



**HAL**  
open science

# La livraison des internautes urbains : La mutualisation du dernier kilomètre à la lumière de la théorie des jeux

Bruno Durand, Sonia Mahjoub, Marie-Pascale Senkel

## ► To cite this version:

Bruno Durand, Sonia Mahjoub, Marie-Pascale Senkel. La livraison des internautes urbains : La mutualisation du dernier kilomètre à la lumière de la théorie des jeux. 10èmes Rencontres Internationales de Recherche en Logistique et SCM (RIRL), May 2014, MARSEILLE, France. hal-01812875

**HAL Id: hal-01812875**

**<https://hal.science/hal-01812875>**

Submitted on 11 Jun 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# LA LIVRAISON DES INTERNAUTES URBAINS

## La mutualisation du dernier kilomètre à la lumière de la théorie des jeux

**Bruno Durand** <sup>1</sup>

**Sonia Mahjoub** <sup>2</sup>

**Marie-Pascale Senkel** <sup>3</sup>

---

Résumé. - A une époque où le *BtoC* se développe à un rythme toujours soutenu, il est fondamental de se préoccuper de la problématique que représente la livraison des internautes urbains. C'est l'objet de cette communication, qui se limitera aux produits non alimentaires.

La coopération pouvant permettre de surmonter l'obstacle du tout dernier kilomètre, l'accent est ainsi clairement mis sur le concept de mutualisation logistique. Plus concrètement, deux scénarios de la distribution domestique en ville sont présentés, puis analysés sur la base de simulations afin d'évaluer leur niveau respectif de performance, tant sur le plan économique que sur le plan écologique. Dans un troisième temps, le recours à la théorie des jeux coopératifs permet de préciser les règles garantissant la pérennité de cette forme de collaboration.

Mots clés : Logistique urbaine ; Mutualisation ; Livraison à domicile (LAD) ; Espace logistique de proximité (ELP) ; Théorie des jeux coopératifs.

---

<sup>1</sup> Maître de conférences en Sciences de Gestion à l'Université de Nantes (France). Courriel : [bruno.durand@univ-nantes.fr](mailto:bruno.durand@univ-nantes.fr)

<sup>2</sup> Maître de conférence en Sciences de Gestion à l'École Nationale, Vétérinaire, Agroalimentaire et de l'Alimentation, Nantes Atlantiques (France). Courriel : [sonia.el-mahjoub@oniris-nantes.fr](mailto:sonia.el-mahjoub@oniris-nantes.fr)

<sup>3</sup> Maître de conférences en Sciences de Gestion à l'Université de Nantes (France). Courriel : [marie-pascale.senkel@univ-nantes.fr](mailto:marie-pascale.senkel@univ-nantes.fr)

A une époque où le commerce électronique *BtoC* se développe à un rythme soutenu (entre 15 et 20% en France en 2013, selon la Fevad<sup>4</sup>), son impact logistique ne peut laisser indifférent. Il paraît ainsi fondamental de se préoccuper de la problématique que représentent les livraisons des internautes urbains. Le bouleversement est de taille, puisqu'il s'agit de livrer directement l'internaute chez lui (Livraison A Domicile - « LAD »). Cet exercice, *a priori* simple, n'a rien de très aisé en fait, surtout quand les villes connaissent déjà une congestion de leur trafic. Le développement du e-commerce complexifie, par conséquent, la logistique traditionnelle donnant lieu à de nouveaux processus.

La France compte, à ce jour, 33 millions d'acheteurs en ligne, c'est-à-dire quasiment 33 millions de portes à livrer : si ce nombre va bientôt stagner, celui du nombre de transactions (de l'ordre de 600 millions en 2013 !) et, donc, celui des colis à livrer aux particuliers devraient, en revanche, continuer à croître de manière significative... La logistique urbaine pourrait donc constituer, demain, un facteur clé de développement de la vente en ligne, car livrer de plus en plus de colis aux ménages urbains risque bien de devenir, si les schémas de distribution en ville ne sont pas rapidement revus, de moins en moins aisé. C'est la raison pour laquelle nous avons choisi de nous concentrer sur cette problématique, en nous limitant cependant aux produits non alimentaires.

