

## CHAPITRE 6

### LES MODELES DE CHOIX DISCRET ET LEUR ESTIMATION

Avec la base de données qu'on a obtenus dans le chapitre précédant, ce chapitre va analyser précisément les formules de modèles de choix discret désagrégé et les méthode de leur estimer. Après avoir présenté le fondement théorique, les formules et les caractéristiques de chaque type de modèles et leur estimation seront discutés.

#### 6.1. Formule Mathématique des Modèles

Dans un processus de décision de choix, le but de la décision est de trouver une meilleure solution parmi les alternatives possibles pour satisfaire les objectifs. En réalité, il existe deux types de choix, le premier type est le choix continu, dans ce cas on choisit une combinaison de la quantité d'alternatives possibles où les quantités pour chaque alternative peuvent varier continuellement. Le deuxième type est le choix discontinu (discret) où on choisit seulement une seule alternative parmi plusieurs alternatives, c'est le cas du choix modal de transport.

##### 6.1.1 Fondement Théorique

Si l'on suppose que le consommateur puisse comparer toutes les alternatives possibles, il existe une fonction d'utilité  $U$  qui exprime mathématiquement les préférences du consommateur. De plus, si l'on désigne l'ensemble des alternatives disponibles pour les  $n$  décideurs pendant le processus de décision comme l'ensemble de choix  $C_n$ , où  $U_{in}$  représente l'utilité du décideur  $n$  pour l'alternative  $i$  l'on peut définir la fonction d'utilité en termes d'attributs :

$$U_{in} = U(Z_{in}) \quad (6.01)$$

où  $Z_{in}$  est le vecteur des attributs pour l'alternative  $i$  estimée par le chargeur  $n$ .

Ainsi, pour le décideur  $n$ , l'alternative  $i$  est choisie si et seulement si :

$$U_{in} > U_{jn} \quad j \neq i, \quad i, j \in C_n \quad (6.02)$$

Cependant, en réalité, les individus ne sélectionnent pas la même alternative quand on répète le même essai de choix, ou avec le même ensemble de choix, les mêmes attributs et les mêmes caractéristiques socio-économiques, des individus différents vont choisir des alternatives différentes. Pour expliquer cette inconsistance des préférences, la théorie du choix probabiliste est introduite car on suppose que le comportement humain est intrinsèquement probabiliste ou que l'on manque d'informations plus précises sur le processus décisionnel individuel. Le mécanisme probabiliste peut saisir les effets des variations inobservables parmi les décideurs et les attributs inobservables des alternatives, elle peut aussi prendre en compte le comportement stochastique et l'erreur occasionnée par la méthode de recueil des données.

Ainsi, à cause des caractéristiques probabilistes de la décision de choix, on ne peut pas savoir exactement quelle alternative un décideur va choisir au sein du processus de décision, cependant on peut connaître la probabilité qu'un décideur choisisse l'alternative. Puisqu'on suppose toujours que les individus sélectionnent des alternatives avec l'utilité la plus haute, la probabilité qu'un décideur sélectionne l'alternative  $i$  reviendra à ce que l'utilité de l'alternative  $i$  soit plus grande que celle des autres alternatives, à savoir :

$$P_i = P_i(U_i > U_j, \forall j \neq i) \quad (6.03)$$

Cependant, les utilités ne sont pas connues de manière certaine, on les traite donc comme des variables aléatoires. Dans ce cas, on décompose la fonction d'utilité aléatoire d'une alternative en deux parties :

$$U_{in} = V_{in} + \varepsilon_{in} \quad (6.04)$$

Etant donné que chaque chargeur a un ensemble de choix désigné par  $C_n$ , avec  $J_n \leq J$  comme le nombre de choix (alternatives), la probabilité que l'alternative  $i$  dans  $C_n$  soit choisie par le chargeur  $n$  peut se réécrire sous la forme :

$$\begin{aligned} P_n(i) &= P(V_{in} + \varepsilon_{in} \geq V_{jn} + \varepsilon_{jn}, \forall j \in C_n, j \neq i) \\ &= P(\varepsilon_{jn} \leq V_{in} - V_{jn} + \varepsilon_{in}, \forall j \in C_n, j \neq i) \end{aligned} \quad (6.05)$$

où  $V_{in}$  désigne la composante *systématique* de l'utilité et  $\varepsilon_{in}$  désigne la composante *aléatoire* de l'utilité.

La détermination de la spécification du modèle dépend du choix de la forme de la fonction d'utilité et concerne de prime abord la spécification de la composante systématique. Normalement on utilise une fonction linéaire sur les paramètres (acronyme de « *linear in parameters* »). Si l'on désigne  $\beta$  comme le vecteur des  $k$  paramètres inconnus, la fonction linéaire sur les paramètres s'écrit :

$$V_{in} = \beta_1 X_{mi} + \beta_2 X_{m2} + \dots + \beta_k X_{mk} \quad (6.06)$$

Dans l'équation ci-dessus, on a supposé que les paramètres  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$  sont les mêmes pour tous les chargeurs, mais on sait que les différents types de marchandises possèdent des caractéristiques socio-économiques différentes, les paramètres ne doivent pas donc être fixés et doivent être variables selon les différentes caractéristiques des chargeurs. Il existe plusieurs façons de résoudre ce problème :

- (1). On segmente le marché de transport selon les caractéristiques des chargeurs et on calibre séparément un modèle différent pour chaque groupe de marchandises de caractéristiques homogènes
- (2). Si l'on connaît les attributs socio-économiques qui influencent ces paramètres, on peut les introduire dans le modèle, en conséquence, les paramètres sont donc les fonctions des attributs socio-économiques des chargeurs.
- (3). On peut traiter  $\beta$  comme une variable aléatoire qui suit une distribution probabiliste.

Le deuxième problème pour la détermination de la spécification du modèle concerne la spécification de la composante aléatoire. Si l'on suppose que l'alternative  $i$  choisie est la première alternative dans  $C_n$  et que  $f(\varepsilon_{1n}, \varepsilon_{2n}, \dots, \varepsilon_{J_n n})$  désigne la fonction densité conjointe des termes d'erreur  $\varepsilon_{jn}$ , on sait que la probabilité  $P_n(i)$  peut être exprimée sous la forme suivante :

$$P_n(1) = \int_{\varepsilon_{1n} = -\infty}^{\infty} d\varepsilon_{1n} \int_{\varepsilon_{2n} = -\infty}^{V_{1n} - V_{2n} + \varepsilon_{1n}} d\varepsilon_{2n} \dots \int_{\varepsilon_{J_n n} = -\infty}^{V_{1n} - V_{J_n n} + \varepsilon_{1n}} f(\varepsilon_{1n}, \dots, \varepsilon_{J_n n}) d\varepsilon_{J_n n} \quad (6.07)$$

La fonction de densité des termes d'erreur  $\varepsilon_{jn}$  dépend de la corrélation entre ces termes d'erreur. Par exemple, les corrélations internes aux observations sont les corrélations entre les résidus relatifs aux différentes alternatives pour un même individu. Dans ce cas, pour tout  $n$ , on a,  $E\varepsilon_{jn}\varepsilon'_{jn} = \Sigma_n$  et  $\Sigma_n$  n'est alors plus une matrice diagonale. En faisant des hypothèses sur la

distribution probabiliste conjointe des termes d'erreur  $\varepsilon_{jn}$ , on peut en déduire n'importe quel modèle de choix multinomial.

### 6.1.2. Modèle Logit Multinomial

Si l'on fait l'hypothèse que les  $\varepsilon_{jn}$  sont indépendamment et identiquement distribués (**IID**, « *independant and identically distributed* », hypothèse qui est équivalente à l'hypothèse **IIA** (« *independence of irrelevant alternatives* »)) et que les  $\varepsilon_{jn}$  suivent une distribution de *Gumbel*, on obtient le modèle logit multinomial (modèle MNL) :

$$P_n(i) = \frac{\exp(V_{in})}{\sum_{j \in C_n} \exp(V_{jn})} \quad (6.08)$$

Si la fonction d'utilité est linéaire sur les paramètres, le modèle s'écrit :

$$P_n(i) = \frac{\exp(\beta'X_{in})}{\sum_{j \in I} \exp(\beta'X_{jn})} \quad (6.09)$$

$X_{in}$ : variables explicatives représentant les caractéristiques des chargeurs, des marchandises et du service de transport

$\beta$ : les paramètres à estimer

### 6.1.3. Modèle Logit à Paramètres Aléatoires

Dans le modèle logit,  $\beta_k$  est constant (fixé pour tous les individus), il ne peut pas donc saisir les effets des caractéristiques des chargeurs. Pour cela, on peut supposer que  $\beta_k$  est une variable aléatoire de distribution spécifique ou normale. Dans ce cas, la probabilité de choix peut être écrite sous la forme suivante où  $f(\beta_p, \dots, \beta_k)$  est la fonction de densité des paramètres de la fonction d'utilité individuelle :

$$P_n(i) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} p_n'(i) f(\beta_{kn}, \dots, \beta_{1n}) d\beta_{kn} \dots d\beta_{1n} \quad (6.10)$$

dont

$$p_n'(i) = \frac{\exp(\beta'X_{in})}{\sum_{j \in C_n} \exp(\beta'X_{jn})} \quad (6.11)$$

Par exemple, si C désigne le coût de transport, T désigne le temps de transport et X désigne les autres variables explicatives, on a la fonction d'utilité linéaire suivante :

$$U_i = \beta_c C_i + \beta_T T_i + \alpha' X_i + \varepsilon_i \quad (6.12)$$

Supposant encore que le coefficient du temps de transport  $\beta_T$  prenne une valeur aléatoire (Bolduc, D. 1992), du type normale, la fonction de la densité probabiliste de  $\beta_T$  est donnée par :

$$f(\beta_T) = \frac{1}{\sigma \beta_T \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\beta_T - \omega}{\sigma}\right)^2\right] \quad \beta_T > 0 \quad (6.13)$$

Dans ce cas, la probabilité de choix peut être écrite comme :

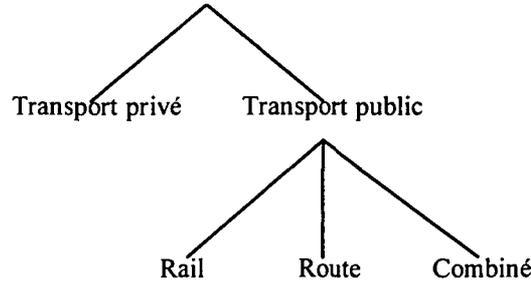
$$P(i) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_0^{\infty} \frac{\exp(\beta_c C_i + \beta_T T_i + \alpha X_i)}{\sum_{j=1}^J \exp(\beta_c C_j + \beta_T T_j + \alpha X_j)} * \frac{1}{\beta_T} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\beta_T - \omega}{\sigma}\right)^2\right] d\beta_T \quad (6.14)$$

Bien que ce modèle se base aussi sur l'hypothèse IIA, le fait que les coefficients des attributs peuvent varier parmi les individus, améliore la spécification du modèle logit.

#### 6.1.4. Modèle Logit Emboîté

Pour résoudre le problème IIA, une autre solution consiste à hiérarchiser les choix. Cette solution vaut surtout pour le cas où les alternatives sont corrélées mais les paramètres fixes.

Dans cette recherche, le modèle logit emboîté reproduit le choix combiné entre nature du transport (public ou privé) et du mode de transport (un autre exemple est le choix combiné pour la taille d'expédition et le mode de transport).



Soit un ensemble de choix  $C_n$  dont les éléments sont définis comme la combinaison des modes et des natures de transport. Si l'on désigne  $U_{pn}$  comme la fonction d'utilité des éléments de  $C_n$  consistant en mode  $m$  et en nature  $p$ , on peut écrire :

$$U_{pm} = \tilde{V}_p + \tilde{V}_m + \hat{V}_{pm} + \tilde{\varepsilon}_m + \tilde{\varepsilon}_p + \varepsilon_{pm}, \quad \forall (p, m) \in C_n, \quad (6.15)$$

où

$V_p$  et  $V_m$  = la partie systématique de l'utilité commune pour tous les éléments utilisant la nature  $d$  et pour tous les éléments utilisant le mode  $m$

$V_{pm}$  = la partie systématique spéciale de l'utilité pour la combinaison  $(p, m)$

$\varepsilon_{pm}$  = la partie aléatoire de l'utilité

$\varepsilon_m$  et  $\varepsilon_p$  = la partie aléatoire pour le mode et la nature, elles varient seulement parmi les modes ou parmi les natures.

### **modèle logit conjoint**

Si l'on suppose que les termes erreur sont les mêmes pour le mode et la nature ( $\varepsilon_m$  et  $\varepsilon_d = 0$ ) et que  $\varepsilon_{pm}$  suit une distribution de Gumbel indépendante et identiquement distribuée, on obtient le modèle MNL conjoint pour le choix combiné de mode et de nature suivant :

$$P_n(p, m) = \frac{\exp(\tilde{V}_p + \tilde{V}_m + \tilde{V}_{pm})}{\sum_{(m', p') \in C_n} \exp(\tilde{V}_{p'} + \tilde{V}_{m'} + \tilde{V}_{pm'})} \quad (6.16)$$

Cette équation nous permet de dériver facilement la probabilité conditionnelle et marginale. Pour cela, on définit les ensembles de choix conditionnels et marginaux des modes et des natures de transport (public ou privé) comme  $P_n$  et  $M_n$ .  $M_n$  est donc le sous-ensemble des modes compris dans  $C_n$ . Parallèlement  $P_n$  est le sous-ensemble des natures de transport comprises dans  $C_n$ . Ainsi, on peut définir l'ensemble des choix conditionnels pour la nature

comme  $P_{nm}$  qui désigne le sous-ensemble de destination dans  $P_n$  des individus qui ont utilisé le mode  $m$ , et l'ensemble de choix conditionnels pour le mode comme  $M_{np}$  qui désigne le sous-ensemble des modes dans  $M_n$  où les individus ont utilisé la nature  $p$ .

Selon ces définitions, la probabilité marginale peut être dérivée comme :

$$P_n(p) = \sum_{m \in M_{np}} P_n(p, m)$$

où

$$P_n(m) = \sum_{p \in P_{nm}} P_n(p, m) \quad (6.17)$$

Par exemple, on peut déduire :

$$P_n(p) = \frac{\exp(\tilde{V}_p + V'_p)}{\sum_{p' \in P_n} \exp(\tilde{V}_{p'} + V'_{p'})} \quad (6.18)$$

dont

$$V'_p = \ln \sum_{m \in M_{nd}} \exp(\tilde{V}_m + \tilde{V}'_{pm}) \quad (6.19)$$

D'autre part, la probabilité de choix conditionnelle peut être exprimée par :

$$P_n(m/p) = \frac{P_n(p, m)}{P_n(p)} = \frac{\exp(\tilde{V}_m + \tilde{V}'_{pm})}{\sum_{m' \in M_{np}} \exp(\tilde{V}_{m'} + \tilde{V}'_{pm'})} \quad (6.20)$$

On peut donc réécrire la probabilité conjointe de mode et de nature comme :

$$P_n(p, m) = P_n(p/m) * P_n(m)$$

ou

$$P_n(p, m) = P_n(m/p) * P_n(p) \quad (6.21)$$

### **modèle logit emboîté**

Si l'on suppose que les termes d'erreur sont différents pour le mode et la nature, dans ce cas deux approches peuvent être utilisées pour traiter ce problème. La première approche est appelée modélisation probit, approche qui sera discutée plus loin. La deuxième approche est

dite modélisation logit emboîté, qui suppose qu'un des termes d'erreurs ( $\varepsilon_m$  ou  $\varepsilon_p$ ) est assez petit et peut donc être raisonnablement ignoré. Par exemple, on suppose que  $\varepsilon_p$  possède une variance nulle, la fonction d'utilité devient alors :

$$U_{pm} = \tilde{V}_p + \tilde{V}_m + \hat{V}_{pm} + \tilde{\varepsilon}_m + \varepsilon_{pm}, \quad (6.22)$$

Si l'on fait ensuite les hypothèses suivantes :

1.  $\varepsilon_m$  et  $\varepsilon_{pm}$  sont indépendants pour tous les  $p \in P_n$  et  $m \in M_n$
2.  $\varepsilon_{pm}$  suit une distribution de Gumbel i.i.d. de constante  $\mu^d$
3.  $\varepsilon_m$  ainsi que  $\max_{p \in P_{nm}} U_{pm}$  suivent une distribution de Gumbel de constante  $\mu^m$

On peut donc obtenir la probabilité conditionnelle comme :

$$P_n(m/p) = \frac{\exp(\tilde{V}_m + \tilde{V}_{pm}) * \mu^m}{\sum_{m' \in M_{np}} \exp(\tilde{V}_{m'} + \tilde{V}_{pm'}) * \mu^m} \quad (6.23)$$

et la probabilité marginale comme :

$$P_n(p) = \frac{\exp(\tilde{V}_p + V'_p) * \mu^p}{\sum_{p' \in P_n} \exp(\tilde{V}_{p'} + V'_{p'}) * \mu^p} \quad (6.24)$$

où

$$V'_p = \frac{1}{\mu^m} \ln \sum_{m \in M_{np}} \exp(\tilde{V}_m + \tilde{V}_{pm}) * \mu^m \quad (6.25)$$

### 6.1.5. Modèle Probit Multinomial

Si l'on suppose que  $\varepsilon_n = [\varepsilon_{1n}, \varepsilon_{2n}, \dots, \varepsilon_{jn}]'$  est un vecteur multiple aléatoire qui suit une distribution normale de moyenne nulle et de matrice de variance-covariance  $\Sigma$  (cette hypothèse implique que les  $\varepsilon_{in}$  ne soient pas indépendants), et si l'on suppose que l'alternative  $i$  est choisie comme première alternative dans  $C_n$ , on obtiendra la formulation probit correspondante qui est beaucoup plus compliquée que dans le cas du modèle logit :

$$P_n(1) = \int_{-\infty}^{\infty} d\varepsilon_{1n} \int_{-\infty}^{X_i \bar{\beta} - X_j \bar{\beta} + \varepsilon_i} d\varepsilon_{2n} \dots \int_{-\infty}^{X_i \bar{\beta} - X_n \bar{\beta} + \varepsilon_i} \phi(\varepsilon_{1n}, \dots, \varepsilon_{jn}; \Sigma) d\varepsilon_{jn} \quad (6.26)$$

où  $\phi$  est la fonction de densité normale multiple de moyenne nulle et de matrice de variance-covariance  $\Sigma$ . Pour la résoudre, il faut estimer une intégrale multiple d'ordre  $J_n-1$  ( $J_n$  comme nombre d'alternatives).

Si la composante systématique de la fonction de l'utilité est linéaire sur les paramètres, on peut introduire des paramètres aléatoires dans le modèle probit. Dans ce cas, les paramètres aléatoires peuvent être exprimés par  $\beta_n = \beta + \varphi_n$ , où  $\varphi_n$  est un vecteur définissant la différence entre le paramètre du chargeur  $n$  et la valeur moyenne des paramètres. Ainsi la fonction d'utilité s'écrit :

$$u_{in} = \beta'_n X_{in} + \varepsilon_{in} = \beta' X_{in} + (\varphi'_n X_{in} + \varepsilon_{in}) \quad (6.27)$$

On sait que  $\varepsilon_n$  suit une distribution normale, si  $\varphi_n$  suit une distribution normale multivariée de moyenne nulle et de matrice variance covariance  $\Sigma_\varphi$ , la combinaison linéaire  $\varepsilon_{in}^* = \varepsilon_{in} + \varphi'_n X_{in}$  suit en conséquence une distribution normale de moyenne nulle et de matrice variance-covariance :  $\Sigma_\varepsilon + X'_n \Sigma_\varphi X_n$ . On voit donc que dans le modèle MNP, la fonction d'utilité linéaire sur les paramètres nous permet d'introduire une distribution normale des paramètres comme dans le cas du modèle MNL à paramètres aléatoires.

Sachant que le modèle logit à paramètres aléatoires permet aussi d'avoir des paramètres aléatoires, on peut le comparer avec le modèle probit. Dans un premier temps, les termes des erreurs  $\varepsilon_n$  du modèle logit à paramètres aléatoires sont distribués de manière indépendante, alors que le modèle P permet aux  $\varepsilon_n^*$  d'être corrélées entre eux, cela signifie que le modèle probit peut traiter des problèmes qu'on ne peut traiter sous l'hypothèse IIA. Si l'on suppose que les  $\varepsilon_n$  ne sont pas corrélés, dans ce cas là, le modèle P n'est pas meilleur que le modèle logit à paramètres aléatoires.

Deuxièmement, le modèle probit nécessite que la distribution des paramètres suive une loi normale, alors que le modèle logit à paramètres aléatoires n'impose a priori aucune forme de distribution aléatoire. C'est un très grand avantage. Il apparaît donc que le modèle logit à paramètres aléatoires s'avère plus souple que le modèle probit.

#### 6.1.6. Modèle Probit avec Noyau Logit

Si l'on suppose que les termes d'erreur sont composés des deux parties suivantes où  $\xi_n$  désigne la partie pour saisir les interdépendances parmi les alternatives en supposant qu'elles

suivent une distribution normale multivariée, et  $V_n$  désigne la partie aléatoire suivant une distribution IID de Gumbel (Bolduc, 1996), on aura :

$$\varepsilon_n = \xi_n + v_n \quad (6.28)$$

Pour saisir les interdépendances entre les alternatives, on décompose la partie  $\xi_n$  en utilisant une structure analytique des facteurs suivants :

$$\xi_n = F_n \zeta_n \quad (6.29)$$

Dans cette équation,  $F_n$  est une matrice ( $J_n \times M$ ) qui lie les éléments du vecteur  $\zeta_n$  aux éléments du vecteur d'erreurs  $\xi_n$ .  $\zeta_n$  est un vecteur ( $M \times 1$ ) dont tous les éléments suivent une distribution IID normale standard. Le nombre d'éléments peut être plus ou moins égal à celui des alternatives. Si l'on écrit la fonction d'utilité sous forme matricielle, on obtient :

$$U_n = X_n \beta + F_n \zeta_n + v_n \quad (6.30)$$

dont

$$E(U_n) = X_n \beta$$

$$\text{cov}(U_n) = F_n F_n' + g I_{J_n}$$

où  $U_n$  est un vecteur ( $J_n \times 1$ ),  $X_n$  est une matrice ( $J_n \times K$ ) et  $g$  est la variance d'une variable aléatoire de Gumbel standard. Ainsi, la fonction d'utilité développée ci-dessus définit un modèle de choix MNL conditionné sur les  $\zeta_n$  :

$$P_n(i / C_n, \zeta) = \frac{\exp(X_{in} \beta + F_{in} \zeta)}{\sum_{j \in C_n} \exp(X_{jn} \beta + F_{jn} \zeta)} \quad (6.31)$$

Et la probabilité non conditionnelle peut être exprimée sous la forme suivante où  $n(\zeta, I_M)$  désigne la fonction de densité normale multivariée de moyenne nulle et de matrice de covariance  $I_M$ .

$$P_n(i / C_n) = \int_{\zeta} P(i / C_n) n(\zeta, I_M) d\zeta \quad (6.32)$$

Selon les hypothèses sur  $F_n$ , la fonction d'utilité ainsi que la probabilité vont prendre des formes très différentes. Par exemple, si l'on a trois alternatives et l'on suppose que la matrice  $F_n$  est diagonale et est désignée par  $T_n$  comme:

$$T_n = \begin{vmatrix} \sigma_{1n} & & \\ & \sigma_{2n} & \\ & & \sigma_{3n} \end{vmatrix}$$

les fonctions d'utilité correspondantes sont ainsi :

$$\begin{aligned} U_{1n} &= \alpha_1 + x_{1n}\gamma + \sigma_{1n}\zeta_{1n} + v_{1n} \\ U_{2n} &= \alpha_2 + x_{2n}\gamma + \sigma_{2n}\zeta_{2n} + v_{2n} \\ U_{3n} &= \alpha_3 + x_{3n}\gamma + \sigma_{3n}\zeta_{3n} + v_{3n} \end{aligned}$$

## 6.2. Estimation des Modèles

### 6.2.1. Estimation du Modèle logit

La méthodologie d'estimation la plus populaire en choix discret est celle dite du *maximum de vraisemblance* (*Maximum Likelihood*, **ML**). Pour construire la fonction de vraisemblance, on désigne  $\beta$  comme le vecteur des coefficients de la partie déterministe du modèle et  $\psi$  comme la partie aléatoire qui forment la structure de covariance des erreurs. Par exemple,  $\psi$  peut désigner les éléments de  $\Sigma_\epsilon$  ou encore ceux de la matrice triangulaire de Cholesky,  $\Gamma$ . Appelons  $\delta$  le vecteur conjoint des paramètres du modèle qui est désigné comme  $\delta = (\beta', \psi')$ . En supposant que  $N$  désigne la taille de l'échantillon et  $y_{in} = 1$  si le chargeur  $n$  choisit l'alternative  $i$  et  $y_{in} = 0$  dans le cas contraire, on peut donc écrire la vraisemblance de l'échantillon comme une fonction des paramètres  $\delta$  où  $f(y_n/X_n)$  est la probabilité associée à la modalité choisie par l'individu  $n$ .

$$L_N(y/X; \delta) = \prod_{n=1}^N f(y_n/X_n, \delta)$$

et

$$f(y_n/X_n) = \prod_{i=1}^J P_n(i/C)^{y_{in}}$$

Le principe du maximum de vraisemblance (MV) consiste à retenir la valeur  $\bar{\delta}_{MV}$  de  $\delta$  qui maximise  $L_n$ . Cette fonction peut être utilisée de deux façons : étant donné les valeurs des

paramètres  $\delta$ , on peut calculer la probabilité de choix, ou étant donné les données sur le choix, on peut estimer le vecteur des paramètres  $\delta$ . Cependant, l'approche la plus utilisée consiste à maximiser le logarithme de  $L_n$ , ce qui n'a pas d'effet sur les valeurs des paramètres, ainsi l'on doit résoudre :

$$\max_{\delta} \log L_n = \max_{\delta} \sum_{n=1}^N \log f(y_n / X_n, \delta)$$

Le score de vraisemblance, défini comme étant la dérivée de la log-vraisemblance par rapport aux paramètres, s'écrit :

$$\frac{\partial L_n(\delta)}{\partial \delta} = \sum_{n=1}^N \frac{\partial \ln f(y_n / X_n; \delta)}{\partial \delta} = \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^J \frac{y_{in}}{P_n(i/C)} \frac{\delta P_n(i/C)}{\partial \delta}$$

Parce que  $\sum_{i=1}^J P_n(i/C) = 1$  et donc  $\sum_{i=1}^J \frac{\partial P_n(i/C)}{\partial \delta} = 0$ , on peut réécrire le score de l'équation ci-dessus sous une forme équivalente :

$$\frac{\partial L_n(\delta)}{\partial \delta} = \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^J \frac{1}{P_n(i/C)} \frac{\delta P_n(i/C)}{\partial \delta} [y_{in} - P_n(i/C)] \quad (6.33)$$

D'après cette dernière équation on peut donc en déduire la fonction de vraisemblance pour le modèle MNL. Sous l'hypothèse *linear-in-parameters*, l'on obtient :

$$\log L = \sum_{n=1}^N \sum_{i \in C_n} y_{in} (\beta' X_{in} - \ln \sum_{j \in C_n} e^{\beta' X_{jn}})$$

### 6.2.2. Estimation du Modèle Logit Emboîté

Pour estimer le modèle logit emboîté, on considère ici la fonction d'utilité linéaire sur les paramètres et un problème de choix à deux niveaux comme énoncé plus haut. En désignant par  $X_m$ ,  $X_p$  et  $X_{pm}$  les attributs respectifs de la nature du transport, des modes de transport et de la combinaison mode/nature, on obtient la partie déterministe de la fonction d'utilité suivante :

$$\begin{aligned} \tilde{V}_m &= \beta'_m X_m \\ \tilde{V}_p &= \beta'_p X_p \\ \tilde{V}_{pm} &= \beta'_{pm} X_{pm} \end{aligned}$$

Comme pour le modèle logit, la méthode la plus directe pour estimer un modèle logit emboîté est aussi de construire la fonction de vraisemblance et de la maximiser.

$$L = \prod_{n=1}^N \prod_{(p,m) \in C_n} [P_n(p,m)]^{y_{pm}}$$

ou

$$L = \prod_{n=1}^N \prod_{(p,m) \in C_n} [P_n(m/p) P_n(p)]^{y_{pm}}$$

Cependant, ces fonctions de vraisemblance sont difficiles à calculer, une procédure dite alternative d'estimation séquentielle est donc souvent utilisée. En utilisant cette procédure on construit dans un premier temps la vraisemblance logarithmique du modèle suivante :

$$L = \sum_{n=1}^N \sum_{m \in M_{np^*}} y_{nm} \ln P_n(m/p^*) + \sum_{n=1}^N \sum_{p \in P_n} y_{pm} \ln P_n(p) \quad (6.34)$$

Ainsi la fonction de vraisemblance du modèle logit emboîté peut être partitionnée en deux éléments qui correspondent aux vraisemblances logarithmiques de deux modèles MNL : les vraisemblances logarithmiques des probabilités marginales et conditionnelles. La procédure se décompose en trois étapes :

1. estimer  $\beta_{pm}$  et  $\beta_m$  par maximum de vraisemblance dans le modèle conditionnel  $P_n(m/p)$  en supposant que  $\mu^m = 1$ .
2. en utilisant  $\bar{\beta}_{pm}$  et  $\bar{\beta}_m$  qu'on a estimé en étape 1, on calcule

$$\hat{V}'_p = \ln \sum_{m' \in M_{pp}} \exp(\beta'_m x_m + \beta'_{pm'} x_{pm'}) \quad \text{pour tous les } p \in P_n$$

3. En utilisant  $\bar{V}'_p$  comme une variable indépendante, on estime (par maximum de vraisemblance) les paramètres  $\mu^p \beta_p$  et  $\mu^p$  dans le modèle marginal  $P_n(m)$ . On peut voir que si l'on suppose que  $\mu^p = 1$ , on obtiendra les résultats d'un modèle logit conjoint.

### 6.2.3. Estimation du Modèle Probit

Jusqu'à présent, l'utilisation des modèles MNP est très limitée, principalement en raison de la difficulté de calcul liée à l'évaluation des probabilités de choix qui exige l'intégration d'une loi normale multivariée sur un quadrant de l'espace de dimension J-1 (J:

ensemble d'alternatives). Pour cela, nombre de méthodes de résolution sont disponibles, par exemple :

1. des méthodes d'intégration numérique classiques, celle-ci sont très coûteuses et pratiquement inutilisables pour plus de cinq modalités.
2. des méthodes d'approximation numérique, remplaçant les probabilités de choix par des approximations faciles à calculer.
3. des méthodes de simulation des probabilités, améliorant la méthode de Monte-Carlo, ces méthodes sont aujourd'hui les plus utilisées.

La solution la plus prometteuse concernant l'évaluation des probabilités de choix probit est sans aucun doute celle basée sur l'emploi des simulateurs stochastiques. L'idée de base consiste à remplacer les probabilités dans les fonctions de vraisemblance par des moyennes empiriques de fonctions calculées à partir de simulateurs stochastiques efficaces et sans biais. Deux méthodes sont souvent utilisées : la Méthode de Vraisemblance Simulée (SML, *Method of Simulated Likelihood*) et la Méthode des Moments Simulés (MSM, *Method of Simulated Moments*) proposé par McFadden (1989) et Pakes and Pollard (1989).

La méthode MSM est souvent plus utilisée que la méthode SML, car elle exige de moins nombreuses boucles d'itérations (draws) pour obtenir la même précision des paramètres. La précision d'estimation de la méthode SML dépend principalement du nombre de boucles de simulation, car la fonction de vraisemblance dans ce cas est simulée avec un biais non négligeable. D'autre part, la méthode SML exige seulement le calcul de la probabilité de l'alternative choisie, alors que la méthode MSM doit calculer les probabilités de toutes les alternatives. Dans cette recherche, on va utiliser la méthode SML, selon Bolduc(1997), quelques centaines de boucles d'itérations sont nécessaires pour éliminer les biais.

