

AFET

Association Française d'Économie des Transports



Apports de la théorie d'inventaire à l'économie des transports de marchandise – le cas des valeurs du temps

El-Mehdi Aboukacem, 5 Degres Digital Engineering Lab

François Combes, Université Gustave Eiffel, AME/SPLOTT

Conférence inaugurale de l'AFET, 22 et 23 novembre 2023, Paris

Contexte, objectif

- La valeur du temps en transport de marchandises
 - Variable explicative importante du choix de type d'opération de transport
 - Paramètre central de l'évaluation des projets et politiques de transport (à la fois pour déterminer l'opportunité des décisions publiques, et pour en élaborer le financement)
 - Difficile à observer
- Une nouvelle approche est proposée
 - Fondée sur la théorie d'inventaire
 - Mobilisant des données issues d'enquêtes chargeur
 - Permet d'inférer les valeurs du temps à un niveau désagrégé

1. Approche classique

Théorie et mesure de la valeur du temps « chargeur » en transport de marchandises

Approche classique : théorie

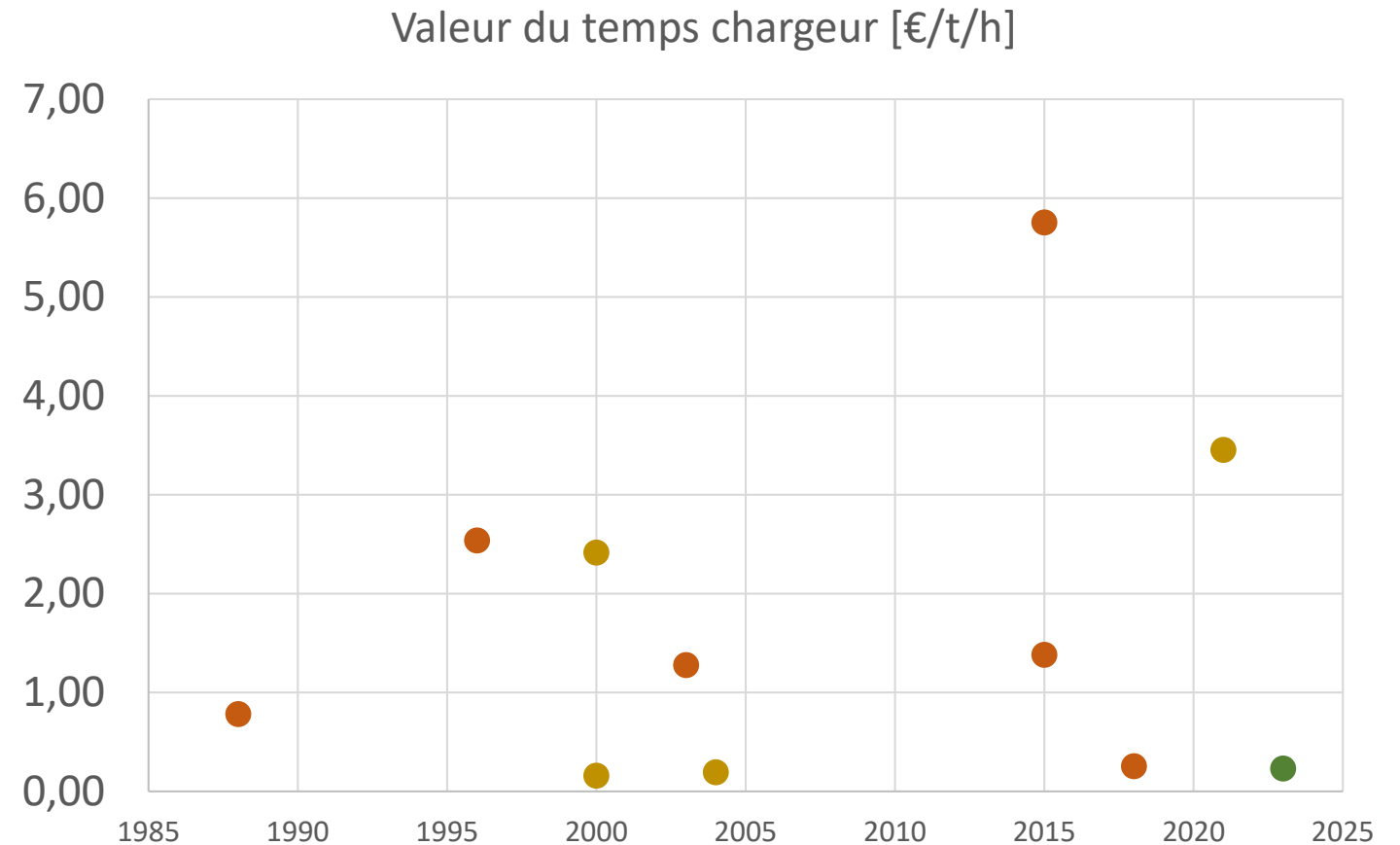
- Les décisions des chargeurs minimisent un coût généralisé (opposé de l'utilité) de la forme