Nos travaux de recherche nous ont permis d'identifier différentes manières de surmonter les obstacles inhérents à la livraison des colis aux particuliers : la coopération entre acteurs et, plus précisément, la mutualisation logistique en font partie. L'objectif de cette communication est, donc, de présenter des scénarios d'évolution de la distribution urbaine domestique, et de montrer que la mutualisation des flux constitue un réel vecteur de performance, tant sur le plan économique qu'écologique. Nos différentes investigations ont notamment permis d'identifier deux scénarii clés d'évolution : celui de la « 0 - mutualisation » et celui de la mutualisation *via* un ELP (Espace Logistique de Proximité), scénario pour lequel la théorie des jeux coopératifs permet de préciser les règles qui en garantissent la pérennité. Le papier est organisé en trois sections. La première s'intéresse au scénario de la « 0-mutualisation ». Quant à la section 2, elle est centrée sur celui de la mutualisation *via* un ELP. Enfin, la troisième section précise l'apport de la théorie des jeux coopératifs à la mutualisation du dernier kilomètre.

### **1 Le scénario de la « 0 - mutualisation »**

Dans ce scénario, chaque opérateur de livraison, principalement des messagers et des expressistes, cherche à améliorer son niveau de performance en réduisant, lors des tournées de distribution, leur part d'INL (Internautes Non Livrés) et/ou leurs émissions de CO<sub>2</sub>. Précisons que ces recherches d'amélioration se font, alors, de manière totalement indépendante : aucune coopération n'est, ainsi, constatée entre les différents confrères et...

---

<sup>4</sup> Fevad : Fédération du e-commerce et de la vente à distance

concurrents. Certains opérateurs font le choix de se tourner vers plus de technologie (gestion en temps réel des tournées) ou encore vers des véhicules plus propres (recours au mode électrique). Ajoutons que les tournées de distribution des messagers sont rarement dédiées au seul *BtoC* : elles sont généralement mixtes, ce qui a pour effet d'en diminuer la productivité par rapport aux tournées totalement dédiées au *BtoB*. Le nombre moyen de colis livrés par tournée a ainsi tendance à baisser : le nombre moyen de colis livrés par porte diminuant sensiblement (le mono-colis domine en *BtoC*) ; alors que le nombre moyen de portes à livrer par tournée est en augmentation.

Quant à l'objectif recherché, il consiste à réduire le taux d'échec des LAD lors du premier passage, c'est-à-dire le taux des INL, un taux qui se situe selon les opérateurs entre 10 et 40% du nombre de portes à livrer. Plus précisément, il s'agit de réussir la livraison de tout internaute dès le premier passage, ce qui constitue un véritable défi auquel certains PSL parviennent déjà, en ne mettant en livraison que ce qui est sûr d'être livré. Il s'agit d'éviter les kilomètres inutiles (internaute absent) ou supplémentaires (re-livraisons) et, donc, de diminuer les pertes de temps (en écourtant les tournées) et les pollutions (réduction des émissions de gaz à effet de serre [GES]).

Cela passe par la préconisation de solutions variées (Patier, 2009) et, notamment par des modes d'exploitation plus dynamiques intégrant, en cours de tournée, des informations statutaires sur l'internaute, par exemple une absence imprévue alors que la livraison impose sa présence. A cette condition, le PDT (Pilotage Dynamique des Tournées) peut engendrer des réductions de coûts ainsi qu'une baisse des émissions de GES. Soulignons que ces démarches, généralement individuelles, sont complètement dénuées de toute volonté de coopérer durablement avec des confrères en vue, notamment, de mutualiser des flux : il s'agit d'innover avant les concurrents. Dans ces conditions, le niveau de performance de la distribution urbaine, qui progresse cependant, demeure modeste pour que les nuisances imputables au TMV (Transport des Marchandises en Ville) puissent diminuer de manière significative.

