

Université de Montpellier  
Faculté de Droit et des  
Sciences Économiques

# **Problèmes de Transport**

par **Bernard Stepien**

1970

Mémoire de D.E.S  
Directeur : Monsieur R. Badouin

# Plan du mémoire

Titre premier : Étude des coûts de transport

Chapitre I: Les éléments constitutifs du coût de transport

Section 1: les coûts de roulage

- A) Facteurs physiques
- B) Facteurs économiques

Section 2: Les coûts de manutention

- A) Types de manutention
- B) Facteurs des coûts de manutention

Section 3 : Les coûts de détérioration

- A) Coûts de perte ou de vol
- B) Coût de protection de la marchandise

Section 4 : Les coûts d'inventaire

- A) Coût du stock transporté
- B) Coût du stock d'approvisionnement

Section 5 : Les coûts de défaillance

- A) Coût d'improductivité
- B) Coût de la rupture de stock

Chapitre II : Résolution des problèmes de transport dans l'entreprise

Section 1 : Réduction du coût de transport pas action sur les caractères de la marchandise

- A) Remarques préliminaires
  - 1) Interdépendance des éléments du coût de transport
  - 2) Problèmes des unités de mesure
- B) Étude des relations entre les caractères de la marchandise et les éléments du coût de transport
  - 1) Coût de roulage
    - a. Densité marchandises – densité support
    - b. Problèmes du retour à vide des supports
    - c. Choix de l'importance des lots de marchandises
  - 2) Coût de manutention
  - 3) Coût de détérioration
  - 4) Coûts d'inventaire
  - 5) Coûts de défaillance

Section 2 : Action sur le coût de transport par le choix du moyen de transport

- A) Moyens de transport et éléments du coût de transport

- 1) Choix du moyen de transport et caractéristiques de la marchandise
  - 2) Choix du moyen de transport en fonction de la distance
  - 3) Problèmes de combinaison de moyens de transport
- B) Critères du choix du moyen de transport

Section 3 : Réduction du coût de transport global par action sur les caractères de la marchandise et par choix du moyen de transport

- A) Caractères physiques de la marchandise et coût de roulage des différents moyens de transport
- B) Caractères physiques de la marchandise et coûts de manutention des différents moyens de transport

Titre II : Coût de transport et gestion de l'entreprise

Chapitre I : Importance du coût de transport dans le problème de la localisation

Section 1 : Localisation et importance du coût de transport en valeur

Section 2 : Influence du coût de transport sur la conception de la localisation

Chapitre II : Coût de transport et méthodes de calcul de la localisation

Section 1 : Les coûts comparés. Critique de la méthode

Section 2 : Calcul du point de transbordement

- A) Cas simple : entre deux points de l'espace
- B) Plusieurs points dotés de ressources et de marchés
- C) Critique de la méthode

Section 3 : Remarques sur la comparaison des coûts des facteurs

Chapitre III : Coût de transport, localisation et taille de la firm

Section 1 : Coût de transport, coût moyen de production et localisation

Section 2 : Équilibre spatial, taille des marchés et taille de l'entreprise

Section 3 : Exemples

Conclusion

## Introduction

Le but de cet ouvrage est de rassembler et d'ordonner un certain nombre d'idées qui évoluent depuis une quinzaine d'années sur des problèmes de gestion du coût de transport dans l'entreprise – appelés également transport management- et sur les problèmes liés aux précédents concernant le rôle des coûts de transport dans la détermination de la localisation de l'entreprise. Mais il se distingue de la majorité des ouvrages concernant les transports, en ce qu'il n'étudie pas la gestion d'un moyen de transport en particulier comme par exemple Santoro [2]. Il s'agit de travailler sur les coûts de transport tels qu'ils apparaissent au sein de l'entreprise quelqu'en soit le secteur d'activité.

Cependant, cette étude s'adresse aussi aux compagnies de transport. En effet, ce qui est un problème de transport pour une entreprise constitue en même temps le marché des compagnies de transport.

De même, les problèmes d'implantation des entreprises peuvent intéresser le service de marketing des compagnies de transport. Beaucoup de compagnies de transport font aujourd'hui de la promotion industrielle en essayant de démontrer à leurs clients qu'il est avantageux de s'implanter dans les limites de leurs réseaux de transport.

D'autres organismes sont intéressés par la promotion industrielle : organismes d'aménagement du territoire, de développement industriel d'états, de régions ou de villes, chambres de commerce, grandes banques, compagnies productrices d'énergie, promoteurs immobiliers...

En résumé, les problèmes de transport peuvent être définis d'une part au sein des entreprises, comme la recherche d'un coût de transport minimum au moyen de modifications des caractères de la marchandise et de choix de moyens de transports appropriés, et d'autre part, au sein des compagnies de transport, comme la recherche des marchandises avantageuses à transporter pour leur clients. Quant aux problèmes d'implantations, il s'agit d'une part, pour les entreprises de savoir où s'implanter pour réduire leurs coûts de transports, et d'autre part, pour les compagnies de transport et autres organismes, de savoir quels types d'entreprises il faut attirer dans leur zone géographique d'activités.

Trois thèmes principaux se dégagent dans cette étude :

- 1) Définition d'un coût de transport élargi  
En prenant en compte tous les coûts directs et indirects résultant de l'obligation de déplacer un bien d'un point à un autre. Ce coût de transport global comprend le coût de roulage (tarif), le coût de manutention, le coût de détérioration (pertes, emballages, protection de la marchandise), le coût d'inventaire, (coût du stock d'approvisionnement dû à la discontinuité de l'opération de transport), le coût de défaillance (manque à gagner de production durant le voyage).
- 2) Gestion du coût de transport dans l'entreprise

Se résumant en trois actions :

- Concevoir l'unité de marchandise à transporter pour qu'il en résulte un coût de transport global minimum, le moyen de transport étant invariable. Cela consiste à modifier les quatre caractères d'une marchandise: poids total, spécificité (forme, aspect), valeur et productivité; ou plus généralement, à étudier les fonctions qui relient ces caractères à chaque élément du coût de transport.
  - Choisir le moyen de transport qui produise le coût de transport minimal d'une marchandise donnée.
  - Combiner les deux actions précédentes, c'est à dire faire varier à la fois les caractères de la marchandise et les moyens de transport.
- 3) Une autre manière de bien gérer le coût de transport dans l'entreprise consiste à choisir une bonne localisation, que ce soit des unités de commandement, de production ou de commercialisation. Il s'agit alors d'étudier les relations entre coût de transport global et localisation de l'entreprise.
- Il faut d'abord se rendre compte de l'importance du coût de transport global en valeur : si l'on peut chiffrer avec précision le coût de transport à 5% en moyenne de la valeur des produits, on ne peut qu'estimer le coût de transport global variant entre 10% et 20% en moyenne.
  - Il faut définir ensuite les relations entre le coût de transport global et la conception de l'implantation. Soulignons le fait que le coût de transport n'est pas un coût dépendant sur lequel on n'a aucun pouvoir. Remarquons aussi l'importance du marketing dans la prise de conscience du coût de transport global. L'implantation des entreprises est de plus en plus conditionnée par le coût de transport global des cadres supérieurs dont l'élément coût de défaillance est important lors de déplacements, les amenant à choisir le plus souvent l'avion. La localisation des unités de commandement, de production et de commercialisation, se fera de préférence dans les zones desservies par des aéroports.
  - Nous passons alors à une présentation des principales méthodes de détermination de la localisation : méthode des coûts comparés présentée sous la forme de l'étude d'un graphe, calcul du point de transbordement entre sources de facteurs de débouchés des produits. Ces deux méthodes ont le défaut de ne pas explorer entièrement l'espace économique considéré. Il faut y ajouter des considérations économiques telles que la limitation de la taille de l'entreprise par les coûts de transport. Pour augmenter ses ventes, l'entreprise est obligée d'exploiter des marchés de plus en plus éloignés, entraînant ainsi un accroissement du coût de transport moyen par unité de produit. Il est intéressant de rappeler un principe d'économie spatiale, celui du partage de l'espace économique en zone d'influence économique plus ou moins grande selon les secteurs d'activité, et dues à l'incidence des coûts de transport.

A partir des éléments rassemblés dans cet ouvrage, il devrait être possible d'aborder plus rapidement les problèmes de gestion des coûts de transport, les études de marché de transporteurs ou de promotion industrielle, pour leur trouver des solutions satisfaisantes.

En conclusion on peut résumer ce mémoire comme étant l'amorce d'une étude de marché.

## **Titre I – Étude des coûts de transports**

Le concept ordinaire de coût de transport peut être élargi en coût de transport global incluant tous les autres coûts liés au fait de transporter une marchandise. Nous en analyserons les éléments constitutifs, puis nous pourrions étudier les différents modes d'action que l'entreprise peut avoir sur lui. Nous verrons ainsi que le facteur transport n'est pas un facteur dépendant, mais un entrant (input) au même titre que d'autres, ainsi que Walter Isard, le premier en a parlé [2].

## Chapitre I : Les éléments constitutifs du coût de transport

Nous entendons par coût de transport un coût de transport global composé non seulement de ce que l'on appelle couramment le coût de transport, mais aussi des coûts annexes directement liés à l'activité de transport : ce sont les coûts de manutention, les coûts de détérioration, les coûts d'inventaire et les coûts de défaillance. Monsieur L'Huillier dans sa thèse [1] emploie plutôt le terme de *cout de transfert*. Nous préférons la terminologie *coût de transport global* parce qu'il a semblé avoir plus de retentissement chez les industriels interviewés. Dans les sections qui vont suivre, nous allons présenter les éléments constitutifs de ce coût en les définissant convenablement d'une part et en dégagant les facteurs principaux qui les gouvernent d'autre part.

### Section 1 : les coûts de roulage

Definition : Le coût de roulage est ce qui est payé au transporteur pour qu'il achemine une marchandise ou une personne d'un point à un autre. Il dépend principalement de deux catégories de facteurs :

- Les facteurs physiques.
- Les facteurs économiques.

#### A. Les facteurs physiques

Il y en a deux :

- Les forces de frottement
- La spécificité des marchandises

- 1) le coût de roulage est celui entraîné par les forces de frottement qu'il faut vaincre lorsqu'on déplace un objet. Les forces de frottements dépendent principalement du poids de l'objet à déplacer, mais elles dépendent également des caractères physiques de l'objet à déplacer et des caractères de l'endroit où on le déplace. Si on se réfère à une unité d'énergie, on pourra observer qu'un cheval vapeur permet de déplacer en moyenne 150 kg par un moyen de transport routier, 500 kg par le chemin de fer et 4000 kg sur l'eau. Le coût du cheval vapeur est sensiblement égal dans les trois cas. On en déduit que le coût de roulage d'une tonne de marchandise par voie d'eau est inférieur au même coût par voie routière.
- 2) Tous les moyens de transport sont composés de supports destinés à maintenir la marchandise pendant son déplacement. Il y a des supports nécessairement différents selon que la marchandise est un solide, un liquide, un pondéreux, une automobile. De plus, il sera impossible de transporter une marchandise sur un support non adapté aux caractères de la marchandise. Par exemple, il est impossible de transporter un cheval sur un camion citerne. Un même tonnage de marchandises doit emprunter des supports différents selon sa nature, le coût des supports variera avec la nature de la marchandise. De plus, le poids appelé poids mort des supports varie également selon la nature des marchandises du fait

d'aménagements spéciaux. Or, ce poids mort doit être déplacé également et l'on doit consommer de l'énergie à cet effet.

## B. Les facteurs économiques

Les coûts de roulage dépendent également de trois facteurs :

- L'allure de la courbe des coûts de roulage
- Le fait que le transport est un service
- Les formes des marchés de transports et leurs conséquences

1) les coûts de roulage sont à rendements croissants

L'activité de transport consiste à déplacer une quantité d'unités de poids sur une certaine distance; le coût de la tonne-kilométrique (tonne déplacée sur un km) décroît lorsque le tonnage total transporté augmente.

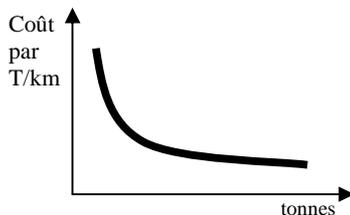


Figure 1: prix de revient au km dans les transports routiers

Le prix de revient au km dans les transports routiers (source Vickham [4] dans l'économie des transports).

Categorie de frais	Pour 75000 km	Pour 100000 km
Frais fixes	0,891	0,700
Frais kilométriques	0,630	0,630
Frais généraux et bénéfices	1,977	1,729

- 2) la différence essentielle entre les biens et services économiques, c'est que les biens sont stockables et peuvent donc être offerts en quantités variables au moment où ils sont demandés pour être consommés alors que les services ne le sont pas et doivent donc être produits au moment où ils sont demandés. Le résultat en est que pour une même quantité demandée il va falloir un capital productif d'importance différente selon la répartition de la demande dans le temps. En d'autres termes, il faut souligner l'importance des frais fixes.
- 3) Le prix du service transport est déterminé par la rencontre de l'offre et de la demande : Il dépendra donc de la structure du marché du transport.
- La demande : un marché est déterminé par une liaison à assurer entre deux points. La structure de la demande dépend de la nature de la marchandise transportée. Par exemple, la demande de transport de produits pétroliers

sera surtout de type monopolistique ou oligopolistique; par contre, la demande de transport de colis sera plutôt de type concurrence parfaite.

- L'offre : la structure de l'offre dépend surtout du moyen de transport. L'offre de transport routier est presque toujours du type concurrence parfaite : on y trouvera de nombreux artisans exploitant un seul camion à la fois. On retrouve cette structure dans les transports fluviaux en Europe. A côté de ces artisans on trouve de grandes entreprises de transport disposant de nombreuses succursales sur le territoire. L'offre de transport ferroviaire fait presque toujours l'objet d'un monopole d'Etat, ceci pour des raisons de politiques économiques et également parce que les infrastructures sont onéreuses. Par exemple, les tarifs de la S.N.C.F. et les tarifs à la tonne kilométrique du frêt maritime sont supérieurs en Méditerranée que sur l'Atlantique Nord.
- L'instabilité des tarifs : parce que l'offre n'est pas stockable, les tarifs fluctuent essentiellement avec les fluctuations de la demande de transport, c'est à dire avec la conjoncture. (Introduction sur l'offre : la capacité de production d'un moyen de transport est égale au tonnage total du moyen de transport multiplié par sa vitesse de circulation. Il faut remarquer un fait très important dans le fait que le progrès technique dans les transports consiste souvent à accroître la vitesse de circulation, donc de l'offre de transport et provoque ainsi une chute des prix de transport) Par exemple : après la fermeture du Canal de Suez en 1967, les pétroliers allant de la péninsule Arabique en Europe durent emprunter la voie du Cap, ceci a eu pour effet de réduire leur vitesse de circulation sur une liaison donnée, donc l'offre de transport pétrolier ce qui a été pour une part de la hausse des prix du transport pétrolier sur cette liaison.

### **Conclusion sur les coûts de roulage :**

Il a été longtemps le seul élément du coût de transport pris en considération dans le calcul économique. Cette habitude tend à disparaître grâce aux efforts de persuasion de nombreux économistes, mais elle subsiste dans de nombreuses branches d'activité par ailleurs très évoluées dans d'autres domaines de la gestion économique. Dans la mesure où le coût de roulage est l'élément prépondérant du coût de transport global, il y a bien sûr lieu d'y attacher une importance particulière, mais ceci n'est pas toujours le cas comme nous le verrons par la suite.

## **Section 2 : les coûts de manutention**

Définition : ce sont les coûts qui découlent du chargement des marchandises sur les supports des moyens de transport, et de leur déchargement.

Nous parlerons de :

- A) Des types de manutentions : On distingue les manutentions terminales des manutentions intermédiaires.

### 1) Manutentions terminales

Aux lieux de départ et d'arrivée il faut charger et décharger les marchandises ou les personnes. Les coûts varieront avec les installations existantes.

## 2) manutentions intermédiaires

Il arrive souvent qu'une marchandise doive emprunter plusieurs moyens de transport pour arriver à destination. Il faut alors transborder la marchandise d'un moyen de transport à l'autre. Cela donne lieu à une rupture de charge. C'est à dire un éclatement de l'unité que représente le lot de marchandises installées sur un support de moyen de transport. Les coûts de rupture de charge préoccupent beaucoup les usagers des transports (Les coûts de manutention sont à rendements croissants lorsque la quantité d'objets manipulés en même temps augmente). Les manutentions intermédiaires dépendent de l'existence de différents moyens de transport sur une même liaison. Par exemple, pour aller d'un point à un autre on peut employer un moyen de transport direct sans manutentions intermédiaires comme le camion, ou bien on peut employer deux moyens de transport comme par exemple avec le camionnage des marchandises jusqu'à la ligne de chemin de fer la plus proche pour emprunter ce moyen là.

## B) Facteurs des coûts de transport

Il y a deux facteurs de production à la manutention: le capital et le travail.

### 1) Coût en capital :

- Engin de levage: les grues, les ponts roulants, les tracteurs type Fenwick pour le déplacement de palettes, les tapis roulants appelés également convoyeurs pour les grandes dimensions. Ils sont choisis en fonction de la nature de la marchandise.
- Aménagements spéciaux : ils sont destinés à faciliter les manutentions. Ce sont les quais et entrepôts de transit. Leur coût dépend d'une part de la nature des marchandises mais également de celle des moyens de transport employés. Par exemple, le coût d'une gare de marchandises est différent de celui d'un port de mer.
- Les coûts en travail : Ils dépendent de la technique employée, elle-même fonction de la nature des marchandises et des moyens de transport utilisés. Voici un exemple tiré de l'ouvrage de Monsieur L'Huillier [1] :

### Genre de marchandises et moyens de manutention

Technique de manutention employée	Nombre d'heures de travail pour 10 tonnes
<b>À la main :</b>	
petites marchandises normales	5 à 7 heures
marchandises lourdes en ballots	8 à 12 heures
marchandises encombrantes	20 à 30 heures

charbon	4 à 5 heures
bois	6 à 8 heures
<b>Avec une grue :</b>	
Marchandises lourdes en ballots	8 heures
Réservoirs	6 à 8 heures
Charbon	0,5 à 0,7 heures
<b>Déchargement par basculement :</b>	
Toute marchandise	0.5

### Section 3 : les coûts de détérioration

Ce sont les coûts dus aux pertes ou aux vols intervenant pendant le transport. On y intègre les coûts des moyens de protection destinés à réduire les pertes ou les vols.

