Le « yield management »

Une question à 1,4 milliard de dollars

1,4 milliard de dollars

- C ’est ce qu’a économisé American Airlines sur la période 1989 - 1992
- Soit 150 % de ses bénéfices sur la période

Trois propriétés du transport aérien

- Le siège est une denrée périssable : quand l ’avion part, on ne peut plus le vendre
- Une capacité maximale finie à court terme
- Une proportion élevée de coûts fixes (92% à court terme)
- Une demande très hétérogène en termes de disponibilité à payer
- Possibilité de vendre à l ’avance

Des caractéristiques partagées par d 'autres services

- Transport ferroviaire (si la capacité est limitée) : exemple TGV
- Location de voitures, de machines,...
- Hôtellerie, tourisme de masse, restauration
- Hôpitaux, spectacles, téléphonie, ...
- Les techniques du « yield management » s 'appliquent aussi à ces secteurs

Les principales techniques du yield management

- La sur-réservation (over booking)
- L 'allocation des sièges à tarif réduit (discount seat allocation)
- La gestion des tarifs dans un réseau en « hubs and spokes »

La sur-réservation

Ou pourquoi j ’ai été « surbooké » ?

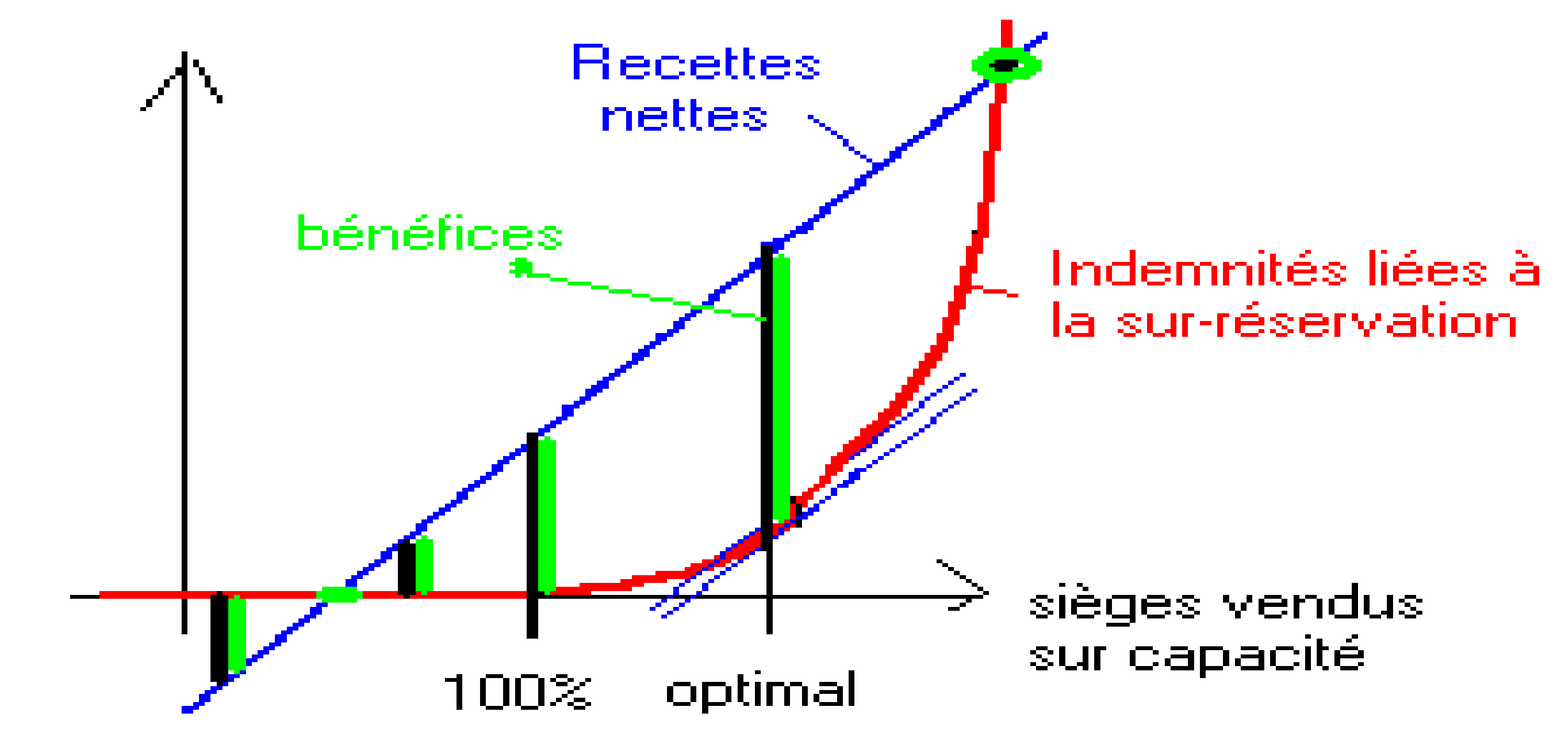
Le « no-show »

- C 'est le fait qu'une partie des voyageurs ayant réservé ne se présenteront pas au départ du vol
- Les compagnies sont donc amenées à vendre plus de tickets que de sièges
- American Airlines estime que, sans sur-réservation, 15 % de ses sièges seraient invendus.

L ’optimisation de la surréservation

- Le faible taux de remplissage constitue un manque à gagner (coûts fixes élevés)
- L ’excès de sur-réservations oblige les compagnies à proposer des primes à des volontaires ou à payer des indemnités, ce qui induit des frais

L 'optimum de la sur-réservation



L ’optimum de sur-réservation

- L ’optimum du ratio sièges vendus divisé par la capacité est atteint quand :
- L ’espérance du coût marginal des frais liés à la sur-réservation devient égale à la recette nette marginale supplémentaire
- Le problème est compliqué par celui de la prévision des « go show », passagers qui achètent leur billet au dernier moment

La gestion des classes tarifaires

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

La multiplicité des classes tarifaires

- Différenciation selon les conditions d ’échange et de remboursement, selon le délai entre la réservation et le vol, selon des conditions de séjour minimal (ou nuit du samedi à dimanche) à destination, selon l ’âge du client, selon la taille du groupe
- Parfois le service à bord est différencié selon les classes, parfois il ne l ’est pas

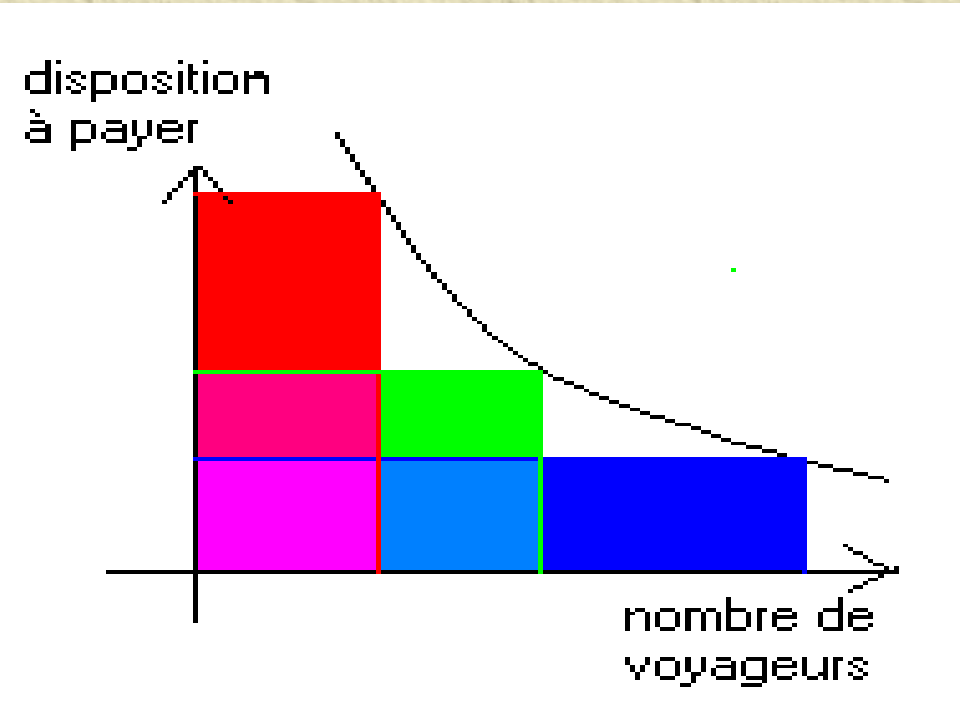
Une variation importante des prix pour les mêmes places

