

## Evaluation de l'Efficacité d'une Mesure de Transport

Jean-Marie Boussier\*\*\*, Luminița Ion-Boussier\*, Cătălin Popescu\*\*\*,  
Augustin Mitu\*\*\*, Cașen Panaitescu\*\*\*

\* Ecole d'Ingénieurs en Génie des Systèmes Industriels, 26 rue de Vaux de Foletier, 17041 La Rochelle Cedex 1, France

e-mail: jeanmarie.boussier@univ-lr.fr; luminita.ion@eigsi.fr

\*\* L31 University, 23 Avenue Albert Einstein, 17071 La Rochelle Cedex 9, France

\*\*\* Universitățile de Pétrole et Gaz de Ploiești, 39 Avenue București, Ploiești

e-mail: cpopescu@upg-ploiesti.ro; augustin@amt.ro; c.panaitescu@gmail.ro

### Résumé

*L'article est le résultat de la collaboration sur deux composantes de quelques collectives de spécialistes d'EIGSI (Ecole d'Ingénieurs en Génie des Systèmes Industriels), La Rochelle, France, UTC (Université Technologique de Compiègne), Compiègne, France et l'Université de Pétrole et Gaz de Ploiești, Roumanie. Les deux composantes ont en vue, d'une part, la participation au Projet CIVITAS-SUCCESS (les Communautés Urbaines Moyennes de CIVITAS pour des Solutions Durables de l'Environnement) ayant comme but l'implémentation d'un set de mesures innovatrices de transport, et d'autre part, la proposition d'un nouveau projet de partenariat dans le cadre du Programme Brancusi, un programme bilatéral Roumanie-France concernant l'évaluation des mesures visant l'amélioration des conditions de circulation urbaine.*

*Une fois choisie la mesure de transport qu'on va appliquer, on doit justifier son efficacité en réalisant une évaluation approfondie des impacts. On va tenir compte de quatre catégories – société, environnement, transport, économie – pour faire une estimation globale de l'état de la ville (ou de la zone urbaine affectée de cette mesure) avant et après l'implémentation de cette mesure. Cela va nécessiter l'estimation de chaque indicateur pour ces deux phases.*

**Mots-clefs:** *évaluation, mesures expérimentales, modèles, enquêtes, indicateurs*

L'article est le résultat de la collaboration sur deux composantes de quelques collectives de spécialistes d'EIGSI, La Rochelle, UTC, Compiègne et l'Université de Pétrole et Gaz de Ploiești, concernant l'évaluation des mesures visant l'amélioration des conditions de circulation urbaine.

Une fois choisie la mesure à mettre en place, il faut justifier son efficacité en réalisant une évaluation approfondie des impacts dans les quatre catégories. L'idée de base est de faire une estimation globale de l'état de la ville (ou de la zone urbaine concernée par la mesure) avant et après l'implantation de la mesure. Cela passera donc par l'estimation de chaque indicateur pour ces deux mêmes phases.

Le procédé peut être très simple: le chef de projet dispose d'une source d'information unique pour chaque indicateur et la source est la même pour les deux phases d'évaluation. Mais, d'une façon beaucoup plus réaliste, et quand on connaît le temps d'implantation d'une mesure, les

choses sont beaucoup plus complexes; pour un projet d'envergure (réseau de bus GPL, par exemple), plusieurs experts interviennent (spécialistes transport, urbanisme, environnement, etc.), chacun avec son degré d'expertise sur les quatre catégories d'impacts. A cela on peut ajouter que chaque expert dispose de plusieurs sources d'informations de fiabilités différentes (mesures expérimentales, modèles, enquêtes, rapports, avis personnels) et qui ne sont pas forcément les mêmes entre les phases avant et après implantation de la mesure transport (le  $\text{NO}_x$  peut être évalué par mesure aussi bien que par modèle). De plus, certains indicateurs peuvent être évalués numériquement (par exemple la vitesse moyenne des véhicules), alors que d'autres ne disposeront que d'évaluations linguistiques (le degré de satisfaction des gens, par exemple).

Cette problématique est le cœur de notre projet mettant à profit la complémentarité de nos équipes. Il y a plusieurs verrous à lever:

- sur le plan de la *méthodologie*:
  - comment faire une estimation globale dans un cadre multicritères, multi sources, multi experts;
  - comment réaliser une approche générale du type analyse multicritères par fusion d'informations multi sources, multi experts;
  - quel type d'évaluation pour chaque indicateur susceptible d'être retenu;
- sur le plan *outil orienté web*:
  - comment assimiler le caractère hétérogène de toutes les informations;
  - comment valider le prototype informatique.

