



# Gestion des chaînes d'approvisionnement

Claude Olivier, Ph.D., ing.  
GPA-548 Gestion de la production  
novembre 2001

# Chaînes d'approvisionnement

- Définition

La gestion des chaînes d'approvisionnement est un ensemble d'approches utilisées pour intégrer efficacement les fournisseurs, les manufacturiers, les entrepôts, les distributeurs, les détaillants et les clients de manière à produire et à distribuer les bonnes quantités de produits, aux bons endroits et au bon moment pour réduire les coûts inhérents à l'ensemble du système, tout en rencontrant les niveaux de services désirés par les clients.

# Chaînes d'approvisionnement

- Difficile pour deux raisons:
  - Les objectifs sont conflictuels pour les différents acteurs;  
(réponse aux clients, flexibilité, grosseurs de lots, inventaires, coûts,...)
  - La chaîne d'approvisionnement est un système dynamique;  
(évolution des marchés, des relations entre les acteurs, des acteurs,...)

# Chaînes d'approvisionnement

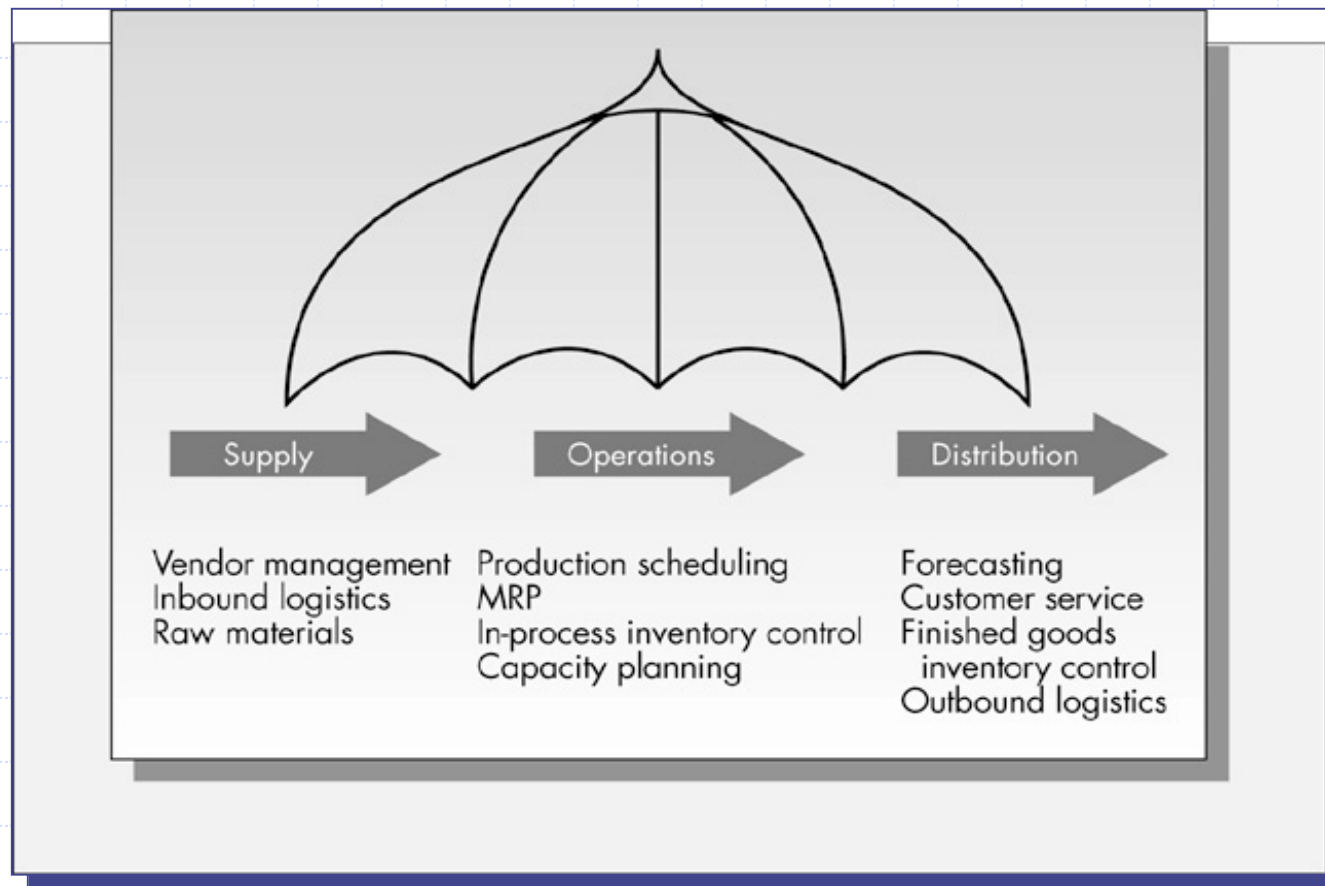
- Complexité

- La chaîne d'approvisionnement est un réseau très complexe d'entreprises, d'équipements industriels et d'organisations ayant des objectifs conflictuels;
- L'équilibre entre l'offre et la demande est très difficile à atteindre;
- L'ensemble des systèmes varient dans le temps; (planification de la production, stratégies de prix, disponibilités, coûts d'approvisionnement,...)
- Les problèmes de conception et de gestion sont nouveaux, mal compris par les acteurs et aucune solution générique n'est disponible;