Afin d'évaluer précisément ce niveau de performance, nous avons conduit, sur plusieurs métropoles de l'ouest, une quinzaine d'entretiens d'experts auprès d'acteurs très impliqués dans la mise en œuvre de logistiques domestiques. Ces entretiens étaient structurés autour de deux thèmes clés : (1) les expériences de mutualisation en *BtoC* ; (2) le bilan économique et environnemental de ces expériences. Nous les avons souvent complétés par des observations *in situ* afin de visualiser au mieux l'ensemble des contraintes, physiques et informationnelles, liées à la gestion capillaire des derniers kilomètres. Nous avons ainsi vérifié que les différents e-PSL sont, dans le cas précis de la LAD, vraiment en concurrence frontale : chacun s'appuyant, en effet, sur son propre réseau. Il n'y a pas la moindre collaboration entre les différents opérateurs : on parle alors de « 0-mutualisation ». Les tournées de livraisons sont bien distinctes les unes des autres, ce qui signifie qu'un même internaute (ou bien un même commerçant) peut être dérangé plusieurs fois dans la même journée (ou dans la même soirée) par différents livreurs.

Si l'internaute est absent de son domicile au moment d'une livraison, et si sa boîte à lettres n'est pas normalisée (pas assez grande), ou bien si un émargement du récépissé est obligatoire, cela se traduit par l'échec de la livraison. A La Poste, ce taux d'échec paraît raisonnable : il est évalué à 10-15% du nombre d'internautes à livrer. Pour certains expressistes, ce taux peut en revanche approcher les 40%... Ajoutons cependant qu'il a été possible, selon les différents entretiens d'experts menés, de mettre en évidence la cause première de ces échecs, à savoir l'insuffisante qualité de l'information. En effet, une fois sur deux, la non-livraison d'un particulier tient plus dans une adresse fautive ou incomplète, dans des coordonnées absentes ou erronées, que dans l'absence même de l'internaute...

Ce scénario de la livraison des ménages urbains peut être considéré comme scénario de référence, dans la mesure où c'est à lui que l'on a eu recours lors des balbutiements du BtoC. Concernant plus précisément la livraison des internautes de l'hyper-centre de Nantes, le coût total d'exploitation a ainsi été évalué, à partir du modèle construit, à 5.750 € HT par jour et, sur le plan environnemental, les émissions de CO<sub>2</sub> ont été estimées à un peu plus de 300 kg par jour. Lors des recherches effectuées sur ce scénario, nous nous sommes intéressés à évaluer, à travers une série de simulations, l'impact du taux d'échec de la première livraison sur les plans : (1) économique, en estimant le coût des INL ; (2) écologique, en évaluant les émissions de CO<sub>2</sub> imputables aux mêmes INL. A titre d'illustration, le tableau 1 propose, à partir de quatre simulations soigneusement choisies, une synthèse des recherches entreprises.

Taux échec au 1er passage chez l'internaute	Simul 1	Simul 2	Simul 3	Simul 4
- 9 tournées "Postales"	14%	11%	8%	5%
- 14 tournées "Messagerie"	40%	31%	22%	13%
<b>Nombre total d'Internautes Non Livrés (INL)</b>	<b>207</b>	<b>161</b>	<b>115</b>	<b>78</b>
<b>Part des INL</b>	<b>23%</b>	<b>18%</b>	<b>13%</b>	<b>9%</b>
<b>Total des Coûts INL</b>	<b>937 €</b>	<b>729 €</b>	<b>521 €</b>	<b>344 €</b>
<b>Total des Emissions INL de CO<sub>2</sub> (en Kg)</b>	<b>51,0</b>	<b>39,6</b>	<b>28,4</b>	<b>18,3</b>
<b>Part des E. INL dans les émissions totales</b>	<b>17%</b>	<b>13%</b>	<b>9%</b>	<b>6%</b>

Tableau 1 : Impacts économique et écologique du taux d'échec de la 1<sup>ère</sup> livraison

Force est d'y apprécier l'impact de la diminution du taux d'échec et, donc, de l'augmentation de la QI (Qualité de l'Information), notamment entre les simulations 1 (23% d'INL) et 4 (9% d'INL), sur le coût des INL ainsi que sur les émissions de CO<sub>2</sub>, ces deux valeurs ayant été divisées par près de 3 !