Pour expliquer l'estimation du modèle probit, nous écrivons maintenant le modèle original en différence par rapport à l'utilité de la modalité  $i$  choisie par l'individu  $n$  (Bolduc, 1994). Cette opération est légitime en ce sens qu'elle ne modifie en rien la problématique de départ. De plus, le choix de la modalité à prendre comme référence dans la différence n'a aucune conséquence sur l'estimation. Il est finalement bien connu que parmi les paramètres  $\delta = (\beta', \psi)'$ , ne sont estimables que ceux pouvant être déduits de façon unique à partir des paramètres de la forme en différence. Ainsi, pour un individu  $n$  donné, on obtient alors :

$$U_{j_n} - U_{i_n} = (X_{j_n} - X_{i_n})\beta + \varepsilon_{j_n} - \varepsilon_{i_n} \quad j \in C, j \neq i; \varepsilon_n \approx N(0, \Sigma_\varepsilon) \quad (6.35)$$

Pour simplifier, nous utilisons pour cette formulation du modèle la notation suivante :

$$Z_{ln} = V_{ln} + \eta_{ln}, l = 1, \dots, J-1, \quad (6.36)$$

En notation vectorielle, on obtient :

$$Z_n = V_n + \eta_n, \eta_n \rightarrow N(0, \Omega), \quad (6.37)$$

Dans cette équation,  $Z_n$ ,  $V_n$  et  $\eta_n$  sont de dimension  $(J-1 \times 1)$  et  $\Omega$  est de dimension  $(J-1 \times J-1)$ . En supposant que  $\eta_n = Sw_n$ , on peut réécrire la fonction d'utilité sous la formule suivante où  $S$  est une matrice  $(J-1 \times J-1)$  triangulaire, décomposée de Cholesky de la matrice  $\Omega$  telle que  $SS' = \Omega$ .

$$Z_n = V_n + Sw_n, w_n \approx N(0, I_{J-1}), \quad (6.38)$$

On peut aussi omettre l'indice  $n$  dans la formule suivante :

$$Z = V + Sw = X\beta + Sw \quad (6.39)$$

dont

$$S = \begin{bmatrix} S_{11} & 0 & \dots & 0 \\ S_{21} & S_{22} & \dots & 0 \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ S_{J-1,1} & S_{J-1,2} & \dots & S_{J-1,J-1} \end{bmatrix} \quad (6.40)$$

Ainsi, en supposant que  $S_{11}=1$ , les paramètres à estimer pour le modèle probit sont les paramètres  $\beta$  et les paramètres  $S_{21}, S_{31}, \dots, S_{J-1,J-1}$ . Pour la forme de différence ci-dessus, la probabilité de la modalité choisie se calcule comme suit :

$$P(i/C) = pr(Z \leq 0) = pr(Z_1 \leq 0, \dots, Z_{J-1} \leq 0) \quad (6.41)$$

où  $Z < 0$  représente un ensemble de  $J$  inégalités qui s'écrivent :

$$\begin{bmatrix} Z_1 \\ Z_2 \\ \vdots \\ Z_{J-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_{J-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} S_{11} & 0 & \dots & 0 \\ S_{21} & S_{22} & \dots & 0 \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ S_{J-1,1} & S_{J-1,2} & \dots & S_{J-1,J-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_{J-1} \end{bmatrix} \leq 0 \quad (6.42)$$

ou sous forme développée :

$$w_1 \leq -\frac{V_1}{S_{11}} = W_1,$$

$$w_2 \leq -\frac{V_2 - S_{21}w_1}{S_{22}} = W_2(w_1),$$

$$w_{J-1} \leq W_m(w_1, w_2, \dots, w_{(J-1)-1}),$$

où

$$W_{J-1} = -\left[ \sum_{h=1}^{(J-1)-1} \frac{S_{J-1,h}}{S_{J-1,J-1}} w_h + \frac{V_{J-1}}{S_{J-1,J-1}} \right], J > 2$$

Nous pouvons donc écrire la probabilité de choix comme suit :

$$P(i/C) = pr(Z \leq 0) = pr(w_1 \leq W_1, \dots, w_m \leq W_m(w_1, \dots, w_{m-1}))$$

Pour estimer cette probabilité, selon Hajivassiliou, McFadden and Ruud [1992], parmi les simulateurs proposés jusqu'à maintenant, le simulateur GHK (Geweke-Hajivassiliou et Keane) est la méthode de simulation qui possède les meilleures propriétés théoriques et pratiques. Si  $r$  désigne une boucle d'itération, le simulateur non biais GHK peut être écrit comme :

$$f(i) = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R f_r(i), \quad (6.43)$$

où

$$f_r(i) = pr(w_{1,r} \leq W_{1,r}) * pr(w_{2,r} \leq W_{2,r}(w_{1,r}) / w_{1,r} \leq W_{1,r}) * \dots,$$

Selon l'hypothèse normalité, on peut écrire  $f_r(i)$  sous une autre forme où  $\Phi$  désigne la fonction cumulée de la distribution normale standard :

$$f_r(i) = \Phi(W_{1,r}) * \Phi(W_{2,r}) \dots * \Phi(W_{J-1,r}) \quad (6.44)$$

dont

$$W_{J-1,r} = - \left[ \sum_{h=1}^{(J-1)-1} \frac{s_{J-1,h}}{s_{J-1,J-1}} w_{h,r} + \frac{V_{J-1}}{s_{J-1,J-1}} \right], J > 2 \quad (6.45)$$

La méthode d'estimation considérée est basée sur la maximisation du logarithme naturel de la fonction de vraisemblance simulée. Désignons par  $\delta = (\beta', S')$ , la fonction log-vraisemblance simulée peut être écrite comme :

$$L = \sum_{n=1}^N \ln f_n(i) = \sum_{n=1}^N \ln \left[ \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R \prod_{l=1}^{J-1} \Phi_{lnr} \right] \quad (6.46)$$

#### 6.2.4. Estimation de modèle MNP avec Noyau logit

Pour estimer les paramètres de ce type de modèle, on utilise aussi l'approche SML, en remplaçant les probabilités de choix dans la fonction de la vraisemblance maximum standard par le simulateur suivant :

$$\hat{g}(i / \delta, C_n) = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R \hat{P}(i / \delta, C_n, \zeta_{nr}) \quad (6.47)$$

Comme pour le modèle probit, un problème important pour estimer ce type de modèle concerne aussi le nombre de paramètres inconnus à estimer dans la matrice de variance-covariance des erreurs, normalement, le nombre de ces paramètres augmente exponentiellement avec le nombre d'alternatives. On a donc proposé de faire l'hypothèse suivante sur la spécification de la structure d'erreurs, le nombre des paramètres inconnus à estimer peut être indépendant du nombre d'alternatives. Par exemple, on peut supposer que la matrice de variance-covariance est une matrice diagonale et possède donc trois paramètres à estimer.

$$T_n = \begin{vmatrix} \sigma_{n1} & & & \\ & \sigma_{2n} & & \\ & & \sigma_{3n} & \\ & & & \dots \end{vmatrix}$$

### 6.3. Test de Significativité Statistique

#### 6.3.1 Statistique de t

Le test t est principalement utilisé pour tester si un paramètre particulier estimé dans le modèle est différent à une constante donnée de zéro. Ce test est utilisé de la même façon qu'en régression linéaire classique. Cependant pour le modèle non linéaire, il est valide seulement dans le cas de grands échantillons. On considère qu'une variable est significative au seuil de 5% ou de 10% de risque, au maximum de se tromper, si t test qui lui est associé est supérieur à 1,96 ou 1,65 en valeur absolue.

#### 6.3.2. Mesure de la qualité des estimations

Suivant la méthode de maximisation de la vraisemblance, on sait que si le modèle estimé peut parfaitement prévoir le choix des chargeurs dans l'échantillon, la fonction de vraisemblance vaudra 1. A l'extrême, si tous les paramètres estimés valent 0, le modèle n'explique pas le choix et la valeur de la fonction de vraisemblance est beaucoup plus petite. Ainsi, si l'on réalise plusieurs estimations pour des spécifications différentes, il sera utile de comparer la mesure de la qualité des estimations de celles-ci. En supposant que tous les autres spécifications soient égales, une spécification avec une valeur de vraisemblance plus grande est considérée comme la meilleure. Dans ce cas, on utilise l'indice du ratio de vraisemblances suivant :

$$\rho^2 = 1 - \frac{L(\hat{\beta})}{L(0)} \quad (6.48)$$

dont

$L(\hat{\beta})$  : log de la vraisemblance avec tous les paramètres estimés

$L(0)$  : log de la vraisemblance quand tous les paramètres sont nuls

Cet indice est utilisé de la même manière que le  $R^2$  de l'analyse de régression classique. Mais il n'est pas complètement similaire à  $R^2$ , on procède donc à une modification de la définition de cet indice (McFadden, 1974) correspondant plus étroitement au  $R^2$  :

$$\rho^2 = 1 - \frac{L(\hat{\beta})}{L(C)} \quad (6.49)$$

Dans cette équation,  $L(C)$  est la valeur de la log-vraisemblance pour le modèle avec tous les paramètres estimés sauf que les constantes des alternatives sont supposées nulles. Comme  $R^2$ , la valeur de  $\rho^2$  est comprise entre 1 et 0, mais l'on ne peut pas dire quelle doit être la valeur optimale de  $\rho^2$ .

En général, comme dans le cas du  $R^2$ , quand on ajoute des variables dans le modèle, la valeur de  $\rho^2$  va augmenter ou au moins rester de même valeur pour les mêmes données. C'est un des désavantages de cet indice. On utilise donc l'indice ajusté suivant :

$$\rho^2 = 1 - \frac{L(\hat{\beta}) - K}{L(0)} \quad (6.50)$$

$L(\hat{\beta})$  est appelé critère de Akaike.

## Conclusion

Ce chapitre a discuté les attributs des modèles différentes et leur estimation. Le modèle probit et le modèle logit à paramètres aléatoires possèdent plus d'avantages que le modèle logit emboîté, mais à cause de la complexité d'estimation, ces deux types de modèles ne seront malheureusement pas utilisés dans cette recherche. Ainsi, les résultats de modélisation du chapitre suivant sont venus de l'estimation de modèle logit emboîté.

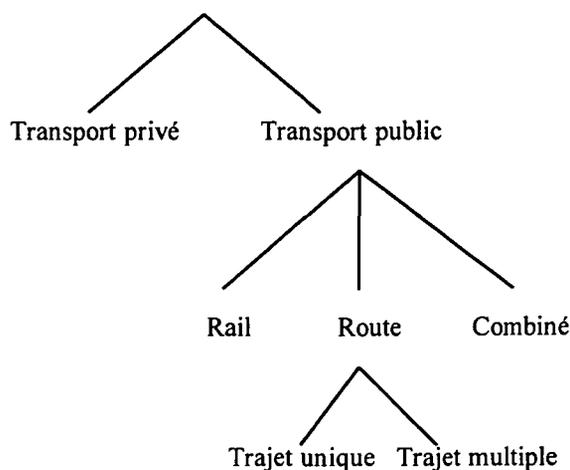
## CHAPITRE 7

### RESULTATS D'ESTIMATIONS AGREGATION ET VALIDATION

Comme déjà énoncé dans les chapitres précédents, pour modéliser les effets des caractéristiques de transport sur le choix modal de marchandises, il convient de sélectionner les modèles adaptés à cette problématique. Pour cela, un des problèmes majeurs provient de l'hypothèse IID. Comme déjà dit plus haut, dans cette recherche, le système de transport étudié est constitué de quatre modes de transport : privé, routier public, ferroviaire et combiné, si ces quatre modes de transport satisfont l'hypothèse IID, l'on peut modéliser le choix modal de ces quatre modes en utilisant le modèle multinomial logit. Malheureusement, la réalité dans ce cas ne satisfait pas à cette hypothèse, car les trois modes de transport public sont très corrélés entre eux.

#### 7.1. Modèle Logit Emboîté

En vue de résoudre le problème IID, une solution consiste d'abord à utiliser le modèle logit emboîté. Cette solution est valable surtout dans le cas où les alternatives sont corrélées mais les paramètres sont fixés. En effet, on peut décomposer le processus de décision de choix modal des chargeurs en deux étapes. Premièrement, on prend la décision du choix modal entre transport privé et public, on choisit ensuite un moyen de transport parmi les modes de transport routier public, ferroviaire et combiné. De plus, pour le transport routier public, on est aussi face au choix d'itinéraires entre trajet unique et trajet multiple. Le graphique suivant schématise ce processus de choix modal.



### 7.1.1. Choix entre Trajet Unique et Trajet Multiple

Tout d'abord, on considère le choix entre trajet unique et multiple pour le transport routier. Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous où l'alternative choisie est le trajet unique (les chiffres en italique sont les résultats du T test).

TABLEAU 7.1 MODELE DE CHOIX ENTRE TRAJET UNIQUE ET MULTIPLE

Variables Explicatives		Paramètres	t test
Constante		-0,283	-1,8
distance de transport	DIST	-0,001	-4,2
poids d'envoi	Q19K	3,06E-04	10,1
nombre d'envoi annuel (fréquence)	E48T	-1,12E-05	-3,1
chargeur est un magasin	E54M	-0,660	-2,3
envoi conditionné en conteneur	Q23C	2,351	3,7
envoi conditionné en palettes	Q23P	0,480	2,9
envoi en vrac	Q23V	1,396	5,4
envoi est une partie de la tournée	Q17T	0,739	2,6
envoi est une partie d'un lot	Q17L	-0,476	-2,8
envoi destiné à l'étranger	Q4ET	0,693	2,4
envoi destiné à Paris	Q4PA	0,466	2,7
envoi au départ de paris	S2PA	-0,467	-2,4
camions en propre du chargeur < 3 tcu	CAM3	-0,810	-4,8
3 tcu < camions en propre < 6.6 tcu	CAM6	-0,513	-2,4
accès direct au fer par destinataire	D26F	0,486	2,3
accès direct à l'autoroute par le chargeur	ACCR	0,341	2,4
accès direct au fer par le chargeur	ACCF	0,597	3,7
machines et articles métalliques	QN92	-0,669	-4,6
denrées alimentaires et fourrages	QN10	-0,504	-2,1
Log vraisemblance		-767,5712	
nombre d'observations pour le trajet unique (1)		921	
nombre d'observations pour les trajets multiples (0)		878	

Ainsi, la probabilité de choisir le transport routier en trajet unique par rapport au transport routier en trajet multiple peut être exprimée sous la forme suivante :

$$P_n ( T_{unique} ) = \frac{\exp(V_{unique})}{1 + \exp(V_{unique})}$$

où

$$V_{\text{unique}} = 0.283 - 0.001 * \text{DIST} + 0.0003 * \text{Q19K} - 1.12e-05 * \text{E48T} - 0.66 * \text{E54M} + 2.35 * \text{Q23C} + 0.48 * \text{Q23P} + 1.4 * \text{Q23V} + 0.74 * \text{Q17T} - 0.48 * \text{Q17L} + 0.693 * \text{Q4ET} + 0.466 * \text{Q4PA} - 0.467 * \text{S2PA} - 0.81 * \text{CAM3} - 0.513 * \text{CAM6} + 0.486 * \text{D26F} + 0.341 * \text{ACCR} + 0.597 * \text{ACCF} - 0.669 * \text{QN92} - 0.504 * \text{QN10}$$

### 7.1.2. Choix entre Route, Fer et Combiné

Pour estimer le modèle MNL, une différence majeure avec le modèle logit binaire est que l'alternative de référence n'est actuellement plus l'alternative opposée mais une des autres alternatives. Classiquement on choisit la dernière alternative. Le choix de cette alternative de référence n'a pas d'impact sur l'estimation des coefficients mais l'interprétation doit être ensuite modifiée. Dans le modèle binaire, on compare la probabilité de l'alternative A avec celle de l'alternative B ou non-A, dans les modèles trinomiaux on compare la probabilité de chaque alternative A,B avec celle de l'alternative C choisie comme référence. Le modèle donne séparément une estimation des paramètres des alternatives A, B à l'exception de l'alternative D.

Les résultats sont présentés dans le tableau 7.2. Dans ce modèle, l'alternative de référence C est le transport ferroviaire, Pour faire la comparaison, on ajoute aussi l'autre contraste (route vs transport combiné).

TABLEAU 7.2 MODELE EMBOITE ENTRE ROUTE, FER ET COMBINE

Variables explicatives		Route vs. Fer		Combiné vs. Fer	
constante route		4,7600	16,4		
constante combiné				-1,220	-2,4
distance de transport	DIST	-0,0017	-5,3	0,003	5,0
nombre de salariés du chargeur	E50E	-0,0005	-3,6		
chargeur est un entrepôt	Q54E	-1,3000	-3,8	-1,260	-1,7
chargeur est un magasin	E54M	-0,8320	-2,8		
accès direct au fer par le destinataire	D26F	-1,2000	-4,9	-0,977	-2,0
système d'information du destinataire	D26I	1,8200	2,8	1,650	1,9
envoi conditionné en fûts - citernes	Q23F	2,2500	2,5	1,960	1,4
envoi conditionné en conteneurs - citernes	Q23M	1,4600	2,7		
envoi conditionné en palettes	Q23P	0,7990	2,6	1,140	2,5
envoi est une partie de la tournée	Q17T	2,0200	2,0		
envoi destiné à l'étranger	Q4ET			-4,600	-3,7
envoi destiné à Paris	Q4PA	-0,4450	-1,6	0,786	1,9
envoi au départ de Paris	S2PA	-0,8420	-3,3	-0,900	-1,8
camions en propre du chargeur < 3 tcu	CAM3	-0,9450	-3,7	-0,873	-2,1
3 tcu < camions en propre < 6.6 tcu	CAM6	-1,1400	-4,1	-0,884	-1,8
nombre de wagons en propre du chargeur	E2WQ	-0,0282	-2,5		
accès direct à l'autoroute par le chargeur	ACCR			-0,995	-2,6
accès direct au fer par le chargeur	ACCF	-0,5200	-2,5		
poids d'envoi	Q19K	0,0000	-1,2	0,000	-2,8
nombre d'envoi annuel (fréquence)	E48T	0,0000	-1,7		
$V'_m$		-0,0600	-2,7		
Log vraisemblances du modèle complet				-585,99	
Log vraisemblance du modèle restreint				-742,93	
Maddala's pseudo-R2				0,14	
McFadden's pseudo-R2				0,21	
Cragg and Uhler's pseudo-R2				0,16	
Pourcentage correct de prédiction				85,76	

La variable  $V'_m$  représente les effets du choix en niveau 1, elle est calculée à partir de l'équation suivante où  $V_{unique}$  est la fonction d'utilité pour le transport routier en trajet unique :

$$V'_m = \log[\exp(V_{unique}) + 1]$$

Ainsi, les probabilités de choix pour ces modes peuvent être calculées par l'équation suivante où  $\mu^m = -0.06$  :

$$P_n(M_{route}) = \frac{\exp(\tilde{V}_{route} + V'_m * \mu^m)}{1 + \exp(\tilde{V}_{route} + V'_m * \mu^m) + \exp(\tilde{V}_{comb})}$$

où

$$\begin{aligned} V_{route} = & 4.76 - 0.0017 * DIST - 0.0005 * E50E - 1.3 * E54E - 0.832 * E54M - 1.2 * D26F + 1.82 * D26I \\ & + 2.25 * Q23F + 1.46 * Q23M + 0.799 * Q23P + 2.02 * Q17T - 0.445 * Q4PA - 0.842 * S2PA - \\ & 0.945 * CAM3 - 1.14 * CAM6 - 0.0282 * E2WQ - 0.52 * ACCF - 0.00000319 * Q19K - \\ & 0.00000445 * E48E \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{comb} = & -1.22 + 0.0031 * DIST - 1.26 * E54E - 0.977 * D26F + 1.65 * D26I + 1.96 * Q23F + 1.14 * Q23P - \\ & 4.6 * Q4ET + 0.786 * Q4PA - 0.9 * S2PA - 0.873 * CAM3 - 0.884 * CAM6 - 0.995 * ACCR - \\ & 0.0000947 * Q19K \end{aligned}$$

La probabilité de choisir le transport routier en trajet unique par rapport au transport ferroviaire et combiné est donnée par :

$$P_n(T_{unique}) = \frac{\exp(V_{unique})}{1 + \exp(V_{unique})} * \frac{\exp(\tilde{V}_{route} + V'_m * \mu^m)}{1 + \exp(\tilde{V}_{route} + V'_m * \mu^m) + \exp(\tilde{V}_{comb})}$$

### 7.1.3. Choix entre Transport Public et Privé

Enfin, on estime le modèle de choix entre transport public et privé. Le modèle est présenté dans le tableau 7.3 où l'alternative choisie est le transport public. V2 représente les effets du choix en deuxième niveau.

MODELE 7.3 MODELE DE CHOIX ENTRE TRANSPORT PUBLIC ET PRIVE

Variables Explicatives	Paramètres	t test
constante	-1,498	-6,3
distance de transport DIST	0,005	20,3
6,6tcu<camions en propre <17 tcu CA17	-1,825	-12,2
camions en propre >17tcu CAMT	-1,983	-16,1
envoi est une partie de la tournée Q17T	-2,450	-12,6
envoi en colis Q23L	0,761	7,1
chargeur est un établissement régional E55R	-0,413	-2,9
accès direct au fer par le chargeur ACCF	0,533	4,5
chargeur est un établissement mondial E55M	0,676	5,1
nombre d'envoi annuel (fréquence) E48T	0,000	5,1
accès direct au fer par le destinataire D26F	0,605	4,1
destinataire est un entrepôt D31E	-0,431	-3,0
autres articles manufacturés QN94	0,338	2,9
denrées alimentaires et fourrages QN10	-0,295	-2,0
produits métallurgiques ferreux QN51	0,642	2,0
produits agricoles et animaux QN00	-0,565	-2,0
$V'_p$	0,272	5,4
Log vraisemblance	-1363,725	
nombre d'observations pour le transport public (1)	1967	
nombre d'observations pour le transport privé (0)	1317	

La variable  $V'_p$  représente les effets du choix en niveau 2, elle est calculée par l'équation suivante où  $V_{route}$  et  $V_{comb}$  sont les fonctions d'utilité pour le transport routier et le transport combiné :

$$V'_p = \log[\exp(V_{route}) + \exp(V_{comb}) + 1]$$

Ainsi, les probabilités de choix pour le transport public par rapport au transport privé peuvent être calculées par l'équation suivante où  $\mu^p = -0.272$ :

$$P_n(P_{publique}) = \frac{\exp(\tilde{V}_{publique} + V'_p * \mu^p)}{1 + \exp(\tilde{V}_{publique} + V'_p * \mu^p)}$$

où

$$V_{publique} = -1.498 + 0.005 * DIST - 1.825 * CA17 - 1.983 * CAMT - 2.45 * Q17T + 0.761 * Q23L - 0.431 * E55R + 0.533 * ACCF + 0.676 * E55M + 0.000009 * E48T + 0.605 * D26F - 0.431 * D31E + 0.338 * QN94 - 0.295 * QN10 + 0.642 * QN51 - 0.5654 * QN00$$

Ainsi, la probabilité de choisir la route public par rapport à la route privé s'écrit :

$$P_n(M_{route}) = \frac{\exp(\tilde{V}_{route} + V'_m * \mu^m)}{1 + \exp(\tilde{V}_{route} + V'_m * \mu^m) + \exp(\tilde{V}_{comb})} * \frac{\exp(\tilde{V}_{publique} + V'_p * \mu^p)}{1 + \exp(\tilde{V}_{publique} + V'_p * \mu^p)}$$

## 7.2. Modèle Logit Multinomial

On a aussi établi un modèle multinomial pour analyser directement le choix modal entre les quatre modes de transport : le transport privé, le transport routier, le transport ferroviaire et le transport combiné. Le tableau suivant présente les résultats des estimations :

TABLEAU 7.4 MODELE MULTINOMIAL ENTRE QUATRE MODES

Variable		Privé vs Fer	Route vs Fer	Combiné vs Fer
constant privé		3,720 18,5		
constant routier			3,940 19,6	
constant combiné				-0,881 -2,4
distance de transport	DIST	-0,006 -16,7	-0,002 -5,7	0,002 3,4
nombre de salariés du chargeur	E50E		0,0002 -2,5	
chargeur est un entrepôt	E54E	-0,898 -2,7	-1,380 -4,3	-1,270 -1,9
chargeur est un magasin	E54M	-0,459 -1,5	-1,040 -3,5	
6.6 tcu < camions propre du chargeur < 17 tcu	CA17	2,260 15,0		
camions propre du chargeur > 17 tcu	CAMT	2,330 18,6		
camions propre du chargeur < 3 tcu	CAM3		-1,450 -9,9	-1,240 -3,4
3 tcu < camions propre du chargeur < 6.6 tcu	CA66		-1,320 -8,5	-1,100 -2,5
envoi départ de Paris	S2PA		-0,300 -2,4	
système d'information du destinataire	D26I		0,496 3,0	
envoi conditionné en Fûts-citernes	Q23F		0,640 2,8	
envoi est une partie de la tournée	Q17T	3,410 3,9	1,790 2,1	
nombre de wagons en propre du chargeur	E2WQ		0,259 2,4	
accès direct au fer du destinataire	D26F	-1,130 -5,0	-0,869 -4,3	
envoi conditionné en colis	Q23L	-0,545 -5,1		
envoi destiné à l'étranger	Q4ET			-5,230 -2,5
envoi destiné à Paris	Q4PA			0,989 3,3
poids d'envoi	Q19K	-0,059 -2,8	-0,287 -5,6	-0,202 -3,2
nombre d'envois annuel (fréquence)	E48T	-1,2E-05 -4,4	-8,8E-06 -3,5	
V1		0,225 4,3		
Log vraisemblances du modèle complet			-2099,1	
Log vraisemblance du modèle restreint			-3092,6	
Maddala's pseudo-R2			0,436	
McFadden's pseudo-R2			0,321	
Cragg and Uhler's pseudo-R2			0,156	
Pourcentage correct de prédiction			65,500	

Par rapport aux modèles précédents, la valeur absolue de la vraisemblance est beaucoup plus grande. D'autre part, en raison de la corrélation entre les quatre modes, le pourcentage correct de prévision est très faible (65.5%). Ainsi, dans ce qui va suivre, on utilisera le modèle logit emboîté.

### 7.3. Modèle Logit Binaire Conditionnel

On a aussi modélisé les effets des facteurs d'offre sur le choix modal. Dans cette recherche, les caractéristiques de l'offre de transport comprennent le temps de transport et le prix de transport. Comme déjà dit dans le chapitre 6, ces deux variables explicatives sont dites *spécifiques à l'alternative* (alternative-specific), elles ont des valeurs différentes pour des alternatives différentes.

Tout d'abord, on a modélisé le choix entre le transport routier et le transport ferroviaire (y compris transport combiné). Les résultats des modèles sont présentés dans le tableau 7.5 suivant. La différence entre le modèle 1 et le modèle 2 concerne les coefficients des variables. Dans le modèle 1, les coefficients de temps et du prix pour le transport ferroviaire et routier sont différents, la valeur du temps à calculer pour la route et le fer est donc différente. Dans le modèle 2, les coefficients du temps et du prix pour le transport ferroviaire et routier sont les mêmes, en conséquence la valeur du temps des deux modes est identique.

TABLEAU 7. 5 MODELE CONDITIONNEL D'OFFRE POUR DEUX MODES

variables	modèle 1 (route vs. fer)		modèle 2 (route vs. fer)		
	route	fer	route	fer	
constante route	3,987	10.1	4,653	10.7	
temps ferroviaire		-1,11E-1	-5.3	-5,50E-2	-6.2
prix ferroviaire		-7,74E-4	-4,1	-3,85E-4	-3.2
temps routier	-3,62E-2	-3,6	-5,50E-2	-6,2	
prix routier	-2,29E-4	-4,1	-3,85E-4	-3,2	
distance	-8,06E-3	-5,5	-4,07E-3	-6,9	
nombre de salariés	-6,15E-4	-2,7	-5,51E-4	-2,5	
poids d'envoi			7,54E-5	2,8	
valeur d'envoi			6,21E-6	1,9	
chargeur avec entrepôt	-1,244	-2,5	-1,908	-3,6	
accès ferré du destinataire	-0,846	-2,0	-0,831	-2,0	
conditionnement citernes			2,335	1,8	
envoi à l'étranger	3,142	2,9	3,413	3,1	
wagons en propre du chargeur	-0,049	-3,1	-0,053	-2,8	
envoi à Paris			-0,653	-1,8	
Log vraisemblance	-189,536		-188,7217		
Nombre d'observations route	963		963		
Nombre d'observations fer	79		79		

## 7.4. Modèle MNL Conditionnel

Les résultats des modèles MNL conditionnels sont présentés dans le tableau X ci-après. Comme dans le cas du modèle binaire, la différence entre les modèles 1 et 2 porte sur les coefficients du temps et du prix pour tous les modes, identiques ou non. Dans le tableau, le mode de référence est le transport ferroviaire.

TABLEAU 7.6 MODELE CONDITIONNEL D'OFFRE POUR TROIS MODES

variables	modèle 1			modèle 2		
	route (vs. fer)	combiné (vs. fer)	fer	route (vs. fer)	combiné (vs. fer)	fer
constante route	4,160	9,3		4,400	9,9	
constante combiné		-1,030	-1,8		-1,180	-2,0
prix routier	-2,16E-4	-3,8		-3,51E-4	-2,9	
temps routier	-3,71E-2	-3,6		-5,39E-2	-6,2	
prix du transport combiné		-9,20E-4	-4,0		-3,51E-4	-2,9
temps du transport combiné		-1,18E-1	-5,1		-5,39E-2	-6,2
prix ferroviaire			-7,22E-4			-3,51E-4
temps ferroviaire			-1,07E-1			-5,39E-2
poids d'envoi				6,74E-5	2,4	-1,08E-4
valeur d'envoi				1,65E-5	2,0	1,43E-5
distance	-7,27E-3	-4,7	2,16E-3	1,9	-3,33E-3	-5,0
nombres de salariés	-5,56E-4	-2,5			-4,87E-4	-2,3
accès ferré du destinataire	-0,980	-2,5			-0,905	-2,4
envoi à l'étranger	3,010	2,9			3,430	3,3
wagon en propre du chargeur	-0,046	-3,0			-0,048	-2,9
envoi départ de Paris		-1,190	-1,5		-1,090	-1,4
Log vraisemblances du modèle complet		241,93			-244,43	
Log vraisemblance du modèle restreint		-333,69			-333,69	
Maddala's pseudo-R2		0,16			0,16	
McFadden's pseudo-R2		0,27			0,27	
Cragg and Uhler's pseudo-R2		0,21			0,21	
Pourcentage correct de prédiction		89,03			88,29	

## 7.5. Segmentation du Marché de Marchandises

L'objectif de cette modélisation est de pouvoir prévoir et examiner la sensibilité de la demande de transport correspondante aux changements des variables politiques et logistiques. L'application des modèles a donc trait principalement aux aspects suivants :

1. Prévoir la demande pour un nouveau mode de transport
2. Analyser les effets du changement de la qualité de service de transport

3. Déterminer les effets des changements des caractéristiques de la demande et de l'environnement socio-économique des chargeurs
4. Evaluer l'impact de l'amélioration de l'infrastructure de transport .

Malheureusement, comme on le sait, il est impossible de mener les analyses développées ci-dessus pour chaque chargeur en particulier avec un modèle désagrégé, c'est généralement difficile et inutile. Les analyses doivent donc se baser sur une demande agrégée à partir du partage modal des différentes modes. Cependant, le marché du transport de marchandises ne constitue pas un marché homogène en types de marchandises, une discussion sur le choix modal ne peut se dérouler en termes généraux. Le nombre de modes de transport, disponibles ou entre lesquels on peut choisir, varie fortement suivant les segments de marché. Les conditions, besoins et motivations qui président à ces choix se différencient considérablement entre les différents segments du marché.

Ainsi, pour les pouvoirs publics (du point de vue politique) et les opérateurs ferroviaires (développement de nouveaux services), la décision de transport est basée sur les comportements sur un segment de marché d'un groupe de chargeur. Il est donc particulièrement important de comprendre de quelle manière les conditions du choix et les possibilités de choix varient selon les segments du marché. Par contre, pour les clients ferroviaires une segmentation du marché n'a pas d'intérêt, ce sont les conditions d'utilisation qui sont primordiales et non de savoir à quel segment du marché ils appartiennent.

On peut donc répartir le marché global du transport de marchandises en plusieurs segments ayant chacun leurs caractéristiques propres. Puisque les différents segments du marché exigent différents services qu'il s'agisse de la taille et de la fréquence des expéditions, de l'importance relative de la fiabilité et de la rapidité du transport etc., il existe de nombreuses façons d'élaborer la segmentation, aucune segmentation des marchés ne pourra être adaptée à l'ensemble des objectifs. Par exemple, dans les l'études existantes, on a segmenté le marché selon la nature des marchandises [WINSTON, 1981, WIDLERT AND BRADLEY, 1992], la nature de la marchandise et le moyen de manutention ou le conditionnement [FOWKES ET TWEDDLE, 1988] et le processus de production [DE JONG ET GOMMERS, 1992], matières premières, produits semi-finis de faible valeur, produits semi-finis de forte valeur, produits finis avec possibilité de perte de valeur et sans perte de valeur.

Il est donc très important de garder ses objectifs à l'esprit. Dans cette étude, la segmentation des marchés est faite pour analyser les possibilités de transfert des trafics (changement de la route au rail) et le développement des services du rail, bien qu'il existe un potentiel pour le fret ferroviaire sur tous les segments du marché. Dans ce cas, les critères qui peuvent servir à construire la segmentation sont le type de marchandise, la distance de transport, les champs géographiques et la taille de l'expédition.

#### *selon les types des marchandises*

Tout d'abord, on peut segmenter le marché selon la nature des produits transportés, chaque nature de produit a ses contraintes et cela se traduit par une hétérogénéité du service à fournir, on peut distinguer les matières premières, les produits semi-finis, les produits manufacturés et les échanges entre entreprises industrielles, etc.

Cependant, pour des raisons analytiques (exemple de prévisions de flux), la segmentation selon une classification standard harmonisée des produits du type NST est très utile. Dans ce cas, l'on peut différencier entre filières : agricole, animale, énergétique, chimique, du bâtiment et des travaux publics, etc.

En 1995, les produits suivants constituaient 80% du trafic de marchandises en tonnes-kilomètres, et parmi ces produits, la route tenait une place dominante (85% en moyenne). Ainsi, pour modifier le partage modal marchandises, des possibilités de transfert existent pour ces types de marchandises :

- produits agricoles et animaux vivants (NST 0)
- denrées alimentaires et fourrages (NST 1)
- matériels de construction (NST 6)
- chimie de base (NST 8)
- matériel de transport et matériel agricole (NST 9A)
- machines et articles métalliques (NST 9B)
- autres articles manufacturés (NST 9C)

Dans l'enquête chargeurs, le nombre d'observations correspondantes à ces types de produits sont reproduits dans le tableau suivant :

TABLEAU 7.7 SEGMENTATION SELON LA NST

NST	Total	Fer	Combiné	Route	Privé
0 produits agricoles et animaux vivants	119	5	0	28	86
10 denrées alimentaires et fourrages	482	9	3	181	289
61 minéraux bruts et mat. de construction	97	3	1	49	44
83 autres produits chimiques de base	248	3	9	152	84
91 matériel de transport et matériel agricole	233	8	6	134	85
92 machines et articles métalliques	897	46	11	546	294
94 autres articles manufacturés	915	22	26	551	316
<b>TOTAL</b>	2991	96	56	1641	1198

*source : enquête au près de chargeur de l'INRETS*

On s'aperçoit que l'enquête chargeurs retrace correctement la réalité [voir chapitre 1] sauf pour les minéraux bruts et matériels de construction et les produits agricoles et animaux vivants. Pour ces deux types de produits, le nombre d'observations est faible. En effet, il n'existe pas de possibilité de transfert de la route au fer, car par exemple pour les matériaux de construction, la distance moyenne de transport est trop courte (40 km en 1995).

*selon les conditionnements*

Selon le conditionnement des marchandises, on peut distinguer les marchandises comme solides ou liquides en vrac, en conteneurs, en caisses, cartons, sacs, en unités de charge sur palettes, etc.. Le tableau ci-dessous reproduit le nombre d'observations pour chaque type conditionnement dans l'enquête.