#### A) Coûts de perte ou de vol

Le coût de la détérioration d'une marchandise est égal à sa valeur ou à sa valeur moins la valeur de récupération, les pertes dépendent évidemment de la nature de la marchandise, c'est à dire ses caractères spécifiques (liquide, solide, pondéreux, fragile, craignant la chaleur, le froid, l'humidité, périssable).

#### B) Coût de protection de la marchandise

- L'emballage est destiné à rendre la marchandise le moins sensible possible aux chocs intervenant soit durant le transport, soit lors des opérations de manutention. Son coût dépend de la spécificité de la marchandise ainsi que du moyen de transport utilisé.
- Le conditionnement : pour les marchandises à caractère périssable, il faut prévoir des installations frigorifiques. L'exemple des oeufs surgelés est particulièrement éloquent. Ils dépendent bien entendu des caractères de la marchandise mais également des conditions dans lesquelles s'effectue le transport. La même marchandise périssable circulant dans un pays chaud ou en été ne requiert pas le même conditionnement que dans un pays froid ou en hiver. Exemple : Les huîtres en France. Le choix du moyen de transport a son importance pour les marchandises qui ne supportent pas le transport sans conditionnement au delà d'une limite de temps définie.

### Section 4 : les coûts d'inventaire

D'une part la valeur de la marchandise transportée est immobilisée, d'autre part le transport est une opération discontinue alors que celle de production ou de consommation

est le plus souvent continue. Il faudra donc constituer un stock pour alimenter la production ou la consommation en paliant à cette discontinuité.

#### **A) Coût du stock transporté**

Nous appellerons ainsi la marchandise transportée qui n'est pas utilisable lors du transport. Les frais financiers sur le stock transporté seront fonction de sa valeur, du taux d'intérêt applicable et de la durée du transport, qui lui-même dépend du moyen de transport utilisé et de la durée des manutentions.

#### **B) Coût du stock d'approvisionnement**

L'importance du stock d'approvisionnement va dépendre de la fréquence des arrivages, elle-même fonction du moyen de transport utilisé. Il y a deux catégories de frais :

##### 1) Frais financiers

Ils sont proportionnels à la valeur du stock constitué et approximativement au temps entre deux arrivages multiplié par le taux d'intérêt multiplié par la valeur du stock moyen qui est lui-même fonction de la consommation entre deux arrivages.

##### 2) Frais en installations de stockage

Ils dépendent d'abord de la spécificité des marchandises : Entrepôts frigorifiques pour les bananes, terrain pour stocker du charbon, silos à céréales du Middle-West américain pour attendre le train annuel qui fait plusieurs km de long. Ils dépendent ensuite de l'importance du stock nécessaire, c'est à dire par voie de conséquence, de la fréquence des approvisionnements.

##### 3) Stock et risques d'obsolescence

La constitution d'un stock important devant couvrir une longue durée peut avoir des inconvénients lorsque les marchandises sont soumises à des phénomènes de mode en ce qui concerne la consommation. Les transports sont un frein à la souplesse de l'approvisionnement; il faut donc compter les coûts des invendus dûs au manque de souplesse de l'approvisionnement dans le calcul du coût de transport. Cette tendance existe depuis une dizaine d'années environ. Elle découle des problèmes d'approvisionnement intercontinentaux entre les U.S.A. et l'Europe principalement.

### **Section 5 : les coûts de défaillance**

Ils sont liés au fait qu'une marchandise peut être un bien de production ou un bien de consommation intermédiaire, ainsi qu'un goulot d'étranglement pour la production. Nous parlons ici des coûts de l'improductivité et des coûts de rupture de stock.

#### **A) Coût d'improductivité**

C'est la valeur du manque à gagner de production. Il dépend de ce que l'on pourrait appeler la capacité de production de la marchandise ou de sa productivité. Il dépend également de la durée du transport, donc également de la durée des manutentions. Ce coût peut être nul pour des marchandises destinées à la consommation. Elles sont néanmoins sujettes aux coûts de rupture de stock.

### B) Coût de la rupture de stock

Une marchandise qui est un goulot d'étranglement pour une production, peut entraîner des pertes de production lorsqu'elle arrive en retard. Cela peut provenir de l'impossibilité de trouver un moyen de transport disponible au moment où l'on en a besoin, c'est à dire de son degré de fiabilité qui se traduit par le degré de confiance en sa disponibilité. Ce coût peut être mesuré par l'espérance mathématique de perte de production connaissant la probabilité de disponibilité de transport au moment où on le demande.

Cependant, il est possible de réduire cette espérance mathématique de perte de production en créant un stock approprié. Nous rejoignons alors les conclusions de la section précédente.

### **Conclusions sur premier chapitre**

Le coût de transport global est donc un ensemble de coûts très variés. L'analyse que nous avons faite de ses éléments constitutifs va nous permettre d'étudier comment une entreprise peut essayer de faire face aux problèmes de transport.

Il est également important de noter que les exemples cités dans ce mémoire ne concernent que rarement le coût de transport global. Le concept étant encore très nouveau, il est impossible de trouver des études concrètes sur cet aspect dans la littérature. On raisonnera en conséquence le plus souvent sur deux ou trois éléments du coût de transport à la fois. Dans les exemples choisis, on remarquera que les éléments omis peuvent être considérés comme négligeable. La valeur de nos exemples ne sera donc pas altérée par ces omissions.

## **Chapitre II : Résolution des problèmes de transport dans l'entreprise**

Le responsable de la gestion des transports a la mission d'organiser le transport des différents produits achetés ou vendus par l'entreprise, et cela au coût minimum. Pour réaliser ceci, il devra se livrer à l'étude des fonctions qui relient les caractères de la marchandise aux éléments du coût de transport. Il devra choisir le moyen de transport qui réalise le coût de transport minimum.

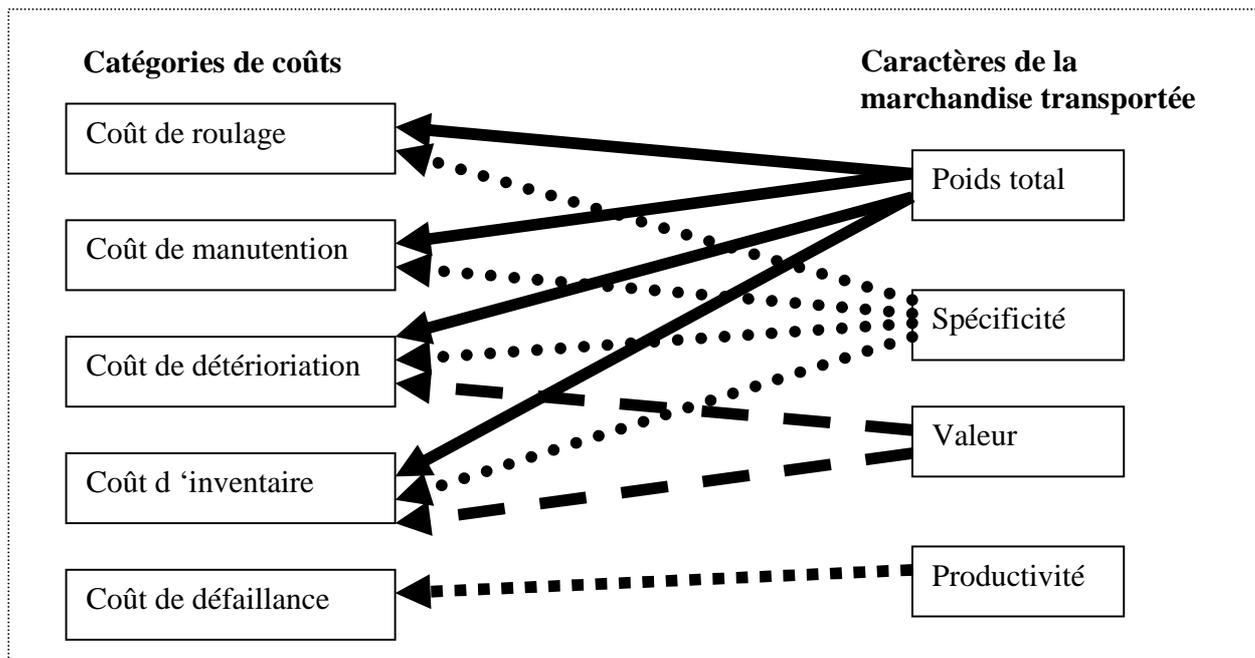
### **Section I : Réduction du coût de transport par une action sur les caractères de la marchandise**

On a un lot de marchandises à transporter par un moyen de transport donné et sur une distance donnée. Comme nous l'avons vu précédemment, le coût de transport est fonction de facteurs en relation avec la nature de la marchandise et de ses caractéristiques. Ainsi s'il est possible de modifier la nature ou les caractéristiques de la marchandise, le coût de transport global sera différent.

Avant de se livrer à cette étude, il faut faire deux remarques générales pour éviter de faire des erreurs. Il faut notamment souligner l'interdépendance des éléments du coût de transport et l'existence d'un problème d'unités de mesure.

## A) Remarques préliminaires

### 1) L'interdépendance des éléments du coût de transport



Nous constatons que le facteur de productivité n'influence que le coût de défaillance. Par contre le facteur spécificité agit sur quatre éléments. Ainsi vouloir agir sur la spécificité en vue de réduire le coût de manutention aura des effets positifs ou négatifs sur les coûts de roulage ou d'inventaire.

### 2) problème des unités de mesure

Lorsque l'on veut comparer deux politiques en vue du choix de l'une d'entre elle, il faut pouvoir quantifier les données ou leur affecter un indice de préférence. Pour cela, il faut tout d'abord une unité de mesure. En matière de transport nous disposons de quelques unités de mesure qui sont : la tonne et la tonne kilométrique. Il y a deux sortes d'erreurs à éviter avec le concept de coût à la tonne : c'est celle de comparer le coût à la tonne de deux marchandises différentes en vue de choisir un moyen de transport et celle de comparer le coût à la tonne de la même marchandise empruntant des moyens de transports différents. Il faut se dire que chaque problème de transport est un problème particulier, et cela pour deux raisons : pour des raisons de densité et d'indivisibilité à la fois de la marchandise et de la capacité en volume et en poids du moyen de transport. On verra également les problèmes que pose la tonne kilométrique.

### **A) problème de densité**

Appelons densité de la marchandise, non celle du matériau qui la constitue, mais le rapport poids/volume de la marchandise emballée. Dans notre exposé, nous aurons à comparer ce rapport à un autre qui est celui du poids transportable/volume transportable du moyen de transport. Le transporteur vend des tonnes à transporter et pour ce faire il dispose d'un support de transport dont la capacité en tonnage et en volume est limitée. L'objectif du transporteur est de transporter la capacité totale de tonnage de son support à chaque voyage. C'est dans ces conditions qu'il réalise la meilleure rentabilité. Ainsi, si le rapport poids/volume de la marchandise est inférieur au rapport capacité de tonnage/capacité de volume du support, lorsque la limite de capacité en volume de support est atteinte, le tonnage total du lot de marchandise est inférieur à la capacité de tonnage. Le transporteur subit un manque à gagner qu'en fait il fera subir au demandeur de transport qui en est la cause. Le coût à la tonne dans ces conditions de rentabilité maximum du moyen de transport.

On s'exprime couramment en tonne de marchandise quelque soit sa nature. Cette unité de mesure est alors fautive. Il faut la préciser en quelque sorte en indiquant la densité de la marchandise et celle du support (wagon, péniche, camion, container, etc...), ce qui est parfois oublié.

### **B) Problème dérivé du précédent**

Soit un support de certaines dimensions (longueur, largeur et hauteur); Les marchandises devant occuper ce support se présentent sous la forme d'unités de marchandises dans le support. Si les dimensions du support ne correspondent pas à des multiples des dimensions des unités de marchandises, il y aura de la place perdue. Ceci aura pratiquement pour effet de diminuer la densité des marchandises déjà casées dans le support. Conclusion : les indivisibilités à la fois des marchandises et des supports amplifient les problèmes de densité évoqués au paragraphe précédent.

### **C) Les problèmes de la tonne kilométrique**

Cette unité de mesure perd son sens tout d'abord pour les mêmes raisons que nous avons expliquées précédemment à propos de la tonne comme unité de mesure. La tonne kilométrique se veut une unité de mesure universelle pour résoudre les complications dans les tarifications ou dans les statistiques sur les transports. En effet, on nous donnera un tarif à la tonne kilométrique quelque soit la distance considérée. Or le seul fait que le coût de transport est composé de frais fixes, infrastructures et matériel roulant, personnel de maintenance, et de frais variables comme les coûts en énergie en grande partie proportionnels à la distance, le coût moyen unitaire de la tonne kilométrique décroît lorsque la distance croît. Ainsi dans les statistiques sur les transports, on fait deux erreurs graves. D'une part on fait la somme des tonnages qui sont par définition hétérogènes sur le plan des coûts comme nous l'avons vu et on fait la somme des distances également hétérogènes sur le plan des coûts. En multipliant les uns par les autres, on obtient le volume de trafic en tonne-kilomètre et on compare sans précaution le trafic en tonne x km de 1969 avec celui de 1970 alors que par définition il ne s'agit pas exactement de la même chose sur le plan des coûts pour le demandeur de transport et sur le plan des recettes pour les offreurs de transport, encore moins sur la valeur des marchandises transportées pour les statistiques concernant la relation de l'évolution du P.N.B. et du

volume du trafic du transport qui est un indicateur de conjoncture for apprécié. Cependant, si la valeur moyenne des marchandises transportées reste stable ainsi que la moyenne des densités des marchandises, on pourra alors employer la tonne kilométrique comme unité de mesure sans tomber dans ces problèmes.

Nous pouvons déduire du problème des unités de mesure que chaque problème de transport est un problème particulier.

## **B) Étude des relations entre les caractères de la marchandise et les éléments du coût de transport**

Nous étudierons séparément chaque élément en étudiant aux moments opportuns les effets d'interdépendance.

### **1) Coût de roulage**

On dit en général qu'il est égal au produit du poids x kilométrage x tarif à la tonne kilométrique.

Notons en passant que le tarif à la tonne/km peut dépendre du kilométrage à cause de l'incidence des coûts fixes d'exploitation du transporteur. Nous ne pouvons pas agir sur le kilométrage. Il nous reste à étudier l'influence sur le poids. Mais le poids seul ne signifie rien comme nous l'avons déjà signalé lors de la discussion sur les unités de mesure. Notre étude portera donc surtout sur les questions de densité.

### **A) Densité marchandise – densité support**

Rappelons que par la densité de la marchandise nous entendons le rapport poids/volume du lot de marchandise, et densité du support, le rapport capacité de tonnage/capacité de volume du support. Rappelons que le volume du support et le poids total qu'il peut recevoir sont limités et que les coûts d'exploitation du transporteur sont des coûts d'énergie proportionnels aux distances et au poids transporté. Pour faciliter le raisonnement, supposons que le lot de marchandise occupe intégralement la capacité de volume du support. Le transporteur désire transporter la capacité de volume du support. Le transporteur désire transporter la capacité de tonnage intégrale du support.

- Si la densité des marchandises est inférieure à la densité du support, le tonnage du lot de marchandise considéré est inférieur à la capacité de tonnage du support et le transporteur subit un manque à gagner qu'en fait il reportera sur sa tarification à la tonne. Ainsi le coût de roulage à la tonne du polystyrène expansé sera de loin supérieur à celui de l'acier en barre; On peut essayer de remédier à cela de deux manières, en accroissant la densité des marchandises. Par exemple, pour transporter des certains meubles, on démontera les pieds des tables et des chaises si possible. Lorsque cela est possible, on a intérêt à faire transporter des marchandises à densité très forte avec des marchandises à densité très faible dans le cas où il y a des indivisibilités de natures différentes pour deux catégories de marchandise. C'est un problème de recherche opérationnelle assez complexe.
- Si la densité des marchandises est supérieure à celle du support, il n'y aurait pas de risque de manque à gagner sur le tonnage pour le

transporteur mais son client par contre ne pourrait utiliser toute la capacité en volume du support à cause du tonnage limité.

Deux solutions se présentent :

- On peut essayer de réduire le poids des marchandises par un choix plus heureux des matériaux qui la composent. (produit lui-même ou de son emballage). Ces réductions de poids ne sont pas toujours accompagnées de réduction de volume. Ainsi, on assiste à une baisse de la densité des marchandises. Tant que la densité résultante des marchandises reste supérieure ou égale à la densité du support, l'opération est rentable et seulement dans ce cas précis. Un exemple frappant, à l'heure actuelle, de réduction du poids est celui du choix des emballages des boissons. Le coût de roulage intervient pour moitié dans le prix des eaux minérales en France. L'emballage classique en verre pèse presque autant que le liquide qui y est contenu. Réduire le poids de l'emballage revient à faire une importante économie. On a adopté la bouteille en plastique perdue après utilisation, c'est à dire non seulement par la réduction du coût de roulage suite à la réduction du poids proprement dit de l'emballage, mais également par la suppression des coûts de roulage sur le retour de l'emballage du consommateur au producteur pour le remplissage des bouteilles. Le coût de l'emballage perdu est inférieur entre autres aux gains en coût de roulage réalisés par cette substitution. Deux exemples : L'eau de javel était vendue dans des bouteilles de verre d'un litre. C'était en fait une solution d'eau de javel, le produit étant ajouté à de l'eau. On a imaginé de supprimer l'eau et de ne livrer au client plus que le concentré de Javel que le client diluerait lui-même dans l'eau pour l'utiliser. De plus le concentré est dans des berlingots en matière plastique. Les gains sur le coût de roulage d'une unité de produit ont été très importants. Nous avons vu que les indivisibilités amplifient les problèmes de densité. Lorsque les expéditions d'une certaine marchandise sont fréquentes, il est possible de calculer de nouvelles dimensions des unités de charge pour mieux utiliser le volume du support. Exemple : on peut calculer s'il faut constituer des caisses de dix, vingt ou vingt-cinq boîtes de conserve pour caser parfaitement les caisses dans un wagon.