Contrairement à la phase de choix d'une mesure, on va bénéficier de la possibilité de valider la phase d'évaluation à l'aide des deux projets qui seront mis en application:

- pour Ploiesti: introduction d'un réseau de bus GPL pour 2007-2008;
- pour La Rochelle: implantation d'un Park&Ride pour 2007.

Les principales étapes de cette phase et la façon dont elles seront validées sont rappelées brièvement dans les paragraphes suivants.

## Evaluation D'une Mesure Par Fusion D'informations

**Méthode:** Afin de prendre en compte l'avis de tous les experts et les informations issues de toutes les sources, nous envisageons d'effectuer une fusion d'informations multi experts et multi sources comme suit (figure 1):

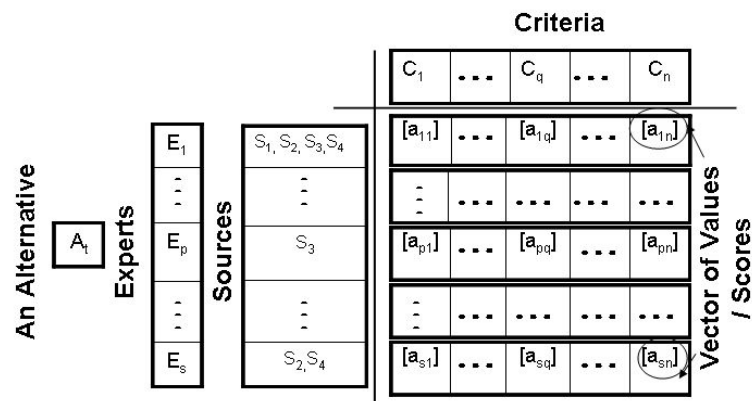


Fig. 1. Analyse multicritères, multi experts, multi sources

Il existe deux étapes distinctes dans le processus d'évaluation de chaque indicateur:

- évaluation d'un indicateur par un expert;
- évaluation d'un indicateur par tous les experts.

Compte tenu du fait que certains indicateurs se voient attribuées des valeurs numériques, d'autres des évaluations linguistiques et que les données peuvent être incertaines ou incomplètes, nous allons utiliser les concepts de la fusion basée sur *théorie de Dempster-Schaffer* couplée avec le formalisme de la *logique floue*.

Pour chaque méthode d'évaluation (mesures expérimentales, modèles, enquêtes, rapports et avis personnels), nous allons proposer un formalisme permettant, par la fusion des informations en provenance de toutes les sources, d'obtenir une évaluation pour chaque indicateur et cela pour chaque expert. En tenant compte du degré d'expertise de chaque expert, il est possible de calculer «l'utilité» associée à chaque indicateur.

L'étape finale dans le processus d'évaluation d'une mesure consiste à affecter une «utilité» globale pour tous les indicateurs en prenant en considération leurs poids. Pour illustrer l'efficacité de la mesure, il faudra faire le rapport relatif entre les utilités correspondant respectivement à la phase «a priori» et «a posteriori».

*Utilisation:* Cette étape fait appel à la collecte d'expertise; l'instrument orienté web permettra aux experts d'inscrire, indépendamment, des informations du type:

- son niveau d'expertise dans les catégories société, environnement, économie, transport (valeur numérique ou linguistique);
- la ou les méthode(s) sélectionnée(s) pour évaluer un indicateur (mesures expérimentales, enquêtes, modèles, avis d'experts);
- fiabilité des sources (valeur numérique ou linguistique);
- l'évaluation de l'indicateur (valeur numérique ou linguistique).

Le résultat obtenu par un expert après cette opération peut être: l'utilité d'un indicateur dans une des phases du projet, l'évolution de l'indicateur entre deux phases (sous forme numérique, cartographique, etc.), l'utilité de la mesure ou son efficacité.

Le responsable du projet a accès à un module supplémentaire lui permettant de connaître les mêmes grandeurs en fusionnant les informations issues de tous les experts.

## Sources D'informations Pour Evaluer Chaque Indicateur

C'est de loin la partie la plus délicate et laborieuse du projet. Pour chaque type d'indicateur (NO<sub>x</sub> pour la pollution atmosphérique, vitesse pendant heures de pointe pour le trafic, etc.) il existe une multitude d'approches allant de simples enquêtes, mesures expérimentales jusqu'à des modèles mathématiques plus ou moins sophistiqués.