TABLEAU 7.8 SEGMENTATION SELON CONTIONNEMENT

Conditionnement	Total	Fer	Combiné	Route	Privé
Colis	1639	76	41	973	549
Fûts Citernes	166	2	1	72	51
Palettes	721	14	12	400	295
Conteneurs	186	4	5	65	51
Vrac	412	17	3	148	244
Citernes Conteneurs	196	4	0	104	85
<b>TOTAL</b>	3320	117	62	1762	1275

*source : enquête au près de chargeur de l'INRETS*

### *selon les distances de transports*

Les parts modales sont très différentes selon la longueur des trajets effectués. Pour la zone courte, c'est la route qui est majoritaire, par contre, pour la zone longue, les parts modales sont sensiblement différentes entre le fer, la route et le transport combiné. Ainsi on peut segmenter le marché de transport selon la distance de transport. Sur la base des analyses développées au chapitre 2, l'on a constaté que pour le transport à moins d'un certaine distance (environ 100 km) le transport routier est absolument dominant. Dans ce cas, il n'existe pas ou presque de concurrence entre modes. Un certain nombre de solutions de rechange réalistes existent donc entre les transports dont les distances sont à plus de 100 km.

**TABLEAU 7.9 SEGMENTATION SELON LA DISTANCE**

<b>Distance</b>	<b>Total</b>	<b>Fer</b>	<b>Combiné</b>	<b>Route</b>	<b>Privé</b>
moins de 50 km	966	1	0	213	752
de 50 à 150 km	675	11	3	301	360
de 150 à 300 km	535	21	3	371	140
de 300 à 500 km	568	43	7	417	101
de 500 à 1000 km	669	42	48	519	60
plus de 1000 km	60	5	2	45	8
<b>TOTAL</b>	<b>3473</b>	<b>123</b>	<b>63</b>	<b>1866</b>	<b>1421</b>

*source : enquête au près de chargeur de l'INRETS*

### *Taille d'envoi*

La taille d'envoi est très importante pour le transport ferroviaire, les petits envois ne peuvent pas être transportés par trains entiers ou wagons complets.

**TABLEAU 7.4 SEGMENTATION SELON LA TAILLE D'ENVOI**

<b>Taille</b>	<b>Total</b>	<b>Fer</b>	<b>Combiné</b>	<b>Route</b>	<b>Privé</b>
moins de 30 kg	529	39	16	358	116
de 30 à 300 kg	681	29	21	405	226
de 300 à 3 t	931	6	14	438	473
de 3 à 10 t	514	7	6	228	273
de 10 à 20 t	257	8	3	133	113
de 20 à 40 t	296	12	0	195	89
plus de 40 t	16	13	0	2	1
<b>TOTAL</b>	<b>3224</b>	<b>114</b>	<b>60</b>	<b>1759</b>	<b>1291</b>

*source : enquête au près de chargeur de l'INRETS*

## 7.6. Validation des Modèles

La validation des modèles consiste à comparer les résultats des modèles avec les résultats réels. La segmentation du marché pour la prévision doit donc pouvoir être rapprochée (recherche de correspondances) de la segmentation présente dans les bases de données existantes. En France, la base de données la plus complète pour les marchandises est la banque de données SITRA-M, qui concerne tous les modes de transport et segmente le marché selon la nomenclature NST de marchandises. Ainsi, on va chercher à valider les modèles en segmentant le marché de marchandises selon la nomenclature NST.

D'autre part, avec le modèle désagrégé, les résultats de prévision sont les probabilités de choix modal ainsi que le partage modal en pourcentage des envois expédiés. Mais dans la pratique, on utilise seulement les résultats du partage modal en tonnes ou tonnes kilomètres. Ainsi, pour valider les modèles et les mettre en pratique, une première chose à faire consiste à traduire le partage modal en pourcentage des envois en partage modal en tonnes et tonnes kilomètres. La formule utilisée est la suivante :

$$P(i)_T = \frac{P(i)_E * W(i)}{\sum_{j=1}^J P(j)_E * W(j)} \quad (7.01)$$

ou

$$P(i)_{TKM} = \frac{P(i)_E * W(i) * D(i)}{\sum_{j=1}^J P(j)_E * W(j) * D(i)} \quad (7.02)$$

où

$P(i)_T$ :	probabilité de choix en tonnes pour le mode $i$
$P(i)_{TKM}$ :	probabilité de choix en tonnes kilomètres pour le mode $i$
$P(i)_E$ :	probabilité de choix en pourcentage des envois pour le mode $i$
$W(i)$ :	poids moyen des envois pour le mode $i$
$D(i)$ :	distance moyenne pour le mode $i$

Ainsi pour calculer le partage modal en tonnes ou tonnes kilomètres à partir du partage modal en pourcentage des envois, il faut tout d'abord estimer les poids moyens des envois et les distances moyennes. Les tableaux suivants présentent les résultats pour chaque type de marchandise où les poids moyens sont estimés à partir de l'enquête, les distances moyennes sont elles estimées à partir de SITRA-M :

**TABLEAU 7.11. POIDS MOYEN D'ENVOI ET DISTANCE MOYENNE**

	poids moyen d'envoi (kg)				distance moyenne (km)			
	privé	route	fer	combiné	privé	route	fer	combiné
NST1	5943	6391	25979	3465	86	209	473	619
NST8C	6966	6703	18700	5103	112	254	395	733
NST9A	3695	5346	24678	662	118	207	536	369
NST9B	2643	1832	858	367	105	242	387	560
NST9D	3168	2954	5285	503	93	203	597	771
TOTAL	4758	5100	31973	1642	40	114	341	664

*source : enquête au près de chargeur de l'INRETS*

**7.6.1. validation du modèle logit emboîté**

Avec les poids moyens et les distances moyennes obtenus, le tableau suivant présente les partages modaux du transport privé par rapport au transport public et les partages modaux du transport routier par rapport aux transports ferroviaire et combiné. En comparant avec les données SITRA-M en 1988, pour le choix entre transport privé et public, l'on constate que l'erreur de prévision sur les produits agricoles est la plus grande (7%), et que pour le choix entre fer, route et transport combiné, c'est aussi les produits agricoles qui ont l'erreur de prévision la plus grande (4%). Dans le tableau, les colonnes distance 1988 représentent la distance moyenne qui est calculée à partir des données SITRA-M et qui est utilisée dans l'estimation.

D'autre part, si l'on réalise la prévision en utilisant la méthode d'agrégation directe, tous les types de produits sont utilisés (les résultats sont présentés en dernière ligne du tableau), l'on peut constater que l'erreur de prévision est faible.

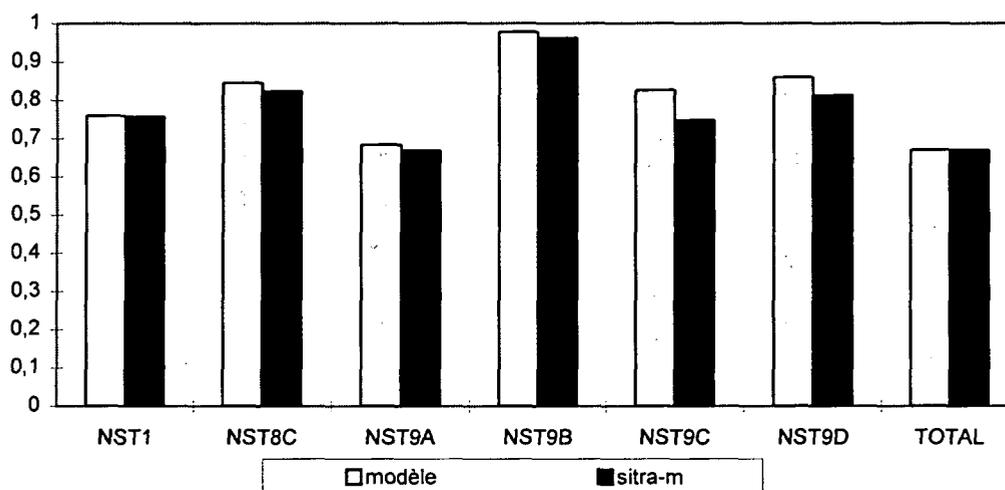
**TABLEAU 7.2 VALIDATION DU MODELE EMBOITE (TONNE)**

	Privé et Public			Route, Fer et Combiné		
	modèle	SITRA-M 1988	Distance88	modèle	SITRA-M1988	Distance88
NST1	68,17%	61,73%	146	91,68%	87,57%	242
NST8C	31,66%	31,81%	241	95,34%	86,96%	299
NST9A	37,27%	37,44%	207	85,05%	83,97%	259
NST9B	48,03%	47,12%	179	98,35%	97,56%	245
NST9D	33,43%	34,10%	181	95,87%	92,19%	227
TOTAL	56,25%	59,33%	83	87,14%	85,81%	147

### 7.6.2. validation du modèle conditionnel

Avec le modèle conditionnel qui modélise les effets du temps et du prix de transport sur le choix modal, on peut de même comparer les résultats du modèle avec les données SITRA-M. Sur le graphique ci-dessous, le erreur de prévision pour les verres et porcelaines s'avère le plus importante (8%). Pour les autres produits, les erreurs de prévision maximales sont de l'ordre de 4%. En réalisant la prévision avec la méthode d'agrégation directe, l'on constate que l'erreur de prévision est moins forte que pour chaque segment de marché.

GRAPHIQUE 7.1 VALIDATION DU MODELE CONDITIONNEL (TKM)



### 7.6.3. Conclusion

Pour mener l'agrégation des résultats des modèles désagrégés, on a utilisé la méthode dite du segment de marché. En considérant la segmentation du marché à partir des bases de données existantes en France (SITRA-M et TRM), on a pu segmenter le marché de marchandises selon les types de marchandises pour valider les modèles. Puisque dans l'échantillon de l'enquête il n'existe que peu d'observations pour les produits comme les matériels de construction, les produits combustibles, minerais et engrais, etc., les valeurs moyennes des variables explicatives ne peuvent pas être représentatives des secteurs correspondants.

D'autre part, on s'aperçoit que les résultats avec la méthode d'agrégation directe sont satisfaisants. Deux raisons peuvent l'expliquer : premièrement les probabilités de choix sont presque linéaires en fonction des variables explicatives avec les paramètres estimés;

deuxièmement, en raison d'un manque de donnée, les poids moyens des envois pour tous les produits sont plus représentatifs que ceux pour chaque type de produit.

En validant les modèles, on constate que les résultats obtenus par les modèles sont acceptables en pratique. Heureusement, dans le cas d'une opération de transfert des trafics de la route au fer, les produits considérés ici sont les plus importants. En ce qui concerne la chimie de base et les produits agricoles, les erreurs de prévision pour le choix entre la route, le fer et le combiné sont un peu fortes car les données ferroviaires dont on dispose sont insuffisantes pour estimer correctement les poids moyens.

## CHAPITRE 8

### LES EFFETS DU SYSTEME LOGISTIQUE SUR LE CHOIX MODAL

L'objectif principal de la modélisation est d'analyser les effets des facteurs logistiques sur les probabilités du choix modal. Ce chapitre va donc essayer de répondre aux questions suivantes : Quels sont les facteurs importants qui influencent le choix modal ? Comment ces facteurs influencent le choix modal des chargeurs ? A l'aide de trois outils d'interprétation des modèles : utilité marginale, probabilité marginale et élasticité, on analysera tout d'abord les rôles et importances des facteurs dummy, ensuite l'on étudiera les évolutions des probabilités avec les variables continues.

#### 8.1. Résultats de l'Interprétation des modèles

##### 8.1.1. Méthodes

A partir des résultats de la modélisation, on peut analyser les effets des variables explicatives sur le choix modal. Pour cela, il suffit d'interpréter les paramètres des modèles. Comme on l'a évoqué dans le chapitre 3, il existe plusieurs types d'interprétation :

- ♦ étant donné un groupe de valeurs de variables explicatives, on analyse les effets marginaux d'une variable explicative sur l'utilité de chaque alternative,
- ♦ étant donné un groupe de valeurs de variables explicatives, on analyse les effets marginaux d'une variable explicative sur la probabilité de choix, ou l'élasticité de la probabilité sur les variables.

Les effets marginaux d'une variable explicative sur l'utilité de chaque alternative est interprétée par les effets d'un paramètre estimé  $\beta$  sur *l'utilité transformée*. Pour le modèle logit, il s'agit d'examiner le ratio des probabilités de choix d'un mode de transport quant une variable subit un changement d'une unité :

$$\exp(\beta) = P(Y=1)/(1-P(Y=1)) \quad (8.01)$$

En plus d'examiner les effets marginaux d'une variable sur l'utilité transformée, on peut aussi considérer les effets marginaux des variables sur les probabilités de choix qui sont

exprimés par les dérivées des probabilités par rapport aux variables explicatives. Pour le modèle logit, la formule s'écrit :

$$\frac{\partial \text{Prob}(y = j)}{\partial x_k} = P_j \left( \beta_{jk} - \sum_{j=1}^{J-1} P_j \beta_{jk} \right) \quad (8.02)$$

Si c'est un modèle emboîté, la dérivée partielle de la probabilité par rapport aux variables explicatives X peut être calculée en utilisant séparément les dérivées partielles des modèles pour chaque niveau hiérarchique concerné. Les effets marginaux dans un modèle emboîté à deux niveaux peuvent être exprimés sous la forme suivante :

$$\partial P_1 * P_{2/1} + \partial P_{2/1} * P_1 + \partial P_1 * \partial P_{2/1} \quad (8.03)$$

Dès que les effets marginaux sont calculés, l'effet total sur la probabilité peut être déduit par la formule suivante :

$$dP(n) = \frac{\partial P(n)}{\partial x_m} \cdot dx_m \quad (8.04)$$

- $dP(n)$  : l'effet total pour la probabilité de choix du mode n  
 $dx_m$  : le changement de la variable explicative  
 $\frac{\partial P(n)}{\partial x_m}$  : l'effet marginal

Un autre moyen souvent utilisé est de recourir au concept d'élasticité qui représente la réponse de la probabilité de choix au changement marginal de la variable explicative ( $\pm 1\%$ ). Pour le modèle logit, l'élasticité directe est donnée par l'expression suivante :

$$E_{x_{ik}}^{P(i)} = \frac{\partial P(i)}{\partial x_{ik}} * \frac{x_{ik}}{P(i)} = [1 - P(i)] x_{ik} \beta_{ik} \quad (8.05)$$

### 8.1.2. Résultats

Le tableau 8.1. présente les résultats des effets des variables sur l'utilité de choix pour chaque paire d'alternative. Dans ce tableau, un ratio inférieur à 1 indique qu'il existe moins de chance de réalisation pour l'événement présenté que pour l'événement non présenté. Par exemple, pour un établissement régional, si le paramètre de ce variable est égal à  $\beta$  pour le transport public,  $\exp(\beta)=0.665$  signifie donc que la probabilité de choisir le transport public pour l'établissement régional est 0.665 fois inférieure à celle d'un établissement non régional (par exemple national ou européen).

Si le ratio de probabilité est supérieur à 1, cela signifie qu'il existe plus de chance de réalisation pour l'événement présenté que pour l'événement non présenté. Par exemple, pour un envoi conditionné en palettes, dans les colonnes 3 et 5,  $\exp(\beta)$  est respectivement de 2.223 et de 0.64, cela signifie que par rapport au transport ferroviaire, la probabilité de choisir la route pour l'envoi en palettes est de 2.223 supérieure à celle d'un envoi qui ne serait pas conditionné en citerne-conteneur, par contre pour le transport combiné la probabilité de choisir la route pour l'envoi en palettes est de 0.64 inférieure à celle d'un envoi non conditionné en palettes.

Pour une variable continue, par exemple la distance de transport, si le ratio de probabilité vaut  $\exp(\beta) = 1.003$  pour le transport combiné, pour une distance qui croît d'un kilomètre, par rapport au transport ferroviaire, la probabilité de choisir le transport combiné est égale à 1.003 fois celle avant accroissement d'un kilomètre de la distance parcourue, mais par rapport la route, celle-ci est de 1.005 fois.

TABLEAU. 8.1. EFFETS MARGINAUX DES VARIABLES EXPLICATIVES SUR LES UTILITES

Variables	Public vs. Privé	Route vs Fer	Combiné vs. Fer	Route vs. Combiné	Unique vs Multiple
distance	1,0053	0,9983	1,0031	0,9954	0,9989
effectif salarié		0,9995		0,9994	
entrepôt chargeurs		0,2725	0,2837		
magasins chargeur		0,4352		0,4102	0,5167
établissement régional	0,6615				
établissement mondial	1,9654				
entrepôt destinataire	0,6497				
accès au fer destinataire	1,8318	0,3012	0,3764		1,6253
système d'information		6,1719	5,2070		
Futs-citernes		9,4877	7,0993		
Conteneur-citernes		4,3060			
colis	2,1405				
conteneur					10,5008
vrac					4,0385
palettes		2,2233	3,1268	0,6395	1,6158
envoi dans un lot					0,6214
envoi dans une tournée	0,0863	7,5383			2,0941
envoi à l'étranger			0,0101	104,5850	2,0004
envoi à Paris		0,6408	2,1946	0,3073	1,5936
envoi départ de Paris		0,4308	0,4066		0,6268
camion propre (6-17t)	0,1612				
camion propre (>17t)	0,1376				
camion propre (<3t)		0,3887	0,4177		0,4449
camion propre (3-6t)		0,3198	0,4131		0,5987
wagon propre		0,9722		0,9675	
accès à l'autoroute			0,3697	2,4547	1,4061
accès au fer	1,7045	0,5945			1,8176
poids d'envoi		1,0000	0,9999	1,0001	1,00E+0
fréquence d'envoi	1,0000	1,0000			1,00E+0
articles manufacturé	1,4018				
machines					0,5124
alimentaire	0,7443				0,6038
métallurgie	1,9004				
agricole	0,5681				

Ensuite, on a calculé les effets des probabilités qui représentent les effets marginaux d'un changement d'une unité des variables explicatives sur les probabilités de choix étant donné toutes les autres variables explicatives constantes en valeur moyenne. Les résultats sont présentés dans la Tableau 8.2.

**TABEAU. 8.2. EFFETS MARGINAUX DES VARIABLES EXPLICATIVES SUR LES PROBABILITES**

Variable	Valeur moyenne	Effet Probabilité				Elasticité			
		Privé	Route	Combiné	Fer	Privé	Route	Combiné	Fer
distance	279,1	-0,0012	0,0010	3,74E-05	7,5E-5	-0,9953	0,4486	1,7819	0,9238
établissement régional	0,1385	0,0904	-0,0866	-0,0008	-0,0030	0,0387	-0,0185	-0,0185	-0,0185
établissement mondial	0,1964	-0,1479	0,1416	0,0013	0,0050	-0,0898	0,0429	0,0429	0,0429
entrepôt destinataire	0,1137	0,0944	-0,0904	-0,0008	-0,0032	0,0332	-0,0159	-0,0159	-0,0159
effectif salarié	267,06		-1,4E-5	2,9E-6	1,1E-5		-0,0058	0,1312	0,1312
entrepôt chargeurs	0,0872		-0,0286	-2,4E-5	0,0286		-0,0038	-0,0004	0,1096
magasins chargeur	0,1086		-0,0228	0,0047	0,0181		-0,0038	0,0865	0,0865
accès au fer destinataire	0,1368	-0,1325	0,0941	0,0024	0,0360	-0,0560	0,0199	0,0563	0,2161
système d'information	0,0740		0,0406	-0,0006	-0,0400		0,0046	-0,0079	-0,1300
Futs-citernes	0,0363		0,0507	-0,0012	-0,0495		0,0028	-0,0077	-0,0788
Conteneur-citernes	0,0556		0,0400	-0,0082	-0,0318		0,0034	-0,0777	-0,0777
colis	0,4719	-0,1666	0,1595	0,0014	0,0056	-0,2429	0,1162	0,1162	0,1162
palettes	0,2076		0,0155	0,0021	-0,0176		0,0050	0,0758	-0,1609
envoi dans une tournée	0,1333	0,5363	-0,5021	-0,0070	-0,0272	0,2210	-0,1033	-0,1591	-0,1591
envoi à l'étranger	0,0610		0,0258	-0,0267	0,0009		0,0024	-0,2784	0,0024
envoi à Paris	0,1733		-0,0166	0,0071	0,0095		-0,0044	0,2089	0,0727
envoi départ de Paris	0,1443		-0,0180	-0,0005	0,0185		-0,0040	-0,0124	0,1174
camion propre (<3t)	0,1843		-0,0210	0,0002	0,0208		-0,0060	0,0073	0,1682
camion propre (3-6t)	0,0999		-0,0263	0,0013	0,0250		-0,0041	0,0215	0,1098
camion propre (6-17t)	0,1368	0,3994	-0,3825	-0,0035	-0,0134	0,1688	-0,0808	-0,0808	-0,0808
camion propre (>17t)	0,2266	0,4341	-0,4157	-0,0038	-0,0146	0,3040	-0,1454	-0,1454	-0,1454
wagon propre	0,8135		-0,0008	0,0002	0,0006		-0,0010	0,0220	0,0220
accès à l'autoroute	0,2902		0,0056	-0,0058	0,0002		0,0025	-0,2863	0,0025
accès au fer	0,2712	-0,1167	0,0951	0,0044	0,0172	-0,0978	0,0398	0,2052	0,2052
poids d'envoi	5836,7		4,4E-7	-5,3E-7	8,8E-8		0,0040	-0,5301	0,0226
fréquence d'envoi	10908,7	0,0000	1,8E-6	4,2E-8	1,6E-7	-0,0675	0,0302	0,0788	0,0788
articles manufacturé	0,2635	-0,0739	0,0708	0,0006	0,0025	-0,0602	0,0288	0,0288	0,0288
alimentaire	0,1388	0,0646	-0,0619	-0,0006	-0,0022	0,0277	-0,0133	-0,0133	-0,0133
métallurgie	0,0279	-0,1405	0,1346	0,0012	0,0047	-0,0121	0,0058	0,0058	0,0058
agricole	0,0343	0,1238	-0,1185	-0,0011	-0,0042	0,0131	-0,0063	-0,0063	-0,0063
<b>Probabilité</b>		<b>0,324</b>	<b>0,6478</b>	<b>0,0059</b>	<b>0,0228</b>				

Dans le tableau, la deuxième colonne représente les valeurs moyennes. Pour les variables continues, les valeurs moyennes sont données en chiffres, pour les variables dummy, les valeurs moyennes sont en pourcentages. Par exemple, la valeur moyenne de la distance est de 279 km, d'autre part 8.72% de chargeurs sont des entrepôts ou des établissements avec entrepôt.

La troisième colonne représente les effets marginaux d'un changement d'une unité des variables explicatives sur les probabilités de choix. Par exemple, si la distance augmente d'un kilomètre, la probabilité de choisir le transport privé diminue de 0.0012, et celle de choisir le transport routier public, combiné et ferroviaire augmente respectivement de 0.001, 3,74E-05 et 7,54E-05. D'autre part, pour les variables dummy, si le nombre d'envois conditionnés en colis augmente de 1%, la probabilité de choisir ce transport va baisser de 0.17%, les probabilités de

choisir la route en compte propre, le transport combiné et le fer vont augmenter respectivement de 0.16% , 0.0014% et 0.0056%.

La quatrième colonne représente les élasticités en valeur moyenne, par exemple, si la distance augmente de 1 %, la probabilité de choisir le transport privé diminue de 0.9953%, et les probabilités de choisir la route en compte privé, le transport combiné et ferroviaire augmentent respectivement de 0.4486%, 1.7819% et 0.9238%. D'autre part, si le nombre des destinataires pouvant accéder directement l'infrastructure ferroviaire augmente de 1%, la probabilité de choisir le transport privé diminue 0.056%, et les probabilités de choisir la route, le transport combiné et ferroviaire augmentent respectivement de 0.199%, 0.056% et 0.216%.

## **8.2. Les Rôles des Facteurs Logistiques dans le Choix Modal**

### **8.2.1. Le Classement des Variables dans le Choix modal**

Grâce aux résultats de l'estimation, on peut analyser les rôles des facteurs logistiques. Les résultats sont présentés dans le tableau 8.3.

Les caractéristiques des établissements jouent un rôle important dans le choix modal. La nature des établissements (entrepôt, magasin), un parc de petits camions et de wagons en compte propre, la taille de l'établissement, influencent le choix entre modes de transport public, mais ces facteurs ne sont pas les facteurs de décision pour le choix entre transport public et privé. On s'aperçoit que pour le choix entre transport public et privé, c'est plutôt la structure de l'établissement (régional ou mondial) et le nombre de grands camions en compte propre qui conditionnent les choix. Par ailleurs, l'accessibilité à l'infrastructure ferroviaire et autoroutière joue un rôle majeur dans le choix modal.

Les caractéristiques des flux influencent aussi le choix modal. Evidemment, la distance de transport, la fréquence de transport et la circulation des envois (envoi tournée) influencent généralement l'ensemble des choix. D'autre part, la destination et l'origine des envois jouent uniquement un rôle dans les choix au sein des transports publics.

En ce qui concerne les caractéristiques des envois, c'est la taille des envois et le conditionnement de ceux ci qui influencent principalement le choix modal, surtout entre les modes de transport public. Quant à la nature des marchandises, elle ne joue de rôle que pour le

choix entre transport public et privé et entre trajet unique et multiple. Il semble qu'elle n'influence directement pas le choix entre la route, le fer et le transport combiné.

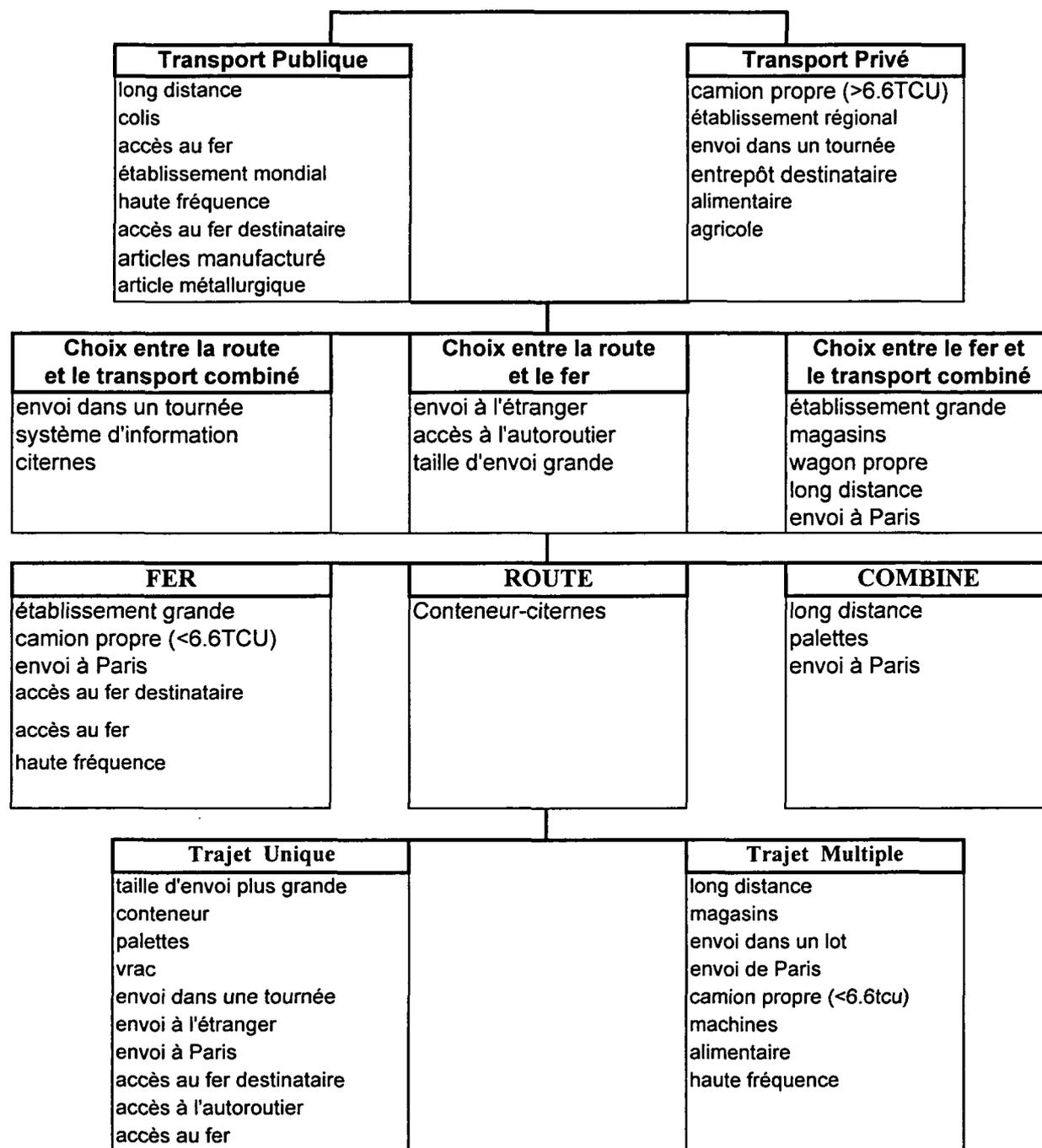
**TABLEAU 8.3. CLASSEMENT DES FACTEURS LOGISTIQUES INFLUENÇANT LE CHOIX MODAL**

	Public et privé	Route et fer	Combiné et Fer	Route et Combiné	Unique et Multiple
<b>Attributs des Etablissements</b>	établissement mondial ou régional				
	entrepôt destinataire	magasins entrepôt	entrepôt	magasins	magasins
		effectif salarié		effectif salarié	
	accès au fer	accès au fer	accès à l'autoroute	accès à l'autoroute	accès à l'autoroute accès au fer
	fer destinataire	fer destinataire	fer destinataire		fer destinataire
		information	information		
	camion propre (>6.6TCU)	camion propre (<6.6TCU) wagon propre	camion propre (<6.6TCU)	wagon propre	camion propre (<6.6TCU)
<b>Gestion de Flux</b>	distance fréquence envoi tournée	distance fréquence envoi tournée	distance	distance	distance fréquence envoi tournée
		envoi à Paris envoi de Paris	envoi à l'étranger envoi à Paris envoi de Paris	envoi à l'étranger envoi à Paris	envoi dans un lot envoi à l'étranger envoi à Paris envoi de Paris
<b>Attributs d'envoi</b>	colis	Futs-citernes palettes conteneurs-citernes poids	Futs-citernes palettes poids	palettes poids	conteneur palettes vrac poids
<b>marchandise</b>	manufacturé alimentaire métallurgie agricole				machines alimentaire

### 8.2.2. Les Préférences des Variables pour le Choix Modal

Ensuite, selon les signes des paramètres des modèles, on peut analyser les préférences de choix des facteurs logistiques. Etant donné un test statistique significatif, un signe positif d'un paramètre estimé signifie que la probabilité de choix augmente avec le niveau de X (variable continue) ou la présence de X (variable dichotomique). Par contre, une signe négatif du paramètre considéré signifie que la probabilité de choix diminue avec le niveau de la variable ou la présence de celle-ci. Les résultats des préférences des facteurs logistiques sont présentés dans le Graphique 8.1.

GRAPHIQUE 8.1. LES PREFERENCES DE CHOIX MODAL DES FACTEURS LOGISTIQUES DISCRETS



Pour le choix entre transport public et privé, généralement, les produits agricoles et les denrées alimentaires, les envois parties d'une tournée, les envois à courte distance ou destinés à un entrepôt choisiront le transport privé. De plus, si l'on possède des camions de grande taille ou si l'on est un établissement régional, on préférera le transport privé.

Pour les produits métallurgiques et articles manufacturés, les envois à longue distance ou à haute fréquence, on préférera choisir le transport public. Evidemment, si l'on peut accéder directement à l'infrastructure ferroviaire, le mode ferroviaire demeure un choix prioritaire.

En ce qui concerne le choix entre le fer, la route et le transport combiné, les chargeurs-entrepôt ou les chargeurs qui possèdent des camions de petite taille ou peuvent accéder directement à l'infrastructure ferroviaire préfèrent le mode ferroviaire. De plus, les envois de haute fréquence ou au départ de la région parisienne choisissent a priori le fer. La plupart des envois conditionnés en palettes ou à longue distance ou destinés à la région parisienne choisissent le transport combiné. Quant aux envois conditionnés en citernes-conteneurs, la priorité va à la route.

Pourtant, pour certains envois, le chargeur opère son choix entre deux des trois modes. Pour les envois parties d'une tournée et ceux conditionnés en citernes, le choix modal s'effectue uniquement entre la route et le transport combiné. Si le chargeur possède l'outil informatique, il choisira entre la route et le transport combiné.

D'autre part, pour les envois de grande taille ou destinés à l'étranger, le rôle du transport combiné sont très faible. Mais si le chargeur est un entrepôt ou un magasin et possède des wagons en compte propre, le choix modal s'opère alors entre le fer et le transport combiné. De plus, concernant les envois à longue distance et destinés à Paris, la route ne joue pas non plus de rôle.

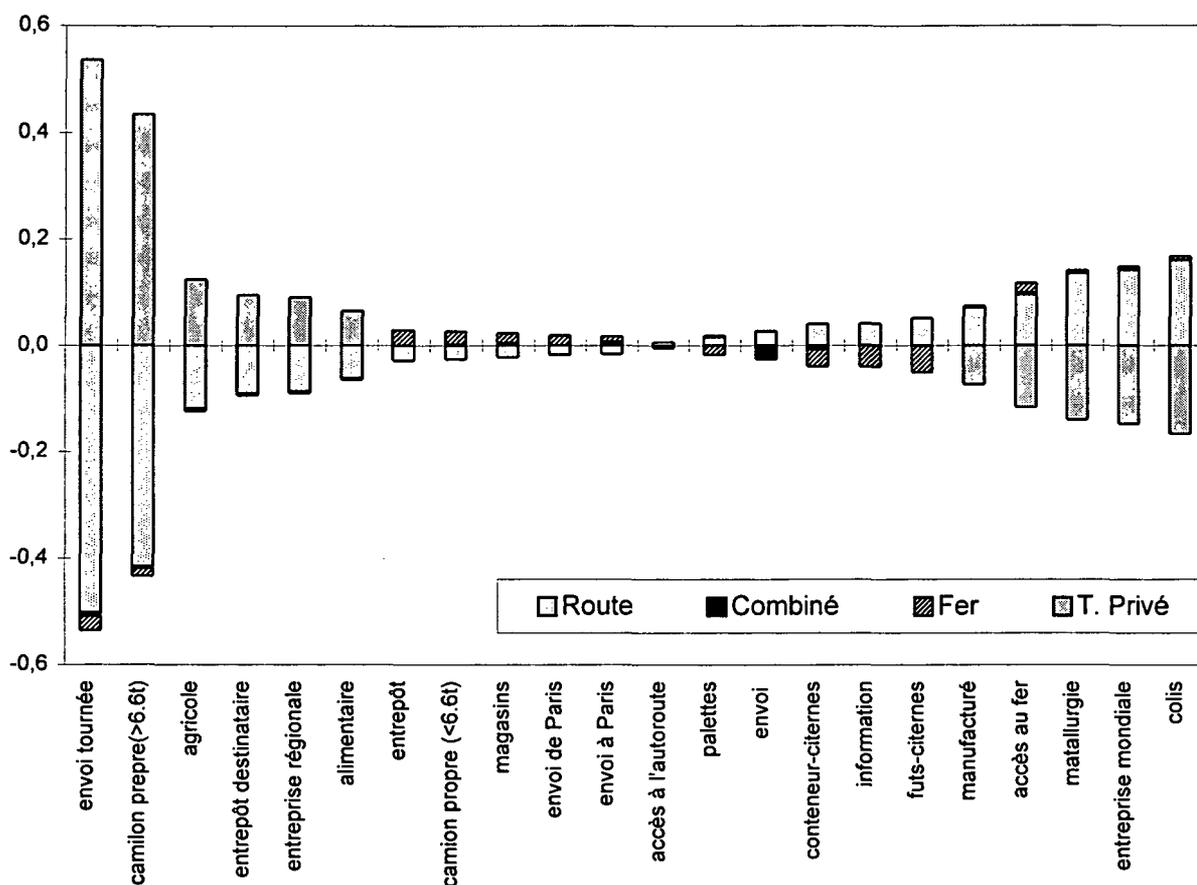
Quant au choix entre trajet unique et multiple, on peut relever quelques points importants. Par exemple, si l'on dispose d'un accès à l'infrastructure ferroviaire, mais que l'on n'a pas choisi le fer, on préférera alors les trajets uniques par rapport aux trajets multiples par la route. Par ailleurs, les machines et articles métalliques, les envois à haute fréquence et dans un lot opteront pour les trajets multiples.