## 2 Le scénario de la mutualisation *via* un ELP

La coopération est, aujourd'hui, devenue un thème fort des relations inter-organisationnelles (Senkel et al, 2013). Après s'être, dans un premier temps, intéressées aux synergies créées par les coopérations verticales entre les membres du canal de distribution,

les recherches en logistique se sont portées sur les relations horizontales, l'une des expressions en étant la mutualisation logistique. Face aux pressions, les acteurs sont, en effet, contraints de trouver de nouvelles armes stratégiques : la coopération en fait partie. Van Lier et al (2010) ou Pan (2010) précisent qu'elle peut, effectivement, s'exercer « *entre les acteurs d'un même niveau, par exemple entre les prestataires d'une chaîne logistique. Ce principe a pour objectif de mettre en commun des réseaux logistiques dédiés* ». La livraison des zones urbaines n'échappe pas à ce courant (Fulconis et al, 2011) et le rôle des PSL, dans le pilotage de processus généralement innovants, y est généralement bien visible.

Ainsi, en matière de TMV, une idée fait son chemin : il s'agit du concept de mutualisation des livraisons et, plus précisément, de mutualisation du dernier kilomètre. Le développement du *BtoC* en est à l'origine. Si les livraisons des commerçants n'ont pas toujours été considérées avec la plus grande attention, l'impact attendu du commerce en ligne sur les livraisons en ville oblige à une toute autre attitude. Dans le cadre de ce deuxième scénario, les e-PSL demeurent donc toujours concurrents, mais souhaitent cette fois collaborer sur les derniers kilomètres. Les internautes sont-ils prêts, en effet, à être dérangés de manière intempestive par plusieurs livreurs au cours d'une même soirée ? Si le consommateur fait le choix de limiter ses déplacements en magasin, en optant pour l'achat en ligne, ce n'est sans doute pas pour s'exposer à de nouveaux désagréments... Il paraît ainsi essentiel de réduire ces dérangements, qui pourraient constituer un frein au développement du *BtoC*, aggravant l'engorgement des centres de vie et les pollutions de tous ordres (Gratadour, 2004). Il s'agit de développer, alors, des solutions tendant vers le « coup de sonnette » unique, afin de minimiser dérangements et déplacements. Cette problématique pose alors la question de la nécessité d'infrastructures de mutualisation, à laquelle les ELP (Espaces Logistiques de Proximité), de taille relativement modeste (200-250 m<sup>2</sup>) implantés dans l'hyper-centre, semblent pouvoir répondre.

Les commandes des internautes résidant dans le cœur de ville peuvent, en effet, être regroupées sur un ELP et y être assemblées par destinataire (Yrjölä, 2003 ; Dablanc, 1998) afin : (1) de réduire le nombre de LAD ; (2) de réduire kilomètres parcourus et temps passé à livrer, ce qui entraîne une diminution des coûts et des émissions de carbone. Si la réduction des nuisances passe par une diminution du nombre de véhicules en circulation, n'oublions pas qu'elle passe aussi par la baisse des distances parcourues (Boudouin et Morel, 2002). Par conséquent, comme le souligne Patier (2002), le nombre de sites de traitement du fret et leur implantation sont déterminants. Insistons également sur le fait que le succès de ces opérations de mutualisation physique impose aux informations logistiques de distribution une QI minimale (en particulier l'adoption d'une étiquette directionnelle de base) : la mutualisation des flux physiques nécessite donc une mutualisation partielle des flux d'information.