### **B) Problème de retour à vide des supports**

Un problème qui peut être rangé parmi ceux de la densité est celui du retour à vide. Après le transport d'une marchandise, la marchandise reste au lieu de destination, ce qui était son but, mais le support lui doit revenir au point de départ pour être réutilisé. Pendant le retour à vide, le transporteur subit encore un manque à gagner, car son support est improductif pendant la durée du retour à vide. Cela revient à dire que la vitesse de circulation du support est réduite. Le manque à gagner du transporteur sera de nouveau reporté sur les coûts de roulage de la marchandise. Du point de vue du demandeur de transport, cela revient à faire transporter de l'air dans un sens, autrement dit à réduire la densité de sa marchandise. Ce problème peut être évité, soit lorsque le transporteur est assuré de trouver lui même une autre marchandise à transporter à partir du lieu de destination, soit que l'on s'arrange de lui faire transporter quelque chose dans l'autre sens. Exemple : La société mannesmann installée dans la Ruhr en R.F.A. fait transporter

par péniche sur le Rhin du minerai de fer de Rotterdam à la Ruhr et des tuyaux en acier dans le sens inverse avec la même péniche.

### C) Choix de l'importance des lots de marchandises

Le transporteur peut fournir un certain nombre de supports ayant des capacités différentes. La recette du transporteur est proportionnelle au volume de production qu'il peut assurer soit la capacité en tonnage du support que multiplie sa vitesse de circulation. Si le transporteur dispose d'un support d'une capacité de 20t alors que nous lui demandons de transporter que 5t, il devra attendre jusqu'à ce qu'un autre client lui permette de remplir son support. Il subira un manque à gagner dû à la baisse de la vitesse de circulation de son support qu'il reportera sur son tarif à la tonne. Il peut également proposer pour des raisons, que nous étudierons par la suite, un support adapté à la demande soit 5t. Mais le coût d'exploitation à la tonne de ce type de support sera supérieur à celui d'une capacité de 20t en raison des économies d'échelles.

On peut donc agir sur le coût de roulage moyen unitaire en accroissant le volume des expéditions ce qui peut être réalisé de deux manières :

- On peut réduire le nombre des expéditions totales pour constituer des lots plus importants. Par exemple, dans le transport maritime avec les pétroliers géants de 500 000 tonnes.
- Lorsqu'on a une certaine quantité de marchandise à expédier en différents endroits par petits lots on peut s'arranger pour expédier la totalité de la marchandise à une même destination déterminée afin de bénéficier des économies d'échelles et ensuite de réexpédier les petits lots à leurs destinations finales à partir de ce point d'éclatement du groupe.

### Illustration : Transport des marchandises SNCF (par wagons complets) Ventilation des dépenses suivant la charge des trains et des wagons

Tonnage brut remorqué par train en tonnes	Chargement du wagon en tonne	Dépenses par T/km en wagons particuliers	Dépenses par T/km en wagon SNCF
1600	40	0,62	
1200	40	0,71	
900	40	0,82	
600	40	1,03	
1600	20		1,53
1200	20		1,64
900	20		1,78
600	20		2,07
300	20		2,93
1200	15	1,48	2,00
900	15	1,65	2,17
600	15	1,98	2,50
300	15		3,49
1200	10		2,73
900	10		2,94

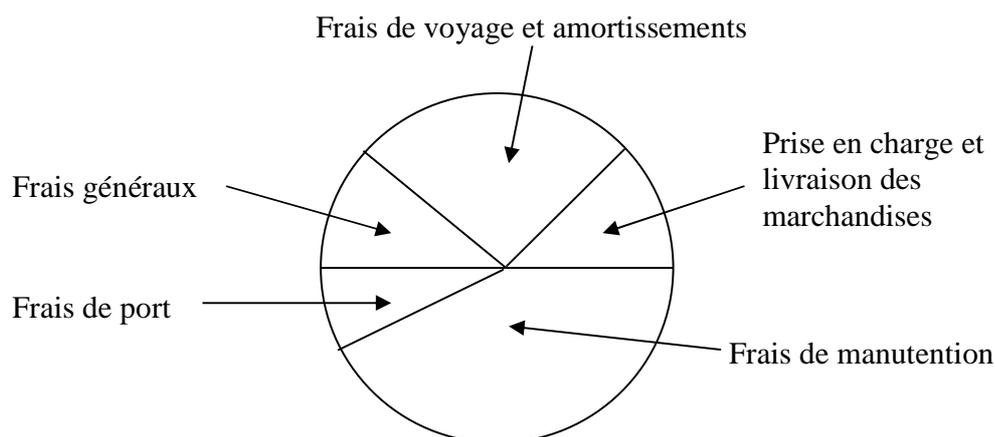
600	10		3,35
300	10		4,59
1200	5		4,96
900	5		5,30
600	5		5,96
300	5		7,95

## 2) Coût de manutention

Il faudra d'abord évoquer leur part dans le coût de transport global. Nous étudierons ensuite les actions possibles sur les coûts de manutention.

### A) part des coûts de manutention dans le coût de transport

Elle peut être très importante. Il en résulte que toute action entraîne une variation importante du coût de transport global. Par exemple la composition du coût de transfert des marchandises par mer entre la Côte Ouest des États-Unis et hawaï.



On peut éviter les manutentions intermédiaires. Il peut s'agir de ruptures de charge inutiles comme c'est souvent le cas lorsque le lieu de destination est une usine avec des départements de production dispersés dans le périmètre d'une ville par exemple, mais avec un service d'expéditions et réception de marchandises centralisé. Par exemple, la Régie Renault fait transporter des marchandises de Strasbourg à l'usine de Flins. Cette société possède également des usines à Billancourt et il se faisait que la réception des matières premières, ici l'ouate et les feutres, était faite à Billancourt.

Coût de transport pour quatre wagons par semaine en 1958

Déchargement à Billancourt (pour un wagon)

Desserte Sèvre-Meudon	100
Main-d'oeuvre	8500
Matériel	9300
	-----
Total	17900

Soit pour quatre wagons un total de 71600.

Transport Billancourt-Flins (par jour) :

Manutention au départ et à l'arrivée	1800
Transport par semi-remorque	4650
	-----
Total	6450

Soit pour une semaine un total de 48375

Prix du transport par fer Strasbourg-Billancourt pour pour quatre wagons :

$$29827 \times 4 = 119\ 827$$

Ainsi le total par semaine est de  $71600+48375+119308 = 239283$

Une étude montra que le transport direct de Strasbourg à Flins, évitant donc la rupture de charge de Billancourt ferait réaliser des économies substantielles : en voici le détail :

Manutentions des Rubbercrins à Flins (4 wagons)	23952
Transport des ouates et feutres, billancourt-Flins (4 wagons)	
Manutention 4500	
Transport par semi-remorque 11625	
Soit au total	16125
Prix du transport par fer Strasbourg-Flins pour 4 wagons	132316
	-----
	172393

La différence de 66890 F entre 239283 et 172393 représentait environ douze anciens F par voiture produite.

b) action sur les coûts de manutention

Le but essentiel consiste à accroître la rapidité de la manutention.

On a le choix entre :

- Soit conditionner la marchandise.
- Soit moderniser le matériel de manutention
- Soit modifier l'aspect de la charge, une charge étant un ensemble de marchandises voyageant ensembles.

### 1) Conditionnement

Certaines marchandises fragiles ou dangereuses nécessitent des précautions spéciales pour leur manutention ce qui peut en accroître considérablement le coût. En transformant le caractère des marchandises on peut employer des techniques de manutention plus rentables.

### 2) modernisation des aménagements spéciaux

La place des instruments de manutention continue est de plus en plus importante : tapis roulants, pompes aspirantes et refoulantes pour liquides et solides (ciments, grains). L'importance du volume manipulé va jouer sur le coût de manutention moyen unitaire. On aura à considérer les économies d'échelles qui sont alors très simples à calculer du fait de la continuité des conditions considérés.

### 3) Modification de la charge par l'emballage

Il donne à un lot de plusieurs marchandises l'aspect d'une unité. Ces unités sont plus ou moins importantes selon les besoins, caisses de dix bouteilles ou de vingt bouteilles par exemple. La conception des emballages est reliée aux contraintes des installations de manutention. Ainsi un wagon contenant des caisses doit être déchargé à la main parce qu'il n'existe aucun matériel au lieu de déchargement. Il faudra éviter de dépasser un certain poids par caisse pour ne pas rendre le déchargement trop laborieux sinon impossible. L'inconvénient de l'emballage, c'est qu'il est le plus souvent irrécupérable après son utilisation, soit parce qu'il reviendrait trop cher de le rapatrier au lieu d'expédition pour une éventuelle réutilisation, soit parce que ses dimensions étaient propres à un type de marchandise et ne correspondent pas à un autre type de marchandise. Pour éviter ces inconvénients on a imaginé d'autres méthodes telles que la palettisation, le gerbage et le container, ou encore le « roll-on roll-off ».

- **La palettisation** : la palette est un support en bois aux dimensions normalisées. Le lot de marchandise est posé dessus. On peut facilement déplacer la palette horizontalement à la main, au moyen d'un tirepal, et verticalement au moyen d'un tracteur spécial de type Fenwick. La palette peut recevoir n'importe quelle marchandise, elle peut être réutilisée.
- **Le gerbage** : Lorsqu'une marchandise ne doit subir pratiquement que des manutentions verticales on préfère employer le gerbage. Il s'agit de constituer un lot important en liant un certain nombre de morceaux de marchandise au moyen de bandes d'acier ou de cordes. Cela permet de mieux utiliser la capacité de charge des engins de levage et surtout de gagner du temps sur la manutention d'une même quantité de marchandises. Par exemple : soit une tonne de marchandises à charger : le chargement d'un morceau demande une minute et chaque morceau pèse 10 kgs. Il faudrait donc cent minutes pour effectuer le chargement à raison d'un morceau à la fois. Si on pratique le gerbage, on peut constituer des lots unitaires de 100 kgs, la manutention ne durera donc plus que 10 minutes. On aura donc fait une économie sur les coûts en main d'oeuvre et en matériel de levage. La capacité d'un matériel de levage s'exprime dans les mêmes termes que celle d'un moyen de transport, soit le temps

multiplié par le nombre d'objets pouvant être manipulés dans une unité de temps.

- **Le container** : il se présente sous la forme d'une cage en acier avec des portes. On y installe les marchandises, et une nouvelle unité de charge, très importante (20 t à 40t) est ainsi constituée. Ses avantages découlent des mêmes raisons que celles que nous avons évoquées à la fin du paragraphe précédent, c'est à dire que l'on manie 20 t dans le même temps qu'un petit paquet. Cependant, son emploi rencontre toutes sortes de contraintes.
  - i. D'abord, il faut le remplir. Pour éviter cet inconvénient, on pratique le groupage, c'est à dire la réunion de lots n'appartenant pas au même propriétaire. La rentabilité du container décroît mais reste avantageuse.
  - ii. Les containers nécessitent le plus souvent des engins de levage particuliers comme des ponts roulants, que seuls un nombre limité de ports ou de gares possèdent.
  - iii. Le retour à vide qui revient au même que pour les supports classiques (wagon, remorques de camion, etc...)
- **Roll-on roll-off** : c'est un moyen qui supprime toute manutention intermédiaire. On embarque un camion ou une remorque sur un bateau ou un train (piggy back au USA et rail-route en France). On économise surtout les frais d'immobilisation des supports de transport comme les wagons ou cargos mais il reste quand même à supporter les frais d'immobilisation des remorques. Une expérience de ce genre a été tentée entre la côte Est des E.U. et St Nazaire avec le bateau Carib Queen. Les résultats sont présentés à la figure suivante :

Catégories de coûts	Cargo conventionnel	Carib Queen (roll-on roll-off)
Voyage aller et retour: une escale	39 jours	18 jours
Nombre de voyages : E.U.- Europe et nombre de retour possibles par an	9	19,5
Temps de chargement	3 jours	4 heures
Coût par tonne transportée	21,6	8,4

- **Les containers péniches** : ils représentent la dernière nouveauté pour supprimer les manutentions et adapter le roll-on/roll-off aux transports sur l'eau (maritimes et fluviaux), qui ont un coût de roulage particulièrement bas. Le système est pratiqué actuellement pour relier l'Est américain au nord de l'Europe, deux régions bien dotées en canaux. Le principe consiste à rassembler des containers flottants provenant de points dispersés dans l'espace dans un navire mère qui ressemble à une gigantesque écluse flottante. Les containers péniches se séparent ensuite au port de destination et se séparent ensuite pour se diriger vers leurs destinations finales.

Conclusion : L'étude de l'action sur les caractères de la marchandise nous a amenés à souligner l'interdépendance entre le coût de manutention et le coût de roulage. On accroît la vitesse de circulation des moyens de transport en limitant leur immobilisation lors des opérations de manutention.

#### **4) Coût de détérioration**

##### **A) Actions sur les coûts de détérioration**

Comme nous l'avons déjà vu, ces coûts dépendent de la spécificité et de la valeur des marchandises. Il s'agit de savoir, lorsque l'on a le choix entre plusieurs méthodes d'emballage ou de conditionnement, laquelle choisir. Il faut que les variations en plus des frais d'emballage soient inférieures aux diminutions de pertes de marchandises que le nouvel emballage entraîne.

Il serait logique de penser que l'on pourrait réduire les coûts de détérioration en réduisant la valeur des marchandises. Cela est possible lorsque l'espérance mathématique de perte sur une marchandise est supérieure à la somme des espérances mathématiques de perte des différents éléments de cette marchandise lorsque ces éléments sont séparés durant le transport. On peut ainsi démonter des machines qui ont des mécanismes fragiles. Une roue dentée d'engrenage ne risque rien isolément mais peut être endommagée par une autre lorsqu'elle est intégrée à la machine. Il faut tenir compte alors du coût de démontage et de remontage de la machine.

##### **B) Interdépendance du coût de détérioration et des coûts de manutention et de roulage**

Lorsque l'on agit sur la spécificité de la marchandise en vue de la réduction du coût de détérioration, on agit également entre autres sur le coût de manutention et le coût de roulage comme nous allons le voir dans l'exemple suivant :

Le transport des oeufs : il existe une méthode qui consiste à emballer les oeufs dans des alvéoles en papier maché. Cela protège les oeufs dans une certaine mesure contre les chocs du transport et des manutentions. Cependant les pertes existent toujours, les coûts de manutention sont très élevés à cause des multiples précautions qu'il faut prendre pour manipuler les oeufs. De plus, la distance sur laquelle les oeufs pouvaient être transportés était limitée par leur durée de conservation.

Une nouvelle méthode consiste à surgeler les oeufs. Les pertes sont quasiment nulles. D'autre part leur transportabilité est presque illimitée du point de vue de la distance. Les coûts de manutention sont réduits dans des proportions impressionnantes par l'utilisation de pompes à oeufs qui suppriment tout frais de main-d'oeuvre. On bénéficie d'économies d'échelles qui néanmoins posent le problème du seuil de rentabilité.

Les durées des manutentions sont par la même occasion réduites, ce qui a pour effet d'accroître la vitesse de circulation des moyens de transports et par là, de réduire les coûts de roulage.

D'autre part il y a des économies externes. Les oeufs ne sont pas les seuls produits surgelés. Leur surgélation est obtenue souvent en utilisant des installations déjà existantes pour d'autres produits. Cette opération a pour effet d'accroître la rentabilité des installations de surgélation existantes ainsi que les moyens de transport spéciaux tels que wagons frigorifiques par exemple.

### **5) Coût d'inventaire**

Les frais d'installation de stockage dépendent de la spécificité des marchandises. Il faut donc surveiller les variations du coût d'inventaire lorsque l'on modifie la spécificité de la marchandise dans le but d'agir sur les autres éléments du coût de transport.

Les coûts du stock transporté varient avec la durée du transport. Comme nous nous plaçons dans le cadre d'un moyen de transport donné, nous ne pouvons pas agir pour l'instant sur la durée de roulage mais sur celle des manutentions.

### **6) Coûts de défaillance**

Ils sont proportionnels à la durée du transport. Comme précédemment, on peut envisager une action sur la durée des manutentions en modifiant la spécificité et le volume du trafic des marchandises.

-----

Nous avons fait l'hypothèse qu'un moyen de transport nous était donné et nous avons étudié comme le coût de transport pouvait être réduit à travers des modifications des caractères de la marchandise.

Voyons maintenant, pour une marchandise donnée, comment le choix du moyen de transport peut influencer sur le coût de transport.

## **Section 2 : Action sur le Coût de transport par le choix du moyen de transport**

Il faudra tout d'abord considérer les variations de chaque élément du coût de transport, puis nous chercherons des critères de choix de transport qui permettront d'obtenir un coût de transport minimum.

### **A) Moyens de transport et éléments du coût de transport**

#### **1) Coût de roulage**

Si l'on se réfère au tarif de la tonne kilométrique on aura le classement suivant par ordre croissant : Les transports par eau (maritimes puis fluviaux), par fer, par route et par air. En ordre de grandeur il peut varier de un à cent pour la même marchandise et sur le même parcours.

#### **2) Coût de manutention**

Le transport par fer et par eau requièrent souvent des installations de manutention spéciales en raison principalement des dimensions importantes que prennent les supports. Par exemple, un navire de 100000 tonnes nécessite un port capable de la recevoir (profondeur) puis des grues importantes ou des ponts roulants pour containers. Le transport aérien ne nécessite pratiquement aucune manutention du fait de la facilité d'accès aux avions.

Les différents moyens de transport ne bénéficient pas tous de la même dotation en installations pour recevoir les marchandises, suivant les points de l'espace déservis. On est également lié au fait que l'existence d'un moyen de transport défini sur la liaison que l'on désire assurer. On sera alors obligé d'emprunter plusieurs moyens de transport différents pour atteindre la destination. Ceci implique des manutentions intermédiaires telles que des transbordements. Le transport routier a le grand avantage dit de capillarité. Ainsi, si son coût de roulage est supérieur à ceux d'autres moyens de transport, son coût de manutention sera très faible en raison, entre autres, de l'absence des ruptures de charge. C'est le moyen de transport qui réalise le plus fréquemment le porte à porte.