### 8.2.3. L'importance des Variables pour le Choix Modal

#### 8.2.3.1. L'importance des Variables pour le choix entre Quatre Modes

Enfin, selon les effets marginaux des variables sur la probabilité, on peut distinguer les variables qui ont des influences importantes sur le choix modal. Le graphique 8.2 présente l'importance des facteurs logistiques pour le choix modal entre quatre modes de transport.

**GRAPHIQUE 8.2. IMPORTANCE DES VARIABLES DISCRETS  
POUR LE CHOIX ENTRE QUATRE MODES**



En fonction des flux, la tendance des entreprises est d'utiliser le parc propre pour les livraisons et de faire appel au transport public pour les approvisionnements. Ainsi la possession de grands camions en propre s'avère très importante pour le choix entre transport privé et public. Les entreprises qui possèdent des camions de plus de 17 tonnes vont choisir forcément le transport privé, dans ce cas là, le ratio de probabilité de choix entre transport privé et public est de 6.2. Autrement dit, la probabilité de choisir le transport privé pour le

chargeur qui possède des camions de plus de 17 tonnes est 40% plus grande que celle de celui qui n'en possède pas. Cette tendance est toutefois moins nette en zone longue, où le recours au compte d'autrui est également important pour les livraisons.

Dans cette enquête, on comprend par nature de l'établissement chargeur si celui-ci est principalement une entreprise régionale ou internationale, une usine, un entrepôt ou un magasin. Que ce soit un établissement régional ou unique, les deux préfèrent le transport privé. Par exemple, la probabilité de choisir le transport privé pour un établissement régional (resp. mondial) est 1,5 fois (resp. 0.51 fois) celle d'un établissement non régional (resp. non mondial).

On note aussi que l'envoi partie d'une tournée est un critère important de la décision de choix entre transport public et privé. Pour ce type d'envoi on utilise forcément le transport privé (ratio de probabilité de 11.6) et ce type d'envoi a des influences fortes sur la probabilité de choix (53.6%). Le conditionnement des envois influence aussi le choix entre transport public et privé. Les marchandises conditionnées en colis choisiront de préférence le transport public (le ratio de probabilité est de 2.14), dans ce cas, la probabilité de choisir le transport public est 17% plus grande que pour les autres conditionnements.

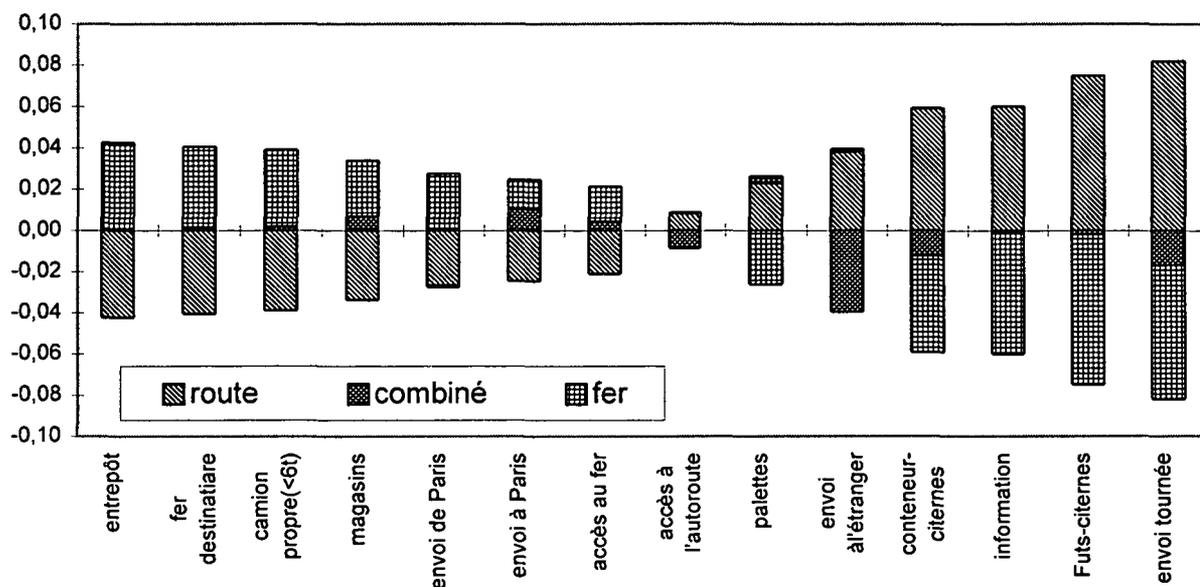
D'autre part, si les chargeurs peuvent accéder directement à l'infrastructure ferroviaire (embranchement), la probabilité de choisir le transport public est 1.7 fois celle de choisir le transport privé.

Ainsi, on voit que pour le choix entre transport public et privé, la variable politique sur laquelle il est possible d'agir est : accessibilité à l'infrastructure ferroviaire.

### ***8.2.3.2. L'importance des Variables pour le Choix entre trois modes***

En ce qui concerne les importances des variables dans le choix entre le fer, la route et le transport combiné, le graphique ci-après permet d'en avoir une image plus précise.

**GRAPHIQUE 8.3. IMPORTANCE DES VARIABLES DISCRETES  
POUR LE CHOIX ENTRE TROIS MODES**



Un chargeur qui est un entrepôt ou avec entrepôt constitue un facteur important du choix modal entre le fer et la route. Dans ce cas, la probabilité de choisir la route est 0.2671 fois celle de choisir le fer. D'autre part, la probabilité qu'un entrepôt choisisse le fer est 4% plus grande que celle d'un chargeur non entrepôt. Quant aux magasins, ils ont plus de possibilités de choisir le fer et le transport combiné que les non magasins. Par rapport à un établissement non magasin, la probabilité de choisir la route pour un magasin va diminuer de 3.37%, et celle de choisir le fer et le transport combiné vont augmenter respectivement de 2.68% et 0.69%. De plus, la possession d'un petit parc en propre par le chargeur conduit à choisir prioritairement le fer, et ensuite le transport combiné.

L'accessibilité directe à l'infrastructure constitue aussi un facteur important du choix modal. Par exemple, si le destinataire peut accéder directement à l'infrastructure ferroviaire, le chargeur aura plus de possibilités de choisir le fer que dans les cas de non accessibilité au fer à destination (3.32 fois). D'autre part, la probabilité de choisir le fer et le combiné pour un chargeur pouvant accéder au mode ferroviaire est 3.9% et 0.16% plus grande qu'un chargeur non accessible au fer à destination. On constate que pour choisir le mode ferroviaire, l'accessibilité ferroviaire du destinataire est plus importante que celle du chargeur. Si les chargeurs peuvent accéder directement à l'autoroute ou à une voie rapide, l'on préférera évidemment la route ou le fer à un autre mode.

Le système d'information de l'entreprise joue aussi un rôle majeur. Si le destinataire dispose de systèmes d'informations du type EDI, il aura une forte préférence pour la route. Dans ce cas, la probabilité de choisir la route va augmenter de 6.01% par rapport aux cas où l'outil informatique n'existe pas.

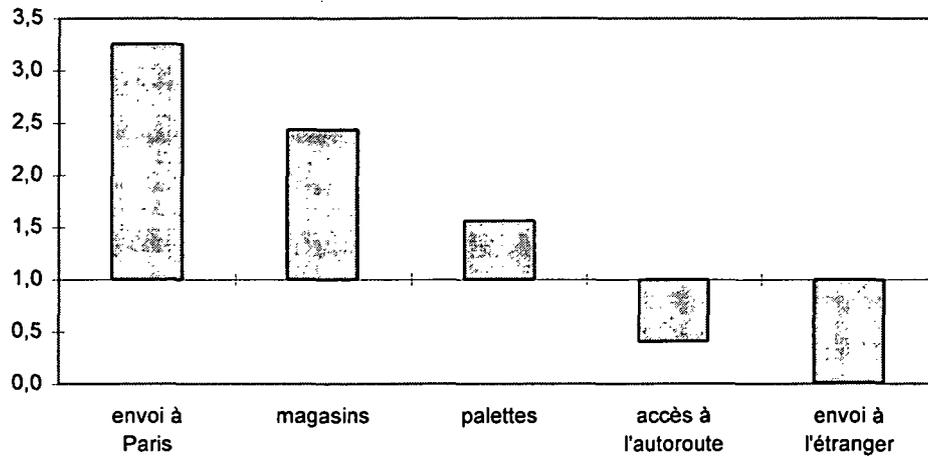
Comme dans le cas du choix entre transport public et privé, l'envoi dans une tournée influence fortement le choix entre ces trois modes. La probabilité de choisir la route pour un envoi dans une tournée va augmenter de 8.19%, et celle de choisir le transport ferroviaire et le combiné vont diminuer respectivement de 6.51% et 1.67%. En ce qui concerne le conditionnement, les trois types de conditionnement influencent le choix modal : fûts citernes, citernes-conteneurs et palettes. Les marchandises conditionnées en citernes ou citernes-conteneurs ont une grande influence et emprunteront de préférence le mode routier (9.5 et 4.3 fois plus).

Quant à la distribution géographique des envois, exemple des envois destinés à l'étranger, on choisira très rarement le transport combiné, la probabilité de choisir la route au lieu du transport combiné est 100 fois celle des envois non destinés à l'étranger. Par contre, si les envois sont destinés à la capitale, le transport combiné est le premier choix, le fer tient la deuxième place.

L'analyse ci-dessus indique que pour influencer le partage modal entre transport routier public, transport ferroviaire et combiné, les variables politique logistique sur lesquelles il est possible d'agir en vue de modifier le partage modal sont : l'accessibilité à l'infrastructure ferroviaire, le conditionnement, système d'information et l'administration du transport international.

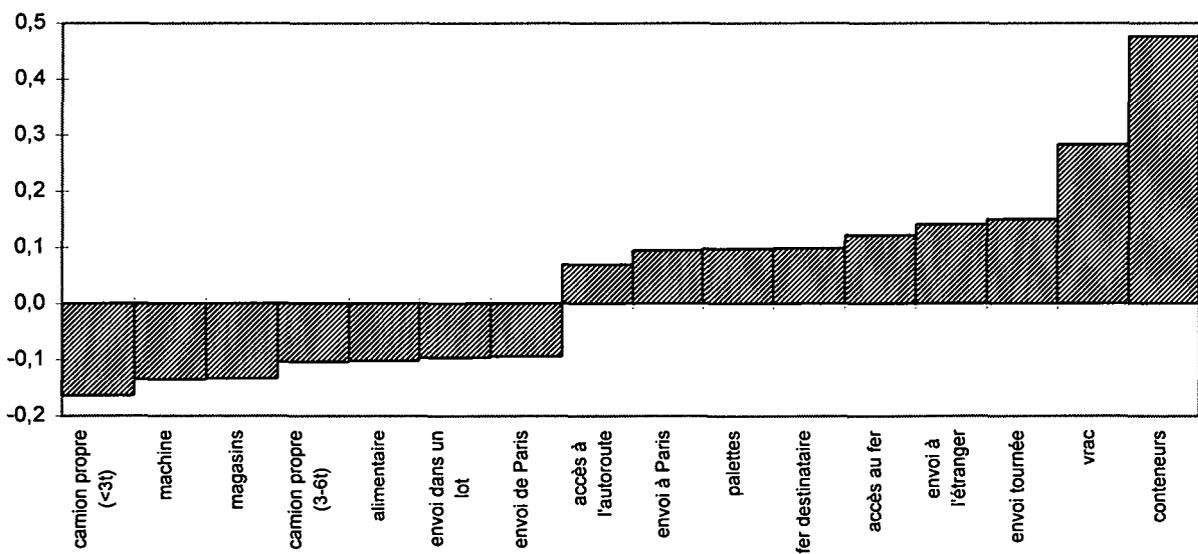
Surtout, l'on peut analyser le choix entre transport routier public et transport combiné. Sur le graphique suivant, on constate que c'est le magasins, le conditionnement en palettes, les envois à destination de Paris et la possession de wagons en propre qui favorisent le transport combiné.

**GRAPHIQUE 8.4. IMPORTANCE DES VARIABLES DISCRETES  
POUR LE CHOIX ENTRE ROUTE ET COMBINE**



Enfin, le graphique suivant représente les importances des effets des facteurs logistiques sur la probabilité de choix entre trajet unique et multiple.

**GRAPHIQUE 8.5. IMPORTANCE DES VARIABLES DISCRETE  
POUR LE CHOIX ENTRE TRAJET UNIQUE ET MULTIPLE**



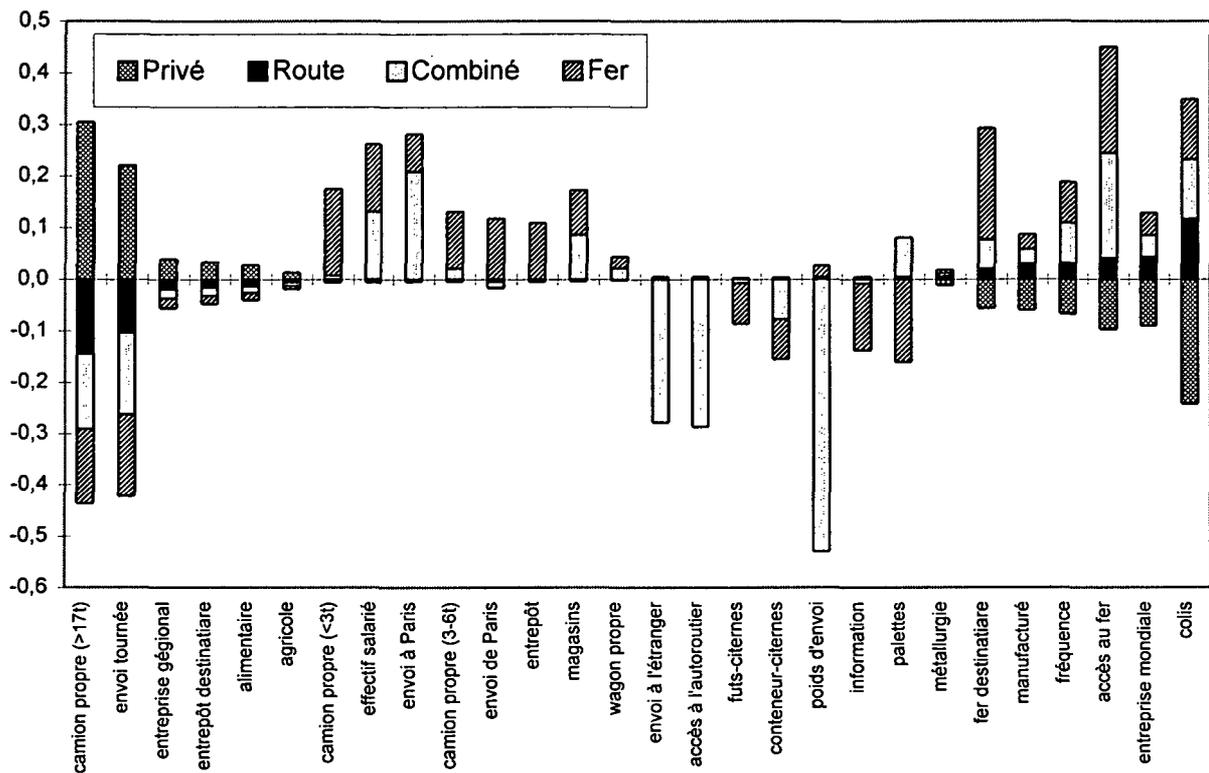
Les marchandises en vrac et en conteneurs et les envois partie d'une tournée préféreront le trajet unique. Si un envoi est conditionné en conteneur, la probabilité de choisir le trajet unique va augmenter de 47.6% par rapport à celle d'un envoi non conditionné en conteneur. Au contraire, si c'est une machine ou des articles métalliques, la probabilité de choisir la trajet multiple va augmenter de 13.5% par rapport aux autres types de marchandises.

### 8.2.3. Les rôles des Variables Continues logistiques

Dans les modèles estimés, cinq variables explicatives continues sont introduites, la distance, le poids d'envoi, le nombre d'envois, la valeur d'envoi, le nombre de salariés et le nombre de wagons en propre. Cependant, la valeur d'envoi ou la densité de valeur ne sont pas toujours significatives statistiquement. Pour les variables continues, les effets marginaux sur le ratio de probabilité sont très proches de 1. Cela veut dire que si l'on augmente d'une unité ces variables, la probabilité de choisir le compte propre est presque inchangée. D'autre part, les effets marginaux des ces variables sur la probabilités sont très petites, par exemple, si la distance de transport augmente d'un kilomètre, la probabilité de choisir le fer va augmenter de 0.0074% par rapport au cas sans augmentation. Ceci est compréhensible, dans la mesure où une unité de changement de ces variables (un kilomètre en +, un kilogramme en +, etc.) ne signifie rien en réalité. En conséquence avec ces critères, la comparaison entre modes est rendue très difficile car les changements sont tous non significatifs.

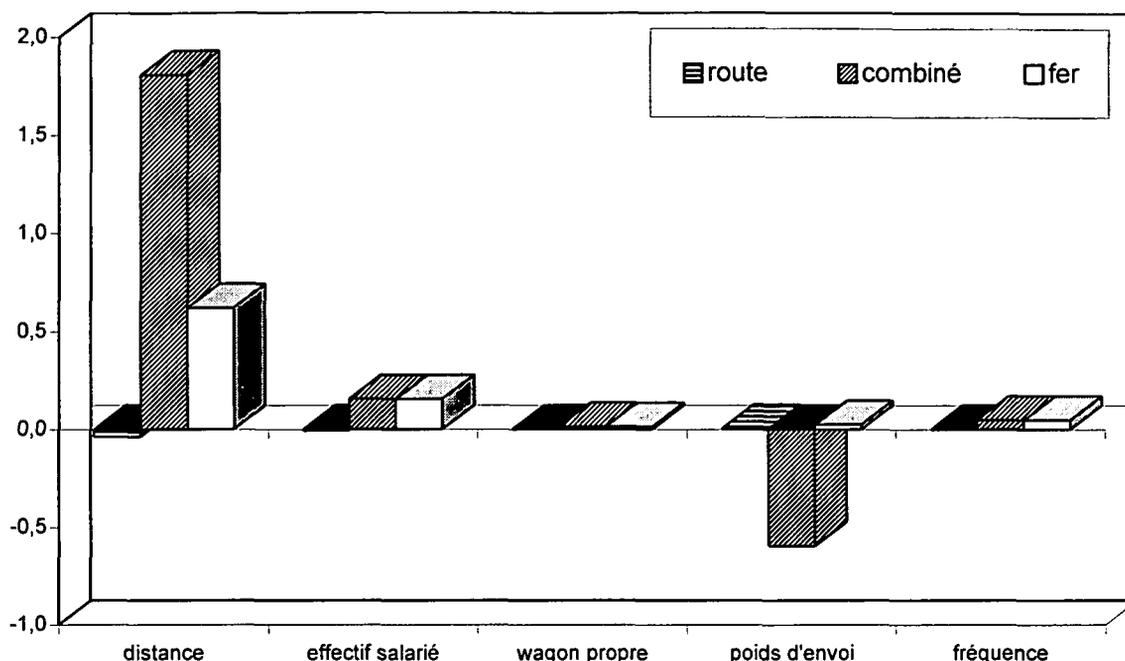
Ainsi, on va utiliser l'élasticité en valeur moyenne pour comparer les préférences de choix et les importances de ces variables continues. Le graphique 8.6 représente les pourcentages de changement des probabilités pour chaque mode de transport quand toutes les variables explicatives croissent de 1 %.

GRAPHIQUE 8.6. IMPORTANCE DES VARIABLES LOGISTIQUES CONTINUES



Par rapport aux autres variables dummy logistiques, les influences de la distance de transport (qui n'est pas dans la graphique) et de la taille d'envoi sur le choix modal sont très importantes. Ces deux variables ont des influences très importantes sur le choix du transport combiné. Parmi ces variables continues, la distance de transport est la variable principale qui influence le choix entre transport public et privé. D'autre part, la taille d'établissement a des influences assez importantes, mais l'influence de la fréquence de transport est relativement faible. On peut aussi examiner les effets des ces variables sur le choix modal entre la route, le fer et le transport combiné, le graphique ci-dessous résume les importances de ces cinq variables :

**GRAPHIQUE 8.7. IMPORTANCE DES VARIABLES CONTINUES  
POUR LE CHOIX ENTRE TROIS MODES**



Sur le graphique ci-dessus, les élasticités en valeur moyenne de probabilité à la distance pour la route, le fer et le transport combiné sont respectivement de -0.038%, de 0.62% et de 1.81%. Généralement l'augmentation des valeurs de ces variables continues diminue la part modale du transport routier et augmente la part du transport combiné et du transport ferroviaire. La seule exception concerne le poids d'envoi. Dans ce cas-là, la probabilité de choisir le transport combiné diminue toujours avec l'augmentation du poids d'envoi et au contraire, la probabilité de choisir la route augmente.

### 8.3. Les Effets des Variables Continues sur le Choix Modal

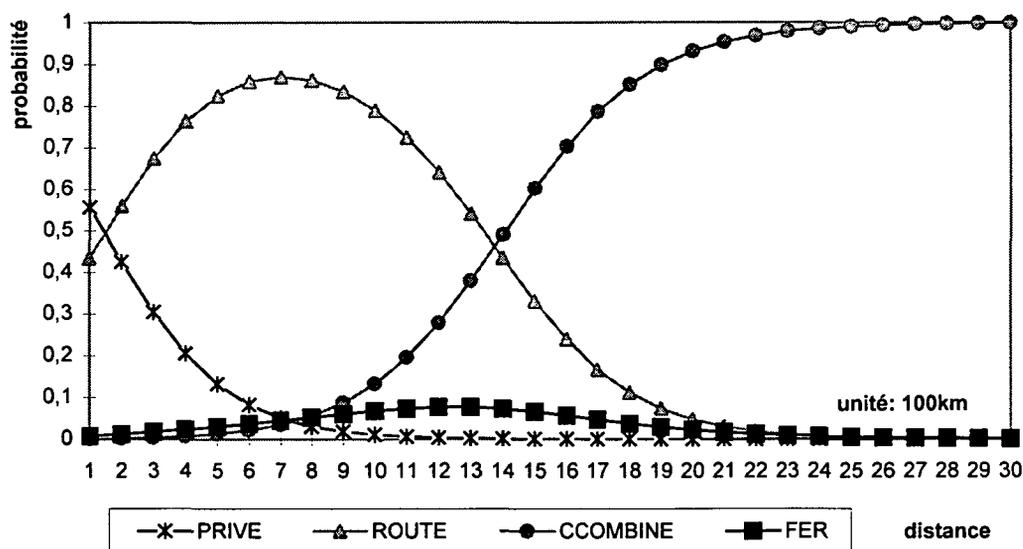
selon les résultats de modèle, on peut analyser les effets des variables continue sur les probabilités de choix en étudiant les évolutions des probabilités avec un des variables continues, et en prenant les valeurs moyennes pour les autres variables. En particulière, on peut étudier les effets conjoints des variables continues et discrètes en calculant les probabilités prévues avec la variable continue pour chaque catégorie de variable discrète.

D'après les analyses développées dans les sections précédentes, l'on a choisi les variables dummy et continues suivantes pour analyser les effets des variables logistiques : la distance, la taille d'envoi, la taille d'établissement, la fréquence de transport, l'accessibilité à l'infrastructure ferroviaire et la destination internationale.

### 8.3.1. Les Effets de la Distance

Comme on le sait, le comportement des entreprises varie sensiblement en fonction des zones de transport. Les entreprises privilégient le transport privé en zone urbaine, et le transport public en zone longue et à l'étranger. Généralement, le signe du coefficient de la distance pour le transport routier (privé et public) est négatif, cela signifie que plus longue est la distance de transport, plus l'on choisira le transport ferré ou combiné. Par le concept d'élasticité, on voit que l'effet de la distance sur le transport combiné en pourcentage est plus fort que celui sur le fer. Les graphiques ci-dessous représentent l'évolution des probabilités avec une distance moyenne qui varie entre 100 km et 3000 km.

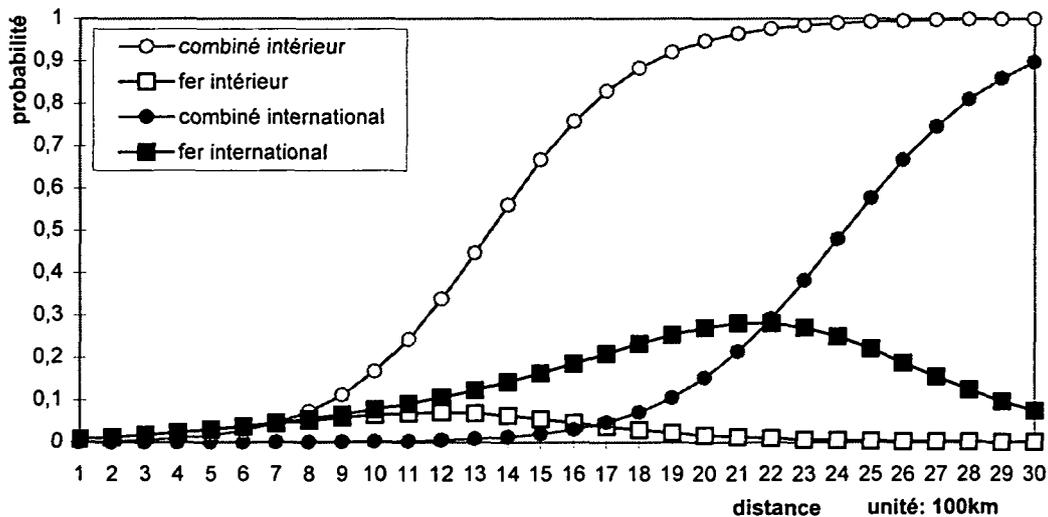
GRAPHIQUE 8.8. EFFETS DE LA DISTANCE  
SUR LE CHOIX ENTRE QUATRE MODES



Si la distance est inférieure à 300 km, les trafics sont partagés entre transport privé et transport routier public. Si la distance est inférieure à 150 km, la probabilité de choisir le transport privé est plus forte que celle de choisir le transport routier public. La probabilité maximum de choix du transport routier public est d'environ 700 km, la probabilité maximum de choisir le transport ferroviaire est quant à elle de 1300 km. Après 1400 km, c'est le transport combiné qui devient dominant, alors que le transport ferroviaire commence à diminuer.

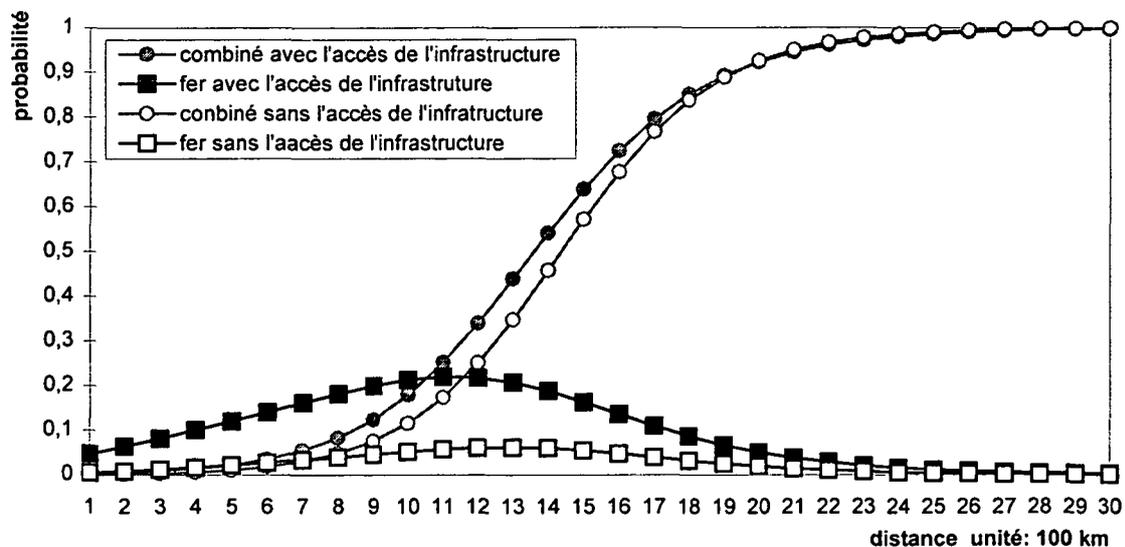
Le graphique 8.9 représente les évolutions de probabilité de choisir le transport combiné et ferroviaire pour des envois internationaux ou intérieurs. Si c'est un envoi à l'étranger, la probabilité de choisir le transport combiné est très faible (0.02%) quand la distance est inférieure à 1500 km, au contraire, un envoi intérieur va choisir le transport combiné avec une probabilité de 67%. Pour le transport ferroviaire, la probabilité maximum pour un envoi intérieur est de 7% et à 1200km, mais pour un envoi international, la probabilité maximum de choisir le fer est de 28% et à 2100 km. On voit que pour le transport international à longue distance, le transport ferroviaire tient une place importante.

**GRAPHIQUE 8.9. EFFETS DE LA DISTANCE SUR LE CHOIX MODAL DES ENVOIS A L'INTERNATIONAL**



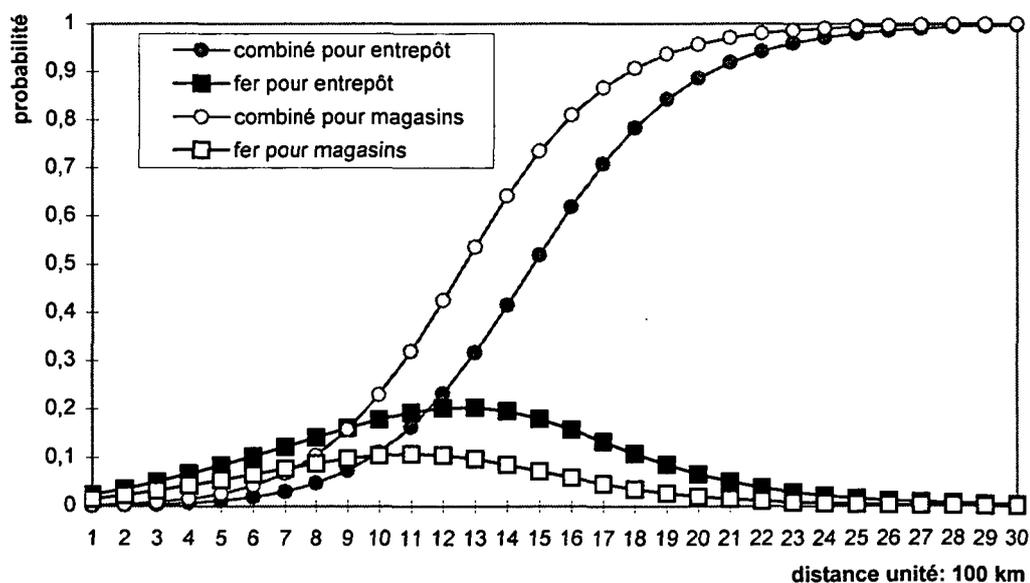
L'on peut aussi analyser les effets de la distance avec l'accessibilité à l'infrastructure. Le graphique ci-dessous représente l'évolution de la probabilité de choisir le transport combiné et ferroviaire pour les chargeurs accédant à l'infrastructure ferroviaire ou non. L'accessibilité à l'infrastructure ferroviaire est très importante pour le transport ferroviaire, mais elle est généralement non significative pour le transport combiné. Si l'on peut accéder directement à l'infrastructure ferroviaire, la probabilité maximum de choisir le fer est de 22% pour une distance de 1100 km, sinon, la probabilité maximum de le choisir est de 5,6% et à 1300 km.

**GRAPHIQUE 8.10. EFFETS DE LA DISTANCE  
SUR LE CHOIX MODAL DES CHARGEURS ACCEDANT AU FER**



Par ailleurs, on peut analyser les effets de distance avec la nature de l'établissement chargeur. Le graphique 8.11. représente les évolutions de la probabilité de choisir le transport combiné et ferroviaire pour un magasin ou un entrepôt. Le graphique explique que pour un même seuil de distance, un entrepôt a plus de possibilité de choisir le transport ferroviaire. A contrario un magasin (centre de distribution) a plus de possibilité de choisir le transport combiné.

