

La demande de transport

Cours 1

Intervenant: Nicolas Coulombel

Université Paris Est. LVMT

✉ : nicolas.coulombel@enpc.fr

INTRODUCTION

Cette partie du cours vise à comprendre:

- comment analyser et prédire la demande de transport ?
 - quels sont les principaux déterminants ?
- comment ajuster les prix en fonction de l'hétérogénéité de la demande ?

Un enjeu majeur à différents niveaux :

- stratégique: conception et planification des réseaux
 - dont évaluation socio-économique
- tactique: fixation de la qualité de service (vitesse, fréquence ...) et des prix
- opérationnel: gestion dynamique des flottes (taxis), feux ...

LE TRANSPORT: UN BIEN DÉRIVÉ ?

La demande de transport peut être vue comme une **consommation intermédiaire**, nécessaire à la réalisation d'autres activités (voir travaux de G. Becker) :

- voyageurs : déplacements domicile-travail, achats ...
- marchandises: acheminer des inputs nécessaires à la production d'un bien final, livrer les marchandises sur les points de vente

3 implications principales

- analyse fine implique de s'intéresser...
 - aux **programmes d'activités** pour les voyageurs
 - aux **stratégies logistiques** des entreprises pour les marchandises
- rôle central du temps (**durée** mais aussi et surtout **timing**)
- demande peut être relativement **inelastique** selon l'importance de l'activité à l'origine ou à la destination

IMPORTANCE DE LA SEGMENTATION

Importance de bien **segmenter la demande** :

- d'un point de vue spatial (entre les régions A et B, entre les villes C et D)
- d'un point de vue temporel (par an ou jour, heures de pointe vs. heures creuses)
- du point de vue des véhicules et des modes (camions vs. voitures vs. vélos)
- éventuellement du point de vue des motifs (professionnel vs. achats)
- éventuellement du point de vue du chaînage (travail-école-domicile, livraisons en trace directe ou en tournée) voire des combinaisons modales (acheminement de marchandises par camion puis train puis VUL)

La demande totale pour un couple OD-période agrège donc les différentes demandes désagrégées

PLAN

1. Approches agrégées

1. Demande
2. Demande inverse

2. Approches désagrégées

1. Rappel: comportement du consommateur
2. Extension aux choix discrets

3. Introduction du temps de parcours

1. Prix & coût généralisé
2. La valeur du temps

4. Introduction de l'heure de départ

1. Le modèle de scheduling

5. Tarification fine en fonction de la demande

1. Le « yield management »: introduction
2. Surréservation
3. Tarification différenciée
4. Réseau en étoile

Partie 1

Approches agrégées

Fonctions de demande

EXEMPLE : ÉVOLUTION SUR LE LONG TERME DU TRANSPORT DE MARCHANDISES

	Route	Canaux	Rail	Total		Route	Canaux	Rail	Total
1830	2.0	0.7	-	2.7	1966	40.2	12.6	64.1	116.9
1831-1844	2.3	1.1	0.1	3.5	1984	114.7	8.0	57.7	180.4
1845-1854	2.6	1.7	0.5	4.8	1994	168.5	5.6	48.9	223.0
1855-1864									72.5
1865-1874									63.3
1875-1884									70.0
1885-1894									79.6
1895-1904	2.8	4.6	14.9	22.3	2008	217.7	7.5	40.4	265.7
1905-1913	2.9	5.5	21.0	29.4	2009	187.2	7.4	32.1	226.7
1921-1924	4.3	4.4	31.3	40.0	2010	196.5	8.1	30.0	234.5
1925-1934	7.2	6.9	36.6	50.7	2011	200.6	7.9	34.2	242.7
1935-1940	11.7	8.1	28.7	48.5	2012	188.3	7.8	32.5	228.7
1956-1960	17.8	9.7	53.4	80.9	2013	188.1	7.9	32.0	228.0
1961-1965	28.2	11.8	62.0	102.0	2014	182.6	7.8	32.2	222.6

Biens transportés en France (milliards de t x km) (Sources : Toutain (1967) & CGDD)

FONCTION DE DEMANDE

Demande pour un segment donné (O-D, période) mesurée par fonction de demande (ici exemple linéaire):

$$D(p) = D_0 - Bp$$

La demande dépend :

- du **potentiel total de déplacements** sur ce segment (D_0 = demande maximale si le prix est nul)
- du **prix** du déplacement p (en pratique généralement un **prix généralisé**, voir partie 2)
- le cas échéant du **prix** (généralisé) des **options concurrentes**
 - notions clés: **élasticités prix directe** (*own-price elasticity*) et **croisée** (*cross-price elasticity*)
- du revenu des individus, de la richesse d'un territoire... : influent sur D_0 et élasticités (ou paramètre B)

Remarques :

- variation de p = déplacement le long de droite de demande; variation de D_0/B = déplacement de droite de demande
- empiriquement on ne connaît jamais la fonction $D()$, uniquement certains points ⇒ hypothèses sur forme fonctionnelle
 - linéaire (comme ici), puissance (élasticité constante)...
- lien avec **modèles de prévision de la demande** (mais ici sans prise en compte des interactions entre O-D)

RAPPEL: NOTION D'ÉLASTICITÉ

Définition générale

L'élasticité mesure comment une variable économique réagit à la variation d'une autre variable.

→ concept-clé en théorie économique néoclassique

Formellement : si $y=f(x)$

$$\eta = \frac{dy}{dx} = \frac{d \log y}{d \log x} = \frac{xf'(x)}{f(x)}$$

- l'élasticité η mesure de combien de % y augmente si x croît de 1%

COMMENT INTERPRÉTER LA VALEUR DE L'ÉLASTICITÉ?

Les "3 s": *sign*, *size*, *significance*

- signe (*sign*): positif ou négatif
- valeur absolue (*size*)
 - $>1 \Rightarrow$ élastique $<1 \Rightarrow$ inélastique $= 1 \Rightarrow$ linéaire / relation inverse
 - demande: si élasticité prix <1 , augmenter le prix permet d'augmenter le profit
- significativité (*significance*): en lien avec l'estimation (voir plus loin)

Exemples

- élasticité-prix du nombre de repas au restaurant: -2,3 \Rightarrow très élastique
- élasticité-prix de la consommation de tabac : -0,3 \Rightarrow très inélastique

CAS PARTICULIERS

Fonctions puissance

$$y = Ax^\alpha$$

⇒ élasticité constante: $\eta = \alpha$

Fonctions linéaires

$$y = ax + b$$

⇒ l'élasticité n'est pas constante et varie en fonction de la grandeur de x:

$$\eta = \frac{ax}{ax + b}$$

- pour $y > 0$ et $x > 0 \rightarrow 3$ cas:

- | | | |
|--|------------------------------------|------------------------------------|
| • $a > 0$: élasticité positive | $b > 0 \rightarrow \eta < 1$ | $b < 0 \rightarrow \eta > 1$ |
| • $a < 0, b > 0$: élasticité négative | $x < -b/2a \rightarrow \eta < 1$ | $x > -b/2a \rightarrow \eta > 1$ |

ESTIMATION

Représentation de la fonction de demande à estimer:

$$y = f(X) + \varepsilon$$

- f : fonction de réponse, X: variables explicatives
- ε : terme d'erreur

Cas fréquent: spécification linéaire

$$y = \beta' \cdot X + \varepsilon$$

- estimation par moindres carrés ordinaires (MCO) / *ordinary least squares* (OLS)
 - significativité des paramètres à vérifier: p-valeur < niveau de significativité souhaité
- si modèle log-log ($y = \log(y_0)$ et $X = \log(X_0)$): β' donne directement les élasticités de y_0 à X_0

Spécifications alternatives: modèle non-linéaire paramétrique ou non-paramétrique

RETOUR SUR L'EXEMPLE: ÉLASTICITÉS DANS LE TRANSPORT DE FRET

Modélisation du fret utilise fréquemment la fonction de production Cobb-Douglas :

$$y = k \times x_1^\alpha \times x_2^\beta \dots$$

- y = trafic (tonnes x kilomètres)
- x_1 = variable explicative mesurant l'activité économique
 - e.g. PIB, production industrielle
- x_2 = prix du mode de transport
- forme Cobb-Douglas entraîne une spécification log-log

Deux questions:

- élasticité du fret au PIB?
- élasticité du fret au prix du transport?

ÉLASTICITÉS ESTIMÉES POUR LE FRET

Déterminants de la demande de transport de fret

Modes	Unité	Variable explicative	Elasticité
Route	tonnes x km	Production industrielle	1.47
		PIB marchand	1.87
		Prix du transport routier	-0.64
Fer	tonnes x km	Demande de biens industriels	0.67
		PIB marchand	1.18
		Production industrielle	1.4
Fluvial	tonnes x km	PIB marchand	1.49
Aérien	tonnes	PIB marchand	2.76

Source : "Transport 2010"

ELASTICITY ESTIMATES FOR PASSENGER TRANSPORTATION

Dependent variable	Explanatory variable	Elasticity
Traffic on the national road network	GDP	1.2
	Ratio: road price/ rail price	-0.22
	Vehicle fleet	0.25
Traffic on private highways	Previous year traffic on private highways	0.25
	GDP	0.92
	Fuel price	-0.47
	Toll	-0.96
Domestic air transportation	Length of the highway network	0.65
	GDP	0.75
	Average air price	-0.53
Rail traffic on the primary network	HGV traffic (in pax.km)	-0.02
	Supply of seat.km	0.56
	Final consumption of households	0.43
	Average SNCF price	-0.7
	Fuel price	0.2
	Average speed of trains	1.08

Source: Quinet

PASSENGER TRANSPORTATION: LT VS. ST

Short-term and long-term elasticities may differ:

Elasticity to oil price	Short-term	Long-term
of traffic	-0.2	-0.3
of fuel consumption	-0.3	-0.8

Questions :

- traffic: what do we observe? Why?
- fuel consumption: why is the spread LT/ST more important than for traffic?