Après le scénario de la « 0 - mutualisation », force est de souligner que le scénario de la mutualisation *via* un ELP correspond à une rupture significative dans le comportement des acteurs : il traduit leur réelle volonté d'améliorer durablement la performance de la distribution urbaine. Sur la partie amont, chacun des PSL continue à s'appuyer,

indépendamment de ses confrères, sur son propre réseau notamment pour livrer, lors de tournées de distribution dédiées au *BtoB*, les différents ELP. En revanche, sur la partie aval, les PSL mutualisent leurs flux à partir des ELP, afin de réaliser la LAD des colis d'un internaute en une seule fois. Force est d'admettre que depuis trois ans, la maturité des PSL en charge des derniers kilomètres urbains a bien évolué : « *Dans notre activité de messagerie, les derniers kilomètres sont les plus chronophages et, donc, les plus coûteux. Ils sont sources de nuisances et peu rentables... Nous devons confier leur réalisation à des spécialistes, outillés pour (flotte de petits véhicules propres...) et capables de les mutualiser...* ».

Concernant la livraison des internautes de l'hyper-centre de Nantes *via* un ELP, le coût total d'exploitation a été évalué, à partir du modèle de base et en tenant compte des données de l'encadré 2, à 5.300 € HT par jour, ce qui représente une économie d'environ 8% par rapport au 1<sup>er</sup> scénario et ce, malgré le coût de la rupture de charge imposée par le transit sur l'ELP. Précisons que ce nouveau coût est avantageusement compensé par la diminution du nombre de tournées (22 contre 23). Enfin, sur le plan environnemental, la baisse est significative : les émissions de CO<sub>2</sub> sont estimées à un peu plus de 220 kg (soit -27%), du fait d'un recours plus important au mode électrique (10 tournées contre 7). Lors des recherches effectuées sur ce deuxième scénario, nous avons bien sûr évalué de nouveau l'impact du taux d'échec de la première livraison sur les plans économique et écologique. A titre d'illustration, le tableau 2 propose, à partir des mêmes bases de simulations, une synthèse des travaux réalisés, synthèse qui montre l'intérêt certain de la mutualisation à partir d'un ELP.

Taux échec au 1er passage chez l'internaute	Simul 1	Simul 2	Simul 3	Simul 4
- 9 tournées "Postales"	14%	11%	8%	5%
- 5 tournées "Internautes"	40%	31%	22%	13%
- 8 tournées "Commerçants et ELP"				
<b>Nombre total d'Internautes Non Livrés (INL)</b>	<b>206</b>	<b>163</b>	<b>115</b>	<b>76</b>
<b>Part des INL</b>	<b>23%</b>	<b>18%</b>	<b>13%</b>	<b>8%</b>
<b>Total des Coûts INL</b>	<b>613 €</b>	<b>485 €</b>	<b>342 €</b>	<b>231 €</b>
<b>Total des Emissions INL de CO2 (en Kg)</b>	<b>12,0</b>	<b>9,4</b>	<b>6,8</b>	<b>5,3</b>
<b>Part des E. INL dans les émissions totales</b>	<b>5%</b>	<b>4%</b>	<b>3%</b>	<b>2%</b>

Tableau 2 : Impacts économique et écologique du taux d'échec de la 1<sup>ère</sup> livraison - 35% / ELP

### 3 L'apport de la théorie des jeux coopératifs à la mutualisation du dernier kilomètre

Les résultats obtenus à partir des simulations effectuées sur notre modèle de base montrent la performance de la mutualisation logistique. Cependant, cette performance économique et écologique n'est pas suffisante pour inciter tous les PSL à coopérer en mutualisant leurs flux *via* un ELP. Chaque opérateur doit, en effet, s'assurer de recevoir une part du gain collectif supérieure à ce qu'il pourrait obtenir en agissant seul, avant de s'engager dans un tel processus. En ce sens, la viabilité de la mutualisation dépend de la

qualité de la procédure de partage mise en place. Cruijssen *et al* (2007) montrent, d'ailleurs, que le principal obstacle d'une telle collaboration réside dans la difficulté de construction d'une règle d'allocation équitable. Ajoutons que le choix de la méthode de partage doit être fondé sur les attentes clés des différents acteurs : l'efficacité au sens de Pareto, la rationalité et l'équité (Hennet et Mahjoub, 2010).