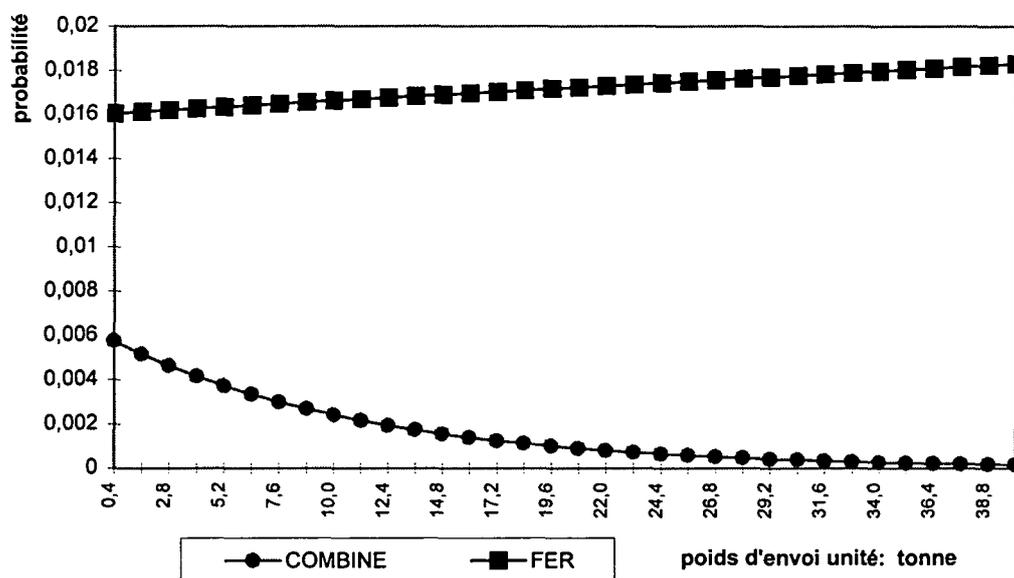
**GRAPHIQUE 8.11. EFFETS DE LA DISTANCE  
SUR LE CHOIX MODAL DES MAGASINS ET DES ENTREPOTS**



### 8.3.2. Les Effets de la Taille d'Envoi

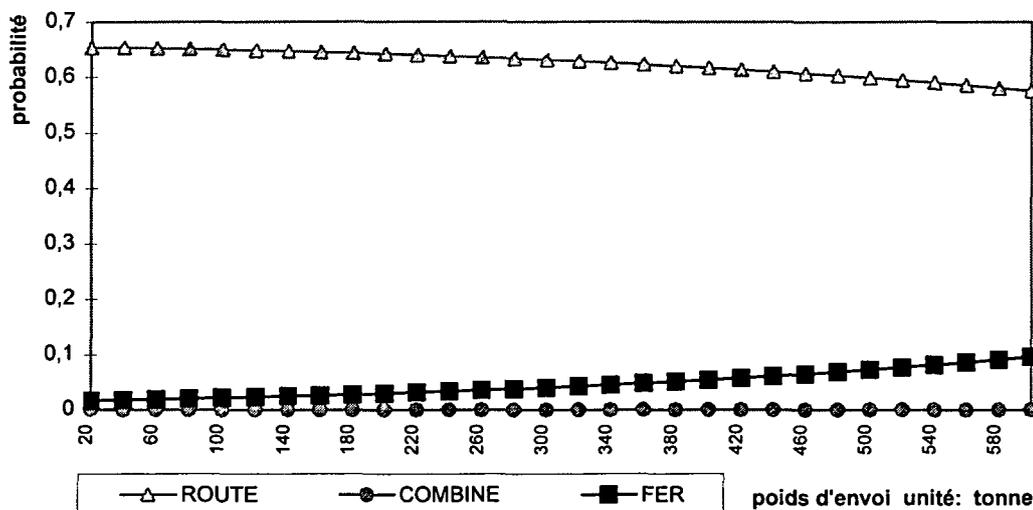
Tout d'abord, la taille d'envoi n'influence pas généralement la décision de choix entre transport privé et public lorsque tous les autres facteurs restent en valeur moyenne (exemple d'une fréquence annuelle moyenne des envois de l'ordre de 8515). Pour les trois autres modes, les élasticités en valeur moyenne (4t) au poids de la marchandise sont respectivement de 0.004 pour la route, de -0.53 pour le transport combiné et de 0.023 pour le fer. Cela montre que le trafic combiné va diminuer très rapidement avec l'augmentation de la taille d'envoi, et que ceux du transport routier et ferroviaire restent à peu près stables. Le graphique suivant représente l'évolution de la probabilité de choisir le fer et le transport combiné avec une taille d'envoi, qui se situe entre 0,4t et 40t (distance moyenne : 150). Si le poids d'envoi est inférieur à 40t, la possibilité de choisir le transport combiné va diminuer vers 0, tandis que la probabilité de choisir le transport ferroviaire ne se modifiera que très peu (de 1,6% à 1,8%).

GRAPHIQUE 8.12. EFFETS DE LA TAILLE (PETIT ENVOI)  
SUR LE CHOIX DU TRANSPORT COMBINE ET FERROVIAIRE



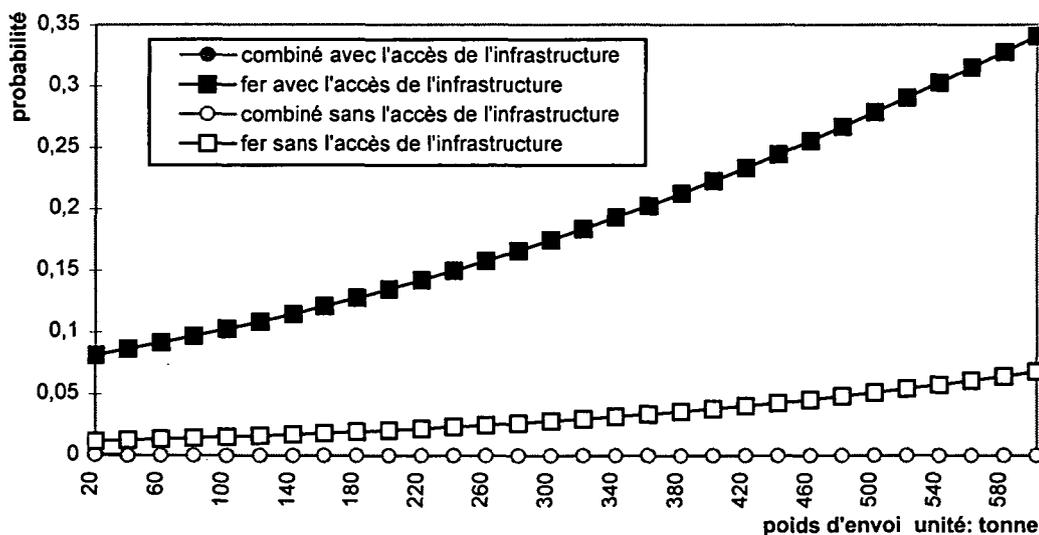
D'autre part, si la taille d'envoi dépasse 40t, on peut voir les évolutions de probabilité de choix pour trois modes de transport sur le graphique 8.13 où la taille d'envoi est entre 20t et 600t. On s'aperçoit alors que avec une distance moyenne de 150 km, la part modale du combiné reste quasi inchangée avec l'augmentation du poids des envois. Bien que la concurrence existe seulement entre la route et le fer, la probabilité de choix pour ces deux modes ne se modifie que très peu.

GRAPHIQUE 8.13. EFFETS DE LA TAILLE  
(GRANDS ENVOIS) SUR LA CHOIX MODAL



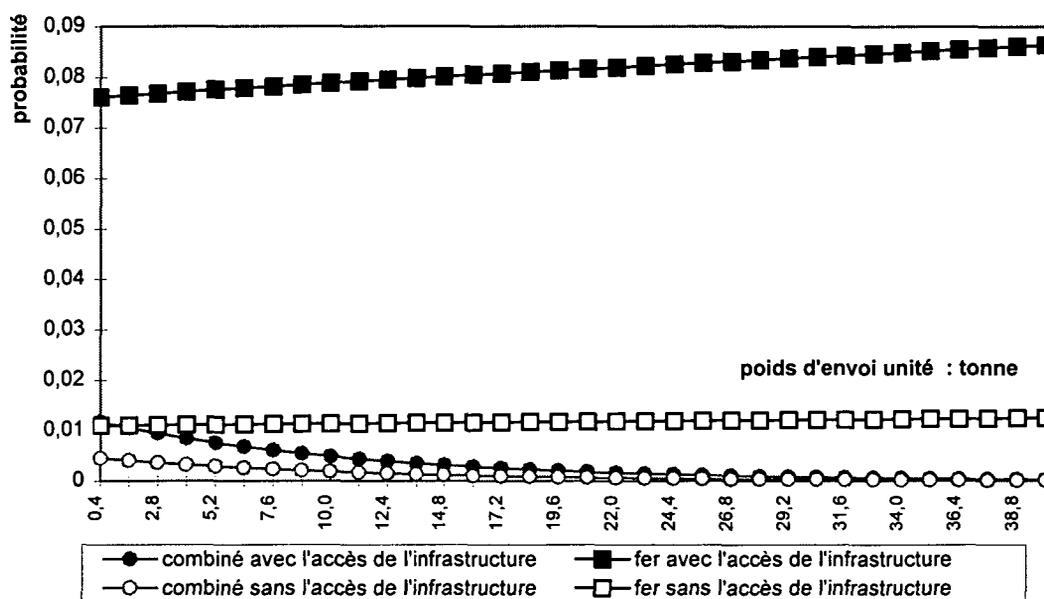
On peut aussi étudier les effets conjoints de la taille d'envoi et de l'infrastructure. Si la taille d'envois est comprise entre 20t et 600t, le graphique suivant reflète l'évolution des probabilités de choix du transport ferroviaire et combiné. L'accessibilité à l'infrastructure ferroviaire a ainsi une influence importante sur l'évolution des probabilités de choix avec l'augmentation de la taille d'envoi. Avec l'infrastructure, la probabilité de choisir le fer évolue de 8,1% à 34,1% au lieu et place d'une évolution entre 1,2% et 6,8%. En ce qui concerne le transport combiné, pour des envois supérieurs à 40t, l'accessibilité à l'infrastructure ferroviaire n'influence pas le choix de celui-ci.

GRAPHIQUE 8.14. EFFETS DE LA TAILLE D'ENVOI  
SUR LE CHOIX MODAL DES CHARGEURS ACCEDANT AU FER



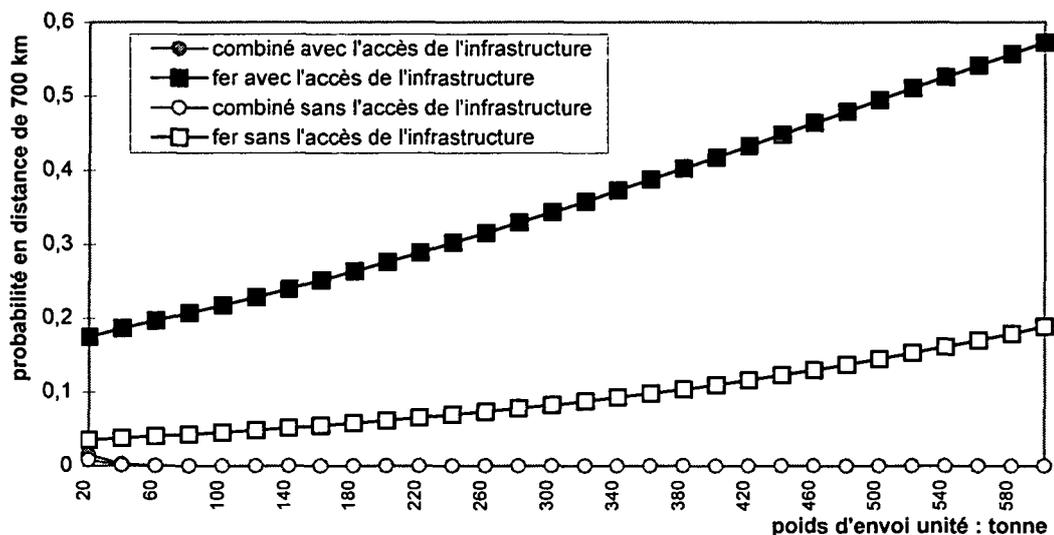
D'autre part, on peut considérer les effets de l'accessibilité infrastructure sur la probabilité de choix d'un petit envoi ou les effets de la distance sur la probabilité de choix des grands envois avec l'infrastructure. Premièrement, si la taille d'envoi est inférieure à 40t, on voit que l'infrastructure ferroviaire influence le niveau de probabilité de choix du fer mais n'influence presque pas l'évolution de cette probabilité. Pour le transport combiné, il y a peu d'influence lorsque le poids d'envoi est supérieur à 20 tonne.

**GRAPHIQUE 8.15. EFFETS DE LA TAILLE DE PETITS ENVOIS SUR LE CHOIX MODAL DES CHARGEURS ACCEDANT AU FER**



Deuxièmement [voir graphique 8.16], si la distance moyenne est de 700 km, pour les envois de grande taille, l'accessibilité à l'infrastructure ferroviaire a une influence importante sur la probabilité de choisir le fer pour les envois de grande taille. Par exemple, pour un envoi de 60t, la probabilité de choisir le fer est de 20% au lieu de 4%.

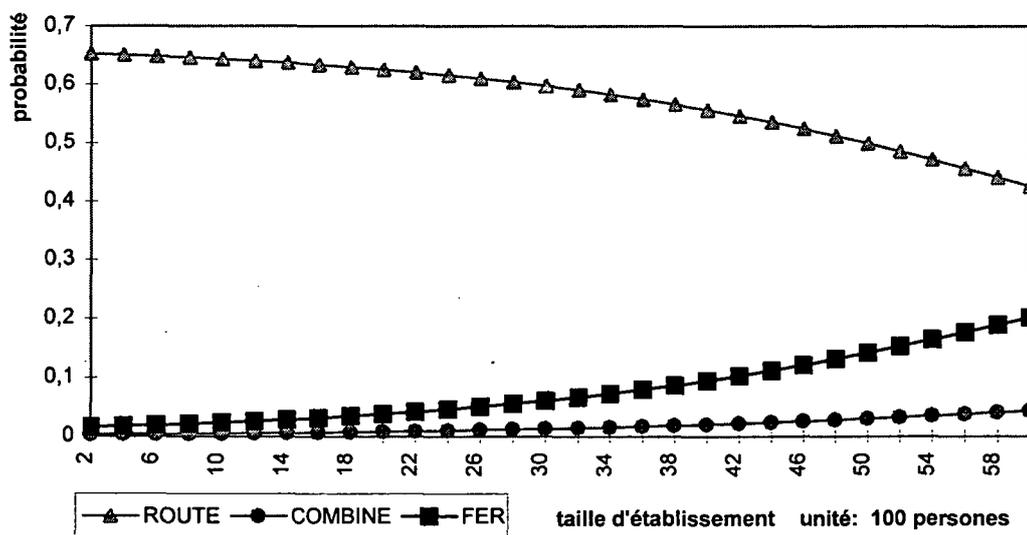
**GRAPHIQUE 8.16. EFFETS DE LA TAILLE D'ENVOI SUR LE CHOIX MODAL  
DES CHARGEURS ACCEDANT AU FER ET A LONGUE DISTANCE**



### 8.3.3. Les Effets de la Taille d'Établissement

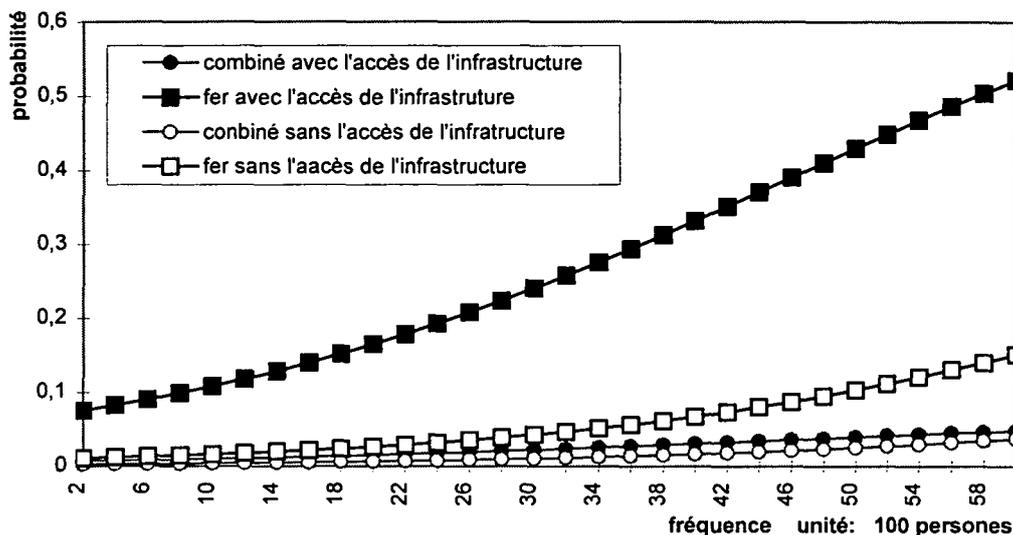
On observe une relation causale entre la taille de l'établissement et le régime de transport : globalement, un changement s'opère dans l'organisation des transports des firmes lorsqu'elles atteignent certains seuils. Les graphiques ci-dessous représentent l'évolution des probabilités lorsque le nombre d'entreprises varie entre 20 et 6000 personnes. Elle exprime que avec l'agrandissement des établissements, il y aura de plus en plus d'établissements qui recourront au mode ferroviaire. En ce qui concerne le transport combiné, la probabilité de le choisir ne change pas beaucoup avec l'agrandissement de la taille des établissements (et avec la distance moyenne : 150).

**GRAPHIQUE 8.17. EFFETS DE LA TAILLE D'ETABLISSEMENT SUR LE CHOIX MODAL**



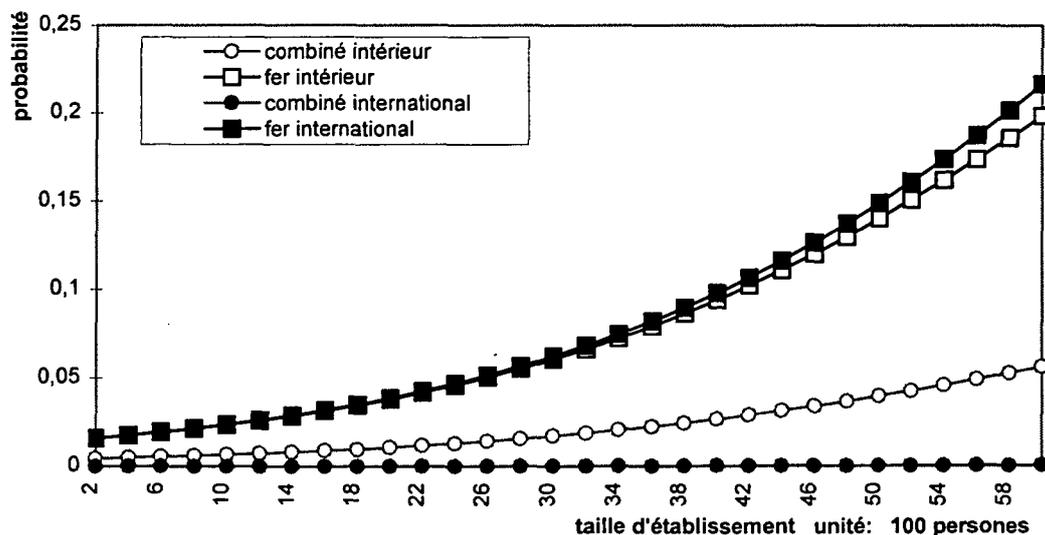
D'autre part, l'accessibilité à l'infrastructure ferroviaire influence beaucoup le choix modal des grandes entreprises. Par exemple, pour une entreprise de 5000 personnes, la probabilité de choisir le fer est de 43% au lieu de 10%. Mais elle a des influences très faibles sur le choix du transport combiné quelque soit la taille d'établissement lorsque la distance moyenne est de 150 km..

**GRAPHIQUE 8.18. EFFETS DE LA TAILLE D'ETABLISSEMENT SUR LE CHOIX MODAL DES CHARGEURS ACCEDANT AU FER**



Si c'est un envoi international, pour le transport ferroviaire, l'évolution de la probabilité demeure inchangée avec la taille de l'établissement. Quant au transport combiné, la probabilité de choix reste nulle quelle que soit la taille de l'établissement.

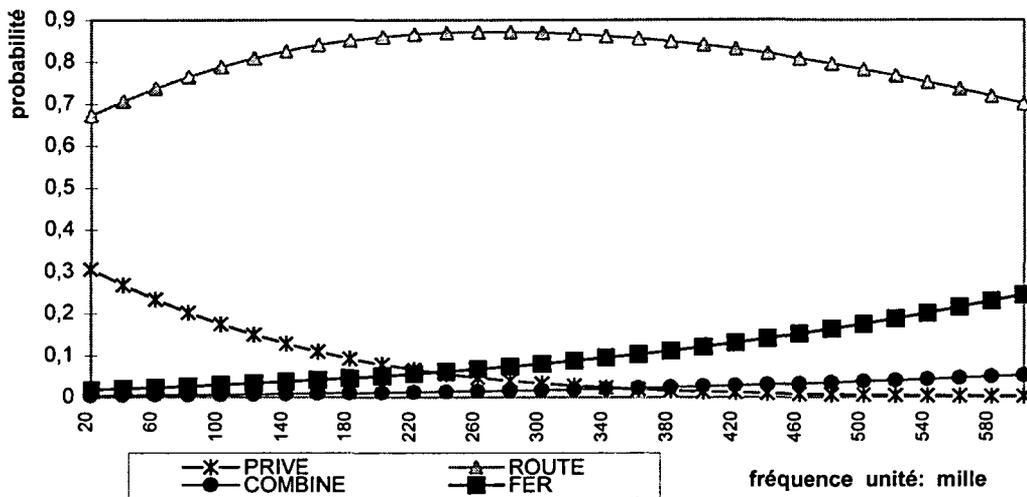
**GRAPHIQUE 8.19. EFFETS DE LA TAILLE D'ETABLISSEMENT SUR LE CHOIX MODAL DES ENVOIS A L'INTERNATIONAL**



### 8.3.3. Les Effets de la Fréquence

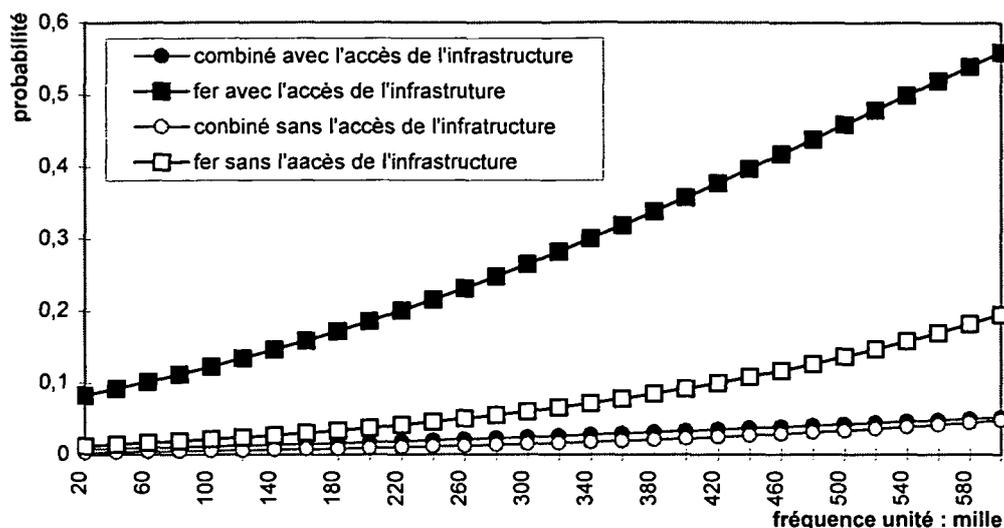
Le graphique ci-dessous représente les évolutions des quatre modes de transport avec la fréquence d'envoi qui est comprise annuellement entre 20.000 et 600.000 envois (soit entre 55 et 1.667 envois quotidiens). Dans ce cas, la part modale du transport privé diminue et la part modale du transport routier public augmente jusqu'à 87% pour une fréquence annuelle de 260.000 envois (soit 722 quotidiens), pour diminuer ensuite progressivement. D'autre part, avec l'augmentation de la fréquence, la probabilité de choisir le fer et le transport combiné augmentent, bien que la croissance ferroviaire soit plus rapide que celle du transport combiné qui n'est guère influencé par la fréquence des envois.

GRAPHIQUE 8.20. EFFETS DE LA FREQUENCE D'ENVOI SUR LE CHOIX MODAL



De plus, sur le graphique 8.21, l'on constate que l'accessibilité à l'infrastructure ferroviaire a des influences importantes sur le choix modal des envois de haute fréquence. Par exemple, si la fréquence d'envoi quotidienne est de 1500 envois, la probabilité de choisir le fer avec accessibilité ferroviaire est de 50% au lieu de 16%. D'autre part, l'accessibilité n'influence presque pas l'évolution de la probabilité de choix du transport combiné avec la fréquence.

**GRAPHIQUE 8.21. EFFETS DE LA FREQUENCE D'ENVOI  
SUR DES CHARGEURS ACCEDANT AU FER**

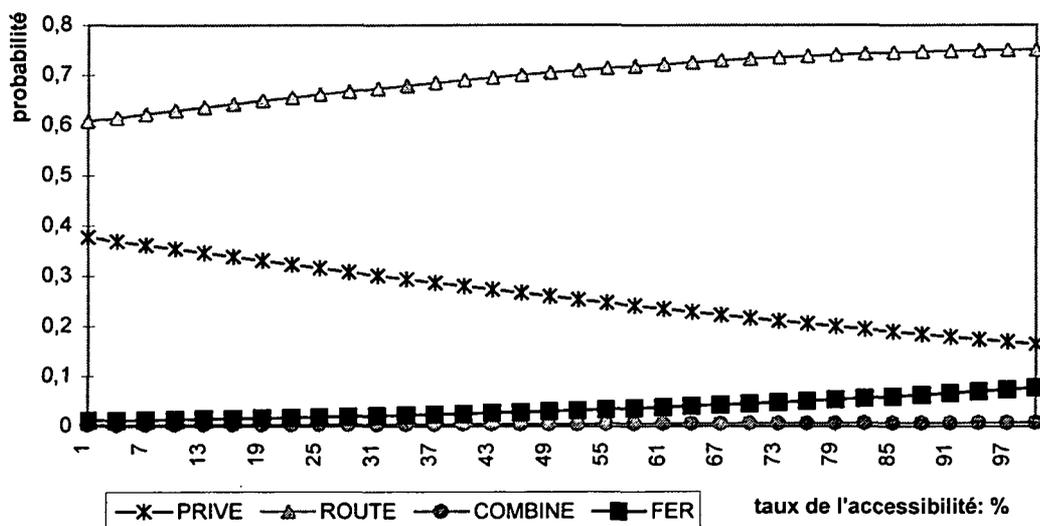


#### 8.3.4. Les Effets des Variables qualitatives

Jusqu'à présent, ont été analysés les effets des variables continues sur les probabilités de choix y compris en ajoutant d'autres variables qualitatives, notamment l'accessibilité à l'infrastructure ferroviaire. L'on peut donc réaliser une synthèse des effets sur l'accessibilité ferroviaire, en supposant que les autres variables restent constantes en valeur moyenne. Le graphique suivant présente l'évolution du partage modal des quatre modes de transport avec l'augmentation du taux d'accessibilité à l'infrastructure ferroviaire. Généralement, quand le nombre d'établissements qui peuvent accéder directement à l'infrastructure ferroviaire augmente, le partage modal du transport privé diminue, et les partages modaux des trois autres modes augmentent.

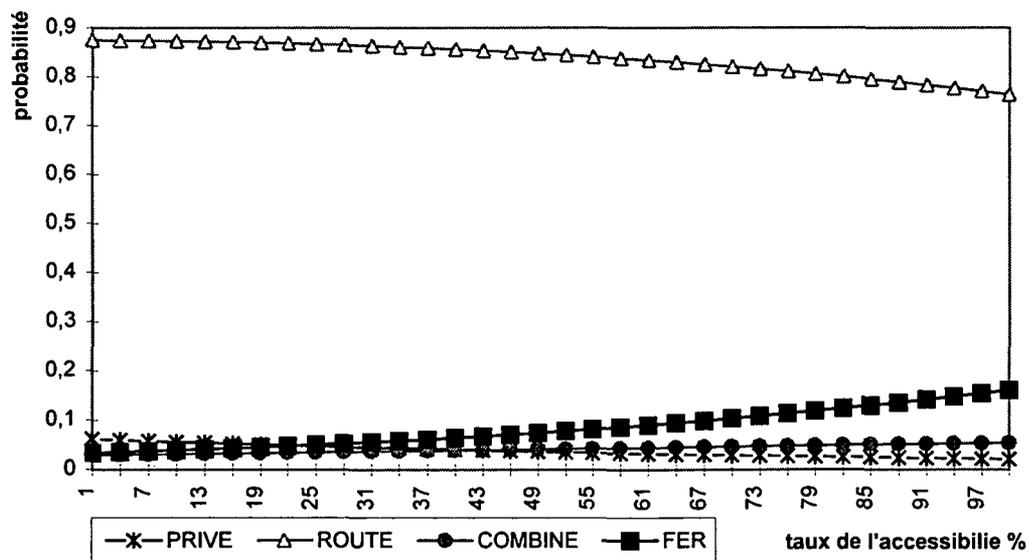
Par exemple, s'il y a 50% d'établissements qui peuvent accéder à l'infrastructure ferroviaire, la part du transport privé est de 26%, tandis que les parts modales de la route, du fer et du combiné sont respectivement de 70,4%, 3,1% et 0,5%. On constate que l'accessibilité à l'infrastructure ferroviaire est un facteur important pour la décision de choix du transport privé. Cela vaux dire que si une entreprise localise à coté de l'infrastructure ferroviaire, plupart de chargeur ne considère pas le transport privé, même ils ne choisissent pas le transport ferroviaire.

**GRAPHIQUE 8.22. EFFETS DE L'ACCESSIBILITE  
A L'INFRASTRUCTURE FERROVIAIRE SUR LE CHOIX MODAL**



Sur le graphique ci-dessus, la distance moyenne est de 279 km. Si l'on suppose que pour certains types de marchandises, la distance moyenne est de, par exemple 700 km, l'influence de l'accessibilité ferroviaire pourra être représentée par le graphique 8.23. Dans ce cas, le transport privé tient une place faible, la concurrence existe entre la route et le fer, bien que la part modale de la route diminue avec l'augmentation du taux d'accessibilité ferroviaire.

**GRAPHIQUE 8.23. EFFETS DE L'ACCESSIBILITE FERROVIAIRE  
SUR LE CHOIX MODAL DES ENVOIS A LONGUE DISTANCE**



## Conclusion

Ce chapitre a analysé les effets des caractéristiques de la demande des chargeurs sur le choix modal. Parmi tous les facteurs logistiques, les facteurs suivants sont les plus importants pour le choix modal : la distance, la taille d'envoi, l'accessibilité à l'infrastructure ferroviaire du chargeur ou du destinataire, l'existence d'un système d'information, les envois à l'international, le conditionnement, les envois parties d'une tournée et le parc propre des chargeurs.

Pour le transport ferroviaire, l'accessibilité ferroviaire est primordiale, surtout pour un envoi de grande taille, à longue distance et de haute fréquence, d'une grande entreprise. En particulier, l'accessibilité ferroviaire du destinataire est plus importante que celle du chargeur. Les goulots d'étranglement du transport ferroviaire proviennent d'un manque de système d'information, de coopération internationale et d'adaptation des conditionnements.

Pour le transport combiné, la distance de transport est le facteur le plus important bien que la taille d'établissement et la fréquence de transport augmentent la probabilité de choisir le transport combiné. Ce mode est surtout utilisé par les centres de distribution en région parisienne. Les envois conditionnés en palettes préfèrent utiliser le transport combiné. Cependant, le transport international, la capacité de transport (concernant la taille des envois) et le système d'information constituent des goulots d'étranglement du transport combiné.

Par exemple, par les résultats de modèles, on peut voir les effets de la distance sur le choix modal. Pour les envois avec le poids moyen de 6 tonne, parmi les quatre modes de transport, si la distance de transport est d'environ 700km, la probabilité de choisir la route atteint la valeur maximum (0.8), et la probabilité maximum (0.1) de choisir le fer est environ à la distance de 1300 km où la probabilité de choisir le transport combiné est environ égale à celle de choisir la route (0.45). Si la distance de transport est moins de 400 km, la probabilité de choisir le transport combiné est très faible.

Le chapitre suivant va analyser les effets du temps et du prix de transport sur le choix modal.



## CHAPITRE 9

### VALEUR DU TEMPS ET CHOIX MODAL : LES EFFETS DE L'OFFRE DE TRANSPORT

Après avoir analysé les effets de la demande de chargeur sur le choix modal dans le chapitre précédent, ce chapitre va se concentrer sur les effets de l'offre de transport sur le choix modal. Dans un premier temps, on étudiera les rôles du temps et des prix dans le choix modal en analysant les évolutions des probabilités de choix avec le temps et le prix de transport. Dans un deuxième temps, on va répondre à la question suivante : comment les chargeurs évaluent-ils le temps de transport en termes monétaires ? les valeurs du temps en particulier leurs évolutions et distributions avec les variables logistiques seront analysées.