PASSENGER TRANSPORTATION: MODAL COMPETITION & CROSS-ELASTICITIES

Definition: **cross-price elasticities** measure the variation of the consumption of one good consecutive to a price increase for another good

- typically >0 (especially in transportation), not always

Direct- and cross-price elasticities of interregional traffic in the Matisse national model

		Fuel	Rail (< 150 km/h)	Rail (> 150 km/h)	Air
Trip 100-300km	Ordinary road	-1.2	0.1	0	0
	Highway	-1.3	0.4	0	0
	Rail (< 150 km/h)	1.4	-1.3	0	0
	Rail (> 150 km/h)	0	0	0	0
	Air	0.3	0.4	0	-
Trip > 700km	Ordinary road	-0.4	0.05	-	0.05
	Highway	-0.6	0.1	0.05	0.1
	Rail (< 150 km/h)	0.2	-1	-1.4	0.4
	Rail (> 150 km/h)	0.2	0.05	0.3	0.4
	Air	0.1	0.05	0.3	1.4

Source : Quinet

ILLUSTRATION : L'APPROCHE FRETURB POUR LE TMV

Le nombre de livraisons/enlèvements dans la zone z dépend du nombre d'établissements e, de leurs tailles a, des secteurs p, des types de locaux o :

$$M_z = \sum_{e \in z} n_e(a, p, o)$$

Chaque établissement appartient à un profil logistique ε (véhicule utilisé k, identité de l'opérateur de transport m , organisation des déplacements r) :

$$M_z = \sum_{\varepsilon, k, m, r} M_{\varepsilon, z} \times f_{k, m, r}$$

Le nombre total de déplacements en z dépend du nombre de tournées directes dtz, du nombre de points de livraisons/d'enlèvements dans z (sez) et du nombre de mouvements qui y transitent (cz) :

$$t_z = dt_z + se_z + cz$$

En utilisant une typologie de mouvements et d'espaces, Freturb estime finalement une matrice OD pour les VUL et les PL (en fonction notamment des distances euclidiennes)

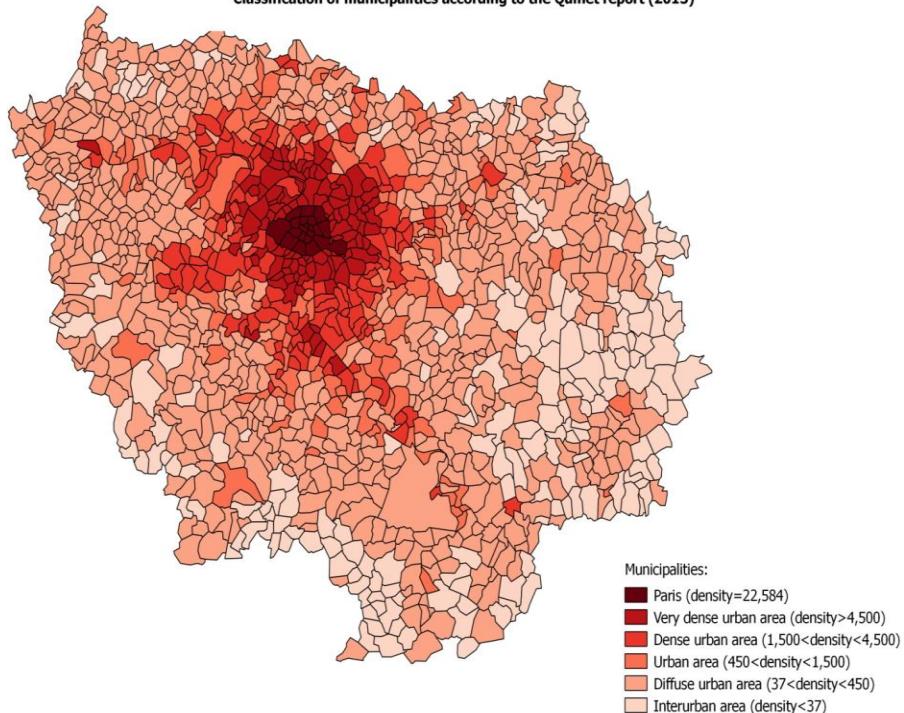
FRETURB EN ILE-DE-FRANCE (2012)

	IdF	PC	VDUA	DUA	UA	DIUA	IA
Operations per establishment (/week)	6.3	4.9	6.6	7.5	8.8	7.1	5.1
Direct trips movements (%)	29.8	26.9	28.4	29.4	30.1	34.2	50.7
Third party operators movements (%)	41.2	40.2	41.4	41.7	44.1	39.7	31.1

Notes: "PC" refers to Paris city, "VDUA" to very dense urban area, "DUA" to dense urban area, "UA" to urban area, "DIUA" to diffused urban area and "IA" to interurban area.

Table 3 – OD matrices for urban road freight and private cars (2012)

Classification of municipalities according to the Quinet report (2013)



<i>Daily trips from:</i>								
	PC	VDUA	DUA	UA	DIUA	IA	Total	
<i>Daily trips to:</i>	PC	1,129,372 <u>144,280</u> (11.7%)	495,943 <u>74,516</u> (13.1%)	107,198 <u>31,665</u> (22.8%)	28,178 <u>15,990</u> (36.2%)	25,771 <u>11,649</u> (31.1%)	1,272 <u>630</u> (33.1%)	1,787,737 <u>278,732</u> (13.5%)
	VDUA	559,999 <u>74,516</u> (11.7%)	3,270,264 <u>139,509</u> (4.1%)	747,846 <u>47,617</u> (6.0%)	213,058 <u>18,984</u> (8.2%)	109,242 <u>8,481</u> (7.2%)	5,038 <u>412</u> (7.6%)	4,905,450 <u>289,521</u> (5.6%)
	DUA	93,349 <u>31,665</u> (25.3%)	770,811 <u>47,617</u> (5.8%)	1,877,459 <u>48,785</u> (2.5%)	463,366 <u>24,457</u> (5.0%)	262,432 <u>13,860</u> (5.0%)	14,975 <u>620</u> (4.0%)	3,482,394 <u>167,007</u> (4.6%)
	UA	27,449 <u>15,990</u> (36.8%)	208,650 <u>18,984</u> (8.3%)	460,160 <u>24,457</u> (5.0%)	682,293 <u>17,397</u> (2.5%)	267,952 <u>11,884</u> (4.2%)	23,106 <u>860</u> (3.6%)	1,669,611 <u>89,575</u> (5.1%)
	DIUA	21,253 <u>11,649</u> (35.4%)	114,038 <u>8,481</u> (6.9%)	286,320 <u>13,860</u> (4.6%)	276,152 <u>11,884</u> (4.1%)	759,846 <u>15,884</u> (2.0%)	45,135 <u>1,669</u> (3.6%)	1,502,746 <u>63,429</u> (4.1%)
	IA	1,288 <u>630</u> (32.8%)	5,799 <u>412</u> (6.6%)	18,329 <u>620</u> (3.3%)	26,290 <u>860</u> (3.2%)	47,055 <u>1,669</u> (3.4%)	66,091 <u>411</u> (0.6%)	164,855 <u>4,604</u> (2.7%)
	Total	1,832,712 <u>278,732</u> (13.2%)	4,865,507 <u>289,521</u> (5.6%)	3,497,314 <u>167,007</u> (4.6%)	1,689,340 <u>89,575</u> (5.0%)	1,472,301 <u>63,429</u> (4.1%)	155,619 <u>4,604</u> (2.9%)	13,512,795 <u>892,872</u> (6.2%)

Notes: 1) "PC" refers to Paris city, "VDUA" to very dense urban area, "DUA" to dense urban area, "UA" to urban area, "DIUA" to diffused urban area and "IA" to interurban area.

2) The underlined figures refer to trips made by LGVs and HGVs, the percentages in brackets describe the share of URF on a given OD.

FONCTION DE DEMANDE INVERSE

La fonction de demande inverse est la réciproque de la fonction de demande:

$$P(q) = D^{-1}(p)$$

Cette fonction décrit le « **consentement marginal à payer** » des individus pour consommer une unité additionnelle de bien

- consentement marginal à payer = **bénéfice marginal**
- décroît avec les quantités consommées car satiété
- en pratique, souvent un **consentement marginal à payer généralisé**

Intuition : je demande un bien jusqu'à ce que le bénéfice marginal corresponde au prix d'achat

- similitudes avec la notion de **prix de réserve**

Demande inverse très utilisée dans le calcul économique du surplus (cf. séance ESE)

EXERCISE

Consider a regional railway line Grenoble <-> Lyon (130 km), with the following characteristics:

- This line currently carries 20 000 passengers per day.
- The current fare is 5€, and fuel price is 1.5€.
- Demand is linear in fare and fuel price, with point elasticities -0.5 (fare) and 0.3 (fuel price)

Q1. What is the daily turnover:

- currently? for a fare at: 3€? 8€?
- for a fare at 5€, but a fuel price at 2.5€?