Or, la Théorie des Jeux Coopératifs (TJC) semble pouvoir apporter des éléments de réponse à cette exigence clé de pérennité de la mutualisation des livraisons des internautes. Elle constitue, en particulier, un cadre théorique qui permet d'analyser des situations de coopération dans lesquelles les différents acteurs, des PSL, agissent ensemble dans un intérêt commun, faisant alors le choix de stratégies coopératives dans le but de minimiser leurs coûts respectifs. Concrètement, ce jeu coopératif entre PSL pose deux problèmes de base : (1) celui de la maximisation de la fonction de gain global que procure la coopération ; (2) celui de la redistribution de ce gain global entre les acteurs impliqués dans la démarche.

### 3.1 La maximisation de la fonction de gain global

Les jeux sous forme coopérative sont généralement décrits par un couple  $(N, v)$ .  $N$  y représente un ensemble fini de  $n$  ( $\geq 2$ ) opérateurs impliqués dans la mutualisation logistique *via* un ELP. Chaque sous-ensemble non vide  $S$  de  $N$  est appelé « coalition d'opérateurs » (précisons que tous les opérateurs ne sont pas forcément tous impliqués dans une coalition : certains peuvent rester en retrait), et  $N$  est appelée « grande coalition ». Pour chaque  $S$  de  $N$ , on associe une fonction  $v(S)$  appelée « fonction caractéristique ». Cette fonction informe sur le gain maximal que peuvent s'assurer, et se partager, les membres de la coalition  $S$  s'ils coopèrent ensemble sans la participation des opérateurs extérieurs à leur coalition.

Dans notre article, le gain global est défini comme étant l'écart entre les coûts de distribution urbaine des deux scénarios étudiés (avec ou sans recours à la mutualisation). Formellement, pour chaque  $S$  de  $N$ , on a :

$$V(S) = C_0(S) - C_1(S) \quad \forall S \subseteq N, N = \{1, 2, \dots, 10\}$$

où :

- $C_0(S)$  désigne le coût des INL (internautes non livrés) lors du scénario « 0-mutualisation » (somme des coûts individuels des membres de la coalition de la  $S$ ) ;
- $C_1(S)$  correspond au coût des INL de la coalition  $S$  du scénario « mutualisation *via* un ELP ».

La principale propriété de cette fonction est d'être super-additive, ce qui signifie que la coopération n'est jamais génératrice de pertes, dans la mesure où la somme des gains maxima de deux coalitions disjointes est toujours inférieure ou égale à la valeur maximale du gain qui résulterait de leur fusion. Dans un jeu super-additif, les participants au jeu ont, donc, toujours intérêt à former la « grande coalition ».



### 3.2 Le partage du gain global

Il s'agit, ensuite, de déterminer la manière de répartir le gain global maximal afin de satisfaire au mieux l'ensemble des opérateurs impliqués dans le jeu de coopération. La TJC propose, pour cela, des concepts de solution qui reposent sur de nombreuses propriétés, parmi lesquelles l'efficacité et la rationalité individuelle :

- 1) L'efficacité au sens de Pareto propose une solution de partage du gain notée :

$$x = (x_1, \dots, x_n)$$

Elle est jugée efficace, au sens de Pareto, si la somme des parts de tous les individus est égale à la valeur maximale du gain global :

$$\sum_{i \in N} x_i = v(N)$$

où  $x_i$  représente la part de l'individu  $i$

- 2) La rationalité individuelle signifie, quant à elle, qu'aucun joueur n'acceptera un partage de la valeur totale de la grande coalition  $N$  lui attribuant moins de ce qu'il pourrait gagner en agissant seul :

$$x_i \geq v(\{i\})$$

Par conséquent, le partage du gain collectif selon une méthode à la fois efficace et individuellement rationnelle permet de garantir la stabilité de la coopération dans le sens où ses membres ne sont pas incités à la quitter (Von Neumann et Morgenstern, 1953).

