, de leur entretien et de leur fonctionnement. Par exemple, le réseau de transport urbain en site propre nécessitent un plan de financement lourd pour l'infrastructure et l'exploitation (des projets sont souvent retardés par les difficultés d'investissement).

En effet, dans le cas d'infrastructures lourdes (tramway, métro, train, ...), l'investissement est également lourd, par contre dans le cas des bus, la voirie a aussi un coût, mais son investissement et son entretien sont proportionnellement moins coûteux, mais ces coûts augmentent rapidement avec l'étalement urbain et en zone d'habitat dispersé.

- **Coût en temps** : depuis l'apparition de l'automobile, le temps moyen passe dans les transports (véhicule en particulier) tend à augmenter. C'est aussi un aspect important. La fluidité de la circulation est d'ailleurs un des facteurs de ce coût. La gestion de la voirie et des flux de circulation en cas d'embouteillages est une tâche très importante.
- **Coût humain environnemental** : la marche à pied et le vélo sont des facteurs reconnus de bonne santé de l'individu, par l'exercice physique qu'il procure. Inversement, le véhicule est associé à un manque d'exercice physique. Le transport urbain génère aussi des blessures, des handicaps, et morts accidentelles sans oublier les nuisances sonores et la pollution chimique de l'environnement qui ne sont pas négligeables.

8. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté en premier lieu les systèmes de transport et le processus de planification. Un réseau de transport a une configuration physique définissant les itinéraires et les stations et une configuration horaire. Dans un deuxième lieu nous avons parlé de l'exploitation et l'offre de service d'un réseau de transport urbain. Ensuite nous avons présenté la régulation d'un transport urbain, sa définition et l'objectif de la régulation. Finalement, nous avons parlé un peu du coût de transport.