

CHAPITRE 1

DES OUTILS DE GESTION DU TRAFIC ET DES FEUX DE SIGNALISATION EN PARTICULIER

Les institutions ne sont pas de simples idées : elles doivent être prises au niveau du sol, toutes chargées de matière, matière humaine et matière inerte, organismes en chair et en os, bâtiments, maisons, lieux, aspects de l'espace.

Maurice Halbwachs*

La gestion de la circulation routière s'exerce à l'aide de divers instruments et méthodes, allant de la signalisation à la législation, en passant par l'information des usagers, l'aménagement des routes, l'équipement des véhicules, les horodateurs, les théories du trafic, les salles de contrôle, les brigades policières, etc. Il faudrait sans doute plus qu'une encyclopédie¹ pour évoquer de manière exhaustive toutes ces mesures, leur contenu et leur histoire, surtout qu'elles émanent de disciplines parfois fort distantes les unes des autres, comme peuvent l'être l'ingénierie, le droit, l'ergonomie, les mathématiques, la criminologie, la physique, la médecine... Pour faciliter l'approche du phénomène de la gestion routière, nous nous limiterons cependant à un de ses outils, sans doute le plus visible et le plus répandu aujourd'hui : le feu de signalisation. Celui-ci est en effet devenu dans l'ensemble du territoire des nations développées une partie intégrante non seulement du mobilier urbain² mais également de l'environnement routier en général. Mais qu'est-ce qu'un feu de signalisation ? En étudiant les réponses apportées à cette question dans la littérature produite par les gestionnaires de la circulation routière, on pourra sans aucun doute saisir plus finement les contours de la *volonté* ou du *projet* qui les anime. Ceci constituera la première étape vers une interrogation proprement sociologique au sujet de ce qu'on pourrait appeler au premier abord l'*action technique*.

Selon le dictionnaire Larousse, un feu tricolore ou de signalisation est un *signal lumineux commandant le passage libre (feu vert), toléré (feu orange) ou interdit (feu rouge) du trafic automobile*. Cette

* Maurice Halbwachs, *Morphologie sociale*, Paris, Armand Colin, 1970 (éd. orig. 1938), p.6.

¹ Et en effet, celle qui existe (M. Papageorgiou (ed.), *Concise Encyclopedia of Traffic and Transportation Systems*, Pergamon Press, 1991) n'a pas la prétention, comme l'indique son titre, d'être complète.

² « Est mobilier urbain tout ce qui meuble la rue, tout ce qui, à l'intérieur d'une ville ou d'une agglomération, se trouve érigé en bordure des voies, sur les trottoirs, ou sur la voie publique elle-même. Un lampadaire, une

définition décrit avant tout la fonction exercée par un dispositif mécanique capable de produire alternativement trois signaux lumineux de couleurs différentes ; en l'occurrence, il s'agit d'une fonction de commandement ou de régulation d'un phénomène, celui de la circulation routière. Instrument au service d'une fin, le feu apparaît comme une modalité de réponse à un besoin, celui de traiter ou de prendre en charge le problème de la circulation routière. A ce titre, il s'inscrit dans un ensemble technique plus vaste que l'on peut reconnaître sous le nom d'ingénierie du trafic ou d'exploitation de la route³. Si la première est définie comme l'application de principes scientifiques à la planification, la conception, l'exploitation et la gestion du système de transport routier⁴, la seconde s'entend de manière plus générale comme l'ensemble des actions visant à rendre la circulation automobile aussi sûre, fluide et confortable que possible⁵. Mais les ingénieurs ne sont pas les seuls à poursuivre de tels objectifs, ils ne sont pas les seuls à être préoccupés par le problème de la circulation : les rejoignent sur ce point juristes, assureurs, administrations, forces de l'ordre, usagers de la route, membres du corps médical, enseignants, hommes politiques et citoyens. Ce qui signifie que les solutions qui seront apportées à ce problème ne seront jamais seulement techniques ou scientifiques au sens strict du terme, même si la plupart du temps elles se matérialisent dans des objets et des systèmes techniques. Ainsi, le feu de signalisation, dans sa plus plate banalité, témoigne de cette diversité : objet technique, il mobilise les savoirs des électriciens et des informaticiens ; objet juridique, il est l'incarnation d'une règle distribuant les droits et les responsabilités ; objet ergonomico-cyndinique, il est la matérialisation de préoccupations sécuritaires ; objet politique, il rappelle constamment une hiérarchie explicite des usages et des usagers ; objet managérial, il est l'outil d'une gestion à prétention scientifique de la circulation des hommes et des machines dans les espaces dévolus à cette activité. Donc, quand nous parlerons des « gestionnaires » ou des « responsables » de la circulation ou du trafic, nous entendrons tous les « acteurs » qui partagent cette préoccupation de gérer le trafic automobile ; plus précisément encore, nous entendrons tous ceux qui ont la particularité de proposer des solutions au problème de la circulation, qu'ils soient ingénieurs ou non, et quelles que soient leurs motivations. Nous prendrons l'habitude, dans la suite du texte, de désigner du nom de « collectif d'énonciation routier » tous ces acteurs⁶. Quand cela s'avérera nécessaire, nous utiliserons des types plus précis, comme « ingénieurs », « industriels », « pouvoirs publics », etc.

Le feu de signalisation se présente donc à nous comme un outil de gestion de la circulation routière ; tous, nous savons à quoi il peut bien ressembler, à quoi il peut bien servir. Mais savons-nous comment il fonctionne ? Dans quelles circonstances a-t-il été inventé et mis au point ? Quelles sont les évolutions qui ont marqué ses techniques de conception ? Comment

fontaine, une enseigne, un banc public, des feux de signalisation, des panneaux indicateurs, voilà autant d'exemples de mobiliers urbains » (Michel Carmona, *Le mobilier urbain*, Paris, PUF, 1985, p.5).

³ En anglais, on trouve principalement le terme *traffic engineering* ; l'expression *traffic control* désigne plus directement tout ce qui concerne les feux de signalisation.

⁴ James H. Banks, *Introduction to Transportation Engineering*, Boston, McGraw-Hill, 1998, p.1.

⁵ Simon Cohen, *Ingénierie du trafic routier. Eléments de théorie du trafic et applications*, Paris, Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1990, p.xi.

⁶ Cette notion est reprise à Jean-Yves Toussaint, « Le collectif d'énonciation de l'espace : production contemporaine de l'espace et modalités de professionnalisation », *Espaces et Sociétés*, 84/85, 1996, pp.83-98.

expliquer son étonnante diffusion à la surface de la planète ? Répondre à ces questions est une tâche à la fois simple et ardue, car les principes techniques qui sont à la base de son fonctionnement sont assez facilement compréhensibles pour les néophytes, mais par contre les documents historiques et techniques témoignant de leur évolution et de leur diffusion sont généralement rares ou peu accessibles (ils appartiennent en grande majorité à une littérature grise, voire confidentielle). C'est pourquoi l'exploration qui suit ne prétend pas à l'exhaustivité historique, scientifique ou technique ; mais elle s'avère cependant nécessaire pour nous permettre de construire un objet de recherche proprement sociologique.

Importé des chemins de fer, le feu routier ne connaîtra que des améliorations incrémentales sans retentissement dans la littérature scientifique et ingénieriale. M.G. Lay, ingénieur des routes reconverti en historien, ne consacre que quelques pages de son imposant ouvrage *Ways of the World*⁷ à l'histoire non mouvementée du feu de signalisation ; dans le reste de la littérature, ce ne sont que fragments, évocations ou silences, témoignant de la discrétion dont cet objet a toujours su se parer, malgré son omniprésence sur les routes⁸. On peut cependant tenter de mieux cerner son histoire en distinguant, à des fins de mise en ordre des informations, trois aspects de son fonctionnement : la question de son alimentation ou de l'énergie qu'il utilise ; celle de son architecture externe ou de ses aspects sémaphoriques ; celle, enfin, de son architecture interne ou des principes de sa programmation. Nous montrerons ensuite que le feu de signalisation est lui aussi, à l'instar des autres techniques gestionnaires, concerné aujourd'hui par la promesse télématique.