Dans le langage de la TJC, l'ensemble de solutions qui vérifie à la fois les propriétés d'efficacité et de rationalité de groupe :

$$\sum_{i \in S} x(i) \geq v(S)$$

est appelé « cœur » - concept introduit par Gillies (1953). Le cœur est, ainsi, perçu comme un moyen de mesurer la stabilité des coalitions, et non comme une solution devant produire une réponse unique. Pour des réponses plus précises et systématiques à des problèmes de partage, la valeur de Shapley s'avère alors plus appropriée et plus opérationnelle.

### 3.3 Le partage du gain collectif de la mutualisation *via* la valeur de Shapley

La valeur de Shapley est une solution équitable du partage de gain collectif qui se base, pour sa part, sur le principe de contribution marginale. En effet, pour résoudre le problème de distribution du gain collectif, Shapley (1953) a exigé les conditions suivantes :

## La livraison des internautes urbains

- L'efficacité : la somme des gains individuels doit être égale à  $v(N)$  ;
- La symétrie : deux individus substitués doivent recevoir les mêmes gains ;
- La nullité : un joueur dont toutes les contributions marginales sont nulles doit recevoir un gain nul ;
- L'additivité : la solution d'un jeu défini comme la somme de deux jeux doit être égale à la somme des solutions de ces deux jeux.

Dans un résultat devenu central en TJC, Shapley a montré qu'il existe en fait une solution unique, qui satisfait ces quatre axiomes. Cette solution est définie comme suit :

$$x_i = \sum_{\substack{S \subseteq N \\ i \in S}} \frac{(s-1)!(n-s)!}{n!} [v(S) - v(S \setminus \{i\})]$$

Les notations  $n$  et  $s$  représentent, alors, respectivement le nombre total de PSL et celui de ceux qui appartiennent à la coalition  $S$ .

Plus précisément, concernant notre recherche, les différents résultats du partage du gain global,  $v(N)$ , selon la valeur de Shapley sont donnés dans le tableau ci-après.

Simulation 1 : taux d'échec = 40%											
<b>PSL</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$v(N)$
$x_i$ (€)	23	23	23	23	23	23	46	46	47	47	<b>324</b>
Simulation 1 : taux d'échec = 31%											
<b>PSL</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$v(N)$
$x_i$ (€)	17	17	17	17	17	17	35	35	36	36	<b>244</b>
Simulation 1 : taux d'échec = 22%											
<b>PSL</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$v(N)$
$x_i$ (€)	12,67	12,67	12,67	12,67	12,67	12,67	25	25	26	26	<b>178</b>
Simulation 1 : taux d'échec = 13%											
<b>PSL</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$v(N)$
$x_i$ (€)	8	8	8	8	8	8	16	16	16,4	16,4	<b>112,8</b>

Tableau 3 : La distribution du gain global tiré de la mutualisation selon la valeur de Shapley

D'après ce tableau, on remarque que la valeur de Shapley attribut à tous les PSL impliqués dans le jeu de mutualisation des parts positives et supérieures à leurs gains individuels, ce qui ne peut qu'inciter les opérateurs à s'engager dans le jeu de mutualisation sur le long terme. Cependant, ces résultats pourraient, a priori, encore être améliorés en se rapprochant un peu plus de la réalité. Pour cela, il conviendrait d'intégrer des différentes contraintes économiques et écologiques dans la fonction caractéristique du jeu de mutualisation...