Exemple : Importance relative des coûts de roulage et de manutention selon le moyen de transport (Cité dans M. Arnault, les choix des moyens de transport et leur prix de revient)

Désignation : Ciment en sacs

Lieu de départ : Cargenville

Destinataire : Régie Nationales des Usines Renault, Billancourt – Bâtiment 1 J Bas

Les coûts sont basés sur la capacité des divers moyens de transport. Ainsi, pour cette étude, les camions ont une capacité de 10 tonnes, les wagons de chemin de fer une capacité de 20 tonnes et les péniches une capacité de 300 tonnes.

	Moyen de transport		
	Route 10 t	fer 20 t	eau 300 t
tarif à la tonne transportée.....	350	706	342
Manutention au déchargement			
a) par camion, 4 hommes, 1H20 à 540F = 2880/10	288		
b) par le fer, 4 hommes pendant 3H15 chacun, soit 13 heures à 540 F/Heure = 7020 F.			
1 tracteur 5 t pendant 3h15 'a 1430 F = 4648 F			
1 remorque pendant 3H15 'a 120 F = 390 F			
soit au total 12058 F et à la tonne : 12058/20		603	

c) par eau, 8 hommes pendant 31 Heures = 348 heures  
à 540 FéH = 133920 F

Grue, 31 Heures à 1300 F = 40800 F

1 remorque et 2 tracteurs 5 T pendant 62 Heures  
à 1150 FéH = 96100 F

soit un total de 270320 qui réduit à la tonne

270320/300			901
coût total à la tonne	1138	1309	1243
durée du transport en jours	0,5	1	2

### 3) Coût de détérioration

Chaque moyen de transport offre des risques de perte et de vol différents. Il peut occasionner plus ou moins de chocs soit au cours du voyage, soit au cours des manutentions. On ne peut pas déterminer universellement quel moyen de transport occasionne le point de pertes car tout dépend des conditions dans lesquelles le moyen de transport peut opérer. Exemple : pour les transports maritimes, le risque de tempête.

Si l'on se réfère au montant des primes d'assurance que l'on doit intégrer dans les coûts de détérioration, nous constatons que ce sont les moyens de transport qui bénéficient des primes d'assurance les plus basses.

Pour les marchandises périssables qui sont sujettes à la durée du transport, les moyens de transport les plus rapides doivent être employés.

Avec certains moyens de transport, l'emballage n'est pas nécessaire : Voyons l'exemple de la Régie Renault.

Renault a pu réduire considérablement le coût de transport de certaines machines achetées en Angleterre, en comparant simplement le prix de revient du transport par deux modes de transport par deux itinéraires différents.

Voici les chiffres de l'étude faite en 1958. le premier procédé emploie le fer, d'Aldrige à Londres, le transport maritime de Londres à Calais et de nouveau le fer de Calais à Billancourt.

Emballage maritime et transport Aldrige – Londres	197736 F
Frêt de Londres à Billancourt	192453 F
Droits de douanes sur emballage et fret	
310200 à 6% = 18612	
18612 à 3% = 558	19170 F
	-----
total	409359 F

Le second procédé emploie le camion de bout en bout avec transbordement par ferry jusqu'à Anvers en Belgique.

Transport sur camion d'Aldrige à Billancour	156000 F
Carnet T.I.R. 1350 F	
Taxe 125 F	1475 F
Droiat de douane sur le frêt 6% sur 100000 = 6000 F	
3 % sur 6000 F = 180	6130 F
	-----
Total	163655 F

Soit une économie de  $409359 - 163655 = 246000$  F par machine, due, d'une part à l'absence d'emballage dans le cas de la route et d'autre part au coût brut moins élevé du transport. De plus, le transport dure 10 jours par le fer/bateau et seulement 5 jours par la route/ferry. L'économie globale faite sur une vingtaine de machines a été très appréciable.

#### 4) Coût d'inventaire

La plupart du temps, la consommation d'une marchandise est continue, alors que le transport est discontinu. Nous avons vu que la discontinuité de l'approvisionnement due au transport occasionne un coût. Ce coût est composé des intérêts sur les stocks et des frais d'installations de stockage. Les intérêts sur les stocks dépendent d'une part, en ce qui concerne les intérêts sur la valeur de la marchandise immobilisée pendant le transport, de la durée du transport, et d'autre part en ce qui concerne les intérêts sur le stock d'approvisionnement, de la fréquence de l'approvisionnement en fonction de laquelle est calculée l'importance du stock nécessaire à la consommation entre deux arrivages.

Nos frais financiers sur le stock transporté diminuent lorsque la vitesse des transports augmente. Les frais financiers sur le stock d'approvisionnement et les frais d'installations diminuent lorsque la fréquence des livraisons augmente. Le choix du moyen de transport se fera d'une part selon sa vitesse et d'autre part selon la fréquence des liaisons qu'il peut assurer entre deux points.

Par exemple il y a plusieurs vols quotidiens de jet cargo entre Paris et New York alors qu'il n'y a que quelques liaisons maritimes entre Le Havre et New York par mois.

#### 5) Coût de défaillance

Il dépend uniquement de la durée du voyage. Il diminue lorsque la vitesse du moyen de transport augmente. On choisira les moyens de transport les plus rapides, la durée des manutentions comprise. Par exemple, les ordinateurs IBM ne sont livrés aux clients que par air pour les longues distances et par la route pour les courtes.

Lorsque la société IBM a déménagé une partie de ses usines (matériel et personnel) de Paris à Montpellier, les moyens de transport les plus rapides furent

employés. Le démontage de l'usine avait été commencé le vendredi soir à Paris, le remontage était terminé le lundi matin. Les mêmes employés se sont remis au travail à Montpellier comme si rien ne s'était passé. On avait calculé en effet qu'un arrêt de travail de l'usine revenait plus cher que le déménagement express durant le week-end.

### **B) Critères du choix du moyen de transport**

D'un moyen de transport à l'autre, les éléments du coût de transport varient souvent en sens inverse. Nous ne retiendrons évidemment que le moyen de transport qui fournira le coût de transport global minimum. D'après la définition classique du coût de transport dans laquelle seul le coût de roulage est considéré, nous serions amenés la plupart du temps à choisir le moyen de transport dont le coût de roulage est le plus faible. Les responsables des services de transport dans les entreprises arrivaient quand même empiriquement à choisir un moyen de transport qui ne réponde pas uniquement au seul critère du coût de roulage minimum. Il semble que la durée du transport était prise en compte lorsqu'il y avait un transport urgent à effectuer, ce qui revenait, si l'on se place dans le cadre de notre définition du coût de transport, à considérer le coût de défaillance. La durée et le coût de manutention selon le moyen de transport ne semble jamais avoir été pris en considération, pour le choix du moyen de transport bien que des recherches pour réduire ce coût aient été faites séparément pour chaque moyen de transport.

Le choix du moyen de transport va se faire en tenant compte de deux éléments :

- On considérera les caractéristiques de la marchandise.
- La distance sur laquelle le transport doit être effectué.

Il faut attirer l'attention sur le fait que nous appelons choix du moyen de transport, le choix entre les moyens de transport existant sur la liaison à assurer. (où les combinaisons de moyens de transports différents.

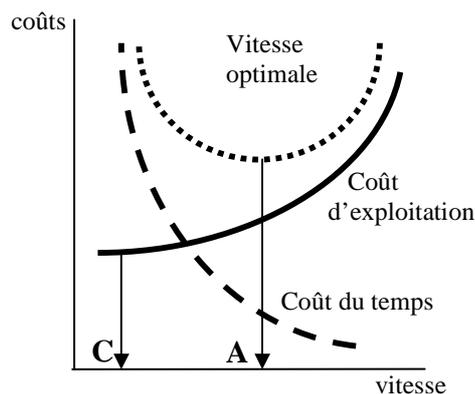
#### **1) Choix du moyen de transport et caractéristiques de la marchandise**

Parmi les facteurs du coût de transport qui découlent des caractéristiques de la marchandise, nous pouvons distinguer deux groupes :

- Les facteurs physiques
  - Poids
  - Spécificité
- Les facteurs économiques
  - Valeur
  - Productivité

Le premier groupe de facteurs va déterminer les coûts d'exploitation du moyen de transport, alors que le deuxième groupe va déterminer ce que l'on pourrait appeler les coûts du temps. Suivant l'importance relative de ces deux groupes de facteurs, le coût de transport global sera plus sensible à l'un ou à l'autre des deux groupes de facteurs.

Pour le choix du moyen de transport il faut avant tout déterminer si la vitesse est un facteur intéressant. La vitesse a deux effets antagonistes sur le coût de transport global : les coûts d'exploitation croissent avec la vitesse alors que les coûts du temps décroissent. Il convient de trouver un point d'équilibre. Graphiquement, ce point d'équilibre est représenté par le minimum de la courbe de coût total obtenue par la somme de la courbe des coûts d'exploitation avec la courbe des coûts du temps.



**Figure 2: Équilibre entre les coûts du temps et les coûts d'exploitation dans le transport**

Exemple comparé du coût total de distribution selon un acheminement par air ou par surface. (Tiré de Vickham ou revue des transports [4] )

### Étude de l'aéroport de Paris

Le cas concret concerne une entreprise productrice d'articles manufacturés, dont le chiffre d'affaire annuel est estimé à 3 000 000 (unités monétaires), représentant un tonnage annuel de marchandise de 60 000 kgs pouvant être acheminées aussi bien par air que par surface. Les données de base de la distribution sont les suivantes :

Données	Surface	Air
Valeur moyenne au kilo	50	50
Poids net des marchandises	60 000	60 000
Valeur annuelle des expéditions	3 000 000	3 000 000
Poids de l'emballage (kg)	6000	3000
Poids total des expéditions	66000	63000
Prix du transport par kg	1	3
Durée du transport en jours	28	3
Assurance( en % de la valeur)	0,30	0,20
Intérêt du capital investi	10%	10%

Partant de ces données, les résultats de l'utilisation de l'avion sont les suivants :

- Réduction de 90% de l'inventaire moyen rendue possible en effectuant 5 expéditions aériennes pas mois de 1000 kg chacune au lieu d'une seule de 10 000 kgs tous les deux mois par voie de surface. Les marchandises ne sont stockées ainsi que 18 jours, contre 180 jours normalement, d'où l'accroissement de la vitesse de rotation du stock (de 2 à 20). L'inventaire moyen se trouve ainsi ramené de 30 000 kg à 300 kg et sa valeur moyenne de 1 500 000 à 150 000.
- La réduction du stock moyen ne requiert plus qu'un local de 100 m<sup>2</sup> au lieu de 1000 m<sup>2</sup> et l'emploi de deux personnes au lieu de 3. Les dépenses de chauffage et d'éclairage étant également diminuées de 60%.

Le coût total de la distribution s'établit ainsi après ventilation des frais d'inventaire, de magasinage et des frais de transport.

### Frais d'inventaire

Frais	Surface	Air
Valeur moyenne du stock	1500000	1500000
Intérêt du capital investi à un taux de 10%	150000	150000
Assurance (0,5% de la valeur)	7500	750
Impôts (1% de la valeur)	15000	1500
Domages (0,5% de la valeur)	7500	750
Dépréciation (2% de la valeur)	7500	750
Total	210000	21000

### Frais de magasinage

Frais	Surface	Air
Loyer annuel UM 50m <sup>2</sup>	50000	5000
Salaires	45000	30000
Eclairage, chauffage, etc...	10000	4000
Total	105000	39000

### Frais de transport

Frais	Surface	Air
Emballage et documents :		
• Fournitures	12000	8000
• Main-d'oeuvre	15000	5000
Transfert	10000	10000
Frais d'intervention	2000	3000
Frais de transbordement	3000	-
Assurance	9000	6000
Frais de déballage et de remontage	5000	23500
Intérêt du capital bloqué pendant le transport	23333	2500

Sous total	79333	37000
Prix du transport	66000	315000
Total	145333	352000

### Cout total de la distribution

Postes	Surface	Air
Inventaire	210000	21000
Magasinage	105000	39000
Transport	145333	352000
Total général	460333	412000

Comparée à la voie de surface, l'utilisation de la voie aérienne permet finalement une économie de 10% sur le coût global de distribution des marchandises considérées. En considérant l'ensemble des opérations de distribution et non le seul coût de transport, le transport aérien peut s'avérer plus rentable.

### Exemple : Comparaison des coûts de roulage et de la durée du transport selon le moyen de transport utilisé.

Tiré de l'économie des transports de Vickham [4]

#### Transport par chemin de fer

(par wagon de 15 tonnes)

Prix par tonne au départ de Lyon

Destination	Tissus	Machines et mécaniques	Produits chimiques liquides	Délais légaux d'acheminement
Turin 1)	21,81 F + 1287 lit	34,00 F + 1445lit	32,81 F + 1412 lit	4 jours
Zurich	23,27 F + 38,10 FS	24,00 F + 38,10 FS	23,27F+38,10FS	5 jours
Munich	47,72 F + 37,70 DM	50,17 F + 37,70 DM	47,72F+37,70DM	7 jours
Essen	46,02 F + 31,40 DM	48,38 F + 31,40 DM	46,02F+31,40DM	6 jours
Hambourg	47,72 F + 50,20 DM	50,17 F +50,20 DM	47,72F+50,20DM	8 jours
Rotterdam	59,66 FF + 256 FB + 9,70 FL	59,66 FF+ 256FB+9,70 FL	59,66F+256FB+9,70FL	7 jours
Bruxelles	59,66 FF + 170 FB	59,66F+170FB	59,66F	6 jours
Strasbourg	47,72	50,17F	47,72	5 jours

Ce tableau ne tient pas compte des augmentations de Juin 1967

- 1) il faut ajouter un prix de 2750 liras par wagon
- 2) il faut ajouter des délais pour formalités en douane et les dimanches et fêtes légales des pays traversés.

### **Transport fluvial de marchandises**

(par lots de 240 à 250 tonnes)

Destination	Tarif à la tonne au départ de Lyon	Délai d'acheminement
Bruxelles	240-260 FB (soit 23,60 à 25,60 FF)	20 jours
Rotterdam	20-25 FL (soit 27,12 à 33,90 FF)	20-25 jours
Essen (1)	290-310 FB (soit 28,60 à 30,50FF)	15 jours
Hambourg (2)	500 FB (soit 49,20 FF)	Indéterminé
Strasbourg	24 FF	12 jours

- (1) sur la base de 280 à 300 francs belges pour Duisbourg
- (2) liaison incertaine du fait du passage dans l'archipel Frisor

### **Transport par avion au départ de Lyon-Bron**

(tarifs généraux de fret)

Destination	Tarif pour moins de 45kg	Tarif pour plus de 45kg
Turin	1,38	1,04
Milan	1,38	1,04
Zurich	1,73	1,30
Munich	1,78	1,34
Essen	1,17	0,88
Francfort	1,27	0,95
Hambourg	2,14	1,61
Amsterdam	1,07	0,80
Bruxelles	0,85	0,64
Strasbourg	0,98	0,74

Source : Air France

Délais de route de 24 heures + délais de dédouanement (24 heures en général)

### **Prix de transport des marchandises au départ de Lyon**

Pour différents tonnages de trois types de produits :

- filés
- produits chimiques non dangereux
- machines et mécaniques

**Transport routier** (groupage jusqu'à 7 tonnes) en France

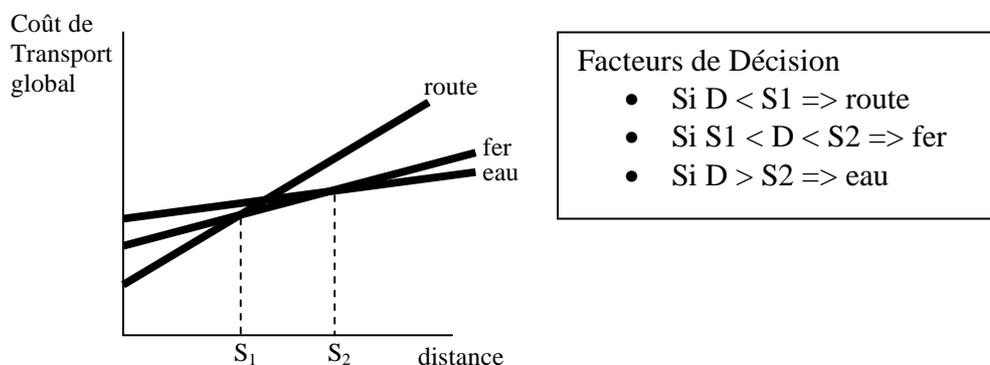
Tarifs aux 100 kg, au départ de Lyon

Destination	60 kg à 1 t	3 t à 7 t	20 t	Durée du voyage en nombre de jours
Turin	9,50	16,20	9,00	1
Milan	20,50	17,20	10,00	1
Rotterdam	27,00	24,00	14,00	2
Bruxelles	25,00	20,00	12,50	2
Strasbourg	19,50	16,20	9,00	1
Zurich	27,00	23,00	12,00	2
Essen	32,00	28,00	12,00	3
Munich	32,00	27,50	12,00	3
Hambourg	34,00	28,50	13,00	3
Francfort	24,50	19,00	11,00	2

### 3) Choix du moyen de transport en fonction de la distance

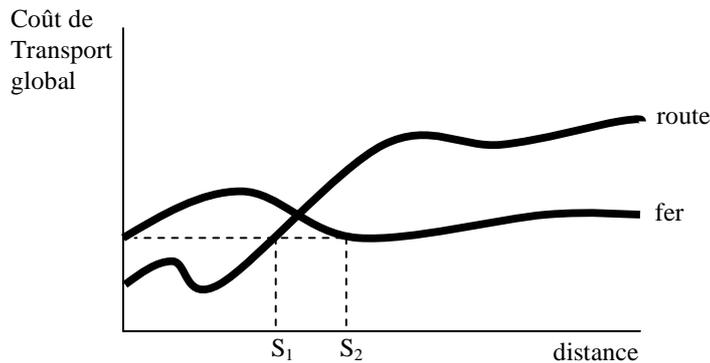
Le coût de transport global est composé d'éléments fixes et d'éléments variables proportionnels à la distance.

Il y a des courbes de coûts différentes en fonction de la distance, selon le moyen de transport utilisé. Il se pose alors les problèmes des seuils de rentabilité comme pour les économies d'échelle.



