

## DEFINITION D'UNITES D'ŒUVRE COHERENTES POUR EVALUER LE TRANSPORT CAPILLAIRE A DELAI COURT ET GARANTI

Eric Ballot\* et Hugues Molet\*\*

---

Résumé. – Le développement des services dit de B to C et de B to B s'appuie de plus en plus sur une logistique performante. Dans ce contexte, la distribution de proximité, aussi appelée celle du dernier kilomètre, évolue sous des contraintes de délai de plus en plus fortes. Pour autant, la maîtrise des coûts ne doit pas être oubliée. L'éclairage de ce compromis coût-délai n'est pas simple car, dans une tournée, chaque livraison est indissociable des autres. Après avoir rappelé les enjeux de cette activité et passé en revue les modèles de coût ou de tarification existants, nous proposerons un concept original : le temps de regroupement comme nouvelle unité d'œuvre du transport de proximité. A travers un exemple, son calcul et sa sensibilité seront exposés. Enfin, une méthodologie de validation sera proposée. Celle-ci repose sur une collaboration avec une société de distribution de pièces de rechange qui a permis de démontrer l'efficacité du concept et l'intérêt de ce type d'approche pour évaluer *a priori* le coût de livraison et traiter le compromis entre son coût et son délai.

Mots clés : logistique, dernier kilomètre, unités d'œuvre, tournées, évaluation de performance, coût de distribution, délai de livraison.

### 1. La problématique du dernier kilomètre

Imaginez que votre voiture vient de tomber en panne ce matin et que le garagiste vous explique que, ne disposant pas de la pièce de rechange, il va la commander. Inquiet, vous l'interrogez sur la durée de l'immobilisation. Contre toute attente, il vous répond que votre voiture sera disponible en milieu d'après-midi !

---

\* Enseignant-chercheur à l'Ecole des Mines de Paris.

\*\* Professeur à l'Ecole des Mines de Paris.

Imaginez qu'en rentrant chez vous, à une heure où les magasins sont fermés, vous constatiez que le contenu de votre réfrigérateur ne vous permettra pas de passer la prochaine journée... Il ne vous reste plus qu'à vous précipiter sur Internet pour trouver vos produits préférés et vous les faire livrer le lendemain.

Autant de scénarios séduisants qui bénéficient des nouveaux réseaux logistiques fonctionnant en flux ultra tendus. Plus généralement, ce type de logistique a acquis une notoriété certaine ces dernières années, notamment lors du développement du e-business et en particulier du e-commerce. Une nouvelle appellation a consacré cette nouvelle notoriété : le dernier kilomètre. En effet, ces nouveaux canaux de distribution se sont positionnés avec d'une part un marketing conquérant sur le réseau informatique et d'autre part un temps de livraison très court aux clients comme l'ont montré diverses études sur les Webmarchants [1] ou de l'OCDE [9], entre moins de deux jours et moins de deux heures pour certains produits (voire 30 minutes pour les pizzas). Pour autant, cette logistique en flux tendus ne doit pas faire sous-estimer son coût.

Imaginez maintenant que le montant de la livraison du joint, nécessaire à la réparation de votre automobile, vous soit facturé trente fois sa valeur ou que le montant de la livraison dépasse le montant de vos courses sur Internet ! En effet, malgré la faible distance qui sépare la plate-forme logistique de proximité de chacun de ses clients, le coût de ce transport final représente une part importante de l'ensemble des coûts de transport. De l'ordre de la moitié par exemple en VPC [8], mais bien plus encore dans le cas de pièces de rechange ou du e-commerce alimentaire [5] pour reprendre les exemples précédents. La valeur de cette logistique capillaire devient une part majeure de la valeur du produit lui-même. Il convient donc de parfaitement définir l'attente des clients en matière de coût-délai et la part de marché que cela représente. On le sait aujourd'hui, une des difficultés majeures du développement du e-commerce résulte d'une sous-estimation par ces nouveaux acteurs des moyens nécessaires pour aboutir au service proposé et une sous-estimation des coûts logistiques associés, comme l'a remarqué très tôt P.P. Dornier [2]. En particulier, la conjonction de prix de livraison très (trop) faibles répercutés aux clients ont engendré des pertes financières pour les webmarchants alors même que des ratés fréquents dans les livraisons ont engendré le mécontentement des clients [4,5]. Ces problèmes sont stratégiques car d'une part leur sous-estimation peut mettre à mal une politique commerciale, voire une entreprise, et d'autre part l'histoire industrielle nous montre un renforcement des contraintes de délais et de coûts qui rend cette problématique plus cruciale.

Dans ce cadre, nous examinerons d'abord comment le transport de proximité a été déstabilisé par les nouvelles contraintes imposées par ces livraisons ultra-rapides et peu prévisibles. Nous développerons dans ce texte l'idée que la constitution de tournées très irrégulières et pour des livraisons à délai très court correspond en fait à une nouvelle forme de prestation logistique pour laquelle les méthodes classiques d'évaluation sont prises en défaut.



Nous proposons donc un nouveau concept d'unité d'œuvre permettant de mieux estimer la consommation des ressources. De ce fait, il est alors possible d'identifier *a priori* le coût associé à la qualité de service voulue, comprise comme le délai de livraison. Ce concept sera illustré sur un exemple puis validé par un cas industriel.

## 2. L'organisation de la distribution capillaire

Avant de détailler l'évaluation des tournées, précisons ce que nous entendons par tournées. Il s'agit d'un transport d'un centre de distribution vers un ensemble de points finaux de livraison. Il peut exister plusieurs tournées simultanément, mais celles-ci seront évaluées individuellement. Nous considérerons également qu'il ne se pose pas de problème de capacité de transport, le moyen choisi étant sur-capacitaire en termes de volume ou de poids transportable. Cette hypothèse se vérifie d'autant plus facilement que les délais sont très courts car les livraisons comporteront peu de points de livraisons et peu de colis.

### 2.1 Les paramètres de la distribution capillaire

La figure 1 donne un exemple d'organisation de la distribution capillaire et des paramètres qui la définissent. Le délai promis au client correspond à la durée entre la réception de la dernière commande avant l'heure limite de passation de commande ou « cut-off » et la dernière livraison liée à cette fenêtre. On appelle fenêtre le délai entre deux *cut-off*. Cependant le délai vu par le client peut être plus court si la commande est livrée en début de tournée ou plus long si la commande intervient juste après l'heure de *cut-off*.

