

SEMA - METRA

SECRETARIAT D'ETAT A LA MER

ETUDE
"TOUR DU MONDE"

Octobre 1985

CDAT
3179

SOMMAIRE

- I - **OBJET DE L'ETUDE, METHODE ET CONCLUSIONS**
 - OBJET DE L'ETUDE
 - METHODE
 - CONCLUSIONS

- II - **LE CONTEXTE DU TRANSPORT MARITIME CONTENEURISE**

- III - **LE MODELE MATHEMATIQUE DE BASE DE L'ECONOMIE DES NAVIGATIONS CIRCUMTERRESTRES (HORS FEEDERS)**
 - LES HYPOTHESES DU MODELE
 - LE MODELE DE LIGNES DIRECTES 2 PAR 2
 - LE MODELE DE LIGNE "TOUR DU MONDE" A UN SEUL SENS "ONE WAY"
 - LE MODELE DE LIGNE "TOUR DU MONDE" DANS LES DEUX SENS "TWO WAYS"
 - LE MODELE DE LIGNE "TOUR DU MONDE" EN "FER A CHEVAL"

- IV - **ETUDE COMPARATIVE DES DIVERS MODES DE DESSERTE, DIRECTE OU CIRCUMTERRESTRE**
 - PREMIERES CONCLUSIONS ISSUES DE LA SEULE FORMALISATION MATHEMATIQUE
 - DONNEES TECHNIQUES ET ECONOMIQUES SERVANT DE BASE AU CHIFFRAGE DU MODELE
 - ETUDE COMPARATIVE A PARTIR DU CHIFFRAGE DU MODELE
 - ANALYSE DE SENSIBILITE

**V - LE MODE DE DESSERTE CIRCUMTERRESTRE
ET LES SERVICES FEEDERS**

- LES CARACTERISTIQUES DU SERVICE
FEEDER ETUDIE
- LE MODELE MATHEMATIQUE DU FEEDERING
- COMPARAISON ECONOMIQUE DES SERVICES
OMNIBUS ET FEEDERS

**VI - DESSERTE CIRCUMTERRESTRE EN PRESENCE
DE TRAFICS INEGAUX ET DESEQUILIBRES.
GESTION DES CONTENEURS VIDES**

- INEGALITE DU TRAFIC D'UNE LIAISON A L'AUTRE
- DESEQUILIBRE DES TRAFICS ALLER-RETOUR
OU IMBALANCES

ANNEXE 1 IMPACT DE TRAFICS INEGAUX MAIS EQUILIBRES
SUR LE COUT DE LA DESSERTE "TWO WAYS"

ANNEXE 2 GAIN EN SLOTS RESULTANT DU
REPOSITIONNEMENT OPTIMAL DES VIDES
EN "TWO WAYS"

ANNEXE 3 CALCUL DU SURCOUT D'IMMOBILISATION
DES CONTENEURS VIDES EN TOUR DU
MONDE "ONE WAY"

CHAPITRE I

OBJET DE L'ETUDE
METHODE ET CONCLUSIONS

OBJET DE L'ETUDE

L'étude s'inscrit dans le cadre d'une réflexion prospective sur les futurs systèmes de desserte pour le transport maritime de ligne.

Le développement de la conteneurisation et plus généralement de l'unitisation du transport, couplé avec la mondialisation des échanges, notamment avec l'émergence de la zone pacifique, semble devoir entraîner un bouleversement des conceptions classiques en matière de lignes maritimes avec l'apparition de services "tour du monde", couples ou non avec des systèmes de transbordement (feeders) maritimes ou terrestres.

L'étude avait pour objet de s'interroger sur la pertinence économique et commerciale de ces nouveaux services à la lumière d'expériences en cours (EVERGREEN et USLINES) ou en cours de lancement (Joint Venture NEPTUNE, OOCL).

Il s'agissait beaucoup plus de comprendre les mécanismes qui régissent ces modes de desserte et en conditionnent l'efficacité plutôt que d'en décrire fidèlement mais passivement le fonctionnement (cf. Etude de l'Université de Liverpool qui recourt aux méthodes de simulation).

C'est pourquoi notre mission comportait la mise au point d'un modèle mathématique qui, moyennant une illustration chiffrée à l'aide d'un jeu réaliste de paramètres physiques et économiques, devait être capable de répondre à ce souci d'analyse en profondeur.

METHODE

Il a été choisi de mettre au point un modèle mathématique de coût annuel correspondant à l'exploitation d'une flotte de navires devant assurer un trafic mondial (global ou d'un amateur particulier) de marchandises conteneurisées selon l'un des quatre modes suivants :

- Desserte en lignes directes,
- Desserte circumterrestre avec navires tournant dans un seul sens Est ou Ouest ("one way"),

- Desserte circumterrestre avec navires tournant dans les deux sens Est et Ouest ("two ways"),
- Desserte circumterrestre en "fer à cheval" avec navires navigant dans un sens puis dans l'autre pour éviter une zone interdite.,

couplé ou non avec un système feeder (maritime essentiellement).

Cette modélisation mathématique a été bâtie sur un certain nombre d'hypothèses dont les plus fortes ont été celles de l'homogénéité des trafics d'une ligne à l'autre et celle de l'équilibre des trafics aller-retour sur chaque ligne (absence "d'imbances").

Par la suite toutefois, ces hypothèses ont été levées pour tester la robustesse des conclusions et étendre l'analyse au problème du repositionnement de conteneurs vides.

Pour tester le modèle, approfondir l'analyse au-delà d'une simple compréhension qualitative des phénomènes et situer les ordres de grandeurs, nous nous sommes livrés à une illustration chiffrée avec un jeu de données numériques aussi proches que possible de la réalité du trafic maritime mondial conteneurisé Nord/Nord :

- des données physiques, concernant notamment les principales zones portuaires, la fréquence de desserte, les flux de conteneurs à acheminer, les vitesses de navigation, les performances portuaires, etc.
- des données de coûts concernant les navires porte-conteneurs intégraux (prix d'acquisition, running cost et operating cost) et surtout la sensibilité de ces coûts à la taille du navire et aux conditions d'exploitation (vitesse notamment). Il s'agit de coûts internationaux à l'exclusion de tout surcoût propre à l'armement français, notamment en matière d'équipage. Bien entendu, il a également été tenu compte des coûts des conteneurs dans l'analyse.

Le problème particulier du repositionnement des conteneurs vides associé à la présence d'imbances a été étudié sur le profil des trafics mondiaux de l'année 1980.

Les sources d'informations ont été :

- le Secrétariat d'Etat à la Mer,
- le CCAF,
- les armateurs français (CGM et DELMAS VIELJEUX),
- l'IETM,

quant à l'analyse documentaire, elle a porté sur :

- les publications des Lloyd's (Lloyd's Shipping Economist et Lloyd's Export Shipping),
- les études de DREWRY,
- le journal de la Marine Marchande (notamment le n° 3369 de juillet 1984),
- la revue annuelle de l'OCDE intitulée "Les transports maritimes",
- les proceedings de certains colloques sur le transport international (colloque de Versailles de juin 1982, colloque de novembre 1983 à l'Université de PARIS I);
- un article concernant les recherches faits sur les tours du monde par l'Université de Liverpool,
- des articles sur l'économie maritime, notamment de SCHNEERSON de l'Université d'Haïfa,
- des coupures de presse collationnées par le service documentaire du CCAF,
- etc.

CONCLUSIONS

1/ Les services tour du monde s'inscrivent dans un processus de mondialisation des échanges, conjugué avec l'unitisation des flux de marchandises générales et la banalisation des modes de traction (maritime, terrestre, et même aérien).

Peu à peu, la notion de lignes maritimes (et des Conférences associées) s'estompe pour laisser place à la notion de réseau, comme par exemple en télécommunications.

Par analogie avec l'unité d'information à transmettre, l'unité de compte EVP-voyage apparaît plus pertinente sur le plan des coûts que la tonne mille.

D'ailleurs, cette réalité économique transparaît de plus en plus sur le marché ou l'on constate une tendance à l'égalisation des frets, quelle que soit la destination (1.000 \$ par EVP-voyage environ actuellement).

- 2/ ~~L'essence de la rentabilité économique~~ des services tour du monde provient de leur faculté de mutualiser les lignes, ce qui permet de recourir à des bateaux de plus grande taille et donc de mieux faire jouer l'économie d'échelle.

A ce titre, on peut donc affirmer que cette rentabilité va dépendre de l'importance du flux mondial à acheminer et de sa répartition géographique.

- 3/ Cette recherche du gigantisme et de l'économie d'échelle par voie de "pooling" des trafics reste en effet encore possible aujourd'hui car les pratiques commerciales qui impliquent des dessertes au minimum décadaires voire hebdomadaires sur les principales lignes maritimes Nord/Nord, requièrent, compte tenu des trafics correspondants, des tailles de navires qui n'atteignent pas encore l'optimum économique.

Cette taille optimale qui résulte en effet d'un compromis entre économie d'échelle portant sur la traction maritime et la déséconomie d'échelle liée à l'immobilisation dans les ports se situe, sur le papier, bien au-delà des 4.000 EVP atteints actuellement.

Mais on sait que des contraintes techniques d'exploitation liées notamment au passage du canal de Panama empêchent d'aller au-delà de cette limite pour le moment..

- 4/ Les services tour du monde impliquent à trafic égal, outre des tailles de navires plus grandes, des capacités de flottes plus importantes.

~~Cette surcapacité en "Slots" correspond à des besoins de stockage à bord supplémentaires nécessaires aux conteneurs du fait de l'allongement du trajet moyen (sauf en two ways) et du surcroît d'immobilisation aux ports.~~

Elle ne doit donc pas être assimilée à un surcroît d'offre de transport et donc ne pas influencer l'appréciation de l'équilibre entre offre et demande.

- 5/ En contrepartie, le total des milles naviguées sera moins important mais avec des plus gros navires ; c'est là-dessus que repose l'économie d'échelle.

- 6/ ~~C'est beaucoup plus le morcellement du trafic mondial (global ou d'un grand armateur particulier) qui justifie économiquement le recours au service tour du monde que la taille elle-même de ce trafic.~~

C'est en effet dans ce cas que la mutualisation permet l'atteinte de taille que n'auraient pas permis les trafics particuliers de chaque ligne prise une à une.

Si ces trafics élémentaires venaient à être suffisamment importants pour permettre l'utilisation de bateaux de taille proche de l'optimum économique, le recours à un service tour du monde ne se justifierait plus.

- 7/ L'effet de mutualisation est encore plus important dans le service "one way" que dans le "two ways".

Ce service qui, à trafic mondial égal, utilise des navires plus gros, serait a priori plus rentable pour des trafics relativement plus faibles ; cependant il présente l'inconvénient de rallonger sensiblement les durées de trajets des cargaisons acheminées en sens inverse, ce qui peut être inacceptable sur le plan commercial.

Par ailleurs, les tailles de navires qu'il peut impliquer pour certains gros armateurs, dépassent la taille maximale techniquement accessible actuellement.

Ce service peut être opportun toutefois pour les profils de trafics déséquilibrés, très accusés dans le sens de rotation du navire, et couplés avec une politique tarifaire très incitative pour les trafics en sens contraire (cf. USLINES).

- 8/ La desserte dite "en fer à cheval" est la moins intéressante des dessertes circumterrestres car elle cumule les inconvénients de l'allongement des trajets pour les liaisons qui "enjambent" la zone évitée et d'un moins bon effet d'économie d'échelle.

Un tel service ne pourrait être justifié que par des raisons politiques (cas du canal de Suez pour les amateurs israéliens), ou par un droit de passage exorbitant sur le canal de Suez ou (et) sur le canal de Panama. Dans ce dernier cas, d'ailleurs, la contrainte technique du passage par le canal n'étant plus à respecter, une nouvelle étape vers le gigantisme des navires porte conteneurs serait engagée.

- 9/ ~~L'inégalité des trafics d'une ligne à l'autre qui est préjudiciable à l'économie globale de la desserte en lignes directes, n'a, au contraire, aucun effet sur le coût du "one way" du fait de la parfaite mutualisation des lignes.~~

En two-ways, au contraire, cette mutualisation étant imparfaite, elle peut entraîner un surdimensionnement inutile des navires qui justifierait d'isoler certaines lignes du circuit tour du monde (cf EVERGREEN).

10/ ~~En l'absence d'imbalance, le service tour du monde ne favorise pas l'économie du conteneur,~~ au contraire ! Nous avons vu, en effet, qu'il faut prévoir une immobilisation supplémentaire liée à l'allongement éventuel du trajet (sauf en two ways) et au surcroît d'attente aux ports tiers.

11/ ~~En présence d'imbalance, on sait que, d'une manière générale, par rapport au rapatriement pur et simple des conteneurs sur leur port d'origine, une bonne politique de repositionnement des conteneurs vides permet d'espérer gagner sur trois tableaux :~~

- un gain de manipulation sur les conteneurs vides et pleins compensés entre les lignes convergeant sur un même port.
- un gain éventuel en "Slots déployés" du fait de la réduction du trafic global (pleins + vides) résultant de ce clearing.
- un gain sur l'immobilisation des conteneurs vides en mer grâce à l'élimination des voyages à vide des conteneurs compensés et à une réduction des distances naviguées entre ports excédentaires et ports déficitaires résultant d'un aiguillage optimal des conteneurs vides.

Les divers modes de desserte sont équivalents sur le plan des économies en manutention qui résultent du seul clearing entre conteneurs vides et pleins à chaque port d'escale.

En ce qui concerne l'immobilisation des conteneurs, la desserte circumterrestre déjà défavorable pour les conteneurs pleins, l'est également pour les conteneurs vides repositionnés pour les mêmes raisons.

Par contre, la desserte circumterrestre procure un avantage décisif au niveau de la capacité de la flotte car, contrairement à la desserte par lignes directes dont la taille des navires ne dépend que du seul trafic en charge, la desserte circumterrestre permet de tirer parti de la réduction du nombre de mouvements des vides issus du repositionnement optimal par une réduction significative du nombre de slots à déployer.

Par ailleurs, en dehors de toutes considérations purement économiques, la desserte circumterrestre présente l'énorme avantage de faciliter la mise en œuvre du repositionnement optimal des conteneurs, car le clearing entre pleines et vides est automatique et l'aiguillage des vides vers leur meilleure destination est soit automatique lui aussi ("one way"), soit réduit à une simple répartition entre bateaux navigant Ouest et bateaux navigant Est ("two ways" et "fer à cheval").

12/ On a pris l'habitude de penser que "service tour du monde" et "service feeder" (maritime ou terrestre) sont indissociables, partant du principe qu'il est apparemment anti-économique de dérouter les gros navires de ce service sur les ports secondaires des principales zones maritimes.

