



**Conseil Economique
et Social**

Distr.
GENERALE

TRANS/WP.5/1997/5
14 juillet 1997

Original : FRANCAIS

COMMISSION ECONOMIQUE POUR L'EUROPE

COMITE DES TRANSPORTS INTERIEURS

Groupe de travail chargé d'examiner les tendances
et l'économie des transport

(Dixième session, 23-25 septembre 1997,
point 4 (b) de l'ordre du jour)

PROCESSUS D'EVALUATION DES PROJETS D'INFRASTRUCTURE
DANS LE DOMAINE DES TRANSPORTS INTERIEURS

Détermination d'un indice des fluidités pour la mesure du niveau
de congestion des infrastructures de transport

Transmis par le Gouvernement italien

Au cours de sa neuvième session, le Groupe de travail a examiné un document présenté par le Gouvernement italien montrant, à partir d'exemples concrets, les incidences pratiques de la méthodologie des indices de flux pour déterminer les priorités d'investissement en matière d'infrastructure des transports, comme suivi d'un document présenté lors de sa session précédente (TRANS/WP.5/R.83).

Veuillez noter que la distribution de la documentation pour le Groupe de travail chargé d'examiner les tendances et l'économie des transports n'est plus restreinte. Le secrétariat a adopté, en conséquence, le nouveau système d'affichage où les documents de travail seront présentés comme suit: TRANS/WP.5/1^{année de la session}/numéro d'ordre, tandis que les rapports, les ordres du jour provisoires, les résolutions et les publications principales continueront d'avoir le même type de cote qu'avant: TRANS/WP.5/numéro d'ordre.

Afin de comprendre mieux encore l'interaction des différents éléments des indices de flux, le Groupe de travail a demandé au représentant de l'Italie de préparer pour la prochaine session une note indiquant les modifications quantitatives qui pourraient être décelées grâce à la méthode présentée. Cette note est reproduite ci-dessous pour qu'elle soit examinée par le Groupe de travail.

1. PRINCIPE : "COUT DE LA CONGESTION"

Une des questions les plus ardues que les responsables de la politique des transports aient à résoudre est celle de l'élaboration d'une structure de redevances qui traduise fidèlement l'utilisation d'une infrastructure de transport donnée, y compris l'internalisation des coûts externes et de leur répartition. En d'autres termes, les redevances exigibles des usagers devraient correspondre exactement au "coût social marginal", dans des conditions d'équilibre budgétaire.

Dans ce contexte, le "coût social marginal" peut englober le "coût marginal pour l'utilisateur" (c'est-à-dire le montant du coût marginal de rénovation, de maîtrise, d'exploitation et de gestion de l'infrastructure); le "coût marginal de congestion", c'est-à-dire le coût imputable à l'élimination des embouteillages, et le "coût marginal externe", c'est-à-dire la somme des coûts relatifs à la pollution et aux nuisances sonores, aux effets secondaires des accidents de la route et aux entraves imposées à d'autres modes de trafic. Lorsque le taux calculé en fonction du coût marginal pour l'utilisateur ne couvre pas le coût de l'infrastructure, les conditions d'équilibre budgétaires exigent un relèvement du taux des péages ou des redevances.

La composante de la tarification qui concerne la congestion devrait entrer en jeu lorsqu'il y a effectivement encombrement, non seulement aux heures de pointe, sur une base saisonnière et horaire. A cet égard, la tarification devrait s'appliquer lorsque les infrastructures sont insuffisantes pour chaque mode de transport ou lorsque la répartition de l'infrastructure elle-même est cause de conditions d'écoulement difficiles, empêchant les usagers d'emprunter librement le mode de transport de leur choix.