1| ALIMENTATIONS ENERGETIQUES

Il faut savoir que le premier dispositif de signalisation à destination des usagers de la route a été le corps humain, plus précisément le corps du policier. C'est d'abord par l'usage de ses bras et de sa voix qu'il fut appelé à effectuer certaines opérations de régulation de la circulation, qui était encore à l'époque pédestre et hippique. Face à l'inefficacité de ces gestes, qui étaient fréquemment ignorés par leurs destinataires, le policier s'équipa d'outils pour augmenter la portée de son action. Le premier de ceux-ci, installé à Londres en 1868, fut un sémaphore artificiel constitué de bras articulés ; il était animé par la force musculaire d'un policier. Ensuite, il fut équipé de lampes de différentes couleurs destinées à améliorer leur visibilité nocturne, alimentées au gaz et allumées par le même policier (figure 2). Mais le dispositif londonien eut un destin tragique. Non seulement il provoqua la panique d'un détachement de cavalerie, laquelle entraînera la mort de deux policiers, mais il connut également en 1869 une explosion qui atteindra mortellement le policier venu allumer les lampes. Un appareil modifié

⁷ M.G. Lay, *Ways of the World. A History of the World's Roads and of the Vehicles That Used Them*, New Brunswick, Rutgers University Press, 1992. Les données historiques qui suivent sont pour la plupart extraites de cet ouvrage.

⁸ Par exemple, Jacques Nouvier (« Une histoire de la signalisation en France à travers les numéros de la *RGRA* », *Revue générale des routes et aéroports*, 658, 1988, pp.9-15 ; « La signalisation avant 1920 », *Revue générale des routes et aéroports*, 699, 1992, pp.17-20) et Marina Duhamel (*Un demi-siècle de signalisation routière*, Paris, Presses de l'ENPC, 1994) excluent le feu de leur histoire respective de la signalisation routière française.

fut installé en 1872. Ces différents événements firent naître une certaine méfiance quant à la généralisation de tels dispositifs dans la capitale britannique. C'est pourquoi, à la veille de la première guerre mondiale, seule une poignée de feux de signalisation, alimentés au kérosène, y étaient en service. Un autre sémaphore routier fut également installé à Toledo, en Ohio, en 1908, mais son succès fut mitigé en raison de sa faible visibilité nocturne. En 1930, il n'existait plus aucun dispositif de ce type aux Etats-Unis⁹.

Le développement de la lampe à incandescence (l'ampoule électrique) amena progressivement le feu de signalisation à l'ère de l'électricité. Le premier feu électrique fut installé à Salt Lake City en 1912, puis on en trouve à Cleveland en 1914, à New York et Détroit en 1918, à Paris en 1923, à Berlin en 1924, à Londres en 1925. Cependant, ces exemplaires originaux¹⁰ exigeaient encore la présence d'un homme, précisément pour allumer et éteindre les lampes de la couleur idoine. C'est notamment le cas des feux de Salt Lake City et de New York qui étaient à commande manuelle. A Paris, dans les années trente, certains carrefours équipés de feux électriques exigeaient même la présence de deux policiers, l'un actionnant les lampes et l'autre activant le flot des véhicules (figure 3).

Progressivement, la nécessité de la présence humaine comme élément constitutif du fonctionnement de la signalisation lumineuse disparut, pour laisser place à des dispositifs automatiques puis commandés à distance, fonctionnant électriquement ou électroniquement, comme nous allons le voir. Cependant, on notera que c'est toujours le policier qui, aujourd'hui, est appelé pour se substituer aux feux défectueux ; et que c'est lui qui, de même, occupe la position supérieure dans la hiérarchie des injonctions légalement définies que constituent les signaux des agents qualifiés, les feux tricolores, la signalisation fixe et les règles de circulation (figure 4).

Art. 5. Force obligatoire de la signalisation routière.

Les usagers doivent se conformer aux signaux lumineux de circulation, aux signaux routiers et aux marques routières, lorsque ceux-ci sont réguliers en la forme suffisamment visibles et placés conformément aux prescriptions du présent règlement.

Art. 6. Valeur des injonctions des agents qualifiés, de la signalisation routière et des règles de circulation.

6.1. les injonctions des agents qualifiés prévalent sur la signalisation routière ainsi que sur les règles de circulation.

6.2. la signalisation routière prévaut sur les règles de circulation.

⁹ Clay McShane, « The Origins and Globalization of Traffic Control Signals », *Journal of Urban History*, 25, 3, 1999, p.382.

¹⁰ La chronologie que nous venons de fournir, reprise à M.G. Lay, est sujette à divergences selon les sources utilisées. L'ouvrage *Les inventions qui ont changé le monde* (Paris, Sélection du Reader's Digest, 1983) situe les premiers feux à Cleveland en 1914 et ne mentionne donc pas ceux de Salt Lake City. M.G. Lay cite en note de bas de page une référence affirmant la présence de feux électriques bicolores à Cleveland en 1904. Ce qui nous importe ici, c'est de s'avoir qu'à partir des années vingt de nombreuses métropoles occidentales connaissent le principe des feux de signalisation. On notera également que les ingénieurs, qui ne sont pas souvent de très bons historiens, sont très évasifs sur ces premiers exemplaires de feux : souvent, ils ne précisent ni le type d'alimentation, ni les couleurs utilisées, ni le mode de fonctionnement, ni le nombre d'exemplaires installés. Le seul feu que tous mentionnent est le sémaphore londonien de 1868.

6.3. le fonctionnement des signaux lumineux de circulation à un endroit déterminé y rend sans effet les signaux routiers relatifs à la priorité qui sont placés sur la même voie.

Royaume de Belgique. Arrêté royal du 1^{er} décembre 1975 portant règlement sur la police de la circulation routière.

Fig. 4 – La hiérarchie juridique de la signalétique routière

L'alimentation juridique des feux est donc une partie intégrante de leur fonctionnement : les feux automatiques (c'est-à-dire fonctionnant sans présence humaine) n'ont pu être utiles pour les gestionnaires de la circulation qu'à partir du moment où ils devinrent signes juridiques, où ils matérialisèrent des règles de droit sanctionnables et sanctionnées. Ce qui exigeait d'intégrer, de « relier » ces feux à la législation routière ; le problème de la signalisation n'a donc jamais été seulement un problème technique, comme le laisse penser la littérature ingénieriale, mais également et simultanément un problème juridique, et donc politique. La difficulté pour nous est qu'il n'existe aucune étude envisageant conjointement ces deux aspects du problème ; il est cependant indéniable qu'ils sont étroitement liés, car l'automatisme du feu ne pouvait être acceptable pour les gestionnaires de la circulation qu'à la condition que soit définie sa portée juridique, et inversement cette dernière ne fut l'objet de discussion qu'à partir du moment où se présentait la possibilité technique du feu automatique. On pourrait même dire que le feu automatique est commandé à distance techniquement et juridiquement : l'absence d'un opérateur humain (qui, dans le cas du feu, était un agent qualifié à la fois d'un point de vue technique et juridique) signifie en effet que le feu doit être relié à des opérateurs situés en d'autres lieux : les membres du service de la circulation et le juge du tribunal de police. Si le feu est lié par des câbles ou par des instructions aux premiers, il l'est au second par le réseau des bordereaux de constats d'accidents ou d'infractions.

2| ARCHITECTURES EXTERNES

En tant que dispositif sémaphorique, le feu de signalisation peut principalement faire appel à deux facultés sensibles de l'être humain, destinataire des signaux qu'il émet : la vue et l'ouïe. Et pour chacune de celles-ci, les supports de signe peuvent également différer. On n'insistera jamais assez en effet sur le fait que la forme ou le fonctionnement du feu tricolore, pour évidents qu'ils soient aujourd'hui, furent l'objet d'hésitations, d'essais et de controverses. Et même si nous n'analyserons pas ici les détails historiques de ce processus de standardisation du feu de signalisation, nous en relèverons cependant quelques aspects dont l'articulation trouvera par la suite, et selon des voies diverses, sa pleine intelligibilité.

Les premiers feux routiers firent appel à la vue : qu'il s'agisse du mouvement des bras du policier ou du sémaphore, ou de la couleur des lampes, ou encore de l'éclairage intermittent de consignes écrites (« stop », « go », « halte »), c'est toujours à l'œil de l'utilisateur que l'on s'adresse. Le feu est conçu comme devant être visible et lisible.