Une première partie du travail est donc le recensement des méthodes existantes pour chaque catégorie d'impacts (socio-économiques, trafic, écologiques) et l'implémentation des algorithmes d'évaluation selon le type d'évaluation. Pour tester et valider l'outil d'aide à la décision qui sera conçu en parallèle, les équipes partenaires ont déjà effectué en amont des analyses préliminaires pour estimer les impacts des deux mesures implantées dans les deux villes.

### Impacts sociaux:

*Indicateurs et méthodes envisageables d'évaluation:* Les indicateurs sociaux renseignent sur le niveau de d'information, d'acceptation d'une mesure à mettre en place, aussi bien que sur la

perception de l'accessibilité et du coût de déplacement. La plupart de ses indicateurs s'évaluent avec des enquêtes. Dans la perspective de cette collaboration, l'équipe FSE a effectué une étude préliminaire sur la qualité des enquêtes, les erreurs fréquentes d'échantillonnage et d'interprétation. L'élaboration de ces enquêtes semble très délicate à cause de la spécificité de la ville, l'unicité de certains indicateurs sociaux, le découpage géographique.

Dans la mesure où on souhaite développer un outil qui pourrait servir à l'évaluation des projets transport pour toute communauté urbaine, une attention importante sera portée au fait que la liste d'indicateurs doit rester «ouverte». Il n'est donc pas exclu qu'un utilisateur de l'outil veuille définir des indicateurs sociaux autres, en accord avec les spécificités de sa ville.

Pour ces raisons, l'utilisateur ne disposera pas d'une enquête „type” à adresser aux usagers de la route, mais plutôt d'une méthodologie d'élaboration des enquêtes et de traitement statistique des informations.

**Ploiești et La Rochelle** Parmi les cinq indicateurs associés à la catégorie d'évaluation „société” (tableau 1), seule l'accessibilité économique s'évalue numériquement. Le modèle associé concernant le coût relatif aux services de transport est de nature additive et sera intégré dans le logiciel, l'utilisateur ayant la possibilité d'intervenir pour sélectionner les types de coût à prendre en considération et pour renseigner des valeurs.

Les autres indicateurs s'évaluent avec des enquêtes. Avant l'implémentation d'une mesure, on utilisera les enquêtes à préférences déclarées et après l'implémentation de la mesure les enquêtes de satisfaction.

**Tableau 1.** Indicateurs sociaux

<b>Impact</b>	<b>Indicateur</b>	<b>Description</b>	<b>Donnée/unités</b>
<b>Information</b>	<b>Degré d'information</b>	Degré de connaissance concernant les changements apportés	Index, qualitative, collecté, enquête
<b>Accord</b>	<b>Niveau d'accord</b>	Enquête de satisfaction	Index, qualitative, collecté, enquête
<b>Accessibilité Spatiale</b>	<b>Perception de l'accessibilité</b>	Enquêtes pour connaître la perception de la distance entre une station de bus et la destination	Index, qualitative, collecté, enquête
<b>Accessibilité économique</b>	<b>Coût relatif du service</b>	Coût lié aux revenus et dépenses du consommateur	Index, quantitative, mesuré

#### **Impacts trafic:**

**Indicateurs et méthodes envisageables d'évaluation:** L'analyse des impacts liés aux conditions trafic suite à la mise en place d'une mesure d'amélioration de la mobilité urbaine peut se faire de plusieurs manières:

- **enquêtes auprès des usagers** ou des services de transport afin d'estimer des indicateurs comme: l'efficacité en terme du gain de temps, la qualité du service, le taux d'occupation d'une voiture;
- **opérations de comptage** proprement dits pour évaluer le nombre total de véhicules lourds se déplaçant dans la zone d'étude, le taux d'occupation d'un véhicule;
- **modèles trafic** pour estimer le report modal, la vitesse moyenne, le taux de congestion des routes.

Concernant les modèles, nous utiliserons essentiellement des modèles dits d'ingénierie trafic qui nous informent sur les vitesses moyennes, le taux de congestion. Ces modèles décrivent d'une

manière mathématique l'infrastructure du réseau (composants statiques) et les interactions entre les véhicules et les opérateurs (composants mobiles) à l'intérieur de l'infrastructure. Traditionnellement, les modèles supposent implicitement que la demande et les conditions du trafic étaient stables de jour en jour. En fait, l'observation quotidienne suggère que cette hypothèse est loin d'être vérifiée. D'une part, la matrice O-D varie en fonction du jour de la semaine, en fonction de la période de l'année et de manière totalement aléatoire. D'autre part, les capacités des routes varient en fonction des conditions météorologiques. De plus, les accidents de la circulation, qui sont par essence imprévisibles, constituent environ la moitié des causes de congestion. Cela justifie le fait que le calibrage du modèle nécessitent toujours plusieurs campagnes de comptages à mettre en place dans les deux villes.