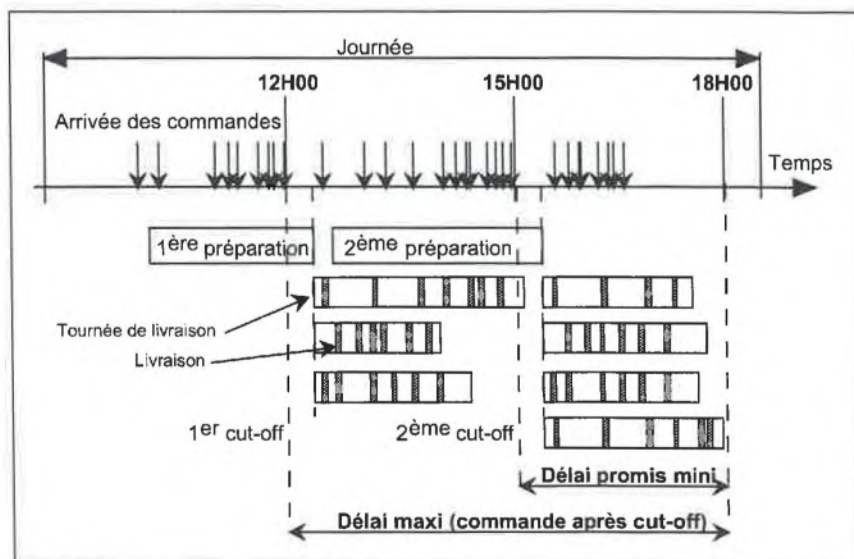


Figure 1 : les paramètres de la logistique capillaire ou du dernier kilomètre<sup>1</sup>

<sup>1</sup> A titre d'exemple, il est représenté une journée avec 2 *cut-off*, mais il existe des cas où ce nombre est différent sans que cela change cette organisation.

La performance logistique vue par le client dépend aussi bien de la fréquence des heures de cut-off que des délais minimaux promis. Cette performance s'exprime aussi par la plage horaire de livraison entre 15h et 18h (par exemple : heure limite(n) + délai livraison mini, heure limite (n-1) + délai livraison maxi).

Pour sa part le prestataire prendra en compte, en plus des conditions de transport, la densité réelle des livraisons à effectuer sur le territoire couvert. En effet, plus le nombre de points à livrer sera important, plus il sera facile de trouver des tournées où les points de livraison seront proches, ce qui augmentera le nombre de points livrés par chaque tournée, contribuant à améliorer deux indicateurs de performance du transport, d'une part le coefficient de chargement et d'autre part le kilométrage moyen parcouru par tournée.

## 2.2 L'équilibre des tournées classiques

Le transport de proximité vers les destinataires finaux existe déjà dans de nombreux domaines : messagerie, transport express, prestations dédiées pour des applications comme la vente par correspondance, la distribution de journaux ou la distribution de médicaments. Ce transport repose généralement sur deux sources de stabilité : soit des délais relativement importants comparés au temps de transport minimal nécessaire – c'est le cas dans le domaine de la messagerie – soit une répétitivité et une stabilité des opérations qui permettent un apprentissage des conditions de réalisation de la prestation – par exemple les tournées de distribution de journaux ou de médicaments.

Enfin, il existe un cas extrême de tournée, c'est celui du transport urgent où la ressource est totalement dédiée à la réalisation de la prestation. Le coût est alors relégué au second rang. Ce mode de gestion est précisément celui qu'il faut éviter en-dehors d'une demande explicite des clients. En effet, le coût d'un transport urgent, donc dédié, est largement supérieur à celui d'une prestation de type messagerie ou même express.

La question est donc de savoir comment se positionnera chaque solution logistique du dernier kilomètre. Apportera-t-elle une prestation suffisamment différenciée du transport express à un coût raisonnable, s'approchera-t-elle dangereusement du transport urgent ou s'intégrera-t-elle totalement dans le transport express ?

Dans la suite, nous considérerons que le centre de distribution est défini ainsi que la topographie des points à livrer ; nous nous attacherons donc à la réduction du délai et aux coûts associés.

## 3. Les tournées de livraison et leur évaluation

Le compromis entre délai et coût d'une livraison est largement déplacé par l'évolution récente de la distribution capillaire. L'examen de la constitution du coût repose sur la conception



des tournées que nous examinerons dans un premier temps. Les différents modes d'évaluation : grille tarifaire, unités d'œuvre et simulation, seront ensuite passés en revue pour déterminer le mode le plus adapté au cas étudié.

### **3.1 Les tournées de livraison**

Dans sa forme la plus simple, ce problème est aussi connu sous le nom du voyageur de commerce. Il s'agit de minimiser le parcours d'un voyageur de commerce qui doit passer une et une seule fois par un ensemble de points. L'énumération de toutes les solutions possibles devient rapidement impossible du fait de la nature combinatoire de ce problème et il n'existe pas de méthode de résolution exacte en un temps raisonnable. Les solutions informatiques utilisent donc des méthodes approchées ou heuristiques pour fournir les meilleures solutions réalisables dans un temps limité. La solution retenue dépend alors de l'heuristique employée. De très nombreuses méthodes existent [3,11, entre autres].

L'organisation de tournées multiples avec des contraintes d'heures de passage n'admet pas non plus de solution optimale. En pratique, la constitution de ces tournées relève généralement de la combinaison des différentes approches suivantes :

- l'utilisation d'un logiciel de détermination de tournées de livraisons fondé sur des heuristiques ;
- un critère de simplification : définition a priori de zones géographiques par exemple ;
- la prise en compte du savoir-faire des opérationnels et de l'expérience du terrain.

L'incertitude qui accompagne la passation des commandes dans le cas de la logistique du dernier kilomètre se prolonge naturellement par une incertitude sur le nombre et la localisation des points à livrer dans les tournées. La constitution de tournées se fait donc au cas par cas et en temps réel.

### **3.2 L'évaluation des tournées**

De nombreuses unités d'œuvre existent pour définir une prestation logistique. Nous les classerons en deux catégories : les grilles tarifaires et le calcul du prix de revient.

#### **3.2.1 Les grilles tarifaires**

L'analyse de grilles tarifaires de nombreux prestataires fait apparaître plusieurs logiques de détermination des prix. Une logique de type « service public » : le même prix sur un territoire pour une livraison de même importance (volume, poids ou nombre de colis) appartenant à une classe de délai ou au contraire à une logique de segmentation : géographique, par tranche de délai, etc.

Cette logique ne cherchant pas à valoriser chaque prestation mais seulement à rechercher un équilibre global ne peut pas être utilisée pour éclairer le compromis coût délai de prestations très spécifiques.

Dans le cadre de prestataires logistiques fournissant une prestation dédiée, le calcul des tarifs devrait se rapprocher, en principe, de celui des prix de revient.

### 3.2.2 Le calcul du coût direct par des unités d'œuvre

Le calcul des coûts directs repose sur la valorisation des ressources consommées, d'une part le kilométrage parcouru (maintenance du véhicule, coûts du carburant) et d'autre part le temps passé (chauffeur, immobilisation du véhicule). Ces grandeurs physiques sont ensuite valorisées économiquement. Toute la difficulté repose sur la transformation des caractéristiques de la prestation (éloignement, fréquence, délai, volume, etc.) en termes de consommation des ressources que ce soit le temps passé par le livreur ou la distance parcourue. En effet, les tournées sont inconnues d'un jour à l'autre, elles ne sont pas nécessairement répétitives, dépendent de la méthode d'élaboration choisie et surtout des demandes – interdépendantes – des clients.