$$CG = ASC + p + \alpha t + \dots$$

- Dans la quasi-totalité des modèles, les différentes variables sont exprimées par tonne, ou par t.km
- La valeur du temps α est expliquée comme un coût d'opportunité d'immobilisation du capital
- Dans l'évaluation de projets, on distingue:
 - La valeur du temps des chargeurs α
 - La valeur du temps des transporteurs

Approche classique : valeurs empirique

- Dans la littérature académique, la valeur du temps fret est presque exclusivement inférée à partir d'enquêtes SP
- Dans la pratique de la modélisation, des approches de calibration sont aussi utilisées (RP, mais pas forcément avec de l'économétrie)

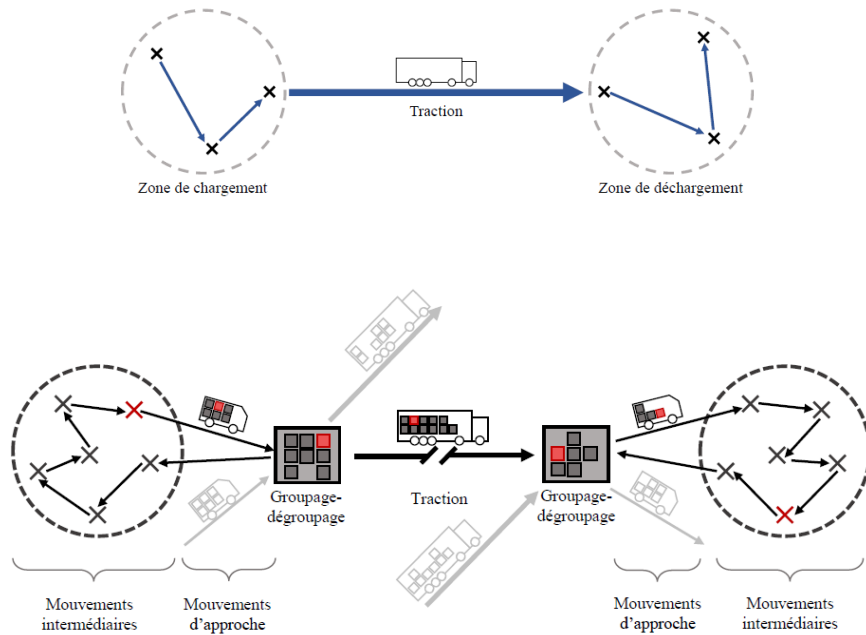


Approche classique: référentiels actuels

- Rapport Quinet (2013) : valeurs du temps chargeur
 - Marchandises à forte VA (plus de 35k€/t indicativement - transport combiné, conteneurs maritimes, messagerie, transports frigorifiques, route roulante, trafic roulier...) $0,6\text{€}_{2010}/\text{t.h}$
 - Marchandises courantes (entre 6k€/t et 35€/t indivativement – autres trafics ferroviaires, maritimes et fluviaux) $0,2\text{€}_{2010}/\text{t.h}$
 - Marchandises à faible VA (moins de 6k€/t indicativement – vrac, granulats) $0,01\text{€}_{2010}/\text{t.h}$
- Rapport CE Delft (2019)