#### 9.1. Déterminants du prix de transport

Pour analyser les effets de l'offre de transport sur le choix modal, on ne dispose dans l'enquête que de deux variables : le temps de transport et le prix de transport. Avant d'analyser leurs effets sur le choix modal, on analysera dans un premier temps l'impact des facteurs logistiques qui influencent le prix et le temps de transport. Dans le chapitre 5, pour estimer le prix et le temps, seules deux variables ont été utilisées : la distance et le poids de la marchandise. Dans ce chapitre, d'autres variables seront prises en compte et on analysera l'évolution des prix en fonction de la distance et du poids des envois. Puisque le prix de transport est la variable la plus importante, on analysera seulement les effets des facteurs logistiques sur le prix de transport. Le tableau suivant représente les résultats d'estimation des prix de transport où l'unité de prix est en francs par kilogramme et par kilomètre :

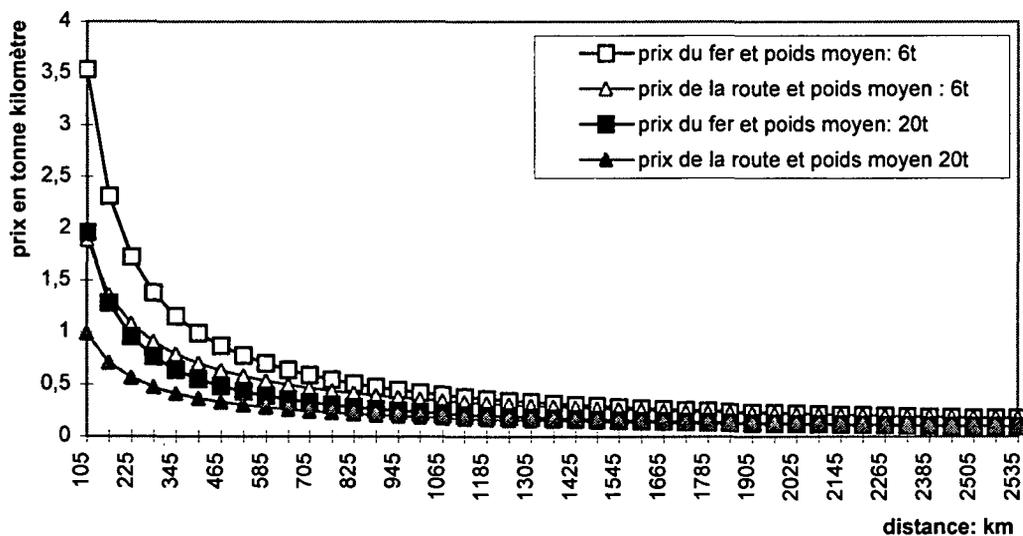
TABLEAU 9.1. FACTEURS LOGISTIQUES INFLUENÇANT LES PRIX

Variables	Prix ferroviaire	Prix routier
Constance	3,6260 ***	2,1964 ***
Log (distance)	-0,9415 ***	-0,7353 ***
Log (poids)	-0,4899 ***	-0,5378 ***
Log (fréquence)	-0,0446 ***	-0,0641 ***
envoi dans un lot		-0,1556 ***
envoi à l'étranger	0,4648 ***	0,1312 **
matériel de transport	0,5655 **	0,1452 ***
machine	0,2563 ***	0,1378 ***
ratio de Mills	-0,2169	1,1555 ***
R <sup>2</sup>	0,94	0,906
nombre d'obs.	137	1460

Sur ce tableau, les transports à longue distance, la massification et les envois à haute fréquence vont faire diminuer le prix de transport. Par contre un envoi fait à l'international fera augmenter le prix de transport. En ce qui concerne la nature de la marchandise, le prix de transport des matériels de transports et agricoles est plus cher que celui des machines et articles métalliques. Au vu des paramètres, l'on constate que le prix ferroviaire est plus influencé par la nature de la marchandise et le destinataire à l'international que le transport routier. Enfin, un envoi dans un lot diminue le prix de transport routier mais n'influence pas le prix ferroviaire.

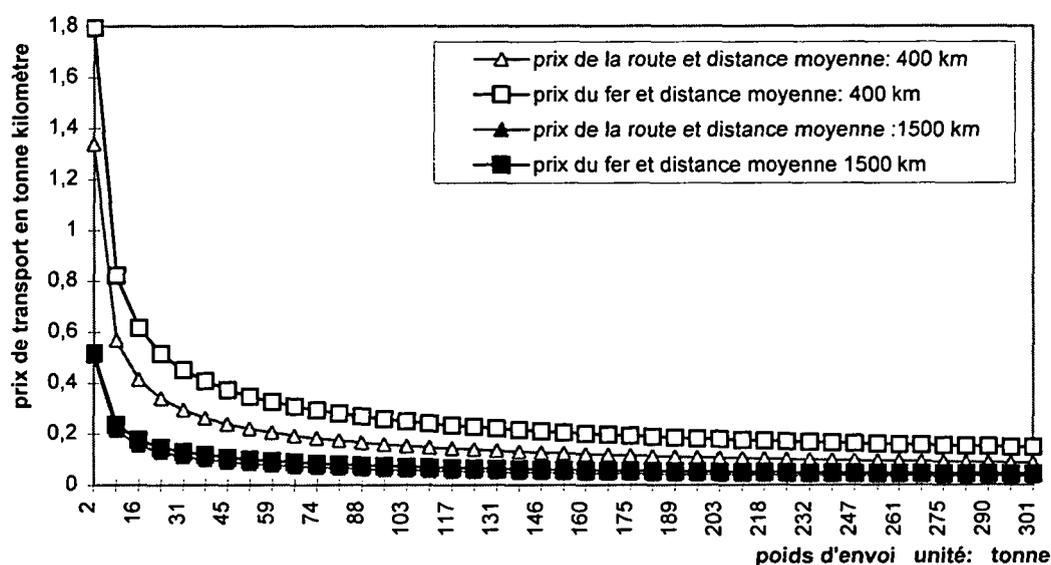
Le graphique suivant représente l'influence de la distance sur le prix routier et ferroviaire pour une taille d'envoi de 6 tonnes et de 20 tonnes, et une distance comprise entre 100 km et 2520 km. En supposant que les autres variables restent constantes en même valeur moyenne pour les deux modes de transport, bien que l'augmentation de la distance diminue le prix de transport des deux modes, les prix ferroviaire sont normalement plus forts que les prix routiers sauf que la distance de transport est très long. Ainsi, la différence des prix de transport entre les deux modes devient de plus en plus faible avec l'augmentation de la distance, mais la taille d'envoi a peu d'influence sur la différence de prix. Par exemple, si la distance est de 600 km, la différence de prix est de 0,16 francs par t x km pour un envoi de 6 tonnes et de 0,11 francs par t x km pour un envoi de 20 tonnes.

**GRAPHIQUE 9.1. EFFETS DE LA DISTANCE  
SUR LES PRIX DE TRANSPORT**



En étudiant les évolutions des prix avec la taille des envois, on peut vérifier encore que cette dernière n'influence presque pas la différence de prix entre deux modes, bien que la taille d'envoi diminue généralement le prix du transport. Le graphique 9.2 représente l'évolution des prix ferroviaire et routier avec la taille des envois où le poids de l'envoi se situe entre 2 et 300 tonnes et où la distance de transport est de 400 km ou de 1500 km. Ainsi si la taille de l'envoi est de 40 tonnes, les différences de prix sont de 0,14 FF et de 0,01 FF par t x km pour les deux distances ; si la taille d'envoi est de 160 tonnes, les différences entre les prix des deux modes sont respectivement de 0,1 FF et de 0,01 FF par t x km.

**GRAPHIQUE 9.2. EFFETS DE LA TAILLE D'ENVOI  
SUR LES PRIX DE TRANSPORT**

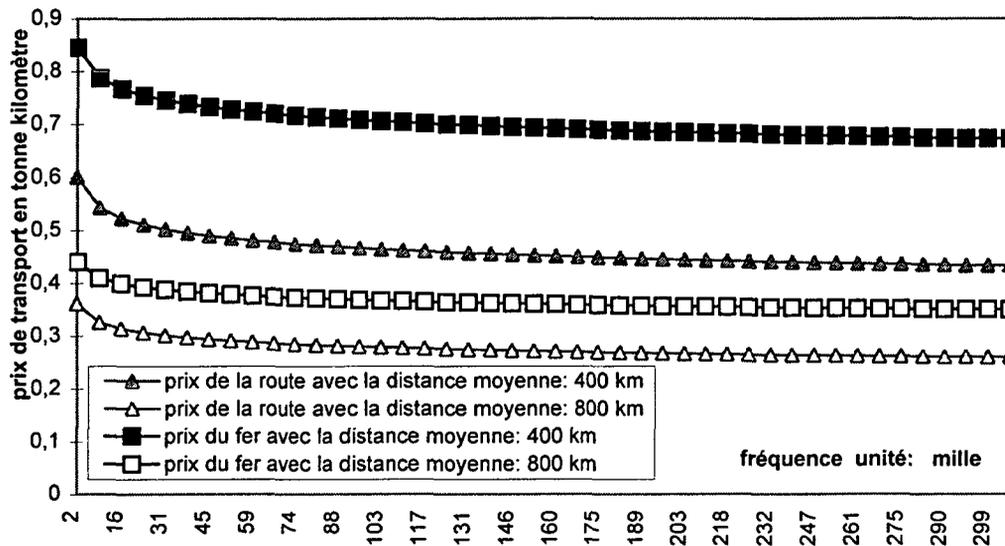


Quant à la fréquence d'envoi, l'on s'aperçoit que les effets de la fréquence sur le prix du transport sont très faibles. Le graphique 9.3 permet de vérifier cette affirmation. Les différences de prix ferroviaire entre 200000 et 700000 envois annuels sont respectivement de 0,36 FF et de 0,35 FF par t x km.

D'après l'analyse menée ci-dessus, on peut faire les remarques suivantes : l'augmentation de la distance de transport et de la taille de transport diminuent généralement le prix de transport. Avec l'augmentation de la distance, la différence de prix entre le transport routier et ferroviaire devient de plus en plus faible, mais l'influence de la taille d'envoi sur la différence de prix entre deux modes est plus faible que celle de la distance. En ce qui concerne la fréquence de transport, elle n'a presque pas d'influence sur le prix sauf si elle est très faible (moins de 2000 envois annuel).

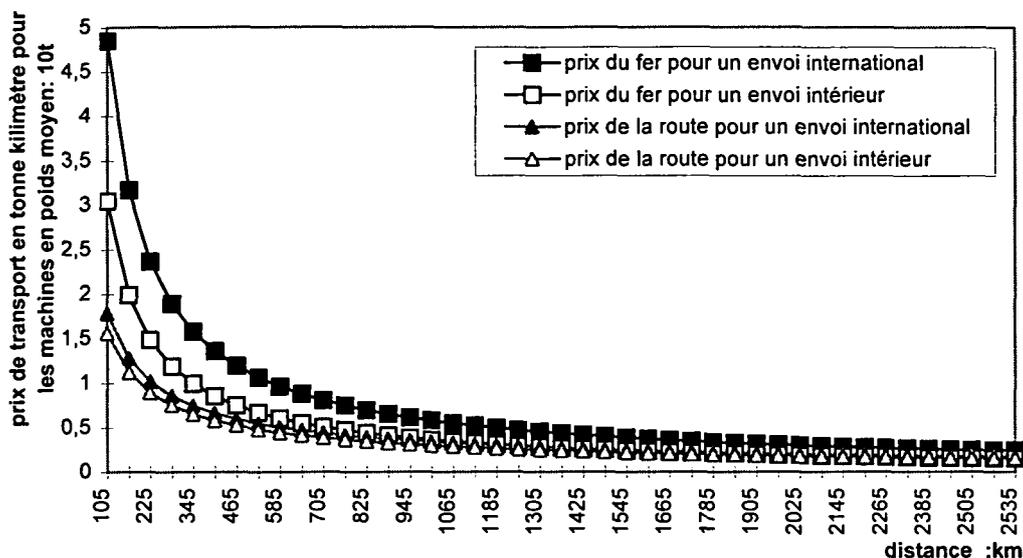
### GRAPHIQUE 9.3. EFFETS DE LA FREQUENCE

#### D'ENVOI SUR LES PRIX DE TRANSPORT



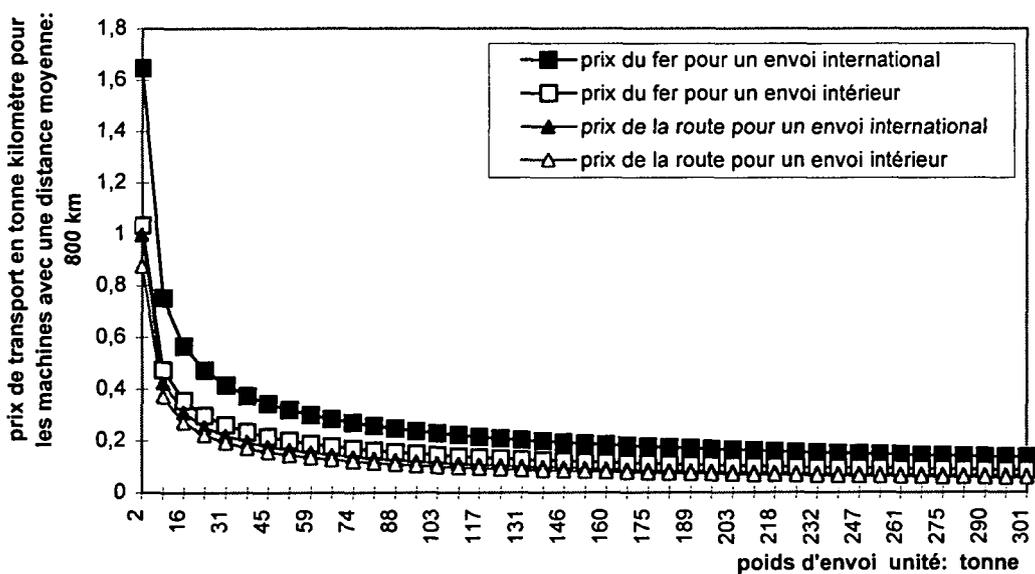
Ensuite les effets conjoints des envois internationaux avec la distance et la taille d'envoi peuvent être aussi analysés. Le graphique ci-dessous représente les évolutions des prix avec la distance de transport pour un envoi international et pour les machines et articles métallurgiques. On voit qu'un envoi international va faire croître surtout le prix de transport ferroviaire. Mais avec l'augmentation de la distance, ces influences deviennent de plus en plus faibles. Par exemple, pour un transport à 1000 km, la différence de prix entre un envoi international et un envoi domestique sont respectivement de 0,22 FF et 0,04 par t x km. Si la distance de transport se situe à 1500 km, la différence de prix est alors de 0,15 FF et 0,03 FF par t x km.

**GRAPHIQUE 9.4. EFFETS DE LA DISTANCE SUR  
LES PRIX DE TRANSPORT D'UN ENVOI A L'INTERNATIONAL**



D'autre part, avec l'augmentation de la taille d'envoi, les changements de la différence entre les prix des envois international et intérieur est moins rapide que celle avec l'augmentation de la distance. Le graphique ci-après reproduit l'évolution des prix avec la taille de l'envoi pour un envoi international ou non international.

**GRAPHIQUE 9.5. EFFETS DE LA TAILLE DE L'ENVOI SUR  
LES PRIX DE TRANSPORT D'UN ENVOI A L'INTERNATIONAL**



On constate donc que dans tous les deux cas, les influences d'un envoi international sur le prix ferroviaire sont beaucoup plus fortes que sur les prix routiers, mais avec l'augmentation de la distance et de la taille d'envoi, cette croissance de prix devient de moins en moins importante.

## 9.2. Résultat de l'Interprétation des Modèles

Comme on le sait, le temps et le prix de transport constituent des variables explicatives dites spécifiques aux alternatives. Ces variables prennent des valeurs différentes suivant l'alternative choisie pour un même chargeur. Le modèle conditionnel traite les variables *alternative-spécific* et en général les méthodes d'interprétation pour le modèle logit multinomial peuvent être adaptées à l'interprétation du modèle conditionnel.

Cependant, l'interprétation des effets marginaux sur la probabilité pour les variables *alternative-spécific* s'avère plus délicate. Les paramètres pour les attributs *alternative-spécific* varient selon les alternatives. Les coefficients correspondants à une alternative sont constants pour chaque variable, les effets d'une variable *alternative-spécific* sur la probabilité de choix restent donc invariants, quel que soit le contraste d'alternatives choisi. On peut donc choisir de modifier seulement la valeur de la variable pour une alternative, ou pour deux alternatives etc..

En présence d'une variable *alternative-specific* dans le modèle, un changement de cette variable va influencer non seulement la fonction d'utilité de l'alternative qui l'inclue mais aussi les autres fonctions d'utilité. Par contre les effets marginaux du changement de niveau d'une variable liée à une alternative seront différents des effets du changement de niveau de la même variable liée à une autre alternative. Il faut donc en conséquent prêter plus d'attention à l'interprétation des effets marginaux dans les modèles conditionnels. Les effets marginaux sont exprimés par les équations suivantes :

$$\frac{\partial P_j}{\partial x_{jk}} = P_j(1 - P_j)\beta_{jk} \quad (9.01)$$

et

$$\frac{\partial P_i}{\partial x_{jk}} = -P_i P_j \beta_{jk} \quad (9.02)$$

La première équation (9.01) calcule l'effet marginal du changement d'une variable d'alternative  $j$  sur la probabilité de cette alternative ( $P_j$ ); la deuxième équation (9.02) calcule

l'effet marginal de cette variable d'alternative j sur les probabilités des autres alternatives i ( $P_i$ ).

De même, l'élasticité croisée de la probabilité d'alternative i qui est choisie par rapport à une variable d'alternative j est donnée par:

$$E_{x_{jnk}}^{P_n(i)} = - P_n(j) x_{jnk} \beta_{jk} \quad (9.03)$$

Selon le modèle multiple conditionnel, les résultats des effets marginaux de temps et de prix sur la probabilité de choix sont respectivement présentés dans le tableau 9.2.

**TABLEAU 9.2. LES EFFETS MARGINAUX DU TEMPS ET DES PRIX SUR LES PROBABILITES**

Variable	Valeur Moyenne	Effets d'utilité			Effets probabilité			Elasticité		
		route	comb.	fer	route	comb.	fer	route	comb.	fer
prix routier	1686,7	0,9998			-5,3E-6	1,6E-6	3,7E-6	-9,2E-3	3,6E-1	3,6E-1
temps routier	25,431	0,9636			-9,1E-4	2,7E-4	6,4E-4	-2,4E-2	9,2E-1	9,2E-1
prix combiné	1820,3		0,9991		6,7E-6	-6,8E-6	1,2E-7	1,3E-2	-1,7E+0	1,3E-2
temps combiné	30,627		0,8887		8,6E-4	-8,8E-4	1,6E-5	2,7E-2	-3,6E+0	2,7E-2
prix ferroviaire	1820,3			0,9993	1,2E-5	9,6E-8	-1,3E-5	2,3E-2	2,3E-2	-1,3E+0
temps ferroviaire	30,63			0,8985	1,8E-3	1,4E-5	-1,9E-3	5,8E-2	5,8E-2	-3,2E+0
<b>Probabilité</b>		0,975	0,007	0,018						

Dans le tableau ci-dessus, la troisième colonne représente les effets sur l'utilité, l'interprétation de ces effets est simple. Pour le temps de transport routier,  $\exp(\beta)=0,96$  signifie que la probabilité de choisir la route pour une augmentation d'une heure du temps de transport routier, est 0,96 fois celle de choisir la route avant l'augmentation.

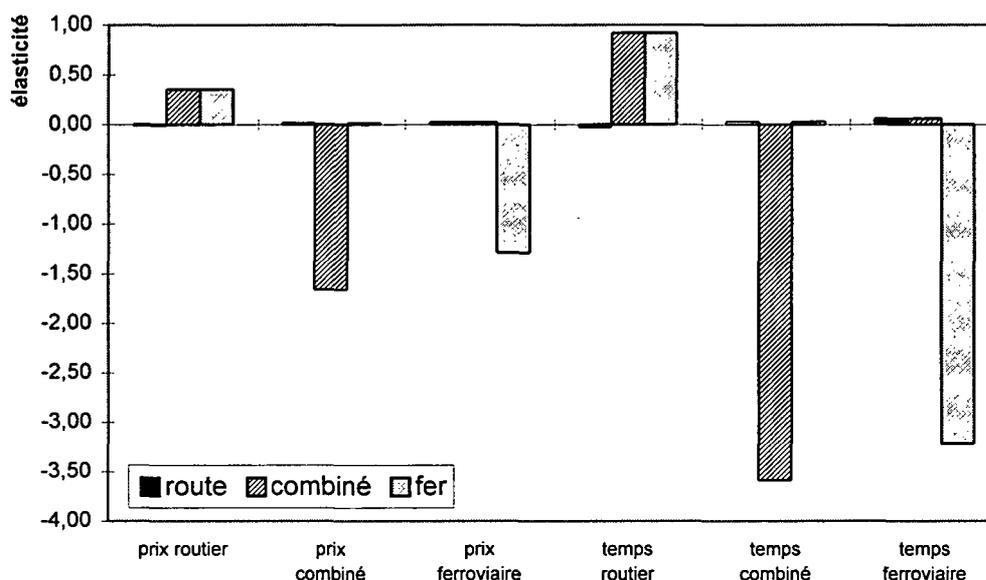
La quatrième colonne présente les effets marginaux sur les probabilités de choix lorsque le temps ou le prix de transport subissent un changement d'une unité. Par exemple, si le temps de transport routier augmente d'une heure, la probabilité de choisir la route va diminuer de 0.0009, et les probabilités de choisir le fer et le transport combiné vont augmenter respectivement de 0.00027 et 0.00064.

La colonne 5 représente les élasticités en valeur moyenne. Par exemple, si le temps ferroviaire augmente d'1 %, la probabilité de choisir la route et le transport combiné vont augmenter de 0,06% , et celle de choisir le fer va diminuer de 3,2%.

### 9.3. Les Rôles du Temps et du Prix dans le Choix Modal

Pour analyser les rôles des prix de chaque mode de transport, on peut comparer les importances des effets de prix ou de temps sur les probabilités de choisir chaque mode de transport. La graphique ci-dessous présente les élasticités des probabilités de choix de chaque mode de transport aux prix et aux temps.

GRAPHIQUE 9.6. ELASTICITE DES PARTAGES MODAUX AU PRIX ET AU TEMPS



Pour augmenter la probabilité de choisir le transport ferroviaire ou combiné, il existe deux manières de procéder : augmenter le prix ou le temps du transport routier ou diminuer le prix ou le temps du transport ferroviaire combiné. Par exemple, si le prix de transport routier augmente de 1% , la probabilité de choisir le transport ferroviaire ou combiné va augmenter de 0,36%. D'autre part, si le prix du transport ferroviaire ou combiné diminue de 1%, la probabilité de choisir le fer ou le transport combiné va augmenter de 1,3% ou 1.7%. En ce qui concerne les rôles du temps de transport dans la probabilité de choix, le temps ferroviaire ou combiné s'avère aussi le facteur le plus important du choix modal.

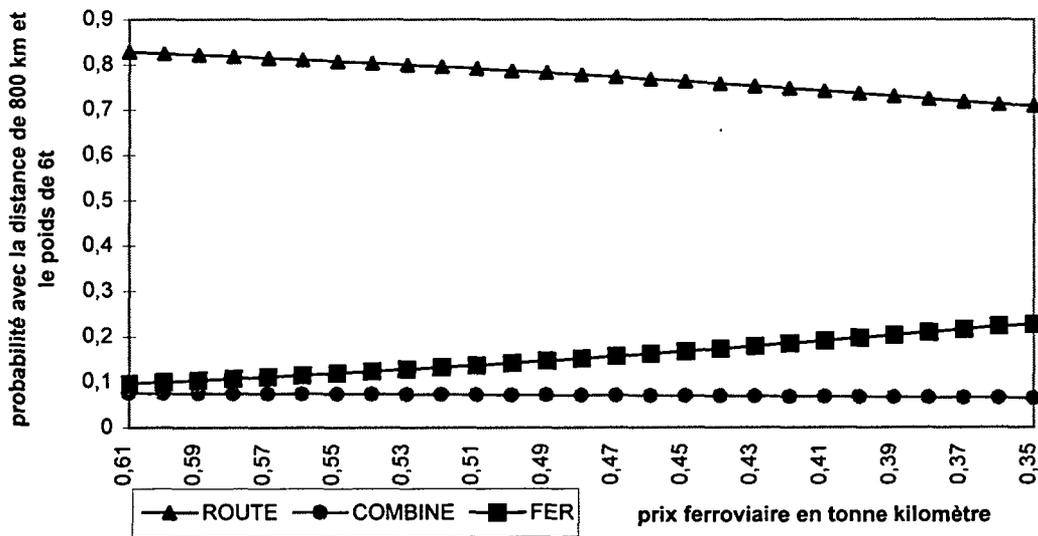
Ainsi, les effets d'une augmentation de 1% du prix ou du temps de transport routier sur la probabilité de choisir le fer ou le transport sont moins efficaces que celles d'une diminution de 1% du prix ou du temps de transport ferroviaire ou combiné. On voit donc que pour augmenter les probabilités de choisir le fer ou le transport combiné, le mieux est de diminuer le prix ferroviaire ou combiné.

#### 9.4. Les Effets de Temps et de Prix sur le choix modal

Pour étudier les effets de temps et de prix de transport, un moyen est d'analyser les évolutions des probabilités de choix avec les temps et les prix. Si l'on modifie seulement la valeur d'une variable explicative (temps ou prix) pour une alternative (route ou fer), la direction de changement des probabilités prévue sera prévisible : la probabilité prévue pour l'alternative dont une variable est changée, changera dans une direction et toutes les autres probabilités prévues pour les autres alternatives changeront dans la direction opposée. Bien sûr, l'on peut modifier à la fois toutes les variables explicatives ou l'une après l'autre.

Le graphique ci-dessous représente l'évolution des probabilités de choix pour un envoi dont la distance de transport et le poids sont de 800 km et de 6 tonnes lorsque le prix de ferroviaire diminue progressivement de 0,61 FF/txkm à 0,35 FF/txkm et pour des prix routier et combiné qui restent à 0,53 FF/txkm et 0,58 FF/txkm. Dans ce cas, la probabilité de choisir le fer passe de 10 % à 23%.

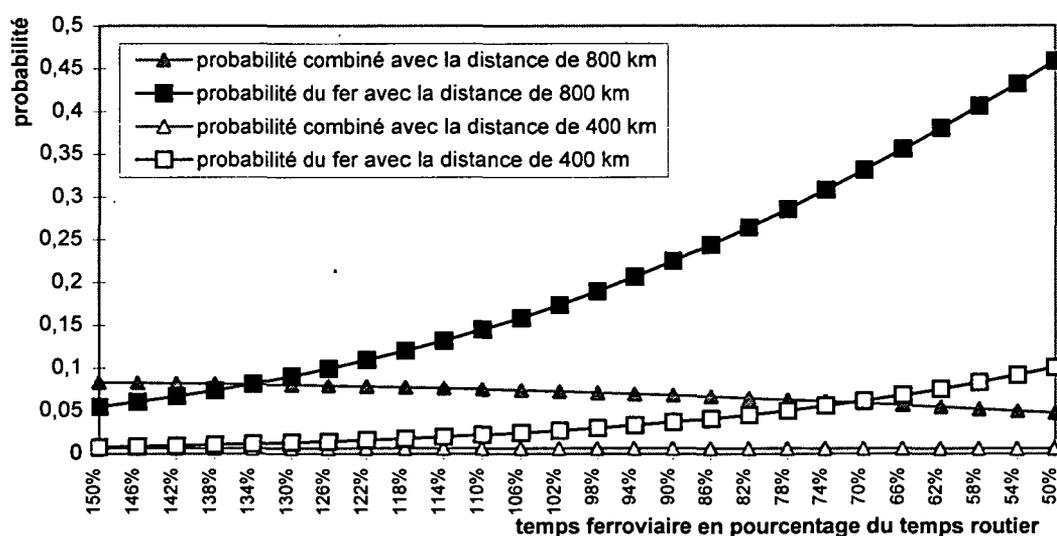
GRAPHIQUE 9.7. EFFETS DU PRIX FERROVIAIRE  
SUR LA PROBABILITE DE CHOIX



Si sur une même axe de transport, on peut accéder aux trois modes de transport et si le niveau des prix est le même, on peut étudier les effets du temps de transport sur le partage modal sur cet axe. On suppose que les temps de transport routier et combiné sont fixés, le graphique 9.8 représente l'évolution de la probabilité de choix pour le fer et le combiné lorsque le temps de transport ferroviaire diminue progressivement de 150% à 50% du temps de transport routier. On a considéré une distance de transport de 400 km ou de 800 km. Si les prix sont identiques pour les trois modes, et si le temps de transport ferroviaire est identique au temps du transport routier (100%), la probabilité de choisir le fer est de 18% pour une distance de 800 km et de 2% pour une distance de 400 km. Si le temps de transport ferroviaire diminue jusqu'à 80% du temps de transport routier, la probabilité de choisir le fer va augmenter jusqu'à 27% (800 km) et 5% (400 km).

**GRAPHIQUE 9.8. EFFETS DU TEMPS FERROVIAIRE**

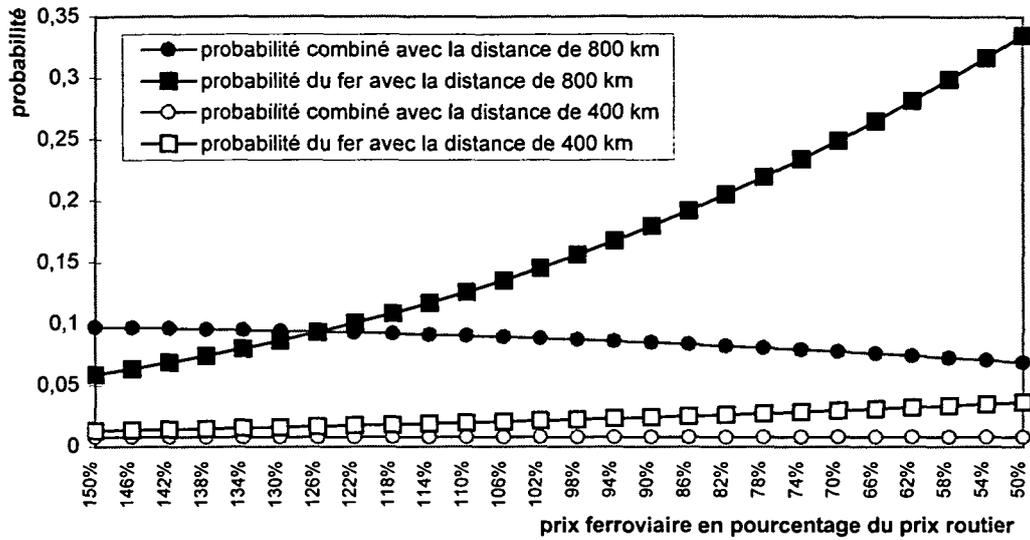
EN POURCENTAGE DU TEMPS ROUTIER SUR LA PROBABILITE DE CHOIX



D'autre part, si le niveau du temps de transport est le même, on peut étudier les effets du prix de transport sur le partage modal de cet axe. On suppose aussi que le prix du transport routier est fixé, le graphique suivant reproduit l'évolution de la probabilité de choix pour le fer et le combiné lorsque le prix de transport ferroviaire diminue progressivement en pourcentage du prix de transport routier. On voit que pour le transport à courte distance, les effets du prix de transport ne sont pas très importants.

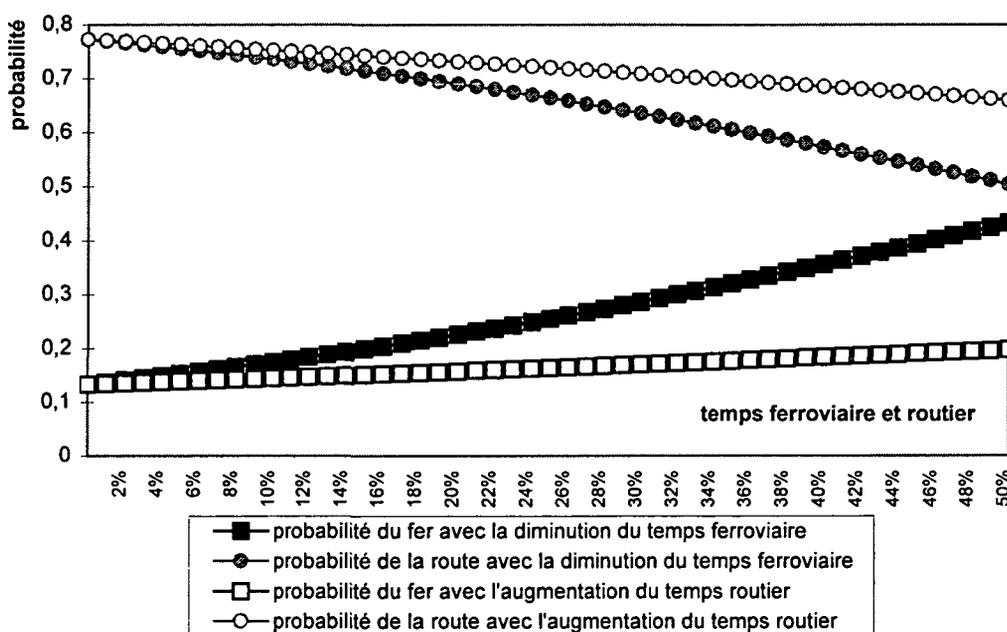
**GRAPHIQUE 9.9. EFFETS DU PRIX FERROVIAIRE**

EN POURCENTAGE DU PRIX ROUTIER SUR LA PROBABILITE DE CHOIX



On peut aussi comparer les effets des temps ou prix ferroviaire et routier sur la probabilité de choix. Par exemple, en supposant que les prix de transport sont fixés, on fixe tout d'abord le temps du transport routier, et on diminue le temps du transport ferroviaire progressivement en %. Ensuite, l'on fixe le temps du transport ferroviaire, et on augmente progressivement le temps du transport routier en %. Le graphique suivant représente les évolutions des probabilités de choisir le transport ferroviaire et routier correspondantes aux deux cas énoncés ci-dessus. Sur ce graphique, le temps de transport ferroviaire diminue de 1 % à 50%, et la probabilité de choisir le fer augmente de 13% à 43%. D'autre part, le temps de transport routier augmente de 1% à 50% et la probabilité de choisir le fer augmente de 13% à 20%. On voit donc que les effets du temps ferroviaire sur la probabilité de choix sont plus forts que ceux du temps routier.

**GRAPHIQUE 9.10. EFFETS DES TEMPS FERROVIAIRE  
ET ROUTIER SUR LA PROBABILITE DE CHOIX**



## 9.5. Valeur du Temps et Choix modal

### 9.5.1. valeur du temps moyenne

Pour calculer les valeurs du temps, on a utilisé les modèles conditionnels binaire et multinomial. Le tableau suivant représente les résultats des valeurs du temps moyennes pour trois modes. Les résultats des trois premières lignes proviennent du modèle 1 qui inclue des paramètres différents pour le temps et le prix de modes différents (cf. tableaux 7 et 8 du chapitre 7). Les résultats pour l'ensemble des modes (quatrième ligne) sont ceux du modèle 2 qui possède les mêmes paramètres de temps et de prix pour chaque mode. La deuxième colonne représente la valeur du temps par heure et par envoi, la quatrième colonne représente la valeur du temps par heure et par tonne. L'unité de valeur du temps est le franc français en 1988.