Q2. For a fuel price at 2€:

- what is the optimal turnover?
- what fare zeroes the turnover?
- plot the turnover as a function of fare

Optional: same exercise with constant elasticities

Partie 2

Approches désagrégées

*Comportement du consommateur
et choix discret*

RAPPEL:**FONCTION D'UTILITÉ & PROGRAMME DU CONSOMMATEUR**

Hypothèse de base : chaque consommateur est muni d'une **fonction d'utilité**, U , qui dépend de la quantité qu'il consomme de chaque bien:

$$U(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n)$$

Propriétés centrales de fonction U :

- croissante (hypothèse de non satiété)
- concave (hypothèse de préférence pour la diversité)

Comportement du consommateur se traduit par le programme suivant :

$$\max U(x_1, x_2, x_i, x_n)$$

$$\text{s. c } \sum_i p_i x_i \leq Y$$

maximisation de l'utilité

contrainte de budget

APPLICATION SIMPLE AUX TRANSPORTS

On utilise souvent une fonction avec 3 biens:

$$U(x_1, x_2, z) = u(x_1, x_2) + z$$

- x_1 et x_2 :biens d'intérêt
 - ex: nombre de déplacements en TC et en VP
- z : bien composite (représente tous les autres biens dans l'économie)
 - prix fixé arbitrairement à 1 → « numéraire »

Résolution du programme du consommateur → **utilité indirecte**:

$$V(p_1, p_2, Y) = \max_{\substack{x_1, x_2, z \\ s.c. \sum_i p_i x_i \leq Y}} U(x_1, x_2, z) = Y + v(p_1, p_2)$$

CHOIX DISCRETS ET MODÈLES DÉTERMINISTES

Choix discret: situation où le consommateur doit choisir parmi un **ensemble fini** d'alternatives

- ex : choix de mode, de destination, d'équipement, de localisation...
- nombre fini (discret) d'options ⇒ modèle de régression linéaire proscrit (variable à expliquer non continue)

Cas du choix de mode → utilité indirecte associée au mode i est :

$$V_i(p_i, Y) = Y + v(p_i)$$

Si individus parfaitement homogènes, pour un segment de marché donné (par exemple déplacements Paris – Noisy-Champs), on ne devrait observer qu'un seul mode utilisé...

Or en pratique on observe une diversité des comportements

- les préférences peuvent varier d'un individu à un autre (**préférences idiosyncrasiques**)
- les préférences peuvent varier d'un déplacement à un autre pour un même individu
- certaines variables de choix peuvent être difficiles à mesurer voire à observer par le modélisateur
 - ex: contraintes organisationnelles, peur/aversion pour certains modes, préoccupations écologiques...

MODÈLES D'UTILITÉ ALÉATOIRE

Phénomènes précédents représentés par **terme aléatoire**:

$$U_{i,n}(p_i, Y) = V_i(p_i, Y) + \varepsilon_{i,n}$$

- V_i : utilité déterministe (indirecte et conditionnelle)
- $\varepsilon_{i,n}$: composante aléatoire (préférences idiosyncrasiques, variables manquantes...)

Cas binaire: probabilité de choix

$$P_1 = \Pr(V_1 + \varepsilon_1 \geq V_0 + \varepsilon_0) = \Pr(\varepsilon_0 - \varepsilon_1 \leq V_1 - V_0)$$

- si l'on connaît la distribution de ε_0 et ε_1 ou bien de leur différence, on peut calculer P_1

Loi de distribution les + utilisées :

- loi normale → modèle « **probit** »
- loi de Gumbel → modèle « **logit** »

MODÈLE LOGIT MULTINOMIAL

Loi de Gumbel

- Paramètres : λ (position et mode), μ (échelle)

- $\lambda = 0, \mu = 1 \rightarrow$ loi de Gumbel standard

- Moments

- espérance : $\lambda + \mu \cdot \gamma$ avec $\gamma = 0,577$ (constante d'Euler)

$$\text{variance} : \frac{\pi^2}{6} \mu^2$$

- Fonctions de distribution ($z = e^{-\frac{x-\lambda}{\mu}}$)

- répartition : $F(x) = e^{-z}$

$$\text{densité: } F(x) = \frac{1}{\mu} z \cdot e^{-z}$$

Probabilité de choix pour / alternatives :

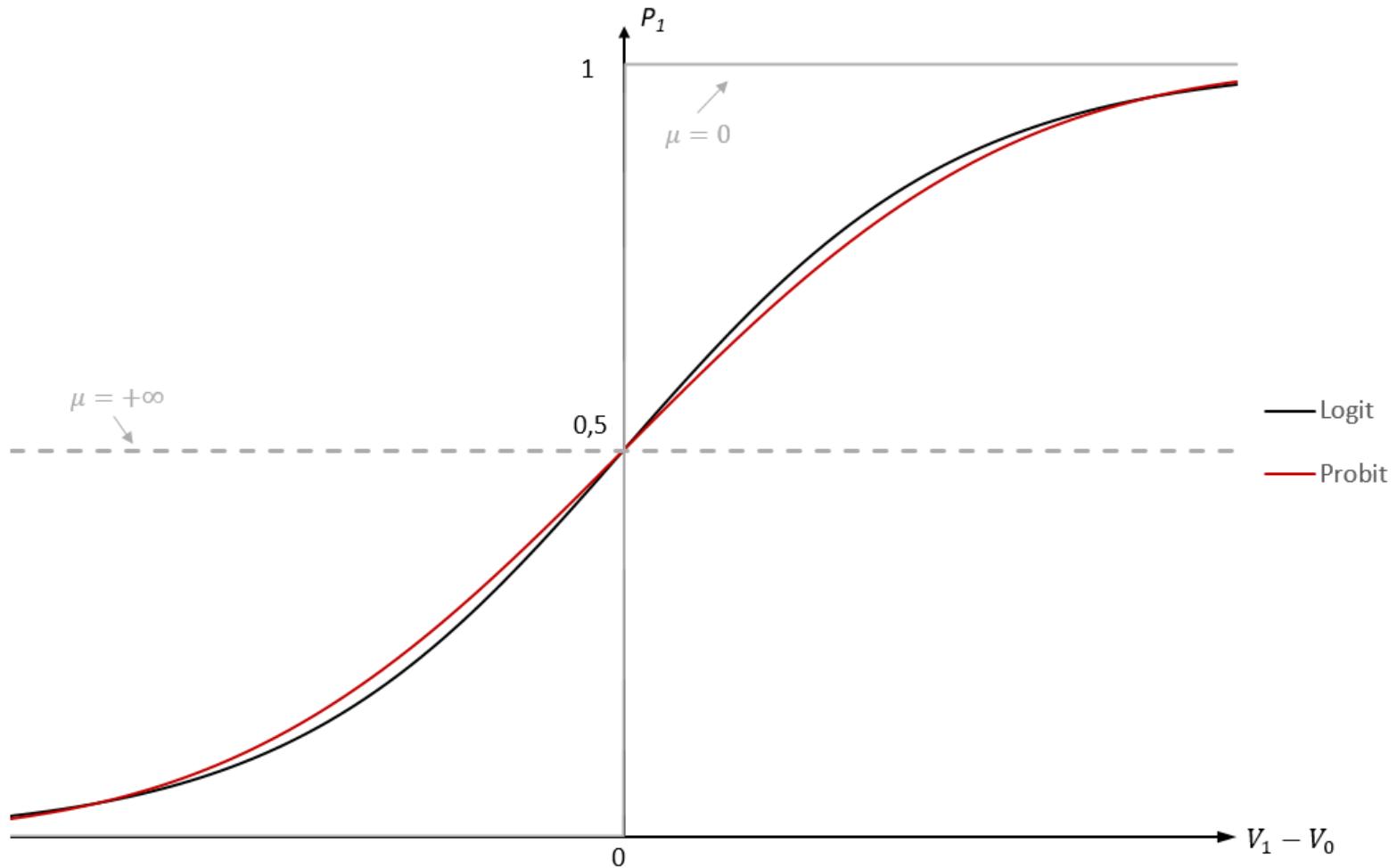
$$P_k = \frac{e^{\frac{V_k}{\mu}}}{\sum_{i=1}^I e^{\frac{V_i}{\mu}}}$$

Utilité espérée (logsum)

$$E[U^{max}] = \mu \log\left(\sum_{i=1}^I e^{\frac{V_i}{\mu}}\right)$$

Formules clés!

PROBABILITÉS DE CHOIX DANS LE CAS BINAIRES



Partie 3

Introduction du temps de parcours

Valeurs du temps & coût généralisé

PRIX / COÛT GÉNÉRALISÉ

Définition

Le prix/coût généralisé est le coût global (monétaire et non-monétaire) supporté par l'individu lorsqu'il effectue son déplacement.

Formellement:

$$GC = p + VTTS \times T$$

valeur du temps

temps de parcours

- p = coût monétaire (privé) du déplacement
 - coûts d'utilisation: variables (essence, maintenance...), fixes (amortissement, assurance...)
 - prix du service: péage (autoroutes), ticket (TC), course (taxi, VTC) ... & taxes
 - si inclus: **prix généralisé**
 - si non inclus: **coût généralisé** (pour ESE)

La formule peut être raffinée en :

- différenciant la VTTS selon attente, marche,..., ou niveau de confort
- incluant des termes constants de bonus (ex: autoroutier) ou de pénalité (ex: transferts)

VALEUR DU TEMPS (ÉCONOMISÉ)

Définition

La valeur du temps économisé (VTTS pour *Value of Travel Time Savings*) est le taux marginal de substitution entre le temps (de transport) et l'argent.