- Ratio de 4 : 1 environ entre les places les plus chères et les moins chères
- Une dégradation du service pour les classes les moins chères (impossibilité d ’échanger ou de rembourser par exemple)

Le monopole discriminant

- Le monopole discrimant peut maximiser ses recettes s ’il peut vendre à chaque client en fonction de sa disponibilité à payer
- 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,…)

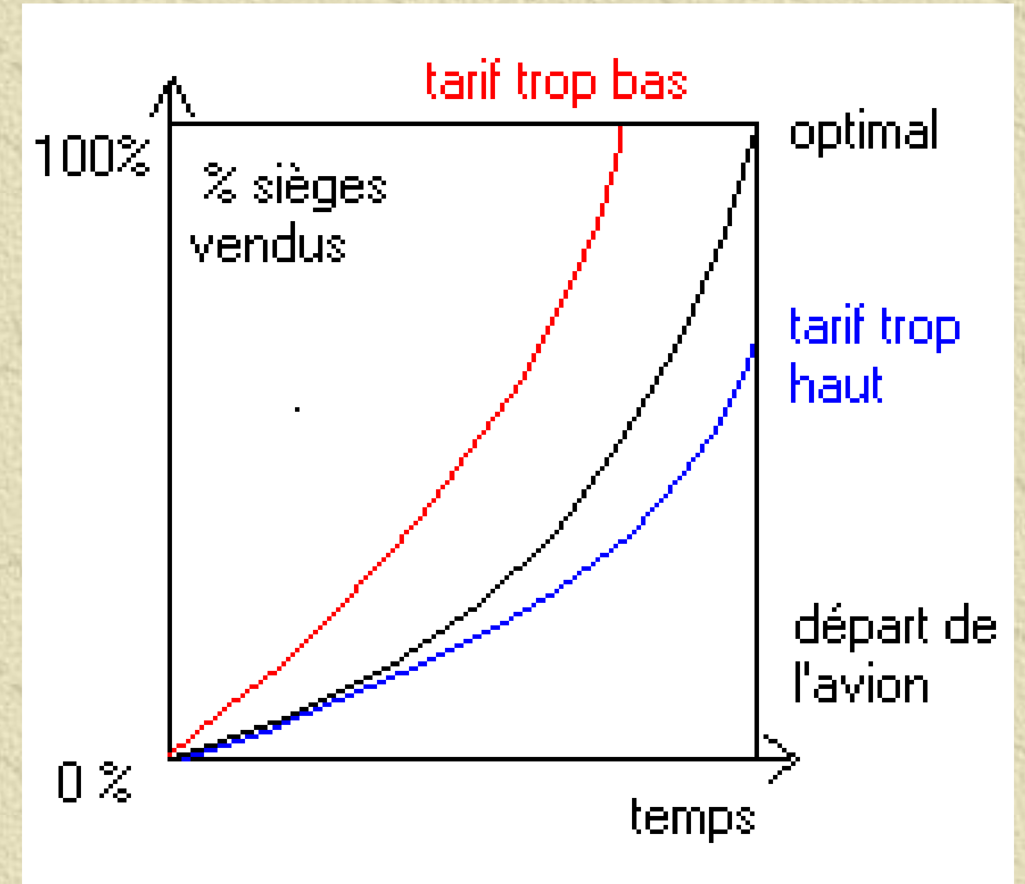
Le monopole discriminant



La gestion dynamique des quotas de sièges

- La commercialisation des sièges dure plusieurs mois
- Une définition a priori de la taille des classes tarifaires n 'est évidemment pas optimale
- Les quotas de sièges à bas tarif sont ouverts et fermés dynamiquement au fur et à mesure de la commercialisation

Deux manières de perdre des recettes



Deux manières de perdre des recettes

- Un avion qui part avec trop de sièges vides
- Ne pas pouvoir vendre un siège plein tarif à un passager qui serait prêt à payer ce tarif parce que trop de sièges bas tarif ont été vendus

Quand décider s ’il faut fermer une classe tarifaire?

- En première approximation, lorsque la recette marginale liée à la vente discount devient plus basse que l ’espérance de recette liée à des ventes plein tarif
- La classe tarifaire peut être ouverte à nouveau dans le cas contraire

Le « selling up »

- C ’est le fait qu ’un client potentiel, lorsqu ’il apprend que le tarif bas est fermé, peut être prêt à payer plus cher pour voyager quand même sur le vol convoité
- La fermeture des classes tarifaires basses intervient un peu plus tôt qu ’au point d ’égalité des recettes marginales

La « re-capture »

- C ’est le fait qu ’un client potentiel, lorsqu ’il apprend que le tarif bas est fermé sur le vol qu ’il envisage, peut être prêt à voyager quand même sur la même compagnie sur un autre vol moins rempli
- La fermeture des classes tarifaires basses intervient un peu plus tôt qu ’au point d ’égalité des recettes marginales

Un exemple : vol géré avec « yield management »

Actual Passenger and Revenue Information

Fare Class	– Passengers – Boarded	Spilled	Total	– Revenue – Average	Total
Y0	12	0	12	$313	$3,756
Y1	6	0	6	258	1,548
Y2	10	0	10	224	2,240
Y3	3	0	3	183	549
Y4	30	29	59	164	4,920
Y5	16	5	21	140	2,240
Y6	32	32	64	68	2,176
Total	109	66	175		$17,429

Fare classes Y0 to Y3 are filled. However, 66 passengers are turned away (spilled) and a flight with 138 seats ends up boarding only 109 passengers.

American Airlines–3

Même vol géré sans « yield management »

Passengers and Revenue Results Achieved with No Controls

Fare Class	Passengers Boarded	Total Demand	– Revenue – Average	Total
Y0	0	12	$313	$ 0
Y1	0	6	258	0
Y2	0	10	224	0
Y3	0	3	183	0
Y4	53	59	164	8,692
Y5	21	21	140	2,940
Y6	64	64	68	4,352
Total	109	175		$15,984

Computed by assuming demand comes from the lowest-valued fare classes first, so that high revenue demand is turned away.