La formule générale proposée par la délégation italienne consiste, pour l'analyse du niveau de congestion d'un couloir de trafic multimodal donné, à distinguer trois aspects : "infrastructure", "de gestion" et "normatif". Cette formule doit s'appliquer à des situations homogènes et, en soi, ne représente pas une valeur absolue mais permet d'évaluer différentes situations qu'il sera donc possible de comparer. L'indice obtenu en faisant appel à ces trois facteurs indiquera le flux de circulation, permettant ainsi d'évaluer les possibilités d'intervention dans ce secteur, les priorités et le niveau général de qualité du service étant définis.

2. STRUCTURE DE LA FORMULE OPERATIONNELLE

La formule opérationnelle qui détermine le niveau de congestion d'une infrastructure en termes quantitatifs est celle qui permet de préciser, en dernière analyse, les causes éventuelles de la congestion.

En même temps, la formule doit comporter les éléments ci-après

- a) un indicateur qui exprime de manière simple l'aptitude prévisible de l'infrastructure visée à absorber efficacement les flux de trafic et incorpore, si possible, les incidences de tout événement susceptible de nuire à la qualité du service;
- b) certains "poids", exprimant les différentes typologies d'infrastructure pour le même mode de transport et les incidences des trois aspects, "infrastructure", "de gestion" et "normatif" de la formule;
- c) la part du trafic, s'agissant d'un "coefficient global moyen de congestion" d'un couloir multimodal.

Pour déterminer l'indice de fluidité on a élaboré la formule générale suivante:

$$I_c = \sum I_i / n_i = [\sum I(\text{infra})_i + \sum I(\text{gest})_i + \sum I(\text{norma})_i] / n_i$$

I=1,2,3...n modes de transport

L'indice global d'itinéraire ou de corridor est donc égal à la moyenne, étant considérés tous les modes de transport, de l'indice de fluidité calculés en considérant les caractéristiques de l'infrastructure, aux modalités de gestion et aux facteurs normatifs qui caractérisent l'exploitation des infrastructures (routes, chemins de fer, voies navigables) qui forment l'itinéraire ou le corridor multimodal examiné.

3. INDICATEURS DE L'EVALUATION DE LA CONGESTION

Pour illustrer notre modèle, nous prenons pour exemple le cas des transports routiers et ferroviaires. Après examen des indicateurs les plus largement utilisés, on retient ceux qui se prêtent le mieux à une homogénéisation adaptée aux différents modes de transport. Cette méthode a pour but d'obtenir une seule variable pour l'évaluation du niveau de congestion de l'infrastructure, de simplifier les termes de la formule opérationnelle et de faciliter le calcul des indicateurs moyens relatifs au corridor multimodal dont l'efficacité peut alors être évaluée en termes d'aptitude à assurer la fluidité du trafic.

Transports ferroviaires

Les indicateurs ci-après, associés à des conditions de voies ferroviaires "homogènes", ont été retenus :

durée du "trajet moyen" et son rapport avec la distance "isolée" parcourue (c'est-à-dire avec la distance idéale parcourue par un train qui n'est pas affecté par la présence d'autres convois sur la même ligne);

vitesse moyenne et son rapport à la vitesse maximale autorisée sur les voies considérées; et

durée des retards, exprimée par le rapport du temps de retard total à la durée totale du trajet parcouru.

Chacun des trois indicateurs susmentionnés traduit l'état de congestion de l'infrastructure, mais l'indicateur relatif au "temps de retard" est d'ordre plus général que les deux autres étant donné qu'il concerne implicitement une combinaison de trains de catégories et de vitesses différentes, sans compter l'infrastructure et l'équipement technologique. D'autres innovations permettront éventuellement de formuler des indicateurs de la congestion d'un trajet ou d'un couloir ferroviaire. Afin de pouvoir être comparé à celui de la circulation routière, l'indice sera fondé sur la congestion aux heures de pointe.

Donc, la structure de la formule pour le cas ferroviaire est la suivante:

$$If=If(infra)+If(gest)=Tf(infra)/Tm+Tf(gest)/Tm$$

Tm = temps global de parcours

$Tf(infra)$ = temps pour les opérations de circulation (croisements et priorités)

$Tf(gest)$ = temps pour opérations différentes (montée des voyageurs, ralentissements, mauvaises conditions atmosphériques, pannes, ...)