En effet, une tournée jumelant par définition plusieurs livraisons, il faudra répartir, par des facteurs choisis, la consommation des ressources entre les points de livraison, ce qu'illustre le tableau ci-dessous : comment évaluer le coût d'une livraison appartenant à une tournée ?

Tournée	Points livrés	Éloignement du centre de distribution	Délai de livraison	Temps passé	Distance parcourue	Coût
	A	17 km	1h	Répartition ?	Répartition ?	Répartition ?
	B	10 km	2h00	Répartition ?	Répartition ?	Répartition ?
	C	15 km	1h30	Répartition ?	Répartition ?	Répartition ?
Total constaté				1h25'	40 km	1h25.coût horaire + 40.coût/kilomètre

Tableau 1 : quel est le coût d'une livraison pour des tournées assurant plusieurs livraisons ?

De plus, la somme des coûts marginaux des livraisons ne correspond pas au coût moyen. C'est le paradoxe des coûts moyens et des coûts marginaux, résolu généralement en répartissant d'une manière conventionnelle la consommation des ressources en fonction des caractéristiques choisies parmi la grille tarifaire en fonction de leur représentativité de l'activité : la livraison, le colis, ... puis modulés par les unités d'œuvre : délai, distance, volume, poids, ...

L'intérêt de définir des unités d'œuvre est de remplacer des calculs de tournées complexes et de portée limitée par un outil qui réalise une approximation raisonnable et simple à mettre en œuvre. Les usages peuvent alors être multiples :



- en conception d'un nouveau réseau ou d'une nouvelle prestation, cela peut contribuer à définir la sensibilité du coût à des paramètres stratégiques comme le délai ou la fréquence (par exemple : faire comprendre au client le coût d'un délai inférieur) ;
- lors de la mise en place, pour cadrer la prestation offerte à chaque client en fonction de son importance ou de sa zone géographique ;
- lors de l'exploitation, pour analyser les consommations effectives de ressources comparées aux estimations.

Les unités d'œuvre classiques pour exprimer le coût d'une livraison sont l'éloignement au centre de distribution et le délai de livraison. Pour un même éloignement et un même délai, les unités d'œuvre étant les mêmes, elles expriment une consommation identique des ressources et donc du coût.

Tant que les délais sont relativement importants, par rapport au temps nécessaire pour réaliser la prestation, il est possible de négliger les différences de temps qui résultent des infrastructures pour se rendre à des points de livraisons également éloignés. La distance et le délai sont représentatifs. Par contre, lorsque l'on s'intéresse à des livraisons à délai court dans des zones urbaines ou périphériques, on constate une grande disparité des durées de livraison, donc des coûts pour des points de livraison pourtant évalués avec les mêmes unités d'œuvre. Les unités d'œuvre classiques (distance, délai) ne sont donc plus pertinentes.

En l'absence d'unités d'œuvre suffisamment précises, la simulation peut être un recours.

### 3.2.3 L'évaluation des tournées par la simulation

Compte tenu des difficultés évoquées précédemment, la majeure partie des études de coût du transport est réalisée à partir de simulations. De nombreuses études de cas ont d'ailleurs été réalisées avec cet outil [7,10,11]. Ces simulations permettent de renseigner le prestataire pour répondre à un appel d'offre tout comme elle permettent aux chercheurs de tester des organisations particulières. Néanmoins chaque simulation n'apporte qu'une réponse ponctuelle à un problème. Toute modification nécessite une nouvelle simulation.

Pour obtenir des résultats précis et globaux, il est donc nécessaire de trouver des unités d'œuvre pertinentes, ce qui va être examiné.

## 4. Des unités d'œuvre cohérentes pour évaluer la distribution capillaire

Pour le transport de proximité, les paramètres classiques comme la distance et le délai ne peuvent pas expliquer correctement et *a priori* la consommation des ressources donc le coût de la prestation pour un client donné de la tournée : d'une part, la distance n'indique que partiellement le temps nécessaire à la prestation et d'autre part, le temps devient, pour des prestations très contraintes, la limite de capacité de traitement des demandes. C'est pourquoi, il

devient nécessaire de rechercher de nouvelles unités d'œuvre ou une combinaison d'unités d'œuvres classiques et nouvelles. Ces nouvelles unités d'œuvres devront néanmoins s'inscrire dans le contexte opérationnel des logisticiens, cela implique de partir de grandeurs connues et facilement mesurables par des gestionnaires de la distribution. Nous proposons ici une combinaison de deux unités d'œuvre dont une originale et dont la validation empirique fera l'objet du paragraphe 5 suivant.

#### **4.1 Un paramètre déterminant : le temps de regroupement**

Le facteur dimensionnant des tournées, dans le cas de délais courts, est principalement leur durée qui finit par ne plus être compatible avec les délais promis. Il apparaît donc que la différence entre le temps nécessaire pour réaliser la prestation et le délai promis au client joue un rôle important dans la consommation des ressources donc des coûts. Si cette différence entre délai et temps de réalisation apparaît comme significative, elle est difficile à évaluer *a priori*. En effet, le temps de réalisation dépend de la constitution de la tournée, comme précisé précédemment.

Cependant, il est possible de calculer, pour chaque point à livrer, la durée nécessaire si celle-ci est effectuée seule. La différence entre le délai promis et le temps nécessaire pour cette livraison lorsqu'elle est effectuée seule est un temps qui permet de regrouper cette livraison avec d'autres. Nous appellerons précisément ce temps, le temps de regroupement.

On définit le temps de regroupement d'une livraison comme la différence entre le délai promis pour la livraison et la durée minimale qu'il faudrait pour la réaliser d'une manière isolée. La durée minimale peut aussi être vue comme une livraison en urgence – en utilisant des moyens de même type mais de manière exclusive pour cette livraison.

Le transport urgent apparaît alors comme un premier cas limite de cette définition où le temps de regroupement devient égal à zéro, ce qui indique l'impossibilité de regrouper des livraisons urgentes dans une même tournée. Un deuxième cas limite est celui où l'on dispose d'un délai très supérieur au temps de réalisation : cas de la messagerie traditionnelle où de nombreux points de livraison sont regroupés dans une même tournée.

#### **4.2 Illustration du temps de regroupement sur un exemple**

Considérons l'exemple de la figure suivante où il faut servir trois points de livraison séparés par des temps de parcours différents et tous situés, pour simplifier, à une même distance  $D$  du centre de distribution.