American Airlines–4

Avec « yield management » et une demande connue parfaitement

Passengers and Revenue Results Achieved with Perfect Controls

Fare Class	Passengers Boarded	Total Demand	– Revenue – Average	Total
Y0	12	12	$313	$3,746
Y1	6	6	258	1,548
Y2	10	10	224	2,240
Y3	3	3	183	549
Y4	59	59	164	9,676
Y5	21	21	140	2,940
Y6	27	64	68	1,836
Total	138	175		$22,545

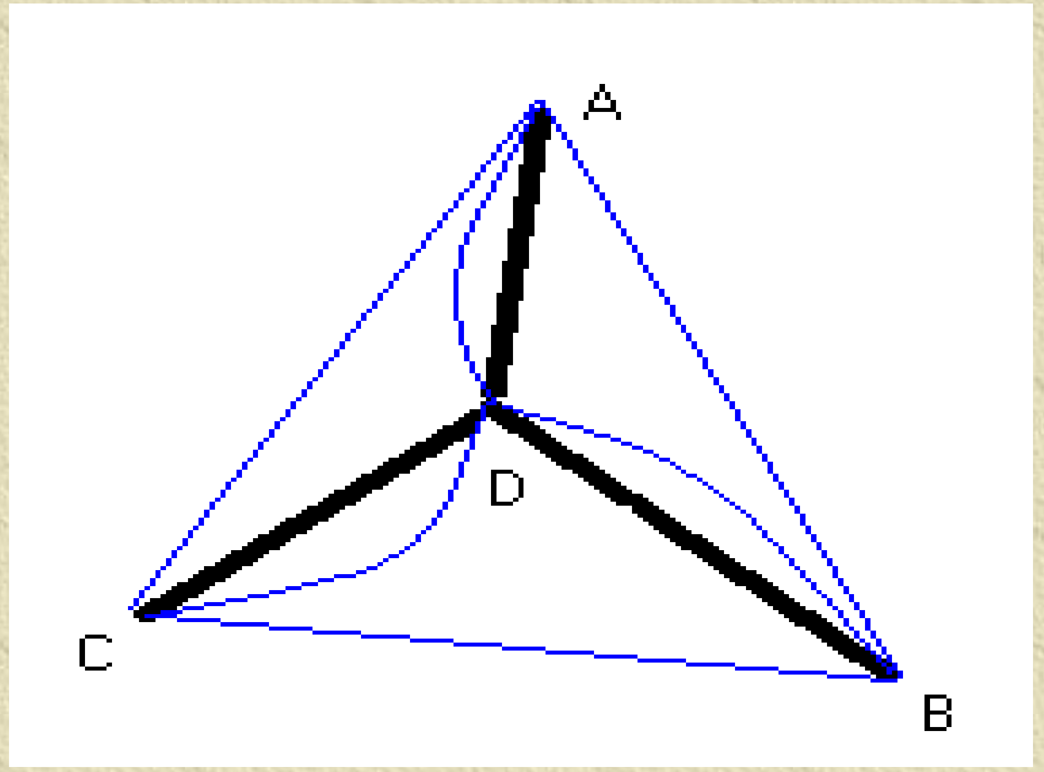
Computed by assuming American new demand exactly prior to departure, so that they could use ideal discount allocation controls. Here all the passengers turned away are in fare class Y6.

American Airlines–5

Le « yield management » dans un réseau en « hub and spokes »

Ou pourquoi j ’ai un vol avec correspondance ?

Tronçons et trajets dans un réseau en « hub and spokes »



L ’organisation du réseau en « hub 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

Les hubs aériens de quelques compagnies aux Etats Unis

L ’optimisation de la recette dans un réseau en « hub and spokes »

- Aux Etats Unis, environ 2/3 des passagers arrivant à un aéroport de type « hub » ont un vol en correspondance
- L ’optimisation de la recette et de la capacité ne peut se faire par vol, mais globalement

Un exemple de dilemme

- 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

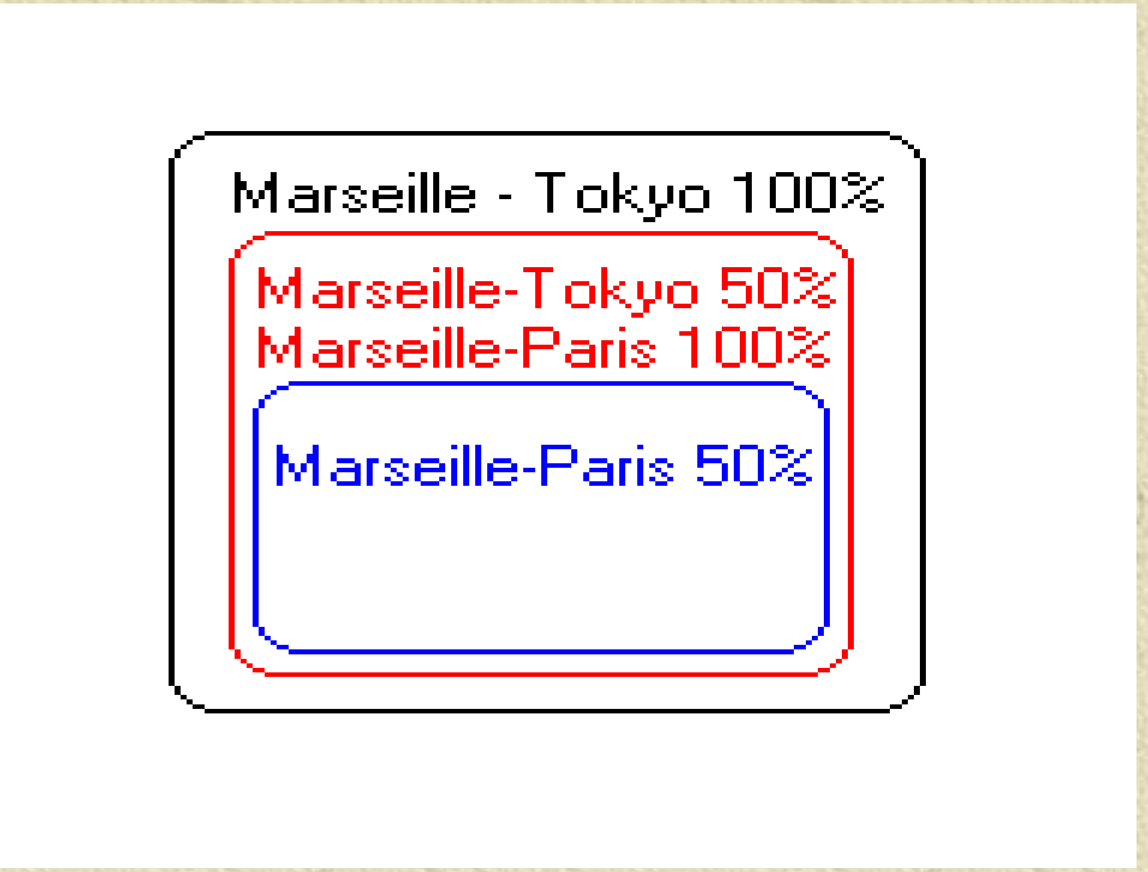
Le « virtual nesting »

- Regroupement des couples trajets*prix en paquets
- Ouverture sans limite (autre que la capacité + sur-réservation) des classes tarifaires élevées avec connection
- Création d ’une table imbriquée des paquets de couples trajets*prix en fonction de leur contribution aux bénéfices

Le « virtual nesting »

- La table est virtuelle, au sens où tous les possibilités d 'acheminement ne sont pas renseignées du point de vue de la disponibilité des sièges
- Le revenu marginal par siège sur un vol direct inclut une part lié au risque d 'empêcher un passager en correspondance d 'acheter un billet