Formellement :

$$VTTS = -\frac{\frac{\partial V}{\partial T}(Y, p, T)}{\frac{\partial V}{\partial Y}(Y, p, T)}$$

- V : fonction d'utilité indirecte

PROBLÈME D'ALLOCATION DU TEMPS

$$\begin{aligned} & \max U(z, L, T, W) \\ s.t. & \begin{cases} z + p \leq Y + \alpha w W \\ L + T + W \leq T_{day} \end{cases} \end{aligned}$$

Double contrainte

- **budget** : numéraire z + prix dépl.= Revenu total \rightarrow multiplicateur de Lagrange λ
 - w = salaire horaire, α = taux de « non-imposition »
- **temps** : Loisir + Travail (W) + Transport = Tps disponible \rightarrow multiplicateur de Lagrange μ

Valeur optimale \rightarrow fonction d'utilité « indirecte » $V(Y, p, w, \alpha, T, T_{day})$

Théorème de l'enveloppe \rightarrow VTTS

VTTS : STATIQUE COMPARATIVE

$$VTTS = \frac{\partial V}{\partial T} / \frac{\partial V}{\partial Y} = \frac{\mu - U_T}{\lambda} = \frac{U_L - U_T}{U_z} = \alpha w + \frac{U_W - U_T}{U_z}$$

Rôle des caractéristiques individuelles:

- ↑ avec revenus non salariaux ($U_z \downarrow$ avec Y)
- ↓ avec temps disponible
- ↑ avec salaire horaire net αw

Rôle des conditions de transport:

- ↓ avec l'utilité marginale du temps de transport
- ⇒ + le déplacement est long, et - le déplacement est confortable/productif/sûr/fiable,
+ grande est la valeur du temps

REMARQUES

VTTS \neq VOT

- Value of Time = valeur d'1 minute disponible supplémentaire = U_L/U_z
 - VTTS = valeur d'économiser 1 minute de temps de parcours = $U_L - U_T/U_z$
- différence entre les 2 = utilité marginale du temps de parcours
- en pratique, les deux termes sont souvent confondus...

Auto-sélection → les "personnes riches et pressées" tendent à choisir des modes rapides et chers, par exemple le taxi (et inversement)

- ceci augmente (diminue) la VTTS observée sur ces modes

ESTIMATION

Supposons que les usagers soient face à ce type de choix:



... où l'option 1 est plus rapide ($t_1 < t_2$) mais aussi plus chère ($c_1 > c_2$)

Un voyageur choisit l'option 1 si: $VTT\$ \geq (c_1 - c_2)/(t_2 - t_1)$

- Le terme de droite peut être appelé l'"enchère" (en €/h) que ce choix implique

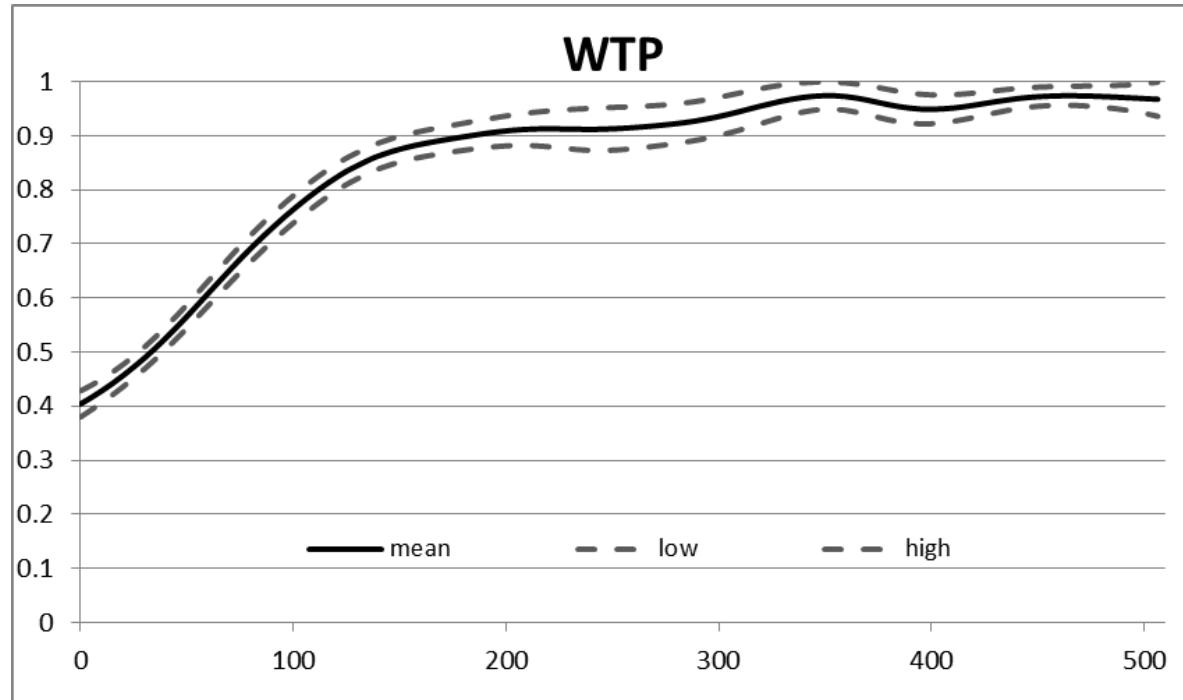
Avec suffisamment d'observations de voyageurs et d'enchères différentes, on peut représenter le pourcentage de voyageurs acceptant chaque enchère

→ *c'est la fonction de répartition des VTT\$!*

FONCTION DE RÉPARTITION DES VTTS

De nombreux voyageurs ont une VTTS nulle (~40% ici)

Distribution proche de lognormale, avec une queue longue



Source: Börjesson and Eliasson (2014)

EXEMPLE : LA VALEUR DU TEMPS À VÉLO

Enquête auprès de 756 cyclistes dans le centre de Stockholm

- restriction : âge >18, déplacement > 15 min

Deux expériences de choix binaire (9 choix chacune)

- entre le déplacement actuel à vélo et le meilleur mode alternatif (TC pour 87%, VP pour le reste), avec des coûts et temps de parcours différents
- entre différents types de pistes cyclables, avec des coûts et temps de parcours différents

Estimation: modèle logit

$$U_c = \delta_n + \delta_{age} + (\beta_0^{path} + f_{path}(T_0))t_{path} + (\beta_0^{street} + f_{street}(T_0))t_{street}$$

$$U_{alt} = (\beta_0^{alt} + f_{alt}(T_0))t_{alt} + \left(\alpha_1 + \alpha_2 \log \frac{I}{\bar{I}} \right) c$$

RÉSULTATS DE L'ESTIMATION

Parameter	Model 1		Model 2	
	Parameter value	t-test	Parameter value	t-test
β_0^{street} (travel time, street)	-0.227	-21.89	-0.249	-22.20
β_0^{path} (travel time, bike path)	-0.150	-16.09	-0.173	-17.15
β_0^{alt} (travel time, alt. mode)	-0.125	-16.35	-0.131	-15.73
β_1^{street} (effect of $T_0 \geq 40$, street)	-	-	0.067	4.38
β_1^{path} (effect of $T_0 \geq 40$, bike path)	-	-	0.079	5.56
β_1^{alt} (effect of $T_0 \geq 40$, alternative mode)	-	-	0.062	3.12
δ , mean (mode choice constant)	3.530	8.58	3.690	8.59
δ , std dev	2.380	21.54	2.380	21.39
δ_{age} (mode constant for age ≥ 40 yrs)	-	-	0.747	3.63
α_1 (travel cost)	-0.086	-18.03	-0.085	-17.61
α_2 (effect of income)	-	-	0.039	4.71

Source: Börjesson and Eliasson (2012)

RÉSULTATS : VALEURS DU TEMPS ASSOCIÉES

VTTS

- ↑ avec Y
- ↓ avec confort
- ↓ avec T (au lieu de ↑): auto-sélection, effet sport/santé?

Values of time in EUR/h	Model 1	Model 2			
		Evaluated at average sample income (3 100 EUR/month)		Evaluated at average population income (2 500 EUR/month)	
		$T_0 < 40$	$T_0 \geq 40$	$T_0 < 40$	$T_0 \geq 40$
Value of bicycle time on street	15.9	17.6	12.9	16.4	12.0
Value of bicycle time on bike path	10.5	12.2	6.7	11.4	6.2
Value of time on alt. mode	8.7	9.3	4.9	8.6	4.6

Source: Börjesson and Eliasson (2012)

ÉTUDE EN SUÈDE:

FACTEURS INFLUANT SUR LA VTTS

Individual characteristics

Impact

- Income (elasticity 0.2- 0.5)
- Urban/rural area (Stockholm car +35%)
- Household type (parents with small children +46%)
- Employment (employed +30%)

No impact

- Gender
- Age
- Education

Trip characteristics

Impact

- Travel cost
- Travel time
- Mode
- Trip purpose

No impact

- Accompanying children
- Day of week
- Shared travel cost

Experiment characteristics

Impact

- Time difference between alternatives
- WTP/WTA/EG/EL
- Web or phone survey

Source: Börjesson and Eliasson (2014)

ÉTUDE EN SUÈDE:

VALEURS TUTÉLAIRES POUR L'ÉVALUATION

Les valeurs du temps sont moyennées pour retirer les effets de revenu et de composition sociodémographique

Table 3

Values of time for use in applied appraisal (€/h).