Il ne faut donc pas totalement négliger l'influence de la distance. Une conclusion importante découle de ce phénomène : le coût de transport global peut être le même pour une même marchandise circulant sur deux distances différentes. Nous verrons que cette conclusion peut avoir d'importante répercussion sur la théorie de la localisation.

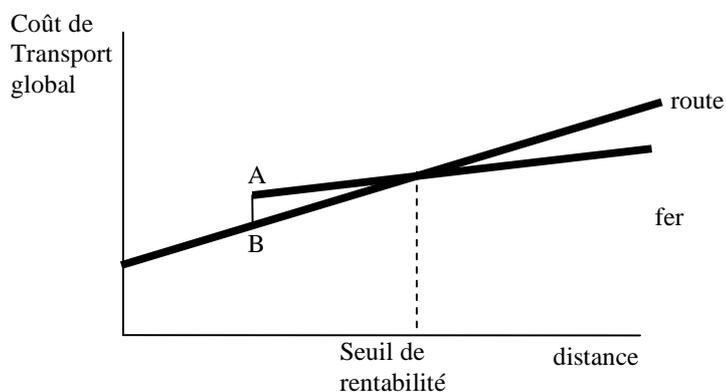
Le graphique précédant ne tient pas compte du fait que les courbes de coût ne sont en réalité jamais linéaires à cause des différences de variation des éléments du coût de transport la la distance. Dans le graphique suivant on peut voir que le coût de transport global peut être identique pour deux distances différentes.



#### 4) Problèmes de combinaison de moyens de transport

Lorsqu'on a le choix entre un moyen de transport direct mais à frais proportionnels à la distance élevés, et une combinaison entre deux ou plusieurs moyens de transport impliquant une rupture de charge mais dont les frais proportionnels à la distance sont faibles, il se pose également un problème du seuil de rentabilité déterminé par l'importance respective des frais fixes des deux moyens employés.

Par exemple, pour une marchandise peu sensible aux coûts du temps, les coûts de roulage et de manutention des moyens de transport sont comparés. Supposons que la première solution soit le transport par route de bout en bout. La deuxième solution est celle du camionnage de la marchandise jusqu'à la gare la plus proche, puis de son acheminement par chemin de fer jusqu'à la gare la plus proche du lieu de destination, puis de nouveau du camionnage jusqu'au lieu de destination.



**Figure 3: AB: Coût de la rupture de charge**

Dans cette section, nous avons fait l'hypothèse que la marchandise était donnée et qu'il était impossible de la modifier. Il nous faut maintenant étudier le cas général où l'on peut réduire le coût de transport global en modifiant les caractères de la marchandise et en choisissant un moyen de transport.

### **Section 3 : Réduction du coût de transport global par action sur les caractères de la marchandise et choix du moyen de transport**

Ce sont surtout les coûts de roulage et de manutention qui varient selon le moyen de transport lorsqu'on agit sur les caractères de la marchandise. Nous avons vu que l'action sur la valeur ou sur la productivité de la marchandise n'était pas très compliquée à étudier en raison principalement de la continuité des fonctions qui relient les éléments du coût de transport en fonction des facteurs physiques découlant des caractères de la marchandise.

#### **A) Caractères physiques de la marchandise et coût de roulage des différents moyens de transport**

- Les supports des différents moyens de transport ont des densités définies comme étant le rapport entre la capacité de tonnage et la capacité en volume différentes. Le problème de la modification de la densité des marchandises va donc se poser différemment avec chaque moyen de transport utilisé.
- Les indivisibilités du support sont également différentes : un camion de 5 x 2 x 2 m par exemple, une péniche de 20 x 5 x 2 m. Il faudra calculer des dimensions des unités de marchandises différemment selon le moyen de transport utilisé. Un problème particulier se pose lorsqu'une même marchandise doit emprunter plusieurs moyens de transport différents pour arriver à destination. Il faut alors trouver les dimensions optimales de la marchandise qui minimisent le coût des volumes morts résultant des dimensions de la marchandise dans les différents moyens de transport utilisés pour une course donnée. Par exemple si le volume mort revient plus cher par camion que par chemin de fer, on adaptera les dimensions de la marchandise aux dimensions du camion. Le critère de décision sera : Si le coût par m<sup>3</sup> de volume mort du support A est supérieur à celui du support B, il faut que le volume mort du support A soit inférieur à celui du support B.
- Nous avons vu que nous pouvons réduire le coût de roulage en réduisant le poids des marchandises, en choisissant des matières légères dans la fabrication de ces marchandises. Il se pose un problème intéressant d'interdépendance entre éléments du coût de transport global à ce propos. Supposons que pour un moyen de transport donné, la répartition entre les coûts dits d'exploitation et les coûts du temps soit  $C_{ex} = 60$  et  $C_t = 40$ , ce qui nous fait un coût de transport global égal à  $C_{ex} + C_t = 100$ . Supposons maintenant que nous puissions réduire le poids des marchandises de moitié. En faisant l'hypothèse de proportionnalité des coûts d'exploitation au poids, nous aurons le nouveau coût d'exploitation de ce premier moyen de transport qui sera égal à 70. Par un deuxième moyen de transport nous aurons une répartition des coûts d'exploitation et du temps avant modification du poids des marchandises  $C_{ex} = 100$  et  $C_t = 1$ , ce qui fait un coût de transport global égal à 100 supérieur à celui du premier moyen de transport. Après la réduction du poids des marchandises, la répartition des coûts du deuxième moyen devient alors en faisant les mêmes hypothèses que dans le premier cas :  $C_{ex} = 50$  et  $C_t = 10$  ce qui nous donne un coût de transport global de 60 inférieur à celui du premier moyen de transport.

Conclusion : L'action sur les caractères de la marchandise permet de choisir un nouveau moyen de transport et c'est ainsi que se fait une diminution à double niveau du coût de transport global.

## **2) Importance du problème du retour à vide des supports selon le moyen de transport**

Nous avons vu que les coûts du retour à vide du support sont supportés par le demandeur de transport du moins lorsque le transporteur ne pouvait pas trouver un frêt au lieu de destination. Les moyens de transport sont caractérisés par des degrés d'indivisibilité différents. Si on veut transporter 500 t de marchandises, il nous faudra une seule péniche d'une capacité de 500 t alors qu'il nous faudra 50 camions d'une capacité de 10 t chacun. Le problème qui se pose alors est que la péniche ne peut trouver du frêt correspondant à sa capacité qu'au lieu de destination ou sur le canal de retour. Les camions eux, ont beaucoup plus de chances de trouver des frêts de 10t car leur capillarité dans l'espace est beaucoup plus grande que celle de la péniche. Il découle de tout cela que les frais de retour à vide de la péniche risquent d'être beaucoup plus importants que ceux des camions, jusqu'à plus que compenser la différence entre les coûts de roulage de la péniche et des camions, compte non tenu des coûts du retour à vide.

Conclusion : Les coûts du retour à vide sont des facteurs du choix des moyens de transport.

## **3) Importance du lot de marchandises et choix du moyen de transport**

Nous avons vu que lorsque le lot de marchandises est inférieur à la capacité de tonnage du support, le coût de roulage à la tonne est plus élevé que dans le cas où le lot de marchandise est égal à la capacité de tonnage du support. En effet, dans le premier cas il faut subir les manques à gagner du transporteur du fait de la diminution de la vitesse de circulation du support qu'entraîne l'attente d'une cargaison complémentaire. Les différents moyens de transport ont des capacités différentes, ainsi selon l'importance du lot de marchandises, les frais d'attente du transporteur seront différents d'un moyen de transport à l'autre. Si l'on dispose d'un lot de 10 tonnes par exemple, on pourra expédier sur un camion d'une capacité de 10 tonnes et n'avoir aucun frais d'attente à subir. Le marinier subit des frais d'attente importants pour trouver 490 tonnes de cargaison complémentaires pour remplir sa péniche. Pour choisir le moyen de transport optimal il suffira de comparer la différence de coût de roulage des deux moyens de transport et la différence des frais d'attente dans les deux cas.

## **C) Caractères physiques de la marchandise et coût de manutention des différents moyens de transport**

Nous avons déjà vu en partie que l'emploi de certaines méthodes de manutention qui impliquaient soit des installations importantes, soit des investissements dans des containers par exemple, était limité par des problèmes de seuil de rentabilité. L'importance du volume de l'expédition est un facteur important dans le choix des

méthodes de manutention dont le coût varie selon le moyen de transport considéré. Ainsi l'influence de la vitesse des manutentions sur les coûts de roulage des moyens de transport est beaucoup plus importante lorsqu'il s'agit de charger ou de décharger un navire de 6000 t que de charger ou décharger un camion. Dans le premier cas, l'emploi des containers réduira d'une part les coûts de manutention de dix fois par exemple et d'autre part le temps des manutentions de cinq fois, alors que dans le deuxième cas les coûts de manutention ne seront réduits que de cinq fois et le temps de manutention de deux fois. Il se pourrait même que dans un cas, l'emploi des containers réduise le coût de transport global et que dans l'autre il les augmente. Il ne faut pas oublier que les coûts de manutention sont des coûts fixes.

Dans le cas où plusieurs moyens de transport doivent être utilisés au cours du même voyage il se pose la question de savoir quel type d'emballage ou de conditionnement peuvent être employés. On choisira celui dont les gains en coût de manutention sur un support couvrent les pertes en coût de manutention sur l'autre support.

**Le coût des ruptures de charge** (tiré de : le marché des transports de Jean-Noël Chapulut, Jean Frebault et Jacques Pellegrin)

Francs par tonne de marchandises

Transbordement de wagon à camion d'un container de 30' de longueur chargé de 16 tonnes	1,00
Déchargements d'un minéralier de 100000 t dans un port	2,50
Transfert mécanisé de charbon d'un wagon sur un camion	4,00
Déchargement et éclatement d'un wagon de coli-détail à la main	14,00

### Conclusion du Titre I :

Il était nécessaire de bien définir le coût de transport global étant donné que l'acception courante ne retient en général que le coût de roulage. D'autre part il fallait examiner de plus près les actions possibles sur le coût de transport afin d'aider l'entrepreneur dans son calcul économique. Le coût de transport a donc une importance stratégique dans la gestion de l'entreprise. Cela fera l'objet de notre seconde partie. Dans un premier chapitre nous étudierons les répercussions du coût de transport global sur le problème fondamental de gestion qui est celui de la détermination de la localisation. Dans un second chapitre, nous parlerons des méthodes de calcul de la localisation les plus fréquemment utilisées : méthode des coûts comparés, calcul du point de transbordement.

Mais le coût de transport global en même temps qu'il influe sur la localisation de l'entreprise, en détermine également la taille, et ce sera l'objet du troisième chapitre.

## **Titre II – Coûts de transport et gestion de l'entreprise**

L'activité économique est localisée dans le temps et dans l'espace. Les différents points de l'espace ne sont pas tous dotés de manière identique de ressources et de facteurs, en vue de produire des biens et des services. L'agent économique doit donc choisir une localisation pour exercer son activité. Le coût de transport global tel que nous l'avons étudié doit être pris en considération dans le choix de cette localisation.

Avant d'étudier les relations entre coût de transport et localisation, il est nécessaire tout d'abord de définir le problème de la localisation, et donc de l'espace économique.

La localisation consiste à exploiter rationnellement les éléments d'un espace économique pour maximiser un objectif économique déterminé tel que l'amélioration d'un profit, la conquête d'un nouveau marché, l'amélioration des structures d'une firme à établissements multiples. Il est important de noter que nous considérons l'espace économique comme une donnée sur laquelle nous n'avons à priori aucune action.

Mais qu'entend-on exactement par espace économique. C'est la traduction en langage économique de l'espace géographique. Il est composé d'un ensemble d'éléments que l'on peut grouper en deux catégories : les données physiques (relief, géologie, hydrographie, climatologie) et les données humaines (l'homme, consommateur et producteur, la société).

Son existence provient des besoins de l'homme qui confèrent des valeurs aux différentes données de l'espace géographique, valeurs qui se reflètent dans l'échange économique qui est le résultat de la dispersion dans l'espace des éléments fondamentaux à la satisfaction des besoins. Le déplacement d'une quelconque des ressources nécessite un effort qui engendre le coût de transport. On cherchera à voir l'importance croissante du coût de transport tel que nous l'avons défini, dans le problème de la localisation. Notons que nous emploierons indifféremment les deux termes localisation et implantation. Ces problèmes ont une importance croissante de nos jours en raison de la prise de conscience des erreurs passées dans ce domaine.

Laissons parler Monsieur L'Huillier [1] pour résumer la situation : « Les études scientifiques d'implantation sont encore dans l'enfance. Des modèles mathématiques sont difficiles à élaborer car les critères de décision sont éminemment différents à élaborer car les critères de décision sont éminemment différents suivant les entreprises. La logique et le bon sens sont les armes des meilleures et les plus sûres en ce domaine.

Certains bureaux d'étude et conseil consacrent toute une partie de leur activité aux problèmes de localisation qui prennent de plus en plus d'actualité avec les perspectives de décentralisation d'une part et de création d'un large marché européen d'autre part. Tous les chercheurs sont effarés par l'imperfection des données sur lesquelles ils doivent travailler. Les études économiques au niveau régional ou local devraient être un instrument puissant de connaissance et d'appréciation du milieu or elles font presque entièrement défaut. Plus souvent encore on manque des éléments nécessaires pour

évaluer d'une façon prospective l'impact d'une nouvelle implantation sur le milieu dans lequel il s'insère. Enfin, les entreprises ne possèdent pas toujours les informations nécessaires sur leur propre exploitation.

Il est donc difficile de tester dans le détail les hypothèses générales sur lesquelles elles se fondent. Aussi peut-on dire que la décision de localisation est encore, à l'heure actuelle, une décision d'incertitude ».

## **Chapitre I : Importance du coût de transport dans le problème de la localisation**

Tels qu'ils ont été définis dans notre travail, les coûts de transport ont une importance stratégique dans la détermination de la localisation quelque soit la branche d'activité considérée. Deux points s'offrent à notre étude :

- Localisation et importance du coût de transport en valeur.
- Influence du coût de transport sur la conception de la localisation.

### **Section 1 : Localisation et importance du coût de transport en valeur**

Le coût de transport dans son acception courante, ne comprend que le coût de roulage. Il est certain que les autres éléments, coût de manutention, de détérioration, d'inventaire et de défaillance, sont connus par les entrepreneurs individuels. Mais il est facile de comprendre qu'ils prennent moins en considération une pluralité de coûts assez bas. Coût de roulage et coûts annexes ont des répercussions toutes différentes sur les décisions de l'entrepreneur lorsqu'ils sont intégrés au coût de transport global. D'une part les coûts annexes seuls tendent à être plus négligés parce qu'ils sont considérés comme des coûts dépendants : On n'imagine pas très aisément qu'ils puissent varier avec la localisation. Il s'agit là d'une attitude irrationnelle de l'entrepreneur qui a pour raison principale une mauvaise méthode de gestion. D'autre part, le coût de transport global représentant une valeur beaucoup plus importante que le simple coût de roulage, frappe plus les esprits et les met plus facilement sur la voie des problèmes de localisation.

Il faut noter cependant que dans certaines branches, le coût de transport global peut être sensiblement égal au coût de roulage et il est déjà considéré comme un facteur important du fait de la part importante qu'il représente dans le prix de revient.

Nous ne possédons pas de statistiques concernant le coût de transport global. Nous avons donc choisi deux tableaux dans le livre de M.L'Huillier [1], qui indiquent l'importance des coûts de roulage par rapport aux prix de différents produits. Certains sont très importants. Pour ceux qui ne semblent pas très élevés, il faut rappeler qu'il faudrait ajouter :

- Pour les produits agricoles, les coûts de détérioration, surtout parce qu'ils sont souvent très importants.
- Pour les produits manufacturés, surtout les coûts d'inventaire.

<b>Produit</b>	<b>% frais de transport</b>	<b>Produit</b>	<b>% frais de transport</b>
Tout trafic	5.46	Bûches	12.44
		Pommes fraîches	10.73
Gravier et sable	50.88	Tomates	10.28
Houille grasse	38.51	Maïs	7.23
Sel	33.82	Betteraves à sucre	6.28
Pastèques	32.62	Automobiles	6.23
Minerai de fer	25.33	Blé	6.22
Foin et luzerne	24.97	Farine de blé	5.28
Choux	24.51	Sucre	4.84
Briques ordinaires	24.31	Mobilier métallique	3.61
ciment	22.40	Margarine	3.53
Anthracite	20.20	Groseilles fraîches	2.79
Bananes	18.80	Fromage	1.99
Pêches fraîches	17.63	Beurre	1.44
Pomme de terre	17.39	Pneus	1.33
Bois de charpente	17.16	Laine	1.30
Oranges et pample.	16.74	Cuir	0.98
Pâte de bois	15.00	Tabacs et produits manufacturés	0.76
Ferraille et acier	12.61		

#### **Pourcentage du prix de transport par fer par rapport au prix de gros (1946)**

<b>Groupe de produit</b>	<b>Pourcentage du prix de transport par fer par rapport au prix de gros</b>
Produits agricoles	5.58
Bétails et viande	2.68
Produits miniers	23.13
Produits forestiers	12.80
Produits manufacturés et divers	3.88
<b>Pourcentage moyen</b>	<b>5.46</b>

Quand on étudie le prix de revient des produits, il est fréquent que l'on ne s'intéresse qu'aux éléments qui représentent un gros pourcentage du prix. Les profits représentent souvent moins de 10% du chiffre d'affaire : Ils se situent dans la zone des 2% plus pour une part importante de l'ensemble des entreprises. Il est alors clair que le gain de 1% supplémentaire sur le chiffre d'affaire dû à un effort d'imagination sur le coût de transport global en relation avec la localisation, est un résultat important.

Il ne suffit pas de remarquer le coût de transport global peut mieux être pris en considération dans le choix d'une localisation en raison de la valeur qu'il représente dans le prix de revient des produits. Il faut aussi noter que la conception de localisation elle-

même prend une toute autre signification sous l'influence de l'étude du coût de transport global.