Concernant sa visibilité, deux options ont été suivies. Outre la question de la hauteur du sémaphore (qui a toujours été considérée comme devant être suffisante), sa position sur la chaussée a été conçue différemment selon qu'il s'agissait d'un dispositif humain (le policier) ou artificiel (le feu). Le sémaphore humain a toujours été placé au centre du carrefour qu'il devait garder, et cela est encore le cas aujourd'hui. Ce qui a par contre disparu, ce sont les tours ou miradors¹¹ dans lesquels se postait un agent de police pour effectuer son travail de régulation de la circulation (figure 5). De tels miradors furent notamment érigés à Détroit en 1917 et à Tokyo en 1928. Mais selon M.G. Lay, le premier de l'histoire apparut à Paris en 1912. Une structure de bronze de 4,5 m de hauteur accueillait un policier chargé de commander les signaux rouge et blanc à l'attention des usagers. Mais ces derniers ne se conformèrent pas à ce dispositif, qui disparut après vingt-deux jours de service ! L'opposition de ce que certains appelaient le grand public était apparemment vive : lorsque M. Massard, conseiller municipal de la ville de Paris, préconisa ce genre de signalisation, ce « grand public » s'est écrié : *Horreur ! Vous voulez donc transformer Paris en gare de chemin de fer ?... Vous êtes un barbare, un vandale !*¹². Mais l'idée fit néanmoins son chemin et au cours de l'entre-deux-guerres le préfet de police de Paris proposa d'étudier la possibilité pour les gardiens de la paix de pouvoir diriger et surveiller le flot de la circulation d'une position dominante et protégée. C'est ainsi que naquirent les premiers miradors, d'abord installés à un angle des carrefours, formés d'une guérite ouverte placée en hauteur, d'où le policier pouvait ordonner les flots de la circulation à l'aide de son sifflet¹³. A l'époque, de tels dispositifs suscitaient l'admiration des journalistes soucieux du problème de la circulation, comme le prouve le filet suivant (figure 6) qu'on trouve dans *L'Illustration* du 12 janvier 1929 au sujet du système de signalisation représenté à la figure 3.

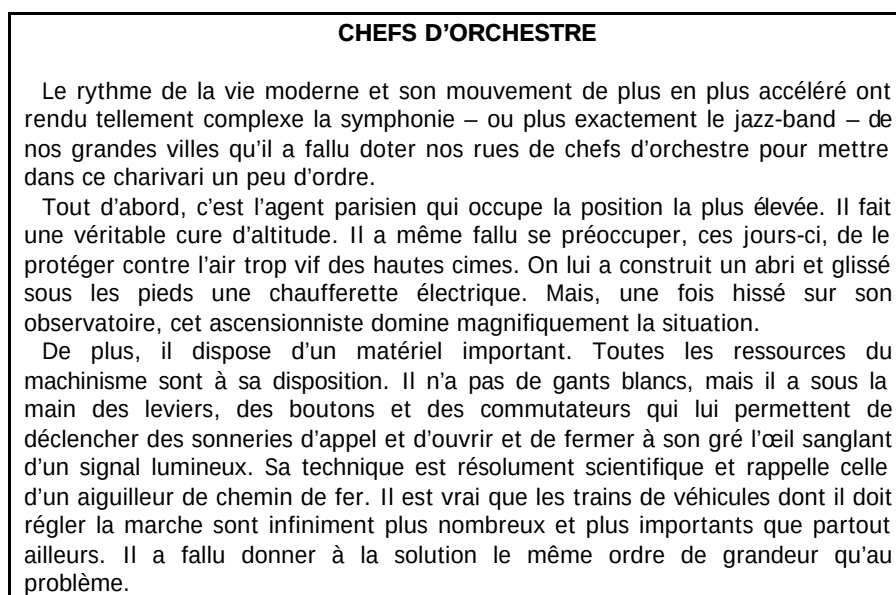


Fig. 6 – Des dispositifs fascinants

¹¹ En 1939, W. Eno utilise encore l'expression de *Traffic Crows Nest* (littéralement « nid de pie ») pour désigner ces tours de contrôle (*The Story of Highway Traffic Control*, The Eno Foundation For Highway Traffic Control, 1939).

¹² Propos de M. Massard cités par René Béringuier, *Le problème de la circulation*, op. cit., p.121.

¹³ Dominique Pagneux, *Voitures de Police. Préfecture de Police de Paris*, Editions E/P/A, 1994, pp.9-10.

Les feux mécaniques, puis électriques, furent eux aussi placés sur le bord de la chaussée afin de ne pas encombrer l'espace de circulation et de ne pas constituer un obstacle potentiel pour les usagers de la route. D'abord constitué d'un mât de bronze puis d'acier parfaitement vertical, on vit progressivement apparaître des mâts équipés d'un bras soutenant le feu proprement dit au dessus de la route, puis des mâts courbes en acier ou en aluminium s'inclinant par dessus la chaussée, généralement dans les carrefours où se croisent des voies comprenant plusieurs bandes de circulation. Devenu un élément familier du mobilier urbain, et s'étant vu conférer son statut légal, le feu devint donc également un objet normé dans sa forme.



Royaume de Belgique. Arrêté royal du 31 janvier 1935. Article 137.

1. Les signaux colorés, lumineux ou non, dont il est fait usage pour régler par intermittence la circulation, comportent les couleurs suivantes :
 - 1° Le rouge, indiquant l'arrêt obligatoire ;
 - 2° Le vert, indiquant le passage libre.
2. Ces signaux sont construits de façon que le rouge soit placé au-dessus du vert. [...]
4. Si les signaux sont portés sur fût, le centre du feu inférieur se trouvera à 2m25 au-dessus du niveau du sol.
5. La plage lumineuse des feux rouge et vert doit être de forme circulaire dont le diamètre doit être de 180 à 210 millimètres. Les couleurs seront rouge-signal pour le feu rouge et vert-gazon pour le feu vert.
6. La couleur de la plage lumineuse sera parfaitement visible en temps non brumeux et quel que soit l'éclairage solaire, par tout conducteur se dirigeant vers le signal et se trouvant dans la zone commençant à 130 mètres du signal et finissant à la ligne d'arrêt établie à proximité de celui-ci.
7. La plage ne peut s'illuminer sous l'influence d'une autre source lumineuse que celle du signal.
8. Les feux des signaux ne seront pas éblouissants.
9. Aux carrefours constitués par deux voies qui se croisent, les signaux lumineux seront autant que possible à double face. Les feux sur ces deux faces doivent être identiques.

De son côté, la lisibilité du feu de signalisation fut également l'objet de conceptions variées. On a vu que le premier feu, celui de Londres, était constitué de deux bras mobiles imitant le mouvement du corps humain. C'est donc la forme du sémaphore, et plus particulièrement le mouvement de ses parties, qui constitue le signal proprement dit. Alors que cette signalétique restera celle du policier, elle se transforma rapidement pour les dispositifs artificiels au profit du système des couleurs alternantes¹⁴. Le choix de ces couleurs fut directement inspiré des usages signalétiques en vigueur dans les transports maritime et ferroviaire. Dans les pays anglo-saxons, le rouge et le vert sont ainsi adoptés, car ils étaient d'usage dans les chemins de fer. En effet, c'est John P. Knight, à l'époque *Superintendent of the South Eastern Railway*, qui fut chargé de la conception des premiers feux routiers de l'histoire humaine, ceux installés à Londres en 1868. Il reprit en fait les couleurs conventionnelles utilisées dans son domaine d'exercice. Mais c'est à Détroit, berceau de l'industrie automobile, qu'est installé en 1918 le

¹⁴ Une version hybride est le feu constitué de trois bandes de couleur et d'une aiguille se déplaçant de l'une à l'autre. On en trouve à Berlin en 1931 (*Les inventions du siècle*, Paris, Sélection du Reader's Digest, 1999, p.100) mais également à la même époque en Belgique, puisque le *Règlement général sur la police du roulage* du 1^{er} février 1934 mentionne leur fonctionnement en son article 137.4.

premier feu tricolore (vert-jaune-rouge). Dès 1920, un même appareil y affiche ces couleurs dans quatre directions. Par contre, en France, les premières couleurs utilisées furent, comme en matière ferroviaire depuis 1885, le rouge et le blanc¹⁵. Après que cette codification eût été modifiée en 1936 pour des raisons de sécurité, éliminant le blanc au profit du vert et adoptant le jaune pour le signal d'avertissement¹⁶, l'ingénierie routière reprit progressivement la trichromie rouge-jaune-vert. Il semble cependant qu'elle ait déjà été utilisée plus tôt, notamment à Paris dès 1928 où les agents de la circulation avertissent les véhicules par un feu jaune avant de leur imposer l'arrêt¹⁷. Plus tard, cette palette fut adoptée au niveau international, même si des tentatives d'uniformisation avaient déjà été entreprises antérieurement, notamment dans le cadre de la Société des Nations, qui organisa sa première conférence internationale sur le sujet en 1926¹⁸.