L 'imbrication des classes tarifaires



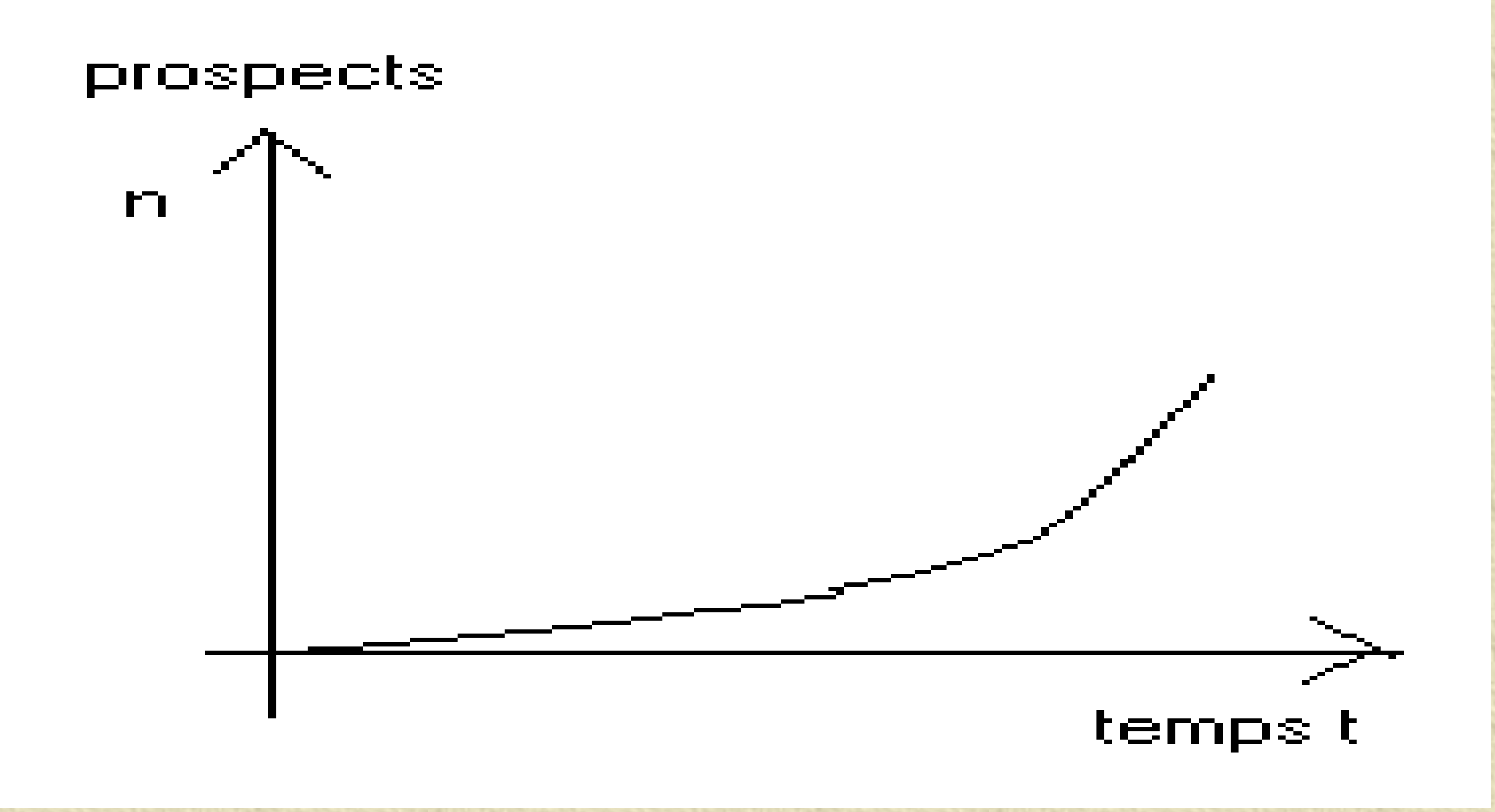
Un exemple concret de résolution

Problème très simplifié, mais quelques équations

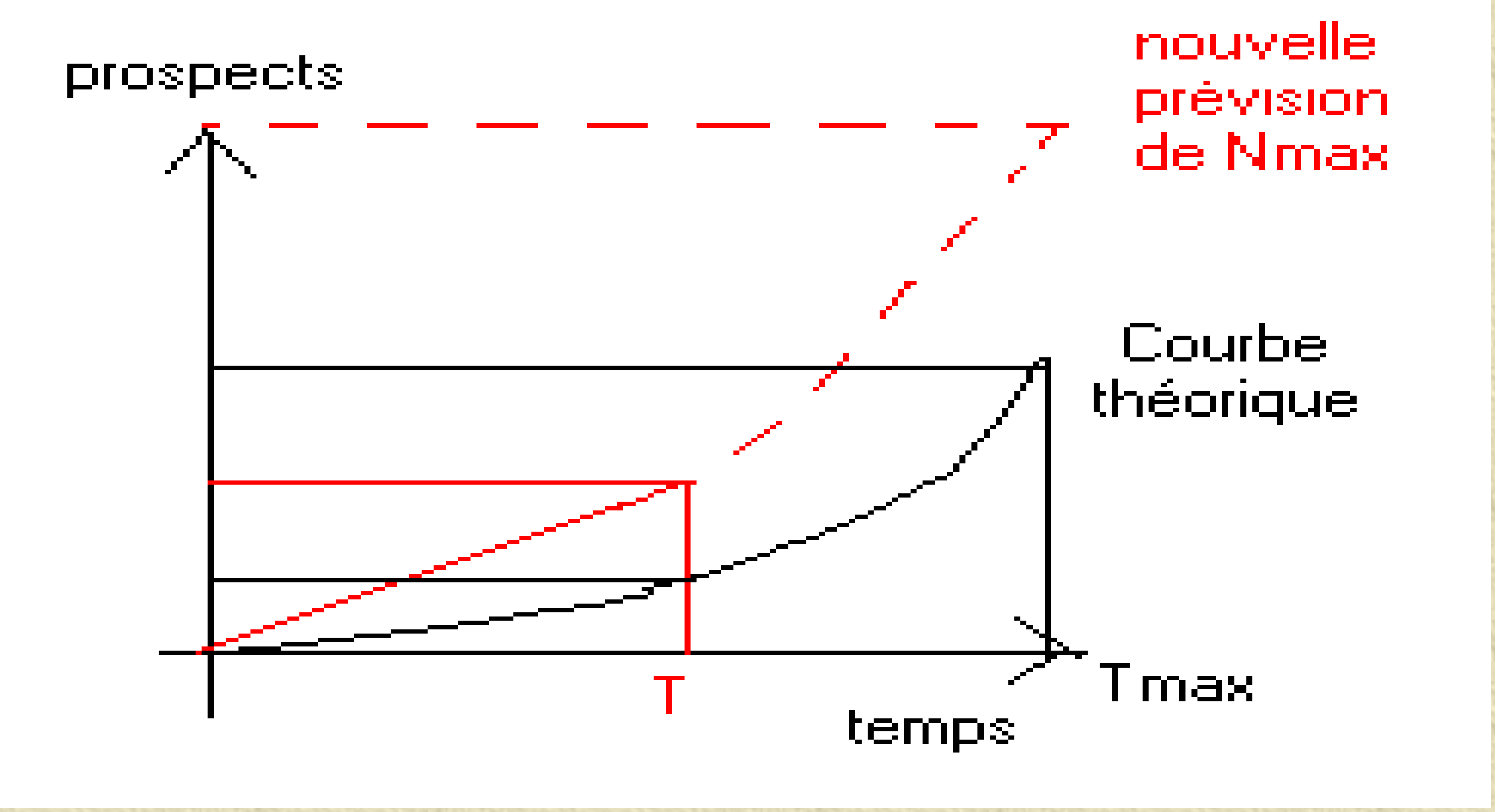
Le problème à résoudre

- Une compagnie aérienne dispose d 'un avion de m places
- Son expérience lui permet de prévoir que n clients potentiels (prospects) se présenteront à elle avant le départ de l 'avion
- Les dispositions à payer des prospects sont distribués selon une loi de probabilité supposée connue (étude de marché)