## **Section 2 : Influence du coût de transport sur la conception de la localisation**

La valeur du coût de transport moyen par unité de marchandises expédiée dépend, ainsi que nous l'avons vu, d'un certain nombre de facteurs tels que le poids, la spécificité, la valeur, la productivité, l'importance du volume d'expédition, la distance et le moyen de transport. Il est donc très difficile de déterminer à priori le coût de transport moyen unitaire d'une marchandise. Une même marchandise peut avoir un coût de transport différent sur une même distance suivant les conditions de la liaison entre deux points déterminés comme un produit peut avoir le même coût de transport sur des distances inégales. La même remarque peut se faire pour la détermination de la localisation, et l'on se rend mieux compte maintenant qu'à chaque produit correspond son problème de localisation et aussi que la production et la commercialisation d'un même produit peuvent aboutir à des solutions de localisation très différentes. Il n'y a pas de problème de localisation standard comme il n'y a pas de coût de transport standard. On avait trouvé que la localisation de certaines activités était déterminées une fois pour toute. On parlait de localisation près des sources de facteurs de production ou près des marchés. La forme des fonctions des coûts de transport semblait déterminée par le produit, et on oubliait de considérer les diverses conditions du transport que nous avons étudiées. La règle voulait que la localisation des industries sidérurgiques se fit près des sources de matières premières.

On ne considérait que les coûts de transport sur les facteurs parce que leur localisation était connue alors que celle du marché ne l'était pas à priori. On ne tenait compte que du coût de transport sur les produits finis que l'on ajoutait simplement au prix du produit départ usine (selon l'expression consacrée). En effet, la transformation des matières premières s'accompagne souvent d'une perte de poids et le produit fini pèse moins que l'ensemble des matières qui entrent dans sa composition. On évitait donc de transporter les matières premières. Il faut noter pourtant que dans certains cas on tenait compte de la spécificité des marchandises. Nous avons vu que la spécificité posait des problèmes de densité. La densité d'une automobile est très faible comparée à la densité des matières premières qui la composent. (Le coût de roulage sera donc plus grand sur les matières premières que sur les produits finis). Les usines d'automobiles sont ainsi traditionnellement localisées près des marchés : région parisienne en France et Est américain.

Ce n'est que très récemment que l'on a commencé à plus systématiquement tenir compte de tous les éléments du coût de transport dans le calcul de la détermination des implantations. Nous constatons que l'aciérie installée au cours des dernières années à Dunkerque emploie des matières premières d'Outre-Mer, et non le charbon ou le minerai lorrains. Le bas prix de revient du transport maritime des matières nécessaires permet d'exploiter des mines beaucoup plus lointaines à meilleur prix. Les récentes expériences ont conduit principalement à des implantations près des marchés. L'implantation près des marchés est en train de devenir un principe universel. Mais c'est là une toute aussi grosse erreur. Effectivement, pour certaines branches d'activité, bien que les coûts de transport

sur les matières premières sont supérieurs dans un cas déterminé, dans d'autres cas ce peut très bien être l'inverse. Par exemple, les coûts de transport moyens unitaires sur les matières premières et sur les produits finis sont différents selon qu'il s'agit de l'implantation d'une usine d'une capacité de production de 100000 ou 10000 articles par an. Les économies d'échelles peuvent entraîner un renversement de la localisation, dans le premier cas près de facteurs, dans le deuxième près du marché. Cette évolution de la problématique en matière de localisation correspond d'ailleurs aux nouvelles conceptions de l'activité économique en général. Il n'y a pas encore trop longtemps, l'entrepreneur individuel décidait de produire quelque chose qu'il savait produire. Il cherchait à se rapprocher des endroits où les facteurs étaient les moins chers et ensuite il se préoccupait de vendre sa production.

Actuellement, les techniques de marketing consistent à élaborer un produit en fonction d'un marché. L'étude de marché permet de déterminer exactement le produit qui doit être fabriqué. Le produit est une donnée en fonction de laquelle la fabrication de celui-ci est organisée. L'étude de marché détermine également le prix auquel ce produit peut être vendu. En fonction de ces données, on recherche tout ce qui est nécessaire à la fabrication du produit, c'est à dire les matières premières, les facteurs de production, l'organisation de la distribution. À partir de là, on détermine les coûts de transports ou plutôt les fonctions qui régissent le coût de transport. Le résultat de ces études se concrétise par le choix de sites pour l'implantation de l'unité de production et des unités de distribution et par le choix des sources de matières premières.

Il faut noter que l'on entend surtout parler de coût de transport sur les matières premières ou sur les produits mais plus rarement de coût de transport sur les facteurs, c'est à dire le capital ou le travail. Ce coût de transport existe cependant; au lieu de dire que l'on ne peut pas s'implanter dans telle région parce qu'il n'y existe pas une main d'oeuvre suffisante ou d'une certaine qualification, on devrait rechercher si le coût de transport d'une telle main d'oeuvre est supérieur à celui des matières premières ou des produits finis. Le problème du transport des facteurs est souvent oublié par l'entrepreneur individuel. Les économies dites d'agglomération ne sont en fait que des économies sur le coût des transports de facteurs. Par exemple à Paris, on peut trouver de la main d'oeuvre provenant d'un rayon d'action d'une soixantaine de kilomètres autour de la ville. Les transports de voyageurs sont relativement bien organisés et permettent le déplacement de la main d'oeuvre dans des conditions aussi rentables que les transports en commun à l'intérieur de la ville. On conçoit moins bien le même déplacement de main d'oeuvre à Montpellier car le coût de transport par voyageur ne bénéficierait pas du phénomène d'économies d'échelles existant à Paris. Cette solution n'est cependant pas impossible : Il suffirait d'étudier le problème ce qui n'est évidemment pas toujours à la portée des P.M.E. Le problème de déplacement des facteurs contribue donc lui aussi à nous faire envisager le problème de la localisation sous un jour nouveau.

## **Chapitre II : Coût de transport et méthodes de calcul de la localisation**

Les méthodes traditionnelles de calcul de la localisation sont en grande partie une application de préceptes déduits de l'expérience, et sont souvent irrationnels. On détermine par exemple un certain nombre de zones susceptibles de fournir une localisation possible. On prend alors ces zones présélectionnées et on leur applique la méthode des coûts comparés. Nous analyserons cette méthode en montrant quelles sont ses limites puis nous en présenterons d'autres plus nouvelles.

## Section 1 : la méthode des coûts comparés

Énoncé du problème : soit d'une part des facteurs  $K$  de production localisés en des points définis  $i$  et à un certain coût  $C_{ik}$ , d'autre part les marchés  $z$  où l'on peut vendre nos produits  $f$  au prix  $P_{zf}$ , soit les coûts de transport sur les facteurs  $T_{kij}$  entre les points  $i$  et  $j$ ;  $i \neq j$ , et les coûts sur les produits finis  $T_{fij}$ .

Si  $i = j \rightarrow T_{fij} = 0$  et  $T_{kij} = 0$  où  $i, j, z = 1 \dots n$  sont les lieux considérés.

Si un facteur ou un produit n'est pas transportable entre les points  $i$  et  $j$ , on aura  $T_{fij}$  ou  $T_{kij}$  égal à l'infini.

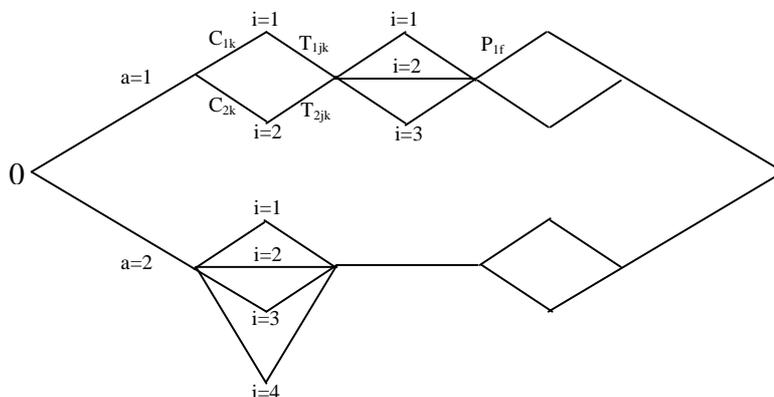
La localisation se fera au point  $a$  pour :  
( $a = 1 \dots n$  sont les différents lieux de localisation possibles)

$$\text{Max} \{ \max S_f (P_{zf} - T'_{fza}) - \min S_k (C_{ik} + T_{kia}) \}$$

Lorsqu'un facteur n'est pas disponible en un point, on lui affectera un coût infini, de même, lorsqu'un point n'a pas de débouchés de produits finis, on lui affectera un prix  $P = 0$ .

On remarque que si  $f, i$  et  $k$  deviennent importants, le nombre de solutions possibles à étudier devient considérable. Le principe consiste à voir ce qui se passe si on choisit la localisation au point  $a$ , c'est à dire qu'il faut choisir les sources de facteurs en fonction de leurs prix et du coût de transport de  $i$  à  $a$ .

L'étude de ce problème est facilitée par celle du graphe qui lui correspond :



Si  $C_{ik} = T_{ijk} = 0$   
 Si  $P_{if} = 0$   $T_{ijf} = 0$  on recherche le flux maximum

Il faut maximiser les  $-(C_{ik} + T_{iak})$  et les  $+(P_{zf} - T_{fza})$

Remarque : Celà revient à comparer les prix C.I.F des facteurs et des produits aux lieux de localisation possibles.

### Exemple numérique :

Soit deux points de l'espace notés  $i=1,2$ , dotés de ressources en facteurs et de marchés. On a deux facteurs notés  $k=1,2$ , qui entrent dans la fabrication de deux produits  $f=1,2$ .

Les coûts des facteurs  $C_{ik}$  sont les suivants :

$$\begin{array}{ll} C_{11} = 10 & C_{21} = 12 \\ C_{12} = 5 & C_{22} = 3 \end{array}$$

Les prix des produits finis  $P_{if}$  sont les suivants :

$$\begin{array}{ll} P_{11} = 20 & P_{21} = 0 \\ P_{12} = 25 & P_{22} = 20 \end{array}$$

Les coûts de transport  $T_{iaf}$  sur les facteurs sont les suivants :

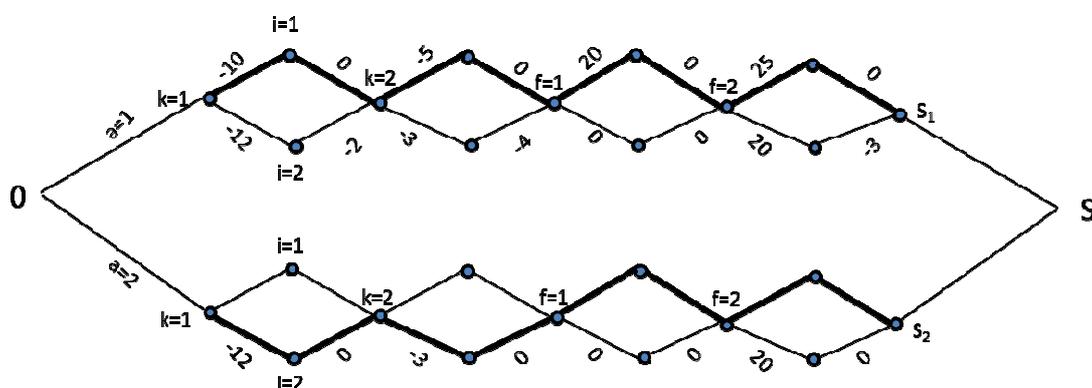
$$\begin{array}{ll} T_{111} = 0 & T_{221} = 0 \\ T_{112} = 0 & T_{222} = 0 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} T_{121} = 4 & T_{211} = 4 \\ T_{122} = 3 & T_{212} = 3 \end{array}$$

Les coûts de transport  $T_{iaf}$  sur les produits finis sont les suivants :

$$\begin{array}{ll} T'_{111} = 0 & T'_{221} = 0 \\ T'_{112} = 0 & T'_{222} = 0 \\ T'_{121} = 2 & T'_{211} = 2 \\ T'_{122} = 3 & T'_{212} = 3 \end{array}$$

On cherche le point  $a$  offrant le profit maximum :



La localisation optimale se situe pour  $a = 1$

Où l'on cherchera les facteurs:

$$\begin{array}{l} k = 1 \text{ en } i = 1 \\ k = 2 \text{ en } i = 1 \end{array}$$

et l'on vendra les produits :

$$\begin{array}{l} f = 1 \text{ en } i = 1 \\ f = 2 \text{ en } i = 1 \end{array}$$

### Remarque :

On a considéré les  $T_{ijk} = t_{jik}$  ce qui paraîtrait logique; cependant il ne faut pas oublier que la réalité pourrait entraîner le contraire parce que, par exemple, en ce qui concerne les coûts de roulage on peut bénéficier de réduction de tarif sur un sens, car le gros du trafic est unidirectionnel. Les coûts de manutention peuvent varier également si les installations terminales de manutention sont différentes et à coûts différents : Les coûts de chargement sont différents des coûts de déchargement.

### Critique de la méthode :

Cette méthode a le défaut de ne pas explorer parfaitement les fonctions de coût : Elle permet de calculer les coûts pour un point très précis mais non pas d'évaluer les

diverses variations des coûts qu'entraîneraient un déplacement de la localisation à partir de ce point précis. Par exemple, si on a le choix entre une implantation à Paris et à Marseille, il ne faut pas comparer uniquement les coûts de production qu'entraîne la localisation à Paris ou à Marseille mais également la variation de ces coûts si on s'implante à Montélimar. Les matières premières sont par exemple importées à Marseille, le produit fini doit être livré à Paris. Il faut étudier les variations de la fonction de coût lorsqu'on se déplace de Marseille à Paris. Les salaires par exemple vont varier d'un point à l'autre, parallèlement le coût des terrains variera, les coûts de transport également vont varier. Par exemple, jusqu'à Lyon on pourra faire transporter les matières premières à un coût intéressant par voie fluviale. Cependant, pour ne pas perdre l'avantage sur les coûts de roulage des transports fluviaux il faut trouver un port équipé pour la manutention des matières premières. Dans les endroits où ces ports existent nous constatons que les terrains et la main d'oeuvre étaient chers. On peut envisager de ramasser de la main d'oeuvre moins chère à 40 km autour des points dotés d'installations portuaires. Une implantation entre Paris et Marseilles est-elle plus rentable ?

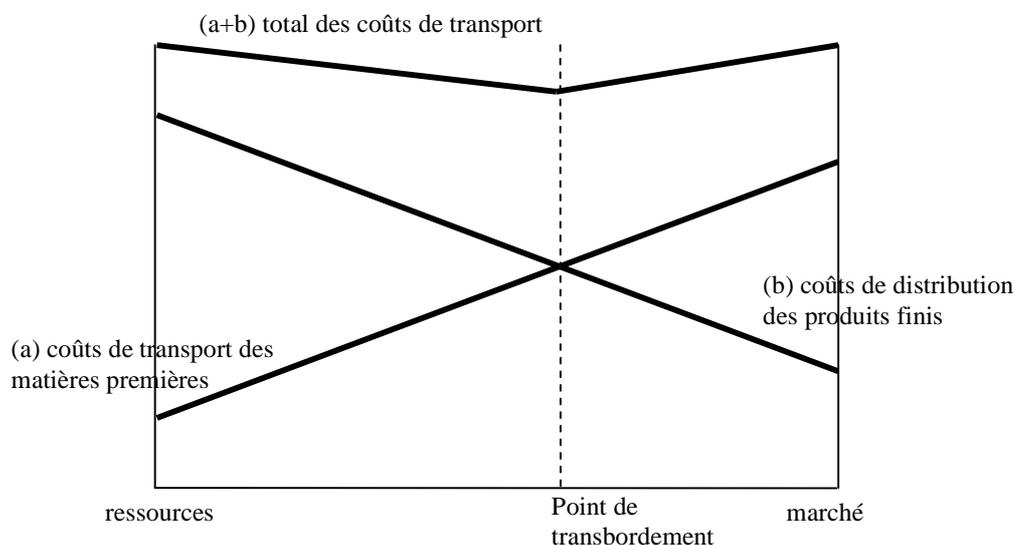
Peut-on déterminer cela rapidement et sans être obligé de calculer le coût pour chaque point de la ligne Paris-Marseille. La comparaison de tous les points serait un travail fastidieux. Il convient de déterminer des critères de choix qui permettent une exploration relativement rapide des possibilités d'implantation dans un espace donné.

Il s'agit de trouver une méthode qui permette de considérer les mécanismes économiques qui déterminent l'équilibre d'une firme compte tenu des données de l'espace dans lequel la firme doit évoluer.

## **Section 2 : Calcul du point de transbordement**

### **A) Cas simple**

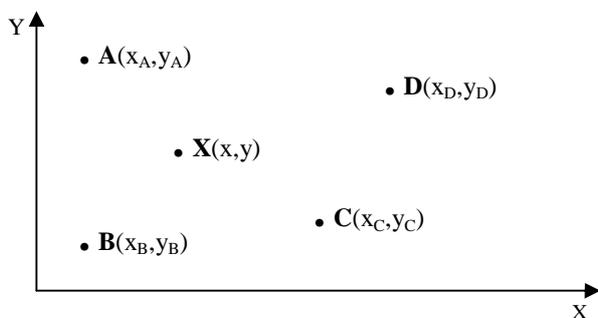
Il n'y a que deux points dans l'espace économique, celui où sont localisées les ressources et celui où est localisé le marché des produits finis. Il y a lieu de rechercher la localisation optimale de l'entreprise quelque part entre ces deux points. Ce problème a été étudié par Hoover [8], p.39. Il s'agit de se localiser au point où la somme des coûts de transport sur les matières premières et les produits finis, est minimale.



Variation des coûts de transport des matières premières (a), des produits (b) et du total de ces deux termes sur un itinéraire comportant, entre le fournisseur et le marché, une rupture de charge.

### B) Plusieurs points dotés de ressources et de marchés

Les facteurs et les marchés pour chacun des produits finis sont dispersés.