**TABLEAU 9.3. VALEUR DU TEMPS MOYENNES EN 1988**

Modes	VDT par heure par envoi		Poids moyen(T)	VDT par heure par tonne	
	deux modes	trois modes		deux modes	trois modes
<b>ferroviaire</b>	143	148	31,973	4	5
<b>routière</b>	158	172	5,100	31	34
<b>transport combiné</b>		128	4,335		30
<b>ensemble</b>	143	154	6,566	22	23

Pour établir une comparaison avec d'autres estimations, on transforme tout d'abord les valeurs du temps en franc 1988 aux valeurs du temps en franc 1996. Selon l'indice des prix à la consommation de l'INSEE, le taux moyen annuel d'augmentation du prix est de 2.8%, le tableau ci-dessous reproduit les résultats en 1996 :

TABLEAU 9.4. VALEUR DU TEMPS MOYENNES EN 1996

Modes	VDT par heure par envoi		Poids	VDT par heure par tonne	
	deux modes	trois modes	moyen(T)	deux modes	trois modes
ferroviaire	175	181	31,973	5	6
routière	194	210	5,100	38	41
transport combiné		157	4,335		36
ensemble	175	188	6,566	27	29

On peut donc comparer les résultats de cette recherche avec les résultats d'autres études étrangères ou menées en France. Le tableau ci-dessous présente les résultats des autres études. Pour la valeur du temps du transport routier, en France on dispose à ce jour de trois études sur la valeur du temps marchandises dont la valeur tutélaire. Cela étant, il est difficile de comparer entre elles ces valeurs car elles sont toutes par envoi et l'on ne connaît pas le poids moyen de ceux-ci. En ce qui concerne la valeur du temps du transport ferroviaire, en France il n'existe pas d'autres études sur le sujet jusqu'à présent.

TABLEAU 9.4. COMPARAISON DES VALEUR DU TEMPS ENTRE DES PAYS

Pays	Auteurs	Année	VDT par H.E	VDT par H.T
			ROUTE	FER
Suède	Widert & Bradley	1992	40	0,2
Norvège	Fridstrom, Madslie	1994	30	
Danemark	Fosgerau	1996	180-410	
Pays-Bas	De Jong, Gommers, Klooster	1992	250	5
Pays-Bas	De Jong, van de Vyvere, Inwood	1995	230-250	
Allemagne	De Jong, van de Vyvere, Inwood	1995	190	
R.U.	De Jong, van de Vyvere, Inwood	1995	210-270	
R.U.	Fowkes, Nash, Tweddle	1991		0,5-7,5
USA	Vieira	1992		4
France	De Jong, van de Vyvere, Inwood	1995	200	
France	valeur tutélaire	1994	195	
France	Wynter	1994	420-840	

source : De Jong, G. (1997)

Généralement, la valeur du temps routier est beaucoup plus grande que celle du mode ferroviaire, la valeur du temps du transport combiné est moins mais très proche à celle du transport routier. Par la valeur du temps en heure et en envoi, les résultats de cette recherche

sont pareils avec ceux des autres études sauf que le résultats de Wynter est beaucoup plus forte que les autres.

### 9.5.2. Valeur du temps de Chargeurs différents

Comme on le sait, la valeur du temps dépend des caractéristiques socio-économiques des chargeurs, des chargeurs différents ont des besoins différents en termes de délais d'acheminement par exemple, et ont donc une évaluation monétaire différente des temps de transport. Ainsi, l'on peut regrouper les chargeurs ou les envois selon leurs caractéristiques logistiques propres et calculer séparément leur valeur du temps pour chaque groupe logistique. La méthode utilisée consiste à établir un modèle logit binaire pour chaque groupe, les résultats sont présentés dans le tableau qui suit.

**TABLEAU 9.5. DISTRIBUTION DES VALEURS DU TEMPS SELON  
LES CARACTERISTIQUES DES CHARGEURS**

Variable	VDT par heure x envoi			VDT par heure x tonne			poids moyen d'envoi		
	total	route	fer	total	route	fer	total	route	fer
colis	105	42	3	76	32	1	1,4	1,3	3,1
usines	205	316	44	27	56	1	7,5	5,7	42,4
magasins destinataire	56	41	13	22	15	12	2,5	2,7	1,0
envoi à Paris	171	125	45	52	36	16	3,3	3,4	2,8
établissement mondial	159	182	10	20	27	0,4	7,9	6,7	23,5
accès au fer	120	369	35	8	36	0,5	15,6	10,2	71,2
produit chimique	194	119	236	29	18	13	6,6	6,7	18,7
métallurgie	267	385	186	6	38	1	43,7	10,1	201,7
machines	265			154			1,7	1,8	0,6
manufacturé	159	46	4	58	16	13	2,7	3,0	0,3

Dans ce tableau, la deuxième colonne représente la valeur du temps par heure et par envoi. La troisième colonne représente la valeur du temps par heure et par tonne et par mode de transport. Si un envoi destiné à Paris est compris dans un lot, la valeur du temps pour les deux modes est de 52 FF/heure/tonne, si l'on utilise le transport ferroviaire, la valeur du temps est de 16 FF/heure/tonne, sinon, la valeur du temps pour les envois par la route est de 36 FF/heure/tonne. La quatrième colonne représente la valeur moyenne du poids d'envoi pour chaque mode et l'ensemble des modes.

Les machine et articles possèdent les valeur du temps la plus forte par rapport à tous les autres groupes. Ensuite, les colis, les autres produits manufacturé et les envoi à Paris ont aussi l'exigence de temps forte. Les valeurs du temps des chargeurs les chargeurs qui sont situés à proximité d'infrastructures ferroviaires et les produit métallurgique possèdent la

valeur du temps la plus faible. D'autre part, on peut voir que les valeur du temps des usines est supérieure à celle des magasins.

En distinguant les valeurs du temps entre transport ferroviaire et routier, l'on peut analyser la relation entre valeur du temps et choix modal. Pour les colis, les usines, les entreprises mondiales, les produits métallurgiques et les chargeurs ayant un accès à l'infrastructure ferroviaire, si l'on utilise le transport ferroviaire, la valeur du temps est très petite. On peut l'expliquer comme suit : les gros envois sont généralement transportés par fer et n'ont pas d'exigence urgente en ce qui concerne le temps de transport, si on les transporte par la route, cela signifiera que les chargeurs sont très pressés.

En revanche, pour les magasins, les envois destinés à Paris, les produits chimiques et les autres produits manufactures, la valeur du temps moyenne sont relativement faible par rapport les autres groupes, en particulière, la valeur du temps pour le transport ferroviaire est proche de celle routier, c'est pourquoi le transport ferroviaire peut tenir une place relativement important dans le transport de ces groupes, car le transport ferroviaire peut fournir le service qu'on en a besoin.

### 9.5.3. Les Effets des Facteurs Logistiques (variables continues)

L'on peut maintenant analyser les effets des variables continues sur les valeurs du temps. Cinq variables continues sont utilisées : la distance, le poids d'envoi, la densité de valeur, la fréquence et la taille d'établissement. Pour analyser les relations entre la valeur du temps et ces facteurs, avec le modèle logit binaire, on modélise le choix modal entre le fer et la route en changeant respectivement les intervalles de valeurs de ces variables et on calcule les valeurs du temps correspondantes, les résultats sont présentés dans le tableau ci-après :

TABLEAU 9.6 DISTRIBUTION DES VALEURS DU TEMPS SELON DES VARIABLES CONTINUES

Distance		Poids d'envoi		Fréquence		Taille d'établissement	
zones	VDT	zones	VDT	zones	VDT	zones	VDT
D<500	113	P<80	29	F<4000	157	T<40	58
D<700	230	80<P<400	36	4000<F<18000	276	40<T<120	163
D<1000	180	350<P<900	69	F>17000	33	T>90	249
		P>850	391				

A partir de ces résultats, l'on peut émettre des hypothèses sur la forme mathématique des relations entre valeur du temps et variables logistiques continues.

## *distance*

Dans le tableau ci-dessus, en général, la valeur du temps augmente avec la distance de transport et atteint une valeur maximum, pour diminuer ensuite progressivement. Ainsi, pour étudier l'évolution de la valeur du temps avec la distance de transport, on suppose que dans la fonction d'utilité le coefficient du temps de transport est une fonction de la distance et prend la forme suivante :

$$f(D) = c * D * \exp(-D^\alpha) \quad (9.05)$$

La fonction d'utilité des chargeurs peut donc être écrite par l'équation suivante où T et P représentent respectivement le temps de transport et le prix de transport :

$$U = C + f(D) * T + \beta * P \quad (9.06)$$

Dans ce cas, la valeur du temps est calculée par:

$$VDT = f(D) / \beta \quad (9.07)$$

En faisant des hypothèses différentes sur l'indice exposant  $\alpha$ , on estime un modèle logit binaire pour trouver une fonction de la VDT satisfaisante :

$$P(i) = \frac{\exp(c + f(D) * T_i + \beta * P_i)}{1 + \exp(c + f(D) * T_i + \beta * P_i)} \quad (9.08)$$

Grâce à l'estimation de ce modèle, une fonction satisfaisante de la VOT est trouvée :

$$VDT(D) = 53,525061 * D * \exp(-D^{1/4}) \quad (9.09)$$

Le graphique suivant représente l'évolution de la valeur du temps avec une distance de transport comprise entre 20 km et 2000 km. Avec l'augmentation de la distance, les valeurs du temps augmentent jusqu'à la valeur maximum de 251 FF/heure/envoi, lorsque la distance de transport est de 260 km. Ensuite, ces valeurs du temps diminuent progressivement. On peut expliquer cette évolution par les facteurs suivants : si la distance est trop courte ou trop longue, le temps de transport est lui aussi trop court ou trop long, dans ces deux cas, la réduction d'une heure du temps de transport n'est pas importante. Si la distance d'un envoi est de 100 km, on prévoit qu'il arrive à destination dans la même journée (dans un intervalle de

six heures), on ne pourra donc pas apprécier une réduction du temps de transport dans un intervalle de temps entre trois heures ou quatre heures. D'autre part, si la distance d'un envoi est de 2000 km, la durée de transport est donc prévue en jours et est relativement longue, une heure de réduction est moins importante que pour le transport à courte distance.

GRAPHIQUE 9.11. EFFETS DE LA DISTANCE SUR LA VDT



### taille d'envoi

Normalement, plus gros est l'envoi et plus importante est la valeur du temps car les effets d'un envoi massif sur la production et la consommation sont plus forts que ceux d'envois plus petits. La diminution de la durée de transport pour un envoi massif est plus significative que pour un envoi de petit taille. On peut donc supposer que la fonction de la valeur du temps possède la forme suivante où  $W$  représente la taille d'envoi :

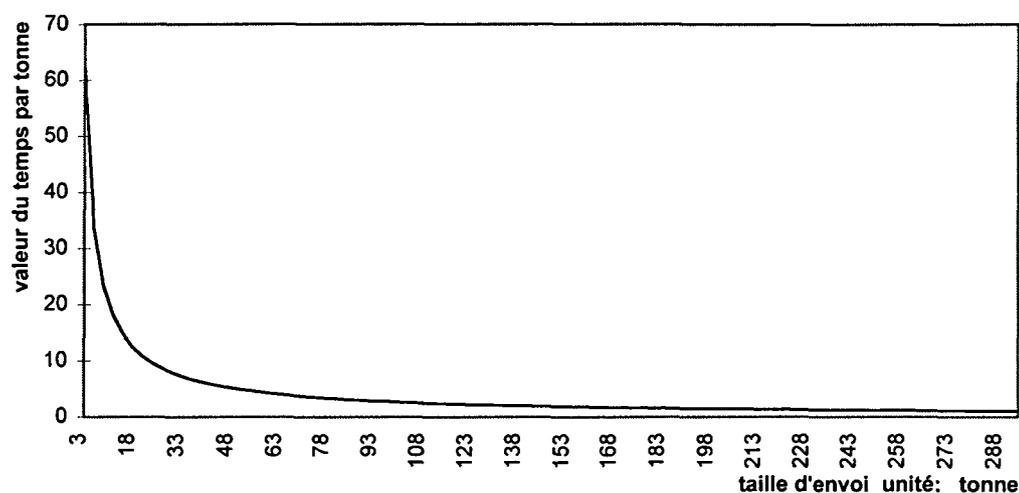
$$VDT(W) = c * W^\alpha$$

En estimant le modèle logit, l'on obtient :

$$VDT(W) = 84.5366 * W^{1/10}$$

Le graphique suivant représente l'évolution de la valeur du temps avec l'augmentation de la taille d'envoi comprise entre 30 kg et 300 tonnes. Pour un envoi de 30 tonnes, la valeur du temps est de 7,5 FF/tonne/heure, et 1 FF/tonne/envoi pour un envoi de 286 tonnes.

GRAPHIQUE 9.12. EFFETS DE LA TAILLE D'ENVOI SUR LA VDT



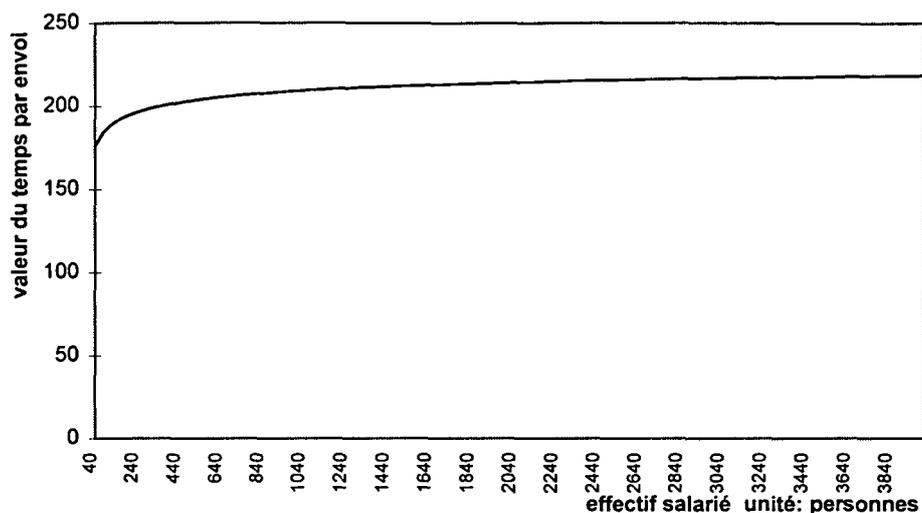
### *taille d'établissement*

Normalement, la valeur du temps augmente avec l'augmentation de la taille d'établissement. Pour les petites et moyennes entreprises, la valeur du temps est relativement petite car la logistique avancée n'est pas largement utilisée par ces établissements. Pour les grandes entreprises, la valeur du temps est plus grande en raison de l'utilisation de systèmes logistiques avancés, mais le taux d'augmentation de la valeur du temps va être de plus en plus petit avec la taille de l'établissement. Dans ce cas, la fonction de la valeur du temps est approchée par la forme suivante où N représente le nombre de salariés :

$$VDT(N) = 246.2202 * \frac{1}{1 + N^{-1/4}}$$

Le graphique ci-dessous représente l'évolution de la valeur du temps pour une taille d'établissement comprise entre 40 et 4000 personnes. Pour un établissement de 40 personnes, la valeur du temps est de 176 FF/envoi, et pour un établissement de 400 personnes la valeur du temps est de 201 FF/envoi. L'on s'aperçoit qu'à partir d'une certaine taille d'établissement, la valeur du temps ne se modifie que très peu.

GRAPHIQUE 9.12. EFFETS  
DE LA TAILLE D'ETABLISSEMENT SUR LA VDT



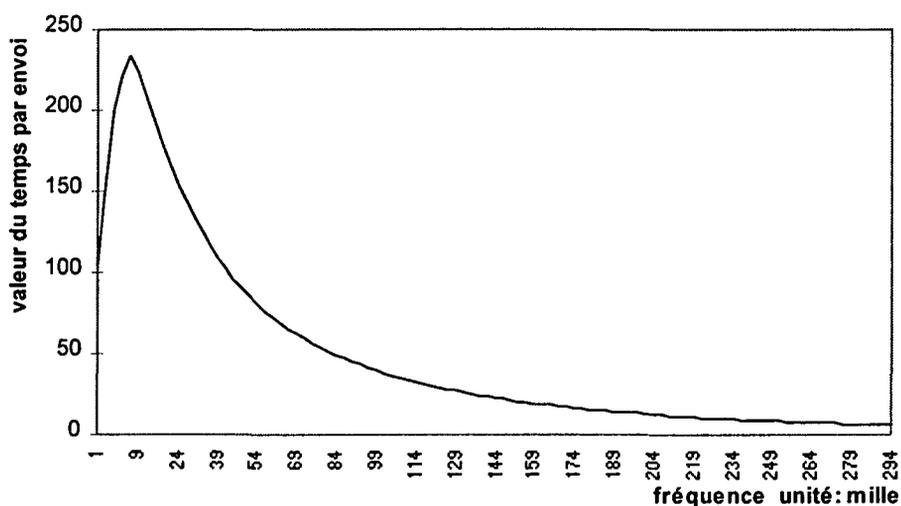
*fréquence*

La fréquence d'envoi est un des facteurs importants qui influence la valeur du temps des chargeurs. En règle générale une fréquence d'envois très faible signifie que l'on ne transporte pas régulièrement ce type d'envoi, la valeur du temps est donc petite. D'autre part, si la fréquence d'envois est trop grande, cela signifie que l'envoi est utilisé très régulièrement, la diminution de la durée de transport n'a donc pas de signification. La fonction de la valeur du temps est donc exprimée par l'équation suivante :

$$VDT(F) = 0.50385 * F^{3/2} * \exp(-F^{1/4.5})$$

Le graphique ci-dessous représente l'évolution de la valeur du temps pour une fréquence d'envois comprise entre 1000 envois et 300.000 envois annuels. Sur ce graphique, lorsque la fréquence d'envoi est de 6.000 envois annuel (soit environ 20 envois par jour), la valeur du temps possède atteint une valeur maximale de 233 FF/envoi Si la fréquence dépasse 6.000 envois, la valeur du temps diminue très rapidement avec l'augmentation de la fréquence. Pour des envois avec une fréquence de 40.000 envois annuel (soit 100 envois par jour), la valeur du temps est de 100 FF/envoi.

GRAPHIQUE 9.13. EFFETS DE LA FREQUENCE SUR LA VDT



### **Conclusion**

Ce chapitre a analysé la relation entre le comportement de choix modal et le temps et le prix de transport. Tout d'abord, pour accroître le partage modal en transport ferroviaire et combiné, la diminution du temps et du prix du transport ferroviaire ou combiné est plus efficace que l'augmentation du temps ou du prix du transport routier. De plus, on trouve que généralement, les influences du temps de transport sont plus fortes que celles du prix de transport. D'autre part, les évaluations monétaires des chargeurs sur le temps de transport peuvent aussi expliquer le comportement du choix modal. Généralement, les chargeurs qui possèdent une valeur du temps forte vont choisir le transport routier, par contre, les produits dont la valeur du temps est faible sont transportés par fer. En ce qui concerne la relation entre la valeur du temps et les variables logistiques continues, on constate qu'en général, l'augmentation de la distance de transport, de la taille d'envoi ou de la fréquence, diminue la valeur du temps par heure et par tonne. Si la distance est aux environs de 300 km, ou la fréquence de 20 envois par jour, la valeur du temps du chargeur est alors maximale.

## CHAPITRE 10 PERSPECTIVES DU CHOIX MODAL

Bien que la politique des transports concerne tous les modes de transport, il est clair que le développement du transport ferroviaire en constitue un élément essentiel. Un des objectifs premiers de cette politique des transports est le transfert du trafic de la route au rail. Cependant, le développement du transport de fret ferroviaire depuis ces vingt dernières années est en contraste fort avec les ambitions des autorités nationales et internationales. En effet, le transport ferroviaire devrait jouer un rôle important dans une économie soutenable. Particulièrement dans le cadre du transport de fret à l'international, segment qui connaît la croissance la plus rapide, le transport ferroviaire doit être le mode du futur. La tendance unilatérale vers toujours plus de transport par route doit donc être infléchie.

### 10.1. Développement des Facteurs Logistiques depuis 1988

Le tableau suivant représente les valeurs moyennes des facteurs logistiques les plus importants en 1988 selon l'enquête auprès des chargeurs pour chaque type de marchandise (les distances moyennes sont celles données par SITRA-M) et pour le choix entre la route, le fer et le transport combiné:

TABLEAU 10.1 VALEURS MOYENNES DES VARIABLES LOGISTIQUES EN 1988

Variables	alimentaire	chimie	matériel de transport	machines	verre et porcelaine	article manufacturé	TOTAL
distance (km)	242	299	259	245	283	227	147
poids d'envoi (kg)	7550	6906	6549	1802	11063	2887	6895
fréquence	14240	12055	3968	4788	3226	11811	8707
effectif salarié	301	283	654	287	312	249	314
wagon propre	0,12	2,84	0,18	0,01	0,26	0,00	0,50
entrepôt	6,7%	4,9%	2,0%	4,0%	0,0%	5,2%	4,7%
fer destinataire	18,1%	18,3%	23,0%	12,3%	18,2%	8,8%	15,6%
fer chargeurs	39,9%	30,5%	25,0%	22,6%	48,1%	15,2%	29,3%
information	4,1%	12,2%	14,2%	7,6%	11,7%	5,8%	8,0%
envoi à l'étranger	3,1%	15,2%	9,5%	6,1%	11,7%	7,5%	8,3%
palettes	25,9%	23,8%	12,2%	15,3%	62,3%	16,7%	20,8%

Par exemple, en 1988, pour les produits agricoles et animaux vivants, la distance moyenne s'établit à 242 km, la taille d'envoi moyenne à 7,5 tonnes, et le nombre de wagons en propre à 0.12 en moyenne pour chaque chargeur. D'autre part, 6.7% des entreprises sont des entrepôts ou possèdent un entrepôt, 39.9% des entreprises ont pu accéder directement à

l'infrastructure ferroviaire, et 4.1% des destinataires peuvent accéder directement au fer. Enfin 25.9% des envois sont conditionnés en palettes, et 3.1% des envois étaient destinés à l'étranger.

En ce qui concerne les valeurs des facteurs d'offre, le tableau suivant reproduit les résultats du temps et du prix de transport. Ces valeurs sont calculé par les équations d'estimation dans chapitre 5. Les trois premières lignes correspondent aux prix à la tonne kilomètre, et les dernières lignes aux vitesses commerciales moyens des trajets (de port à port) pour chaque mode de transport.

**TABLEAU 10.2 VALEURS MOYENNES DES FACTEURS D'OFFRE EN 1988**

Variable	<i>francs et heures</i>						TOTAL
	alimentaire	chimie	matériel de transport	machines	verre et porcelaine	article manufacturé	
prix routier	0,97	0,78	1,01	1,67	0,67	1,32	1,00
prix ferroviaire	0,44	0,31	0,38	1,99	0,25	0,94	0,37
prix combiné	0,48	0,34	0,42	2,19	0,28	1,03	0,41
vitesse routier	16,43	17,20	16,45	16,24	17,52	16,72	16,79
vitesse ferroviaire	14,59	15,27	14,66	14,78	15,41	15,08	14,98
vitesse combiné	16,05	16,80	16,12	16,26	16,95	16,59	16,48

Mais comme déjà mentionné, depuis les années 80, le système logistique s'est beaucoup développé, ce qui a conduit à de nouvelles exigences en matière de transport. Le développement logistique le plus important concerne la diminution des stockages dans les usines des clients. L'introduction de systèmes d'informations permet de diminuer les stocks en produisant sur mesure. Cette production sur mesure concerne aussi bien les produits à haute qu'à faible valeur ajoutée ce qui conduit à une diminution du nombre des entrepôts. La diminution du stockage amène des tailles d'envois plus réduites ; la taille moyenne d'expédition a ainsi diminué depuis dix ans surtout en transport ferroviaire. Il est courant actuellement que les envois soient conditionnés sous forme de palettes ou de colis. Ceci signifie que le nombre d'expéditions a augmenté. La position concurrentielle du rail est donc mis en danger par ces développements.

Par exemple, dans le secteur des matériels de transport, l'industrie automobile est passée par une réorganisation totale. Un changement de la production en série à la « production maigre » a été constaté. Le nombre de centres de distribution est réduit au minimum, et la taille d'expédition est également diminuée, car les voitures sont seulement produites si une commande est enregistrée. En ce qui concerne le secteur des machines, le « sourcing » des approvisionnements sur une base de juste à temps a réduit les tailles moyennes d'expédition.

Dans ce secteur, la plupart du fret est palettisé, bien que des équipements plus grands exigent des conditionnements plus spécialisés.

D'autre part, le temps entre la commande des produits et la réception des produits devient de plus en plus court. C'est non seulement vrai pour les produits à valeur élevée, les produits à haute technicité, mais également pour l'alimentation. La raison en est que les procédures de production des clients sont des processus de "juste à temps" et donc que les temps de livraison sont contraints. En général la route est le mode le plus approprié pour offrir ce type de prestation, mais un transfert au mode ferroviaire ou combiné est possible si le temps de transport diminue et si le nombre de destinations augmente (plus de terminaux, plus rapides pour se connecter). En outre il existe également des barrières opérationnelles à ce transfert comme le manque de trains, de wagons, etc..

Par exemple, dans le secteur des produits chimiques, le transport ferroviaire est concurrentiel par rapport aux autres modes de transport. Cependant, ces dernières années, une priorité beaucoup plus grande que le prix de transport a été accordée à la vitesse, à la fréquence et à la fiabilité de la livraison. Pour la chaîne d'approvisionnements, le juste à temps (JAT) a été appliqué à la distribution des produits chimiques spéciaux avec une valeur ajoutée plus élevée. Par ailleurs, le secteur des machines est un secteur dans lequel le principe du JAT a été aussi largement diffusé, les sociétés ont été amenées à réduire les délais de commande et à fournir des livraisons plus rapides et plus fiables à leurs clients.

En ce qui concerne le prix de transport, depuis ces dix dernières années, des améliorations en matière de conception et d'efficacité des camions ont été constatées, améliorations qui ont eu pour conséquence de réduire les coûts du transport routier par tonne kilomètre. A contrario, les tarifs du transport ferroviaire ont considérablement augmenté.

Selon les analyses développées ci-dessus, on a supposé les changements annuels suivants des principaux facteurs logistiques depuis 1988 :

TABLEAU 10.3 EVOLUTION DES FACTEURS LOGISTIQUES SUR LA PERIODE 1988-1996

*taux de croissance annuel moyen 1988-1996*

Taille d'Envoi			Prix			Vitesse commerciale			
Total	route	fer	combiné	route	fer	combiné	route	fer	combiné
-1%		-3%	0%	-1%	1%	0.5%	4%	0.5%	3%

Ainsi, selon ces hypothèses, le tableau 10.4 représente la taille d'envoi moyen (kg) pour chaque mode de transport. Le tableau 10.5 reproduit les valeurs moyennes des facteurs logistiques en 1996; l'ajustement des valeurs de la distance de transport et du nombre d'envois destinés à l'étranger est calculé à partir de la source SITRA-M pour l'année 1996.

TABLEAU 10.4 TAILLE MOYENNE D'ENVOI EN 1996

Variables	alimentaire	chimie	matériel de transport	machines	verre et porcelaine	article manufacturé	TOTAL
route	6391	6703	5346	1832	10617	2954	5100
fer	15782	11360	14992	521	20655	3211	16546
combiné	5432	5698	4544	1557	9024	2511	4335
<b>TOTAL</b>	6418	5870	5567	1532	9404	2654	5861

TABLEAU 10.5 VALEURS MOYENNES DES FACTEURS LOGISTIQUES EN 1996

Variables	alimentaire	chimie	matériel de transport	machines	verre et porcelaine	article manufacturé	TOTAL
prix routier	0,90	0,72	0,93	1,54	0,62	1,22	0,93
prix ferroviaire	0,48	0,34	0,42	2,19	0,28	1,03	0,41
prix combiné	0,50	0,36	0,44	2,30	0,29	1,09	0,43
vitesse routier	21,4	22,4	21,4	21,1	22,8	21,7	21,8
vitesse ferroviaire	15,3	16,0	15,4	15,5	16,2	15,8	15,7
vitesse combiné	19,3	20,2	19,3	19,5	20,3	19,9	19,8
distance	207	253	241	229	239	214	136
envoi à l'étranger	3.1%	27.2%	6.5%	10.1%	7.7%	7.5%	8.3%

## 10.2. Mise en oeuvre du Modèle en 1996

L'utilisation du modèle marchandises est plus difficile et plus compliquée qu'en transport de voyageurs. Une chose importante consiste à transformer les probabilités en envois et donc les élasticités en envois, en probabilités et élasticités en tonnes ou tonnes kilomètres.

### 10.2.1. Calibrage du modèle pour l'année 1996

Avec toutes ces hypothèses faites sur les facteurs logistiques, on prévoit le partage modal en 1996 avec le modèle conditionnel, le tableau suivante compare les résultats de cette prévision avec les résultats issus de SITRA-M:

Sur ce tableau on constate que le modèle sous estime le partage modal en tonne kilomètre pour les produits chimiques, les matériels de transport et les machines. En ce qui

concerne les erreurs de prévision, l'erreur maximale de prévision en tonnes est d'environ 3% pour les verres et porcelaines, et l'erreur maximale de prévision en tonnes kilomètres avoisine les 4% pour les produits chimique. Quant à la prévision directe pour tous les produits, la prévision est très proche des résultats de SITRA-M.

TABLEAU 10.6 MISE EN ŒUVRE DU MODELE EN 1996

	Partage en tonne				Partage en tonne kilomètre			
	Route		Fer	Combiné	Route		Fer	Combiné
	modèle	sitram			modèle	sitram		
<b>alimentaire</b>	94,2%	93,6%	5,0%	0,8%	86,2%	86,0%	10,9%	3,0%
<b>chimie</b>	94,5%	95,7%	4,3%	1,2%	90,0%	93,9%	5,9%	4,1%
<b>matériel de transport</b>	92,5%	93,5%	6,4%	1,1%	84,3%	86,0%	13,7%	1,9%
<b>machines</b>	98,7%	99,3%	0,5%	0,8%	96,7%	98,4%	1,1%	2,2%
<b>verre et porcelaine</b>	94,2%	91,3%	4,7%	1,1%	88,4%	86,0%	7,5%	4,1%
<b>article manufacturé</b>	96,8%	95,4%	2,3%	0,9%	89,7%	87,2%	6,4%	3,9%
<b>TOTAL</b>	92,8%	92,0%	6,5%	0,7%	79,7%	79,9%	16,1%	4,1%

En ce qui concerne le transport combiné, selon la SNCF, en 1996, le part de marché du transport combiné est aujourd'hui d'environ 6% sur les flux à plus de 150 km, la base de comparaison comporte les trafics intérieur, importation et d'exportation et de transit. Dans cette recherche, à cause de l'échantillon de l'enquête auprès de chargeur, seulement les trafics intérieur et des exportation sont considéré.

### 10.2.2. Elasticités

A parti de ces résultats de prévision, on peut calculer les élasticités correspondantes de chaque mode de transport aux facteurs logistiques. Tout d'abord, on a calculé les élasticités des probabilités de choix au temps et au prix de transport. Comme l'on a mentionné dans la chapitre 9, les effets sur le choix modal du temps de transport sont généralement beaucoup plus forts que ceux du prix de transport, et les effets du temps et du prix ferroviaire sont plus forts que celui du temps et du prix routier.

Tableau 7 présente les élasticité du partage modal routier au prix et au temps de le transport. Une augmentation d'1% du temps routier va faire baisser de 0,05% la part de la route, a contrario une diminution d'1% du temps ferroviaire fera décroître de 0.18% la part de la route. On voit que l'effet de l'augmentation du temps routier est moins fort que l'effet de la diminution du temps ferroviaire. D'autre part, il apparaît que l'influence du prix du transport combiné sur le partage modal routier est très faible

TABLEAU 10.7 ELASTICITES DU TRAFIC ROUTIER AUX FACTEURS DE DEMANDE

Produits	prix routier	prix ferroviaire	prix combiné	temps routier	temps ferroviaire	temps combiné
alimentaire	-0.04	0.06	0.01	-0.06	0.21	0.02
chimie	-0.02	0.03	0.00	-0.04	0.13	0.03
matériel de transport	-0.05	0.07	0.00	-0.08	0.30	0.00
machines	0.00	0.01	0.00	-0.01	0.02	0.01
verre et porcelaine	-0.03	0.05	0.00	-0.04	0.16	0.00
article manufacturé	-0.01	0.03	0.00	-0.04	0.13	0.01
<b>TOTAL</b>	<b>-0.03</b>	<b>0.05</b>	<b>0.00</b>	<b>-0.05</b>	<b>0.18</b>	<b>0.01</b>

Tableau 8 présente les élasticités du partage modal ferroviaire au temps et au prix de transport. Pour le transport ferroviaire, comme pour le transport routier, l'effet de l'augmentation du temps routier est moins fort que l'effet de la diminution du temps ferroviaire. Une diminution d'1% du temps ferroviaire va faire augmenter de 0.74% le trafic ferroviaire, par contre, une croissance de 1% du temps routier produira 0.2% de croissance du trafic ferroviaire.

TABLEAU 10.8 ELASTICITES DU TRAFIC FERROVIAIRE  
AUX FACTEURS DE DEMANDE

Produits	prix routier	prix ferroviaire	prix combiné	temps routier	temps ferroviaire	temps combiné
alimentaire	0.22	-0.39	0.01	0.33	-1.24	0.02
chimie	0.21	-0.33	0.00	0.41	-1.55	0.03
matériel de transport	0.22	-0.32	0.00	0.37	-1.37	0.00
machines	0.12	-0.54	0.00	0.43	-1.56	0.01
verre et porcelaine	0.27	-0.40	0.00	0.38	-1.42	0.00
article manufacturé	0.13	-0.35	0.00	0.36	-1.32	0.01
<b>TOTAL</b>	<b>0.13</b>	<b>-0.19</b>	<b>0.00</b>	<b>0.20</b>	<b>-0.74</b>	<b>0.01</b>

Quant au transport combiné, le tableau 10.9 présente les élasticités du partage modal. C'est son temps et prix qui ont les effets les plus forts sur le choix en transport combiné (-0.33 et -1.30). Ensuite, c'est le prix et le temps du transport routier qui joue le deuxième rôle pour le partage modal du transport combiné.