# Chaînes d'approvisionnement

- Problématiques importantes:  
Trois niveaux: stratégique, tactique et opérationnel;
  - Configuration des réseaux de distribution;
  - Contrôle des inventaires;
  - Stratégies de distribution;
  - Intégration de la chaîne et le partenariat stratégique;
  - Conception des produits;
  - Technologie de l'information et les systèmes de support à la décision;
  - Valeur des consommateurs;

# Chaînes d'approvisionnement

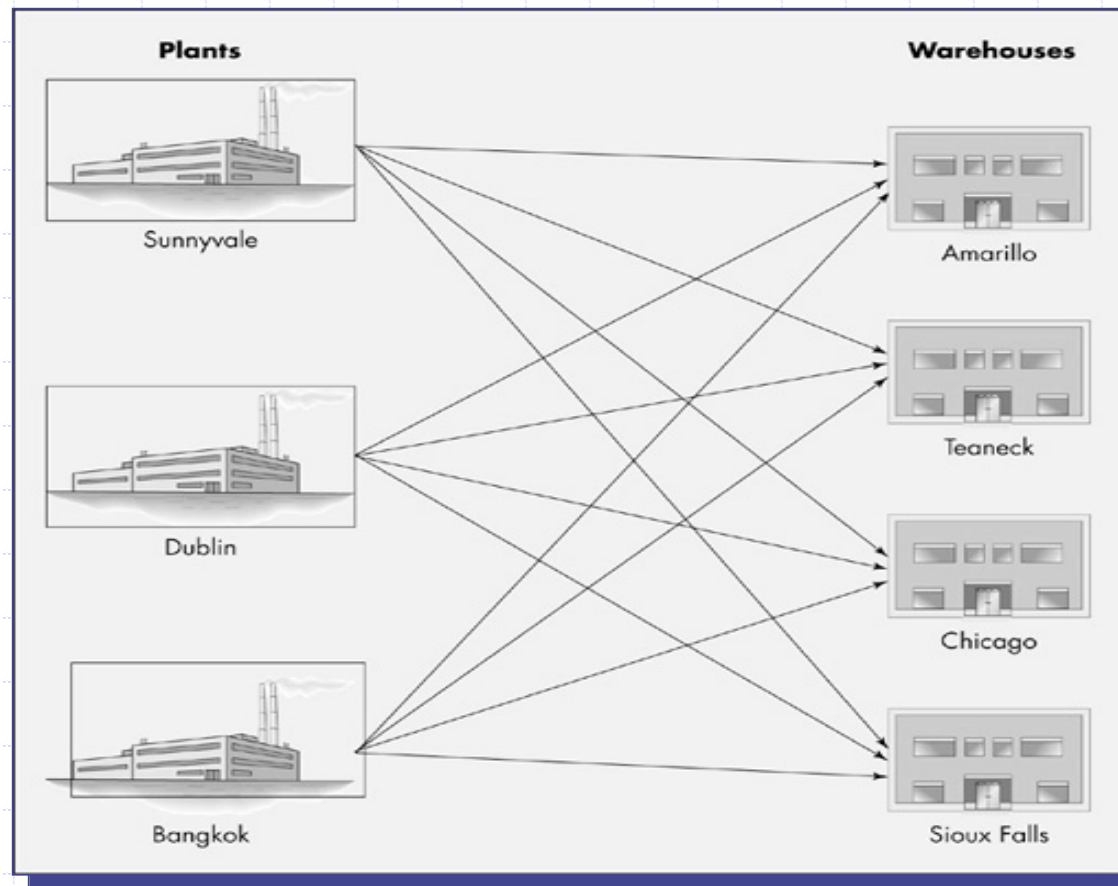


# Chaînes d'approvisionnement

- Approche:
  - Programmation linéaire;
  - Modèle de transport;
  - Modèle de réseaux;
  - Détermination de routes;
  - Intégrations;

# Chaînes d'approvisionnement

## Modèle de transport





# Modèle de transport

Fonction de minimisation

$$z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

sujet aux contraintes :

