

MODELISATION ECONOMETRIQUE DE LA

DISTRIBUTION DU COURRIER

C. Cazals, M. De Rycke et J.P. Florens

SEPTEMBRE 1995

I. INTRODUCTION :

La publication en 1992 par la Commission Européenne du « Livre Vert sur la développement du marché unique pour les services postaux » a fournit un ensemble de propositions pour la mise en place d'une nouvelle structure politique pour ce service public. Le but était de susciter chez les pays membres une réflexion sur le sujet.

L'une des propositions, en s'appuyant sur la nécessité *d'obligation de service universel à un prix abordable pour tous* concerne la définition de « services réservés » pour les secteurs postaux. Il est donc primordial d'acquérir une connaissance approfondie des caractéristiques technologiques de ces secteurs postaux afin d'apprécier le bien-fondé de l'ouverture de certains services à la concurrence. Des concepts tels que les élasticités des demandes de facteurs de production et le degré de rendement d'échelle sont des outils relativement appropriés pour apporter des éléments de réponses à ce type de problème.

Dans cet article, nous nous proposons d'effectuer une analyse économétrique du secteur d'activité « distribution de courrier » de La Poste. En supposant donné (au moins à court terme) le découpage géographique de la totalité du territoire en bureaux distributeurs, chacun de ces bureaux doit organiser la production du « service distribution du courrier » pour la zone qui lui a été attribuée.

Nous décomposons la décision de production d'un bureau en deux niveaux. Dans un premier temps, le bureau décide de l'organisation des tournées en choisissant d'utiliser ou non un mode de distribution (piéton, vélo, cyclomoteur, voiture) et en lui affectant un secteur géographique.

Dans un second temps, on suppose l'utilisation efficace des facteurs de production pour minimiser les coûts, conditionnellement à la détermination optimale de la structure des tournées : à ce stade, nous examinons les demandes de facteurs de production.

Etant donné que la rémunération du facteur « travail » constitue environ 80% des coûts totaux de La Poste, et que de plus nous ne possédons pas d'information précises sur le facteur capital utilisé, nous mettons ici l'accent principalement sur l'étude de la demande de travail. Nous réalisons ainsi une analyse relativement complète des diverses élasticités de la demande de travail par rapport aux différents produits envisagés, avec de plus l'estimation d'une « élasticité globale » de demande de travail pour La Poste dans sa totalité.

Les données utilisées concernent un échantillon stratifié d'environ 400 bureaux distributeurs dispersés sur le territoire.

La suite de cet article est organisée de la manière suivante. Dans la section II, nous présentons le modèle économique de la distribution du courrier. La section III est consacrée à la définition des diverses variables prises en compte dans le modèle, ainsi qu'à la description des spécifications économétriques des relations étudiées. Enfin, les résultats des estimations sont présentés dans la section IV.

II MODELE ECONOMIQUE DE LA DISTRIBUTION DU COURRIER :

Rappelons tout d'abord les principes généraux de l'analyse économique des coûts. Une entreprise produit un ensemble de biens dont les quantités sont représentées par le vecteur y , et utilise pour cela un ensemble de facteurs de production dont les quantités sont décrites par le vecteur x . Le couple (x, y) est contraint par les possibilités techniques de l'entreprise. Si l'on considère un ensemble d'entreprises, ou d'unités de production, ces contraintes ne seront pas identiques. Nous supposerons qu'elles peuvent être décrites par un vecteur de variables d'environnement, noté w . Chaque entreprise choisit une combinaison x de facteurs de production, de manière à minimiser le coût total de production évalué aux prix des facteurs p . Si la quantité des produits y est donnée, on déduit de cette opération la *fonction de coût* :

$$(1) \quad C = F(y, p, w)$$

et la *fonction de demande des facteurs de production* :

$$(2) \quad x = H(y, pw)$$

On sait que la fonction H est égale au vecteur des dérivées partielles de la fonction de coût C par rapport à p (lemme de Shephard).

Examinons à présent plus particulièrement le cas de la distribution du courrier.

On peut considérer que La Poste est en France une seule entreprise dont l'activité de distribution peut être décrite par la nécessité de donner à chacun de ses destinataires un certain

volume de courrier chaque jour. Le « produit » distribution est donc un produit complexe pour deux raisons :

- les types d'objets distribués sont variés et les contraintes techniques imposées par la distribution d'une lettre de format courant, d'un paquet ou d'un mandat sont extrêmement différentes,
- chaque produit ne se résume pas à une quantité, mais est caractérisé par une dispersion géographique sur l'ensemble du territoire.

Autrement dit le produit « lettre distribuée dans un village de montagne » est complètement différent du produit « lettre distribuée dans un immeuble en ville », ou encore du produit « paquet distribué dans un quartier résidentiel ».

La description mathématique du « produit » distribution serait donc un vecteur de nombre d'objets dépendant du jour de distribution et du lieu géographique de remise.

Au cours de son développement, La Poste a effectué un découpage géographique de l'ensemble du territoire en bureaux distributeurs, et ce découpage n'est pas remis en cause, du moins dans le court terme, en fonction de l'évolution du trafic. On peut donc supposer que ce découpage est donné, et que chaque bureau distributeur reçoit quotidiennement un certain volume de courrier à distribuer. Chacun de ces bureaux peut donc être considéré comme une unité de production spécifique. Cette hypothèse peut cependant conduire à des erreurs si l'on souhaite effectuer des simulations. Imaginons en effet que, en présence d'un concurrent, le volume de courrier parvenant à La Poste soit sensiblement réduit. Elle modifiera alors le découpage initial des bureaux distributeurs par des regroupements ou des re-découpages du territoire. Evaluer les coûts pour un scénario dans lequel le trafic diminue, en conservant une structure identique des bureaux conduit donc à leur surestimation. Afin d'évaluer empiriquement l'impact sur les coûts de l'évolution du découpage du territoire en bureaux distributeurs, il est indispensable de disposer d'une observation chronologique au cours de laquelle des modifications du découpage auraient été réalisées.