Transports routiers

Par rapport au cas des transports ferroviaires où le mouvement des trains s'effectue en fonction de trajets régulièrement planifiés, on constate dans le cas de la circulation routière que les usagers subissent l'influence de divers facteurs : disponibilité de différents moyens de déplacement, conditions routières, choix et diversité des options et des comportements en matière de consommation. Nous faisons ici référence au sigle "H.C.M." (Highway Capacity Manual/Manuel de la capacité des autoroutes).

Une fois défini un "niveau de service" pour une infrastructure routière donnée, une valeur correspondante de "vitesse libre" V_i est attribuée afin de déterminer la "vitesse effective" V_r par rapport aux conditions réelles des flux de circulation étudiés in situ ou simulés par un logiciel approprié. Cette démarche nous permet d'obtenir un " α " entre deux valeurs de vitesse et, partant, de définir le temps perdu du fait des conditions de circulation réelle sur l'artère concernée ce qui permet d'extrapoler, par rapport à la même V_r , les pourcentages de temps correspondants du parcours réel par rapport au parcours idéal.

Dans le cas des transports routiers, à l'instar des transports ferroviaires, il existe différentes combinaisons de circulation sur les grandes artères.

A cet égard l'"Highway Capacity Manual" a élaboré des tableaux où les valeurs flux des véhicules Q et vitesse V du même flux sont en corrélation et

rendent donc possible la détermination de la vitesse réelle du flux V_r et sa comparaison avec la vitesse optimale V_i .

Au temps obtenu en terme de pourcentage entre temps de parcours réel et temps de parcours en conditions idéales, on doit ajouter les temps relatifs aux autres facteurs de la formule générale (de gestion et norme).

La formule proposée pour la route est donc :

$$I_s = I_s(\text{infra}) + I_s(\text{gest}) + I_s(\text{norma}) = [(V_1 - V_r)/V_r] + T_s(\text{gest})/T_m + T_s(\text{norma})/T_m$$

Dans cette formule les termes ont le même sens que ceux de la formule ferroviaire.

Le terme $T_s(\text{norma})/T_m$ prend en considération le temps utilisé pour des raisons de normes (réduction de vitesse dérivant de conditions particulières, contrôle de douane,...).

Le pourcentage de temps perdu vaut donc pour l'ensemble de l'infrastructure ce qui permet de prendre en compte les trois aspects de la formule générale (infrastructure, de gestion et de norme). Cela dépend essentiellement de la quantité et, avant tout, de la qualité des données collectées.

4. LES "POIDS" DE L'HOMOGENEISATION

Afin de déterminer les "poids" de ce modèle, il convient d'établir une distinction entre la route et le rail car les valeurs potentielles des segments d'infrastructure différeront selon le cas.

Transports ferroviaires

Afin d'homogénéiser les valeurs correspondant à la congestion d'une ligne ferroviaire donnée, il est nécessaire de partir du "potentiel de circulation", c'est-à-dire la variable exprimant l'approximation la plus fine du niveau qualitatif et fonctionnel de la ligne de chemin de fer pour une période donnée. En fait, cela dépendra des caractéristiques technologiques et structurelles de la ligne, de l'organisation des opérations et des caractéristiques techniques du matériel roulant. Une étude récemment établie par la F.S. S.p.A. (Société nationale des chemins de fer italiens), intitulée "La fonction stratégique : études et marchés", a permis de déterminer plusieurs "coefficients types de qualité fonctionnelle" qui permettent d'homogénéiser les valeurs relatives aux infrastructures ferroviaires, même lorsque les typologies diffèrent. Ces valeurs sont les suivantes

- 1,00 pour les lignes non électrifiées à voie unique;
- 2,27 pour les lignes non électrifiées à double voie;
- 1,11 pour les lignes électrifiées à voie unique;
- 2,52 pour les lignes électrifiées à double voie;

(la valeur 2,52 indique, par exemple, qu'une ligne électrifiée à double voie peut accepter un nombre moyen de trains de transit/jour 2,52 fois supérieur au

nombre moyen de trains de transit/jour sur une voie non électrifiée à voie unique).