 - Valeur du temps routier chargeur France $1,6\text{€}_{2016}/\text{t.h}$ (sources: HEATCO project, Significance, VU Univ Amsterdam, John Bates Services, CNR)
 - Valeur du temps routier transporteur France [per HGV/coach driver] : $29\text{€}/\text{veh.h}$ (sources: id.)
- Anciennes valeurs du temps fret MODEV (2006)
 - Tous modes: par NST
 - Routier: Chargeur + transporteur, en €/veh.h, valeurs moyennes par quartile: 12,37; 21,91; 33,26; 64,25 (calage modèle affectation)

Approche classique : limites

- Beaucoup d'imprécisions dans la littérature empirique, peu de variables de contrôle
- Pas d'interprétation logistique de la valeur du temps.
- La théorie n'explique pas le choix entre des options qui ont le même temps de trajet, mais sont par ailleurs très différentes
- La théorie n'explique par ailleurs pas pourquoi les chargeurs sont prêts à payer cher pour expédier de petites quantités
 - Ca pose problème pour évaluer le potentiel de massification du transport de fret, ou pour évaluer des politiques de changement de capacité des véhicules
 - Ca pose problème pour comprendre le lien entre niveau de service logistique et impacts environnementaux du transport de fret



2. Théorie d'inventaire

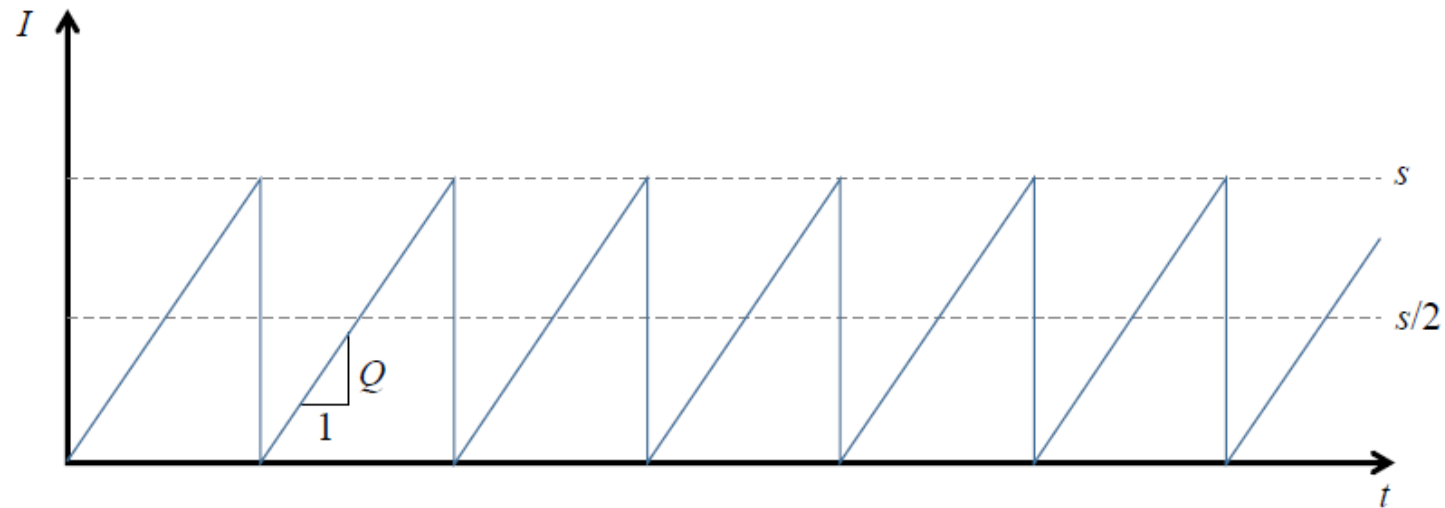
Application des modèles de théorie d'inventaire à l'analyse économique du transport de marchandises