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq a_i \quad \text{pour } i = 1 \text{ à } n \quad \text{Quantités disponibles}$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \geq b_j \quad \text{pour } j = 1 \text{ à } m \quad \text{Demandes}$$

$$\text{avec } x_{ij} \geq 0 \quad \forall i, j$$

# Modèle de transport

De plus, pour que la demande du marché soit remplie:

$$\sum_{i=1}^m a_i \geq \sum_{j=1}^n b_j$$

Avec au minimum:

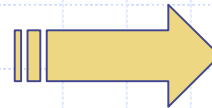
$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j$$

# Modèle de transport

Exemple:

Entrepôts	Pourcentage de la production
Amarillo	31
Teaneck	30
Chicago	18
Sioux Falls	21

Usine	Production anticipée
Sunnyvale	45000
Dublin	120000
Bangkok	95000



Entrepôts	Quantité livrée
Amarillo	80000
Teaneck	78000
Chicago	47000
Sioux Falls	55000

Coût par 1000 unités livrées

DE/A	Amarillo	Teaneck	Chicago	Sioux Falls
Sunnyvale	250	420	380	280
Dublin	1280	990	1440	1520
Bangkok	1550	1420	1660	1730

# Modèle de transport

## Modèle mathématique

Soit:

$m$  le nombre de sources:  $m=3$

$n$  le nombre de destinations:  $n=4$

$X_{ij}$  le flux entre la source  $i$  et la destination  $j$

$C_{ij}$  le coût pour circuler 1000 unités entre la source  $i$  et la destination  $j$

# Modèle de transport

model:

!PROBLEME DE TRANSPORT, CHAP 6, P313;

!OBJETIF: MINIMISER LES COUTS DE TRANSPORT;

MIN = 250\*X11 + 420\*X12 + 380\*X13 + 280\*X14 + 1280\*X21 + 990\*X22 + 1440\*X23 + 1520\*X24  
+ 1550\*X31 + 1420\*X32 + 1660\*X33 + 1730\*X34;

! CONTRAINTES SOURCES;

X11 + X12 + X13 + X14 = 45; ! SUNNYVALE;

X21 + X22 + X23 + X24 = 120; ! DUBLIN;

X31 + X32 + X33 + X34 = 95; ! BANGKOK;

! CONTRAINTES DESTINATIONS;

X11 + X21 + X31 = 80; ! AMARILLO;

X12 + X22 + X32 = 78; ! TEANECK;

X13 + X23 + X33 = 47; ! CHICAGO;

X14 + X24 + X34 = 55; ! SIOUX FALLS;

# Modèle de transport

Optimal solution found at step: 6  
Objective value: 297800.0

Variable	Value	Reduced Cost
X11	0.000000E+00	150.0000
X12	0.000000E+00	-610.0000
X13	0.000000E+00	170.0000
X14	45.00000	0.000000E+00
X21	42.00000	0.000000E+00
X22	78.00000	0.000000E+00
X23	0.000000E+00	-50.00000
X24	0.000000E+00	60.00000
X31	38.00000	0.000000E+00
X32	0.000000E+00	160.0000
X33	47.00000	0.000000E+00
X34	10.00000	0.000000E+00

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	297800.0	1.000000
2	0.000000E+00	1180.000
3	0.000000E+00	0.000000E+00
4	0.000000E+00	-270.0000
5	0.000000E+00	-1280.000
6	0.000000E+00	-990.0000
7	0.000000E+00	-1390.000
8	0.000000E+00	-1460.000

# Modèle de transport

## Routes impossibles:

Si des routes sont impossibles entre deux points ou ne sont simplement pas permises, il suffit d'insérer des coûts de transport démesurément élevés pour restreindre leur utilisation.

Habituellement, on modélise ces coûts par un grand  $M$ .

# Modèle de transport

exemple:

Si les routes entre Dublin et Chicago ainsi que Bangkok et Sioux Falls ne sont pas permises, le modèle deviendra:



# Modèle de transport

model:

!PROBLEME DE TRANSPORT, CHAP 6, P313, modifié;

!OBJETIF: MINIMISER LES COUTS DE TRANSPORT;

MIN = 250\*X11 + 420\*X12 + 380\*X13 + 280\*X14 + 1280\*X21 + 990\*X22 + 1000000\*X23 + 1520\*X24  
+ 1550\*X31 + 1420\*X32 + 1660\*X33 + 1000000\*X34;

! CONTRAINTES SOURCES;

X11 + X12 + X13 + X14 = 45; ! SUNNYVALE;

X21 + X22 + X23 + X24 = 120; ! DUBLIN;

X31 + X32 + X33 + X34 = 95; ! BANGKOK;

! CONTRAINTES DESTINATIONS;

X11 + X21 + X31 = 80; ! AMARILLO;