**Ploiești et La Rochelle:** Un modèle sera proposé pour chaque ville, en se basant sur un calibrage fait après des comptages (stations automatiques à La Rochelle, évaluations manuelles à Ploiești); Des campagnes de suivie des plaques d'immatriculation peuvent être également greffés afin d'établir des matrices origine destination alimentant les modèles trafic. Plusieurs aspects peuvent être abordés: étude probabiliste du trafic routier, corrélations entre débits et vitesses, investigation de la performance du trafic aux croisements. Ces modèles sont intéressants pour nous, par exemple, pour une analyse des indicateurs de flux, de congestion, la simulation du trafic après l'introduction du park&ride, ou le partage modal ... Les données trafic serviront également à alimenter les modèles de pollution acoustique et atmosphérique.

**Impacts économiques:** La perspective du coût total du transport au niveau d'une communauté urbaine implique en fait deux aspects: les coûts directs et les coûts indirects.

**Coûts directs** sont les dépenses directement impliquées dans les activités de transport, on les appelle aussi le coût du cycle de vie, qui comprennent la totalité des dépenses à partir de l'initiation du projet jusqu'à l'élimination de l'équipement présenté dans le projet, c'est-à-dire le coût de recherche et de développement, le coût de production, le coût de l'opération et d'entretien.

L'analyse du coût de cycle de vie aide en particulier les ingénieurs afin de justifier les équipements et les procédés plutôt en rapport avec le coût global qu'avec le coût d'achat initial. La somme des coûts concernant l'opération, l'entretien et l'élimination dépasse de beaucoup les coûts d'acquisition. Le meilleur équilibre entre les coûts se réalise lorsque les coûts du cycle total sont minimisés. Ces coûts sont à la latitude du Chef de Projet.

Nous allons plutôt nous intéresser à la deuxième catégorie, souvent négligée, dans l'évaluation d'une mesure de transport: coûts indirects.

**Coûts indirects** mesurent les effets de type externe aux activités de transport, comme par exemple: la pollution de l'air, des congestions, des accidents dans la zone urbaine. Ces coûts indirects (sociaux) sont essentiels pour les facteurs de décision car ces coûts sont perçus en étroite liaison avec des facteurs économiques et politiques, même si c'est difficile d'estimer leur valeur monétaire.

**Impacts environnementaux:** Lorsqu'on fait le pessimiste bilan des conséquences écologiques, au moins trois préoccupations différentes peuvent être à l'origine d'une évaluation des nuisances des transports:

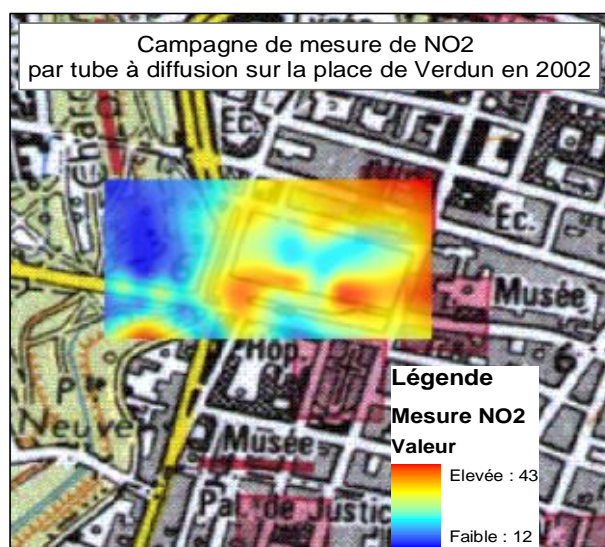
- Evaluer les niveaux réels d'émissions des transports routiers pour les comparer à celles des autres secteurs d'activité et imputer ainsi à chacun sa juste part de responsabilité dans la pollution atmosphérique;
- Mesurer la sensibilité des émissions aux variations des caractéristiques du système de transport, permettant par exemple de tester et de comparer l'impact environnemental de différents scénarios d'évolution du réseau ou de la demande de transport;

- Développer une approche spatialisée des nuisances pour rendre compte à un niveau local voire micro local des problèmes posés par les transports routiers.