Nous modélisons donc dans cette étude les bureaux distributeurs comme des entités de production distinctes. A ce niveau, les mêmes problèmes que précédemment apparaissent : le produit est toujours un vecteur de différents objets dispersés géographiquement au sein de la zone associée au bureau. La décision de production du bureau peut alors être décomposée en deux niveaux :

- une décision d'organisation des tournées, avec en particulier la détermination du nombre de tournées effectuées par des piétons, ou à l'aide de vélos, de cyclomoteurs ou de voitures,
- une utilisation efficace des facteurs de production pour minimiser les coûts, conditionnellement à la détermination optimale de la structure des tournées.

Nous avons considéré dans notre analyse empirique que la décision d'organisation des tournées consistait en un découpage du territoire du bureau en zones faisant l'objet d'un mode de distribution particulier. Quatre zones sont donc déterminées en fonction des caractéristiques géographiques et du volume du trafic correspondant à quatre modes de locomotion : piéton, vélo, cyclomoteur et voitures. Certains bureaux peuvent toutefois renoncer à un ou plusieurs de ces modes de distribution.

Notre modélisation s'effectue donc à deux niveaux :

- dans un premier temps le bureau décide d'utiliser ou non un mode de distribution du courrier et lui affecte un secteur géographique (ou nombre de points de remise). L'unité d'observation à ce niveau est le bureau distributeur.
- dans un second temps seront examinées les demandes de facteurs de production dans chacun de ces secteurs. L'unité d'observation est donc à ce stade la sous-partie d'un bureau faisant l'objet d'un mode de distribution particulier. Nous avons donc quatre modèles : un modèle de la distribution piétonne, un de la distribution cycliste, un de la distribution cyclomoteur, et enfin un de la distribution par voiture.

Nous ne disposons pas d'observations des coûts, ni des prix des facteurs de production permettant de les calculer. Ceci nous conduit à modifier le système (1) et (2) de deux manières.

En premier lieu, nous ne considérerons que la demande de facteurs de production et non pas le système formé par la fonction de coût et les fonctions de demande. Ce système est en partie redondant, mais il permet, lorsque des observations séparées sont disponibles de rendre plus précis le processus d'estimation.

En second lieu nous éliminerons les prix des facteurs de production de l'équation (2), ce qui signifie que nous n'estimerons qu'une demande de facteurs de production moyenne par rapport à la distribution des prix. En fait, dans la mesure où nous n'observons un ensemble de bureaux distributeurs que pendant une seule année, on peut penser que les prix des facteurs de

production (travail, consommation intermédiaire, bâtiment, ...) sont identiques d'un bureau à l'autre, et n'ont donc aucun effet sur la variabilité des demandes de facteurs. Cette hypothèse est en partie fautive. En ce qui concerne le facteur travail, la nature diversifiée des personnes employées, leur âge, leur ancienneté, ... font que le prix de l'heure de travail n'est très certainement pas le même entre deux bureaux distributeurs. Il n'en demeure pas moins que la décision du processus productif par le responsable du bureau ne doit probablement pas dépendre des salaires effectivement versés dans son bureau, mais d'un indicateur national du prix du travail. Cette hypothèse serait plus contestable dans le cas de la demande de bâtiments en tant que facteur de production. La grande dispersion des prix, entre zones urbaines et zones rurales notamment, influence de manière évidente la décision du processus productif, par le biais d'un effet sur le processus physique du tri et de la distribution.

III. DEFINITION DES VARIABLES ET SPECIFICATION ECONOMETRIQUE :

Nous avons donc pour objectif dans cette étude de modéliser la décision de production d'un bureau selon le schéma à deux niveaux déjà abordé précédemment : organisation des tournées dans un premier temps, puis, examen des demandes de facteurs de production. Nous mettrons cependant tout particulièrement l'accent sur la deuxième partie du modèle.

Nous commençons par présenter le modèle de décision d'organisation des tournées. L'unité élémentaire d'observation est le bureau distributeur i . Le processus de décision auquel fait face le responsable d'un bureau est le suivant. Il doit servir un certain volume d'objets quotidiennement sur une zone géographique donnée, possédant des caractéristiques d'environnement particulières. Pour cela il dispose de 4 modes de distribution possibles : à pied, en vélo, en cyclomoteur ou en voiture.

Le problème est alors de déterminer les modes de distribution à utiliser et leur attribuer une zone géographique, que l'on représentera dans notre modèle par un pourcentage de points de remise.

Décrivons tout d'abord les variables explicatives retenues pour ce modèle.

1) Le premier groupe de variables explicatives est constitué par la description du « produit » de la distribution. Nous avons dit précédemment que ce produit était en théorie un vecteur de quantités d'objets affectés géographiquement. Au niveau fin de découpage

auquel nous travaillons, l'affectation géographique peut être négligée (elle n'est de toute manière pas observée), et de plus nous prenons en compte un indicateur de dispersion géographique global.

Nous avons regroupé les nombres d'objets distribués en quatre types :

- objets de format courant (FC)
- objets grand format (GF)
- paquets (PAQ)
- autres (AUT)

Il s'agit donc d'une agrégation d'un vaste ensemble de produits en quatre *outputs*, ce qui nous permettra de procéder à une analyse multiproduit avec un nombre de variables raisonnable.

Les trois premiers groupes sont très homogènes et l'agrégation naturelle par la simple sommation des nombres d'objets est satisfaisante en regard de la théorie économique de la construction des indices de produits. La dernière catégorie est plus hétérogène, puisqu'elle est composée des mandats, recommandés, ... Une agrégation pondérée des nombres de ces objets pourrait se justifier. Cependant, le nombre d'objets concernés est ici relativement faible, nous avons donc maintenu une simple somme des nombres d'objets.