En fait, l'appréciation économique est beaucoup plus nuancée qu'il n'y paraît de prime abord et ce pour plusieurs raisons :

- . le coût du transbordement (1.000 F par boîte) est lourd et difficile à compenser,
- . même déroutés les gros bateaux procurent une économie d'échelle sur la traction maritime secondaire,
- . enfin la coordination des horaires du bateau principal (mothership) et feeders est délicate à assurer.

En fait, ~~la rentabilité des services feeders n'est vraiment indiscutable que lorsque le trafic secondaire est marginal par rapport au trafic principal et qu'il ne peut de la sorte justifier le déroutement du mothership.~~

On retrouve d'ailleurs de manière plus générale l'intérêt économique du transbordement à des nœuds d'interconnexion entre deux circuits ou lignes maritimes dont les flux d'échange sont marginaux par rapport aux flux principaux.

Le service feeder peut également s'avérer opportun si des impératifs d'ordre commercial sont incompatibles avec les délais de livraison qu'impliquent un bateau omnibus navigant à basse vitesse.

On peut d'autre part penser, bien que nous ne l'ayons pas étudié, que des ports secondaires très peu performants ou à conditions d'accès très difficiles justifieront également le recours à des services feeder.

13/Sur le plan commercial, le service tour du monde confère à l'amateur une notoriété indiscutable. Il lui procure aussi et surtout, une compétitivité induite sur des lignes où il est mal ou pas positionné car contrairement au cas de la desserte en lignes directes où il lui est égal, le coût marginal d'une liaison supplémentaire en tour du monde est inférieur au coût moyen sur l'ensemble du service. L'armateur rentabilise en effet davantage la capacité de la flotte, ainsi que l'implantation commerciale dans les zones portuaires, requise de toutes façons par la desserte de ses autres lignes.

C'est ainsi que EVERGREEN bien implanté sur les liaisons avec l'Extrême Orient peut attaquer dans les meilleures conditions économiques les lignes de l'Atlantique ; de la même manière, les USLINES peuvent capitaliser leur trafic militaire captif entre les USA et l'Europe et à un degré moindre, leur position commerciale sur les lignes reliant les USA à l'Extrême Orient en attaquant dans la foulée le marché de la Far East Freight Conference grâce à un service tour du monde à rotation Est.

CHAPITRE II

LE CONTEXTE DU TRANSPORT MARITIME CONTENEURISE

Avec 900 MT. par an environ, soit 25 % du trafic océanique mondial en tonnage mais également 75 % de ce même trafic en valeur, le transport maritime de ligne représente pour tout armateur et notamment pour l'armateur français la part la plus noble de son activité. Il a notamment bien résisté dans son ensemble à la crise économique actuelle après avoir connu un fort développement soutenu par la mise en service des porte-conteneurs et des RO-RO. Il semble à peu près acquis aujourd'hui que la tendance à la conteneurisation ou plus généralement à l'unitisation du transport des marchandises générales soit un phénomène à peu près irréversible qui fait partie intégrante de la stratégie des armateurs.

Toutefois, par delà le phénomène de conteneurisation, on ne perçoit pas sur un horizon prévisible de nouvelles mutations technologiques, voire même de simples progrès techniques susceptibles de bouleverser à nouveau la structure économique du transport de ligne.

En effet, on constate actuellement que, la crise économique aidant, les potentialités apportées par les technologies existantes sont même plutôt sous-employées (ralentissement des navires en mer, attente aux ports encombrés, etc....).

Pourtant, les dangers qui menacent le transport de ligne sont là, qu'il s'agisse de la concurrence des pays de l'Europe de l'Est et notamment de l'U.R.S.S., qu'il s'agisse de l'émergence d'une flotte asiatique particulièrement agressive surtout sur le marché très prometteur de la zone Pacifique ou encore des exigences de P.V.D. en matière de réservation de cargaison au profit de leurs armements nationaux.

Face à ces menaces qui se matérialisent entre autres par une certaine guerre des prix, les grands armateurs internationaux se voient dans l'obligation de rechercher de nouvelles sources d'amélioration de leur performance.

~~Les potentialités du progrès technique ayant été à peu près épuisées, du moins sur le court moyen terme, c'est essentiellement du côté de l'organisation qu'il semble falloir se tourner.~~

Or, l'unitisation du transport, dans la mesure où elle se généraliserait porte en elle des possibilités d'amélioration dans ce domaine qui méritent d'être explorées.

L'étude a concerné justement un aspect plus spécifique mais essentiel des problèmes de management d'un armateur, à savoir celui de l'organisation de ses dessertes, à l'échelon mondial bien entendu.

Il semble en effet, à la lumière d'expériences récentes, voire même de projets en cours chez certains armateurs ("Tour du monde" des armateurs EVERGREEN, USLINES, et joint-venture NEPTUNE OOCL), et d'une certaine façon, par analogie avec ce qui s'est passé dans le transport terrestre, une remise en cause de la notion traditionnelle de desserte par ligne est en train de s'opérer et qu'elle est susceptible d'entraîner une modification sensible de la structure de coût et de la qualité de service à la clientèle avec bien entendu des incidences sur le plan commercial et tarifaire.

L'étude est partie d'un certain nombre de constatations :

- Attente dans les ports malgré la conteneurisation

On observe qu'un navire de charge classique passe presque plus de temps à attendre dans les ports qu'à naviguer. Ainsi la distance n'est pas le plus souvent l'élément prédominant du délai de livraison surtout avec les bateaux performants actuels.

Certes les gains de productivité en manutention qu'ont procurés la conteneurisation et le roulage de même que les mutations dues à l'informatisation et à l'automatisation ont sensiblement amélioré les choses notamment en matière de rupture de charge, mais, l'encombrement de ports mal équipés d'une part et la croissance des coûts rattachés à l'immobilisation de navires plus sophistiqués et de plus grande taille d'autre part font que le problème du sous-emploi capitalistique demeure.

- L'insuffisance du fret de retour

Le problème des taux de remplissage et plus spécifiquement du fret de retour est un problème permanent en transport, que le déséquilibre des flux aller-retour soit de caractère structurel ou simplement momentané. Ceci est patent actuellement avec les USA du fait de la cherté du dollar. Toutefois, en ce qui concerne le transport maritime, la rigidité de la ligne avec la Conférence qui l'exploite est telle que le problème se pose avec une acuité particulière et ce, en dépit de la multiplicité des escales.

Cette situation amène tout naturellement à songer à banaliser quelque peu les navires - par exemple en développant la conteneurisation pour des marchandises assimilables à du vrac pour pouvoir charger en retour les produits des PVD - ou à étendre le concept de ligne à celui du circuit triangulaire ou plus généralement multipolaire.

Outre les tours du monde déjà évoqués, des exemples de circuit de ce type existent ou ont existé déjà tel celui-ci de la Cie israélienne ZIM en Méditerranée ou celui de la Cie soviétique FESCO à propos du trafic triangulaire (USA côte ouest - Australie - Japon) sur le Pacifique.

- La mondialisation des échanges

Le développement extraordinaire de la zone Pacifique, notamment avec le Japon, les pays du Sud-Est asiatique et l'Australie refait prendre conscience que la terre est ronde et que les deux extrêmes du monde économique que sont le Far East et le Far West se rejoignent sur le Pacifique.

Dans ces conditions il était naturel de songer à des lignes maritimes qui reboucleraient sur elles-mêmes puisqu'après tout, comme il a été mentionné, la distance maritime ne constitue pas actuellement le facteur déterminant du délai de livraison des marchandises.

C'est ainsi qu'EVERGREEN, les USLINES et plus récemment NEPTUNE et OOCL en joint-venture se sont lancés dans l'aventure des tours du monde bien que le plus grand opérateur mondial SEA LAND y ait renoncé, du moins pour le moment. Les armateurs européens attendent de voir.

Cet ensemble de constatations amène à penser que le système traditionnel de desserte par ligne n'est peut-être plus adapté aux exigences d'un transport maritime futur très fortement conteneurisé et mondialisé et que de nouveaux systèmes de desserte, plus performants pourraient être imaginés dont le tour du monde, couplé ou non avec des systèmes feeders serait un exemple.

- Tendance au gigantisme des navires porte-conteneurs

On assiste actuellement à une course au gigantisme des navires porte-conteneurs dans la recherche éperdue de l'économie d'échelle. Le sommet est actuellement atteint avec les navires mis en service sur les lignes tour du monde :

- . 3.600 E.V.P. pour les bateaux des USLINES,
- . 2.728 E.V.P. pour les bateaux d'EVERGREEN.

N'y-a-t-il pas risque de surcapacité à l'horizon et ne se prépare-t-on pas à la même déconvenue que celle des supertankers ?

Le service tour du monde modifie-t-il l'équation d'équilibre entre offre et demande de transport maritime conteneurisé ?

CHAPITRE III

LE MODELE MATHEMATIQUE DE BASE DE L'ECONOMIE
DES NAVIGATIONS CIRCUMTERRESTRES
(HORS FEEDERS)

Le modèle mathématique construit a pour objet d'établir, moyennant un ensemble d'hypothèses détaillées ci-après, le coût moyen d'un mouvement de conteneur (E.V.P-voilage) face à un trafic à assurer, avec une qualité de service déterminée, selon chacun des quatre modes de desserte suivants :

- la liaison directe des ports deux par deux,
- le tour du monde dans un seul sens "one way",
- le tour du monde dans les deux sens "two ways",
- le tour du monde en "fer à cheval".

Outre le coût lui même, le modèle permet d'établir la taille des navires et la capacité de la flotte nécessaire en fonction du trafic.

Toutes les expressions mathématiques du modèle afferant à chacun des quatre modes de dessertes se trouvent rassemblées dans le tableau synoptique de la page 34.

Dans un second temps, en présence d'une dichotomie entre ports principaux et ports secondaires à desservir, le modèle a été étendu à l'étude de l'opportunité du *feeder* (cf. chapitre V) par comparaison entre :

- le coût global attaché au service omnibus,
- le coût global attaché à un système de *feeder* maritime entre ports principaux et ports secondaires

III.1 LES HYPOTHESES DU MODELE

1/ Les circuits maritimes

On appelle n le nombre de zones portuaires à desservir.

Les n zones sont supposées régulièrement réparties autour de la terre, la distance nautique entre deux zones successives étant égale à $\frac{L}{n}$

ou L est égale à longueur maritime circumterrestre (27000 mille nautiques environ).

La durée de navigation nécessaire pour relier deux zones portuaires successives que nous appelons Θ et la durée correlative d'un tour du monde maritime $n\Theta$ vont dépendre de la vitesse V des navires.

2/ Le trafic

Soit Φ le trafic exprimé en nombre d'E.V.P-voyages par an.

On supposera qu'il se répartit également sur toutes les lignes possibles reliant les ports deux à deux et qu'il est équilibré dans les deux sens :

$$= 2 C_n^2 \gamma = A_n^2 \delta$$

Ce trafic devra par ailleurs être acheminé avec une fréquence de service (décadaire, hebdomadaire ou,...) conduisant à une quantité q de conteneurs à transporter à chaque voyage d'un port à l'autre.

3/ La taille des navires et la flotte

Cette taille appelée K va dépendre :

- de la quantité d'E.V.P. q à charger/décharger pour chaque voyage intéressant une liaison déterminée ; cette quantité dépend du flux annuel et de la fréquence de desserte,
- du mode de desserte choisi ; en effet contrairement aux liaisons directes, les lignes tour du monde impliquent le chargement simultané à chaque port de cargaisons à destination de plusieurs autres ports, comme le déchargement simultané de cargaisons en provenance de ces autres ports, ce qui influence la taille des navires requis.

Ainsi donc, le triplet trafic, qualité de service, système de desserte détermine la taille K du navire, le taux de charge étant supposé égal à 100 %.

Par ailleurs, les navires qui composent la flotte nécessaire seront supposés identiques et leur nombre égal à N .

4/ La navigation maritime

Elle est déterminée en haute mer par la distance en mille nautiques et la vitesse en noeuds (entre 15 et 21 Noeuds). Toutefois l'approche des ports présente souvent un certain nombre de contraintes spécifiques géographiques ou règlementaires qui conduisent à une perte de temps fixe t par port (entre 4 et 10 h pour l'entrée-sortie)

5/ La manutention portuaire

Elle est déterminée par la cadence moyenne CAD de chargement/déchargement de conteneurs (de l'ordre de 30 conteneurs à l'heure dans un port des pays OCDE) supposée indépendante du port, du navire, du trafic et de la multiplicité des escales.

6/ Les données économiques

Elles concernent :

- le navire (investissement et exploitation),
- les conteneurs (investissement et exploitation),
- la manutention portuaire.

Les autres composantes de coût (frais commerciaux et droits portuaires notamment) n'interviennent pas dans le modèle car elles sont grosso modo indépendantes du mode de desserte retenu

a) Le navire

On appellera :

P coût d'investissement du navire qui dépend évidemment de la taille du navire (coque) et de la vitesse nominale d'exploitation (machinerie) (250 à 350 MF)

D durée d'amortissement (10 à 15 ans).

Cr running cost annuel couvrant l'entretien du navire (3 % environ du coût d'investissement **P**) et les coûts salariaux (8 MF environ) pour l'essentiel.

Co operating cost, surcroît de coût en cas de navigation, essentiellement la consommation de fuel dépendant non seulement de la taille du navire mais aussi et surtout de la vitesse de navigation. (à 15 noeuds, autour de 60 tonnes par jour à 180-200 \$ la tonne pour les portes-conteneurs géants).

b) Le conteneur

On considère le conteneur standard E.V.P. pour lequel on a :

le cout d'investissement (20.000 F environ).

la dureté d'amortissement (5 ans)

le coût d'exploitation, essentiellement de l'entretien, 1000 F par an environ.

Les coûts annuels Π/δ et ξ viennent se rajouter aux coûts correspondant de navires proportionnellement à la taille (nombre de "Slots") du navire supposé exploité à pleine charge.

Nous supposons donc par la suite que P et Cr concernent à la fois navires et conteneurs.

c) La manutention

Le coût moyen par unité de temps de manipulation des conteneurs CM est supposé constant (15000 à 20000 F/heure, soit pour une cadence de chargement/déchargement de 30 conteneurs à l'heure, 500 à 700 Francs par manipulation).

III.2 LE MODELE DE LIGNES DIRECTES ENTRE PORTS 2 PAR 2

a) Calcul d'une durée moyenne de navigation entre deux ports quelconques :

Cette durée oscille selon le couple de ports, entre un minimum de 0 quand ils sont successifs et un maximum de :

$$\frac{n-1}{2} \theta \text{ si } n \text{ impair}$$

$$\frac{n}{2} \theta \text{ si } n \text{ est pair}$$

s'ils sont situés aux antipodes l'un de l'autre.