Les indicateurs associés aux impacts environnementaux peuvent être évalués de plusieurs manières:

- *par mesures expérimentales* (pour des indicateurs comme CO, NO<sub>x</sub> etc.);
- *par modèles associés aux émissions* (pour des indicateurs CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> etc.);
- *par enquête* (pour la perception de la qualité de l'air et du bruit).

**Mesures expérimentales:** Les travaux se feront en collaboration avec l'entreprise ATMO Poitou-Charentes. L'évaluation expérimentale des concentrations en CO, NO<sub>x</sub> et particules fines peuvent se faire de plusieurs manières:



**Fig. 2.** Mesure de NO<sub>2</sub>

**La Rochelle: Mesure à l'aide de cabines mobiles:** Pour mettre en avant l'impact de certaines mesures, en particulier les modifications de trafic, sur les concentrations, il est intéressant d'utiliser des cabines mobiles, positionnées en des endroits stratégiques, là où les modifications de trafic seront les plus importantes. Une campagne serait réalisée avant l'application des mesures pour servir d'état initial, puis à des échéances régulières pour évaluer l'impact sur les concentrations dans l'air. La durée des campagnes pourrait être de deux semaines, éventuellement renouvelées sur plusieurs mois de l'année.

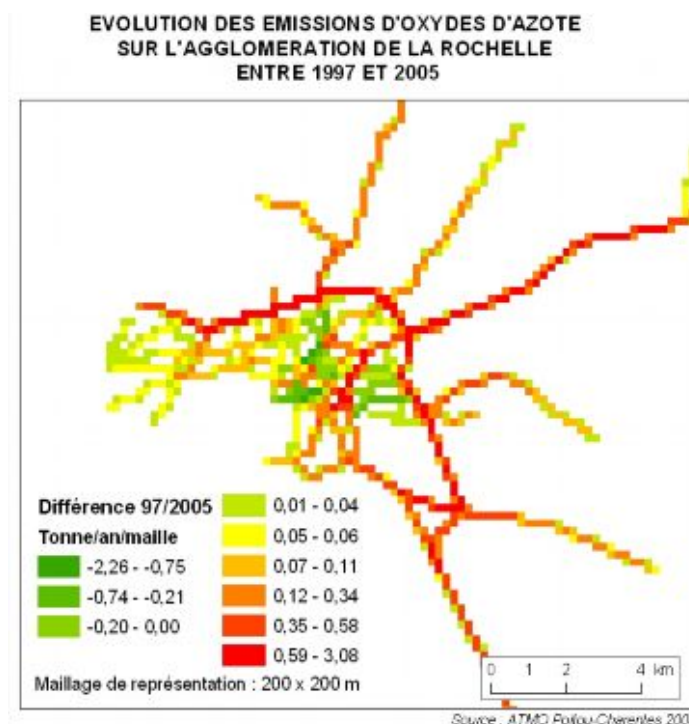
**La Rochelle et Ploiesti: Tubes à diffusion passive**

Les cabines de mesure permettent d'obtenir une mesure horaire en un lieu donné, mais pour avoir une information spatialisée il faut utiliser les échantillonneurs passifs. Il s'agit de tubes de 7 cm répartis sur la zone d'étude. L'étendue de la zone d'étude peut aller de l'échelle d'une place à celle d'une agglomération. Les résultats sont présentés sous forme de cartographie de la moyenne des concentrations durant la période de mesure.

Dans le cadre de ce projet il est envisagé de réaliser en collaboration avec ATMO une telle campagne à Ploiesti et d'exploiter l'impact de l'utilisation de «bus propres». Dans la figure 3, nous présentons une cartographie de niveaux de fond fr. NO<sub>2</sub> qui peut être reproduite dans les zones urbaines concernées par les mesures transport.

**Modélisation:** Il est bien connu que les phénomènes météorologiques, spécialement la stratification thermique de l'air, le vent, les précipitations ont une influence considérable sur la diffusion des polluants dans l'air. La stratification thermique de l'air qui peut être stable ou non stable influence la dispersion verticale des polluants. Ainsi, une stratification stable empêche-t-elle la diffusion des polluants en hauteur, déterminer une concentration de ceux-ci au niveau de la terre, près de la source. Mais la stratification non stable favorise cette diffusion. Le vent, par sa direction et par son intensité influence la diffusion horizontale des polluants.