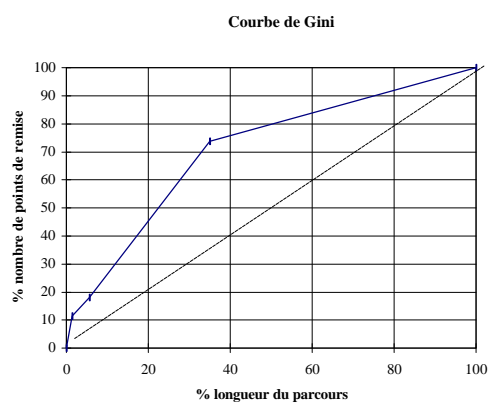
2) Afin de prendre en compte les caractéristiques de l'environnement du bureau, nous retenons les variables « longueur totale du parcours » et « nombre total de points de remise ». Ces variables sont valables pour la zone géographique entière affectée au bureau, et représentent la distance totale à parcourir pour servir tous les individus, et le nombre total de boîtes à lettres sur cette distance.

Nous avons également retenu une variable représentant d'une certaine manière le degré de concentration des points de remise autour du bureau distributeur. Cette variable a été construite en considérant que chaque bureau doit servir un segment linéaire dont il est une extrémité. On s'intéresse alors, pour chaque mode k , au pourcentage du nombre de points de remise par rapport au total et au pourcentage correspondant de la longueur du parcours, et on construit une « courbe de Gini ». Prenons l'exemple d'un bureau utilisant les 4 modes de distribution (piétons, vélos, cyclomoteurs et voitures) pour lequel on a :

	Pourcentages			
	Nbre de points de remise	Longueur des parcours	Longueur des parcours	Nbre de points de remise
P	1227	194	1,3545	11,4565
V	702	610	5,6137	18,0112
C	5966	4200	34,9392	73,7161
A	2815	9318	100	100
Total	<i>10710</i>	<i>14322</i>		

où P : piéton ; C : cyclomoteur ; V : vélo ; A : voiture.

La courbe de Gini associée aura la forme suivante :



On calcule alors le coefficient de Gini, c'est-à-dire l'aire se trouvant sous la courbe. En supposant que le bureau choisit d'utiliser la distribution piétonne pour des les zones proches du bureau, la distribution en vélo pour des zones un peu plus éloignées, ... etc, ce coefficient nous donne un indice de concentration de la zone servie par le bureau. Ce coefficient, que l'on notera *IC*, est compris entre 0 et 1, et s'interprète de la façon suivante :

- si IC est proche de 1 : les points de remise sont fortement concentrés autour du bureau,
- si IC est proche de 0,5 : les points de remise sont également répartis autour du bureau,
- si IC est inférieur à 0,5 : les points de remise sont concentrés loin du bureau (ce cas est bien entendu peu fréquent).

Le processus d'organisation des tournées pour un bureau i est supposé se décomposer de la façon suivante :

- 1) (i) décision d'utiliser ou non le mode *piéton* : on note $\mathbf{d}_p = 1$ si le bureau utilise le mode *piéton* ; 0 sinon
(ii) si $\mathbf{d}_p = 1$, le bureau détermine \mathbf{a}_p , le pourcentage de points de remise affectés au mode *piéton* par rapport au nombre total de points de remise,
- 2) (i) décision d'utiliser ou non le mode *vélo* : on note $\mathbf{d}_v = 1$ si le bureau utilise le mode *vélo* ; 0 sinon
(ii) si $\mathbf{d}_v = 1$, détermination de \mathbf{a}_v : pourcentage de points de remise affectés au mode *vélo*, par rapport au nombre de points de remise restant, c'est-à-dire le nombre total de points de remise diminué du nombre de points de remise déjà affectés au mode piétons,
- 3) (i) décision d'utiliser ou non le mode *cyclomoteur* : on note $\mathbf{d}_c = 1$ si le bureau utilise le mode *cyclomoteur* ; 0 sinon
(ii) si $\mathbf{d}_c = 1$, détermination de \mathbf{a}_c : pourcentage de points de remise affectés au mode *cyclomoteur*, par rapport au nombre de points de remise restant, c'est-à-dire le nombre total de points de remise diminué du nombre de points de remise déjà affectés aux deux modes précédents (piéton et vélo),
- 4) décision d'utiliser ou non le mode *voiture* : on note $\mathbf{d}_a = 1$ si le bureau utilise le mode *voiture* ; 0 sinon

On peut remarquer que cette phase du processus de décision de production détermine en définitive la répartition des quantités par mode de distribution, ainsi que la densité géographique des secteurs desservis par chacun des modes de distribution.

Le modèle de décision d'utilisation des modes de distribution est un modèle logit dichotomique, qui s'écrit :

$$(3) \quad P(\mathbf{d}_{i,l} = 1) = \frac{1}{1 + \exp(-\mathbf{j}_l((Ln y_i^k)_{k=1,\dots,4}, Ln PR_i, Ln LG_i, Ln IC_i))}$$

où l'indice i représente le bureau, et l'indice l le mode de distribution ($l =$ piéton (P), vélo (V), cyclomoteur (C), auto (A)). Les variables intervenant dans cette relation sont définies comme suit :

- $\mathbf{d}_{i,l} = 1$ si le bureau i utilise le mode de distribution l ; 0 sinon,
- y_i^k : quantité d'objets de type k ($k = FC, GF, PAQ, AUT$) que doit distribuer le bureau i ,
- PR_i : nombre total de points de remise pour le bureau i ,
- LG_i : longueur totale du parcours pour le bureau i ,
- IC_i : indice de concentration du bureau i ,
- $\mathbf{j}_l(.)$ est une fonction linéaire dans ses arguments, qui sont les logarithmes des variables précédentes.