Le temps moyen sera donc égal à :

$$\frac{\theta + 2\theta + \dots + \frac{n-1}{2} \theta}{\frac{n-1}{2}} \text{ si } n \text{ est impair}$$

$$\frac{\theta + 2\theta + \dots + \frac{n\theta}{2}}{\frac{n}{2}} \text{ si } n \text{ est pair}$$

Soit

$$\bar{\theta} = \frac{n+1}{4} \theta \quad \text{si } n \text{ est impair}$$

$$\bar{\theta} = \frac{n+2}{4} \theta \quad \text{si } n \text{ est pair}$$

b) Calcul de la taille du navire :

Elle est liée aux quantités à charger et décharger à chacun des deux ports par voyage aller retour.

En ligne directe, on a de toute évidence :

$$K = q$$

Calcul des heures naviguées par cycle de desserte :

C'est la somme des durées de trajet aller-retour pour tous les couples de ports :

$$n(n-1) \left(\frac{n+1}{4} \theta + t \right) \quad \text{si } n \text{ est impair}$$

$$n(n-1) \left(\frac{n+2}{4} \theta + t \right) \quad \text{si } n \text{ est pair}$$

Expression du flux de trafic à l'année, \bar{d} :

Il s'agit de passer pour chaque navire du trafic par voyage au trafic à l'année compte tenu de la durée du voyage aller-retour (navigation, approche des ports, immobilisation au chargement/déchargement) pour les navires identiques qui composent la flotte on aura :

$$= N \frac{2K}{2(\theta+t) + \frac{4K}{CAD}} = \frac{NK}{(\theta+t) + \frac{2K}{CAD}}$$

La capacité de la flotte est parallèlement donnée par l'expression :

$$NK = \Phi \left[\bar{\Theta} + t + \frac{2K}{CAD} \right]$$

L'expression montre que cette capacité en slots doit être égale au flux mondial de trafic à écouler pendant la durée moyenne d'une liaison directe aller simple entre deux ports, temps d'immobilisation compris.

e) Coût à l'année :

Il comprend le coût des navires, soit :

$$N \cdot \left(\frac{P}{D} + C_r + C_o \frac{2(\bar{\Theta} + t)}{2(\bar{\Theta} + t) + \frac{4K}{CAD}} \right)$$

expression dans laquelle on voit bien que l'opérating cost C_o n'est supporté que pendant le temps de navigation et d'approche seulement.

Il comprend également le coût de la manutention :

$$C_M \times \left(2 \frac{\Phi}{CAD} \right)$$

produit du coût par unité de temps par le temps de manutention qui dépend du flux à assurer et de la cadence, le coefficient 2 exprimant que chaque mouvement de conteneur donne obligatoirement lieu à un chargement et un déchargement.

f) Coût à l'EVP voyage :

$$= \frac{N}{\Phi} \left(\frac{P}{D} + C_r + C_o \frac{\bar{\Theta} + t}{\bar{\Theta} + t + \frac{4K}{CAD}} \right) + \frac{2C_M}{CAD}$$

Remplaçant Φ par son expression et en développant, on obtient :

$$\Gamma = \frac{P/D + C_r + C_o}{K} (\bar{\Theta} + t) + (P/D + C_r) \frac{2}{CAD} + \frac{2C_M}{CAD}$$

g) Interprétation de la fonction de coût Γ :

Cette fonction de coût à l'EVP voyage présente une structure intéressante, en ce sens qu'elle se décompose en trois termes :

- 1er terme :
$$\frac{P/D + C_r + C_o}{K} (\bar{\theta} + t)$$

correspondant au coût de la traction maritime et présentant une potentialité d'économie d'échelle du fait de la présence de la taille K au dénominateur de l'expression.

- 2ème terme :
$$(P/D + C_r) \frac{2}{CAD}$$

correspondant au coût d'immobilisation du navire au port pendant les opérations de chargement et déchargement et présentant au contraire une potentialité de déséconomie d'échelle ; ce terme est par ailleurs dépendant de l'efficacité portuaire au travers de la cadence de manipulation CAD.

- 3ème terme :
$$\frac{2CM}{CAD}$$

correspondant au coût de la manutention proprement dite, et dépendant directement de la cadence CAD qui a été supposée indépendante de la taille du navire.

h) Existence d'une taille optimale de navire K^* :

Le caractère antagoniste du coût de traction maritime et du coût d'immobilisation du navire vis-à-vis de l'économie d'échelle laisse supposer l'existence d'une taille optimale qui va dépendre de la sensibilité des fonctions de coût P , C_r et C_o par rapport à la taille du navire.

C'est là que va se jouer l'opportunité du gigantisme.

Rappelons toutefois que la conjonction d'un trafic à assurer et d'une fréquence de desserte détermine la taille des navires et que si l'armateur souhaite se rapprocher d'une taille optimale éventuelle, il lui faudrait moduler en conséquence sa fréquence de desserte, sous réserve que cela soit commercialement supportable.

LE MODELE DE LIGNE TOUR DU MONDE A UN SEUL SENS "ONE WAY"

a) Calcul de la taille du navire

Le navire doit avoir en charge en permanence les conteneurs relatifs aux mouvements depuis chacun des ports situés à l'arrière du navire dans le sens giratoire, à destination de tous les ports situés à l'avant du navire dans le sens giratoire, soit

C_n^2 fois le chargement unitaire

Ainsi :

$$K = C_n^2 q$$

On constate, à flux total égal qu'entre la liaison directe et le tour du monde one way, il est nécessaire de faire grossir le navire d'un facteur

$$C_n^2 = \frac{n(n-1)}{2}$$

b) Heures naviguées par cycle de desserte

C'est évidemment ici la durée de navigation circumterrestre, soit :

$$n (\theta + t)$$

c) Expression du flux de trafic à l'année et de la capacité de la flotte

A chaque tour, le navire assure évidemment la liaison de tous les ports pris deux à deux et donc le transport des deux cargaisons q dans un sens et dans l'autre, soit au total :

$$2 C_n^2 q$$

Quant à la durée du voyage, elle est égale à $n (\theta + t)$

L'expression du flux est donc :

$$\Phi = \frac{2 C_n^2 q}{n(\theta + t) + \frac{4 C_n^2 q}{CAD}}$$

Remarquant que

$$K = C_n^2 q$$

on obtient :

$$\Phi = N \frac{2 K}{n(\theta + t) + \frac{4K}{CAD}} = \frac{NK}{\frac{n(\theta + t)}{2} + \frac{2 K}{CAD}}$$

parallèlement la capacité de la flotte sera :

$$NK = \Phi \left[\frac{n(\theta + t)}{2} + \frac{2 K}{CAD} \right]$$

L'analogie de ces deux expressions avec celles correspondant aux lignes directes est frappante.

On retrouve ici la liaison entre flux global et capacité de flotte au travers d'une durée moyenne d'un trajet aller simple liant deux ports comprenant le temps de navigation (ici un demi tour du monde contre un quart de tour environ en liaison directe) et le temps d'immobilisation aux ports du fait du trafic tiers.

Ainsi, à trafic mondial égal, le service tour du monde implique une plus grande capacité de flotte, tant à cause de l'allongement du trajet moyen liant deux ports, qu'à cause de la plus longue immobilisation aux ports pour chargement/déchargement de cargaisons tierces.

Le lancement d'un service tour du monde implique donc un surcroît d'offre de slots qui ne traduit nullement une rupture d'équilibre entre offre et demande, comme le laisserait supposer le simple rapprochement des capacités de slots avec flux de trafic.

Notons également l'inconvénient commercial d'une durée de navigation des cargaisons, en moyenne deux fois plus longue et qui peut dans certains cas devenir redhibitoire (liaison directe en sens inverse du sens giratoire du bateau).

d) Coût à l'année

Un raisonnement analogue au cas précédent conduit à l'expression :

$$N \left(\frac{P}{D} + Cr + Co \frac{n(\theta + t)}{n(\theta + t) + \frac{4K}{CAD}} \right) + 2 CM \frac{\Phi}{CAD}$$

e) Coût à l'EVP-voyage

Ce coût s'obtient par rapprochement avec l'expression du flux de trafic en fonction de la capacité de la flotte, soit :

$$\frac{P/D + Cr + Co}{K} \frac{n(\theta + t)}{2} + (P/D + Cr) \frac{2}{CAD} + \frac{2CM}{CAD}$$

La structure de la fonction de coût est tout à fait analogue à celle du cas précédent, avec l'expression des trois composantes :

- coût de traction maritime,
- coût d'immobilisation au port,
- coût de manutention,

à ceci près que :

- la taille du bateau K étant plus élevée, l'économie d'échelle potentielle est plus à même de jouer sur le coût de traction maritime, ceci étant toutefois compensé en partie par l'allongement du voyage ;
- en sens inverse, l'immobilisation au port est plus longue, donc plus coûteuse, ce qui implique la plus grande attention dans la sélection des ports d'escale qui devront être aussi performants que possible (CAD élevé) ;

- enfin, le coût de la manutention n'a pas changé. Ceci implique en particulier une bonne maîtrise des problèmes de "shifting de conteneurs" que va engendrer la complexification du chargement de navires plus gros à destinations multiples.

LE MODELE DE LIGNE TOUR DU MONDE DANS LES DEUX SENS "TWO WAYS"

a) Calcul de la taille du navire

A la différence du tour du monde "one way", les chargements à un port donné vont être alloués entre les bateaux navigant Ouest et les bateaux navigant Est selon le sens giratoire conduisant à la distance la plus courte. Les navires seront donc plus petits et plus nombreux.

Cette taille est déterminée par le fait qu'à tout instant, un navire est chargé de toutes les cargaisons en provenance des ports situés derrière lui, et à destination des ports situés devant lui, sous réserve que les distances restent inférieures ou égales à :

$\frac{n-1}{2}$ intervalles si n est impair,

$\frac{n}{2}$ intervalles si n est pair,

c'est à dire grosso modo, un demi-tour du monde.

Prenons par exemple le cas de n impair et énumérons les cargaisons :

- 1 seule cargaison en provenance du port distant à l'arrière de

$\frac{n-1}{2}$ intervalles à destination du port qui suit,

- 2 cargaisons en provenance de port distant à l'arrière de

$\frac{n-1}{2} - 1$ intervalles à destination des deux ports qui suivent

- $\frac{n-1}{2}$ cargaisons en provenance du port précédent à destination
des $\frac{n-1}{2}$ ports qui suivent, soit au total

$$1 + 2 + \dots + \frac{n-1}{2} \text{ cargaisons } q$$

ce qui fait :

$$\frac{(n-1)(n+1)}{8} \text{ cargaisons } q$$

Donc la taille du navire est donné par l'expression :

$$K = \frac{(n-1)(n+1)}{8} q$$

On vérifie que ces bateaux sont plus petits que ceux du tour du monde "one way", mais quand même plus grands que ceux du service en lignes directes.

b) Calcul des heures naviguées par cycle de desserte

C'est ici évidemment égal à deux navigations circumterrestres, soit :

$$2n(\theta + t)$$

c) Expression du flux de trafic à l'année et de la capacité de la flotte

Pendant un tour du monde, un bateau n'assure que la moitié du trafic mondial, soit :

$$\frac{n(n-1)}{2} q$$

c'est-à-dire par an :

$$\frac{\frac{n(n-1)}{2} q}{n(\theta + t) + \frac{n(n-1)q}{CAD}}$$

Les N bateaux, moitié dans un sens et moitié dans l'autre sens assureront tout le trafic, soit :

$$\Phi N = \frac{\frac{n(n-1)}{2} q}{n(\theta + t) + \frac{n(n-1)}{CAD} q}$$

Compte tenu de l'expression de la taille K en fonction de q et de la capacité de la flotte, cela donne

$$\Phi = \frac{K}{\frac{(n+1)}{4} (\theta + t) + \frac{2K}{CAD}}$$

On retrouve des expressions identiques au cas de la liaison directe, à la différence près que K est ici

$$\frac{(n-1)(n+1)}{8} \text{ fois}$$

plus gros et que le temps de navigation ne s'allonge que du seul fait des touchers intermédiaires, puisque les cargaisons empruntent le sens giratoire conduisant à la plus courte distance naviguée, c'est-à-dire celle de la liaison directe.

d) Coût à l'année

Un raisonnement analogue aux cas précédents conduit à l'expression :

$$N \left(P/D + C_r + C_o \frac{n(\theta + t)}{n(\theta + t) + \frac{n(n-1)q}{CAD}} + 2 C_M \frac{\Phi}{CAD} \right)$$

e) Coût à l'EVP-voyage

Toujours grâce au rapprochement avec l'expression du flux de conteneurs, on tire le coût à l'EVP-voyage :

$$\Gamma = \frac{P/D + Cr + Co}{K} \frac{n+1}{4} (\theta + t) + (P/D + Cr) \frac{2}{CAD} + \frac{2CM}{CAD}$$

Expression tout aussi analogue aux précédentes et faisant apparaître les trois composantes de coût :

- coût de traction maritime sur lequel l'effet d'économie d'échelle est intermédiaire entre le "direct" et le "one way", mais avec cette fois une durée moyenne de voyage des cargaisons égale à celle du "direct", soit un quart de tour environ,
- coût d'immobilisation au port avec un effet de déséconomie d'échelle lui aussi intermédiaire,
- coût de manutention, insensible au mode de desserte.

LE MODELE DE LIGNE TOUR DU MONDE EN FER A CHEVAL

Ici, pour des raisons diverses, qui peuvent être techniques, économiques ou politiques, les navires "reviennent sur leurs pas" pour éviter la liaison particulière entre deux ports successifs.

Il s'agit essentiellement du canal de Panama et pour certains armateurs (Israéliens en particulier) du Canal de Suez.

Les navires font alors demi-tour.

Notons que pour les ports dont la connexion "n'enjambe" pas le passage interdit, ce service est strictement équivalent à un tour du monde "two ways". Par contre, pour les connexions qui auraient pu emprunter la liaison interdite, elles doivent être assurées dans l'autre sens et donc rallongées.

a) Taille des navires

Contrairement aux trois cas précédents, il n'y a pas dans le service "fer à cheval" un niveau permanent de chargement du navire.

Celui-ci en effet se vide d'autant plus qu'il se rapproche de la zone interdite, et se charge en cargaison d'autant plus qu'il s'en éloigne.

La taille sera donc déterminée par le niveau maximal de chargement, lequel survient à mi-parcours d'une rotation.