Introduction

- La théorie d'inventaire est une branche de la recherche opérationnelle centrée sur l'optimisation des chaînes logistiques
- L'utilisation de modèles de théorie d'inventaire pour modéliser la demande de transport de fret a été introduite par Baumol et Vinod (Management Science, 1970)
- Les modèles les plus simples de théorie d'inventaire ont un très bon pouvoir explicatif
 - Choix de taille d'envoi (Lloret-Battle et Combes, TRR, 2013)
 - Choix modal (Combes et Tavasszy, EJTIR, 2016)
- L'estimation de modèles de ce type n'est efficace qu'avec un certain type de données

Le modèle Economic Order Quantity (1/2)

- Un expéditeur envoie à un destinataire un flux de marchandises Q par envois de poids s .
- Il est supposé que le stock moyen à destination est $s/2$



Le modèle Economic Order Quantity (2/2)

- Pour une taille d'envoi s le coût d'inventaire est:

$$C_I = (a + c_w) \frac{s}{2}$$

- Pour un flux annuel Q , et une taille d'envoi s , le coût généralisé annuel de transport est:

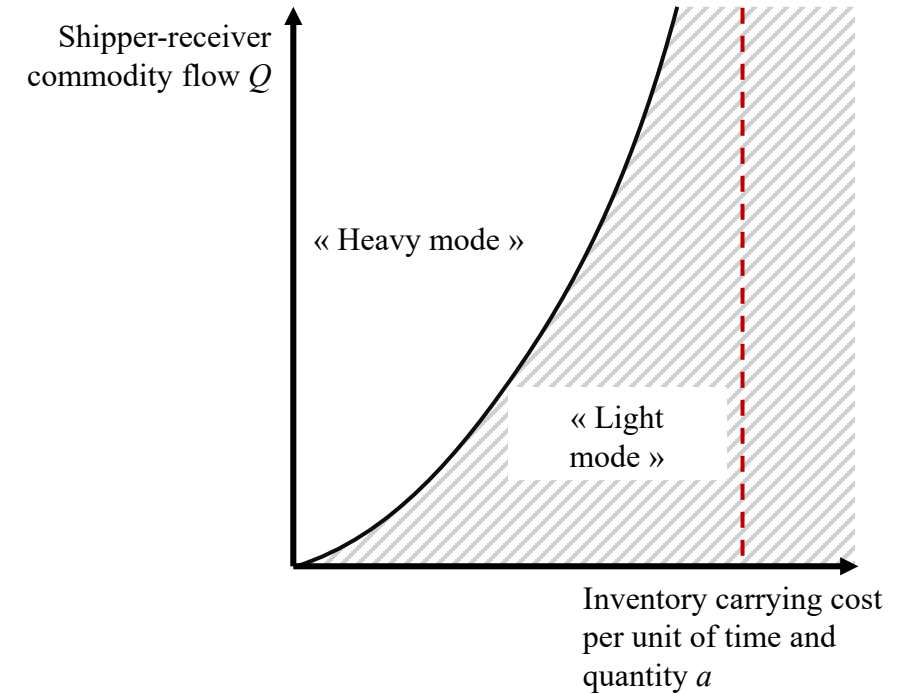
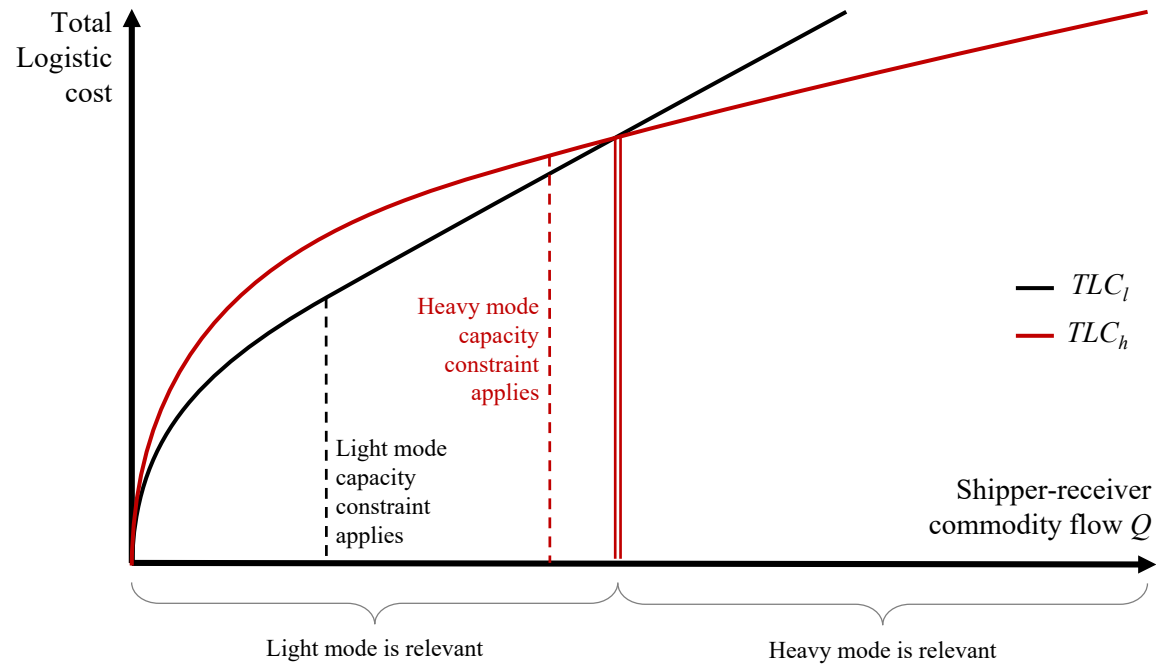
$$C_T = \frac{Q}{s} p(s) + aQt$$