Une fois décidée l'utilisation d'un mode de distribution l , le bureau doit lui attribuer un secteur, que l'on représentera par le pourcentage α de points de remise . On suppose que le modèle décrivant cette décision s'écrit :

$$(4) \quad Ln \frac{\mathbf{a}_{i,l}}{1 - \mathbf{a}_{i,l}} = \mathbf{j}_l((Ln y_i^k)_{k=1,\dots,4}, Ln PR_i, Ln LG_i, Ln IC_i)$$

où $a_{i,l}$ représente le pourcentage de points de remise attribué au mode l , par rapport au nombre de points de remise restant. Les autres variables sont définies de la même manière que précédemment.

Nous allons à présent modéliser la demande de travail et d'une certaine manière de capital dans la distribution du courrier, conditionnellement au découpage national en bureaux distributeurs, et au découpage géographique de chaque bureau en zones faisant l'objet d'un mode de distribution spécifique.

L'unité d'observation est ici le bureau i , et le mode de distribution l . Cet indice l a quatre valeurs possibles : piéton, vélo, cyclomoteur, et voiture. Dans notre échantillon, le nombre de bureaux par mode varie entre 200 et 400. Nous reviendrons sur la sélection de l'échantillon par la suite.

Les variables explicatives retenues dans ce modèle sont :

- les quantités des quatre types d'objets distribués (déjà définis précédemment), pour un bureau et un mode de distribution, notées : $FC_{i,l}$, $GF_{i,l}$, $PAQ_{i,l}$, $AUT_{i,l}$.
- et une variable « *densité* » représentant la dispersion géographique du bureau distributeur. Soulignons que cette densité dépend du bureau et du mode de distribution. Cette variable est une mesure de la densité linéaire et est construite en divisant le nombre de points de remise du courrier par la longueur du parcours.

Décrivons à présent les facteurs de production analysés.

i) le plus important est le *travail*. Il est mesuré physiquement en temps de travail par bureau et par mode de distribution. Nous disposons en fait d'un découpage précis du travail en tâches spécifiques, mais nous avons, pour des raisons statistiques, regroupé ces tâches en deux catégories :

- le travail « *intérieur* » au bureau, c'est-à-dire toutes les activités de préparation des tournées et de phase finale du tri (tri, piquage, coupage, ...).
- le travail « *extérieur* », c'est-à-dire la tournée de distribution proprement dite.

ii) nous avons modélisé par ailleurs le nombre de postes de travail affectés à chaque mode de distribution. Cette variable a une double signification :

– pour les vélos, cyclomoteurs et voitures, elle peut s’interpréter comme une demande de moyens de locomotion, et donc de l’un des éléments du capital nécessaire dans la distribution (l’autre élément physique du capital étant constitué des bâtiments du centre de distribution, grandeur pour laquelle nous ne disposons d’aucune information dans notre échantillon).

– pour tous les modes (piétons compris), ce nombre de postes de travail peut s’interpréter comme une demande de travail exprimée en nombre de salariés et non pas en quantités effectives de travail.

Nous commençons par présenter les modèles de demande de travail.

Ils s’écrivent de la manière suivante :

$$(5) \quad \text{Ln } x_{i,l}^j = \beta_l^j ((\text{Ln } y_{i,l}^k)_{k=1,\dots,4}, \text{Ln } D_{i,l}) + u_{i,l}^j$$

avec :

$x_{i,l}^j$: quantité de travail pour la distribution du secteur du bureau i par le mode de distribution l . L’indice j sépare le travail intérieur et extérieur.

$y_{i,l}^k$: quantité d’objets de type k ($k = \text{FC}, \text{GF}, \text{PAQ}, \text{ou AUT}$) distribué dans le secteur du bureau i par le mode l .

$D_{i,l}$: densité du secteur l du bureau i .

$u_{i,l}^j$: erreur aléatoire non observée.

Cette spécification appelle les remarques suivantes.

Nous avons implicitement supposé que la quantité de travail par bureau et par mode ne dépend que du nombre d’objets distribués dans la zone géographique correspondante. La pertinence de cette hypothèse tient au fait que nous avons supposé le découpage par bureau et mode comme une donnée. Dans un modèle global du bureau, la quantité totale du nombre

d'objets doit déterminer le découpage par entités géographiques faisant l'objet d'un mode de distribution et donc la quantité de travail de chaque mode.

Nous avons supposé une relation différente par mode de distribution et par type de travail (intérieur et extérieur). Cette fonction \mathbf{j}_i^j est approchée par un polynôme du second degré. Il s'agit d'une spécification de type « *translog* ». Dans cette étude, cette approximation sera considérée comme pertinente.

En ce qui concerne les modèles des nombres de postes de travail, nous avons adopté comme spécification, pour chacun des modes de distribution, la régression de Poisson. Nous obtenons donc 4 équations du type :

$$(6) \quad P(K_{i,l} = k_{i,l} | (y_{i,l}^k)_{k=1,\dots,4}, D_{i,l}) = \frac{I_i^{k_{i,l}}}{k_{i,l}!} \exp(-I_i)$$

avec $I_i = \exp(f_l((Ln y_{i,l}^k)_{k=1,\dots,4}, Ln D_{i,l}))$, où $f_l(\cdot)$ est une forme quadratique en ses arguments, et $k_{i,l}$ représente le nombre de postes de travail pour le mode de distribution l .