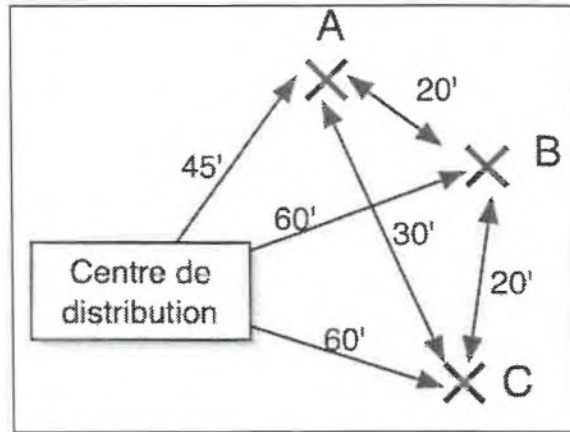


Figure 2 : exemple de 3 points à livrer en moins de 90' (les temps indiquées sont les durées minimales de parcours entre les points)

Considérons que le délai maximum de livraison aux trois points soit d'une heure trente. Connaissant les durées minimales de parcours, on calcule le temps de regroupement de chaque point de livraison. Par exemple pour le point B,  $Tr_B = \text{Délai}_B - d_B = 90' - 60' = 30'$  où  $d_B$  est le délai minimal pour aller à B depuis le centre de distribution.

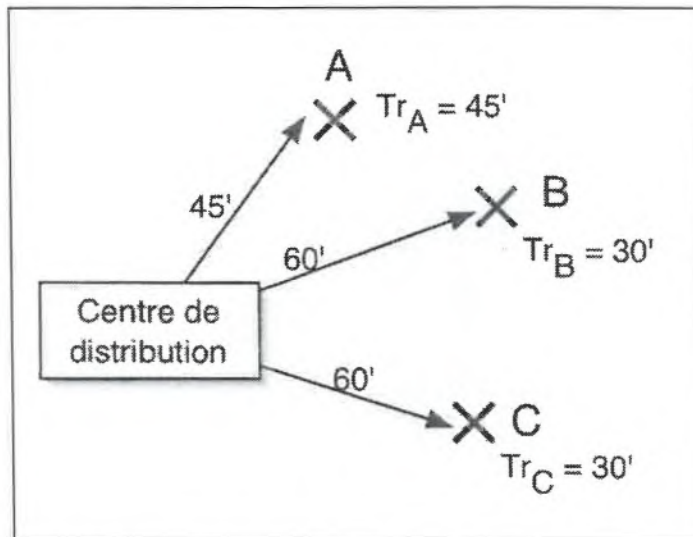


Figure 3 : les temps de regroupement des trois points (délai = 90')

Treize organisations de tournées sont possibles *a priori*, cependant elles ne répondent pas toutes aux contraintes de délai et naturellement certaines sont meilleures que d'autres en termes de consommation de ressource ou de distance parcourue. Le tableau, ci-dessous, indique les temps de parcours sans revenir au centre de distribution et le retard absolu cumulé (*Tardines*)

$$\text{Retard absolu} = \max(0, \text{heure livraison} - \text{heure promise})$$

Tournées (CD = centre de distribution)		Temps de parcours total	Retard absolu cumulé	Tournées		Temps de parcours total	Retard absolu cumulé
1	CD>A>B>C	45+20+20 = 85'	0'	8	CD>A, CD>B>C	(45)+(60+20) = 125'	0'
2	CD>A>C>B	45+30+20 = 95'	5'	9	CD>A, CD>C>B	(45)+(60+20) = 125'	0'
3	CD>B>A>C	60+20+30 = 110'	20'	10	CD>B, CD>A>C	(60)+(45+30) = 135'	0'
4	CD>B>C>A	60+20+30 = 110'	20'	11	CD>B, CD>C>A	(60)+(60+30) = 150'	0'
5	CD>C>A>B	60+30+20 = 110'	20'	12	CD>C, CD>A>B	(60)+(45+20) = 125'	0'
6	CD>C>B>A	60+20+20 = 100'	10'	13	CD>C, CD>B>A	(60)+(60+20) = 140'	0'
7	CD>A, CD>B, CD>C	(60)+(60)+(45) = 165'	0'				

Tableau 2 : ensemble des tournées (sans prise en compte du temps de retour vers le Centre de Distribution<sup>2</sup>)

Seules huit organisations de tournées permettent de satisfaire les contraintes de délai de livraison en moins de 1h30. La tournée n°1 est la tournée optimale au sens où elle minimise les ressources employées, 85 minutes d'utilisation des moyens de transport. C'est donc cette tournée qui devrait être choisie.

Considérons une variante de l'exemple précédent où le délai pour livrer le point C n'est plus d'une heure trente mais une heure quinze. Soit un nouveau temps de regroupement de quinze minutes pour cette livraison ( $75' - 60' = 15'$ ). Seules six nouvelles organisations de tournées permettent cette fois de satisfaire les contraintes de délai de livraison. Ces tournées ne sont pas représentées ici, mais sont construites et sont évaluées de la même manière que précédemment. Les tournées les plus efficaces (125' de consommation de ressource) consistent à livrer :

- A puis B par une tournée et C par une autre tournée en parallèle ou ;
- C puis B par une tournée et A par une autre tournée en parallèle.

Enfin on considère une variante du dernier exemple où l'infrastructure routière serait différente et conduirait à une durée minimale d'une heure pour livrer le point A.

Dans ce cas, encore plus contraint, seulement 5 tournées permettent de livrer les 3 points en respectant les délais. Parmi celles-ci trois minimisent au même niveau – 140 minutes – les ressources consommées. Il s'agit de livrer :

- A puis B par une tournée et C par une autre tournée en parallèle ou ;
- B puis A par une tournée et C par une autre tournée en parallèle ou ;
- C puis B par une tournée et A par une autre tournée en parallèle.

<sup>2</sup> La prise en compte du retour vers le centre de distribution change l'évaluation la performance mais ne remet pas en cause le principe des unités d'œuvres définies.



La comparaison globale de ces trois exemples est donnée dans le tableau 4. Les critères de comparaison retenus sont les unités d'œuvre candidates (distance, durée minimale du trajet, délais et temps de regroupement) ainsi que la variable que l'on cherche à expliquer : le temps d'utilisation des moyens de transport.

Modifications	Moyenne des distances des points au CD	Moyenne des durées mini des trajets CD>A,B,C	Moyenne des délais de livraison d'A, B, C	Moyenne des temps de regroupement d'A, B et C	Utilisation des ressources en minutes
Premier scénario	D	55'	90'	35	85'
Scénario avec délai de livraison de C = 1h15	D	55'	85'	31,67	125'
Scénario précédent et durée du trajet du CD à A = 60'	D	60'	85'	26,67	140'

Tableau 3 : comparaison de trois scénarios

On constate à partir de l'analyse des moyennes de cet exemple que le concept du temps de regroupement est plus sensible que celui du délai à l'organisation du transport. En effet si l'on ne considère que la distance et le délai comme unité d'œuvre, les deux derniers scénarios devraient conduire à la même consommation de ressources, ce qui n'est pas le cas. Par contre, le temps de regroupement illustre cette sensibilité supplémentaire qui permet de mieux appréhender les ressources engagées donc les coûts engendrés par les prestations : plus la moyenne des temps de regroupement sera faible, plus les moyens devront être importants. Cet exemple n'a évidemment pas valeur de démonstration, mais vise à en illustrer le principe et l'efficacité. Une démonstration formelle de la validité de ce concept n'étant pas possible<sup>3</sup>, nous avons choisi de le valider par une étude concrète.