- La somme des deux coûts est le TLC (Total Logistic Cost):

$$TLC = (a + c_w) \frac{s}{2} + \frac{Q}{s} p(s) + aQt$$

- C'est le paramètre a qui nous intéresse

Théorie d'inventaire : application au choix modal



Inférence de la valeur du temps

- Si les chaînes logistiques sont optimisées, alors:

$$\frac{\partial TLC}{\partial s} = 0$$

- Ce dont on déduit que:

$$a = -Q \frac{d}{ds} \left(\frac{p(s)}{s} \right) - c_w$$

- On suppose que, hors exception, $c_w \ll a$ (Combes et Launay, 2018)
- On suppose que le **prix de transport** est de la forme (hors variables de contrôle):

$$p(s) = \beta_0 + \beta_d d + \beta_s s + \beta_{sd} s d,$$

- On obtient:

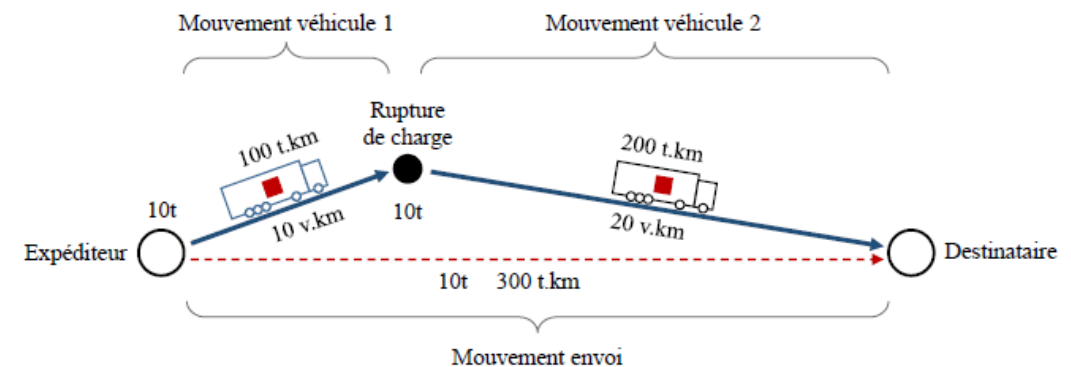
$$a = \frac{(\beta_0 + \beta_d d) Q}{s^2}$$