A ce stade du voyage, le bateau a en charge toutes les cargaisons en provenance des ports situés derrière lui, à destination de tous les ports situés devant lui, soit :

$$K = \frac{n}{2} \times \frac{n}{2} \times q \quad \text{si } n \text{ est pair}$$

$$K = \frac{(n+1)}{2} \times \frac{n-1}{2} \times q \quad \text{si } n \text{ est impair}$$

La taille du navire K apparaît ainsi comme devoir être deux fois plus grande que pour le "two ways" du fait du passage interdit. Mais elle reste inférieure à celle du navire "one way".

b) Heures naviguées par cycle de service

Elle correspondent à deux navigation circumterrestres incomplètes, soit :

$$2(n-1)(\theta + t)$$

c) Expression du flux de trafic à l'arrière et de la capacité de la flotte

Pendant un "fer à cheval" complet dont la durée de navigation est égale à $2(n-1)(\theta + t)$, le bateau assure la livraison de toutes les cargaisons entre ports pris deux par deux, aller et retour, soit :

$$n(n-1)q \text{ cargaisons}$$

On a donc :

$$\Phi = \frac{n(n-1)q}{2(n-1)(\theta+t) + \frac{2n(n-1)}{\text{CAD}}} \quad q$$

soit en tenant compte de la taille K du navire

$$\Phi = \frac{4 \frac{n}{n+1} K}{2(n-1)(\theta+t) + \frac{8n}{n+1} \frac{K}{\text{CAD}}} = \frac{NK}{\frac{1}{2} \frac{n(n-1)}{n+1} (\theta+t) + \frac{2K}{\text{CAD}}}$$

avec une taille de flotte :

$$NK = \Phi \left[\frac{n(n-1)}{2(n+1)} (\theta+t) + \frac{2K}{\text{CAD}} \right]$$

Ainsi, sur cette dernière formule, la durée d'acheminement d'une cargaison apparaît être celle du "one way", c'est-à-dire un demi tour du monde, réduit toutefois dans le rapport :

$$\frac{n-1}{n+1}$$

qui est d'autant plus négligeable que n est grand.

D'une manière générale, on peut remarquer que le "fer à cheval" perd sur tous les tableaux par rapport aux deux autres services tour du monde, en ce sens qu'il profite moins bien que le "one way" d'un effet d'économie d'échelle éventuelle, tout en ayant l'inconvénient d'une durée d'acheminement à peu près égale, c'est-à-dire deux fois plus longue que pour le "two ways".

d) Coût à l'année

Un raisonnement analogue que pour les cas précédents conduit à :

$$N \left(\frac{P/D + C_r + C_o}{2(n-1)(\theta+t) + \frac{8n}{n+1} \frac{K}{CAD}} \right) + 2 C_M \frac{\Phi}{CAD}$$

e) Coût à l'EVP-voyage

Toujours grâce au rapprochement avec l'expression du flux de conteneurs, on peut établir le coût à l'EVP-voyage, soit :

$$\Gamma = \frac{P/D + C_r + C_o}{K} \frac{n(n-1)}{2(n+1)} (\theta+t) + (P/D + C_r) \frac{2}{CAD} + \frac{2C_M}{CAD}$$

expression où l'on retrouve encore les trois composantes de coût, à savoir :

- le coût de traction maritime avec un effet d'économie d'échelle intermédiaire entre les deux autres services tour du monde, mais une durée moyenne de voyage des cargaisons comparable à celle du "one way", c'est-à-dire environ deux fois plus longue que celle du "two ways" ou du direct,
- le coût d'immobilisation au port avec un effet de déséconomie d'échelle lui aussi intermédiaire,
- le coût de manutention indépendant au mode de service.

f) Remarque sur les "bridges"

La liaison interdite (volontairement ou non) peut en fait ne pas être aussi rigide en ce sens qu'une connexion de substitution (terrestre, voire même aérienne), peut parfois être envisagée (cas de la liaison terrestre entre côte Est et côte Ouest des USA ou de la liaison terrestre transibérienne pour les trafics en direction de l'Extrême Orient).

On peut imaginer plusieurs cas, depuis le minibridge limité aux cargaisons intéressant les seuls ports limitrophes de la liaison maritime directe interdite, jusqu'au landbridge qui, moyennant transbordement dans ces deux ports, permet d'assurer la continuité de la voie maritime.

Il convient de noter qu'en présence d'un landbridge, le service "fer à cheval" devient pratiquement assimilable à celui d'un "two ways" qui doit supporter les frais de transbordement et de transit terrestre mais qui économise en contrepartie une liaison maritime.

Cette dernière solution n'est pas à écarter à long terme, pour le canal de Panama au cas où les économies d'échelle provenant de la levée de la contrainte PANAMAX seraient suffisants pour compenser le surcoût dû au landbridge.

FORMULATION MATHÉMATIQUE

TABLEAU COMPARATIF DES QUATRE MODES D'EXPLOITATION

	FLUX GLOBAL en EVP VOYAGES PAR PERIODE	TAILLE DES BATEAUX K	HEURES NAVIGUÉES PAR PERIODE	DURÉE MOYENNE D'UNE LIAISON	HEURES IMMOBILISÉES AU DECHARG ^t CHARG ^t PAR PERIODE	CAPACITE DE LA FLOTTE TRAFFIC	COUT A L'EVP VOYAGE
LIAISONS DIRECTES 2 à 2	$n(n-1)q$	q	$\frac{n(n-1)(n+1)}{4} \theta$	$\frac{(n+1)\theta}{4}$	$\frac{2n(n-1)q}{CAD}$	$\left[\frac{n+1}{4} + \frac{2K}{CAD} \right]$	$\frac{2C_M}{CAD} + \frac{\frac{P}{D} + C_0 + C_r}{K} \frac{n+1}{4} \theta + \left(\frac{P}{D} + C_r \right) \frac{2}{CAD}$
TOUR DU MONDE ONE WAY	$n(n-1)q$	$\frac{n(n-1)q}{2}$	$n\theta$	$\frac{n\theta}{2}$	$\frac{2n(n-1)q}{CAD}$	$\left[\frac{n\theta}{2} + \frac{2K}{CAD} \right]$	$\frac{2C_M}{CAD} + \frac{\frac{P}{D} + C_0 + C_r}{K} \frac{n\theta}{2} + \left(\frac{P}{D} + C_r \right) \frac{2}{CAD}$
TOUR DU MONDE TWO WAYS	$n(n-1)q$	$\frac{1}{8}(n+1)(n-1)q$	$2n\theta$	$\frac{(n+1)\theta}{4}$	$\frac{2n(n-1)q}{CAD}$	$\left[\frac{n+1}{4} + \frac{2K}{CAD} \right]$	$\frac{2C_M}{CAD} + \frac{\frac{P}{D} + C_0 + C_r}{K} \frac{n+1}{4} \theta + \left(\frac{P}{D} + C_r \right) \frac{2}{CAD}$
FER A CHEVAL	$n(n-1)q$	$\frac{1}{4}(n+1)(n-1)q$	$2(n-1)\theta$	$\frac{(n-1)(n+1)\theta}{2n}$	$\frac{2n(n-1)q}{CAD}$	$\left[\frac{(n-1)(n+1)\theta}{2n} + \frac{2K}{CAD} \right]$	$\frac{2C_M}{CAD} + \frac{\frac{P}{D} + C_0 + C_r}{K} \frac{(n-1)(n+1)\theta}{2n} + \left(\frac{P}{D} + C_r \right) \frac{2}{CAD}$

NB : Le temps de navigation θ , inclut le temps d'accès au port t

CHAPITRE IV

ETUDE COMPARATIVE DES DIVERS
MODES DE DESSERTE DIRECTE ET CIRCUMTERRESTRE

IV.1 PREMIERES CONCLUSIONS ISSUES DE LA SEULE FORMALISATION MATHEMATIQUE

L'examen du tableau synoptique de la page ??? est à lui seul particulièrement instructif, quant à l'intérêt économique comparatif des divers modes de desserte.

Il apparaît tout d'abord que, par rapport aux lignes directes, les services circumterrestres requièrent des navires plus gros du fait de la mutualisation des lignes qu'ils impliquent.

Ces services nécessitent également, à trafic égal, des capacités de flotte plus importantes ; ceci pour deux raisons :

- le caractère omnibus de ces lignes implique pour les conteneurs des passages et attentes supplémentaires à des ports tiers qui ne les concernent pas,
- l'allongement du transport moyen entre le port d'origine et le port de destination. Ceci est surtout valable pour le "one way" et le "fer à cheval".

~~Cette surcapacité de la flotte correspond en fait à un besoin de stockage supplémentaire en mer. Le surcoût qu'elle engendre est toutefois compensé par le fait que les heures navigées sont globalement moins nombreuses et qu'un effet d'économie d'échelle joue sur l'exploitation des navires.~~

Cependant, sur le plan de la qualité de service, les dessertes circumterrestres "one way" ou "fer à cheval" présentent l'inconvénient de rallonger sensiblement (de l'ordre du doublement) le temps moyen d'acheminement des cargaisons ce qui, pour certaines liaisons, à contre-sens du sens giratoire dans le "one way" ou enjambant la voie interdite pour "le fer à cheval", peut être commercialement inacceptable.

Si elles mettent bien en évidence les composantes majeures du problème, les premières conclusions ci-dessus restent éminemment qualitatives et ne débouchent pas sur une hiérarchisation des divers modes de desserte qui dépend des valeurs numériques des paramètres du modèle. Une illustration chiffrée réaliste de ce modèle a donc été nécessaire pour étayer ces conclusions et les étendre à des aspects plus contingents.

Il est important de noter cependant, qu'en dépit de cet effort de quantification, la réalité économique du phénomène ne saurait être suffisamment cernée si :

- d'une part, n'était examiné le problème du "feederling" que beaucoup d'armateurs associent fréquemment au service tour du monde,
- d'autre part, n'était analysée l'incidence de l'hypothèse très forte de l'égalité et de l'équilibre aller-retour des trafics ; c'est-à-dire notamment le problème du repositionnement des conteneurs vides.

C'est pourquoi ces deux aspects ont été également abordés dans notre analyse aux chapitres V et VI.

IV.2 LES DONNEES TECHNIQUES ET ECONOMIQUES SERVANT DE BASE AU CHIFFRAGE DU MODELE

Les données servant de support au chiffrage du modèle peuvent être classées en deux catégories :

- les données physiques,
- les données économiques.

Les données physiques

On distinguera :

1/ le trafic :

Exprimé en E.V.P-voyages, le trafic est resté paramétré dans le chiffrage. Cela signifie que l'on a cherché à mettre en évidence l'incidence de l'importance du trafic sur les caractéristiques de la desserte et notamment :

- la taille du navire,
- la capacité de la flotte,
- le coût à l'E.V.P-voyage.

Grâce à ce mode d'approche, notre analyse de coût peut aussi bien s'appliquer à un armateur particulier qu'à un consortium voire même au cas (utopique bien sûr) d'un monopole mondial.

Selon des sources statistiques autorisées, le trafic mondial en 1985 exprimé en nombre de mouvements aux ports se situerait autour de :

40 millions d'E.V.P.

Sachant que l'E.V.P.-voyage implique à la fois un chargement et un déchargement d'une part, et que d'autre part, le chiffre ci-dessus inclut les mouvements de boîtes vides, on peut estimer le trafic mondial en charge à :

14 M E.V.P-voyages environ

La part des trafics Nord-Nord peut être estimée aux deux tiers environ de ce total, soit

9 M E.V.P-voyages

Si l'on considère maintenant les grands armateurs opérant sur les lignes Nord Nord comme par exemple :

USLINES (USA), EVERGREEN (Taïwan), SEA LAND (USA), HAPAG LLOYD (RFA), MAERSK (Danemark) et NEDLLOYD (Hollande), on peut situer leur part de marché respective dans une fourchette de 3 à 7 % environ, soit très grossièrement :

0.3 à 0.6 M E.V.P-voyages

avec évidemment des positions commerciales respectives très différenciées selon celle des dix lignes maritimes principales qui composent le trafic Nord Nord.

2/ La navigation

a) le circuit maritime

Un circuit maritime type a été envisagé, qui passe par les côtes Est et Ouest des USA via le canal de Panama, par les faces Nord Ouest et Méditerranée de l'Europe via le détroit de Gibraltar, et qui atteint l'Extrême Orient en passant par le Golfe via le canal de Suez.

Un tel circuit représente un nombre de zones portuaires à desservir égal à 5 (USA Côte Ouest, USA Côte Est, Europe, Golfe Persique et Extrême Orient) et une distance maritime se situant entre 26.000 et 27.000 milles nautiques.

b) la vitesse de navigation en haute mer

Elle est restée paramétrée dans notre modèle mais l'analyse a porté sur une fourchette de valeurs allant de 15 nœuds à 20,5 nœuds.

c) les touchers portuaires

Les durées de navigation à l'approche des grands ports se situent entre 4 heures et 10 heures, entrée, sortie. Pour les cinq grands ports principaux correspondant aux cinq zones à desservir, on a donc retenu un temps supplémentaire moyen de 1,5 jour. Toutefois, pour le cas d'un service omnibus comportant plusieurs ports secondaires par zone, il faut tenir compte des temps de détournement qui requièrent cette fois 2 jours par port de destination supplémentaire.

3/ Les performances portuaires

Elles se concentrent essentiellement dans notre modèle sur la cadence de chargement déchargement que nous avons prise égale à 30 conteneurs à l'heure.

Ce chiffre est en réalité une moyenne sur tous les ports de la zone Nord, tenant compte des cadences normales des portiques, du nombre de portiques pouvant travailler simultanément sur les navires et des impératifs de shifting qu'impliquent les plans de chargement des navires.

Rappelons qu'il a été supposé dans notre modèle que cette cadence qui n'était qu'une moyenne ne dépendait ni du port, ni du navire, ni du trafic, ni de la multiplicité des escales.

4/ La fréquence de desserte

Deux fréquences types de desserte ont été examinées :

- la fréquence décadaire,
- la fréquence hebdomadaire.

Sous la pression de la concurrence entre armateurs, on note de plus en plus une tendance au passage à la fréquence hebdomadaire.

Les données économiques

Elles portent sur les navires, les conteneurs et l'activité portuaire au chargement, déchargement.

1 Les navires :

- Le coût d'investissement en navires

Ce coût est évidemment tributaire du contexte économique du moment et on sait que les prix sont aujourd'hui particulièrement bas compte tenu de la capacité excédentaire mondiale dans la construction navale et de la concurrence très forte en provenance des chantiers asiatiques, notamment coréens.

Toutefois, c'est moins le niveau absolu du prix des navires qui est pertinent pour notre problème que la sensibilité de ce prix à la taille d'une part et au mode d'exploitation, c'est-à-dire à la vitesse, d'autre part.