X12 + X22 + X32 = 78; ! TEANECK;

X13 + X23 + X33 = 47; ! CHICAGO;

X14 + X24 + X34 = 55; ! SIOUX FALLS;

# Modèle de transport

Optimal solution found at step: 3  
Objective value: 298400.0

Variable	Value	Reduced Cost
X11	0.0000000E+00	210.0000
X12	0.0000000E+00	670.0000
X13	0.0000000E+00	230.0000
X14	45.00000	0.0000000E+00
X21	32.00000	0.0000000E+00
X22	78.00000	0.0000000E+00
X23	0.0000000E+00	998610.0
X24	10.00000	0.0000000E+00
X31	48.00000	0.0000000E+00
X32	0.0000000E+00	160.0000
X33	47.00000	0.0000000E+00
X34	0.0000000E+00	998210.0

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	298400.0	1.000000
2	0.0000000E+00	1240.000
3	0.0000000E+00	0.0000000E+00
4	0.0000000E+00	-270.0000
5	0.0000000E+00	-1280.000
6	0.0000000E+00	-990.0000
7	0.0000000E+00	-1390.000
8	0.0000000E+00	-1520.000

# Modèle de transport

Les solutions seront:

solution initiale		297 800 \$		
DE/À	Amarillo	Teaneck	Chicago	Sioux Falls
Sunnyvale	0	0	0	45000
Dublin	42000	78000	0	0
Bangkok	38000	0	47000	10000
avec routes non permises		298 400 \$		
DE/À	Amarillo	Teaneck	Chicago	Sioux Falls
Sunnyvale	0	0	0	45000
Dublin	32000	78000	0	10000
Bangkok	48000	0	47000	0

# Modèle de transport

## Problèmes de transbordement

Dans plusieurs cas, certains centres de distribution sont utilisés pour recevoir la marchandise et la réacheminer. Ces situations sont modélisées par des problèmes de transbordement (*transshipment*).

La modélisation est très semblable aux problèmes de transport, il faut cependant s'assurer que les nœuds servant de centre de distribution sont modélisés correctement. Il s'agit d'inclure des équations de **balancement de flux**.

# Modèle de transport

## Problèmes de transbordement

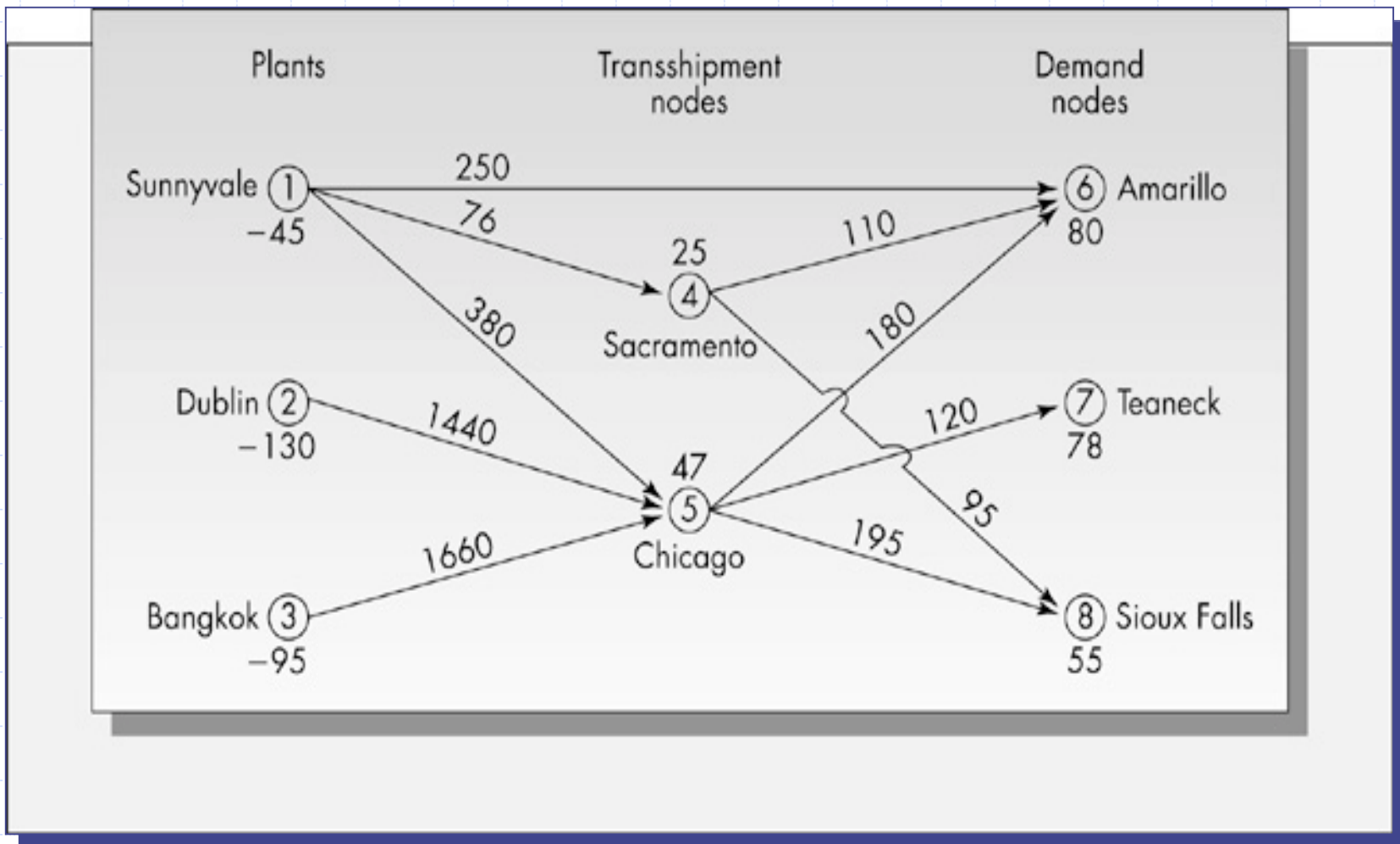
Les équations de balancement de flux assure que ce qui entre dans un nœud est équivalent à ce qui en sort: on ne crée pas de produits ni n'en détruit. Un nœud de transbordement peut également être un nœud producteur ou consommateur.