3. Données, modèles de prix

Enquêtes chargeurs, modèles de prix de transport Full Truckload (FTL) et Less-Than-Truckload (LTL)

Observation du transport de fret

- Deux grandes familles de protocoles
 - Les enquêtes auprès des transporteurs (en France, enquête TRM; en Europe, standard Eurostat)
 - Les enquêtes auprès des chargeurs (*Commodity Flow Surveys*)
- Enquêtes « chargeurs » IFSTTAR (maintenant Univ Eiffel)
 - Echantillon d'établissements économiques
 - Recueil d'informations concernant:
 - L'établissement
 - Un des derniers envois expédiés (en particulier sa taille **s**, certaines **caractéristiques**)
 - La relation chargeur-destinataire (en particulier le flux annuel **Q**)
 - L'opération de transport (en particulier la nature des opérations, le prix **p(s)**)

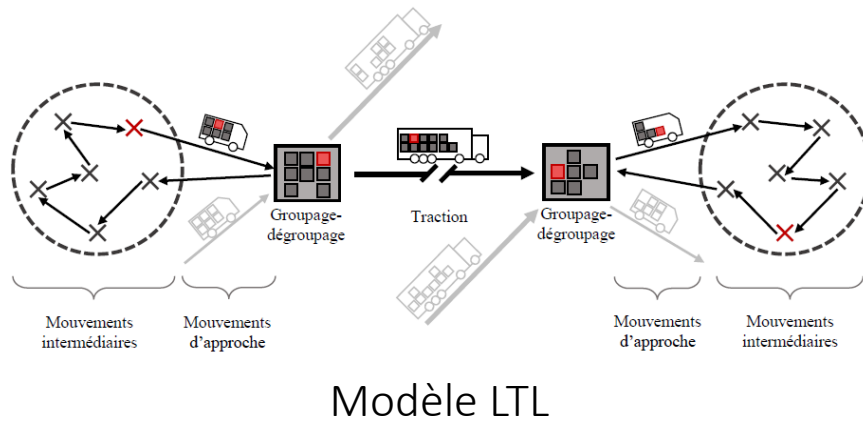
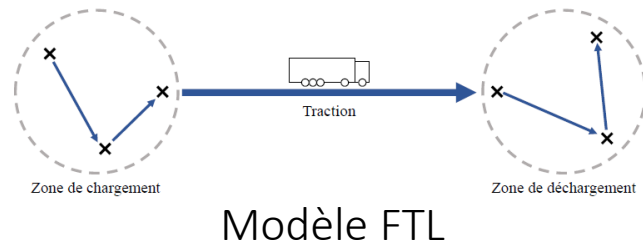


Données « chargeurs »

- Caractéristiques de l'enquête : réalisée en 2004
- 1491 observations sont utilisées dans le modèle (contre 10000 dans l'enquête)
- Statistiques descriptives (toutes les variables sont pour **un envoi**)

Variable	Unité	Moyenne	Min	Q1	Mediane	Q3	Max
Poids	t	4.3	0.002	0.04	0.295	3.5	27.8
Tonnage annuel E-D	t/an	28803	1	250	1582	13215	896000
Valeur	€ ₂₀₀₄	13390	1	500	1900	7000	1082400
Prix du transport	€ ₂₀₀₄	187.3	6	27	90	250	1500