	Short distance, commute	Short distance, other purposes	Long distance, all purposes
Car, Stockholm	12.1	7.8	14.9
Car, other regions	9.2	5.9	11.4
Car, all regions	9.8	6.1	11.7
Bus	5.3	2.8	3.8
Train	7.2	5.0	7.3

Source: Börjesson and Eliasson (2014)

VALEURS TUTÉLAIRES EN FRANCE

VTTS varie selon:

- le motif de déplacement
- la distance
- le revenu → problèmes de comparabilité (inter-territoires) et d'équité (intra-)

En milieu urbain, tous modes (en €₂₀₁₅/h par voyageur en 2015)

Motif du déplacement	France entière	Île-de-France
Professionnel	18,6	23,7
Domicile-travail/études/garderie	10,6	13,4
Autres (achat, soin, visites, loisir, tourisme, etc.)	7,2	9,3
Sans détail du motif	8,4	11,4

Source: Fiches outils du ministère (2018)

VALEURS TUTÉLAIRES EN FRANCE

En milieu interurbain (en €₂₀₁₅/h par voyageur en 2015)

Mode	Motif du déplacement	Pour les distances inférieures ou égales à 20 km	Pour les distances comprises entre 20 et 80 km			Valeurs à 80 km	Pour les distances comprises entre 80 km et 400 km			Pour les distances supérieures ou égales à 400 km		
Route – véhicule particulier	Tous motifs	8,4	0,096	x d +	6,5	14,1	0,006	x d +	13,6	16,2		
	Professionnel	18,6	0,215	x d +	14,4	31,5	0,017	x d +	30,2	37,0		
	Personnel-vacances	7,2	0,033	x d +	6,6	9,3	0,013	x d +	8,2	13,2		
	Personnel-autres	7,2	0,071	x d +	5,9	11,5	0,020	x d +	9,9	18,1		
Route – autocar ¹	Tous motifs	8,4	0,177	x d +	4,9	19,0	-0,020	x d +	20,5	12,7		
	Professionnel	18,6	0,163	x d +	15,4	28,4	0,004	x d +	28,0	29,8		
	Personnel-vacances	7,2	0,033	x d +	6,6	9,3	0,003	x d +	8,9	10,4		
	Personnel-autres	7,2	0,071	x d +	5,9	11,5	0,006	x d +	11,1	13,6		
Fer	Tous motifs	8,4	0,262	x d +	3,2	24,1	0,012	x d +	23,2	27,9		
	Professionnel	18,6	0,456	x d +	9,6	46,1	0,000	x d +	46,1	46,1		
	Personnel-vacances	7,2	0,266	x d +	1,9	23,2	0,000	x d +	23,2	23,2		
	Personnel-autres	7,2	0,282	x d +	1,6	24,1	0,000	x d +	24,1	24,1		
Aérien	Tous motifs									0,001	x d +	56,6
	Professionnel									0,000	x d +	77,5
	Personnel-vacances									0,000	x d +	55,5
	Personnel-autres									0,000	x d +	56,8

VALEURS TUTÉLAIRES EN FRANCE

Valeurs du temps marchandises (« chargeur », en €₂₀₁₅/h en 2015)

Type de marchandises	Valeur du temps de déplacement
Marchandises à forte valeur ajoutée <i>Valeur indicative : > 35 000 €/t</i> <i>Exemples : transport combiné, conteneurs maritimes, messagerie, transports frigorifiques, route roulante, trafic roulier...</i>	0,64 €/t
Marchandises courantes <i>Valeur indicative : entre 6 000 et 35 000 €/t</i> <i>Exemples : autres trafics ferroviaires, maritimes et fluviaux</i>	0,21 €/t
Marchandises à faible valeur ajoutée <i>Valeur indicative : < 6 000 €/t</i> <i>Exemples : vrac, granulats...</i>	0,01 €/t

Valeurs du temps « transporteurs » (en €₂₀₁₅/h en 2015)

Mode	Valeur
Routier (par poids-lourd ou autocar)	39
Ferroviaire (par train)	492
Autres modes	A fixer au cas par cas

Source: Fiches outil du ministère (2018)

Partie 4

Introduction de l'heure de départ

Activités et modèles de "scheduling"

LE MODÈLE DE SCHEDULING

Objectif: analyser l'influence de l'heure de départ et du temps de parcours (dont sa variabilité) sur la désutilité du transport

Le modèle de *scheduling* permet de calculer:

- la VTTS
- la VTTV : value of travel time variability
- la valeur de la fréquence de service, ...

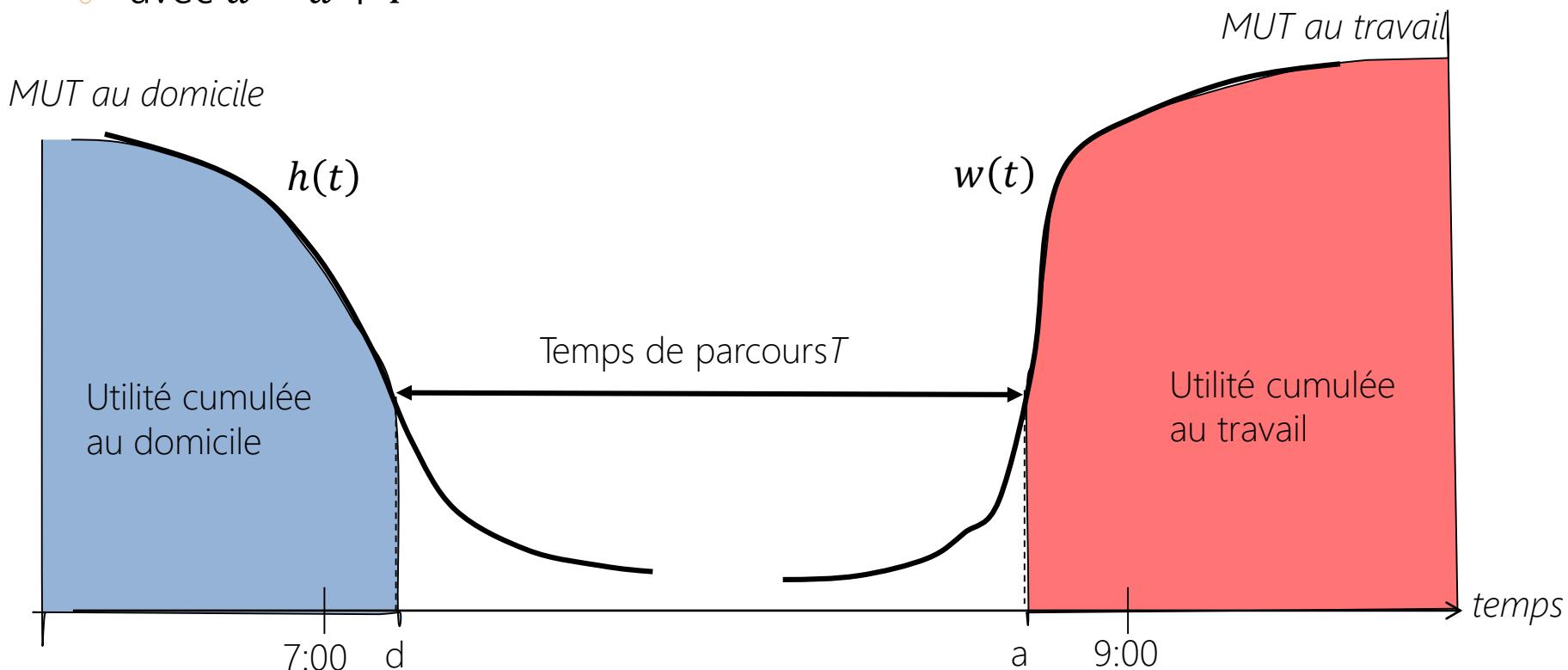
Principe: chaque activité est caractérisée par une utilité marginale du temps
(MUT pour **Marginal Utility of Time**)

- la MUT varie selon l'heure de la journée
- Domicile: ↓ avec t
- Travail: ↑ avec t (dans la matinée)

FORMALISATION & ANALYSE GRAPHIQUE

Utilité du « planning »: $U(d, T) = \int_{t_H}^d h(t)dt + \int_a^{t_W} w(t)dt$

- avec $a = d + T$

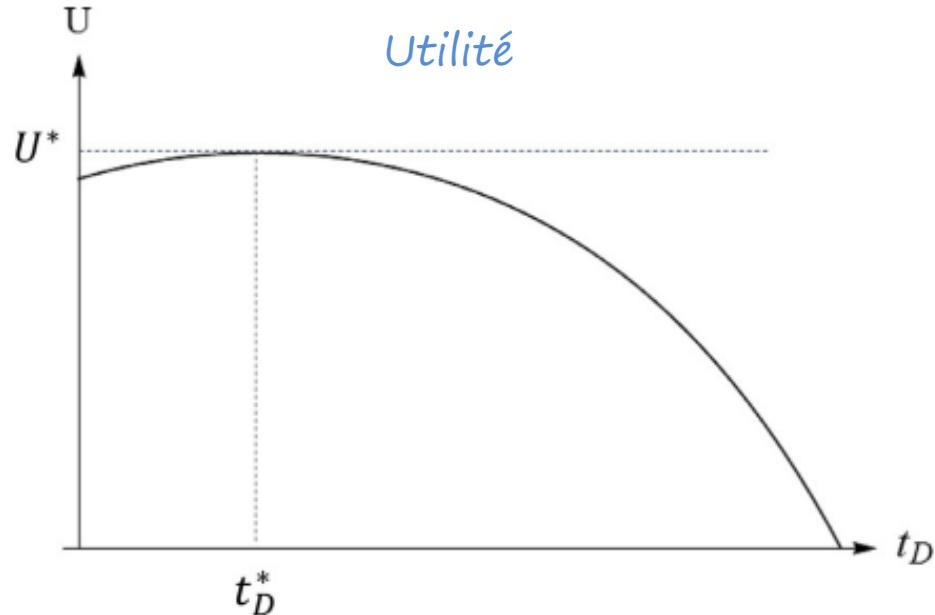
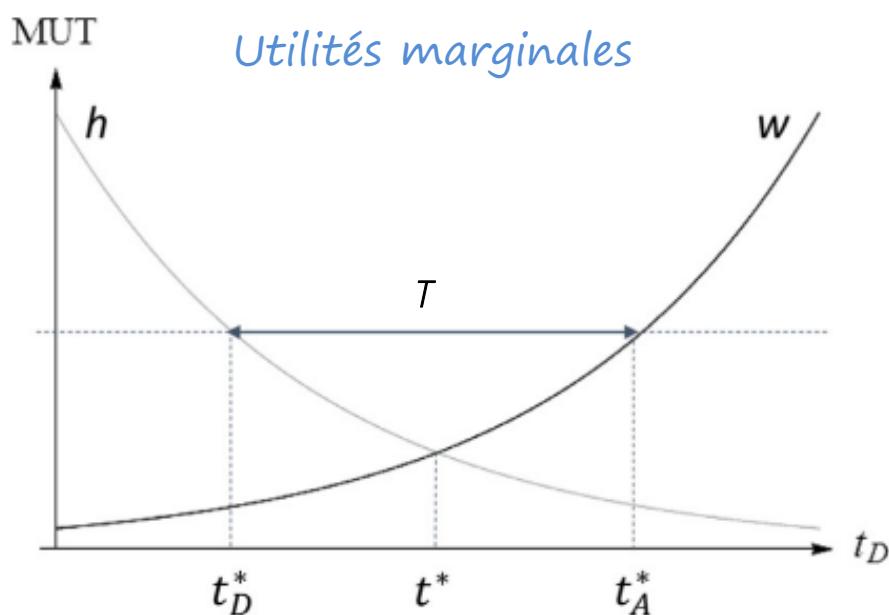