IV. RESULTATS DES ESTIMATIONS :

1) Les données : généralités :

Les informations utilisées pour effectuer cette étude sont issues de la « *statistique 742* ». Il s'agit d'un fichier contenant, pour la totalité des bureaux distributeurs français, des indications assez détaillées relatives aux quantités d'objets traités par chaque bureau, aux quantités de travail utilisé, et à différentes caractéristiques géographiques de chaque bureau. Ces informations sont recueillies pendant une semaine, durant le mois de mars. L'année d'observation est 1993.

Une description relativement complète du contenu de cette statistique ayant été réalisée dans une étude précédente (Cazals, De Rycke, Florens, Rouzard (1995)), nous nous contenterons ici de rappeler les points les plus importants.

Le nombre de bureaux distributeurs représentés dans ce fichier est de 9919. Ces bureaux sont regroupés en huit strates, sur le critère de leur nombre de « *quartiers-lettres* ». Nous avons prélevé un échantillon par sondage aléatoire dans chacune des strates, à

l'exception des deux premières que nous avons conservé dans leur totalité. Le taux de sondage est donc différent d'une strate à une autre et le procédé d'extraction a été effectué de façon à obtenir un échantillon de 50 bureaux environ dans chaque strate.

Il est important de souligner que nous n'avons pas retenu dans notre échantillon les bureaux de Paris, car les données les concernant ne sont pas d'une fiabilité convenable. Cela élimine ainsi 17 observations dans la première strate. Plusieurs autres bureaux ont dû être éliminés en raison de l'existence de valeurs aberrantes ou non compatibles, pour certaines variables utilisées dans les estimations des modèles. En effet, pour l'estimation du modèle décrivant la décision d'organisation des tournées, l'unité d'observation est le bureau : il est donc nécessaire d'avoir une cohérence des variables au niveau du bureau dans sa totalité, c'est-à-dire pour l'ensemble des modes de distribution réellement utilisés par celui-ci.. Nous obtenons finalement un échantillon de 321 observations.

L'ensemble des résultats est présenté en **annexe I**. Les **tableaux et graphiques 1** donnent quelques informations relatives à cet échantillon. Le **tableau 1.1** décrit le nombre d'observations par strate et par mode de distribution. On peut constater que sur la totalité de l'échantillon (c'est-à-dire sans distinction des strates), les deux modes de distribution les plus utilisés sont les vélos et voitures (entre 85 et 90% des bureaux), les modes piétons et cyclomoteurs n'étant utilisés que par 40 à 50% des bureaux. Les pourcentages d'utilisation du mode piéton sont élevés pour les premières strates puis sont fortement décroissants. La voiture est présente dans quasiment la totalité des bureaux de toutes les strates (entre 96 et 100%) à l'exception de la dernière. Enfin, quasiment tous les bureaux se trouvant dans les premières strates (qui correspondent aux plus grands bureaux) utilisent tous les modes, sauf le mode cyclomoteur.

Tous modes de distributions confondus, les pourcentages moyens des divers objets distribués par rapport au trafic total varient, selon la strate, entre : 58 et 64% pour les objets de format courants (OFC), 32 et 38% pour les objets grand format (OGF), 1,6 et 2,4% pour les paquets (PAQ), et 1,4 et 2% pour les autres objets (AUT). Ces pourcentages sont approximativement conservés si l'on examine chaque mode séparément, à l'exception du mode voiture, pour lequel on obtient les pourcentages suivants : 42 à 60% pour les OFC, 22 à 39% pour les OGF, environ 8% pour les PAQ, et enfin environ 3% pour les AUT.

En ce qui concerne la quantité totale de travail utilisée, elle est constituée en moyenne de 50% de travail intérieur et 50% de travail extérieur (approximativement) quelle que soit la strate ou le mode considéré.

Les densités moyennes les plus fortes sont observées pour le mode de distribution piéton, et décroissent avec le « degré de motorisation » du mode de distribution. En effet, toutes strates confondues, on observe des densités moyennes d'environ 5,5 points de remise par hectomètre pour les piétons, 3 pour les vélos, 1,4 pour les cyclomoteurs, et 0,5 pour les voitures.

Les indices de concentration moyens sont de tendance décroissante avec les strates (0,7 pour les premières strates, et 0,6 pour les dernières).

Les données représentées dans le **tableau 1.3** sont les moyennes des variables pour la population totale. Elles ont été calculées de la manière suivante. Notons : N = effectif de la population totale ; N_h = effectif de la strate h pour la population totale ($h=1,\dots,8$) ; n = effectif de l'échantillon ; n_h = effectif de la strate h dans l'échantillon ; \bar{x}_h = moyenne de la variable x dans la strate h pour l'échantillon. Alors la moyenne \bar{X} de la variable x pour la population totale est estimée par :

$$\bar{X} = \sum_{h=1}^8 \frac{N_h}{N} \bar{x}_h$$

Enfin, les **tableaux et graphiques 2** nous donnent les fréquences des combinaisons des modes de distribution utilisés par les bureaux dans l'échantillon. On constate que les combinaisons les plus utilisées sont « *vélo-cyclomoteur-voiture* » (21,5% des bureaux), « *vélo-voiture* » (21,18%), « *piéton-vélo-cyclomoteur-voiture* » (20,56%), et « *piéton-vélo-voiture* » (14,95%).

Nous présentons par la suite les résultats obtenus pour les estimations des différents modèles. Il est important de préciser que chacune des estimations a été effectuée en apportant une correction du biais de sélection du sondage stratifié, c'est-à-dire à l'aide de pondérations par l'inverse des taux de sondage.

2) Modèle de décision d'organisation des tournées :

Nous rappelons que dans son processus de décision d'organisation des tournées le bureau est supposé, pour chaque mode de distribution, choisir d'utiliser ou non le mode et lui affecter un secteur représenté par une part du nombre de points de remise restant à servir. De plus, ce processus est supposé ordonné : le bureau s'intéresse d'abord au mode « piéton », il passe ensuite au mode « vélo », puis au mode « cyclomoteur », et termine par le mode « voiture ».