Ces valeurs pourraient être utilisées pour homogénéiser l'indice de fluidité proposé dans le paragraphe précédent auquel cas il faudrait disposer d'un indice relatif à différentes lignes d'infrastructure, 1° "indice global moyen de fluidité" d'un "trajet" ou d'un "couloir", pour comparer des "couloirs" ferroviaires comportant des segments sensiblement hétérogènes sur le plan de l'infrastructure ou de l'équipement technologique.

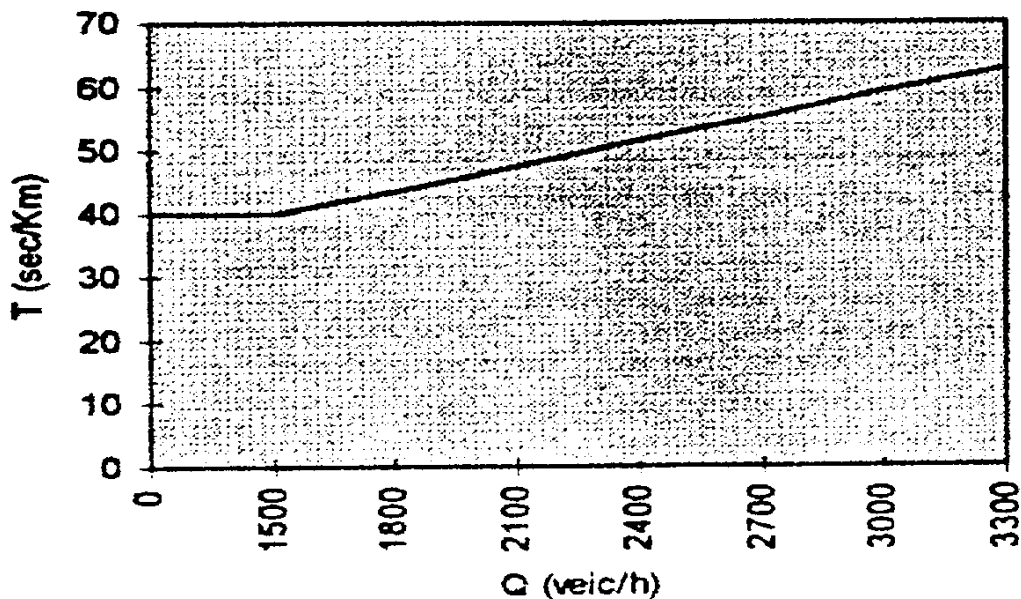
Dans la formule proposée, ces poids d'homogénéisation n'ont pas été insérés car le "software" de simulation représente le réseau ferroviaire de façon à tenir implicitement en compte les différents équipements d'infrastructure. On a cependant jugé opportun d'en donner un aperçu pour une utilisation éventuelle au cas où des définitions de l'indice de fluidité seraient alternatives à ceux proposés.

Transports routiers

Dans le cas des transports routiers il nous faudra examiner les différentes combinaisons de circulation sur les diverses sections d'infrastructure. On a déjà vu que cela dépendra essentiellement de la décomposition la plus fine possible des flux horaires observés ou simulés, qui permettra de définir le "flux moyen d'une artère" d'où sera tirée une "vitesse globale moyenne d'écoulement" qui sera comparée à l'indice de la ligne ferroviaire du couloir correspondant.