SOLUTION GRAPHIQUE

A l'heure de départ optimale:

$$h(d^*) = w(a^*) \quad \text{avec } a^* = d^* + T$$

Si déplacement instantané ($T = 0$) $\Rightarrow d^* = t^*$ (intersection de h et w)



Partie 5

Tarification fine en fonction de la demande

le "yield management"

PRÉSENTATION

Le *yield management* (de *yield*, rendement) a permis à American Airlines:

- d'économiser 1,4 milliards de dollars sur la période 1989 – 1992,
- soit 150 % de ses bénéfices sur la période.

Entre 2007 et 2009, le yield management a permis à la SNCF :

- d'améliorer de deux points (pour atteindre 77%) le taux d'occupation des TGV, Eurostar, Thalys et Corail,
- mais également de transporter 10 millions de voyageurs en plus (128 millions au total) et de faire progresser de 8% le chiffre d'affaires de la branche voyages (7,5 milliards d'euros).

CRITÈRES D'APPLICATION

Idée générale : maximiser les recettes de l'entreprise par une **gestion tarifaire des capacités disponibles** visant à optimiser le remplissage et le chiffre d'affaires.

Le *yield management* est une technique adéquate pour les entreprises de service présentant les caractéristiques suivantes :

- des capacités finies
- des stocks périssables
- des marchés micro-segmentés
 - clientèle « affaires » sensible au confort et délai et une clientèle loisir sensible au prix par exemple
- une demande pouvant fluctuer mais restant relativement prévisible
- des services pouvant être vendus par avance
- un ratio charges variables / charges fixes faible
 - un siège vide coûte presque aussi cher à transporter à une compagnie aérienne qu'un siège occupé

PRINCIPALES TECHNIQUES DU YIELD MANAGEMENT

1. La surréservation (*over booking*)
2. La gestion des classes tarifaires (*discount seat allocation*)
3. La gestion des tarifs dans un réseau en « *hubs and spokes* »

LA SURRÉSERVATION

Ou pourquoi j'ai été « surbooké » ?

Notion centrale : le « no-show »

- fait qu'une partie des voyageurs ayant réservé **ne se présenteront pas au départ du vol**
- taux de no-show = 10% pour Air Canada

Les compagnies sont donc amenées à **vendre plus de tickets que de sièges.**

- American Airlines estime que 15 % de ses sièges seraient inoccupés sans surréservation.

Le faible taux de remplissage constitue un manque à gagner (coûts fixes élevés)

L'excès de surréservations oblige les compagnies à proposer des primes à des volontaires ou à payer des indemnités, ce qui induit des frais.

LA GESTION DES CLASSES TARIFAIRES

Où pourquoi mon voisin n'a pas payé le même prix que moi dans l'avion ?

Différenciation selon

- les conditions d'échange et de remboursement,
- le délai entre la réservation et le vol,
- les conditions de séjour minimal (ou nuit du samedi à dimanche) à destination,
- l'âge du client,
- la taille du groupe
- ...

Parfois le service à bord est différencié selon les classes, parfois il ne l'est pas.

Une dégradation du service pour les classes les moins chères (impossibilité d'échanger ou de rembourser par exemple)

LA GESTION DES CLASSES TARIFAIRES

Le monopole discriminant peut maximiser ses recettes s'il peut vendre à chaque client en fonction de sa disponibilité à payer (*willingness to pay*).

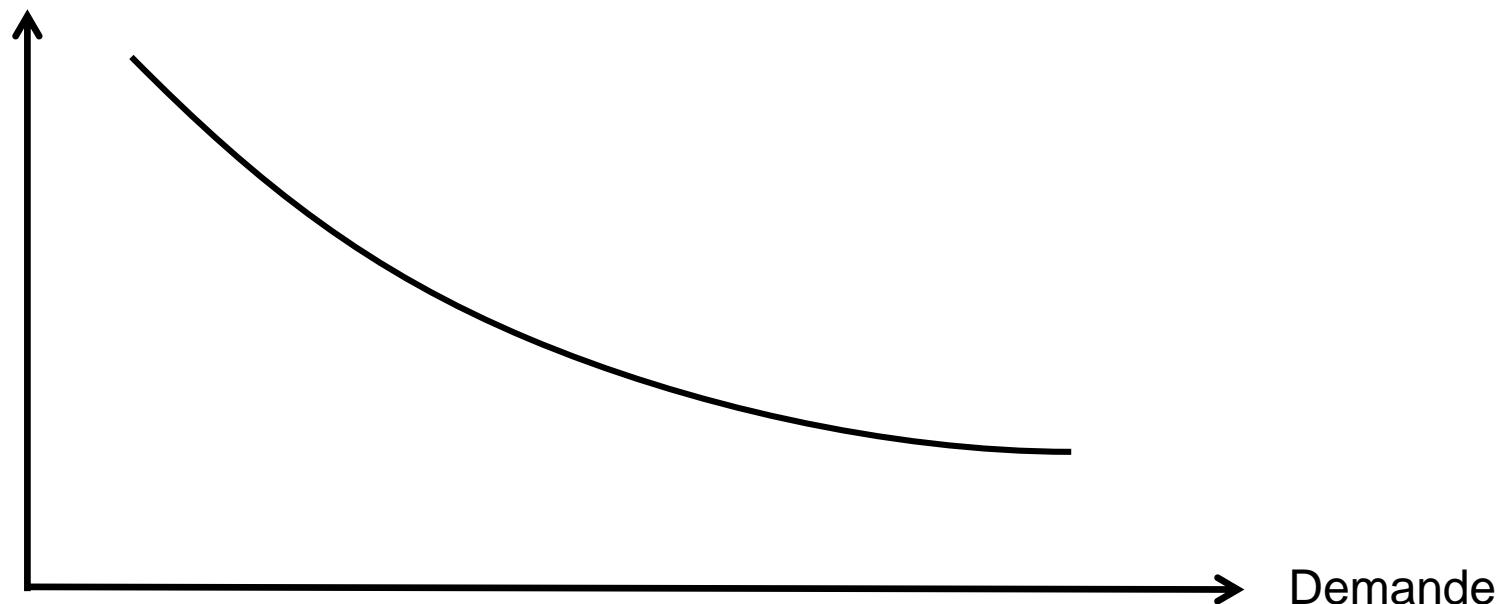
Il peut s'approcher de cet optimum s'il peut observer une variable corrélée avec la disponibilité à payer

- âge, taille du groupe, durée du séjour, nuit du samedi au dimanche, ...