En effet, si la taille a une influence évidente, notamment sur l'importance de la coque, la vitesse, elle, a une influence au travers de la machinerie. Par ailleurs ces influences sont loin d'être linéaires.

On sait, sur un plan purement qualitatif, qu'il existe un effet d'économie d'échelle sur le coût de la construction et que cet effet est limité actuellement par la contrainte du canal de Panama. On sait également que la recherche d'une vitesse nominale élevée a une influence plus que proportionnelle sur le coût de la machinerie.

Nous nous sommes inspirés des études faites chez un armateur français pour quantifier le prix international du navire porte-conteneurs intégral qui, en fonction de la taille et de la vitesse, évoluerait en toute première approximation selon la loi ci-après :

$$P = 0,45 K^{0,8} + 0,5 V^2 - 6,85 V$$

Cette formule traduit bien les phénomènes d'échelle évoqués ci-avant et nous l'avons introduite dans le modèle.

A titre indicatif, pour les couples de valeurs taille x vitesse usuels pour les porte-conteneurs intégraux, on obtient les prix suivants :

PRIX des NAVIRES EN MF

Taille Vitesse	1200	2728	3600
15	140	262	324
18	169	291	354
20,5	200	322	385

Pour ce qui concerne l'incidence en termes de coût annuel, nous avons supposé que l'amortissement devait être calculé sur une durée de vie de :

$$D = 15 \text{ ans}$$

tout en faisant une analyse de sensibilité pour $D = 10$ ans seulement.

Parallèlement, nous n'avons pas tenu compte du coût du capital dont l'effet sur les résultats du modèle est le même que celui d'une durée de vie plus courte (la charge financière venant alourdir le charge d'amortissement).

• Le "running cost" du navire

Il s'agit du coût d'exploitation d'un navire armé mais non navigant. Les composants essentiels sont :

- le personnel navigant dont le coût annuel international a été supposé égal à 8 MF, et ce indépendamment de la taille du navire ;
- la maintenance dont le coût annuel est estimé à 3 % du prix d'acquisition.

• L' "operating cost" du navire

Il s'agit du surcoût d'exploitation qu'implique la navigation du navire, c'est-à-dire pour l'essentiel la consommation de fuel.

Cette consommation dépend bien sûr de la taille du navire mais aussi et surtout de la vitesse de navigation.

Selon les études de ce même armateur français, la consommation de fuel en tonnes par jour pourrait être reliée aux deux paramètres évoqués, selon la loi approximative ci-après :

$$\left(6,84 + 3,26 \frac{K}{1000} \right) V^3 \times 10^{-3}$$

A titre indicatif, cela donnera pour des couples usuels de paramètres taille et vitesse les résultats ci-après :

CONSOMMATION DE FUEL EN TONNES/JOUR

Vitesse \ Taille	1200	2728	3600
15	36,3	53,2	62,69
18	62,7	91,7	108,3
20,5	92,6	1355	160

D'autre part, le prix du fuel lourd n° 2 habituellement utilisé comme bunker a été pris égal à 1800 F par tonne.

2 Les conteneurs

On distingue le coût d'investissement et son incidence annuelle et le coût d'exploitation, essentiellement un coût de maintenance. Quant aux coûts de manipulations, nous les rattachons plutôt aux frais portuaires.

- Coût d'investissement

Nous considérons seulement le conteneur ISO Standard Equivalent 20 pieds aux dimensions suivantes :

- . longueur : 20 pieds
- . hauteur : 8 pieds 6 pouces
- . largeur : 8 pieds

Les autres conteneurs, notamment les 40 pieds étant ramenés à leur équivalents 20 pieds.

Le coût retenu a été de :

20.000 Francs la boîte

à amortir sur une durée de vie de 5 ans.

- Coût annuel de maintenance

Ce coût est estimé à 5 % du prix du conteneur, soit grosso modo :

1.000 Francs par an et par boîte

3 Les frais portuaires

Le coût de manutention chargement ou déchargement d'un conteneur oscille entre 400 F et 800 F par boîte selon les ports ; nous avons retenu le chiffre moyen de 500 F par manipulation

Nous avons par extension considéré qu'un transbordement était équivalent à deux manipulations et coûtait par conséquent :

1.000 F par boîte transbordée

A tort ou à raison, nous n'avons pas tenu compte des droits portuaires dont on sait qu'ils se situent dans une fourchette assez large allant pour les gros porte-conteneurs entre 18.000 F à Gênes à 160.000 F à Baltimore en passant par 65.000 F à Marseille et 80.000 à Anvers.

Nous avons donc implicitement supposé que ces frais dépendent plus du nombre de mouvements de conteneurs que du nombre de touchers ou du nombre de slots qui accostent.

De toutes façons, les coûts portuaires ne représentent qu'un ordre de grandeur de 50 F par EVP voyage.

Ne dépendant que de la fréquence des passages, les frais de canal que l'on situe pour le gros porte-conteneur à :

748.000 F à Suez,
558.000 F à Panama,

ont été laissés de côté également.

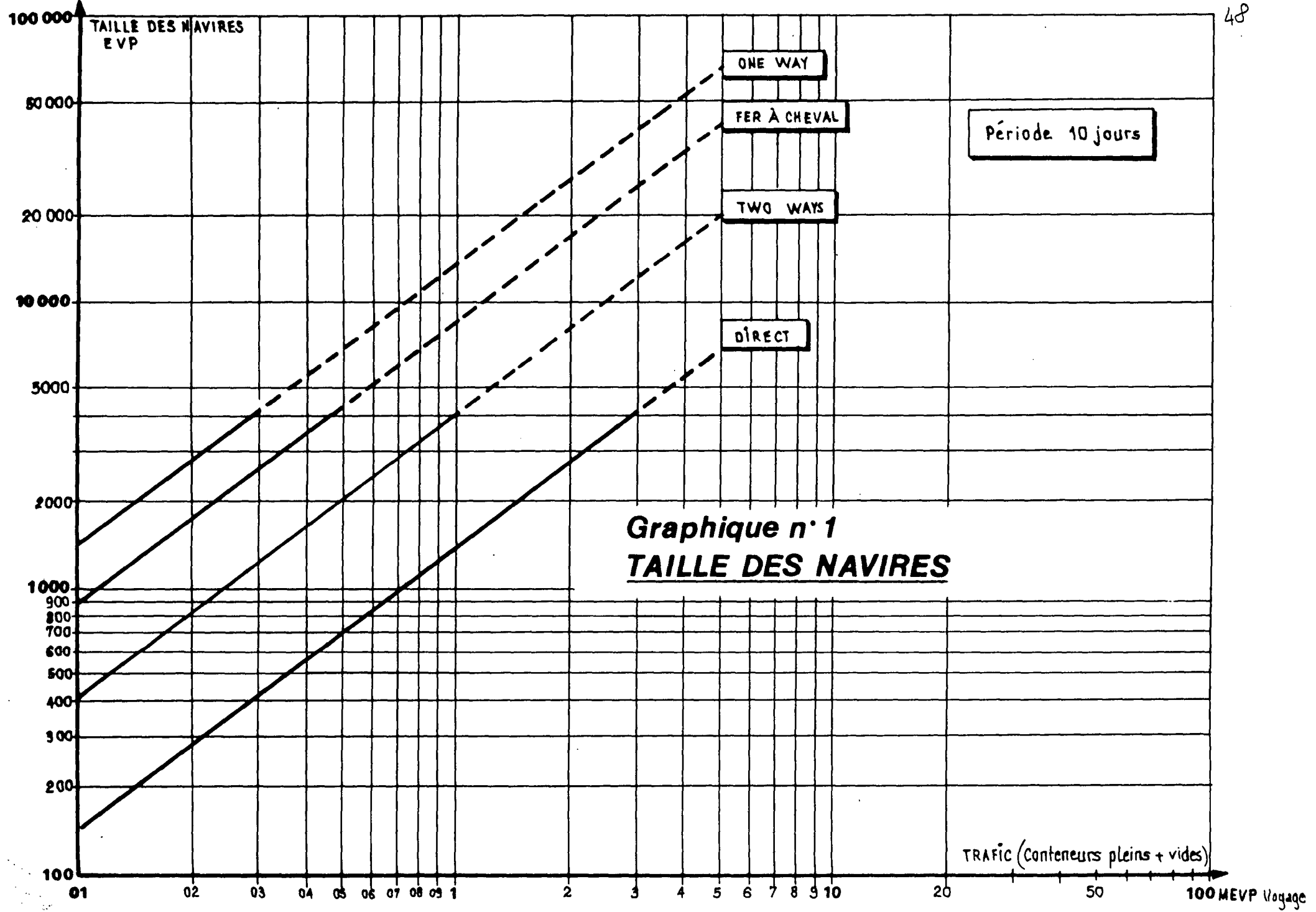
Il va de soi qu'ils interviennent cependant dans l'appréciation de la rentabilité d'une desserte en "fer à cheval".

L'incidence économique des droits de port et de canal sur les divers modes de desserte a toutefois fait l'objet d'une analyse de sensibilité.

4 Autres frais

Les autres frais n'ont pas été pris en compte dans le modèle, soit parce qu'ils sont négligeables, soit parce qu'ils ne dépendent pas du mode de desserte.

C'est le cas des frais commerciaux qui représentent à eux seuls près de 25 % des coûts totaux mais qui de toute évidence dépendent des ports desservis mais pas du mode de desserte.



IV.3 ETUDE COMPARATIVE A PARTIR DU CHIFFRAGE DU MODELE

Cette étude comparative, graphiques à l'appui, a porté sur :

- la taille des navires,
- la capacité de la flotte,
- le coût à l'E.V.P-voyage,

en fonction du trafic global à assurer.

1/ La taille des navires

Les expressions mathématiques montraient déjà que les tailles des navires augmentent quand on passe des lignes directes à la desserte circumterrestre, surtout en "one way" ou "fer à cheval".

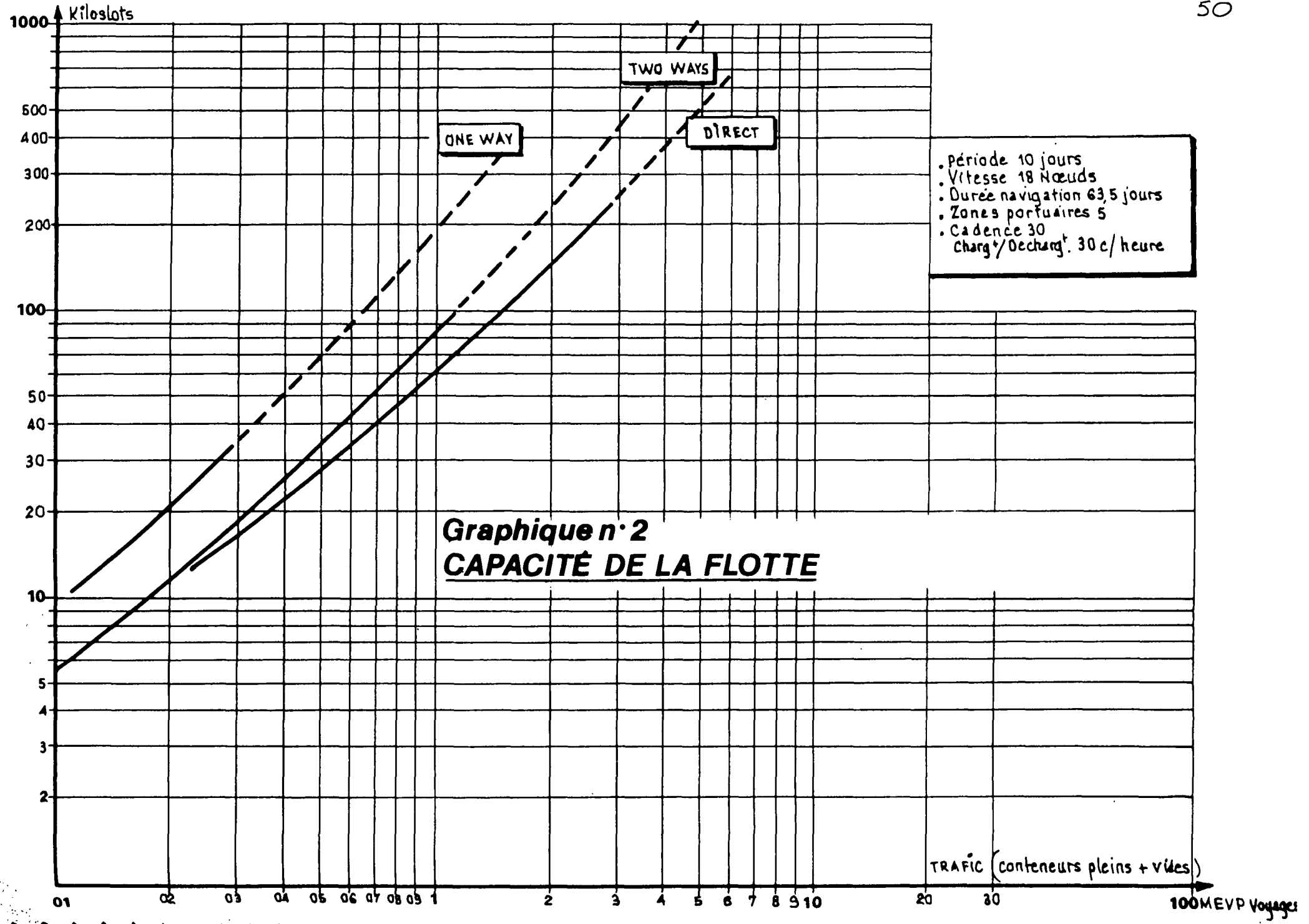
Le chiffrage permet ici de situer les ordres de grandeur (cf. graphique n° 1).

On notera que le graphique est en pointillé au-delà d'une taille de 4.000 boîtes qui semble être un maximum techniquement possible actuellement compte tenu de la contrainte du canal de Panama.

En l'état actuel des flux mondiaux, ~~cette limite au gigantisme ne concerne en fait que les dessertes tour du monde et surtout les dessertes "one way" ou "fer à cheval"~~ qui à flux égal requièrent les plus gros bateaux.

On notera également que le taux de grossissement des navires d'un mode de desserte à l'autre est indépendant du trafic.

~~Ce taux de grossissement dépend en fait de la façon dont le trafic se morcelle géographiquement~~ (nombre de zones portuaires). Pour les 5 zones retenues, les tailles sont dans le rapport de 1 à 3, puis à 6, et enfin à 10 quand on passe successivement de la desserte directe au "two ways", puis au "fer à cheval" et enfin au "one way".