Le caractère conventionnel de la signalisation lumineuse concerne donc les couleurs à utiliser, mais également leur ordre de succession ou d'apparition : en effet, l'allumage des feux est séquentiel, c'est-à-dire astreint à une procédure ordonnée, en l'occurrence la séquence vert-jaune-rouge¹⁹. De plus, des durées minimales (et souvent maximales) d'exposition de chaque couleur ont été définies par les administrations nationales compétentes, et font aujourd'hui l'objet d'une standardisation largement partagée. Un vocabulaire technique commun désignant le fonctionnement de la signalisation tricolore est également utilisé par l'ensemble de la communauté des ingénieurs :

- un *état* (ou *intervalle*) : correspond à l'allumage d'une couleur sur le feu : il y a donc trois états possibles : vert, jaune et rouge ;
- une *phase* : durée pendant laquelle un feu passe par les trois états, c'est-à-dire effectue une séquence d'allumages ;
- un *cycle* : période pendant laquelle l'ensemble des feux effectuent leur phase, permettant successivement l'admission de tous les courants de véhicules dans le carrefour ;
- un *plan de feux* : durée et ordre de déroulement de l'allumage complet, pendant un cycle, de l'ensemble des groupes de feux (on verra qu'un même carrefour peut suivre alternativement plusieurs plans de feux) ;
- un *rouge barrage* (ou *intégral*) : durée pendant laquelle aucun véhicule n'est admis dans le carrefour, c'est-à-dire lorsque l'état est rouge sur chaque feu.

¹⁵ Le code des couleurs concernait initialement une signalisation qui était non lumineuse. La signalisation lumineuse électrique fut inaugurée en 1923 sur la ligne de Paris à Saint-Germain (« Signalisation ferroviaire », *La Grande Encyclopédie*, Paris, Larousse, 1976, vol. 18, p.11113).

¹⁶ La commission Verlant, du nom de l'ingénieur Eugène Verlant, fut chargée de définir les principes de la signalisation ferroviaire lumineuse. Ces principes furent ensuite adoptés pour la signalisation routière (*Inventeurs et scientifiques. Dictionnaire de biographies*, Paris, Larousse, 1994, p.561).

¹⁷ André Guillerme, « La congestion urbaine : problèmes et solutions dans l'entre-deux-guerres », dans Anne-Françoise Garçon (dir.), *L'automobile, son monde et ses réseaux*, Rennes, PUR, 1998, p.129.

¹⁸ Clay McShane, « The Origins and Globalization of Traffic Control Signals », op. cit., p.395.

¹⁹ Celle-ci peut néanmoins connaître des variantes d'un pays à l'autre, mais la séquence sera cependant identique pour tous les feux d'un même pays. Ainsi, en Allemagne et en Russie par exemple, la séquence est vert-jaune-rouge-jaune-vert... au lieu de vert-jaune-rouge-vert...

Comme on peut le constater, le choix de couleurs conventionnelles permet de résoudre un problème sémaphorique important ; mais il soulève cependant des difficultés techniques non négligeables. D'un point de vue signalétique, en effet, le feu bi- ou tricolore élimine la textualité et même l'iconicité du signal. Si les premiers feux ont pu consister en l'illumination de consignes écrites, celles-ci vont être rapidement éliminées pour deux raisons principales : elles ne sont comprises ni par les usagers analphabètes, ni par les conducteurs étrangers ; elles sont en fait redondantes par rapport au symbolisme chromatique lui-même, à partir du moment où celui-ci est largement connu²⁰. Cependant, des icônes sont encore aujourd'hui présentes sur les lampes de certains feux : il s'agit principalement des flèches directionnelles et des silhouettes humaines (dans le cas des feux pour piétons). Mais les autres icônes sont rares²¹ sinon proscrites, et leur usage vivement déconseillé par les autorités compétentes²². On a donc assisté à un processus de désiconisation progressive de la signalisation routière lumineuse²³.

Ce qui n'est pas sans poser certaines difficultés pour les personnes atteintes de daltonisme ou de déficiences oculaires. On estime qu'environ 8% des hommes et 0,5% des femmes souffrent de daltonisme. En outre (et cela concerne cette fois-ci tous les usagers), les couleurs projetées doivent être clairement perceptibles, même dans des conditions adverses (lumière et ensoleillement, ou au contraire obscurité, brouillard, pluie ou neige). C'est ainsi que des normes ont été promulguées en ce qui concerne le type de lampes utilisables (diamètre, puissance). Aujourd'hui, de nouvelles perspectives s'ouvrent avec l'usage des diodes électroluminescentes (en anglais LEDs pour *light-emitting diodes*) qui présentent l'avantage d'être mieux perceptibles, moins consommatrices d'énergie et plus résistantes (une diode a une espérance de vie moyenne de 100.000 heures, tandis que celle de l'ampoule incandescente se situe entre 3.000 et 6.000 heures). A l'heure actuelle, les diodes coûtent beaucoup plus cher à l'achat que les ampoules, mais le développement du marché, surtout aux Etats-Unis, semble entraîner une diminution importante du prix des diodes²⁴.

Pour en terminer avec la question de la sémaphoricité du feu, on notera également le recours au son comme signal. Le policier, dont a vu qu'il usait de son corps comme

²⁰ L'arrêté royal du 1^{er} février 1934 témoigne d'une période de transition à ce sujet ; des commentateurs notent en effet : « L'article 137 du règlement régit l'emploi des signaux de couleur pour la réglementation de la circulation (...). L'article 137 reçoit son application lorsqu'il est fait usage de signaux colorés. Mais il ne s'ensuit pas que l'usage d'autres signaux ne soit pas permis, pourvu qu'ils ne comportent pas d'autres couleurs que le rouge ou le vert prescrits exclusivement par cette disposition. Il s'ensuit que la réglementation de la circulation par le mot « Halte » par exemple, est réglementaire si ce mot apparaît en couleur rouge. » (R. Golstein et R. Van Roye, *Les règles du roulage. Commentaire juridique et pratique du Nouveau Règlement sur la Police du Roulage et de la Circulation*, Bruxelles, Bruylant, 1934, p.316).

²¹ Pour les carrefours à feux, on trouve également l'icône représentant un vélo à destination des cyclistes ; les feux réglant l'usage de bandes de circulation (dans les tunnels, sur autoroutes, etc.) sont généralement affublés d'une croix comme icône.

²² Le CETUR, c'est-à-dire le ministère français de l'équipement, du logement, de l'aménagement du territoire et des transports, donne ce conseil aux services des collectivités locales : « Les signaux lumineux ayant un rôle réglementaire, il faudra veiller à ne pas innover dans ce domaine. C'est ainsi que les inscriptions à l'intérieur des signaux, l'utilisation des feux fléchés, des feux clignotants, doivent être conformes à la réglementation et rester tout à fait exceptionnels et justifiés » (Voirie urbaine. *Guide général de la voirie urbaine. Conception, aménagement, exploitation*, MELATT/CETUR, 1988, p.66).

²³ Martin Krampen, « Icons of the Road », *Semiotica*, Special Issue, 43, 1-2, 1983.

²⁴ Voir le dossier spécial « A brighter future for LED signals ? America says yes, while Europe decides » dans la revue *Traffic Technology International*, Aug/Sept 1997.

sémaphore, avait également recours à l'usage du sifflet, d'ailleurs strictement réglementé (figure 7). On utilise même dans certains carrefours importants des «sonneries d'appel» ou des «gongs», comme c'était le cas pour le mirador parisien dont on parlé précédemment. Mais il est vrai que l'opposition des riverains ainsi que l'évolution et de la circulation (dont l'intensité n'a cessé d'augmenter) et des véhicules (qui progressivement se ferment et s'insonorisent) vont faire disparaître les sonneries mécaniques dès avant la seconde guerre mondiale²⁵. C'est notamment en cela que se révèle l'irréalisme de certaines visions utopistes du début du siècle, accordant une place égale aux signaux sonores et visuels dans la signalisation routière. Seuls deux dispositifs mécaniques allient encore aujourd'hui ces deux supports : il s'agit d'une part de la signalisation des passages à niveaux gardés, et d'autre part de certains feux de passages cloutés équipés d'un signal sonore à l'attention des personnes aveugles²⁶.

3| ARCHITECTURES INTERNES

Comme on vient de le voir, le feu est un outil servant à envoyer un signal à un destinataire. On a examiné quelles ont été les formes données à ce signal. Aujourd'hui, on parle de signalisation tricolore, puisque les feux routiers utilisent trois couleurs conventionnelles comme signaux à destination des usagers de la route. Mais comment sont produits ou activés ces signaux ? C'est ce que nous allons décrire maintenant.