Les modèles de prix



- Pour inférer la valeur du temps, il faut connaître les fonctions de prix
- Deux modèles de prix ont été estimés
 - **Un modèle FTL** (Full Truckload, transport de grandes quantités sans opération break-bulk)
 - **Un modèle LTL** (Less Than Truckload, transport de petites quantités avec opérations break-bulk)
 - On observe le type de prestation de transport à partir du nombre de ruptures de charge
- Spécification:

$$\begin{aligned}
 p_i &= \beta_0 + \beta_d d_i + \beta_s s_i + \beta_{sd} s_i d_i \\
 &+ \sum_{j \in J_C} (\beta_{C_j d} X_{C_j} d_i + \beta_{C_j s} X_{C_j} s_i) + \sum_{j \in J_O} \beta_{O_j} X_{O_j} + \varepsilon_i
 \end{aligned}$$

avec: d la distance, s la taille d'envoi, X_C certaines contraintes opérationnelles (grand volume, température, fragilité, dangerosité), X_O certaines variables additionnelles (conditionnement)

Les modèles de prix

	MCO			MCO	
	Estimateur	Sign.		Estimateur	Sign.
Constante	140,35	***	Constante	83,46	***
Distance (km)	0,33	***	Distance (km)	0,084	***
Poids (t)	2,47	**	Poids (t)	5,77	**
Poids*Distance (tkm)	0,03	***	Poids*Distance (tkm)	0,045	***
Distance*C_vol ^a	0,35	***	Distance*C_vol ^a	0,10	.
Distance*C_ref ^a	-0,26	**	Distance*C_ref ^a	-0,048	.
Distance*C_frag ^a	-0,12	.	Distance*C_frag ^a	0,056	.
Distance*C_TMD ^a	-0,026	.	Distance*C_TMD ^a	0,014	.
Poids*C_vol ^a	-3,61	*	Poids*C_vol ^a	15,52	*
Poids*C_ref ^a	6,09	.	Poids*C_ref ^a	13,48	.
Poids*C_frag ^a	0,47	.	Poids*C_frag ^a	1,59	.
Poids*C_TMD ^a	8,70	**	Poids*C_TMD ^a	19,73	**
Vrac ^b	12,79	.	Vrac ^b	-30,88	.
Conteneur ^b	145,71	***	Conteneur ^b	-5,92	.
Autre cond. ^b	-103,58	***	Autre cond. ^b	-75,30	***
Europe ^c	114,71	***	Europe ^c	100,27	***
<i>R</i> ²	0,52		<i>R</i> ²	0,39	
Homoscédasticité	Non		Homoscédasticité	Non	
<i>N</i>	1 006		<i>N</i>	1 071	