Le rythme d 'arrivée prévu des prospects aux guichets de vente



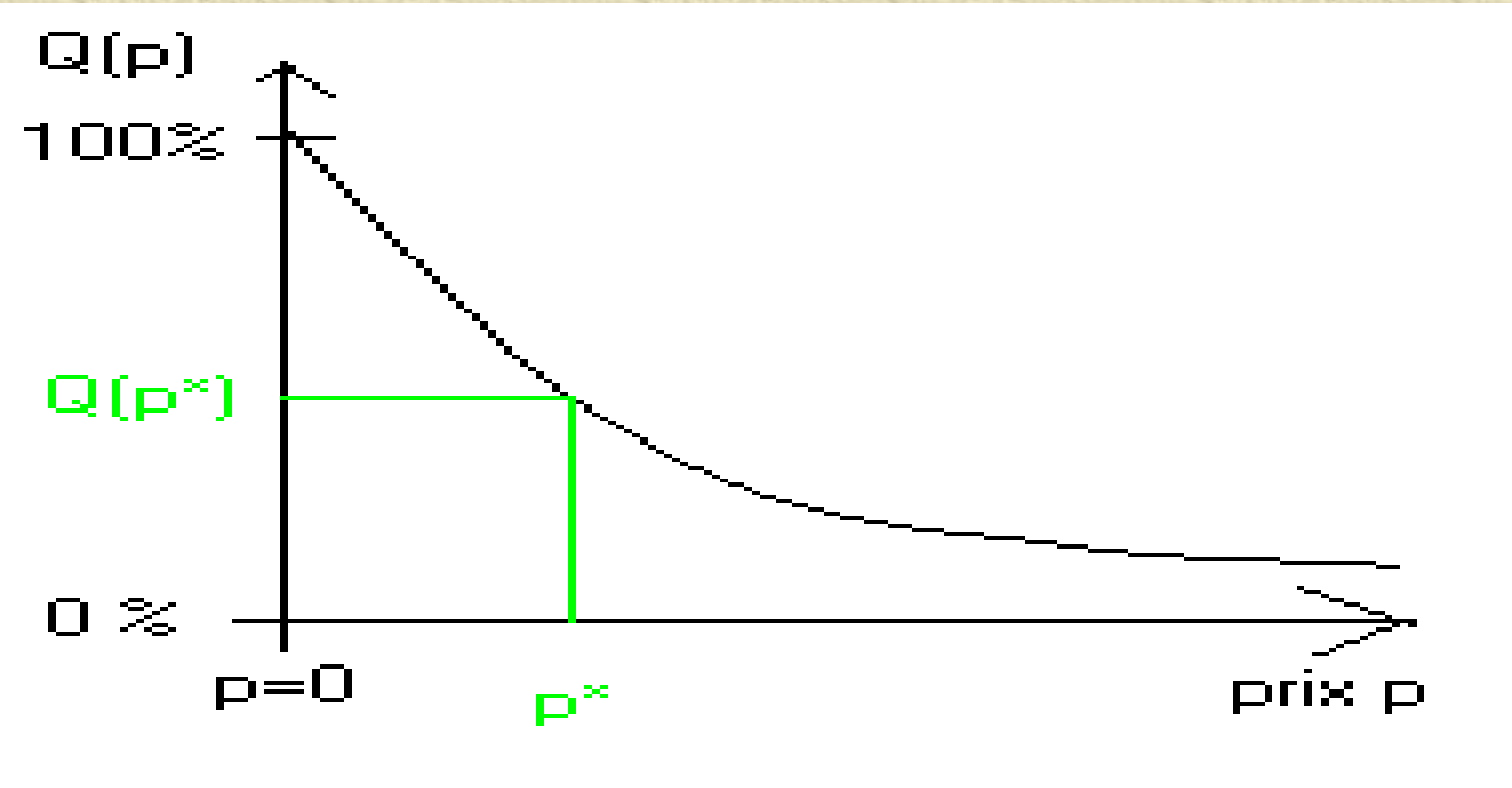
La prévision du nombre de prospects total



La disposition à payer des prospects

- Cette loi (dispositions à payer) peut s'exprimer par la connaissance de :
- Q(p) , probabilité pour qu'un client achète le siège si celui-ci est proposé au prix p.
- $Q(0) = 1$ et $Q(\infty) = 0$ et Q est décroissant.
- On notera :
- $q(p) = (d)\frac{dp}{\partial p}$

La loi de probabilité Q(p)



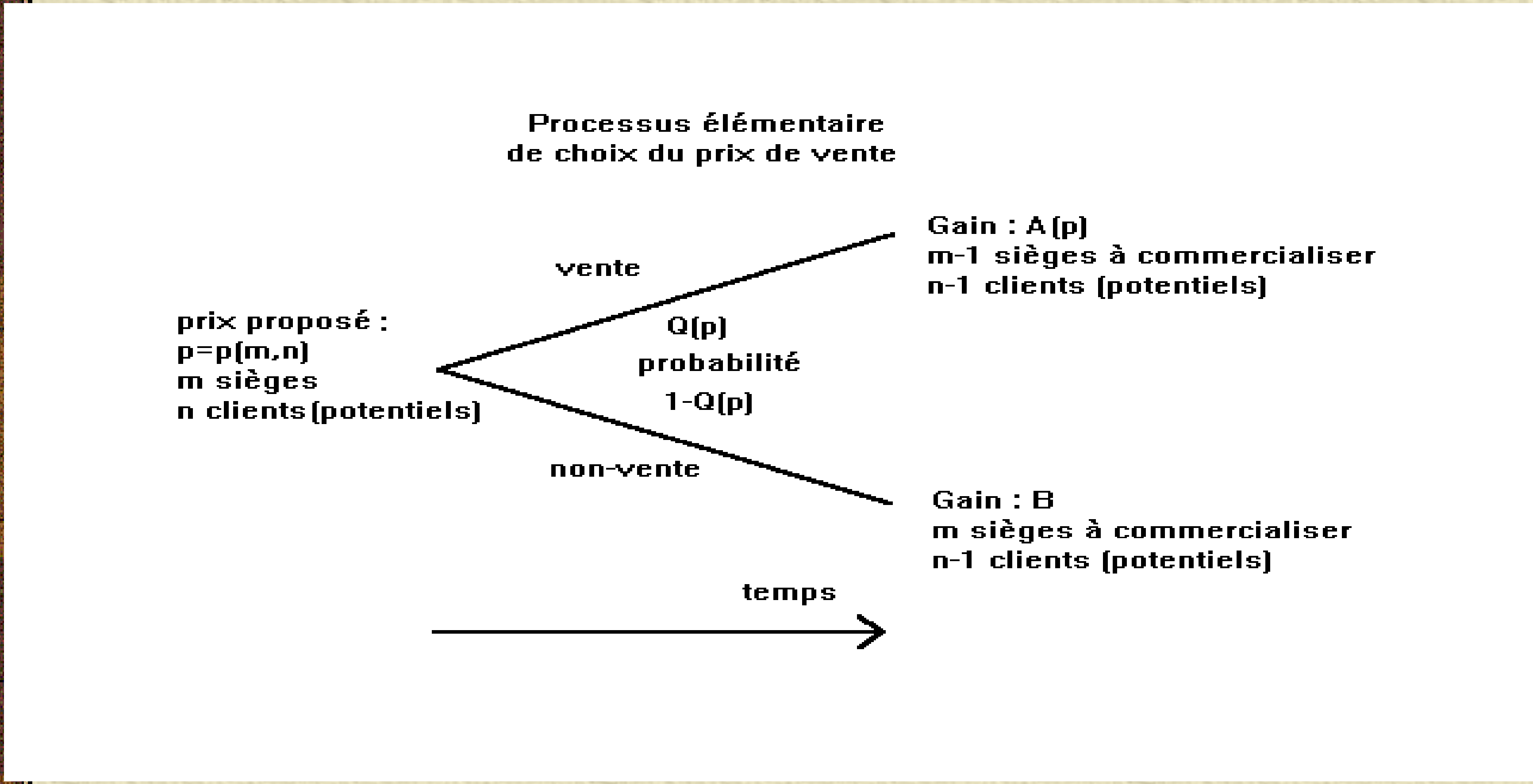
La fixation du prix

- La compagnie aérienne choisit à tout moment le prix auquel elle vend le siège, en ouvrant et en fermant des classes tarifaires. Ce prix est noté p(m,n) (m sièges, n prospects)
- G(m,n) est l'espérance de gain correspondant à ce problème à m sièges et n clients potentiels (prospects).