3.1. Types de contrôleurs

Ce qu'il s'agit de comprendre en fait, c'est la manière dont s'opère le contrôle de ces opérations d'affichage du signal et de leur succession. Originellement, le «contrôleur» du feu est un être humain, utilisant son intelligence, c'est-à-dire sa perception du trafic, pour activer le sémaphore, quel qu'il soit (agiter un membre, émettre un son, allumer une lampe, etc.). Suite aux critiques d'inefficacité mais aussi de coûts liés à cette technique²⁷, des contrôleurs automatiques (c'est-à-dire non humains) furent mis au point. On en distingue trois types ou générations :

- Les contrôleurs électromécaniques (figure 8) : introduits pour la première fois aux Etats-Unis en 1922²⁸, ils fonctionnent à l'aide d'un arbre à cames animant les interrupteurs contrôlant les lampes, entraîné par un moteur pas à pas ou un disque. Ce dernier est alimenté

²⁵ André Guillerme, « La congestion urbaine : problèmes et solutions dans l'entre-deux-guerres », op. cit., p.129.

²⁶ Dans ce cas précis, il n'y a même pas véritablement addition des deux types de signaux, mais spécialisation : les personnes aveugles, par définition, ne voient pas le signal lumineux et ne perçoivent donc qu'un seul signal, le signal sonore ; les autres personnes ne perçoivent pas, par distraction, ce signal sonore mais captent surtout le signal lumineux.

²⁷ F.V. Webster note encore en 1963 que les trois buts de la signalisation lumineuse sont la réduction des délais d'attente, la réduction des accidents et l'économie du temps policier ! (« Traffic Signals », in Ernest Davies (ed.), *Traffic Engineering Practice*, London, Spon, 1963, p.125.).

²⁸ Clay McShane, « The Origins and Globalization of Traffic Control Signals », op. cit., p.385.

par un mécanisme horloger électrique et va être équipé de clés marquant la durée des cycles. Quand le disque tourne, les clés activent un commutateur relié à un tambour, lequel entraîne une crémaillère opérant la rotation d'un certain degré de l'arbre à cames. Chacune de ces cames étant sertie d'encoches, la rotation de l'arbre entraîne le mouvement successif des interrupteurs allumant ou éteignant la lumière idoine. La vitesse de rotation du disque peut même être rendue variable par l'insertion d'engrenages entre le disque et l'horloge du contrôleur, ce qui fait varier la longueur des phases et des cycles.

- Les contrôleurs à logique câblée : ici, le dispositif électromécanique est remplacé par un compteur (ou horloge) numérique de faible voltage. On y relie alors les circuits chargés d'établir les aiguillages correspondant aux divers plans de feux. En fait, chaque plan possède un circuit distinct, toute modification de plan exigeant alors une nouvelle connexion des circuits au contrôleur électronique.

- Les contrôleurs à microprocesseur : l'insertion d'un microprocesseur à l'intérieur du contrôleur a pour double avantage de réduire le nombre et le volume des connexions exigées par la solution câblée, et de transformer la programmation des plans de feux et leurs modifications en transmission d'instructions informatiques (ce qui n'exige plus la commutation physique des circuits). Les plans de feux sont en fait stockés dans une mémoire électronique.

En France, en 1983, les trois types de contrôleurs sont utilisés dans des proportions diverses, comme l'indique le tableau ci-dessous, reprenant leur répartition dans les communes de plus de vingt mille habitants²⁹.

Contrôleurs Electromécaniques	Contrôleurs Câblés	Contrôleurs Microprocessés
33%	53%	14%

Cette répartition s'est depuis lors modifiée, au profit principalement des contrôleurs à microprocesseurs, devenus beaucoup moins onéreux, et au détriment des contrôleurs électromécaniques. Il est cependant difficile de donner ici des chiffres précis sur cette évolution, comme d'ailleurs sur celle de la population totale de feux de signalisation. Leur augmentation a été très nette dans les décennies 60 et 70 : on note des taux de croissance de l'ordre de 3% par an aux Etats-Unis (ce qui fait en moyenne 5.000 nouveaux feux chaque année) ou de 6% par an au Canada au milieu des années 70³⁰. Aux Etats-Unis, on compte environ 159.000 carrefours à feux en 1965 et 240.000 en 1981 ; à Hambourg, en 1970, on en compte 900 ; sur l'ensemble du territoire français, on en compte 30.000 en 1985 ; et 1500 à Paris à la fin des années 90.

²⁹ A. Pape, *Exploitation des carrefours à feux. La démarche P.I.A.F. pilote informatique d'armoires à feux*, CETUR, 1986, p.13.

3.2. Modes de fonctionnement des contrôleurs

Les différents types de contrôleurs peuvent fonctionner sous divers modes. Outre le contrôle manuel, on distingue généralement le contrôle automatique, le contrôle adaptatif et le contrôle coordonné. Dans les faits, ces modes ne sont pas toujours distincts et peuvent se combiner à plusieurs titres, voire même se substituer l'un à l'autre.

- Mode manuel : dans ce cas, c'est un individu qui actionne le changement d'état du carrefour. C'était le cas des premiers feux de circulation, comme on l'a vu ; mais aujourd'hui encore, les feux peuvent fonctionner en mode manuel si la situation l'exige, ou également en mode semi-manuel (ou semi-automatique), lorsque l'opérateur humain actionne en fait le déclenchement d'une phase et non de chaque intervalle.

- Mode automatique : ce mode n'exige aucune intervention extérieure : les états successifs d'un cycle se déroulent séquentiellement suivant les plans de feux en place dans le contrôleur ; en conséquence, on parle aussi de fonctionnement en cycles fixes.

- Mode adaptatif : contrairement au mode automatique, le mode adaptatif permet l'adaptation de la durée de l'intervalle vert, et par conséquent la modulation de l'ensemble des phases d'un cycle, en fonction de la demande, c'est-à-dire en fonction des variations du trafic. Ainsi, un vert peut être allongé pour écouler le flux d'une voie où s'écoule un trafic plus important que dans les voies adjacentes. Un autre exemple d'adaptation est la priorité donnée aux véhicules de transport public : leur arrivée dans un carrefour déclenche soit l'allongement de l'état vert, soit la réduction de l'intervalle rouge sur la voie qu'ils empruntent.

- Mode coordonné : ce mode signifie que plusieurs contrôleurs, donc plusieurs carrefours, sont soumis à une même stratégie de régulation. Il existe deux grandes applications du mode coordonné. La première est la régulation d'axes de circulation, plus connue sous l'expression d'onde verte. Elle consiste à coordonner les phases des différents carrefours d'un même axe routier afin de rendre plus confortable et plus fluide la progression des véhicules, c'est-à-dire d'éliminer leurs arrêts aux carrefours (du moins s'ils respectent une vitesse moyenne, définie par le gestionnaire des feux, qui permet alors de profiter de l'onde verte). La seconde application de la coordination est la régulation de zones. Dans ce cas, ce sont les feux de l'ensemble d'un périmètre géographique déterminé (un quartier urbain par exemple) qui sont coordonnés entre eux, afin d'optimiser les déplacements des usagers, c'est-à-dire de minimiser le temps qu'ils passent dans cette zone.

Les deux derniers modes qu'on vient d'évoquer soulèvent chacun des problèmes techniques que ne posent pas les deux premiers modes. Le mode adaptatif exige de disposer de moyens de détecter les variations du trafic, c'est-à-dire de recueillir des données caractérisant la circulation. Alors que l'œil humain jouait le rôle de détecteur en mode manuel, ou même en mode automatique (puisque ce mode repose sur la définition de plans de feux,

³⁰ Samuel Cass, «Traffic Signals », in Institute of Traffic Engineers (ed.), *Transportation and Traffic Engineering Handbook*, Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1976, p.783.

qui peuvent être déterminés en fonction de comptages, notamment manuels, des débits de circulation), il n'en va pas de même dans les autres modes qui nécessitent des capteurs artificiels et automatiques. Il en existe différentes sortes : pneumatiques, hydrauliques, acoustiques, photoélectriques, à boucles électromagnétiques, à ultrasons, à infrarouge, les radars, les caméras, etc. Ces capteurs sont placés à une certaine distance du carrefour concerné et reliés par câbles ou par ondes au contrôleur qui reçoit et interprète l'information codée par le détecteur³¹. A Paris ou à Bruxelles par exemple, les capteurs utilisés aujourd'hui sont classiquement des capteurs à boucles magnétiques (figures 9 et 10). On notera également que de tels systèmes de détection possèdent des coûts d'installation et d'entretien non négligeables ; en effet, le nombre de capteurs qu'exige un carrefour fonctionnant en mode adaptatif est élevé. En outre, les capteurs sont pour la plupart assez fragiles ; des pannes sont fréquentes, rendant les réparations nombreuses mais pas toujours rapides. Ce qui signifie que certains feux adaptatifs peuvent fonctionner en mode dégradé, c'est-à-dire en fait en mode automatique.