Les paramètres des modèles de choix des modes de distribution (modèles Logit) ont été estimés par maximum de vraisemblance. Les résultats obtenus sont présentés dans le **tableau 3**.

Les paramètres des modèles d'affectation des secteurs (modèle de régression) ont été estimés par la méthode des moindres carrés. Les résultats sont présentés dans le **tableau 4**.

En ce qui concerne les performances d'ajustement des modèles, nous pouvons remarquer qu'elles sont assez satisfaisantes pour les modèles de choix des modes, mais peuvent par contre être améliorées pour les modèles d'affectation des secteurs.

Les valeurs des coefficients appellent les commentaires suivants :

(i) piétons :

La probabilité de choisir d'utiliser ce mode augmente avec l'indice de concentration du bureau, et les quantités totales d'objets de format courant et d'objets divers que doit distribuer le bureau. Par contre la longueur totale du parcours, le nombre total de points de remise et la quantité totale de paquets sont des facteurs influençant de manière négative cette probabilité de choix du mode.

En ce qui concerne le modèle d'affectation d'un secteur pour les piétons, on s'aperçoit que la probabilité pour qu'un point de remise soit servi par ce mode diminue avec la longueur totale du parcours et le nombre total de points de remise. Elle diminue également avec le volume d'objets de format courant. Un indice de concentration du bureau élevé ou encore des quantités d'objets grand format ou « divers » importantes ont par contre tendance à favoriser l'attribution d'un secteur plus « large » aux piétons.

(ii) vélos :

Les facteurs ne favorisant pas la décision d'utilisation de ce mode sont des valeurs élevées pour : le nombre d'objets divers que doit traiter le bureau et la longueur du parcours total. En revanche des quantités des autres objets, un nombre de points de remise ou un indice de concentration plus grands augmentent la probabilité de choisir ce mode.

Le seul facteur négatif dans l'attribution d'une part du secteur restant à attribuer (c'est-à-dire le secteur restant après attribution au mode piéton) est la longueur totale du parcours : plus celle-ci est élevée moins le bureau sera tenté d'attribuer un secteur important aux vélos, relativement aux modes « cyclomoteurs » et/ou « voiture ».

(iii) cyclomoteurs :

Les variables agissant dans le sens d'une diminution de la probabilité de choix de ce mode sont : les quantités d'objets de format courant et de paquets, et le nombre total de points de remise. Des valeurs élevées pour toutes les autres variables favorisent par contre le choix d'utilisation de cyclomoteurs dans l'organisation de la distribution.

La part du secteur restant affecté aux cyclomoteurs a tendance à diminuer (en faveur du secteur « voitures ») avec des valeurs élevées pour les quantités d'objets grand format et de paquets, le nombre de points de remise et la longueur du parcours total.

(iv) voitures :

La variable la plus importante dans la décision d'utiliser ou non ce mode de distribution est l'indice de concentration du bureau : plus il est important, plus le bureau aura de chances de choisir des voitures. Les autres facteurs jouant dans le même sens sont, dans l'ordre décroissant de leurs effets : le nombre total de points de remise, la longueur totale du parcours, et le nombre de paquets.

On peut encore noter en examinant les résultats dans leur ensemble que :

- la longueur totale du parcours que doit couvrir un bureau est un facteur négatif dans la décision d'utilisation des modes de distribution « non motorisés » (piéton et vélo) : plus le parcours est long, moins le bureau sera tenté de choisir ces deux modes,

- le nombre total d'objets de format courant que doit distribuer le bureau est un facteur négatif dans l'utilisation des modes de distribution motorisés (cyclomoteurs et voitures),

- enfin, quelque soit le mode considéré, la variable ayant l'effet le plus important sur les deux décisions (utilisation des modes et affectation des secteurs) est l'indice de concentration du bureau distributeur.

3) Demandes de facteurs de production :

Les paramètres des modèles des demandes de travail (modèles de régression) ont été estimés par la méthode des moindres carrés, tandis que les paramètres des modèles des « demandes de positions de travail » (spécifié comme des modèles de régressions poissonniens) ont été estimés par maximum de vraisemblance.

3.a Demandes de travail :

Les résultats concernant ces modèles sont présentés dans les **tableaux et graphiques 5 à 8**.

Les estimations des paramètres des équations de demande de travail, intérieur et extérieur, pour chaque mode de distribution, figurent dans les **tableaux 5**. La principale remarque que suscitent ces résultats est relative à la performance d'ajustement de ces modèles : en effet, les R^2 sont très satisfaisants pour toutes les équations.

Les valeurs des coefficients de ces relations n'ont pas en première analyse un contenu informationnel très important. Par contre, il est plus intéressant d'examiner les équations des élasticités du travail par rapport aux différents produits. Etant donnée la spécification des modèles de demande par des formes translog, celles-ci s'obtiennent par simple dérivation de la fonction par rapport au produit considéré. Ainsi, après estimation de l'équation (5), on peut

k de la façon suivante :

$$(7) \quad e_{x_l^j/y_l^k} = \frac{\mathbb{1} E(Ln x_l^j | Ln Z)}{\mathbb{1} Ln y_l^k} = \frac{\mathbb{1} j_l^j(.)}{\mathbb{1} Ln y_l^k}$$

où *Z* représente le vecteur des variables explicatives définies précédemment. L'indice *j* sépare le travail intérieur et extérieur et l'indice *l* sépare les différents modes de distribution

La forme fonctionnelle adoptée pour la fonction $\varphi(.)$ permet de rendre les élasticités dépendantes des divers produits et de la densité, mais cette dépendance est ici linéaire.

Les équations estimées pour les différentes élasticités sont données dans les **tableaux 6**, en **annexe I**.