# Problèmes de transbordement

## Modifications:

ajout d'un centre de distribution à Sacramento;  
modification du centre de Chicago en centre de distribution;  
élimination de certaines routes;

# Problèmes de transbordement



# Problèmes de transbordement

On doit s'assurer que les demandes et les ressources sont balancées dans les équations de contraintes, sinon le modèle sera irréalisable. Deux façons:

- 1) utiliser des inégalités entre la demande et les ressources;
- 2) mettre des variables tampons pour combler automatiquement les inégalités; Ces variables ont un coût important dans la fonction objectif et mais assurent que le modèle générera une solution; La valeur de la fonction objectif sera déterminée en soustrayant les coûts associés à ces variables si elles sont utilisées.



# Routes de livraison

Un des problèmes les plus difficile à résoudre en chaîne d'approvisionnement est la distribution directe aux consommateurs: les problèmes de routes de livraison.

Problèmes de type NP hard (non-polynomial) :  $n!$

ex:

Commis voyageur:

5 localisations: 120 séquences possibles

10 localisations: > 3000000 possibilités

20 localisations: >  $1.5 \times 10^{25}$  possibilités

# Routes de livraison

Certaines heuristiques ont été développées pour trouver de bonnes solutions sans être nécessairement optimales. Une des approches est celle proposée par Clarke and Wright:

## Hypothèses:

un seul dépôt;

localisations des clients et demandes connues;

coût de livraison entre le dépôt et les clients connus;

coût de circulation entre les clients est connu;

# Routes de livraison

Soit:

$C_{0j}$  le coût pour circuler entre le dépôt et la destination  $j$ ;

$C_{ij}$  le coût pour circuler entre le client  $i$  et le client  $j$ ;

On suppose, dans un premier temps, que le coût *aller* est identique au coût *retour*

Le coût total pour toutes les routes à partir du dépôt sera:

$$2 \sum_{j=1}^n C_{0j}$$

# Routes de livraison

l'économie pour une route incluant un deuxième arrêt sera:

$$S_{ij} = C_{oi} + C_{oj} - C_{ij}$$

La méthode consiste à calculer l'ensemble des  $S_{ij}$  pour toutes les paires possibles de localisations  $i$  et  $j$  et de les lister en ordre décroissant. Par la suite, on inclus tous les clients possibles dans la route tout en respectant les contraintes (capacités ou autres)