Les précipitations contribuent au passage des substances polluantes de l'atmosphère sur la terre, influençant négativement la végétation et la terre.



**Fig. 3.** Modélisation de l'évolution  $\text{NO}_2$

**La Rochelle et Ploiesti:** ATMO Poitou-Charentes dispose du modèle ADMS Urbain pour l'estimation des concentrations dans l'air à partir des données d'émissions qui intègre des émissions, des données météorologiques, des données sur la configuration de la zone d'étude, et permet l'estimation horaire des concentrations sur un ou plusieurs points donnés. A partir de ces estimations il serait donc possible de calculer des indicateurs de suivi (figure 1).

Il est nécessaire de disposer des résultats d'une campagne de mesures pour «caler» le modèle, c'est à dire s'assurer que les concentrations estimées par le modèle sont bien conforme à la réalité. Dans le cas de La Rochelle, le modèle peut être calé soit à l'aide des stations fixes, soit à l'aide d'une campagne de mesure mobile, si l'on souhaite plus de précision en un point donné. Des estimations fines à l'échelle de l'agglomération, en particulier pour les émissions liées au trafic, peuvent être réalisées dans le cadre d'un bilan  $\text{CO}_2$  de La Rochelle.

Les émissions liées aux transports sont estimées à l'aide de la méthodologie COPERT III à partir de données de trafic routier. Nous envisageons la mise en place d'une approche similaire pour Ploiesti; une à deux campagnes de mesure trafic de deux semaines seraient bien adaptées aux besoins pour le calage du modèle sur une année. Ensuite les données trafic, la connaissance du parc automobile roumain et des caractéristiques de la voirie permettront d'évaluer les concentrations des émissions.

## Référence bibliographique

1. Boussier J.M., Estraillier, P., Sarramia, D., Augeraud, M., - Using agent-based of driver behavior in the context of car park optimization”, *IEEE IS’06*, 3rd IEEE Conference On Intelligent Systems, 4-6 September 2006, UK
2. Boussier, J.M., Ion, L., Breuil, D., Benhabib, S., - Optimisation of cars fleet exploitation using statistical and fuzzy logic approaches, in *Urban Transport XI, vol. 77*, WIT Press Southampton, 2005, 11th International Conf. Urban Transport, April 2005, pp. 37-46
3. Dempster, A.P., - A generalisation of Bayesian inference, *Journal of the Royal Statistical Society*, 1968, p. 205-247.
4. Omrani, H., Ion, L., Trigano, P., - An Approach for Environmental Impacts Assessment based on Multi Criteria Analysis and Belief Theory, *MCDM 2006 (MCDM’06)*, June 19-23 2006, Chania, Greece
5. Pozsgay, A., Bhat, C.R., - *Modeling attraction-end choice for urban recreational trips: implications for transportation, air quality and land-use planning*, University of Texas at Austin, research report, August 2001.
6. Zadeh L.A., - A Simple View of Dempster-Shafer Theory of Evidence and its implications for the Role of Combination, in *The AI Magazine, vol. 7, no 17*, pp. 85-90, 1986.

## Evaluarea eficacității unui proiect de transport

### Rezumat

*Lucrarea de față este rezultatul colaborării pe două componente a unor colective de specialiști de la EIGSI (Ecole d’Ingénieurs en Génie des Systèmes Industriels), La Rochelle, Franța, UTC (Université Technologique de Compiègne), Compiègne, Franța și Universitatea de Petrol - Gaze din Ploiești, România. Cele două componente au în vedere, pe de o parte, participarea în cadrul Proiectului CIVITAS-SUCCESS (Comunități Urbane Medii în CIVITAS pentru Soluții Durabile de Mediu) având ca scop implementarea unui set de măsuri inovatoare de transport, într-o abordare integrată, iar pe de altă parte, propunerea unui nou proiect de parteneriat în cadrul Programului Brâncuși, program bilateral România-Franța, în legătură cu evaluarea proiectelor ce vizează ameliorarea condițiilor de circulație urbană.*

*Odată ales proiectul de transport ce se va aplica, trebuie justificată eficacitatea lui realizându-se o evaluare aprofundată a impacturilor în patru categorii (societate, mediu înconjurător, transport, economie). Ideea de bază este de a face o estimare globală a stării orașului (sau a zonei urbane afectată de către proiect) înainte și după implementarea proiectului. Aceasta va necesita estimarea fiecărui indicator pentru aceste două faze.*