Nous avons calculé ces élasticités pour chaque bureau utilisant un mode donné. Nous avons également calculé les élasticités de demande de travail (intérieur et extérieur) par rapport au trafic total traité par le mode de distribution considéré. Ces dernières sont obtenues simplement par sommation des élasticités par rapport aux différents objets :

$$(8) \quad e_{x_l^j/y_l} = \frac{\mathbb{1} E(Ln x_l^j | Ln y, Ln D)}{\mathbb{1} Ln \sum_k y_l^k} = \sum_{k=1}^4 e_{x_l^j/y_l^k}$$

Ces grandeurs s'interprètent comme l'augmentation en pourcentage du travail x_l^j entraînée par une augmentation simultanée des 4 types d'objets de 1%.

Nous avons calculé ces différentes élasticités pour chacun des bureaux distributeurs de l'échantillon et nous les avons représentées en fonction de la densité, du nombre d'objets correspondant et du trafic total des bureaux dans les **graphiques 6.1**.

Les **tableaux et graphiques 7** fournissent pour chaque mode de distribution et chaque strate, les moyennes de ces élasticités estimées sur l'échantillon. De plus, nous avons reporté

¹ L'annexe II donne des détails supplémentaires pour les calculs des différentes élasticités pouvant être obtenues dans ce modèle.

dans ces tableaux les moyennes des élasticités des demandes de travail total par rapport aux 4 types d'objets et par rapport au trafic total (la méthode de calcul de ces élasticités est donnée en **annexe II**).

Les principaux commentaires après examen de ces résultats peuvent être résumés par le tableau suivant :

I. Elasticités du travail intérieur				
(i) par rapport aux différents objets :				
	<i>les plus élevées :</i>		<i>les plus faibles :</i>	
PIETON	FC		AUT	
VELO	GF		PAQ (petits bureaux) FC (grands bureaux)	
CYCLO	FC		PAQ	
VOITURE	GF (petits bureaux) AUT (grands bureaux)		FC (petits bureaux) PAQ (grands bureaux)	
<i>Elasticités les plus élevées, tous modes et tous produits confondus:</i>				
FC, piétons (grands bureaux) ; FC, cyclo (petits bureaux)				
(ii) par rapport au trafic total :				
<i>Tendances d'évolution des élasticités en fonction de la taille du bureau :</i>				
	PIETON	VELO	CYCLO	VOITURE
<i>grands bureaux</i>	1,1	1,2	1,03	1,2
<i>petits bureaux</i>	0,8	0,9	0,99	0,7
<i>Elasticités les plus élevées, tous modes confondus:</i>				
piétons (grands bureaux) ; vélos et voitures (petits bureaux)				

II. Elasticités du travail extérieur

(i) par rapport aux différents objets :

	<i>les plus élevées :</i>	<i>les plus faibles :</i>
PIETON	FC	AUT
VELO	GF	AUT
CYCLO	FC	AUT
VOITURE	GF	FC (petits bureaux) AUT (grands bureaux)

Elasticités les plus élevées, tous modes et tous produits confondus:

GF, vélos (grands bureaux)

FC, piétons (petits bureaux)

(ii) par rapport au trafic total :

Tendances d'évolution des élasticités en fonction de la taille du bureau :

	PIETON	VELO	CYCLO	VOITURE
<i>grands bureaux</i>	1,1	0,9	0,9	0,9
<i>petits bureaux</i>	0,6	0,85	0,6	0,6

Elasticités les plus élevées, tous modes confondus:

piétons (grands bureaux)

vélos et voitures (petits bureaux)

III. Elasticités du travail total

(i) par rapport aux différents objets :

	<i>les plus élevées :</i>	<i>les plus faibles :</i>
PIETON	FC	AUT
VELO	GF	PAQ
CYCLO	FC	PAQ
VOITURE	GF	FC (petits bureaux) AUT (grands bureaux)

Elasticités les plus élevées, tous modes et tous produits confondus:

FC, piétons (grands bureaux)

GF, voitures (petits bureaux)

(ii) par rapport au trafic total :

Tendances d'évolution des élasticités en fonction de la taille du bureau :

	PIETON	VELO	CYCLO	VOITURE
<i>grands bureaux</i>	1,1	1	0,95	1,049
<i>petits bureaux</i>	0,7	0,88	0,77	0,66

Elasticités les plus élevées, tous modes confondus:

piétons (grands bureaux)

vélos (petits bureaux)

De plus, de manière générale, les élasticités des demandes de travail extérieur sont le plus souvent inférieures aux élasticités des demandes de travail intérieur, plus particulièrement pour les petits bureaux.

On constate que les élasticités de demande de travail *piéton* et *cyclomoteur* sont de tendance croissante avec la taille du bureau (elles deviennent supérieures à 1 pour le mode *piéton*), et le contraire est vérifié pour les élasticités de demande de travail pour les modes *vélo* et *voiture*. Il semble donc que le travail *piéton* soit utilisé de manière « intense » dans les grands bureaux : il n'existe pas de capacités de production inutilisées en terme de ce type de travail. Pour les petits bureaux, ce sont les modes *vélo* et *voiture* qui sont utilisés de façon la plus « intense ».

Il est intéressant de calculer à présent, pour chaque strate, des élasticités « globales » de demande de travail (intérieur, extérieur, et total) par rapport aux différents objets et par rapport au trafic total. Il sera alors possible d'obtenir, après correction par les taux de sondage, une estimation de l'élasticité « globale » de La Poste dans son ensemble. Les procédures de calculs de ces diverses élasticités sont données en **annexe II**.