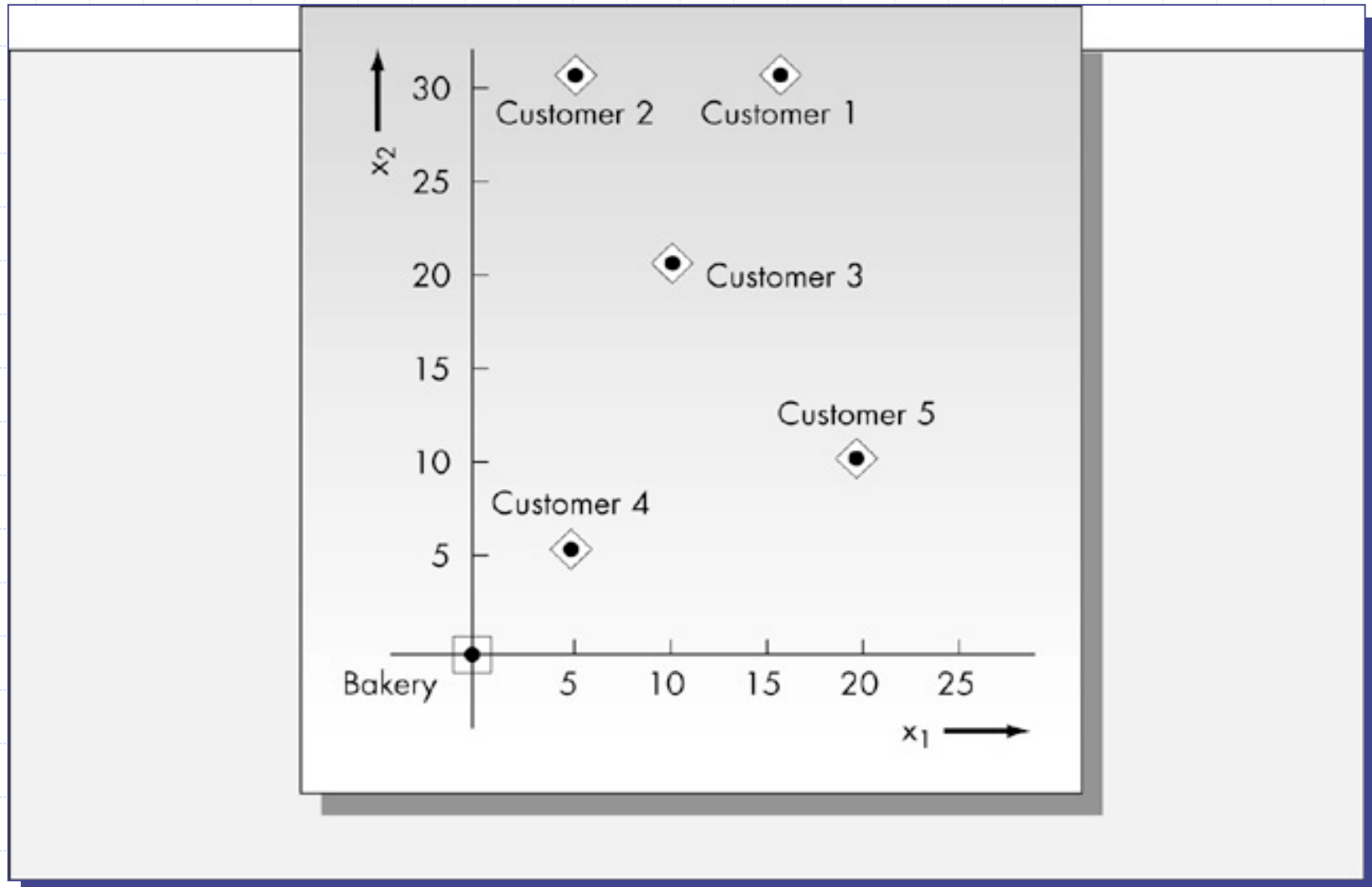
Le nombre de calculs est diminué grandement.

# Routes de livraison

Exemple 6.4

client	localisation	demande
1	15 , 30	85
2	5 , 30	162
3	10 , 20	26
4	5 , 5	140
5	20 , 10	110