## 5. De l'évaluation à la validation des unités d'œuvre sur un cas

L'utilité du concept de temps de regroupement étant surtout concrète, nous avons cherché à le valider en nous appuyant sur un cas industriel. Dans le cadre d'un contrat de recherche, d'une durée de 6 mois, mené en collaboration avec un partenaire industriel<sup>4</sup> et ses prestataires

<sup>3</sup> En effet, le fait que la géographie et les moyens de communication changent sensiblement d'une zone à une autre permet éventuellement de trouver des contre-exemples (un point de livraison isolé est très souvent insensible à une variation de TR). De plus, l'organisation de tournées multiples repose sur des heuristiques dans le cas général.

<sup>4</sup> Pour des raisons de confidentialité, nous ne pouvons pas indiquer les noms des entreprises ainsi que la zone géographique.

logistiques, nous avons pu développer et tester ce modèle sur une grande ville française, sa zone périphérique et une zone rurale connexe.

Plus particulièrement, ce modèle cherche à répondre aux interrogations d'un industriel face à un montant inexplicablement élevé, par rapport aux prévisions et aux livraisons, de ses factures en prestations logistiques de distribution capillaire. Les causes peuvent être multiples et difficilement traduisibles en termes de coûts. En voici quelques exemples : des délais de préparation de commandes rallongés, des clients livrés en priorité à des heures précises, un nombre inférieur de commandes prévu dans le contrat du prestataire, etc.

### 5.1 Méthodologie

Si la simulation et les outils d'optimisation de route permettent de constituer et d'évaluer au cas par cas des tournées, cette méthode n'est pas adaptée à l'analyse des performances d'un réseau de distribution où des centaines de tournées sont réalisées chaque jour dans des conditions spécifiques. Par contre, des cas de simulations judicieusement choisis et validés ouvrent la voie à l'identification d'unités d'œuvre permettant ensuite un raisonnement global.

Un projet en trois phases fut défini pour valider cette approche :

- Dans un premier temps, il faut s'assurer de la validité de l'outil de simulation pour des tournées réelles et éventuellement ajuster ses paramètres : vitesses, temps de réception par livraison, etc. Cette première phase permet de disposer d'un outil de simulation représentatif des conditions des livraisons qui servira ensuite à l'analyse de sensibilité.
- Simulation de scénarios alternatifs de livraison par simulation. Disposant d'un modèle, il est possible de faire varier des paramètres tels que la probabilité de livrer un point par tournée, le délai de livraison du point, etc. Cette exploration de nouvelles conditions de la livraison apporte non seulement des informations ponctuelles mais construit aussi un plan d'expériences.
- Identification d'unités d'œuvre cohérentes et représentatives. L'ensemble des cas singuliers traités par simulation sert de base de données pour identifier des unités d'œuvre représentatives par régression de modèles candidats.

Examinons ces trois phases en détail.

### 5.2 Validation d'un outil de simulation sur des tournées existantes

Pour valider le comportement de l'outil de simulation et affiner ses différents paramètres (vitesses de parcours, temps d'arrêts, ...), une base de référence est créée à partir d'une sélection de livraisons réelles. Celles-ci furent choisies pour leur représentativité de cas réels.

Une centaine de points de livraison, dont 50 en milieu urbain, ont servi de référence pour définir le modèle. Les données du cahier des charges ont été les suivantes :



- le centre de distribution est connu ;
- les distances, par le trajet le plus rapide, entre le centre de distribution et les points de livraisons, varient de 1 km pour le point de livraison le plus proche à 100 km pour le plus éloigné ;
- les délais entre l'heure limite « cut-off » et la livraison sont définis entre 1h et 4h (livraison en moins de x h) ou par des tranches horaires de passage aux points de livraison suivant les cas ;
- les heures de départ sont fixées à l'avance et les cut-off associés sont connus ;
- non-répétitivité des tournées, tous les points ne demandent pas à être livrés à chaque période ;
- les vitesses des moyens de transport sont conformes aux limitations effectives suivant les portions de route empruntées.

L'ensemble des tournées simulées constitue le résultat de cette première phase. La validation globale de ces tournées simulées consiste à vérifier, par rapport aux tournées réelles, le nombre de points livrés par secteur géographique et le temps consacré à ces livraisons.

Le modèle fut donc considéré comme valide quand les tournées réalisées par simulation avec un logiciel de constitution de tournées comportaient le même nombre de points livrés que pour les tournées réelles et avec une consommation équivalente des ressources.

### 5.3 Création de scénarii alternatifs<sup>5</sup> : l'intégration des délais

La cohérence d'une prestation réelle conduit à des tournées relativement homogènes, en termes de géographie et de structure. Cependant si l'on souhaite définir des unités d'œuvre et que celles-ci soient utilisables sur un large domaine, il faut créer cette diversité. Celle-ci peut se définir par plusieurs facteurs : la densité des points à livrer, le mode de livraison par tranche horaire ou par délai maximum, le délai, ... Le travail mené, à partir du cas industriel, nous a orientés sur la question de la variation de la prestation à des exigences de délais variables.

#### 5.3.1 Scénarii examinés

De manière à étudier la sensibilité de la constitution des tournées aux contraintes de délai et à définir un domaine de validation le plus large possible pour le calcul du modèle des unités d'œuvre, de nombreux scénarii alternatifs ont été créés.

---

<sup>5</sup> Nous raisonnerons ici à densité de livraison, c'est-à-dire le nombre de points à livrer sur un territoire est connu et fixé. La démarche pourrait cependant être étendue pour prendre en compte la variation de ce facteur.

Zone géographique	Distance au centre de distribution	Délais étudiés (entre cut-off et livraison)
Centre urbain et proche périphérie	0 à 15km	Délais pratiqués Moins de 2h Moins de 3h
Zone périphérique	5 à 30km	Délais pratiqués Moins de 3h Moins de 3h30 Moins de 4h
Zone rurale	30 à 75 km	Délais pratiqués Moins de 3h Moins de 4h

Tableau 4 : données des scénarios alternatifs

Le tableau ci-dessus récapitule le domaine des configurations étudiées. Près d'une centaine de tournées optimisées a été créée dans ce domaine. Par exemple, pour une livraison urbaine en moins de deux heures une dizaine de tournées sera simulée. L'ensemble des résultats obtenus (cf. tableau 5) constitue la base de données servant à l'identification des unités d'œuvre.