Pour ce qui concerne le rapport entre flux et vitesse, les normes italiennes du Conseil National de Recherche (C.N.R.) de mai 1993 se rapportent à des "courbes d'écoulement" (T,Q) ayant une forme "linéaire brisée" dérivées de certaines expériences effectuées récemment en Italie et qui représentent l'accroissement linéaire des temps de parcours et de l'accroissement du flux de circulation.

Les courbes sont disponibles pour les principaux types de routes non-urbaines qui sont considérées par la plus récente norme du C.N.R. On considère ici la "courbe d'écoulement" relative à une autoroute avec deux voies pour chaque direction de marche, avec vitesse programmée de 90-120 km/h et vitesse de marche en condition de libre flux de 90km/h:



Il est évident que la "courbe de découlement" considère des facteurs qui ne sont pas généraux pour tous les Pays et pour cela il est très important de relever in situ les variables (Q,V) o (Q,T).

Dans le cas où les relevés statistiques des flux sont très dispersés, on devra considérer la variable avec son intégration dans les procédures de calcul.

Pour déterminer le terme $I_s(\text{gest})$ il est opportun d'élaborer des fonctions de corrélation flux-temps en relation avec la longueur des files d'attente et la typologie des opérations aux péages. La méthodologie sera analogue à celle utilisée dans la "théorie des files".

5. L'EXEMPLE DU COULOIR "TIRRENO-BRENNERO"

Une récente étude sur la "faisabilité du développement du couloir multimodal (Tirreno-Brennero)" a permis de calculer les paramètres décrivant la capacité des infrastructures ferroviaires. Des simulations ont été effectuées sur les lignes constituant le couloir ferrcviaire Tirreno-Brennero (Spezia-Parma, Parma-Suzzara, Suzzara-Mantova, Mantova-Verona et Verona-Brennero) en vue d'optimiser la circulation des convois et de procéder à l'affectation du matériel roulant au sein d'un réseau ferroviaire. Pour chacune des voies à l'étude, les horaires ont été adaptés en fonction des limitations à la circulation ferroviaire : priorité de croisement sur les lignes à voie unique, respect de la distance entre deux trains, prise en compte du train en tant qu'entité fixe ou mobile.

Sur la base d'un programme informatique spécifique, nous avons pu établir un "tableau d'aptitude" qui résume les indicateurs relatifs à

l'efficacité de la solution simulée. Le modèle était fondé sur la situation actuelle d'où nous avons dérivé les indicateurs d'aptitude et d'efficacité devant être comparés aux paramètres correspondants des scénarios futurs, tout en prenant en considération le réseau schématique.

On a utilisé pour le calcul des indices de capacité et d'efficacité suivants les différents scénarios de software "TESS" (Train Expert Scheduling System).

		SCENARIO			
		Actuel	1	2	3
	Trains/jour	34	36	38	40
Treni	10 ⁶ Pax*km année	146	146	159	191
Pax	Vélocité moyenne (Km/h)	67	66	67	79
	Perte de temps (%)	4	4	3	1
	Trains/jour	26	34	47	75
Trains	10 ⁶ Tonn*km année	237	633	1.101	2.369
Marchand.	Vélocité moyenne (Km/h)	40	45	45	65
	Perte de temps (%)	13	12	11	6

(le scénario 3 se réfère au doublement complet de la ligne)

Le paramètre "perte de temps(%)" correspond au terme $I_f(\text{infra})$ de la formule proposée. Il est évident que, pour obtenir l'indice ferroviaire complet on doit calculer le terme $I_f(\text{gest})$ qui, en connaissant les temps de marche, se calcule comme $T_f(\text{gest})/T_m$.

Pour la ligne Spezia-Parma on a déterminé cet index par approximation égale à 5% pour les trains voyageurs et à 3% pour les trains marchandises, par conséquent l'indice moyen de fluidité global actuel (scénario actuel) pour cette ligne est:

$$[(5+4)\% + (13+3)\%] / 2 = 12,5 \%$$

Calcul de l'index de fluidité routière

Pour le calcul de l'index de fluidité routière, on a utilisé la formule:

$$I_s = I_s(\text{infra}) + I_s(\text{gest}) + I_s(\text{norma}) = [(V_1 - V_r)/V_r] + T_s(\text{gest})/T_m + T_s(\text{norma})/T_m$$

avec l'application de la méthodologie proposée par l'Highway Capacity Manual.