Le gain de la compagnie aérienne

- On note A(p) l'espérance de gain pour l'opérateur si la prestation est vendue à un prix p et B si elle n'est pas vendue
- B<0
- G(p) = Q(p).A(p) + (1-Q(p)) . B
- a(p) = $\frac{dA}{dp}(p)$

La solution par récurrence



Raisonner par récurrence

- S’il n’y a pas de clients, il n’y a pas de gain possible donc $G(m,0) = 0$ pour tout m.
- Pour $n \geq 1$, si la vente a lieu, le gain de la compagnie sera :
- $A(p(m,n)) = p(m,n) + G(m-1,n-1)$
- Si la vente n’a pas lieu, le gain est :
- $B = G(m, n-1)$

Choix du prix optimal p*

- La maximisation du bénéfice de la compagnie aérienne l 'amène à choisir un prix p* tel que (sous réserve des éventuelles conditions aux limites) :

$$\frac{dB}{dp}(p^*) = 0$$

L 'espérance de gain A(p*) si le siège est vendu

- On en déduit :

$$A(p^*) = B - \frac{Q(p^*).\dfrac{dA}{dp}(p^*)}{\dfrac{dQ}{dp}(p^*)}$$

L 'espérance de gain globale

- et

$$G(p^*) = B - \frac{Q^2(p^*).\dfrac{dA}{dp}(p^*)}{\dfrac{dQ}{dp}(p^*)}$$

Les relations de récurrence

- D 'où :

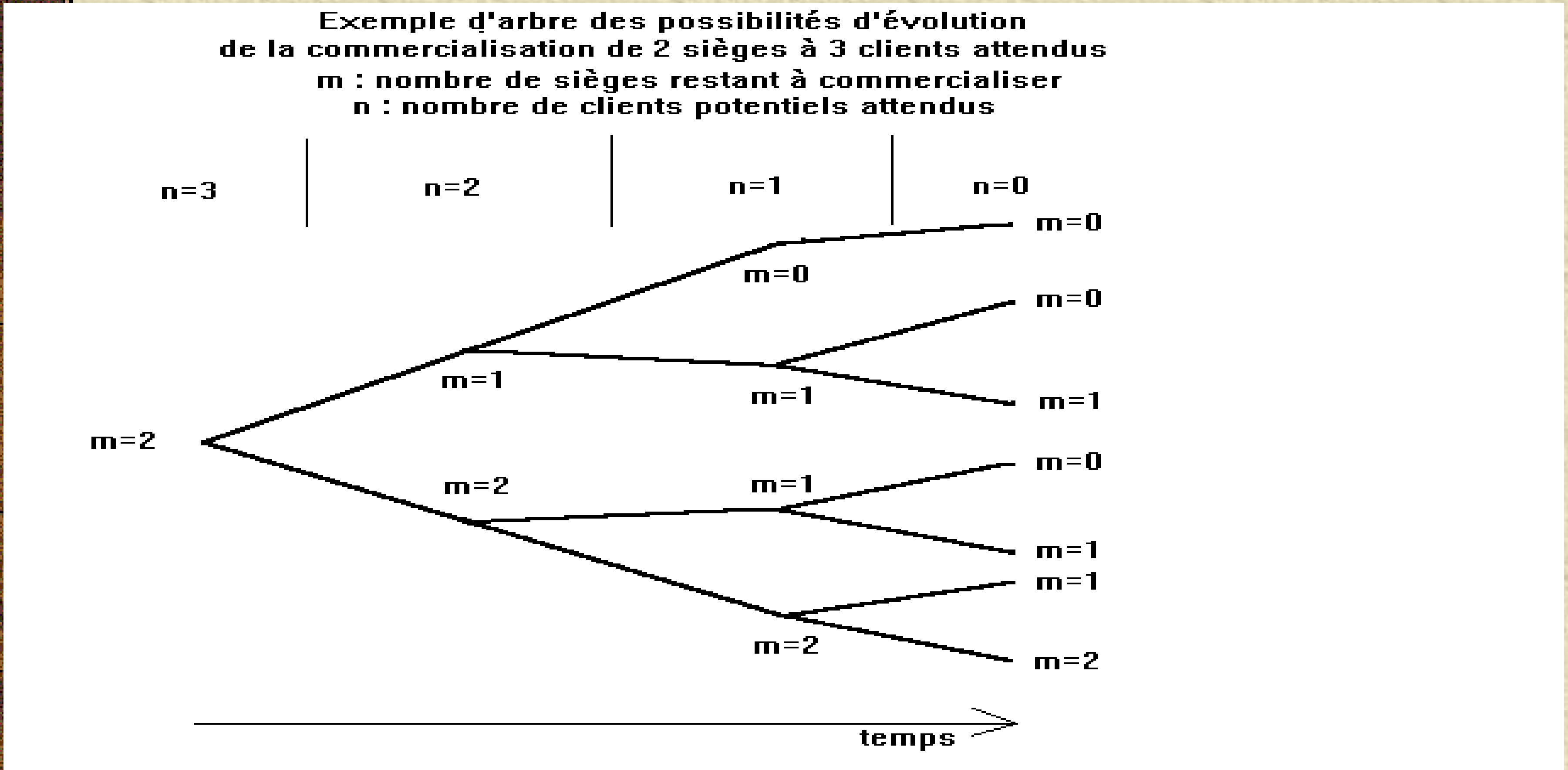
$$G(m,n) = G(m,n-1) - \frac{Q^2(p(m,n))}{\frac{dQ}{dp}(p(m,n))}$$

$$p(m,n) = \left(\frac{Q}{\frac{dQ}{dp}} + Id \right)^{-1} \left(G(m,n-1) - G(m-1,n-1) \right)$$