#### 5.4 Recherche du modèle : ressources consommées par unités d'œuvre

Dans un premier temps, la consommation des ressources d'une tournée (durée et distance totale de la tournée) sera formalisée par deux fonctions des unités d'œuvre, temps de regroupement et distance au centre de distribution. Une méthode de passage de la consommation des ressources d'une tournée à celle d'une livraison sera proposée. Cette méthode permettra alors l'identification des modèles de consommation des ressources en fonction des unités d'œuvre pour chaque livraison.

##### 5.4.1 Mesures de la consommation des ressources

Pour chacune des tournées, les unités d'œuvre, notamment la distance au centre de distribution et le temps de regroupement par point livré, sont calculables, et l'ensemble des ressources consommées sont connues par simulation.

De manière à déterminer le coût d'une tournée, deux grandeurs physiques sont retenues, la durée de la tournée qui détermine le coût du chauffeur et d'immobilisation du moyen de transport, notée *Durée*, et le kilométrage parcouru qui détermine le coût du carburant et de l'entretien du véhicule, notée *Parcours*. On recherche donc à identifier deux fonctions de la distance et du temps de regroupement :  $D(Tr,d)$  pour la durée et  $P(Tr,d)$  pour le parcours.



### 5.4.2 De la tournée à la livraison

Ces deux fonctions *Durée* et *Parcours* ne sont accessibles qu'au niveau de la tournée qui réunit plusieurs livraisons. Cependant chaque tournée réelle ou simulée est relativement homogène par rapport aux unités d'œuvre choisies. On fera donc l'hypothèse que les ressources consommées pour chaque livraison d'une même tournée homogène sont proches. Cette hypothèse permet alors de calculer les ressources nécessaires à la livraison du point moyen de la tournée considérée.

$$D(\bar{Tr}, \bar{d}) \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D(Tr_i, d_i)$$

$$P(\bar{Tr}, \bar{d}) \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P(Tr_i, d_i)$$

si  $\forall i, j \in [1, n] \quad Tr_i \approx Tr_j \text{ et } d_i \approx d_j$

La variété des tournées permet alors d'ajuster un modèle qui devra en outre satisfaire les conditions limites suivantes qui correspondent :

- d'une part à la livraison en urgence (tournée de livraison d'un seul point). Soit :  $D(0, d) \approx$  durée du trajet direct (D) et  $P_{(0, d)} \approx d \cdot e$
- d'autre part à la livraison avec un temps de regroupement très important. Ces conditions seront ajoutées sous la forme de tournées supplémentaires aux données réelles ou de simulation.

Chaque tournée génère alors deux ensembles de données qui relient la durée de livraison au temps de regroupement et à la distance au centre de distribution d'une part et le kilométrage parcouru au temps de regroupement et à la distance au centre de distribution d'autre part.

Tournée	Temps de regroupement $Tr$ moyen en min.	Eloignement $d$ moyen en km	Durée de livraison en min.	Parcours en km
1	30'	10 km	12'	5km
...				

Tableau 5 : résultats des simulations de tournées

### 5.4.3 Identification d'un modèle d'unité d'œuvre

Il s'agit maintenant d'identifier une fonction sur chaque ensemble de données formé pour chaque critère de consommation de ressources. En faisant l'hypothèse que cette fonction peut s'exprimer sous la forme d'une combinaison linéaire de fonctions candidates, fonctions pouvant être non linéaires, il est possible d'ajuster cette combinaison de fonctions par la méthode des

moindres carrés. Les fonctions choisies *a priori* comme candidates sont les puissances de la distance  $d$ ,  $d^{1/2}$ ,  $d^2$ ,... et des puissances de temps de regroupement  $(1+Tr)^{-2}$ ,  $(1+Tr)^{-2\beta}$ ,... Ces fonctions sont choisies pour leur compatibilité avec les conditions limites et leurs sens de variation par rapport à l'évolution des tournées.

La régression sur des fonctions candidates permet d'identifier expérimentalement leurs coefficients et le degré d'explication des ressources qu'elles permettent. Les fonctions ayant les taux d'explication les plus faibles sont supprimées pour conserver les meilleures. Les meilleures fonctions sont du type présenté ci-dessous :

$$D_{(Tr,d)} = \delta + \lambda.Tr + \frac{\gamma.d}{\sqrt{1+Tr}}$$

$$P_{(Tr,d)} = \alpha + \frac{\beta.d}{\sqrt{1+Tr}}$$

L'ajustement des coefficients  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\delta$ ,  $\lambda$  et  $\gamma$  dépend *a priori* de la densité effective des points de livraison du réseau, de la géographie, des axes routiers et de la comptabilisation ou non du retour au centre de distribution dans la tournée.

L'étude menée a permis de conserver les mêmes coefficients aussi bien pour les zones urbaines que périphériques et rurales, ce qui montre la robustesse de ce modèle pour la prestation étudiée. Dans le cas industriel, 95 % de la consommation des ressources consommées par les tournées furent expliquées. Ce résultat très encourageant valide la méthode sur le cas industriel. Les deux figures suivantes illustrent les familles de courbes représentant la consommation de la ressource « distance parcourue ». Des résultats similaires peuvent être obtenus pour la consommation du temps « durée de la livraison ».

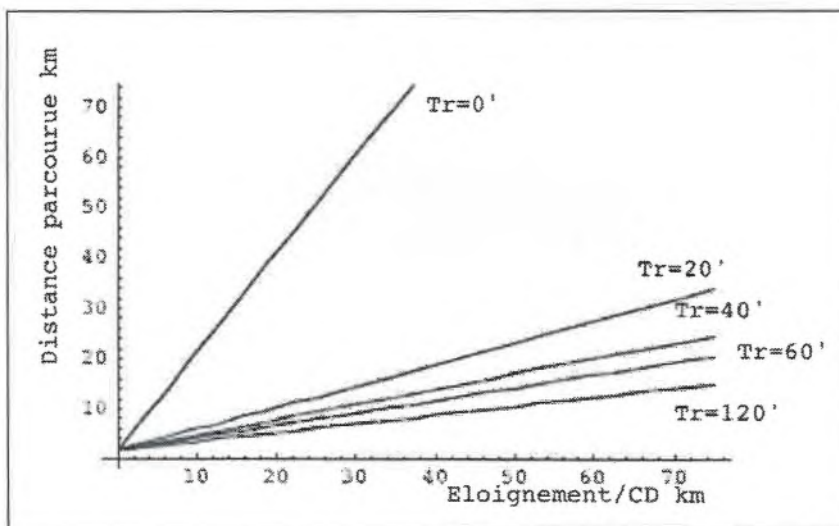


Figure 4 : sensibilité de la distance parcourue à l'éloignement du point livré/centre de distribution