La simulation faite sur le même itinéraire Spezia-Parma a utilisé des données de 1990.

Route "E 31" Spezia-Parma

Vélocité de projet	96	Km/h
Nombre de voie par direction de marche	2	voies
Longueur de la section routière	100,49	Km
Largeur moyenne des voies	3,75	m

Media des véhicules par jour (Tmg)	22.675	vehicules
Pourcentage véhicules marchandises	17,88	%

La méthodologie proposée consiste à calculer les différents termes $Is(infra)$, $Is(gest)$, $Is(norma)$.

$Is(infra)$ est calculé en déterminant la valeur V_r (vélocité réelle du flux des véhicules). On considère la capacité en conditions idéales égale à 2.000 véhicules/heure par voie. Pour un niveau de service constant (niveau "C") le flux de service idéal est de 1.540 V/h avec une vélocité moyenne du flux des véhicules de 86 km/h.

Le flux de service réel est calculé en considérant les différents facteurs qui ont une influence sur la circulation (% des véhicules marchandises, obstacles de différentes natures, intensité du trafic...).

Dans le cas examiné Spezia-Parma le flux réel Q a été calculé en 5.669 V/h correspondant à 1.200 V/h par voie (égal à 20% du Tmg).

Le rapport réel Q/C est pour la direction Spezia-Parma :

$$Q/C = (1.200 \text{ veic/h} \cdot 2) / (2.000 \text{ veic/h} \cdot 2 \cdot 0,64) = 0,9375$$

Auquel correspond un niveau de service "D" (flux instable) une $V_r=74\text{Km/h}$ et une $Is(infra)$ égales à :

$$Is(infra) = [(96-74)/74 \text{ Km/h}] = 29\%$$

S'il est mis en relation avec une vitesse de projet de 96 km/h, il est égal par contre à :

$$Is(infra) = [(86-74)/74\text{km/h}] = 16,2\%$$

Si on accepte le niveau de service "C" et que l'on pose en relation la V_r , calculée avec la V_i théorique, égale à 86 km/h, cela correspond au même niveau de service.

Il faut dire que, si dans le premier cas $Is(infra)$ est égal à plus du double de la valeur If calculée ($If=12,5\%$) dans la simulation ferroviaire, si on adopte le niveau de service "C" l'indice pour l'autoroute descend à 16%

La comparaison entre Is et If montre, en tous cas, une condition "difficile" et de saturation de la section routière sur une même section ferroviaire.

En tous cas la détermination des indices ferroviaire et routier peut permettre le calcul de " I_c " global, c'est à dire d'un indice de fluidité rapporté au corridor, qui est égal à la moyenne entre I_r et Is .

6. CONCLUSIONS

L'indice de fluidité proposé est, en substance, un coefficient de temps qui prend en compte les conditions de gestion et normatives particulières de la circulation et caractérise la circulation sur chaque artère. Son efficacité dépend donc de la précision avec laquelle les termes qui renvoient à chacun de ces éléments sont incorporés dans le programme. Il faudra aussi procéder à

l'évaluation de ces termes lorsque la même artère est surchargée, aussi bien pour le rail que pour la route.

Il faudra donc suivre de très près l'affectation des valeurs de temps qui seront étroitement corrélées aux situations locales et, avant tout, associées à des conditions de circulation très hétérogènes. Cela vaudra aussi bien pour les liaisons unimodales que pour les liaisons multimodales car, comme nous venons de le voir, la circulation ferroviaire s'inscrit dans un cadre intégré alors que la circulation routière est loin d'être aussi rigide.