Il s'agit de trouver le point de transbordement pour lequel la somme des coûts de transport sur les facteurs et les produits finis est minimale. Dans le cas où les coûts de transport sont proportionnels aux distances, on peut résoudre le problème par la géométrie analytique. On considère un système d'axes de coordonnées. Soit les coordonnées des points A(x<sub>A</sub>, y<sub>A</sub>), B(x<sub>B</sub>, y<sub>B</sub>), C(x<sub>C</sub>, y<sub>C</sub>), D(x<sub>D</sub>, y<sub>D</sub>).

La distance entre deux points nous est donnée par le théorème de Pythagore.

soit  $XA^2 = (x-x_A)^2 + (y-y_A)^2$  le carré de la distance entre le point X de transbordement et le point A de localisation du facteur A.

On refait la même opération pour les autres points reliés au point  $X$ . Soit la somme des carrés des distances de  $X$  aux différents points  $A, B, C, D$ . Pour que cette somme soit minimale, il faut que les dérivées partielles soient nulles.

$$\frac{\delta(XI)^2}{\delta x} = 0 \qquad \frac{\delta(XI)^2}{\delta y} = 0$$

On en tire les coordonnées du point  $X$  de transbordement soit  $x$  et  $y$ . Le point  $X$  est dans ce cas le point où la somme des distances aux différents points  $A, B, C, D$  est minimale. Cependant lorsque les coûts de transport sur les différents facteurs sont eux-même différents, il faut pondérer les distances  $XI$  par le coût de transport par unité de distance en vigueur sur le parcours  $XI$ .

Comme nous raisonnons sur les carrés des distances, il va falloir élever les indices de pondération au carré également. On aura  $(XA)^2 \cdot t^2_{XA}$  au lieu de  $(XA)^2$ .

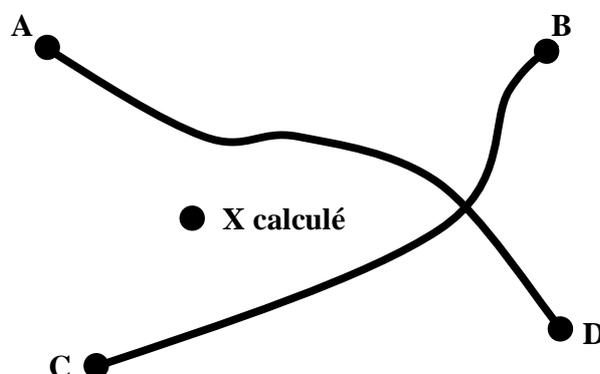
Soit la formule générale :

$$\frac{\delta(XI)^2 \cdot t^2_{XI}}{\delta x} = 0 \qquad \frac{\delta(XI)^2 \cdot t^2_{XI}}{\delta y} = 0$$

Et on obtiendra de même les coordonnées  $x$  et  $y$  du point de transbordement  $X$ . Cette méthode est encore imparfaite comme nous le verrons par la suite, mais en première approche, elle permet de compléter la méthode des coûts comparés.

#### Critique de la méthode :

- a) Pour les coûts de transport on ne peut utiliser que des  $f(x)$  linéaires partant de l'origine. Or nous avons constaté au cours de ce travail que les fonctions linéaires étaient assez rares. En fait on ne rencontre presque que des fonctions discontinues à cause des indivisibilités, des économies d'échelles sur les distances, des coûts fixes. Il faut donc soit perfectionner cette méthode, soit en trouver une autre.
- b) L'inconvénient de la détermination du point de transbordement par la géométrie analytique, c'est de trouver un point qui ne correspond pas à une autre situation réelle.



Le point déterminé géométriquement n'est pas situé sur les réseaux de communication. Que se passe-t-il lorsque l'on se déplace sur une des voies de communication ?

- c) Dans une telle méthode il est difficile d'intégrer les problèmes de substitution de facteurs et coûts de transport, ainsi que les effets des mécanismes de marchés sur les prix.

En résumé, ces méthodes n'aboutissent qu'à des localisations qui ne peuvent être qu'irrationnelles parce que l'on ne tient pas compte des effets du coût de transport sur la taille de l'entreprise et sur la taille du marché qui constitue le débouché de cette entreprise.

### **Section 3 : Remarques sur la comparaison des facteurs**

L'arbitrage des coûts de production et de transport permet de déterminer une localisation. Auparavant il ne faudra pas faire d'erreur sur la détermination du prix F.O.B., notamment en définissant mal ce qui entre en compte dans cette détermination. Notre étude sur le coût de transport nous a amenés à relever quelques points souvent oubliés ou mal analysés.

#### **Comparaison de deux matières premières ou sources d'énergie**

Une bonne définition des données est indispensable dans les phénomènes de substitution. Par exemple, les cimentiers ont le choix entre la poussière de charbon ou le fuel comme combustible. Les coûts de transport d'une tonne/km de charbon ou de fuel sont identiques. A priori seule la distance de la cimenterie à ces deux sources de combustibles entrerait en ligne de compte. Mais une meilleure analyse des caractères des deux combustibles montre que la tonne de charbon produit 4000 calories alors que la tonne de fuel en produit 6000, et que si l'on considère le coût de transport de la calorie, le fuel est

plus avantageux que le charbon. Après n'avoir utilisé presque que de la poussière de charbon, les cimentiers emploient de plus en plus de fuel.

### **Considération sur la main-d'oeuvre**

Lorsque l'on compare les coûts de la main-d'oeuvre dans deux régions on ne tient souvent compte que de la différence des taux de salaires et on oublie de comparer les productivités respectives.

- Frais fixes et frais variables : une entreprise familiale implantée depuis 1934 à 100km de la ville de Québec s'est récemment interrogée sur la rentabilité de son implantation qui avait été faite en l'absence de tout critère rationnel à l'époque. Cette entreprise fabrique des objets en plastiques par moulage. Une implantation dans la ville même de Québec aurait procuré de nombreuses économies sur les coûts de transport de l'entreprise. Mais en étudiant les variations éventuelles des coûts des autres facteurs, ils ont constaté que les coûts de main-d'oeuvre risqueraient de varier considérablement bien qu'une première étude rapide des taux de salaire ne mette en valeur aucune différence. Quelles raisons ont été invoquées après étude minutieuse de la question ? La main d'oeuvre employée était d'une qualification poussée du fait d'une formation longue et onéreuse dans l'entreprise considérée. Or il n'existe aucune école de formation professionnelle pour ce genre de travail. L'entreprise est donc obligée de supporter tous les frais de formation d'un nouvel ouvrier. Ces frais sont considérés comme des frais fixes. Même si les taux des salaires (frais variables par définition) ne sont pas différents entre Québec et la localisation actuelle, l'entreprise perdrait beaucoup en ce qui concerne les frais fixes en s'implantant à Québec. En effet la main d'oeuvre campagnarde est stable tandis que les multiples débouchés possibles en ville entraînent des changements de travail fréquents. L'entreprise aurait à supporter des frais de formation beaucoup plus lourds.
- Climat social : Nous avons trouvé un autre exemple au Canada à propos de l'appréciation du prix de la main-d'oeuvre. Les industries automobiles américaines alimentent le marché canadien. Les économies de concentration orientent la localisation de ces industries dans le Michigan, plutôt que près du marché québécois. Cependant une meilleure comparaison du coût de la main d'oeuvre dans la région, entre autres raisons, ramène la localisation près du marché québécois. En effet, le climat social au Canada est moins agité qu'aux U.S.A. où on assiste à des grèves beaucoup plus fréquentes du fait du développement du syndicalisme.

### **Coût de la maintenance du capital**

Les coûts de transport de la maintenance sont une réalité. Il s'agit surtout de coûts de défaillance et d'inventaire. Les frais de maintenance proviennent de frais de stockage de pièces détachées et de frais de main d'oeuvre spécialisée. Si l'entreprise est suffisamment importante pour rendre rentable l'utilisation permanente de techniciens et d'ingénieurs de maintenance, il n'y aura pas de frais de transport sur la main d'oeuvre de maintenance. Mais il en est autrement des frais de transport qui comprennent le coût de

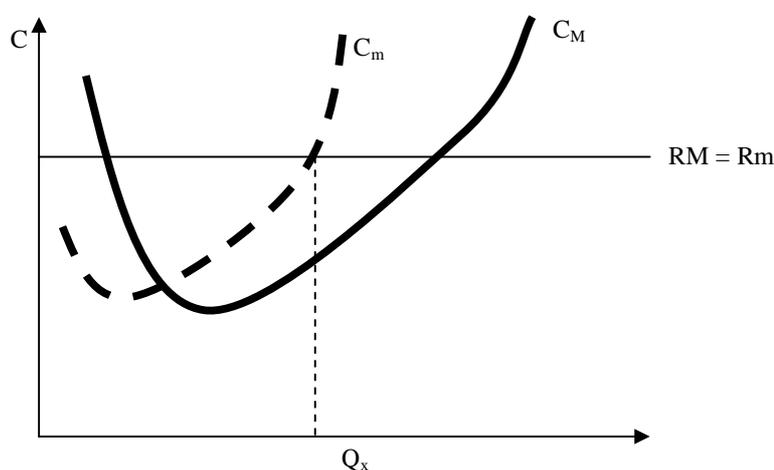
défaillance (manque à gagner d'autant plus grand que la durée du transport est plus longue) ont une importance d'autant plus grande que l'usine est éloignée du concessionnaire qui a vendu le matériel.

Toutes ces méthodes sont incomplètes car elles ne tiennent pas compte de l'incidence des coûts de transport sur la taille de l'entreprise. Le coût de transport peut soit augmenter les coûts de production, et alors l'entrepreneur décidera de la taille optimale de son unité de production, le prix étant donné, soit augmenter les prix, les coûts de production étant donnés, et cela déterminera alors les limites géographiques des marchés, donc de la taille optimale de la firme. C'est ce que nous allons étudier au cours du prochain chapitre. Nous étudierons également à cet effet un certain nombre d'exemples qui illustrent notre problème.

## Chapitre III : Coût de transport, localisation et taille optimale de la firme

### Section 1 : Coût de transport, coût moyen de production et localisation

Dans la théorie économique punctiforme, la taille optimale de l'entreprise se situe pour le niveau de production correspondant au point d'intersection de la courbe de coût marginal et de celle de la recette marginale.



En régime de concurrence avec barrière d'entrée.

Dans une théorie économique considérant les contraintes de l'espace, la taille optimale de l'entreprise va se trouver réduite car les coûts de production seront augmentés des coûts de transport correspondants pour livrer les biens ou services aux clients. On considère un entrepreneur qui doit écouler sa production dans les marchés de

plus en plus éloignés du centre de production. Les coûts variables vont être à rendements décroissants à cause des coûts de transport.

Supposons que la fonction des coûts totaux de production soit linéaire :

$$C = cQ + F$$

où  $c$  = coût variable unitaire,  $Q$  la quantité de marchandises à transporter et  $F$  = coûts fixes.

Le coût moyen unitaire sera égal à:

$$\frac{C}{Q} = c + \frac{F}{Q}$$

Si l'on considère que pour chaque tranche supplémentaire de production écoulee il faut ajouter des coûts de transport de plus en plus grands, le coefficient  $c$  va devenir à son tour une fonction de  $Q$ .

Soit  $Q_i$  la quantité écoulee dans la zone  $i$  : les coûts variables unitaires seront égaux à

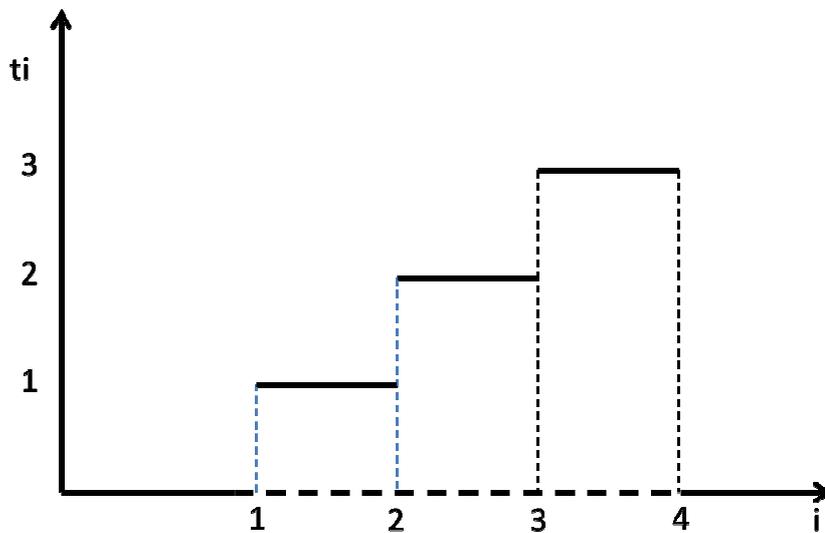
$$a + t_i$$

où  $t_i$  est le coût de transport unitaire pour la zone  $i$ ,  $t_i$  est fonction de  $i$ .

**Exemple :**

$$t_i = f(i)$$

$$q_i = f(i)$$



Les coûts de production totaux, coût de transport compris, seront égaux à :

$$C = \sum_{i=1}^n (c + ti)Q_i + F$$

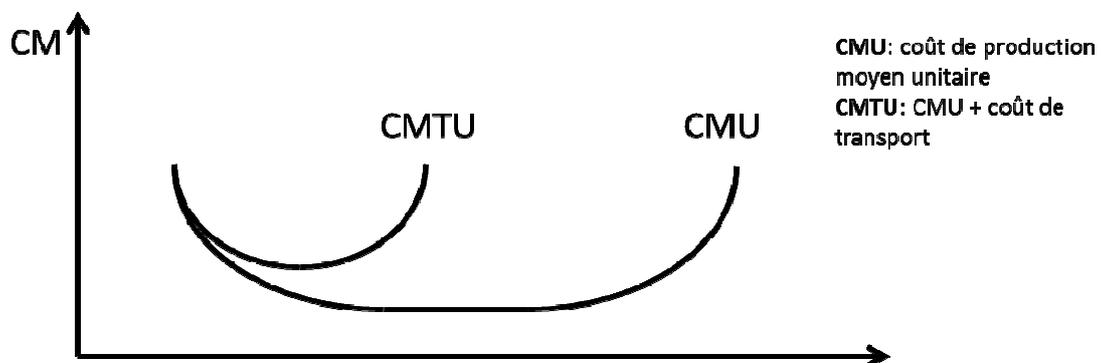
Et le coût moyen unitaire:

$$\frac{C}{\sum Q_i} = \frac{\sum_{i=1}^n (c + ti)Q_i}{\sum Q_i} + \frac{F}{\sum Q_i}$$

Le point minimum de la courbe des  $\frac{C}{\sum Q_i}$  existera pour une quantité  $Q < Q^*$  ou  $Q^*$  est

le minimum sans coût de transport.

Les coûts de transport limitent la taille optimale de l'entreprise.



Hoover avait déjà fait cette analyse à propos de la taille optimale des silos à grains du North Dakota [8]: Il s'agit des silos à grains situés près des champs de blé et qui sont approvisionnés directement par les fermiers. Des études ont montré que le coût de production unitaire de ces silos diminuait d'une façon sensible lorsque la dimension augmentait. Cependant un accroissement de la taille implique des approvisionnements en provenance de régions plus éloignées, donc des coûts de transport élevés. Ces derniers contraignent donc le silo à grain local à demeurer une unité de petite taille ayant des coûts de production relativement élevés et ne commandant qu'une aire d'approvisionnement restreinte. En 1939, il y avait dans le seul état du North-Dakota 1101 silos à grain locaux, soit un silo pour  $164,7 \text{ km}^2$  de superficie total, pour  $140 \text{ km}^2$  de superficie cultivée, ou pour 39 à  $50 \text{ km}^2$  de superficie cultivée en blé.

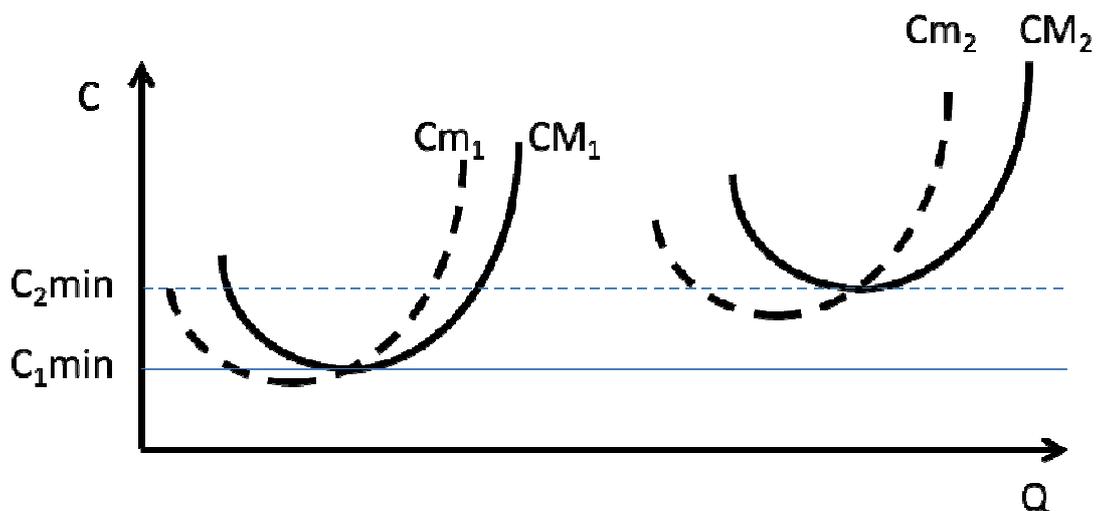
## Section 2 : Equilibre spatial et coût de transport

Soit un espace économique donné : considérons une branche d'activité particulière qui consiste à produire un produit à l'aide d'un certain nombre de facteurs  $f_i$ . Il existe un certain nombre de marchés  $M_j$  dispersés dans l'espace : il y aura aussi différentes sources de facteurs : pour un même facteur, il peut y avoir plusieurs sources différentes. Les facteurs ont des prix variables selon leur localisation. Il est donc possible de produire le même bien dans différentes zones de l'espace considéré. Il en résulte une courbe de coût de production pour chaque zone. Chaque unité de production cherche à écouler sa production dans les marchés avoisinants.