TABLEAU 10.9 ELASTICITES DU TRAFIC COMBINE AUX FACTEURS DE DEMANDE

Produits	prix routier	prix ferroviaire	prix combiné	temps routier	temps ferroviaire	temps combiné
alimentaire	0.22	0.06	-0.63	0.33	0.21	-1.97
chimie	0.21	0.03	-0.49	0.41	0.13	-2.97
matériel de transport	0.22	0.07	-0.55	0.37	0.30	-2.55
machines	0.12	0.01	-0.76	0.43	0.02	-2.09
verre et porcelaine	0.27	0.05	-0.62	0.38	0.16	-2.93
article manufacturé	0.13	0.03	-0.54	0.36	0.13	-1.73
<b>TOTAL</b>	<b>0.13</b>	<b>0.05</b>	<b>-0.33</b>	<b>0.20</b>	<b>0.18</b>	<b>-1.30</b>

L'on a ensuite calculé les élasticités aux facteurs les plus importants de la demande. Les tableaux 10.10, 10.11 et 10.12 présentent respectivement les résultats pour le transport routier, ferroviaire et combiné.

Pour le transport routier, les trois facteurs les plus importants sont la distance de transport, la taille d'établissement et la destination internationale. Surtout pour les produits alimentaires et les matériels de transport, l'augmentation de la distance de transport diminue fortement le partage modal du transport routier. D'autre part, par rapport aux autres produits, les produits chimiques destinés à l'étranger sont très favorables au transport routier.

TABLEAU 10.10 ELASTICITES DU TRAFIC ROUTIER AU TEMPS ET AU PRIX

Produits	distance	effectifs	fer destinataire	fer chargeur	information	palettes	envoi à l'étranger
alimentaire	-0.23	-0.03	-0.03	-0.002	0.002	0.001	0.01
chimie	-0.17	-0.01	-0.02	-0.007	0.010	0.014	0.07
matériel de transport	-0.32	-0.07	-0.04	-0.007	0.010	0.014	0.04
machines	-0.03	0.00	0.00	-0.002	0.002	0.001	0.01
verre et porcelaine	-0.18	-0.02	-0.02	-0.020	0.017	0.024	0.02
article manufacturé	-0.15	-0.01	-0.01	-0.003	0.004	0.005	0.02
<b>TOTAL</b>	<b>-0.21</b>	<b>-0.04</b>	<b>-0.03</b>	<b>-0.016</b>	<b>0.015</b>	<b>0.018</b>	<b>0.05</b>

Pour le transport ferroviaire, les trois facteurs importants sont la distance de transport, la destination à l'international et le conditionnement en palettes. De plus, l'accessibilité directe au fer a des effets positifs importants sur le choix du transport ferroviaire surtout pour les produits NST9C. D'autre part, on constate que les grandes entreprises fabriquant des matériels de transport préfèrent choisir le transport ferroviaire.

TABLEAU 10.11 ELASTICITES DU TRAFIC FERROVIAIRE AU TEMPS ET AU PRIX

Produits	distance	poids	fréquence	effectifs	entrepôt	Dfer*	Cfer*	info*	palettes	inter*
alimentaire	1,27	0.01	0.02	0.14	0.05	0.15	0.12	-0.14	-0.12	-0.08
chimie	1,67	0.02	0.05	0.14	0.06	0.16	0.15	-0.21	-0.29	-0.75
matériel de transport	1,43	0.02	0.05	0.30	0.06	0.18	0.15	-0.21	-0.29	-0.16
machines	1,64	0.01	0.02	0.16	0.05	0.12	0.12	-0.14	-0.12	-0.30
verre	1,56	0.03	0.01	0.16	0.00	0.16	0.23	-0.20	-0.28	-0.21
manufacturé	1,41	0.01	0.05	0.13	0.06	0.08	0.08	-0.10	-0.13	-0.21
<b>TOTAL</b>	<b>0,78</b>	<b>0.02</b>	<b>0.03</b>	<b>0.14</b>	<b>0.05</b>	<b>0.12</b>	<b>0.14</b>	<b>-0.13</b>	<b>-0.16</b>	<b>-0.20</b>

\* Dfer : accessibilité ferroviaire destinataire

\* Cfer : accessibilité ferroviaire chargeur

\* info : système d'information

\* inter : envoi international

En ce qui concerne le transport combiné, les trois facteurs importants sont la distance, la taille d'envoi et la destination à l'étranger. On voit que pour les grands envois, le transport combiné est fortement déconseillé.

TABLEAU 10.12 ELASTICITES DU TRAFIC COMBINE AU TEMPS ET AU PRIX

Produits	distance	poids	fréquence	effectifs	DFER*	CFER*	INTER*	palettes
alimentaire	1.72	-0.16	0.02	0.14	0.15	0.12	-0.08	0.05
chimie	2.22	-0.60	0.05	0.14	0.16	0.15	-0.75	0.14
matériel de transport	1.95	-0.60	0.05	0.30	0.18	0.15	-0.16	0.14
machines	2.13	-0.16	0.02	0.16	0.12	0.12	-0.30	0.05
verre et porcelaine	2.07	-0.97	0.01	0.16	0.16	0.23	-0.21	0.15
article manufacturé	1.88	-0.25	0.05	0.13	0.08	0.08	-0.21	0.06
<b>TOTAL</b>	<b>1.08</b>	<b>-0.60</b>	<b>0.03</b>	<b>0.14</b>	<b>0.12</b>	<b>0.14</b>	<b>-0.20</b>	<b>0.10</b>

\* Dfer : accessibilité ferroviaire destinataire

\* Cfer : accessibilité ferroviaire chargeur

\* inter : envoi international

### 10.3. Perspectives du Partage Modal à l'avenir

Sur la base des élasticités précédemment calculées, on peut résumer les effets du développement du système logistique sur le choix modal. Tout d'abord, il existe des facteurs qui favorisent le transport ferroviaire et le transport combiné :

1. la concentration de la production et de la distribution, la concentration spatiale des stockages, la tendance à la sous-traitance et à l'internationalisation des entreprises vont modifier la distribution géographique des envois; ainsi que vont augmenter les distances de transport. L'extension du champ géographique d'action des entreprises au moins en Europe,

donne au fer et au transport combiné l'opportunité de trafics nouveaux (élasticités : 0.78 et 1.08).

2. la concentration de la production et de la distribution signifie une croissance de la taille des établissements et un changement de localisation des entreprises, cela influencera bien sûr le choix des modes de transport. D'une part, les grandes entreprises préfèrent choisir le transport ferroviaire pour des tailles d'envois plus grandes et des fréquences plus élevées (transports plus réguliers). D'autre part, si le développement de l'infrastructure ferroviaire permet aux entreprises d'accéder directement aux infrastructures ferroviaires, cela va favoriser le transport ferroviaire ou le transport combiné (élasticité : 0.14).

Enfin, avec le changement des systèmes logistiques, il existe d'autres aspects qui défavorisent le recours au transport ferroviaire et combiné :

1. Au fur et à mesure de l'Unification Européenne et de l'internationalisation des entreprises, il existera de plus en plus d'envois internationaux, et les systèmes d'informations interviendront de plus en plus dans la gestion logistique des flux. Dans ce cas, la plupart des entreprises choisiront plutôt le transport routier. La sous-traitance et les pratiques de flux tendus diminueront la taille des envois, ce qui devrait normalement favoriser le transport routier .

2. L'application d'une logique de flux tendus diminue d'une part la taille d'envoi, d'autre part, cette pratique influence aussi le conditionnement des envois. Ainsi plus d'envois seront expédiés en palettes. Tout cela devra favoriser le transport routier (élasticité : 0,018).

Cependant, bien qu'il existe pas mal de facteurs qui favorisent le transport combiné et ferroviaire, en comparant les résultats du partage modal en 1988 et en 1996, il devient évident qu'avec les développements logistiques, le fer a perdu progressivement des parts de marché et que le transport combiné en a conservé une part faible. De plus, on constate que le fer a même perdu des parts de marché en transport à longue distance surtout à l'international. En effet, pour de plus longues distances entre les terminaux, et pour la distribution de grands volumes de produits de base, le fer doit pouvoir se positionner.

Bien sûr, le déclin du transport ferroviaire est notable sur les marchés traditionnels (particulièrement les produits en vrac comme le charbon et l'acier) qui eux-mêmes ont été en

régression. Ensuite, la déréglementation du transport routier européen a exacerbé la concurrence entre modes et a encore renforcé les avantages de la route sur le rail.

Mais le déclin du secteur ferroviaire au cours des dernières années peut être principalement expliqué par le manque de qualité de service, comparée aux transports routiers. Même sur les marchés traditionnels, les processus de production ont également évolué, en particulier avec l'introduction du 'juste à temps' qui a exigé des moyens de transport plus rapides et plus souples. Le transport ferroviaire ne semble pas, à ce jour, avoir pu apporter des réponses satisfaisantes à ces problèmes, bien que sur quelques lignes il reste moins cher et que sa capacité soit plus grande que les modes concurrents. En général, le goulot d'étranglement du transport ferroviaire concerne le temps et le prix de transport, la fiabilité, la flexibilité et les aspects communication avec la clientèle, etc.. Par contre, les transports routiers peuvent fournir une bonne qualité de service sur tous ces aspects.

En effet, la grande majorité des mouvements de transport se font à courte distance, l'infrastructure ferroviaire a une capacité limitée et l'intermodalité ne permet pas d'offrir un service rentable. Dans ce cas, le transport ferroviaire risque d'entrer dans un cercle vicieux si il lui est impossible d'offrir une qualité de service équivalente à celle de la route. Les réductions de services régionaux fer peuvent réduire la circulation sur les liens principaux, ce qui induit une augmentation générale des coûts fixes pour le trafic restant et une spirale continue d'augmentations de prix et de trafics allant continûment en diminuant.

En ce qui concerne la perte de marché à l'international, une raison importante en est que les réseaux de transport européens sont insuffisamment intégrés et sont donc contraints par la congestion croissante.

Les chemins de fer se sont traditionnellement développés en se basant sur des lignes nationales depuis plus d'un siècle, ceci a entraîné des difficultés dans les opérations de passage des frontières en raison d'une logistique d'infrastructure trans-frontalière insuffisante. Des caractéristiques différentes de réseau ferré et de matériel technique entre pays signifie que des trains doivent être de temps en temps recomposés à la frontière des pays. Ceci conduit à un ralentissement des trajets de bout en bout, des conflits de responsabilité, une fiabilité basse et par conséquent une position de faiblesse vis à vis des transporteurs routiers. Bien que des progrès aient été enregistrés en levant les barrières nationales, un meilleur degré d'intégration est encore recherché. A contrario, en transport routier, les envois voyagent dans un véhicule

immédiatement prêt à franchir les frontières et est toujours occupé par une personne de départ à livraison, cela donne la responsabilité claire et bonne qualité de service.

Ainsi, à l'avenir, si les tendances logistiques actuelles se poursuivent, c'est-à-dire : l'internationalisation des entreprises, la généralisation du 'juste à temps' et la diminution des stockages, cela signifiera qu'il y aura de plus en plus d'envois internationaux avec plus d'exigences sur les critères de temps de transport, de fiabilité et de flexibilité, et de fait de plus en plus d'envois de faible taille. D'autre part, si le prix de transport routier continue de baisser et le prix du transport ferroviaire continue d'augmenter, alors la contribution apportée par le transport ferroviaire à la mobilité risque d'être réduite. Ainsi selon les hypothèses du SES sur les prix de transport en 2020, on peut donc construire le scénario logistique liberté suivant en 2020 :

TABLEAU 10.13 SCENARIO 'LIBERTE'

POUR L'EVOLUTION DES FACTEURS DE DEMANDE ET D'OFFRE EN 2020

	Total	Route	Fer	Combiné
Distance	12%	10%	10%	30%
Taille d'envoi	0%	0%	-30%	10%
Prix		-11%	8%	0%
Vitesse commercial		0%	0%	5%
Infrastructure ferroviaire	5%			
Envoi à l'étranger	15%			

Avec ce scénario liberté, l'on obtient un résultat de prévision en 2020 en utilisant le modèle multinomial conditionnel comme présenté dans le tableau suivant :

TABLEAU 10.14 LA TENDANCE 'LIBERTE' DU PATRAGE MODAL EN 2020

*sans l'intervention de l'Etat et de l'Union européen*

Produits	En tonnes			En tonnes kilomètres		
	route	fer	combiné	route	fer	combiné
alimentaire	96,95%	2,33%	0,72%	91,62%	5,25%	3,13%
chimie	96,81%	2,07%	1,12%	92,66%	2,86%	4,47%
matériel de transport	95,93%	3,10%	0,97%	90,94%	6,88%	2,17%
machines	99,12%	0,23%	0,65%	97,27%	0,50%	2,23%
verre et porcelaine	96,80%	2,23%	0,97%	92,01%	3,61%	4,38%
article manufacturé	98,16%	1,07%	0,78%	92,85%	3,07%	4,08%
<b>TOTAL</b>	96,24%	3,15%	0,60%	87,34%	8,29%	4,37%

On voit que si des tendances récentes étaient extrapolées pendant les vingt prochaines années, la part du fer en tonnes kilomètres diminuerait de 19,78% à 8,29%. Comme la seule secteur croissant du chemin de fer, le volume du transport combiné tient une place beaucoup

plus important dans le part du chemin de fer. Le transport combiné sera de 34.5% des tonnes-kilomètres réalisé par le transport ferroviaire et combiné (en 1996, c'est de 20.4%). Mais le transport combiné ne peut pas substituer le transport routier, par rapport le trafic total (intérieur et exportation), il va augmenter seulement de 0,27%. On voit donc que l'augmentation de la distance de transport et l'augmentation limité du réseau ferroviaire ne permet pas le fer de rattraper le perte de son marché, la diminution du trafic ferroviaire est principalement conduit par les facteurs suivants :

la diminution de la taille d'envoi

la diminution du prix de transport routier et l'augmentation du prix ferroviaire

l'augmentation du trafic international

On n'a pas considéré l'augmentation possible de la vitesse commerciale du transport routier, sinon, une plus grande baisse ne peut pas être exclue. En effet, les flux diminuant pourraient déclencher le cercle vicieux déjà mentionné plus haut. Cela signifie qu'il existe une possibilité réelle pour que le mode ferroviaire disparaisse complètement des grands segments du marché du fret.

#### **10.4. Politique de Transport et Nouveau Système Ferroviaire**

Les services ferroviaires existants ont des difficultés croissantes à concurrencer le mode routier car ils reflètent difficilement les demandes du marché. Ainsi, le service ferroviaire a besoin d'une nouvelle impulsion pour concurrencer le mode routier, en s'appuyant sur les leviers majeurs que sont : les infrastructures, la vitesse, les prix, la fiabilité et flexibilité. Néanmoins, sans incitation ou politique d'encouragement, les perspectives de transfert sont faibles. Ainsi, avec l'intervention du pouvoir public, un système de transport ferroviaire plus efficace doit améliorer les aspects suivants :

##### ***Infrastructure***

Un problème majeur est que pour utiliser efficacement le mode ferroviaire il convient que le client dispose d'un raccordement, en outre le nombre de dessertes est rarement adapté aux besoins des clients. Parce que les flux de transport de certains chargeurs sont trop petits et trop diversifiés pour le transport ferroviaire, les centres de distribution régionaux ne sont pas localisés à proximité d'une gare ferroviaire.

Une stratégie globale en vue de résoudre ce problème consiste à améliorer l'efficacité du système de transport et utiliser optimalement les infrastructures ferroviaires existantes. Ainsi, il convient de rationaliser le réseau ferroviaire. Si chargeurs et destinataires sont en mesure d'accéder directement à l'infrastructure ferroviaire, il existe des possibilités de choix pour le fer (élasticités : 0.12 et 0.14). Quant à l'efficacité du système ferroviaire, un goulot d'étranglement ou un maillon manquant se traduit par une perte d'efficacité sur l'ensemble du réseau. Un investissement marginal sur un maillon peut donc avoir un effet spectaculaire sur l'efficacité de la logistique tandis qu'un autre ne fera que créer une surcapacité. D'autre part, l'infrastructure ferroviaire doit permettre des améliorations radicales de la qualité et du développement de nouveaux services, par exemple, sous l'aspect de la standardisation des matériels de transport et de la télématique des infrastructures. Pour le transport international, il convient de prendre des mesures pour favoriser l'interopérabilité du rail conventionnel, avancer l'harmonisation technique pour aider à créer un marché unique européen pour le transport ferroviaire.

Un autre problème majeur est l'organisation de l'opération ferroviaire. Les développements rapides du transport en conteneurs ont fait une nécessité de coopérer avec le transport routier. Le marché pour le transport ferroviaire est devenu plus dynamique (conquête de nouveaux marchés) et donc plus en concurrence avec d'autres modes de transport, tel le transport routier. Le transport ne sera pas structuré comme une agrégation de liens, mais comme une chaîne globale dont l'une des composantes possibles est le fer. Pour le transport international, il est très important de réduire les retards occasionnés par le passage des frontières.

### *Transport combiné*

Le transport combiné est généralement considéré comme le seul marché à croissance potentielle pour le transport ferroviaire et pourrait être probablement une alternative à la route. La raison principale du recours au combiné consiste en des tarifs relativement plus bas que ceux pratiqués par la route et en la flexibilité d'utilisation et d'intégration de Unité de Transport Intermodal (UTI comme conteneurs, caisse mobiles, semi-remorque etc..) dans la chaîne logistique. Ces UTI peuvent être par exemple déposés aux usines et entrepôts, ce qui permettra aux chargeurs de les charger à tout moment.

Cependant, pour le moment, quand le délai de livraison est très strict et très court, le service du transport combiné est difficile de satisfaire la demande à cause de retards et de

problèmes de communication nombreux. Comme pour le transport ferroviaire, quand un conteneur par exemple est fourni sur le terminal, il disparaît dans une boîte noire et si tout va bien, il sortira de la boîte à temps. D'autre part, en transport combiné la capacité est contrainte par la taille de UTI en comparaison des grandes capacités volumétriques de certains camions.

En effet, la plupart de transport est en courte distance, bien qu'il existe de possibilité d'augmenter le trafic du transport combiné pour le transport de longue distance, le transport combiné n'est pas un produit de substitution au transport routier. Ainsi, en considérant des impacts positifs sur l'aménagement du territoire et l'environnement, une politique sera nécessaire pour le développement du transport combiné. Cette politique sera définie par le pouvoir public et concerne les aspects économique, technique et d'organisation.

### *Système information*

Les systèmes d'information sont de plus en plus importants. Les chargeurs veulent être informés sur la situation en temps réel de l'expédition et quand celle-ci parviendra à destination. Particulièrement quand il y a retard, les chargeurs veulent en être informés pour pouvoir prendre les contre-mesures nécessaires. Actuellement en transport ferroviaire, le manque d'information en cas de problèmes en temps réel est un goulot d'étranglement majeur. La différence principale entre transport routier et ferroviaire vient du fait qu'en transport par route l'expéditeur obtient presque toujours l'information ; en mode ferré, une fois que l'expédition est chargée dans un train, elle disparaît dans une boîte noire, et l'on ne sait pas ce qui se passe, jusqu'au moment du déchargement. C'est pourquoi quand les chargeurs disposent de l'outil informatique adéquat, ils préfèrent choisir le mode routier car ils peuvent toujours communiquer avec le transporteur (élasticité routière : 0.015).

Malgré tout le fer peut très bien s'adapter à la télématique, il faut seulement renforcer le système d'information pour mieux communiquer avec les chargeurs, surtout en transport international.

### *Temps de transport*

Un élément principal pour améliorer la capacité concurrentielle du transport ferroviaire consiste en un gain de vitesse entre origine et destination, bien que l'importance du temps de transport pour une expédition donnée varie entre un établissement dépendant d'une logistique de juste à temps et un autre recourant à une gestion des stocks traditionnelle. Par exemple, le temps de transport est moins important pour les marchandises à faible valeur ajoutée comme

les produits en vrac. Pour les produits à forte valeur ajoutée (ordinateurs, colis, pharmacie), la livraison rapide est un des aspects principaux de la concurrence intermodal sur ces marchés. Cependant comme le transport ferroviaire est organisé sur une échelle nationale ou régionale, les différents services nationaux ou régionaux de transport ferroviaire doivent être donc combinés avec l'un ou l'autre. Ainsi, le transport ferroviaire ne peut pas garantir les temps de livraison, et les retards sont fréquents.

La vitesse de transport peut être augmentée par une meilleure infrastructure. Par exemple, des autoroutes ferroviaire européennes, un transbordement plus rapide et une harmonisation des matériels de transport. Il convient de noter qu'il n'est pas suffisant d'améliorer les seules infrastructures et matériels de transport, mais que l'organisation et la coordination générale sont tout aussi importants. Par exemple, en transport international, les temps d'attente sont une des raisons principales du ralentissement des vitesses moyennes.

### *Prix de transport*

Les processus de production des clients sont en général des processus de "juste à temps". Le transport routier est le seul mode qui puisse offrir un service approprié au coût le plus faible (à flexibilité plus élevée, etc.). Un transfert vers le fer constitue une alternative seulement si les coûts du transport ferroviaire diminuent beaucoup ou les coûts du transport routier augmentent fortement. Par exemple, pour le transport de céréales, la concurrence est très forte entre modes et le prix de transport est très important pour ce type de marchandises. Pour maintenir sa part de marché, le fer se doit d'offrir un prix le plus bas possible.

En ce moment, les nouveaux développements ferroviaires ont toujours un prix élevé, cela contraint toute nouvelle initiative d'utilisation de ce mode. Pour les produits conditionnés spécialement, exemple des produits frigorifiques, le fer n'est pas une alternative parce que le transport ferroviaire frigorifique est trop cher. Ainsi, le fer en vient à s'intéresser uniquement aux gros clients et néglige les 'petits', les contrats de prix ne pouvant qu'être faits que sur une base contractuelle de long terme. Dans les autres cas, les prix sont non seulement élevés mais souvent opaques et non négociables. Une nouvelle structure d'organisation devrait permettre une meilleure transparence des prix, de cette façon le transport ferroviaire pourra améliorer sa capacité concurrentielle et gagner ainsi des parts de marché.

D'autre part, en appliquant la régulation du transport de marchandise concerne la consommation de carburant, le temps de travail, etc.. le prix du transport routier sera augmenté.

### ***Fiabilité et Flexibilité***

La fiabilité des services de transport est sans aucun doute le facteur le plus important, elle est étroitement liée aux temps de transport. L'aspect le plus important est l'heure d'arrivée. Le retard dans le transport ferroviaire s'avère être en moyenne très important (24 heures). Il est ainsi possible que des trains arrivent plusieurs jours après l'heure d'arrivée prévue. Ainsi des wagons ou conteneurs peuvent être perdus pendant plusieurs jours, sans que l'on puisse donner la priorité à ces wagons en retard, la programmation étant souvent rigide.

La flexibilité devient aussi de plus en plus importante, malheureusement ceci n'est pas un des points forts du transport ferroviaire. En effet, pour obtenir et adapter un transport sur rail, cela nécessite beaucoup de temps. Bien sûr, pour les grands flux de marchandises dans le cadre de programmes fixes, dès que l'on a adapté le transport ferroviaire, le transport marchera très bien. Mais en raison des développements de la logistique, le nombre de grand flux diminue alors que le nombre de destinations et de clients s'accroît. Cela signifie peu de possibilités pour le transport ferroviaire avec un degré de flexibilité peu satisfaisant.

Ainsi la flexibilité se rapporte à la possibilité de changements, changement de la quantité à transporter ou du temps de départ. Si quelque chose tourne mal dans le processus de production, le transport doit attendre, pour la plupart des industries ce point est très important. Dans ce cas là, les transports routiers peuvent attendre, mais le transport ferroviaire ne peut lui attendre en raison de programmes stricts, autrement dit les trains partent à vide. Le manque de flexibilité est la raison principale qui veut que l'alternative ferroviaire est souvent éliminée dans le choix de nombreuses entreprises, c'est particulièrement le cas pour le transport combiné.

#### **10.5. Scénarios en 2020 et leur Influence sur le Choix Modal**

Etant donné l'augmentation de distances, l'amélioration ferroviaire et une politique de transport orienté vers le transport ferroviaire et combiné, c'est-à-dire, une infrastructure plus disponible, une vitesse de transport plus rapide, un prix du transport plus bas et plus transparent par rapport au transport routier, et bien sûr un service plus souple et plus fiable avec le développement du système d'information, le nouveau marché potentiel pour le transport ferroviaire et combiné peut être développé en France et Europe.

Ainsi, il est très intéressant de calculer la probabilité prévue étant donné un groupe de valeurs de variables explicatives pour analyser les effets de l'amélioration du service de transport et le changement de la politique de transport sur le choix modal. Généralement, l'analyse des effets peut être menée en deux étapes successives :

1. Prévoir les probabilités selon les changements des valeurs moyennes des variables indépendantes, ces changements constituent les scénarios qui reflètent la mise en œuvre de telle politique et telle service.

2. Comparer les évolutions des probabilités avec les changements des variables logistiques ou politiques pour obtenir les effets des changements de telle politique ou telle service de transport.

Un premier problème est de savoir choisir les 'bonnes' variables explicatives. Si l'on dispose de beaucoup de variables indépendantes, discrètes et continues, il vaut mieux se concentrer sur des variables principales en prenant les valeurs moyennes pour les autres variables. Dans cette recherche, on concentre principalement sur le prix, le temps, la distance, l'accessibilité infrastructure et l'amélioration du transport international.

Tout d'abord, pour le prix de transport, selon l'étude du SES trois scénarios en 2020 ont été construits :

**Scénario A** suppose la poursuite des inflexions apportées récemment à la politique des transports avec la faible croissance des prix routiers (7%)

**Scénario B** vise à une internalisation des coûts externes et à un meilleur partage modal avec 17% d'augmentation du prix routier

**Scénario C** vise à stabiliser, voire à diminuer les consommations d'énergie dans le cadre de nos engagements internationaux avec 64% de l'augmentation du prix routier

En correspondance avec ces scénarios, on construit les hypothèses suivantes sur les autres facteurs logistiques :

**TABLEAU 10.15 SCENARIOS 'MAITRSE'**  
**DE L'EVOLUTION DES FACTEURS DE DEMANDE ET D'OFFRE EN 2020**

	<b>Scénario A</b>	<b>Scénario B</b>	<b>Scénario C</b>
<b>Distance total</b>	12%	12%	12%
route	10%	10%	10%
fer	10%	10%	10%
combiné	30%	30%	30%
<b>Taille d'Envoi</b>	-5%	-5%	-5%
fer	-30%	-30%	-30%
<b>Taille d'Entreprise</b>	10%	10%	10%
<b>Infrastructure ferroviaire</b>	7%	10%	15%
<b>Envoi à l'étranger</b>	15%	15%	15%
<b>Prix routier</b>	7%	17%	64%
<b>Prix ferroviaire</b>	8%	8%	8%
<b>Prix combiné</b>	8%	8%	8%
<b>Temps routier</b>	0%	0%	0%
<b>Temps ferroviaire</b>	-15%	-30%	-60%
<b>Temps combiné</b>	-15%	-30%	-60%

Dans le cadre de ces trois scénarios, l'on suppose que la distance de transport va augmenter de 12%, la taille d'envoi diminuer de 5% pour tous les modes et de 20% pour le fer. On suppose aussi que la taille des entreprises va augmenter de 10% et les envois destinés à l'étranger de 15%.

En utilisant les trois scénario ci-dessus, les tableaux suivantes présentent les résultats de la prévision du partage modal.

**TABLEAU 10.16 PARTAGE MODAL EN 2020 SELON SCENARIO A**

<b>produits</b>	<b>partage en tonnes</b>			<b>partage en tonnes kilomètres</b>		
	<b>route</b>	<b>fer</b>	<b>combiné</b>	<b>route</b>	<b>fer</b>	<b>combiné</b>
<b>alimentaire</b>	96,12%	3,06%	0,82%	89,67%	6,83%	3,50%
<b>chimie</b>	95,89%	2,81%	1,30%	91,00%	3,84%	5,16%
<b>matériel de transport</b>	94,67%	4,21%	1,12%	88,32%	9,20%	2,48%
<b>machines</b>	98,98%	0,30%	0,72%	96,88%	0,66%	2,46%
<b>verre et porcelaine</b>	95,86%	3,02%	1,12%	90,16%	4,83%	5,01%
<b>article manufacturé</b>	97,75%	1,38%	0,87%	91,55%	3,92%	4,53%
<b>TOTAL</b>	95,56%	3,77%	0,66%	85,49%	9,79%	4,73%

Le scénario A suppose que le prix du transport routier augmente de 7% et le prix ferroviaire et combiné augmentent de 8%, le temps de transport ferroviaire et combiné

diminuent de 15% et le pourcentage d'accessibilité à l'infrastructure augmente de 7%. Dans ce cas, on voit que le partage modal ne se modifie que très peu par rapport au résultat de l'évolution liberté en 2020 (pour la route, 87.5% vs 85.5% en tonnes kilomètres). Par rapport le partage modal en 1996, le partage modal du transport ferroviaire diminue de 6.31 et le transport combiné augment respectivement de 0.62%.

TABLEAU 10.17 PARTAGE MODAL EN 2020 SELON SCENARIO B

produits	partage en tonnes			partage en tonnes kilomètres		
	route	fer	combiné	route	fer	combiné
alimentaire	95,23%	3,79%	0,99%	87,51%	8,31%	4,18%
chimie	94,85%	3,55%	1,61%	88,91%	4,80%	6,29%
matériel de transport	93,30%	5,31%	1,39%	85,58%	11,42%	3,01%
machines	98,75%	0,38%	0,88%	96,20%	0,81%	2,98%
verre et porcelaine	94,82%	3,80%	1,38%	87,93%	5,99%	6,08%
article manufacturé	97,27%	1,69%	1,05%	89,90%	4,74%	5,36%
<b>TOTAL</b>	<b>94,88%</b>	<b>4,36%</b>	<b>0,76%</b>	<b>83,56%</b>	<b>11,13%</b>	<b>5,31%</b>

Le scénario B suppose que le prix du transport routier augmente de 17% et que le prix ferroviaire et combiné augmentent de 8%, le temps de transport ferroviaire et combiné diminuent de 30% et le pourcentage d'accessibilité à l'infrastructure augmente de 10%. Dans ce cas, par rapport les résultats en 1996, le partage modal ferroviaire diminue 4.8% et le transport combiné en tonnes kilomètres augmente de 1.21%.

TABLEAU 10.18 PARTAGE MODAL EN 2020 SELON SCENARIO C

produits	partage en tonnes			partage en tonnes kilomètres		
	route	fer	combiné	route	fer	combiné
alimentaire	92,96%	5,62%	1,42%	82,31%	11,88%	5,81%
chimie	92,27%	5,37%	2,35%	84,00%	7,06%	8,95%
matériel de transport	89,83%	8,12%	2,05%	79,01%	16,73%	4,26%
machines	98,24%	0,54%	1,22%	94,74%	1,15%	4,11%
verre et porcelaine	92,07%	5,86%	2,07%	82,32%	8,91%	8,77%
article manufacturé	96,18%	2,38%	1,43%	86,35%	6,50%	7,15%
<b>TOTAL</b>	<b>93,34%</b>	<b>5,69%</b>	<b>0,97%</b>	<b>79,40%</b>	<b>14,03%</b>	<b>6,57%</b>

Si l'on augmente encore le prix du transport routier d'un pourcentage de 64% et que l'on diminue encore le temps de transport ferroviaire et combiné d'un pourcentage de 60%, le pourcentage d'accessibilité à l'infrastructure augmentant de 15%, par rapport les résultats en

1996, la part modale du fer diminue environ de 2% et celui du transport combiné augmente de 2.47%, et le transport routier va rester stable (79.9% en 1996 vs 79.4% en 2020). On voit que l'augmentation du prix de transport routier et la diminution du temps de transport ferroviaire ont des influences importantes sur le choix modal des produits alimentaire et des matériels de transport pour le transport ferroviaire.

Sous les mêmes conditions, si l'on améliore le service du transport ferroviaire et combiné pour le transport international, le coefficient des envois destinés à l'étranger pour le transport routier modifiera par exemple de 3.1 à 0.4. Le tableau suivant représente les influences de ce changement sur le partage modal de tous les produits.

TABLEAU 10.19 PARTAGE MODAL EN 2020 SELON SCENARIO D

produits	partage en tonnes			partage en tonnes kilomètres		
	route	fer	combiné	route	fer	combiné
alimentaire	87,77%	9,76%	2,47%	71,67%	19,03%	9,30%
chimie	86,66%	9,28%	4,06%	74,06%	11,44%	14,50%
matériel de transport	82,78%	13,75%	3,48%	67,18%	26,15%	6,67%
machines	96,82%	0,98%	2,21%	90,74%	2,03%	7,23%
verre et porcelaine	86,33%	10,11%	3,56%	71,68%	14,27%	14,04%
article manufacturé	93,20%	4,24%	2,56%	77,48%	10,72%	11,80%
TOTAL	88,40%	9,91%	1,69%	67,70%	22,00%	10,30%

On voit que la part modale du fer change beaucoup même pour les produits chimiques, les machines et les produits manufacturés. Cela signifie que si l'amélioration de la qualité de service ferroviaire peut modifier les préférences des chargeurs en transport ferroviaire international, les influences de ce changement sur le choix modal seront très importantes. Dans ce cas, par rapport les résultats en 1996, le partage modal ferroviaire et combiné augmente respectivement de 6% et de 6.3%.

### **Conclusion**

Ce chapitre a traité des perspectives du choix modal à l'avenir. Avec la tendance du système logistique, le transport ferroviaire risque de perdre de plus en plus de son marché. La raison principale de la diminution du trafic ferroviaire est que la qualité de service ferroviaire ne peut pas répondre à la demande des clients. Ainsi, une amélioration de la qualité de service à l'avenir sera nécessaire. En ce qui concerne le transport combiné, bien qu'il augmente progressivement depuis des années, et qu'il va augmenter continûment à l'avenir et tiendra une

place de plus en plus importante dans le trafic réalisé par le transport ferroviaire et combiné, le transport combiné ne peut pas se substituer au transport routier. Ainsi grâce aux résultats de la prévision, même si l'on augmente le prix routier (+64%) et la vitesse du transport ferroviaire et combiné (+60%), le transport routier gardera sa part de marché par rapport à celle de 1996, le transport ferroviaire va perdre encore de son marché (-2%), bien que le transport combiné augmente sa part de 2.4%. Ainsi, une politique des transports sera dès lors nécessaire pour favoriser le transfert du trafic de la route au fer, cette politique doit concerner non seulement les aspects économiques mais aussi techniques et d'organisation des transports surtout en matière de transport international, dans ce contexte, il existera alors des possibilités de réduction de la part du transport routier.