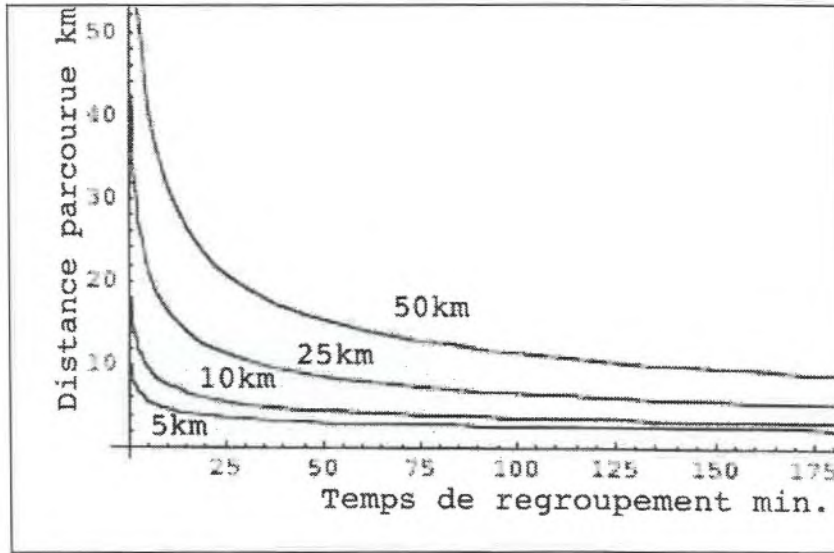


Figure 5 : sensibilité de la distance parcourue au temps de regroupement

## 6. Premiers résultats<sup>6</sup>

### 6.1 La confirmation des grilles classiques

Ce modèle apporte la confirmation de la pertinence des grilles classiques de facturation dans deux cas extrêmes : celui de la messagerie et celui du transport urgent.

Les livraisons réalisées par la messagerie ont un délai et un temps de regroupement importants. Sur les graphiques précédents, ces deux caractéristiques se manifestent par deux propriétés intéressantes. Comparativement au transport urgent ( $Tr=0$  sur la figure 4), la distance qu'il est nécessaire de parcourir entre deux livraisons est faible, donc le coût de la messagerie est faible et ce coût est moins sensible à l'éloignement car la distance à parcourir croît peu rapidement avec l'éloignement. Dans ce cadre, on comprend que la création de tarifs par zone géographique paraît parfaitement justifiée et constitue un mode de représentation adapté des coûts et de la tarification. Enfin, si un aléa intervient dans ce type de distribution, ce qui peut s'interpréter comme une diminution du temps de regroupement, cela aura peu d'impact sur le résultat final. On comprend dès lors qu'il peut exister une flexibilité ou une autonomie locale dans l'organisation de ce transport.

A l'opposé, les livraisons urgentes ( $Tr$  très faible) montrent que les distances à parcourir très importantes et sensiblement proportionnelles à l'éloignement à moyen de transport donné. On se rapproche du compteur de taxi, ce qu'illustre parfaitement la courbe pour  $Tr=0$ . Ces distances à parcourir se répercutent alors sur le coût de la livraison (cf. paragraphe suivant).

<sup>6</sup> Ce modèle est établi pour un domaine de validité délimité par des distances comprises entre 1 et 100 km et des temps de regroupement compris entre 0 et 300 minutes et la densité de livraison du cas industriel.

Enfin, il faut noter sur la figure 5 la faible variation en valeur absolue de la consommation de ressources en fonction du temps de regroupement quand la livraison s'effectue très près du centre de distribution. C'est le cas des livraisons de pizzas à domicile.

Ces résultats confortent des éléments connus par ailleurs et contribuent donc à une validation pragmatique de ce modèle.

### 6.2 Identification du coût d'une livraison

L'identification des coefficients sur le cas industriel fournit une estimation du kilométrage et de la durée requises par chaque livraison identifiée par sa distance au centre de distribution et son temps de regroupement. La consommation de ces ressources multipliée par leur coût unitaire indique alors le coût de la livraison.

Le coût de la tournée  $C_T$  est déterminé par la somme du coût kilométrique  $C_K$  par les kilomètres parcourus et du coût horaire  $C_H$  par la durée de la tournée.

$$C_T(Tr, d) = C_K \cdot P(Tr, d) + C_H \cdot D(Tr, d)$$

Au-delà d'une utilisation opérationnelle qui s'appuierait sur un calcul ponctuel ou l'utilisation de tables, la représentation graphique des résultats illustre différentes zones de sensibilité.

### 6.3 Une zone à forte sensibilité

Le résultat le plus intéressant, du point de vue des récents développements de la logistique vers la réduction des délais, nous paraît être la mise en évidence d'une zone à forte sensibilité, celle à faible temps de regroupement, partie droite de la figure 6. En effet, considérons un point de livraison avec un temps de regroupement faible, par exemple  $Tr$  inférieur à une heure. Cela signifie :

- que la livraison de ce point est très contrainte et que le coût sera déjà élevé ;
- mais aussi que le moindre aléa au départ se traduira soit par un retard soit par des moyens supplémentaires. En effet, toute diminution supplémentaire de  $Tr$  nécessite une forte consommation de ressources supplémentaires car la pente de la surface du coût s'élève très rapidement dans la zone où  $Tr$  est faible ;
- enfin que les écarts souvent pratiqués entre les tournées définies et leur réalité peuvent ici conduire à des remises en cause profondes des moyens à mettre en œuvre pour garantir la performance. Un suivi opérationnel très précis de ces opérations est donc nécessaire.



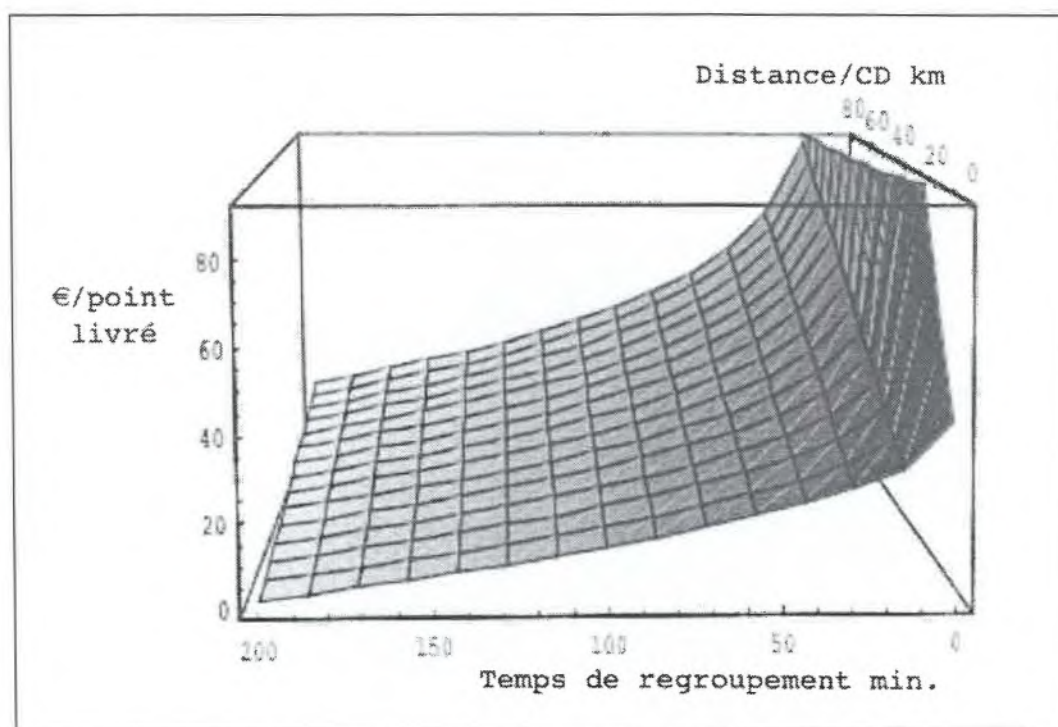


Figure 6 : sensibilité du coût de livraison à l'éloignement et au temps de regroupement