Modèle FTL

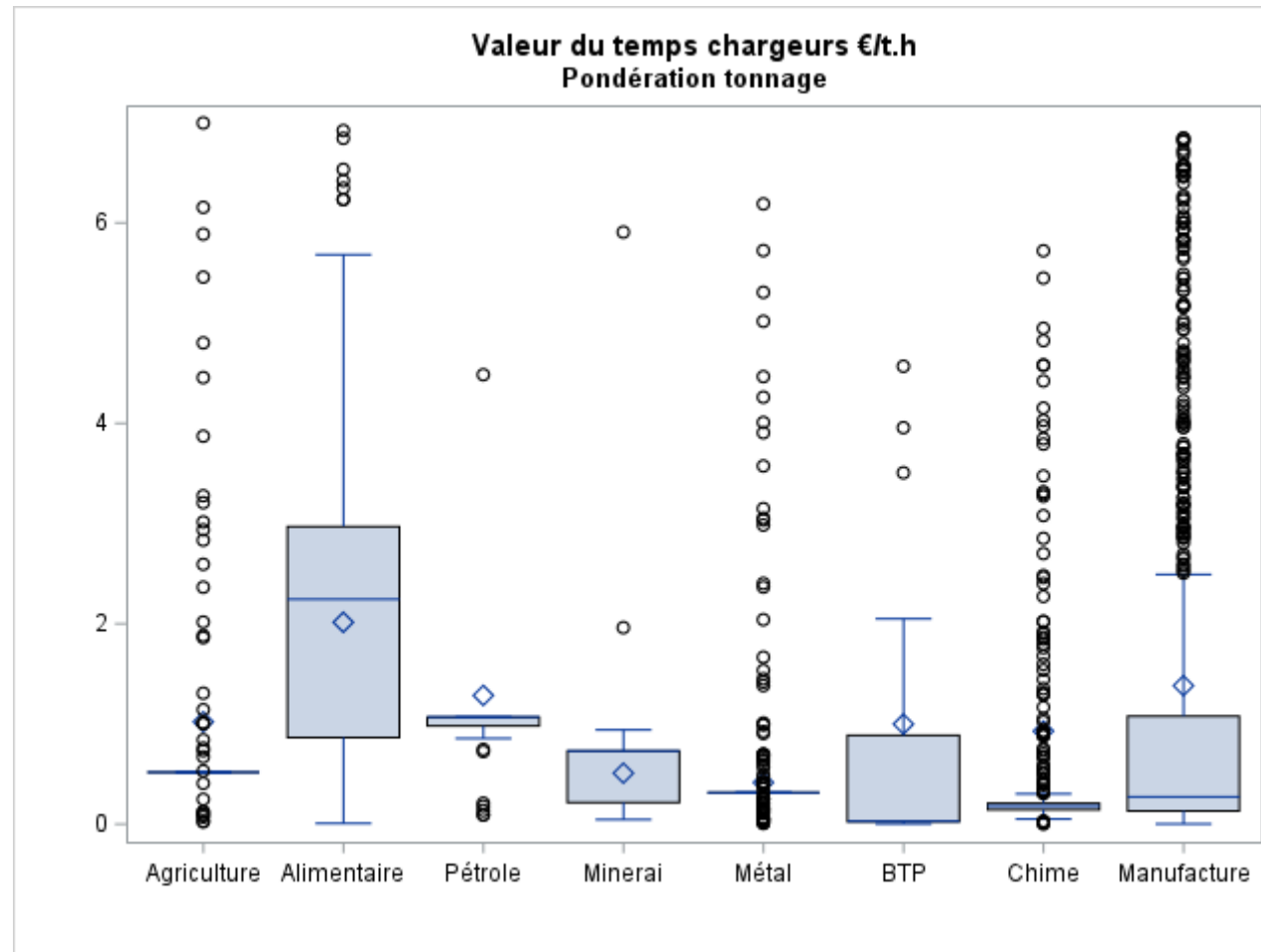
Modèle LTL

Note: on identifie que le transport est FTL ou LTL selon le nombre de ruptures de charges

4. Résultats

Distribution des valeurs du temps « chargeur »

Les distributions des valeurs du temps « chargeur »



Elasticités des valeurs du temps « chargeur »

Table 1: Elasticités valeur du temps chargeur

	<i>Dependent variable:</i>
	$\log(\alpha)$
$\log(a_{dens})$	0.744*** (0.046)
$\log(distance)$	-0.171** (0.074)
NST 1	-0.713* (0.408)
NST 3B	-2.312** (1.110)
NST 4	-2.756*** (0.889)
NST 5	-2.048*** (0.456)
NST 6	-1.509*** (0.521)
NST 7-8	-1.231*** (0.437)
NST 9	-1.198*** (0.370)
Constant	-2.999*** (0.567)
Observations	1,075
R ²	0.238
Adjusted R ²	0.231
Residual Std. Error	2.575 (df = 1065)
F Statistic	36.865*** (df = 9; 1065)

Note: *p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01

Conclusions

- La théorie d'inventaire permet de dériver des valeurs du temps fret au niveau désagrégé
 - La finesse est nettement plus précise que dans la littérature de référence
 - La théorie adossée permet une évaluation affinée
- Limites du modèle et pistes de recherche
 - La question des contraintes de capacité n'est pas explicitement prise en compte : léger biais possible sur les valeurs du temps
 - La théorie, sous la forme présentée ici, est incomplète (il manque le volet « flexibilité » des chaînes logistiques)
 - Les résultats empiriques devront être consolidés avec les données futures, dont la nouvelle enquête chargeur qui sera réalisée dans le cadre du **PEPR MOBIDEC**.