De son côté, le mode coordonné, outre le fait qu'il peut être lui aussi adaptatif et donc requérir la présence de capteurs, exige que s'opère une transmission d'informations entre les différents contrôleurs des carrefours d'une même zone. Même dans l'hypothèse de feux fonctionnant en mode automatique, leur coordination (par exemple pour créer une onde verte) exige que tous les contrôleurs concernés suivent des horloges synchronisées. Cette synchronisation peut être obtenue de différentes manières (par câble, par radio, par couplage optique, par oscillateur à cristaux, par satellite). Dans le cas d'une régulation coordonnée adaptative, les transmissions entre leurs contrôleurs peuvent s'opérer par des canaux fort semblables : par câbles indépendants (dédiés uniquement à cette transmission), par câbles multiplex (un seul câble permet de grouper plusieurs canaux d'information en une seule liaison) ou encore par radio ou hyperfréquences. Actuellement, la technique la plus fréquemment utilisée est celle du câblage multiplex.

On notera également que les modes adaptatif et coordonné, ainsi que leurs combinaisons, se trouvent être aujourd'hui gérés à distance à partir d'un poste de contrôle (PC) où travaillent les opérateurs ou les gestionnaires (humains) des carrefours. Cette télégestion repose évidemment sur des transmissions d'informations entre les feux et le PC, lesquelles s'opèrent par câbles ou par ondes. Pour fixer les idées, on soulignera qu'un système de gestion des feux comme SURF 2000 utilisé aujourd'hui à Paris est capable de contrôler simultanément jusqu'à 1920 armoires de carrefours. Les données brutes, provenant des capteurs, informent les contrôleurs mais aussi les opérateurs, qui peuvent ainsi non seulement réagir à certaines situations et envoyer des instructions aux contrôleurs, mais également stocker ces informations pour en faire des bases de données.

³¹ Un capteur est un transducteur physique sensible au passage ou à la présence d'un véhicule, tandis qu'un détecteur est un élément électronique qui transforme l'information issue du capteur en signal électrique.

3.3. Les principes de programmation

Quel que soit le type de contrôleur et son mode de fonctionnement, sa conduite sera guidée par un certain nombre de principes ou d'instructions formant le programme selon lequel il s'exécute. Si, dans le cas du sémaphore humain, ce « programme » relève de l'appréciation sensorielle de la situation, laquelle commande les actions censément opportunes, la signalisation automatique requiert qu'ait été préalablement défini ledit programme. Cette définition est dans la pratique le résultat d'un mélange de pragmatisme et de théorie. En effet, s'il existe bien une science du trafic, il n'en reste pas moins que la programmation du fonctionnement d'un carrefour à feux est toujours soumise à des contraintes d'ordre pratique qui interdisent d'y voir l'application stricte d'une théorie scientifique ; autrement dit, elle est le fruit de l'intrication du savoir et du savoir-faire. D'ailleurs, d'un point de vue chronologique, c'est l'installation des premiers dispositifs de signalisation lumineuse qui amena le développement de théories mathématiques du trafic, et non l'inverse. Cette alliance renforça d'ailleurs le pouvoir symbolique et pratique des ingénieurs de la circulation face au scepticisme que témoignaient les autorités policières à l'égard de leurs « inventions »³².

Dans leurs applications à la signalisation lumineuse, le but des recherches théoriques et expérimentales menées par les ingénieurs et les mathématiciens est de permettre, par la définition d'algorithmes, la détermination optimale de la longueur des cycles de feux et des états qui les composent. Sans entrer dans les détails techniques de ces recherches, que nous ne prétendons d'ailleurs pas maîtriser, on peut distinguer deux grandes familles de travaux théoriques dans le domaine.

Historiquement, les premières conceptions théoriques du trafic routier se fondent sur l'analogie avec l'hydrodynamique, c'est-à-dire sur les lois de la physique régissant l'écoulement des fluides incompressibles. Par exemple, L. Baudry de Saunier écrit en 1925 : *La circulation est une question d'hydraulique. Un préfet de police moderne doit ainsi être quelque peu hydraulicien*³³. Progressivement, l'analogie avec les fluides s'est transformée en théorie des flux (*traffic flow theory*), laquelle repose sur quelques variables importantes : la densité du trafic, le débit, la capacité et le taux de saturation d'une voie, les vitesses moyennes, etc. En fait, cette théorie est avant tout capacitaire : il s'agit de calculer les volumes de véhicules que peut contenir une voie, un axe, un carrefour, un réseau, etc. Ces modèles ont donné naissance à de nombreuses méthodes de simulation du trafic (c'est-à-dire à des estimations théoriques des flux sur la base de données empiriques récoltées sur le terrain et extrapolées d'après les paramètres du modèle utilisé) permettant de déterminer des plans de feux adaptés à la situation spatio-temporelle, présente ou future, des carrefours.

Le second ensemble théorique s'est formé autour de la notion de temps de parcours. En partant d'une définition de la durée idéale permettant de joindre deux points situés dans l'espace, il est possible de déterminer une série de paramètres comme : le délai, les temps d'attente (dans le cas d'un axe) ou de séjour (dans le cas d'une zone), la capacité de stockage

³² Clay McShane, « The Origins and Globalization of Traffic Control Signals », op. cit., p.388.

d'une file, etc. Contrairement à la théorie des flux, ce paradigme est avant tout temporel, puisqu'il vise à calculer des durées et à les minimiser (en fonction de différents critères comme l'importance des axes routiers, les types de véhicules, leurs vitesses souhaitées, etc.). Il a été largement utilisé en matière de signalisation, puisqu'il permet de théoriser le problème du goulot et de la file. Très schématiquement, il repose sur trois notions : un serveur (ou goulot, c'est-à-dire le feu dans notre cas), des usagers (qui demandent un passage) et une file (une ligne d'usagers attendant d'être « servis », c'est-à-dire de passer). On notera que ce que les anglo-saxons appellent la *Queuing theory* a abondamment profité des problèmes qu'a posés l'organisation du pont aérien destiné à approvisionner Berlin emmuré³⁴. L'algorithme PRODYN, installé notamment à Bruxelles dans le cadre du projet européen CITIES, est quant à lui une application des plus avancées de ce modèle théorique. Nous aurons l'occasion d'y revenir.

Mais avant d'en venir au présent (et surtout au futur) de la gestion du trafic, soulignons ce que nous enseigne l'histoire du feu de signalisation. Le processus par lequel il a été adopté et normalisé fut extrêmement rapide et répandu. L'historien Clay McShane attribue ces caractères non pas tant à une efficacité technique qu'au consensus social qui a été construit à son sujet. Selon lui, les différents groupes sociaux concernés par l'usage de ces dispositifs les ont accueilli favorablement, leur diffusion ne connaissant alors que peu ou pas d'obstacles : *They were acceptable to motorists, probably the most influential group concerned with traffic, but were cheaper than police control, and more pedestrian friendly than stop signs*³⁵. Les deux groupes censément hostiles au trafic automobile (que les feux de signalisation tendaient à favoriser), à savoir les riverains et les compagnies de transport public, acceptèrent ces dispositifs, les uns parce qu'ils leur permettaient de ne pas perdre un droit d'accès égal aux artères principales de leur ville que leur refusait le panneau « stop »³⁶, les autres parce qu'ils leur assuraient des injonctions plus adaptées et plus équitables (puisque automatiques) que celles lancées par les policiers, censément malveillants à l'égard de ces monopoles critiqués dont jouissent les compagnies de transport public mais aussi à l'égard des usagers pauvres ou noirs de la rue³⁷. Cette « efficacité » de la machine est objectivée par des enquêtes effectuées par les ingénieurs des villes qui concluent à sa supériorité par rapport à la régulation humaine. L'hégémonie que ces derniers acquièrent sur la définition de l'ordre dans la rue et de la gestion routière peut alors être interprétée comme résultant d'un processus symboliquement violent d'imposition de la pertinence : *Traffic lights triumphed for largely political reasons* conclut Clay McShane³⁸. L'institution du feu rouge traduit l'issue d'un conflit social, favorable au groupe le plus fourni en moyens symboliques et pratiques de faire valoir la légitimité de son langage, langage qu'il verbalise et

³³ Propos cités par Christophe Studeny, *L'invention de la vitesse*, Paris, Gallimard, 1995, p.285.