2/ La capacité de la flotte

Si la croissance de la capacité de la flotte avec l'importance du trafic n'a rien de quoi surprendre, il est important de noter sur le graphique n° 2 qu'à trafic égal et fréquence de service égale, les services circumterrestres, surtout le "one way" et le "fer à cheval" requièrent des capacités de flotte plus importantes.

Ce surcroît de "slots" nécessaire provient de deux origines :

- la première, valable pour le "one way" et le "fer à cheval" seulement consiste en une rallonge de la durée moyenne de voyage d'un conteneur qui passe grosso modo d'un quart de tour à un demi tour du monde ;
- la seconde, valable cette fois pour tous les services circumterrestres s'explique par le caractère omnibus des tours du monde qui implique un surcroît d'attente des conteneurs dans les ports qui ne les concernent pas. Dans le fond, il s'agit là tout simplement d'un besoin de capacité de stockage à bord supplémentaire qu'il ne faut surtout pas confondre avec un surcroît d'offre de transport.

Sur le plan des ordres de grandeurs, on constatera à titre d'exemple que pour un armateur devant assurer un flux de 0.6 M E.V.P.-voyages, la capacité de sa flotte doit passer de 34.000 slots en service direct à 42.000 slots en "two ways" et 90.000 slots en "one way", mais en contre partie, les heures naviguées sont dans le rapport de 3 à 1 et de 6 à 1 respectivement.

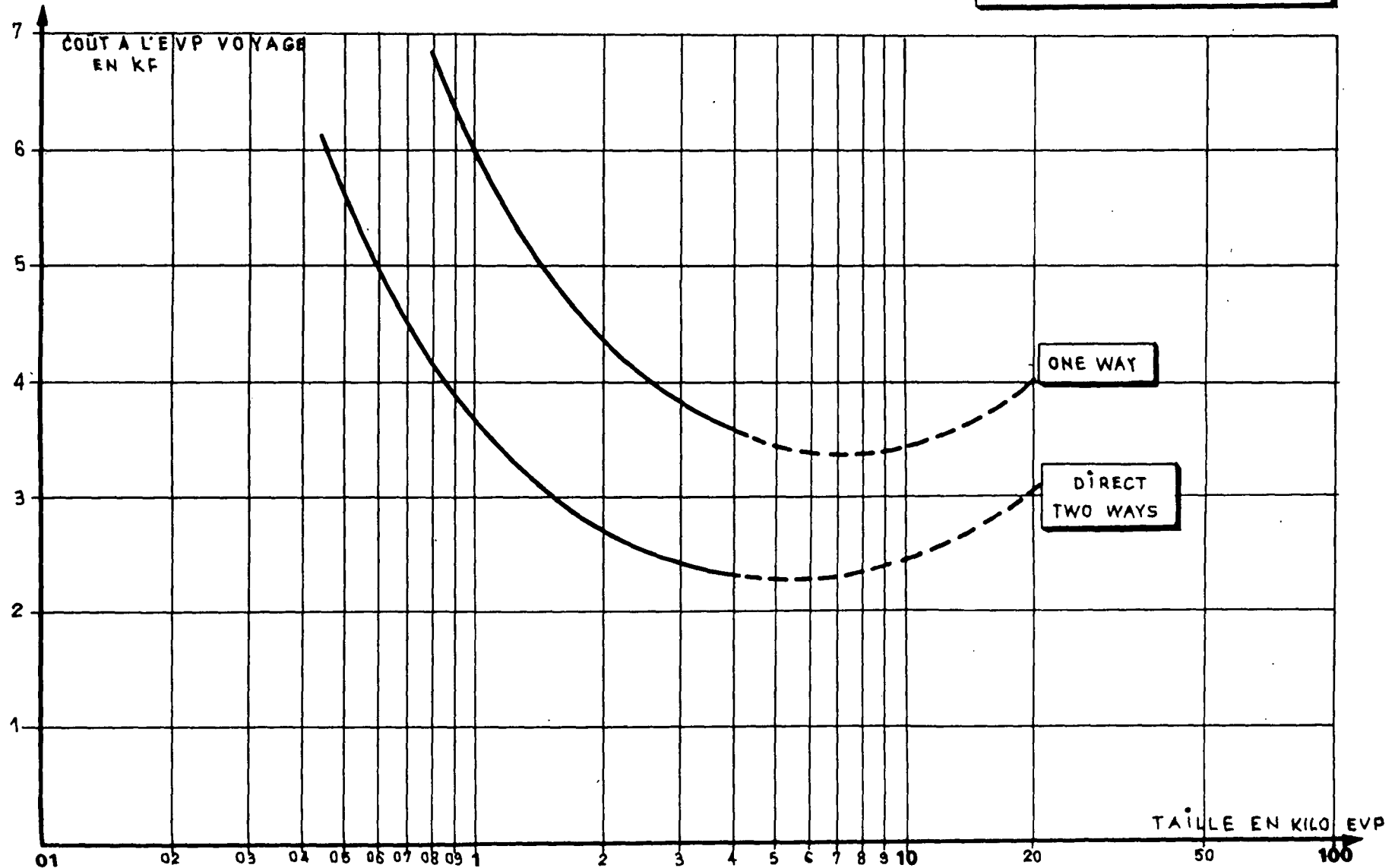
3/ Le coût à l'E.V.P. voyage

Le graphique n° 3 qui relie le coût à l'E.V.P.-voyage à la taille des navires appelle les commentaires ci-après :

- Il existe une taille de navire optimale sur le plan économique, celle-ci étant d'autant plus grande que le service est circumterrestre surtout en "one way" ou "fer à cheval".
- Cette optimalité déjà mise en évidence au niveau de la seule formalisation mathématique repose sur un compromis d'échelle entre le coût de traction maritime et le coût d'immobilisation aux ports.
- Cette taille optimale des navires est de l'ordre de grandeur de la limite technique de 4.000 E.V.P. en service direct et en two ways mais dépasse largement cette limite en "one-way".

Graphique n°3
COÛT A L'E.V.P. VOYAGE
EN FONCTION DE LA TAILLE DU NAVIRE

- Vitesse 18 Nœuds
- Durée navigation 63,5 jours
- Zones portuaires 5
- Cadence
Chargt / Déchargt. 300/heure



Il y a donc place sur le plan économique pour le gigantisme, sous réserve que le niveau des trafics à assurer le permette compte tenu des fréquences minimales de desserte.

- EVERGREEN avec sa flotte de navires de 2.728 E.V.P. et les USLINES avec leur flotte de navires de 3.600 E.V.P., ont pu grâce à leur service tour du monde approcher les tailles optimales sans toutefois les atteindre.

Le graphique n° 4 qui relie le coût de l'E.V.P. voyage à l'importance du trafic selon divers modes de desserte appelle les commentaires ci-après :

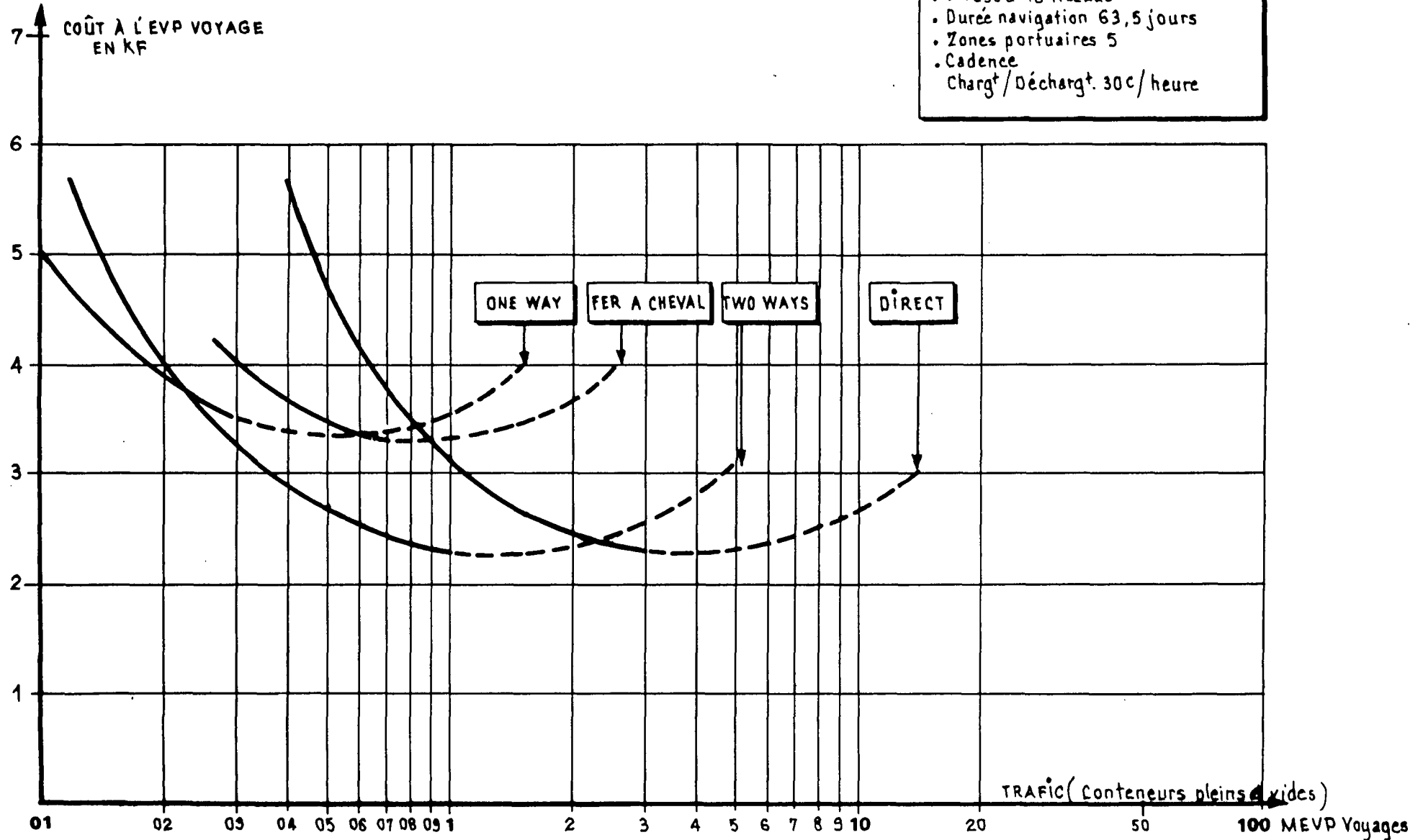
- toutes les courbes finissent en pointillé pour deux raisons :
 - l'inaccessibilité technique à des tailles supérieures à 4.000 E.V.P.
 - la non pertinence de la remontée des courbes au-delà du minimum. En effet, plutôt que d'utiliser des navires anti-économiques parce que trop gros, il est évidemment préférable d'accroître les fréquences de desserte pour revenir vers la taille optimale plus petite, ceci sans compter l'avantage commercial.
- Les ordres de grandeur du coût moyen à l'E.V.P.-voyage se situent dans une zone de 2.000 F à 5.000 F qu'il est intéressant de rapprocher d'un fret de l'ordre de 10.000 F prévalant actuellement sur le marché. Mais il faut rappeler que notre coût est incomplet ; il ne comprend pas notamment les coûts de manipulation (1.000 F pour chargement, déchargement), les coûts commerciaux, les droits de port et de canal, les frais généraux, et l'incidence du repositionnement des vides (cf plus loin).
- Les services tour du monde paraissent d'autant plus intéressants que les trafics sont faibles ! Ce résultat, surprenant de prime abord, s'explique très bien quand on sait que les tours du monde réalisent un certain pooling des trafics élémentaires et requièrent ainsi, à trafic global égal, des bateaux plus gros, donc plus susceptibles de faire jouer l'économie d'échelle.

Graphique n°4

COÛT A L'E.V.P. VOYAGE EN FONCTION DU TRAFIC

DESSERTE DÉCADAIRE

- Période 10 jours
- Vitesse 18 Nœuds
- Durée navigation 63,5 jours
- Zones portuaires 5
- Cadence
- Chargt/ Déchargt. 30c/heure



C'est ainsi que le "one way" qui mutualise les trafics élémentaires au maximum serait le mode desserte le plus rentable jusqu'à 0.25 M E.V.P. voyages (si tant est que les allongements de délais d'acheminement sont commercialement supportables) ; le "two ways" serait ensuite le plus intéressant jusqu'à 2.5 M E.V.P.-voyages environ ; c'est-à-dire en fin de compte dans la zone de trafic que connaissent actuellement les grands armateurs internationaux.

Au-delà, les trafics élémentaires seraient suffisants pour utiliser des bateaux de taille économique sans avoir à recourir à l'organisation de desserte en tour du monde.

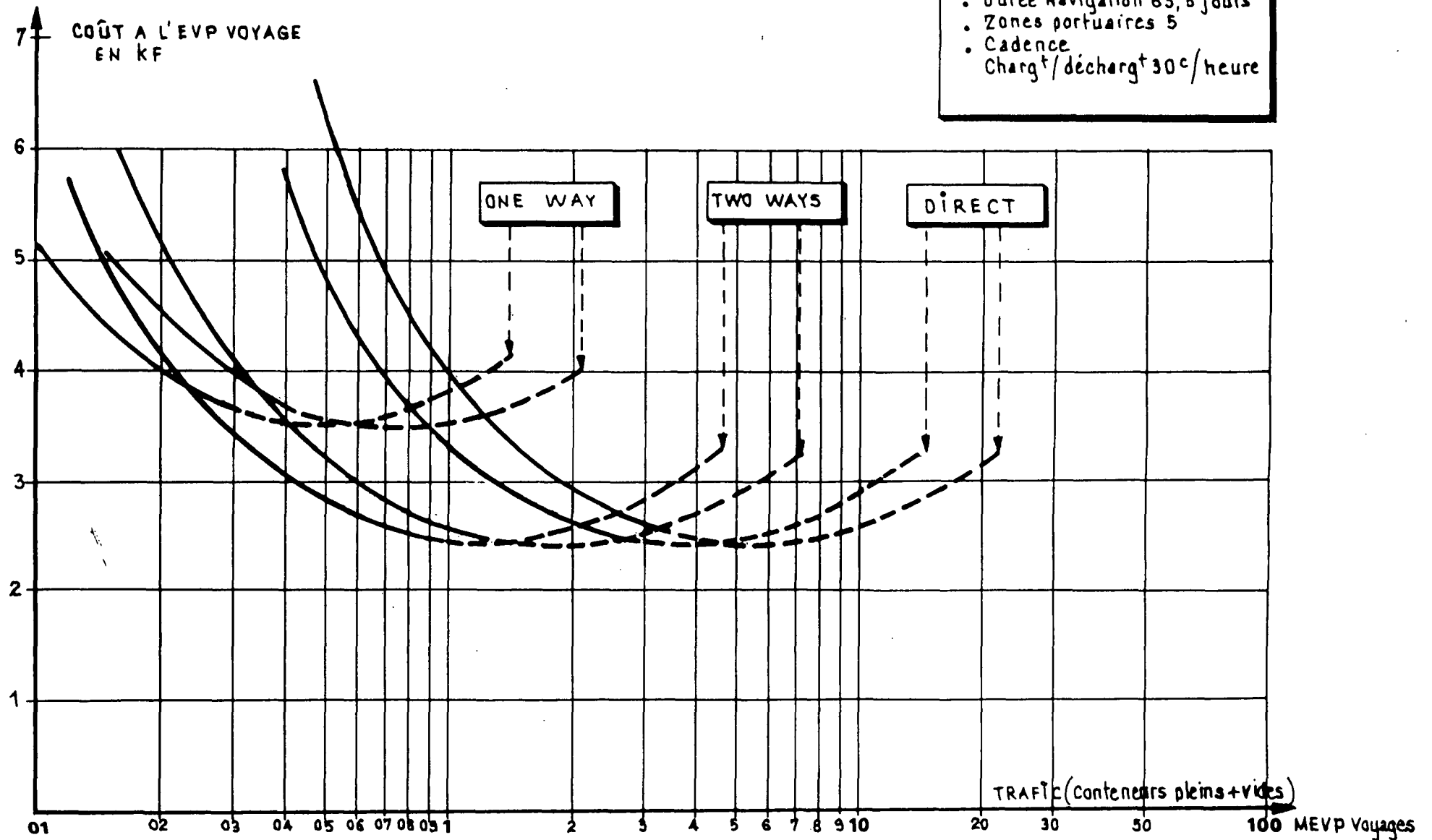
- Le service "fer à cheval" est plus cher que les autres services tour du monde sans compter la durée totale du voyage par trop élevée pour les liaisons enjambant la zone évitée.