INTERPRÉTATION GRAPHIQUE

Fonction de demande

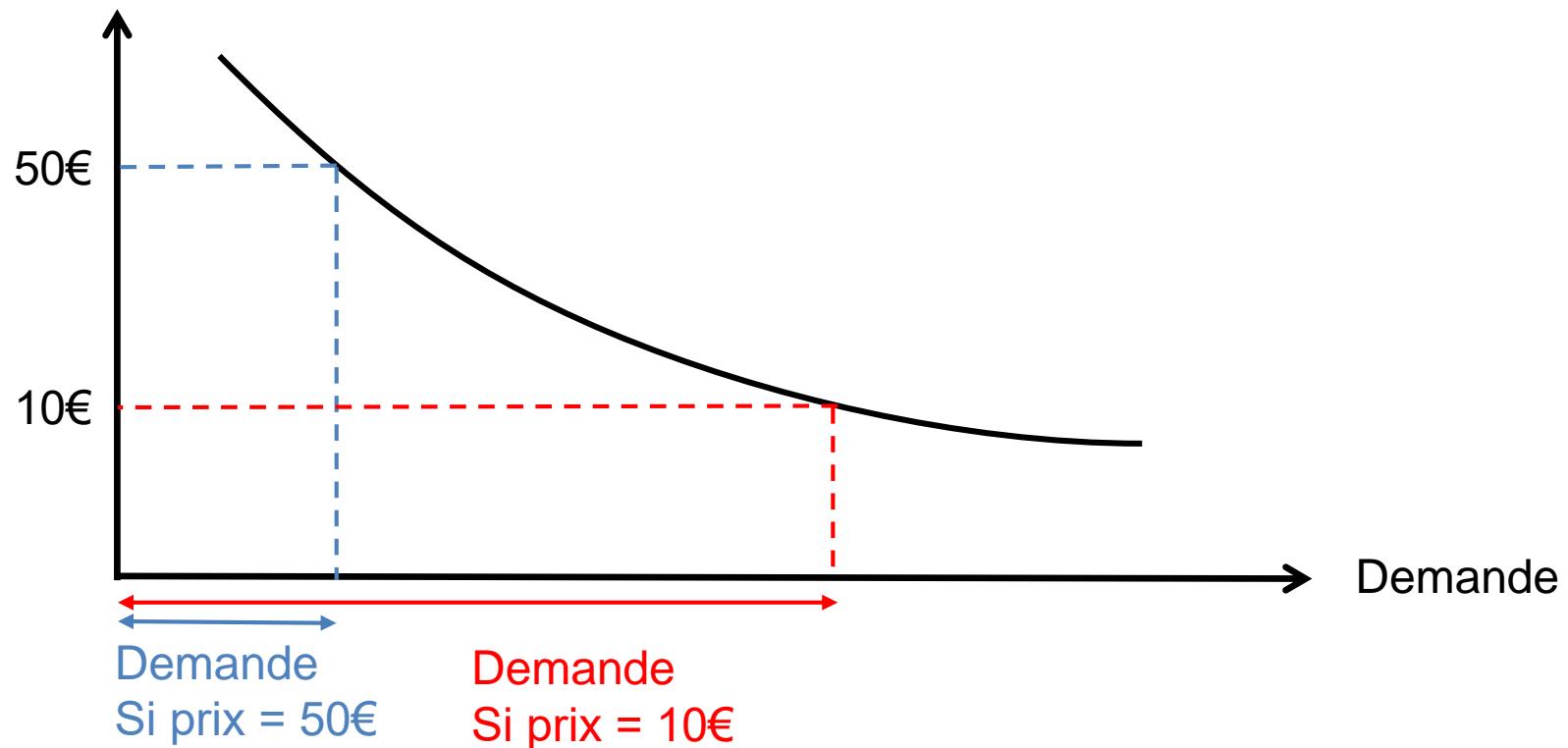
Disponibilité à payer



INTERPRÉTATION GRAPHIQUE

Fonction de demande

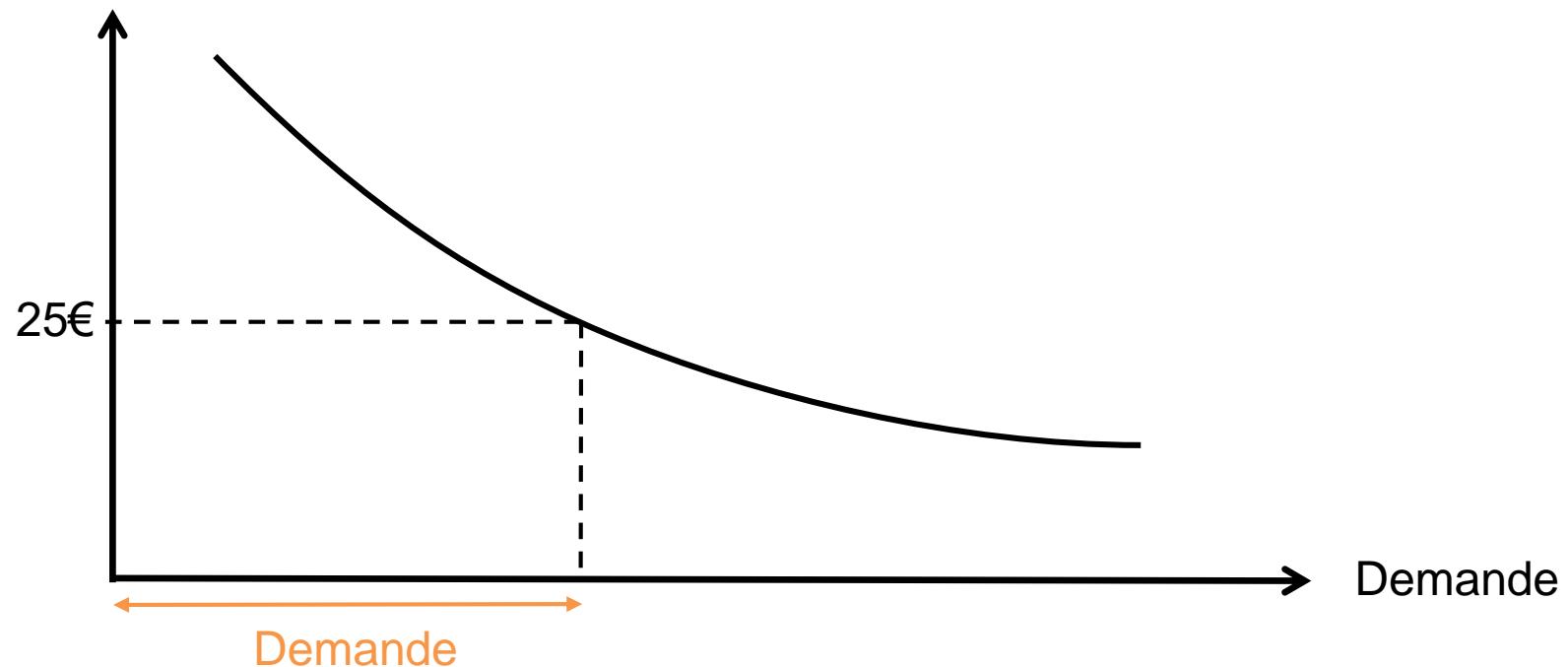
Disponibilité à payer



INTERPRÉTATION GRAPHIQUE

Fonction de demande : prix de 25 €

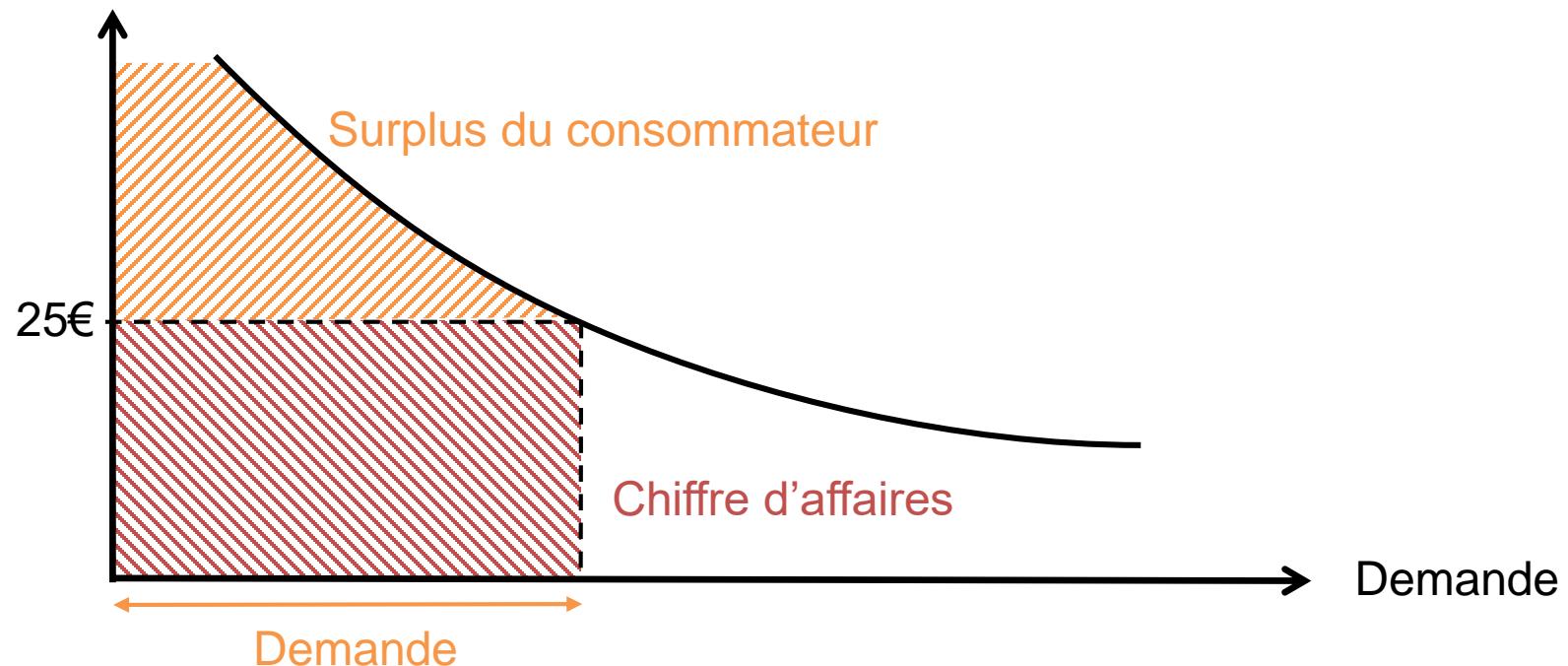
Disponibilité à payer



INTERPRÉTATION GRAPHIQUE

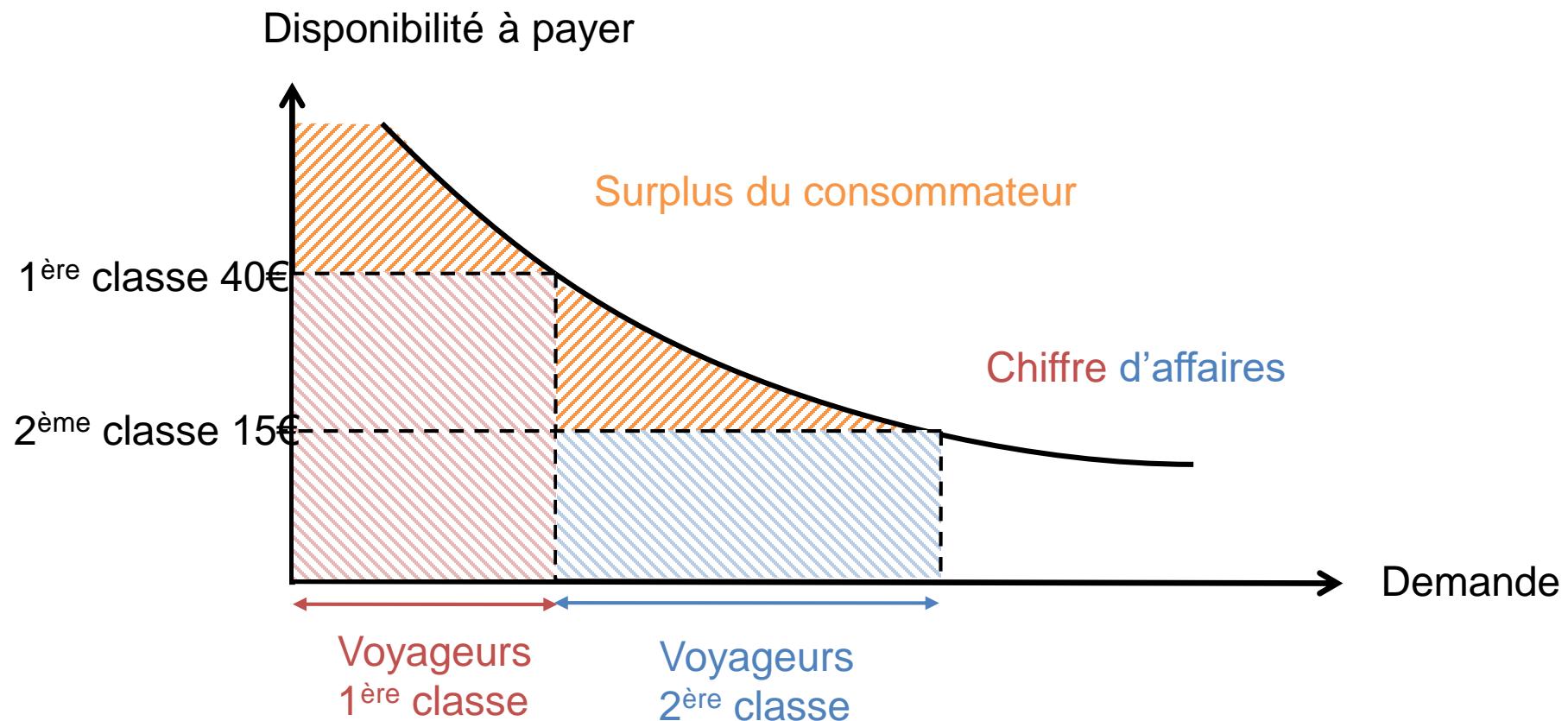
Fonction de demande : prix de 25 €

Disponibilité à payer



TRANSFORMER LE SURPLUS DU CONSOMMATEUR EN CA

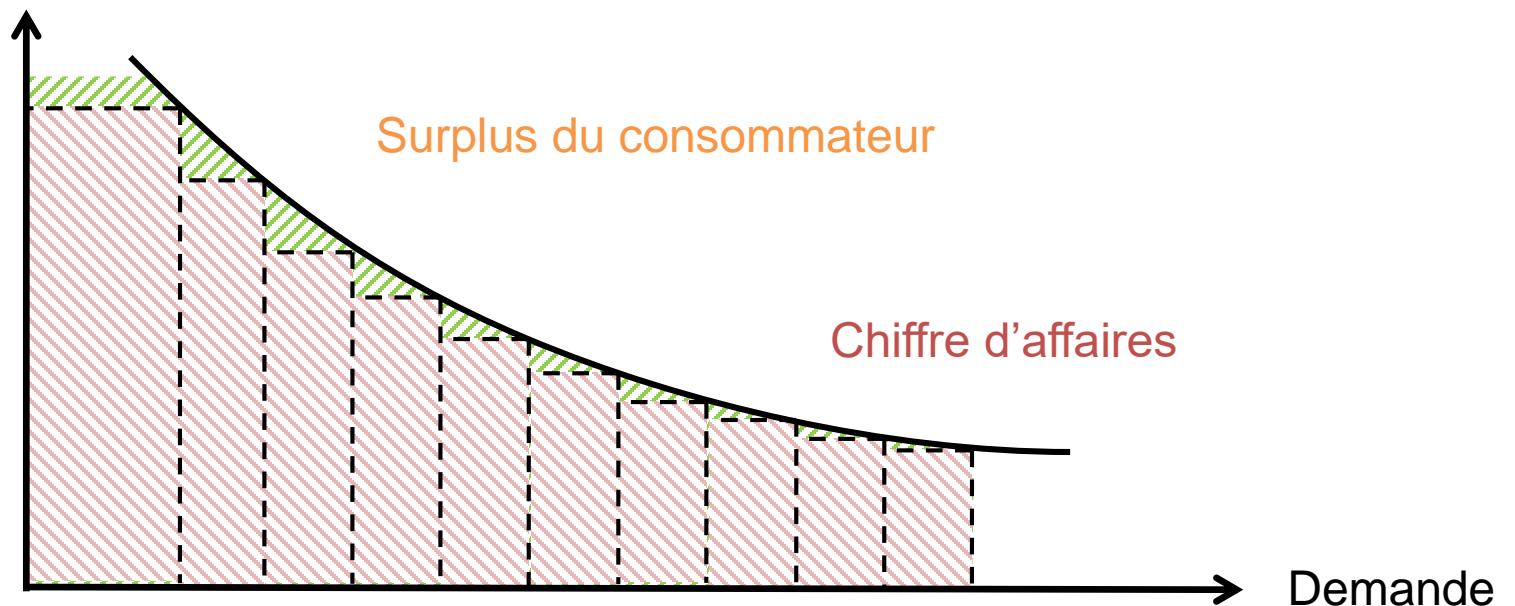
Deux classes : discrimination par la qualité



TRANSFORMER LE SURPLUS DU CONSOMMATEUR EN CA

La multiplication du # de classes tarifaires permet d'affiner le mécanisme.

Disponibilité à payer



LA GESTION DES CLASSES TARIFAIRES

La commercialisation des sièges dure plusieurs mois

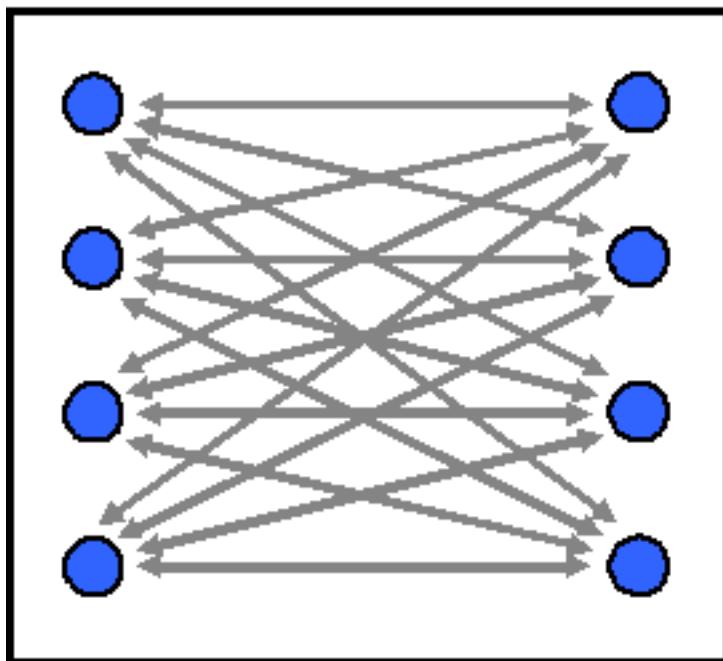
Une définition a priori de la taille des classes tarifaires n'est pas optimale.

→ Les quotas de sièges à bas tarif sont ouverts et fermés dynamiquement au fur et à mesure de la commercialisation.

GESTION DES TARIFS DANS UN RÉSEAU EN « HUBS AND SPOKES »

Où pourquoi j'ai un vol avec correspondance ?

Point-to-Point



GESTION DES TARIFS DANS UN RÉSEAU EN « HUBS AND SPOKES »

La réorganisation d'un réseau en étoile permet un meilleur remplissage des vols.