Les **tableaux 8-1 à 8-4** en **annexe I** fournissent les élasticités globales de demande de travail (intérieur, extérieur et total) par strate, pour chacun des modes. Ces valeurs représentent donc, pour une strate h donnée, des estimations des élasticités des demandes de travail de la strate dans sa totalité. Ainsi, par exemple une valeur de 0,8 signifie qu'une augmentation de 1% du volume du trafic nécessite une augmentation de 0,8% du volume global de travail (intérieur, extérieur ou total) utilisé par la strate.

Le **tableau 8-5** fournit les élasticités globales estimées pour La Poste dans sa totalité, c'est-à-dire après correction par les taux de sondage. On s'aperçoit qu'une augmentation du trafic nécessiterait une augmentation plus importante en quantité de travail intérieur qu'en travail extérieur.

Finalement le calcul de l'élasticité globale de demande de travail de La Poste fournit une valeur de 0,91. Cette grandeur signifie qu'une augmentation du trafic total de La Poste nécessite une augmentation de 0,91% du travail total. Si on tient compte de l'importance du

facteur travail dans le coût total de La Poste (environ 80%), il semblerait alors qu’existent des rendements d’échelle légèrement croissants (le degré de rendements d’échelle étant défini comme l’inverse de l’élasticité, c’est-à-dire ici 1,091, les rendements sont croissant pour une valeur supérieure à 1).

3.b Demandes de positions de travail :

Le **tableau 9** en **annexe I** donne les moyennes observées des nombres de positions de travail par strate.

Les résultats des estimations des paramètres des équations de demande de positions de travail sont présentés dans les **tableaux 10**.

Comme pour les modèles précédents, l’information la plus importante réside dans les élasticités de ces demandes, qui peuvent être obtenues assez aisément, étant donnée la spécification par des modèles de Poisson. En effet, lorsqu’une variable X est distribuée selon une loi de Poisson de paramètre λ , on a : $E(X)=\lambda$. Dans les modèles spécifiés ici, on a supposé que les positions de travail, K_l (l =piéton (p), vélo (v), cyclomoteur (c), voiture (a)) étaient distribuées selon des lois de Poisson de paramètre $\lambda_l = \exp (f_l (\text{Ln } y_l , \text{Ln } D_l))$, où $\text{Ln } y_l$ est le vecteur des 4 types d’objets traités par le mode l , et les fonctions $f_l (.)$ sont des formes quadratiques en leurs arguments. Ainsi, nous avons : $E(K_l | \text{Ln } y_l , \text{Ln } D_l) = \lambda_l = \exp (f_l (\text{Ln } y_l , \text{Ln } D_l))$.

Nous montrons en **annexe II** que dans le cas d’un modèle homoscédastique, l’élasticité d’une variable K_l par rapport par une variable y_l^k peut s’écrire :

$$e_{K_l/y_l^k} = \frac{\int E(\text{Ln } K_l)}{\int \text{Ln } y_l^k} = \frac{\int \text{Ln } E(K_l)}{\int \text{Ln } y_l^k}$$

Donc, on a ici :

$$(9) \quad e_{K_l/y_l^k} = \frac{\int \text{Ln } E(K_l)}{\int \text{Ln } y_l^k} = \frac{\int f_l(\text{Ln } y_l, \text{Ln } D_l)}{\int \text{Ln } y_l^k}$$

Les équations estimées de ces élasticités sont données dans les **tableaux 11**. Nous avons également calculé les valeurs de ces élasticités pour chaque bureau, et nous les avons représenté sur des graphiques en fonction du nombre total d'objets traités par le mode considéré (**graphiques 11**). Les **tableaux 12** représentent les moyennes par strate de ces élasticités, par rapport à chacun des 4 types d'objets et par rapport au trafic total.

La principale remarque au vu de ces résultats concerne l'évolution des valeurs des élasticités avec la taille du bureau : quel que soit le mode de distribution ce sont les plus grands bureaux qui possèdent les élasticités les plus faibles (inférieures à 1).

Pour le mode de distribution *piéton*, les élasticités les plus fortes sont les élasticités par rapport aux *objets de format courant* (pour les grands bureaux) et par rapport aux *objets grand format* (pour les petits bureaux).

Pour le mode de distribution *vélo*, en général les élasticités les plus élevées sont les élasticités par rapport aux *objets grand format*.

Pour la distribution en *cyclomoteur*, quelle que soit la taille du bureau, l'élasticité par rapport aux *objets de format courant* est la plus élevée. Il s'agit également de l'élasticité la plus forte, tous objets et tous modes confondus.

Enfin, les élasticités les plus élevées pour la distribution en *voiture* sont les élasticités par rapport aux *objets grand format* pour les petits bureaux et aux *objets divers* pour les grands bureaux.

De façon générale, les élasticités les plus élevées se trouvent dans les petits bureaux.

Les **tableaux 13-1 à 13-4** représentent les élasticités globales par strates des demandes de positions de travail. On peut noter l'importance de ces élasticités pour le mode « cyclomoteur », principalement pour les strates contenant les petits bureaux.

Enfin, le **tableau 13-5** fournissent les élasticités globales des demandes des différentes positions de travail pour La Poste dans sa totalité.

Nous rappelons que ces élasticités peuvent être interprétées, en ce qui concerne les *vélos*, *cyclomoteurs* et *voitures* comme des élasticités de demande de « capital » si on identifie chaque position de travail à un véhicule. Le principal résultat de ces estimations des élasticités globales pour La Poste réside dans des élasticités relativement élevées, et supérieure à 1, pour le trafic total. On doit cependant rester très prudent quant à l'interprétation de ces résultats en

terme de capital. En effet, d'une part le capital de La Poste ne se résume pas à des véhicules, mais comprend également par exemple des bâtiments. D'autre part, nous n'effectuons qu'une approximation très grossière du nombre de véhicules par le nombre de positions de travail. Par conséquent l'étude mérite d'être approfondie à l'aide d'information plus explicite sur les données de capital.