# Routes de livraison



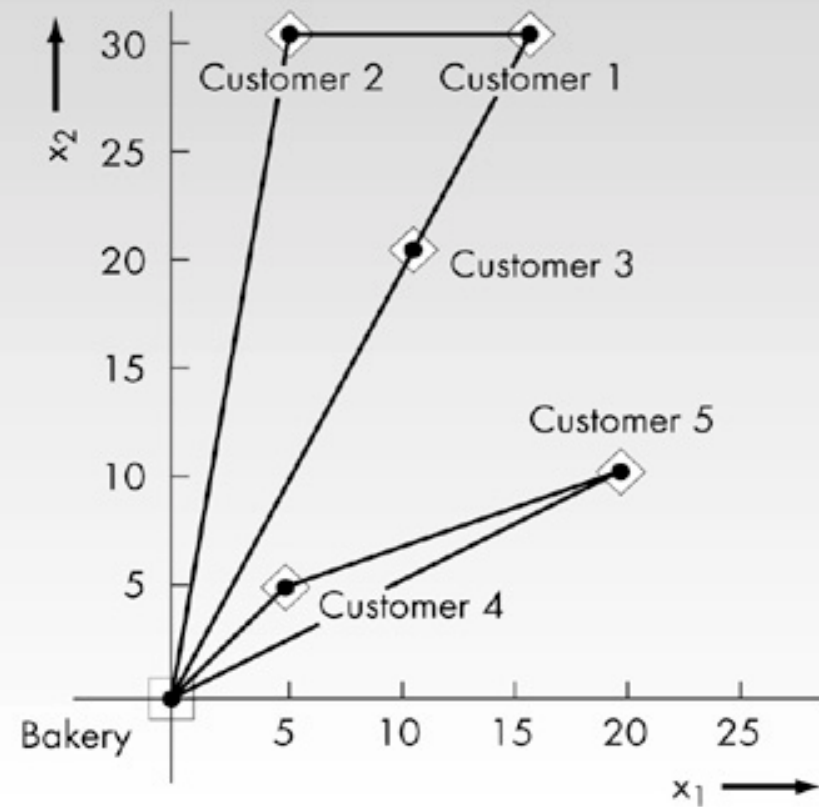
# Routes de livraison

## Exemple 6.4

Matrice des coûts « DE – À »

		0	1	2	3	4	5
0			33.5	30.4	22.4	7.1	22.4
1				10.0	11.2	26.9	20.6
2					11.2	25.0	25.0
3						15.8	14.1
4							15.8

# Routes de livraison





# Chaînes d'approvisionnement

- Conception des produits pour les chaînes d'approvisionnement
  - Conception d'un produit pouvant être transporté efficacement (produit fini ou sous-assemlage)
  - Personnalisation finale du produit retardée aussi longtemps que possible (*postponement*)

# Chaînes d'approvisionnement

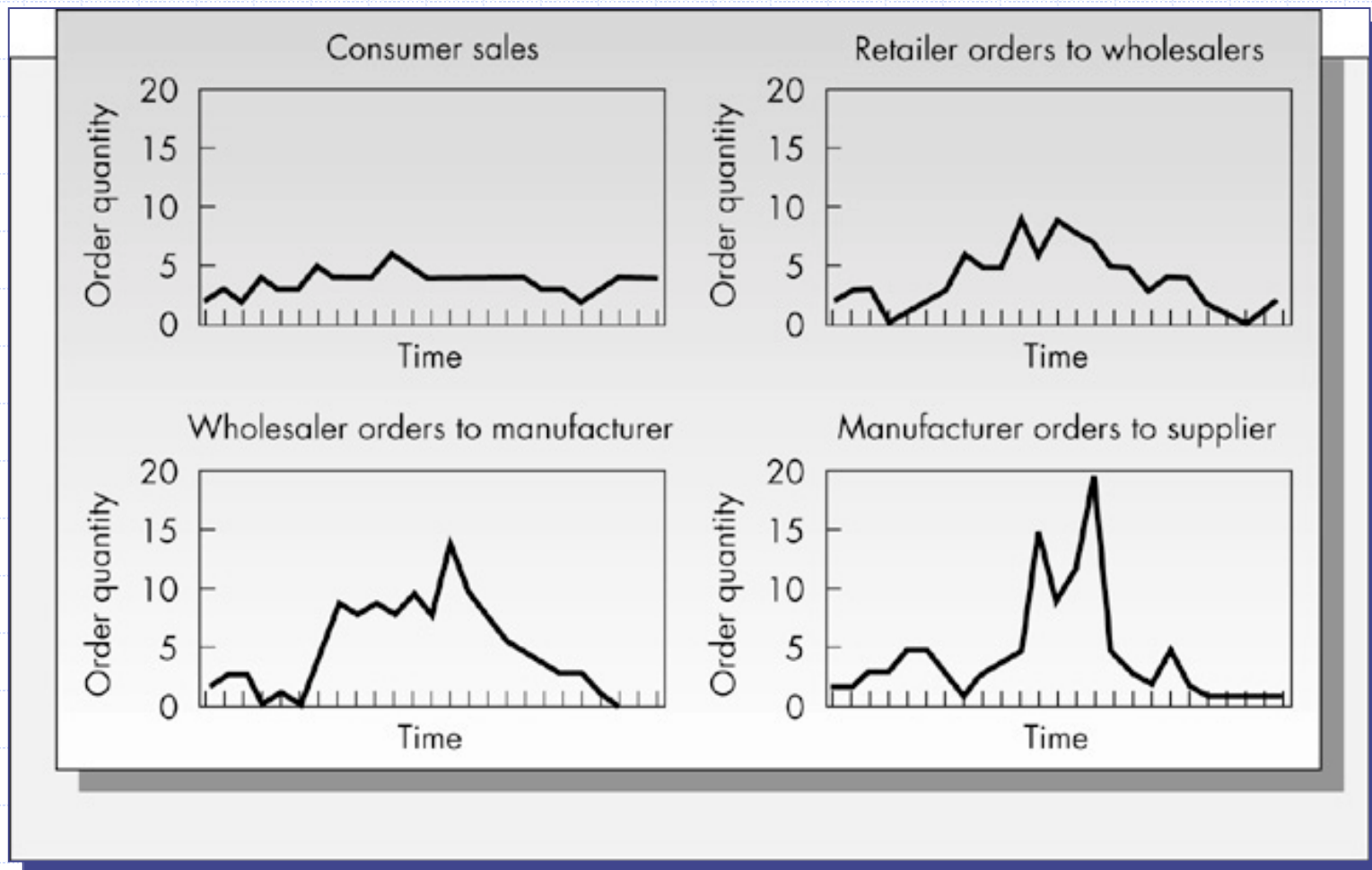
- Autres considérations
  - Configuration restreinte mais efficace des sous-traitants et des fournisseurs
  - Transfert de certaines fonctions à l'extérieur de l'entreprise (*outsourcing*) ( fonction ne faisant pas partie de la mission de l'entreprise (*core business*))(ex.: P&W)
  - Canaux de distribution des produits, arrangements avec les grossistes, les détaillants, gestion partagée des inventaires, etc.