Dans une économie de concurrence le producteur détermine sa production par l'égalisation de :

$$R_m = C_m = RM = P$$

Les profits doivent être nuls. Ce modèle est imparfait, mais nous pouvons appliquer celui des barrières d'entrée pour lesquelles il y a un profit minimum. Le producteur qui a une courbe de coût plus élevée est éliminé, c'est-à-dire que dans la figure suivante, le producteur dont le  $CM_2$  minimum est supérieur au  $CM_1$  minimum est éliminé.

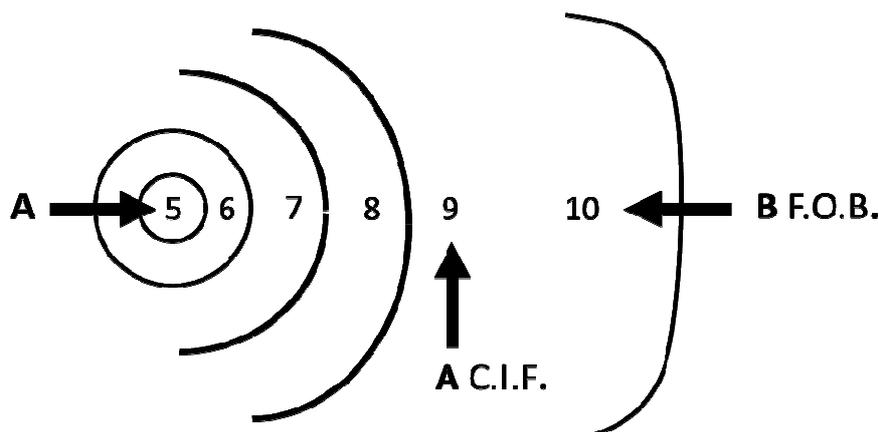


Dans notre cas d'économie spatiale, l'élimination ou la coexistence de deux concurrents est décidée par les coûts de transport entre les localisations des concurrents. Nous parlerons de distance économique entre les deux concurrents.

Trois cas se présentent :

### 1. Élimination des concurrents en économie spatiale

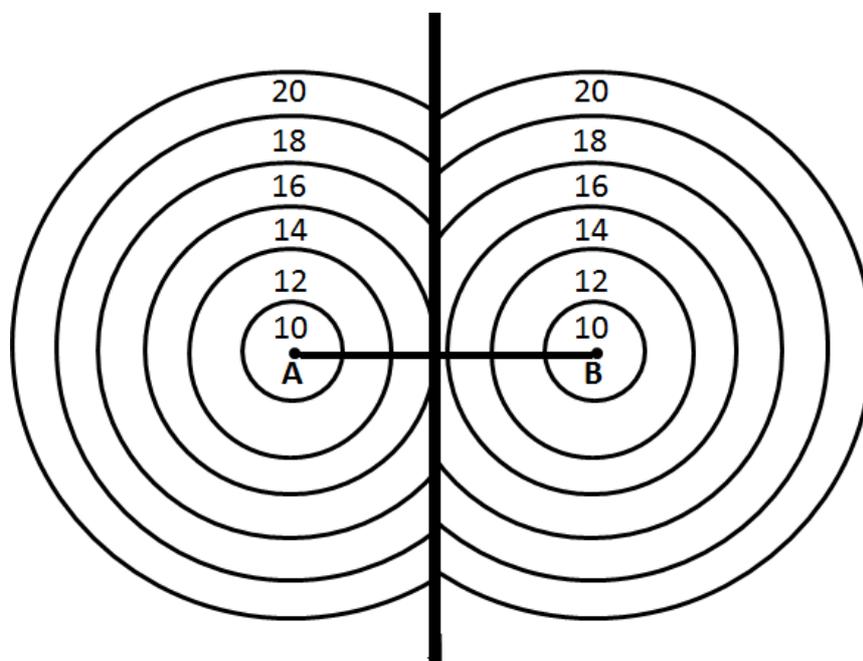
On considère le coût moyen de production minimum du producteur A et celui du producteur B. On ajoute à ces coûts, les coûts de transport respectifs de A à B et de B à A qui peuvent être différents. On obtient le coût de production A C.I.F. et la même chose pour B. si le coût moyen unitaire C.I.F. de A est inférieur au coût moyen unitaire F.O.B. de B, le producteur B sera éliminé du marché.



Règle : la distance économique doit être inférieure à la différence entre les coûts de production minimum F.O.B. des deux concurrents.

### 2. Partage du marché

Dans le cas où le coût moyen unitaire F.O.B. de B est supérieur au coût moyen unitaire C.I.F. de A en B, les deux producteurs vont coexister et il y aura un partage du marché avec une ligne frontière qui est une droite lorsque les coûts de transport sont égaux et une parabole lorsqu'ils sont inégaux.



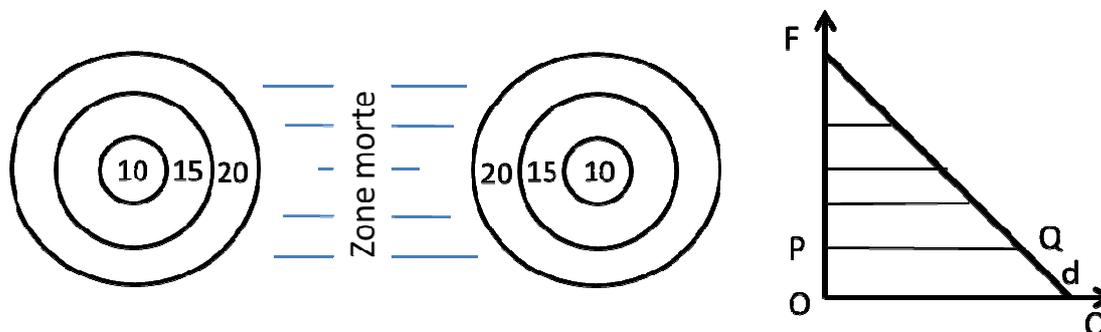
Exemple : le marché des eaux minérales en France et au Canada

L'eau minérale courante est vendue 40 cts la bouteille en France et 1 F 75 au Canada. Il est impossible de vendre de l'eau minérale française au Canada car les coûts de transport sont tels que le prix C.I.F. de l'eau minérale serait supérieure à 1 F 75. Par contre l'eau de Vichy est largement vendue au Canada au prix de 3 F 50 car une publicité particulièrement bien étudiée en a fait un nouveau produit : Vichy, l'eau médicinale dont on ne peut trouver l'équivalent au Canada.

### 3. Partage du marché compte tenu de la courbe de demande

Lorsqu'il n'y a pas élimination de concurrents, il y a partage du marché par une ligne frontière qui est une frontière économique. Il peut y avoir un intervalle frontière dans lequel le prix C.I.F. est supérieur au prix limite pour lequel la demande s'annule. Lösch, dans son traité sur l'économie de localisation [7], nous dit que la dimension d'un marché est fonction de la courbe de demande et des prix C.I.F. Soit un espace où la population est uniformément répartie. On étudie la demande de bière : le prix de la bière au lieu de production est OP, et une certaine quantité de bouteilles est vendue. Cette quantité diminue lorsque l'on s'éloigne du lieu de production et que les frais de transport et les prix C.I.F. qui en résultent augmentent. Quand ils sont égaux à la valeur FF, le marché est arrivé à sa limite car plus aucune bouteille n'est demandée. La demande  $d$  est fonction de la somme du prix au lieu de production et des coûts de transport  $d = f(P + T)$

Avec demande élastique



Lorsque la distance économique entre deux points où sont situés les deux concurrents est supérieure à la somme des prix aux lieux de production et des coûts de transport maximum pour lesquels la demande s'annule, il existe une zone morte où aucun des deux concurrents ne peut vendre.

#### 4. Conclusion

La baisse de coût de transport par l'effet du progrès technique ou par l'effet d'une bonne gestion des transports va permettre à une firme dont la production effective est en deçà de sa capacité technique d'exploiter de façon plus avantageuse une courbe de coût décroissante.

Remarque : il se pose le problème de l'effet des fluctuations et du progrès technique sur la localisation. C'est là un sujet d'étude intéressant à développer.

### Section 3 : Exemples

1. Les industries pour lesquelles le coût de transport global sur les produits finis est très élevé en raison de leur valeur par exemple, seront de taille réduite et serviront un petit marché, ceci dans la mesure où les coûts de transport sur les matières premières sont faibles et où les facteurs peuvent se trouver partout sans grande difficulté. C'est le cas, par exemple des installations d'embouteillage d'eau minérale : le coût de transport est très élevé car le rapport valeur/coût est très faible, donc le coût de roulage est une part importante du prix de détail. C'est pourquoi les différentes sociétés continuent à exploiter les sources de renommées locales qu'elles ont rachetées : leur commercialisation est souvent plus rentable que celle de l'eau minérale principale. Perrier, par exemple possède la source alsacienne Carola qui a un marché local très important. La commercialisation de la Carola revient d'ailleurs moins chère que lorsque cette source était indépendante en raison des économies de concentration (circuit de distribution rationalisé de Perrier par exemple).

2. Les industries pour lesquelles le coût de défaillance est très important seront localisées près des marchés ou du terminal d'un moyen de transport rapide afin que la distance économique soit pratiquement nulle. C'est le cas des usines d'ordinateurs qui sont localisées près des grandes métropoles, (Paris, New York, Montréal) ou près d'aéroport et d'une autoroute (IBM Montpellier).
3. Économies de concentration : La concentration permet non seulement de réduire les coûts moyens unitaires de production mais aussi les coûts de transport eux-mêmes. Nous étudierons un exemple de localisation d'une industrie pétrochimique cité par Walter Isard dans *Methods of Regional Analysis, an Introduction of Regional Science* [2]. Cette industrie devait produire de l'antigel à partir de gaz naturel. W. Isard a déterminé un certain nombre de marchés dans le Nord-Est américain et la source de facteurs dans le Sud-Ouest à Monroe. Il s'est d'abord attaché à étudier les différences dans les coûts des facteurs main d'œuvre et énergie. Les différences étaient négligeables. Il restait à étudier les différences de coûts de transport et la taille des unités de production. Les économies d'échelles peuvent être de nature différente sur le transport des matières premières et sur celui des produits finis. Nous avons le choix entre de petites unités de production desservant chacune un marché et une unité de production plus grande desservant plusieurs marchés à la fois. Dans le premier cas les coûts de transport sur les matières premières (29 cents) sont inférieurs à ceux sur les produits finis (89 cents) et la localisation de l'unité de production se fera par exemple près du marché à Cincinnati. Dans le second cas, il y a une part des économies d'échelles de production (\$2.15 par unité de produit) qui sont supérieures à la différence des coûts de transport sur les matières premières et sur les produits finis (60 cents) et d'autre part des économies d'échelle sur les coûts de transport des produits finis si on les expédie par péniches vers un centre de distribution localisé près des marchés. Le coût de transport sur les matières premières reste inchangé (29 cents) mais le coût de transport sur les produits finis diminue (16 cents), en plus des avantages sur les coûts de production dus à la concentration. On bénéficie d'avantages sur les coûts de transport (13 cents).
4. Localisation d'un centre de production d'objets de luxe : Le coût de production des chaussures de luxe est composé surtout de coûts en main d'œuvre et de coûts en matières premières. En étudiant plusieurs emplacements possibles, on constate que la différence entre le coût de la main d'œuvre en France et celui à Hong-Kong est de loin supérieure au coût de transport de la matière première de France à Hong-Kong et des produits finis de Hong-Kong en France. C'est ainsi que les chaussures de luxe faites à Hong-Kong sont expédiées par avion en France. On a été amené à choisir l'avion dans ce cas du fait des coûts d'inventaire et de défaillance plus bas qu'avec d'autres moyens de transport. Le produit ne risque pas d'être démodé en arrivant et les modèles peuvent être facilement adaptés la demande.
5. Nous pouvons construire un exemple qui illustre le fait que pour un produit donné, le type de localisation dépend des données de l'espace économique. Comparons la commercialisation de la viande en France et aux U.S.A. En France, sous l'effet de traditions, la production de la viande se fait par très petites unités ne produisant pas plus de quelques vaches par an et de plus très dispersées dans

l'espace. Le coût moyen unitaire est très élevé et les coûts de transport le sont également. Le circuit de distribution est compliqué : nombreux maquignons et chevillards. De plus le coût de transport sur la viande morte est très élevé à cause des coûts de détérioration. Les coûts moyens de production ne varient guère d'un centre de production à l'autre. Les coûts de production sont donc toujours supérieurs à la différence entre les différents coûts de production. Ainsi que nous l'avons observé dans le paragraphe intitulé équilibre spécial, il en résulte un fractionnement des unités de production servant un marché limité aux petites villes avoisinantes. Il faut d'ailleurs tenir compte, en plus, d'un facteur en quantité limitée : la terre. Un centre de production ne pourrait jamais produire l'équivalent de toute la zone géographique, du moins en employant la technique du pâturage. Aux U.S.A., la production se fait par très grandes unités dans l'Ouest américain. Le transport se fait par trains entiers jusqu'à Chicago ou de gigantesques abattoirs servent à alimenter une grande partie de l'Est américain. Il y a évidemment des économies d'échelles sur les transports et sur les coûts de production.

6. Exemple : Programmation linéaire et coût de transport. Le problème de transport est devenu le pont-aux-ânes des problèmes de programmation linéaire. M. L'huillier [1] p.36. Ce problème s'applique à la distribution de carburants à partir des raffineries. On cherche à approvisionner des marchés. Pour chaque marché, la demande est limitée et chaque raffinerie a une capacité de production limitée. On connaît les coûts de transport d'une unité de produit entre les différents couples raffinerie-marché. On veut trouver le plan d'approvisionnement qui détermine le coût de transport minimum.

Marchés/usines	A	B	C	demande
1	$C_{A1}$	$C_{B1}$	$C_{C1}$	$d_1$
2	$C_{A2}$	$C_{B2}$	$C_{C2}$	$d_2$
3	$C_{A3}$	$C_{B3}$	$C_{C3}$	$d_3$
4	$C_{A4}$	$C_{B4}$	$C_{C4}$	$d_4$
5	$C_{A5}$	$C_{B5}$	$C_{C5}$	$d_5$
capacités	$C_A$	$C_B$	$C_C$	

$$\text{Min } Z = x_{A1} \cdot C_{A1} + x_{A2} \cdot C_{A2} + \dots + x_{An} \cdot C_{An}$$

Où  $x$  est le niveau de l'approvisionnement entre raffinerie  $n$  et marché  $m$

Sous les contraintes :

$$x_{A1} + x_{B1} + x_{C1} \leq d_1$$

...

$$x_{A5} + x_{B5} + x_{C5} \leq d_5$$

et

$$x_{A1} + x_{A2} + x_{A3} + x_{A4} + x_{A5} \leq C_A$$

## CONCLUSION SUR LE TITRE II

Il n'y a pas de localisation standard comme il n'y a pas de coût de transport standard pour un même produit considéré dans des espaces économiques différents. Par exemple : l'acier en France et aux U.S.A. Les sources de facteurs ne sont pas situées de la même manière les unes par rapport aux autres en France et aux U.S.A. Les distances qui les séparent sont également différentes tout comme les moyens de transport qui les relient. Les prix F.O.B. des facteurs sont également différents dans les deux pays. La localisation et la taille des entreprises concernant le ou les mêmes produits se feront donc différemment dans les deux pays. Elles seront calculées par les méthodes variées présentées dans cette deuxième partie, prenant en considération les données de l'espace économique choisi et non pas déterminées à priori comme c'est souvent le cas. De même, la localisation et la taille de deux entreprises produisant des biens différents mais dans le même espace économique seront totalement différentes. A ce propos, on parle souvent de la plus ou moins grande importance du coût de transport dans la détermination de la localisation. Si le coût de transport est entendu dans le sens « coût de roulage », cette formule peut être vraie mais si l'on parle du coût de transport global, elle est fautive, car le coût de transport global lié à un nombre plus important de facteurs varie de façon plus complexe et contraint ainsi l'entrepreneur à faire des calculs plus élaborés pour déterminer son implantation.

### Conclusion

Il n'est pas possible de tirer une conclusion définitive sur un sujet en plein développement à l'heure actuelle. Notre étude a voulu mettre en valeur une nouvelle définition du coût de transport qui souligne l'importance de différents problèmes lors du déplacement d'un bien ou d'un service. Nous avons essayé de donner une certaine homogénéité à ces différents éléments qui pris un à un, sont trop souvent négligés.

La complexité du coût de transport global ne permet pas de l'appréhender aussi facilement que le coût de roulage et ne facilite pas la découverte de méthodes standardisées de calcul et d'action. Grâce à cette définition pourtant, nous avons pu insister sur le fait qu'il était possible d'agir sur les coûts de transport en modifiant les caractères de la marchandise.

La gestion correcte des coûts de transport a pour but de déterminer correctement l'équilibre de la firme et l'équilibre spatial général. Nous avons étudié l'influence des coûts de transport dans la gestion de l'entreprise en tenant compte des données d'un espace économique. Cette étude débouche sur un autre genre de recherche, celle de la création ou de la modification d'un espace économique en vue de sa meilleure exploitation. Les commissions d'Aménagement du Territoire en France, la Cassa del Mezzigiorno en Italie par exemple, s'en occupe sur le plan national. Mais c'est aussi un problème pour les entreprises privées et les compagnies de transport, les banques, les agents immobiliers ou les groupements industriels qui ont intérêt à voir s'installer des entreprises clientes dans leurs limites de marchés, commencent déjà à s'occuper de la question et essaient de résoudre le problème de la localisation pour leurs clients.

**Bibliographie**

- [1] Daniel L'Huillier : Le coût de transport, l'analyse économique et l'entreprise face aux coûts de transport. Edition CUJAS, Toulouse 1965
- [2] Walter Isard : Methods of Regional Analysis, an Introduction to Regional Science, The Massachusetts Institute of Technology, 1960
- [3] Francesco Santoro: Economia dei Trasporti, Unione tipografico torinese 1966
- [4] Vickham: Economie des Transports, 1969
- [5] Harold McCarty & James B.Lindberg: A preface to economic geography
- [6] Truman C. Bigham & Merrill J. Roberts, Transportation, Principles and Problems, McGraw-Hill, 1952
- [7] August Lösch, Die räumliche Ordnung der Wirtschaft, 1940
- [8] Edgar M. Hoover, the Location of Economic Activity, 1948