Cette réorganisation a commencé aux Etats-Unis dès que le transport aérien a été libéralisé.

Elle s'est étendue à l'Europe ensuite.

Air France gère un « hub » à Roissy CDG.

GESTION DES TARIFS DANS UN RÉSEAU EN « HUBS AND SPOKES »

LE HUB DE LYON, un accès direct à 38 destinations en Europe



GESTION DES TARIFS DANS UN RÉSEAU EN « HUBS AND SPOKES »

L'optimisation de la recette et de la capacité ne peut se faire par vol, mais globalement.

Un passager plein tarif de Marseille vers Roissy CDG peut être moins lucratif qu'un passager discount de Marseille vers Roissy qui continue sur Tokyo

Un problème très difficile à résoudre compte tenu de la multiplicité des parcours et des tarifs

Fin

Conclusion

En résumé ...

POUR RÉSUMER

Passage progressif d'une vision agrégée à une vision désagrégée

- des modèles de régression continue...
- aux modèles de choix discret
- jusqu'à désormais des modèles mixtes discret – continu
 - Ex: choix de voiture et distance parcourue

Eléments récents

- croisement entre économie et psychologie comportementale: les modèles de choix hybride (*hybrid choice model*)
- données massives
- Intelligence artificielle et data science

Des limites qui demeurent

- manque de données « tous modes »
- manque de données longitudinales
- toujours peu d'éléments sur mobilité (micro-)locale