³⁴ M.G. Lay, *Ways of the World*, op. cit., p.328.

³⁵ Clay McShane, « The Origins and Globalization of Traffic Control Signals », op. cit., p.397.

³⁶ De même, on a signalé précédemment le rôle des riverains dans la suppression des sonneries mécaniques accompagnant la signalisation lumineuse (André Guillaume, « La congestion urbaine : problèmes et solutions dans l'entre-deux-guerres », op. cit., p.129).

³⁷ Ibidem, p.387 : « It is hardly surprising that American blacks would prefer control by a color-blind machine to control by a big-city police officer. For them and others, machines seemed fairer ».

³⁸ Ibidem, p.397.

langage qu'il matérialise³⁹. Dans cette optique, la promesse télématique que tiennent aujourd'hui les gestionnaires de la circulation routière peut apparaître comme la version contemporaine de leur hégémonie symbolique et pratique.

4| LA PROMESSE TELEMATIQUE

Les différents prototypes et modèles de feux de signalisation que nous venons d'évoquer ont toujours porté avec eux une prétention à l'efficacité, c'est-à-dire à la fonctionnalité entendue comme caractère de ce qui s'adapte exactement à une fonction ou à un but déterminés. Dans l'esprit de ses concepteurs comme de ses exploitants, si le fonctionnement du feu évolue, c'est pour améliorer sa fonctionnalité, sa capacité à assurer sa fonction. Ainsi, le carrefour « intelligent » se présente comme la dernière version de la signalisation lumineuse ; c'est notamment le cas du carrefour équipé du système PRODYN que nous venons de citer. Depuis une quinzaine d'années, le développement des techniques électroniques et des télécommunications semble en effet apporter des changements importants et des perspectives nouvelles en matière de gestion du trafic, non seulement dans le cas des feux de circulation mais dans le domaine routier en général. Tous les intervenants concernés par le problème de la circulation reconnaissent d'ailleurs cette évolution :

Perhaps it is shortsighted to say that as yet there looms on our transport horizon no alternative to the car, the truck, and the road. Rather than alternatives, the future seems rather to suggest that electronics and information technology may well see the car and the road evolve into an even more effective combination than they are today. Nowhere has technological development been clearer than in the field of traffic control.⁴⁰

Pour les années à venir, l'une des nouvelles priorités va certainement concerner une optimisation des infrastructures routières et autoroutières compte tenu, comme il l'a été évoqué ci-avant, d'un nombre de véhicules grandissant et d'un besoin de mobilité croissant. Cette priorité aura pour objectif une amélioration – souhaitée – des conditions de circulation et de sécurité des usagers de la route. C'est en premier lieu sous cet angle que peut être introduite l'information routière comme facteur concourant pour partie à la réalisation de ces objectifs.⁴¹

On le voit, la fonction attribuée à l'ingénierie et à ses techniques est toujours la même qu'il y a un siècle : il s'agit bien de traiter les problèmes qui frappent la circulation routière. Mais au niveau des instruments de régulation du trafic, la télématique semble pouvoir promettre une efficacité inédite. C'est pourquoi, après nous être intéressé jusqu'ici à la signalisation

³⁹ La signalisation routière a toujours été considérée par ses promoteurs comme un langage adapté à la gestion de la circulation et nécessitant d'être connu et respecté par les usagers de la route. Ainsi le Directeur français de la sécurité et de la circulation routières écrivait en 1988 : « La signalisation s'est forgé un puissant langage servant de communication entre le gestionnaire de voirie et le conducteur. [...] Notre réglementation actuelle se trouve confortée par les conventions internationales de Vienne et de Genève. [...] Enjeu majeur pour la sécurité des déplacements et la commodité d'usage des infrastructures, la signalisation routière offre un champ d'activité important et passionnant à tous ceux qui voudront, par leurs compétences variées, participer à la mise en place d'un langage de communication international unique pour une maîtrise de la sécurité et de l'exploitation routières de l'an 2000 » (Pierre Graff, « Editorial », *Revue générale des routes et aérodromes*, 658, 1988, p.5). On peut difficilement tenir un discours plus universaliste et plus auto-légitimateur.

⁴⁰ M.G. Lay, *Ways of the World*, op. cit., p.328.

lumineuse, nous allons maintenant élargir notre point de vue en présentant ce que recouvrent les expressions de « route intelligente » ou de télématique routière. Nous commencerons par décrire les principes généraux de fonctionnement de ce complexe technique et organisationnel, puis nous en distinguerons les applications principales, parmi lesquelles prend place le « traffic control ».

4.1. Principes généraux

Pour qui s'intéresse de près ou de loin à la circulation automobile, le développement de la télématique routière apparaît comme une innovation technologique majeure. Ce terme recouvre en effet une vaste gamme d'objets et de dispositifs techniques nouveaux faisant appel aux connaissances les plus récentes en matière d'électronique, de télécommunication, de programmation et d'automatisation. Comme son nom l'indique, la télématique routière est donc l'application de la télématique à la gestion de la mobilité motorisée, et, en tant que telle, désigne un ensemble de dispositifs techniques destinés à l'amélioration et à l'optimisation du trafic routier. Plus précisément encore, c'est un concept technico-organisationnel qui définit un système technique idéal dans lequel sont intégrées, par l'intermédiaire des technologies de l'information et de la communication, les deux activités principales relatives au phénomène de la circulation routière : la gestion du trafic et la conduite automobile. Autrement dit, la télématique routière est l'ensemble des dispositifs et des services destinés, d'une part, à donner à l'utilisateur de la route les informations dont il est censé avoir besoin pour améliorer son déplacement et, d'autre part, à améliorer (c'est-à-dire à optimiser) les pratiques de gestion du trafic automobile.

Du point de vue des principes généraux de fonctionnement de l'ensemble de ces dispositifs, la tâche essentielle qui leur est assignée réside dans *la détection, l'analyse et la transmission des informations pertinentes*⁴². Leur point commun à tous est donc le fait qu'ils sont concernés et liés entre eux par la notion d'information au sens physique du terme, que ce soit au niveau de sa production, de sa transmission, de son traitement ou de sa visualisation. Ceci signifie également que le développement de la télématique routière nécessite trois éléments distincts mais reliés : une infrastructure intelligente capable de produire l'information (capteurs, caméras, etc.) ; des équipements intelligents, soit en bord de route, soit à l'intérieur des véhicules, capables de rendre lisible l'information (carrefours dynamiques, panneaux à message variable, ordinateurs de bord, etc.) ; enfin, des structures intermédiaires de traitement et de transmission de l'information (centres de contrôle, canaux de transmission, satellites, etc.). On soulignera donc le caractère potentiellement intégré de ce complexe technique, même si aux visions enthousiastes de la route intelligente (voir figure 11) doit être substituée la

⁴¹ Y. Boutin Desvignes & M. Gironde, *L'information routière*, Paris, PUF, 1996, p.5.

⁴² Georges Dobias, « Télématique et transports routiers. L'avenir de la route intelligente », *Futuribles*, 209, 1996, p.37.

réalité d'un système géographiquement, techniquement et économiquement encore fort fragmenté et en pleine élaboration.

4.2. Applications principales

Cependant, le caractère central de l'information ne doit pas cacher la grande diversité des applications incluses sous les expressions de *télématique routière*, de *route intelligente* ou encore de *systèmes de transport intelligent* ; elle n'en constitue en réalité que le plus petit commun dénominateur, du moins au niveau de son acception générale. La télématique routière peut ainsi être décrite à partir de trois grands domaines d'application⁴³, que l'on distingue ici en fonction des catégories d'acteurs qui utilisent l'information qu'elle génère : les aides à la conduite automobile, la gestion de la circulation routière et la gestion de flottes de véhicules.