La définition d'une prestation logistique de type dernier kilomètre doit donc être extrêmement précise aussi bien au niveau de sa définition que de son exécution car toute perturbation se répercutera par une hausse sensible des coûts ou une détérioration du service.

#### 6.4 Vers des cahiers des charges plus réalistes

Un cahier des charges de prestations logistiques qui mentionnerait plusieurs hypothèses de densités de clients et une variation des plages de délai conduirait à une combinatoire extrêmement importante de cas possibles. Elaborer une réponse à l'appel d'offre d'un client par des simulations dans ces conditions devient alors très coûteux en temps passé et pour des réponses finalement partielles.

C'est pourquoi, dans la majorité des cas, le cahier des charges d'une telle prestation logistique devrait se focaliser sur un nombre très réduit de cas, voire sur une seule hypothèse. Or les expériences industrielles récentes montrent que les conditions de réalisation des prestations sont rarement celles qui sont prévues initialement. La fréquence des commandes, leur distribution dans la journée ou la semaine, les délais laissés effectivement aux tournées, la localisation des clients dans le cas du *BtoC* sont autant de facteurs d'incertitudes majeurs qui pèseront sur les coûts de la prestation.

Dans ce contexte, l'identification d'un modèle de coût général à partir d'un ensemble restreint de simulations ou de tournées réelles contribuerait à mieux définir les contours

possibles pour les tournées en apportant des réponses globales. Il devient alors possible d'apporter des réponses à des questions du type : quel est l'impact sur le coût de transport d'une réduction ou d'une augmentation du délai d'une demi-heure ? Quel est le nombre minimal de commandes qui permet d'obtenir le coût de livraison visé ? etc.

### **6.5 Un enrichissement de l'interface entre la logistique et le commercial**

La mise en évidence d'un faible temps de regroupement pour livrer un point paraît une information non triviale mais importante car elle engendrera des moyens importants. De plus, ces moyens risquent d'être souvent dépassés au moindre aléa ou à défaut, le service promis ne sera pas assuré.

Cette prise de conscience d'une difficulté logistique, traduite par son coût élevé, nécessiterait soit une étude approfondie en amont, soit une expertise logistique importante de ce type de situation. Dans le cadre de présentation ou de négociation de services personnalisés avec des clients, ces connaissances doivent être facilement mobilisables. A cette fin, des tables de coûts issues des formules présentées précédemment permettent alors une négociation rapide et avec une meilleure connaissance des conséquences du choix de prestation opérée. Les commerciaux peuvent ainsi affiner avec le client, le compromis coût/délai, l'objectif étant finalement de permettre au client de trouver la prestation la plus adaptée à ses attentes et aux moyens qu'il sera prêt à consacrer.

## **7. Conclusion et perspectives**

Les prestations logistiques continuent d'être un axe de développement des services aussi bien en *BtoC* qu'en *BtoB*. Une des conditions d'un développement mieux maîtrisé de la logistique capillaire passe vraisemblablement par la maîtrise des coûts *a priori*. En effet, la logistique capillaire peut revêtir des formes diverses suivant les contraintes qui lui seront imposées et les moyens varieront fortement en conséquence.

Savoir *a priori* si le coût d'une prestation envisagée se rapprochera du coût d'un transport express ou à l'opposé de celui de la messagerie n'est pas simple, cela dépendra de la zone géographique, de l'importance de l'activité, de l'implantation des centres de distribution et naturellement du niveau de service souhaité. L'objectif de cette étude est de proposer une estimation des ressources à mettre en œuvre et donc du coût d'une livraison à délai très court, tout en limitant le nombre de *scenarii* à construire. En particulier, sur l'exemple industriel, nous avons montré que l'on pouvait prévoir correctement les ressources à partir des deux unités d'œuvre proposées : la distance et le temps de regroupement.

Le premier résultat concret de cette approche fut d'estimer les coûts engendrés par la livraison de chaque client du cas industriel et ainsi d'orienter la politique de service. Ce résultat obtenu sur une zone géographique demande cependant à être confirmé par des études



complémentaires sur d'autres zones. Des recalages seront alors certainement nécessaires en fonction des infrastructures mais aussi de la densité des points à livrer.

Cette approche contribue à une meilleure prise en compte des performances logistiques de manière à en appréhender le coût *a priori* et ainsi prévenir les désillusions qui résultent inmanquablement d'un coût logistique mal maîtrisé et qui pénalisent *in fine* aussi bien les prestataires que leurs clients [6].

## 8. Bibliographie

- Data-deliver 2001, Webmarchands, Assises de la logistique, octobre 2001.
- Dornier P-P, Fender M., La logistique Globale, Editions d'Organisation, 2001.
- Hertz A. Operations research in logistics in The Essentials of Logistics and Management, Francis-Luc Perret and Corynne Jaffeux Ed, EPFL Press 2002.
- Infologistique n°23 Cahier de l'Irepp, 2000.
- Y Philippin La bataille du dernier kilomètre, Futures n°1, 2000.
- Laurent A. Les coûts du transport ralentissent le Juste-à-Temps, Usine Nouvelle, 28 février 2002.
- Metz C. K. C., How much customer service do you need?, Long Range Planning, Volume 11, Issue 4, August 1978, Pages 39-47.
- Mondial Relay, rapport de l'option Systèmes de Production et de Logistique de l'Ecole des Mines de Paris, 2000.
- Nemoto T., Visser J, Yoshimoto R., The impact of e-commerce on transport, OCDE/ECMT Joint Seminar, Paris 2001.
- Punakivi Mikko The value added of route optimisation in home delivery, Ecomlog research program 2001.
- Sung Hun Song, Kwan Suk Lee and Gi Sub Kim, A practical approach to solving a newspaper logistics problem using a digital map, Computers & Industrial Engineering, Volume 43, Issues 1-2, 1 July 2002, Pages 315-330.

## 9. Remerciements

Les auteurs remercient vivement MM. Maher Agi et Frédéric Fontane pour leurs relectures et remarques précieuses lors de la rédaction de cet article.