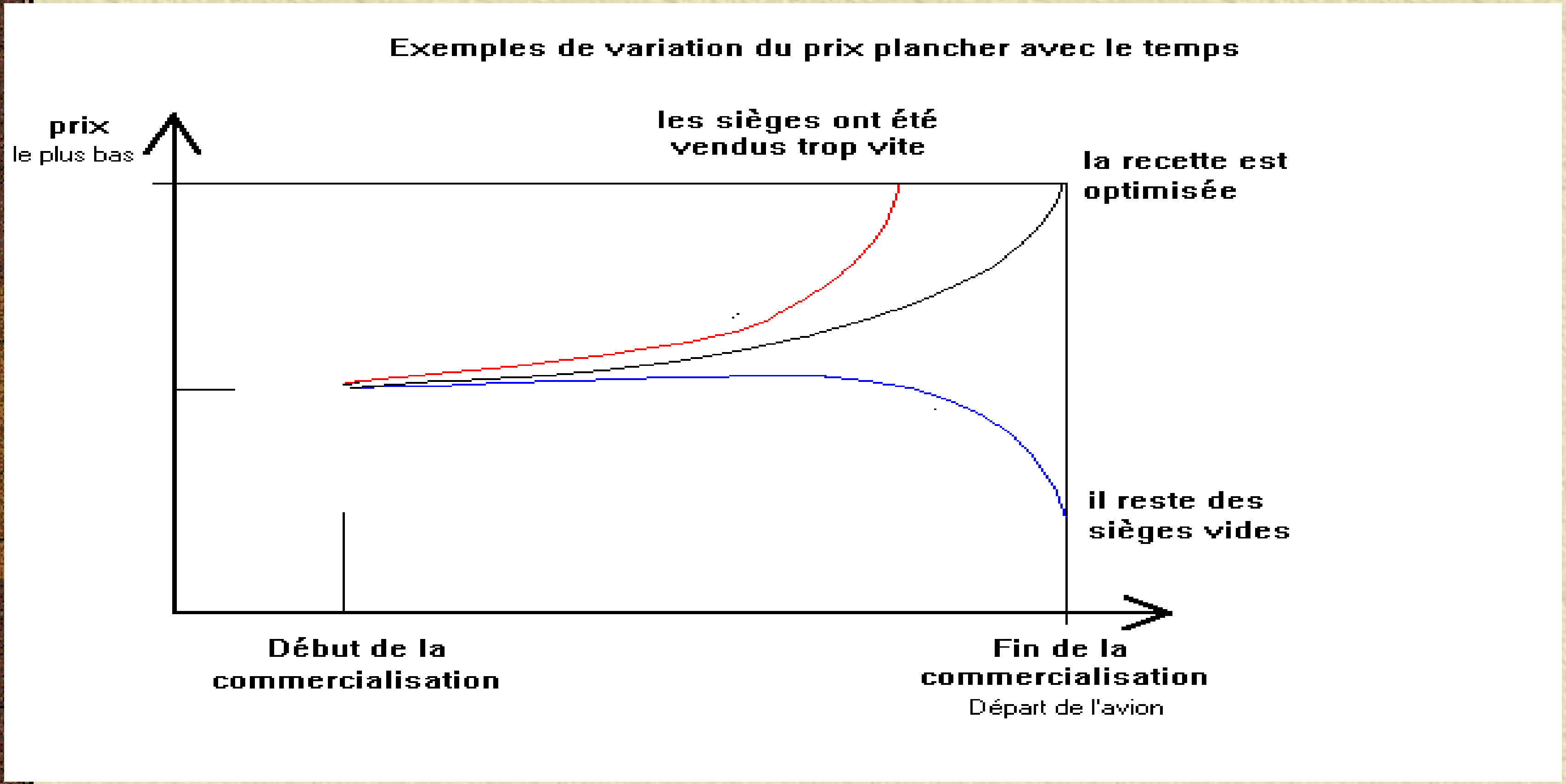
Résolution numérique

- -1 désigne l 'inverse dans la relation précédente
- $Q(p)=\exp(-p/p_0)$ permet de résoudre l 'équation numériquement