- **La conduite assistée** : sous cette catégorie, on regroupe tous les dispositifs techniques dont peut être équipé le véhicule privé d'un individu. Parmi ces instruments, on peut distinguer deux ensembles distincts : d'une part les équipements de contrôle du véhicule et d'autre part les équipements d'information du conducteur. Dans le premier ensemble, on trouve notamment : les systèmes anticollision, la visionique anti-accident, les régulateurs de vitesse, les dispositifs de sécurité passive, et également les systèmes groupés sous la bannière « autoroute automatique ». Les équipements d'information du conducteur comprennent quant à eux : les instruments de radioguidage (autoradios) et de guidage interactif (ordinateurs de bord), l'aide au covoiturage, les systèmes d'appels d'urgence, etc. Notons que ces différents équipements peuvent être soit de « première monte », c'est-à-dire installés lors de la fabrication du véhicule, soit de « deuxième monte », c'est-à-dire achetés et installés chez un vendeur d'accessoires.
- **La gestion de trafic** : sont concernés ici tous les équipements destinés à l'accomplissement des tâches du gestionnaire de trafic : panneaux à messages variables, télésurveillance et téledétection des incidents, péage automatique, gestion de l'information, fourniture de services, et bien sûr les feux intelligents. Tous ces équipements tendent à former un « environnement routier intelligent » (la Commission européenne proposait dès 1988 l'expression « IRTE », c'est-à-dire « Integrated Road Transport Environment ») dont la gestion a pour double but, d'une part, d'optimiser la distribution du trafic sur un réseau afin d'en accroître la capacité et, d'autre part, d'optimiser les déplacements individuels par la fourniture d'une information utile à l'utilisateur.
- **La gestion de flottes** : une troisième catégorie d'acteurs du système routier sont les professionnels du transport, qu'il s'agisse de marchandises ou de personnes. Ces

⁴³ Il existe de nombreuses manières de classer les applications de la télématique routière. Notre objectif n'est pas de proposer une typologie prétendument plus pertinente que les autres, mais simplement de présenter les différents usages de la télématique routière d'une manière structurée. Nous ferons d'ailleurs de même en ce qui concerne la présentation des acteurs du champ de la télématique routière, dans le chapitre suivant.

professionnels ont généralement à leur disposition une flotte de véhicules (camions, bus, taxis, etc.) dont il est essentiel de gérer efficacement la répartition et les mouvements. Par exemple, les systèmes d'aide à l'exploitation (SAE) équipent les réseaux de transport public et présentent diverses fonctionnalités, telles la gestion des véhicules en ligne, l'optimisation des horaires du personnel et des services, l'aide à la planification et à la maintenance du réseau, l'information aux usagers, la gestion des titres de transport (ou billettique), la mise en priorité des véhicules de transport public dans la gestion du trafic, etc. Ces systèmes sont généralement constitués d'un calculateur dans chaque véhicule captant les signaux émis par des satellites géostationnaires (GPS), signaux complétés par divers appareils (odomètre et gyromètre) dont sont équipés les véhicules. Ces informations sont ensuite transmises par radio au centre de localisation qui peut à son tour gérer ses trois fonctions de base : la régulation, l'information et la sécurité.

La vision idéale de la route intelligente décrit, comme on l'a vu, une intégration optimale de ces différents systèmes. Ainsi, une flotte de véhicules, si elle est équipée des instruments adéquats, peut devenir une source d'information sur l'état du trafic pour le gestionnaire du réseau routier d'une ville ou d'une région par exemple. De même, la qualité de l'information fournie à l'automobiliste dépendra fortement de la qualité de son système de récolte, dont la conception et la gestion ressortissent généralement aux prérogatives des autorités publiques. Cependant, une telle intégration présuppose l'efficacité, la fiabilité et la disponibilité de technologies génériques qui, si elles ne sont pas propres à la télématique routière, en constituent néanmoins les conditions techniques nécessaires. Parmi elles, on peut citer la technologie satellitaire (mieux connue sous son acronyme anglais GPS), la téléphonie mobile et plus globalement la télétransmission, la reconnaissance vidéo, la technologie des écrans informatiques, etc.

4.3. PRODYN, un cas de « carrefour intelligent »

Comme on vient de le voir, la gestion des carrefours par la signalisation lumineuse est une des applications principales de la télématique en matière d'ingénierie du trafic routier. Ce n'est certes pas la plus visible, contrairement par exemple aux systèmes de navigation ou aux panneaux à message variable. Extérieurement, un feu intelligent est en effet absolument identique à un feu d'une génération antérieure. Par contre, du point de vue du gestionnaire de la circulation, une telle application semble promettre une amélioration des performances du système dont il a la charge (figure 12).

Il existe plusieurs types de carrefours intelligents, c'est-à-dire, en réalité, plusieurs types de logiciels ou d'algorithmes destinés à les faire fonctionner. Parmi ceux-ci, l'algorithme PRODYN constitue une innovation importante, puisque son principe de base consiste à se

passer des concepts classiques de cycle et de phase⁴⁴. Plus exactement, on peut dire que, pour PRODYN, il n'y a pas de cycle prédéterminé, mais que ce cycle est constamment réadapté, et ce à tous les carrefours⁴⁵. En fait, l'algorithme gère pour chaque feu les séquences de commutation d'un état à un autre « sur un horizon donné », c'est-à-dire de manière prospective pour une période future dont la durée a été préalablement définie (en général, cette période est de 75 secondes, mais peut aller jusqu'à 120 secondes)⁴⁶. En d'autres mots, le calcul des paramètres (cycle, phase, etc.), tâche classique des logiciels antérieurs, est remplacé par un processus de décision visant à déterminer s'il s'agit de conserver les feux d'un carrefour dans leur état courant ou s'il est préférable de les faire commuter en un autre état. Cette décision, prise toutes les 2 à 5 secondes, a pour objectif de définir une séquence optimale des commandes sur l'horizon temporel dont on a préalablement parlé. On parle ainsi d'*horizon glissant* pour désigner cette capacité du logiciel PRODYN à définir à chaque instant une certaine vision de l'avenir⁴⁷. Le critère d'optimisation utilisé est celui de la minimisation des temps d'attente des véhicules demandant une entrée dans le carrefour ou circulant dans la zone. La méthode PRODYN peut en effet tant s'appliquer à des carrefours isolés qu'à des carrefours coordonnés au sein d'une zone donnée.

Au niveau pratique, l'algorithme PRODYN peut théoriquement être installé dans n'importe quelle armoire à feux existante, car il est compatible avec tous les contrôleurs disponibles sur le marché. Cependant, son fonctionnement exige l'installation d'un nombre important de boucles de détection capables de lui fournir l'information sur l'état du trafic, dont il a besoin pour prendre ses décisions.

Ce produit, aujourd'hui commercialisé, est issu d'un processus de recherche et d'expérimentation assez long, puisque les premières études remontent à 1978. Celles-ci ont été entreprises au CERT/DERA⁴⁸, c'est-à-dire dans un organisme public. Les premières expérimentations ont été organisées à la fin des années 1980 sur la ZELT de Toulouse⁴⁹. Les financements ont toujours été publics (INRETS, Direction des Transports du Ministère français de l'Équipement, programme européen DRIVE⁵⁰). Aujourd'hui, des firmes privées commercialisent le système (GTME – GTM Entrepouse Electricité – et Garbarini en France, Macq Electronique en Belgique), dont la licence reste propriété de l'État français.

Ces dernières précisions montrent, comme l'ont fait précédemment les données historiques, l'implication et l'imbrication de différents types d'acteurs dans le développement d'un système technique comme un module de gestion des feux. Elles semblent par conséquent souligner le processus d'objectivation, tout à la fois symbolique et matériel, par lequel des

⁴⁴ J.M. Thiriet, M. Robert, C. Humbert, J.J. Davaine, « Cinq générations de stratégies de régulation du trafic urbain de par le monde », *Transport Environnement Circulation*, 109, 1991, p.32.

⁴⁵ Guy Cohen, *Modélisation des réseaux urbains*, Paris, CNRS Editions, 1995, p.84.

⁴⁶ Simon Cohen, *Ingénierie du trafic routier*, op. cit., p.144.

⁴⁷ L. Khoudour, J.B. Lesort, J.L. Farges, « PRODYN. Trois ans d'expérimentation sur la ZELT », *Recherche Transports Sécurité*, 28, 1990, p.89.

⁴⁸ Centre d'Études et de Recherches de Toulouse/Département d'Études et de Recherches en Automatique.

⁴⁹ Zone Expérimentale et Laboratoire de Trafic de Toulouse.

⁵⁰ Deux projets concernant PRODYN ont été financés dans ce cadre : le projet DRIVE V1022 « Realisation of a Real Time Urban Traffic Control System (Dynamic Programming) » et le projet DRIVE V2054 « CITIES : Cooperation for Integrated Traffic Management and Information Exchange Systems ».

contenus techniques adviennent à l'existence. Mais quelles sont *les conditions ou les formes sociales* d'un tel processus ? Telle est la question à laquelle nous allons tenter de répondre dans la suite de notre enquête.