## Conclusion

Au cours de cette communication, nous avons concentré notre attention sur deux scénarii clés d'évolution de la distribution des internautes urbains, et nous avons tenté de mesurer l'impact économique et écologique des INL. Les résultats obtenus, à partir de différentes simulations, permettent d'écrire que le scénario prônant la mutualisation l'emporte sur celui qui était dépourvu de toute forme de collaboration, en particulier quand on s'intéresse aux INL, qu'il s'agisse de leurs coûts (-33% en moyenne) ou de leurs émissions de CO<sub>2</sub> (-75% en moyenne). Concernant ces dernières, précisons que le niveau de performance atteint trouve son explication dans deux raisons majeures : (1) le recours plus important au mode électrique ; (2) le fait que les colis destinés aux INL ne reviennent plus en fin de tournée sur les agences des opérateurs (situées à 15 kilomètres du cœur de ville), mais restent sur l'ELP pour une nouvelle mise en distribution le lendemain. Concernant enfin la pérennité même de la mutualisation des livraisons des internautes, la TJC et, plus précisément, la valeur de Shapley nous ont apporté des éléments de réponse très pertinents en termes de gain global, d'une part, et surtout en termes de partage de ce gain entre les PSL impliqués, d'autre part.

## Bibliographie

- Boudouin, D., Morel, C., (2002), *L'optimisation de la circulation des biens et services en ville*, La documentation française.
- Cruijssen, F., Cools, M., Dullaert, W., (2007), Horizontal cooperation in logistics: opportunities and impediments, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol. 43, n°2, pp. 129-142.
- Dablanc, L., (1998), *Le transport de marchandises en ville*, Editions Liaisons.
- Dufour, J.G., Patier, D., (1997), *Les transports de marchandises et la ville*, Table ronde 109, CEMT.
- Fulconis, F., Paché, G., Roveillo, G., (2011), *La prestation logistique : origines, enjeux et perspectives*, Editions EMS.
- Gillies, D., (1959), Solutions to General Non-zero Sum Games, in Contributions to the Theory of Games IV. Princeton U. Press, Princeton. A.W. Tucker and R.D. Luce editors.
- Gratadour, J.-R., (2004), *Le défi logistique du commerce électronique*, Rapport du Club Sénat présidé par Tück A., rapporteurs Gratadour J.-R. et Cahen A.
- Hennet, J.C., Mahjoub, S., (2010), Toward the fair sharing of profit in a supply network formation, *International Journal of Production Economics*, Vol. 127, n°1, pp. 112-120.
- Pan, S., (2010), Contribution à la définition et à l'évaluation de la mutualisation de chaînes logistiques pour réduire les émissions de CO<sub>2</sub> du transport : application au cas de la grande distribution, Thèse de doctorat, Mines Paris Tech, Paris.
- Patier, D., (2009), *Les différentes formes de livraison aux particuliers*, Supply chains, énergie et CO<sub>2</sub>, Inrets.

- Patier, D., (2002), *La logistique dans la ville*, Celse.
- Senkel, M.P., Durand, B., Vo, T.L.H., (2013), La mutualisation logistique : entre théories et pratiques, *Logistique & Management*, Vol. 21, n° 1, pp. 19-30.
- Shapley, L. S., (1953), A value for n-person games, in *Contributions to the Theory of Games II* (A.W.Tucker and R.D. Luce (eds.)), Princeton University Press, pp. 307-317.
- Thévenon, J., (2011), Logistique urbaine, scénarii pour le futur, *L'Officiel des transporteurs*, N°2590, Mars, pp. 26-27.
- Van Lier, T., Macharis, C., Caris, A., Vrenken, H., (2010), Internal and External Co-loading of Outbound Flows to Increase the Sustainability of Transport: a Case Study, 12th WCTR, Lisbon (Portugal), July 11-15.
- Von Neumann, J., Morgenstern, O., (1953), *Theory of Games and Economic Behavior*, Princeton, NJ. Princeton University Press.
- Yrjölä, H., (2003), Supply Chain Considerations for Electronic Grocery Shopping, Dissertation for the degree of Doctor of Science in Technology, University of Technology, Helsinki, January.