Un tel service ne serait justifié que si les droits de passage du canal de Panama ou du canal de Suez devenaient exorbitants ou si des contraintes techniques ou des risques d'ordre politique venaient à interdire l'accès à ces canaux (cf. le cas du canal de Suez pour la compagnie israélienne ZIM pour son service ZEFORA).

Ce service pourrait être également envisagé si des économies d'échelle exceptionnelles pouvaient être obtenues sur les coûts des navires qui ne seraient pas obligés d'emprunter le canal de Panama.

Graphique n°5

INCIDENCE DE LA FREQUENCE DE DESSERTE HEBDOMADAIRE/DÉCADAIRE



IV.4 ANALYSES DE SENSIBILITE

Nous avons réalisé une analyse de sensibilité sur quatre paramètres :

- la fréquence de desserte,
- la durée de vie du navire,
- la vitesse de navigation,
- les droits de port et de canal.

1/ La fréquence de desserte

Dans notre modèle mathématique, il est possible de répercuter sur le trafic à écouler tout changement de fréquence de desserte et réciproquement, car ce qui est pertinent pour la formulation mathématique, c'est la quantité de conteneurs à écouler par période de desserte, produit du flux annuel par la durée de cette période.

Ainsi, réduire la fréquence de desserte et, en particulier passer de la fréquence décadaire à la fréquence hebdomadaire, comme c'est couramment pratiqué actuellement sur les grandes lignes conduit au même résultat économique qu'assurer un trafic réduit dans les mêmes proportions mais avec l'ancienne fréquence. Les bateaux requis étant plus petits, il y aura alors surcoût.

Le graphique n° 5 permet de se faire une idée de l'impact du passage à une fréquence hebdomadaire sur les coûts à l'E.V.P-voyages dans chacun des modes de desserte.

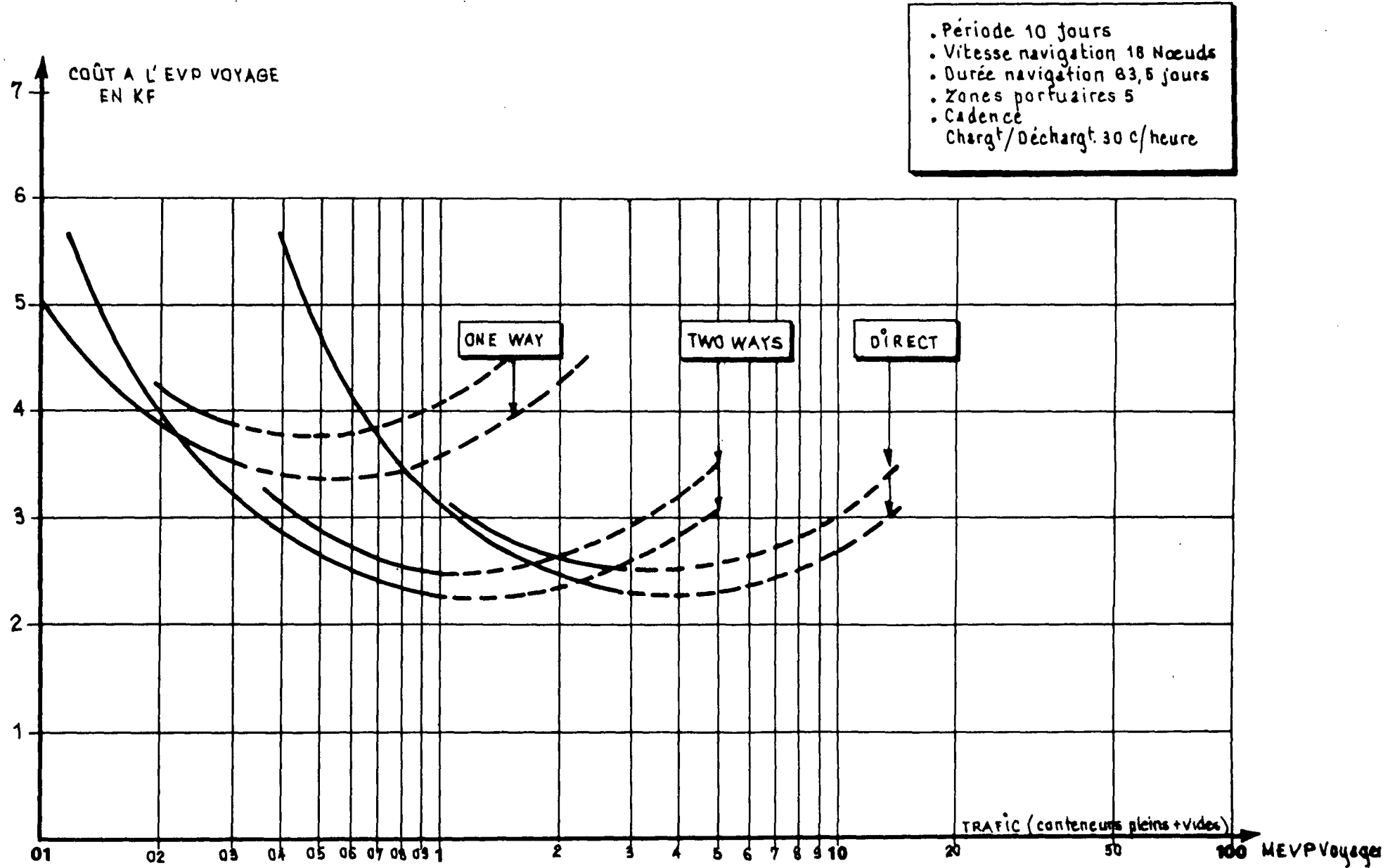
On constate que le surcoût ne dépasse guère 1.000 F par boîte au maximum et qu'au voisinage des flux optima pour chaque mode de desserte, l'incidence devient marginale, car le coût devient peu sensible à la taille quand celle-ci est voisine de l'optimum.

2/ La durée d'amortissement des navires

Le graphique n° 6 rapproche les courbes de coût à l'E.V.P-voyage relatives à une durée d'amortissement de 15 ans et 10 ans respectivement.

Graphique n°6

INCIDENCE D'UN RACCOURCISSEMENT DE 15 à 10 ANS DE LA DURÉE DE VIE DES NAVIRES



On constate, comme on pouvait s'y attendre, que le coût augmente (moins de 500 F par E.V.P-voyages), mais que la disposition relative des courbes de coût selon les modes de desserte n'est pas fondamentalement modifiée.

Nos conclusions dans leur essence sont donc transposables au cas d'une durée de vie de 10 ans.

Notons que l'impact économique est d'autant plus faible que le trafic est faible, et ce, quel que soit le mode de desserte. Ceci est dû au fait que dans ce cas, les frais d'équipage qui ne dépendent pas de la taille des navires pèsent comparativement plus lourd dans le coût global.

3/ La vitesse de navigation

Le graphique n° 7 permet d'apprécier l'incidence de la vitesse de navigation sur le coût à l'E.V.P-voyage de chaque mode de desserte. Trois vitesses ont été explorées : 15 nœuds, 18 nœuds et 20,5 nœuds.

On constate que l'effet relatif sur les coûts unitaires est d'autant plus important que le flux est faible, car alors, les navires étant plus petits, les écarts sur la consommation de fuel et sur le prix de la machinerie sont moins compensés par l'effet d'économie d'échelle sur le coût de la traction maritime.

Les services tour du monde, requérant des navires comparativement plus gros à trafic donné, absorbent donc mieux l'incidence d'une différence de vitesse.

Ainsi, pour un flux de 0.6 M E.V.P-voyage le passage de 15 à 20,5 nœuds donnera respectivement un surcoût à l'E.V.P-voyages de 500 F en "one way", 600 F en "two ways" et 1.400 F en desserte par lignes directes.

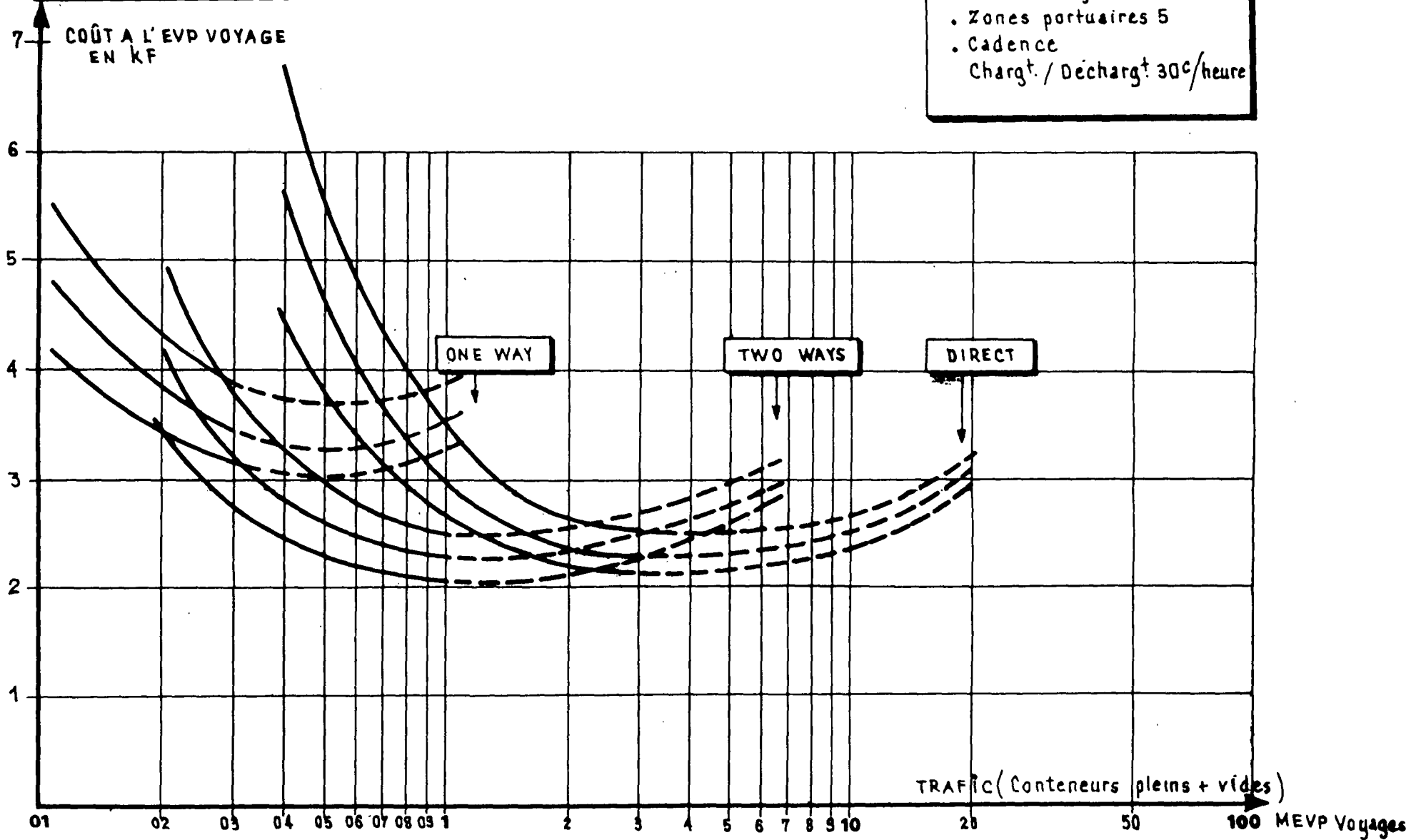
Graphique n°7

EFFET DE LA VITESSE SUR LE COÛT

A L'E.V.P. VOYAGE

15 noeuds 18 noeuds 20,5 noeuds

• Période 10 jours
• Zones portuaires 5
• Cadence
Chargt. / Déchargt. 30c/heure



4/ Les droits de port

Un raisonnement simple permet de voir que le nombre de touchers portuaires est dans le rapport de 4 à 2 puis à 1 quand on passe de la desserte par ligne directe au "two ways" puis au "one way", alors que le nombre de slots qui accostent est au contraire dans le rapport de 1 à 1,5 puis 2,5 respectivement, puisque l'on sait que la taille des navires est dans le rapport de 1 à 3 puis à 10.

Ainsi donc, l'influence des droits de port va dépendre du mode de tarification et s'inverse selon que l'on tarifie au passage ou au slot accosté.

De toutes façons, sur la base d'un droit de passage de 50.000 Francs pour un bateau de 1000 EVP et dans l'hypothèse d'un armateur assurant un trafic mondial de 720.000 EVP-voyages par an, à fréquence décadaire, l'incidence économique s'établit à 50 Francs par EVP-voyage en desserte par ligne directe (720 touchers dans l'année sur les cinq zones portuaires) et passera à 125 Francs en "one way" si la tarification est au slot.