# Chaînes d'approvisionnement

- Système d'information
  - « *Knowledge is power* »
  - L'effet *Bullwhip*: l'augmentation de la variabilité des commandes en remontant la chaîne d'approvisionnement:

# Chaînes d'approvisionnement

- Effet Bullwhip



# Chaînes d'approvisionnement

- Raisons de l'effet Bullwhip:
  - Ajustement des prévisions des ventes à chacune des étapes de la chaîne;
  - Les commandes qui sont transformées de demande lissée en lot (en référence aux systèmes MRP);
  - Fluctuation des prix du marché (spéculation associée au maintien d'inventaires)
  - L'augmentation des quantités commandées en fonction des pénuries possibles dans un secteur du marché; (ex.: composants d'ordinateur)

# Chaînes d'approvisionnement

- Atténuation de l'effet Bullwhip:
  - Ajustement des prévisions des ventes à chacune des étapes de la chaîne; (partage de l'information sur les points de vente)(EDI);
  - Les commandes qui sont transformées de demande lissée en lot (référence aux systèmes MRP);(alignement des quantités entre les différents intervenants: approche *pipeline*)
  - Fluctuation des prix du marché (spéculation associée au maintien d'inventaires) (stabilisation des prix du marché par une approche de valeur réelle des produits et non promotionnelle)
  - L'augmentation des quantités commandées en fonction des pénuries possibles dans un secteur du marché; (quantités allouées sur la base historique);

# Chaînes d'approvisionnement

- Systèmes d'information et le commerce électronique

- EDI: *Electronic Data Interchange*

Utilisation de formats normalisés pour l'échange de documents d'affaire entre les différents intervenants: état de l'inventaire, bon d'achat, demande d'information, etc...

Deux standards: ANSI et EDIFACT;

- *Web based transactions systems*

Utilisation du réseau internet pour mettre en valeur ses produits et créer les liens directs avec les entreprises partenaires et les consommateurs:

B2B: Business to business

B2C: Business to consumer

# TP # 3 réseau de distribution

4 grands ensembles de produits :

- vins importés;
- vins embouteillés localement (appelé également *vin maison*);
- les spiritueux;
- les bières importées;

21 points de vente (V1 à V21)

3 centres locaux de distribution (D1 à D3)

3 petites usines d'embouteillage de produits maisons (U1 à U3)



# TP # 3 réseau de distribution

	Capacité d'entreposage	Capacité de production
D1	35,000	
D2	40,000	
D3	45,000	
U1	5,000	10,000
U2	5,000	10,000
U3	8,000	15,000

Capacité mensuelle d'entreposage et de production, en nombre de caisses.

# TP # 3 réseau de distribution

Points de vente	Bières	Vin maison	Spiritueux	Vins importés
V1	1464	1200	420	3600
V2	1716	1440	540	4200
V3	1344	1680	540	4800
V4	1068	1440	276	3000
V5	1056	1320	600	2400
V6	780	1740	300	2760
V7	1080	552	300	1500
...				

Demande des différents produits à chacun des points de vente.

# TP # 3 réseau de distribution

La Société désire étudier les questions suivantes :

Dans la situation actuelle, quel serait le plan de production et de distribution de chacun des aéroports, de chacune des usines et de chacun des centres de distribution, quelles seraient les routes de livraison des camions, est-ce que la flotte de camions dont elle dispose est suffisante pour combler ses besoins et finalement, quel serait le coût de ce plan de distribution?

Vous êtes invités à présenter vos recommandations à la Société des Alcools. Celles-ci doivent être détaillées et accompagnées de vos calculs et justificatifs. L'utilisation de la programmation linéaire est certainement très encouragée!