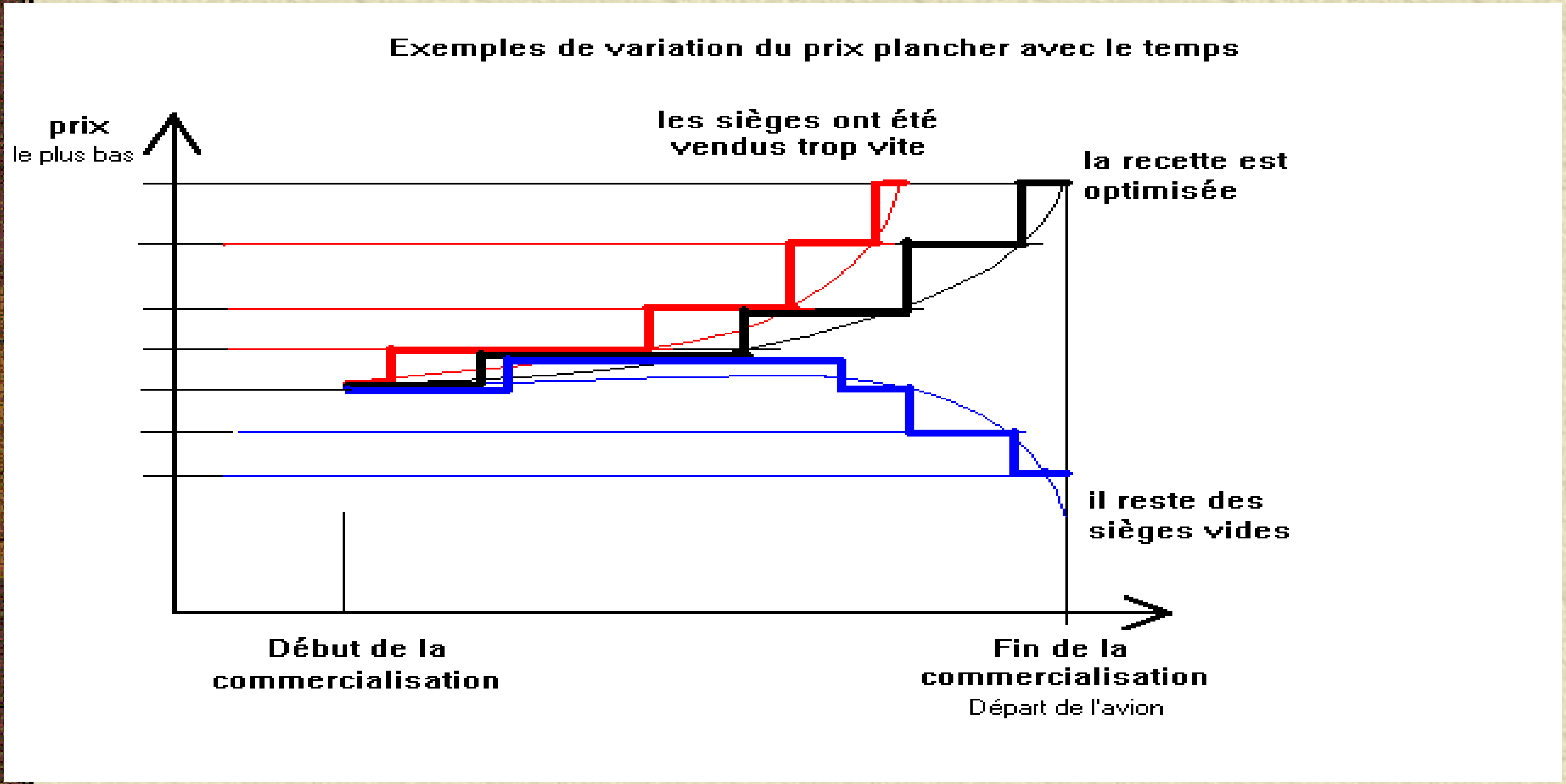
Exemple : 3 clients pour 2 sièges



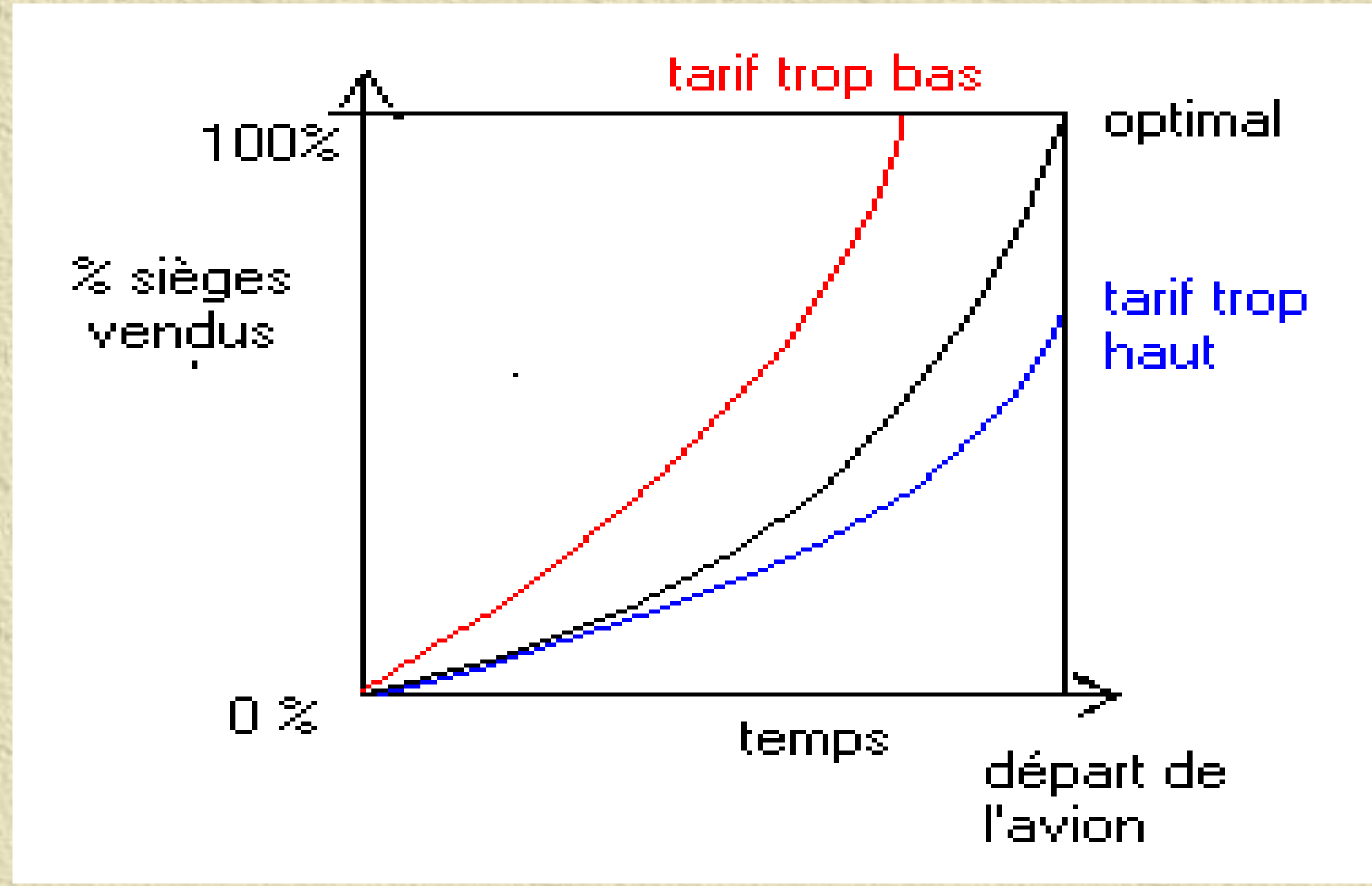
Variations du prix plancher au cours de la commercialisation



Cas de classes tarifaires non continues



Variation du remplissage au cours de la commercialisation



Conclusion

- Tout le monde peut faire voler des avions
- L 'important est de les remplir et à bon prix
- L 'essentiel de la valeur d 'une compagnie aérienne aujourd 'hui, c 'est :
- Le savoir faire de ses équipes de yield management
- Ses créneaux dans les aéroports saturés

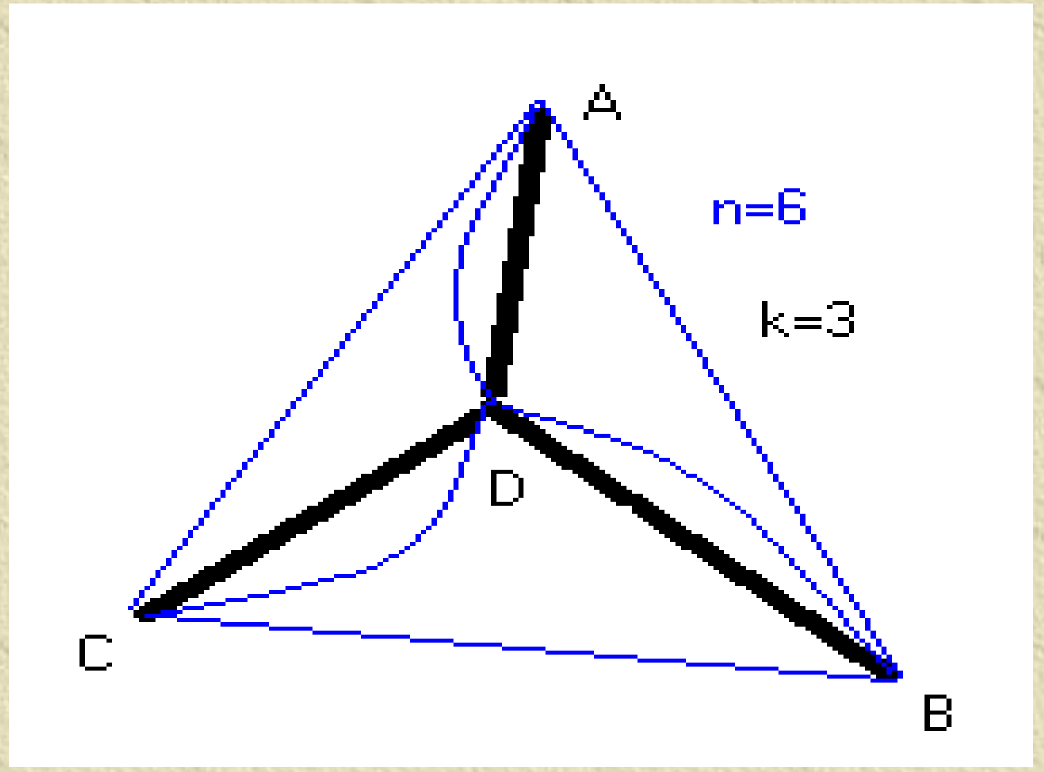
La formalisation du problème général

Pour ceux qui veulent aller plus loin

Hypothèses et notations

- Déplacements (origine destination) 1 à n
- effectués sur des tronçons 1 à k
- z(i,j) = 1 si le trajet i passe par le tronçon j
- z(i,j) = 0 sinon
- la période de commercialisation commence à t = 0 et se termine à t = T.

Tronçons et trajets dans un réseau en « hub and spokes »



Hypothèses et notations

- Q (j,t) le nombre de places restant à vendre à l'instant t sur le tronçon j
- nombre de places disponibles sur chaque tronçon à t=0 est Q(j,0) = capacité (j)
- p(i,t) le prix du déplacement i commercialisé à l'instant t
- V(i,t) le nombre de déplacements i déjà vendus à l'instant t

Loi de comportement des clients

$$v(i,t) = \frac{dV}{dt}(i,t) = f(p(i,t),t)$$

Maximiser les recettes

$$R = \int_0^T \sum_{i=1 à n} p(i,t).\frac{dV}{dt}(i,t)dt$$

Contrainte de capacité

- contrainte de capacité sur chaque tronçon :

- pour tout tronçon j, $Q(j,T) \geq 0$
- on ne vend pas plus de places qu 'il y en a (les questions liées au no-show sont éludées ici)

Affectation des trajets vendus sur les tronçons

$$\frac{dQ}{dt}(j,t) = -\sum_{i=1 à n} z(i,j)\frac{dV}{dt}(i,t)$$

Le hamiltonien

- Le problème se résout classiquement en utilisant le hamiltonien du système
- H (Q, p, λ, t)
- Q(j,t) est la variable d'état
- p(i,t) la variable de contrôle)
- λ(j,t) multiplicateur de Lagrange

Le hamiltonien H(Q, p, λ, t)

$$\sum_{i=1 à n} p(i,t).\, f(i, p(i,t), t) - \sum_{j=1 à k} \lambda(j,t).\sum_{i=1 à n} z(i,j).\, f(i, p(i,t), t)$$

Résolution : contrainte sur chaque déplacement i

$$\frac{\partial H(Q,p,\lambda,t)}{\partial p(i,t)} = 0$$

Résolution : contrainte sur chaque tronçon j

$$\frac{d\lambda(j,t)}{dt} = -\frac{\partial H(Q,p,\lambda,t)}{\partial Q(j,t)}$$