5/ Les droits de passage dans les canaux

Là encore, un raisonnement simple permet de constater que le nombre de passages par un canal est dans le rapport de 6 à 2 puis à 1 quand on passe de la desserte par ligne directe au "two ways" puis au "one way", alors que si l'on se réfère au nombre de slots qui passent, la desserte en ligne directe est équivalente au "two ways" et le "one way" est 1,66 fois plus important.

L'incidence économique va donc encore dépendre du mode de tarification et s'inverser selon que l'on tarifie au slot ou au passage.

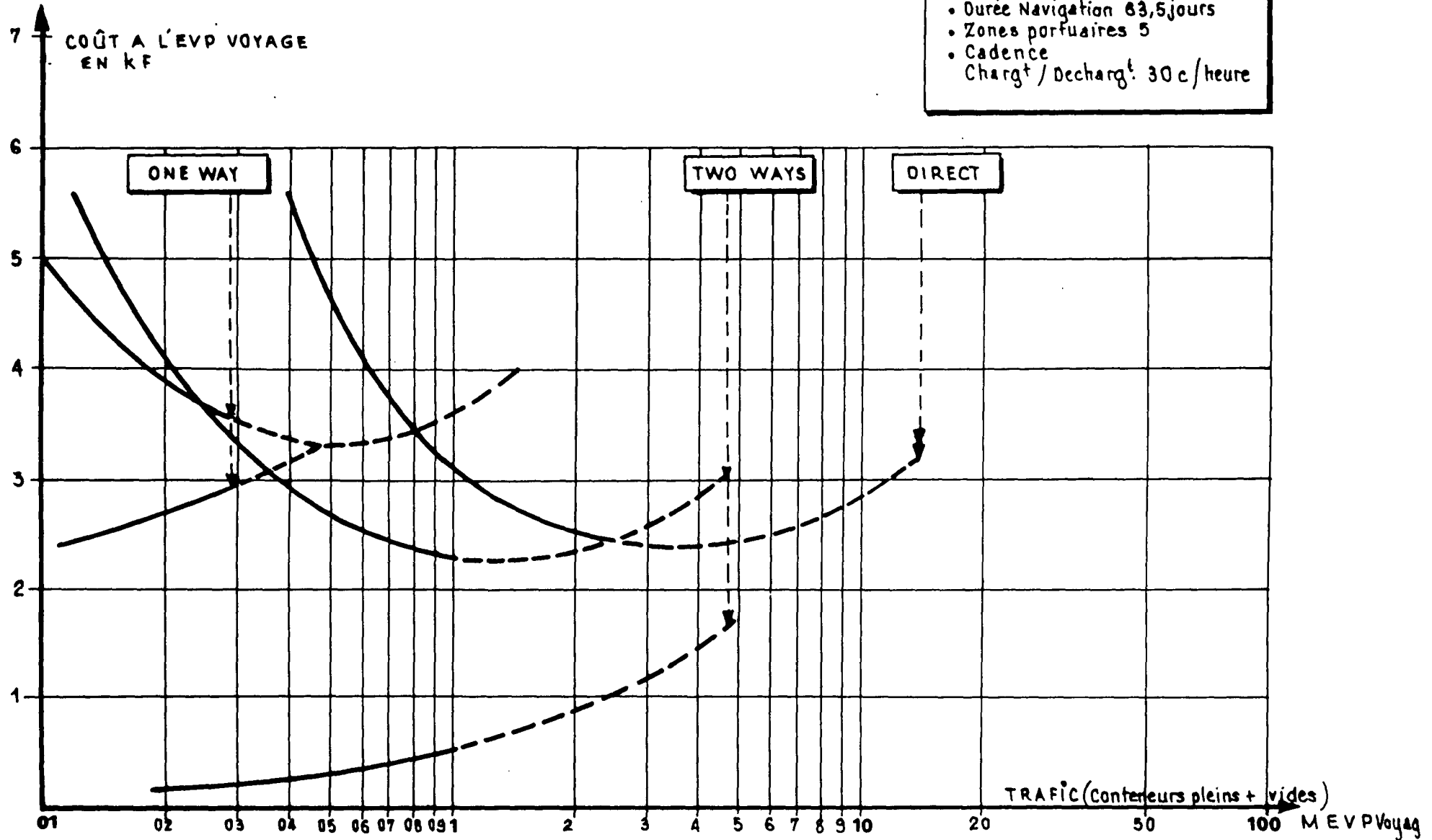
De toutes façons, sur la base d'un droit de passage de 720.000 Francs pour un bateau de 1000 EVP (ordre de grandeur pour Suez), et dans l'hypothèse du même armateur assurant un trafic mondial de 720.000 EVP-voyage par an, à fréquence décadaire, le coût est de 216 Francs par EVP-voyage en desserte par ligne directe (216 passages dans l'année).

Il tomberait à 36 Francs en "one way" (36 passages seulement) si la tarification ne tenait pas compte de la taille des navires.

Graphique n°8

ATTAQUE COMMERCIALE D'UNE NOUVELLE LIGNE COMPARAISON COÛT MARGINAL/COÛT MOYEN

- Période 10 jours
- Vitesse 18 Nœuds
- Durée Navigation 63,5 jours
- Zones portuaires 5
- Cadence
Charg^t / Decharg^t: 30 c/heure



IV.5 ATTAQUE COMMERCIALE D'UNE NOUVELLE LIGNE

Le modèle mathématique de base suppose des trafics égaux et équilibrés sur tous les tronçons reliant les 5 zones portuaires ; il est cependant aisé de faire une étude comparative avec le cas où l'armateur serait absent sur un seul des $\frac{n(n-1)}{2}$, soit $\frac{5 \times 4}{2} = 10$ tronçons.

Il convient de comparer pour cela le coût marginal à l'E.V.P-voyage qu'implique la liaison supplémentaire avec le coût moyen sur l'ensemble du trafic ; si ce coût est inférieur, il y a alors matière à attaque commerciale différenciée avec des prix plus compétitifs sur cette liaison.

Cette étude comparative a fait l'objet d'une application numérique qui figure au graphique n° 8 sur lequel coût marginal et coût moyen sont rapprochés selon les divers modes de desserte.

En service direct, l'ouverture d'une ligne donnerait un coût à la boîte accessible sur ce graphique à la verticale d'un flux mondial correspondant, 10 fois plus fort que le trafic sur cette seule liaison. Coût marginal et coût moyen se confondent.

En service tour du monde "one way", le raisonnement qui conduit au dimensionnement du bateau montre que la liaison supplémentaire conduirait à un accroissement de la taille du navire dans le rapport de $\frac{1}{n(n-1)/2}$, soit 10 %.

Or, le grossissement du navire conduit à une meilleure économie d'échelle et donc à une baisse du coût moyen, de sorte que le coût marginal à l'E.V.P. voyage supplémentaire est inférieur au coût moyen, comme le montre le graphique n° 8.

En service tour du monde "two ways", l'écart entre coût marginal et coût moyen est encore plus grand, car du fait de son caractère rééquilibrant, le fret du tronçon supplémentaire n'affecte pas la taille des navires dont l'imparfaite mutualisation des lignes en "two ways" avait en quelque sorte nécessité le surdimensionnement. Aussi, le coût marginal se ramène-t-il au seul coût d'immobilisation des navires au chargement/déchargement de ce fret.

En définitive, ainsi que le montre bien le graphique n° 8, grâce à un cout marginal significativement inférieur au cout moyen, les services tour du monde procurent aux armateurs une compétitivité induite et donc des possibilités d'attaque commerciale agressive voire de dumping sur les liaisons où ils sont moins bien placés ; sous réserve bien sûr d'une implantation commerciale pré-existante aux deux bouts de la liaison.

C'est ainsi qu'EVERGREEN bien implanté sur les liaisons avec l'Extrême Orient, peut attaquer dans les meilleures conditions économiques les lignes de l'Atlantique grâce à son service tour du monde dans les deux sens. De la même manière, les USLINES peuvent capitaliser leur trafic militaire captif entre les USA et l'EUROPE et a un degré moindre leur position commerciale sur les lignes reliant les USA à l'Extrême Orient pour attaquer le marché de la Far East Freight Conference grâce à un service tour du monde à rotation Est.

CHAPITRE V

LE MODE DE DESSERTE
CIRCUMTERRESTRE ET LES
SERVICES FEEDERS

Dans l'esprit de nombre de professionnels, on ne saurait dissocier tour du monde et services feeders (terrestres ou maritimes), le gigantisme des navires requis par la desserte circumterrestre interdisant apparemment une multiplication du nombre de ports d'escale à cause des surcoûts d'immobilisation qu'ils impliquent.

Dans le cas du feeder maritime du moins, nous allons voir que la réalité est beaucoup plus nuancée qu'il y paraît, car le gigantisme du navire est trompeur et, par ailleurs, les services feeders sont très coûteux.

Pour notre analyse, nous allons adjoindre à chacun des modes de desserte étudié dans les chapitres précédents un service d'éclatement sur les différents ports secondaires qui composent chacune des 5 zones portuaires et faire une étude économique comparative entre service omnibus et service couplé ports principaux/feeder sur ports secondaires. Nous laissons évidemment de côté le cas où les feeders sont imposés par des considérations techniques, réglementaires ou politiques.

I - LES CARACTERISTIQUES DU SERVICE FEEDER ETUDIE

1) Nombre de ports secondaires

On suppose qu'il y a deux ports secondaires pour un port principal dans chacune des 5 zones portuaires.

2) Durée du voyage d'approche

On suppose que cette durée est égale au temps de détournement du bateau principal en cas de service omnibus, estimée à 2 jours par port secondaire supplémentaire, soit 4 jours par zone portuaire. La durée du voyage d'approche du feeder serait donc de 4 jours, tandis que le service omnibus auquel il se substituerait aurait une durée de rotation raccourcie de $5 \times 4 = 20$ jours.

3) Fréquence de desserte

On suppose que les contraintes commerciales impliquent une correspondance au port principal entre mother ship et feeder ship avec donc la même fréquence de desserte (10 jours dans notre exemple).

Par ailleurs, en cas de tour du monde à deux sens, un même feeder ship est supposé assurer la correspondance des deux mother ships Est et Ouest.

4) La taille des navires feeders

Elle est déterminée par la fraction de trafic du port principal à éclater sur les deux ports secondaires et que le navire feeder desservira en tournée à partir du port principal.

5) Les vitesses de navigation

On a supposé une vitesse de 15 nœuds pour le mother ship comme pour le feeder ship.

6) Les cadences de déchargement aux ports secondaires

Elles ont été supposées égales à celles des ports principaux ce qui peut paraître un peu optimiste. Il faut cependant remarquer qu'il s'agit de trafic Nord-Nord et que dans cette région les ports sont pour la plupart bien équipés en terminaux.

7) Les fonctions de coûts des navires

Les fonctions utilisées pour la mothership ont été supposées applicables au feedership. En d'autres termes les sensibilités des coûts à la taille et à la vitesse sont supposées les mêmes.

8) Le transbordement

Ce coût a été supposé grosso modo égal à celui de deux manipulations (déchargement + rechargement) portuaires ce qui peut paraître légèrement pessimiste pour des plateformes performantes dont les flux de trafic, du fait de leur importance, sont mieux à même d'absorber les coûts fixes des installations.

Toujours est-il que nous avons retenu un coup de transbordement à la boîte de 1.000 Francs.

II - LE MODELE MATHEMATIQUE DE FEEDERING

Il s'agit d'établir pour chacun des modes de desserte envisagé (le "fer à cheval" sera laissé de côté), la formule mathématique du coût à l'EVP-voyage d'un service feeder d'une part, et la formule mathématique de surcoût à l'EVP-voyage d'un service omnibus par rapport au service du mothership d'autre part.

Il sera fait appel au même formalisme que dans le chapitre IV, les variables relatives au feedership étant marquées d'un (\sim) pour être distinguées de celles qui concernent les motherships.

II.1 CALCUL DU COUT A L'EVP-VOYAGE DU FEEDERING

Ce coût se décompose en :

- coût de traction maritime secondaire,
- coût d'immobilisation aux ports du feedership,
- coût de transbordement.

Sa formulation mathématique nécessite le calcul préalable de la taille du feedership requise par le trafic à transborder dans chacun des modes de desserte.

Le feeder ship ayant la même fréquence de desserte que le mothership et devant desservir les ports secondaires par tournée à partir du port principal, sa taille est donc identique au flux de conteneurs par période, à éclater sur les ports secondaires attachés à chacun des ports principaux.

Cela fait un flux de

$$\begin{aligned} \Psi (n - 1) q & \text{ en service circumterrestre} \\ \Psi q & \text{ en service par ligne directe} \end{aligned}$$

où Ψ est la fraction du trafic global à éclater sur les ports secondaires.

Connaissant la taille du mothership dans chacun des services :

Services par ligne directe $K = q$

Service two ways $K = \frac{(n-1)(n+1)q}{8}$

Service one way $K = \frac{n(n-1)q}{2}$

La taille \tilde{K} du feedership exprimée en fonction de la taille du mothership sera dans chacun des cas :

Service par lignes directes $\tilde{K} = K \times \Psi$

Service two ways $\tilde{K} = K \times \frac{8 \Psi}{n+1}$

Service one way $\tilde{K} = K \times \frac{2\Psi}{n}$

Avec $n = 5$ zones portuaires, on constate que la taille du feedership est, comme c'est normal, inférieure ou égale à celle du mothership, sauf éventuellement pour le "two ways". Ce dernier cas surprenant en apparence, s'explique par le fait que l'on a supposé qu'un même feedership assure la correspondance des deux motherships Est et Ouest. Sans cela, sa taille serait deux fois moindre et donc normalement inférieure à celle du mothership.

Connaissant la taille du feedership et la durée $\Delta \theta = 4$ jours de sa tournée en mer, il est aisé d'établir son coût d'exportation à l'EVP-voyage, le nombre de conteneurs transbordés par voyage étant égal à deux fois la taille K du feedership (trafic aller et retour concernant les ports secondaires).

On obtient donc la formule ci-après :

Coût du feedership à l'EVP-voyage =

$$\frac{\tilde{P}/D + \tilde{C}_o + \tilde{C}_r}{2 \tilde{K}} \Delta \theta + (\tilde{P}/D + \tilde{C}_r) \frac{2}{CAD} + \frac{2 CM}{CAD}$$

Coût de la
traction maritime

Coût de
l'immobilisation
au port

Coût du
transbordement

On peut remarquer au passage que cette formule est identique à celle d'un "mini tour du monde" de durée $\Delta\theta$, ce qui est logique.

Notons d'autre part que ce coût ne concerne que la seule fraction Ψ du trafic à transborder, à destination des ports secondaires. Si on veut le rapporter à la totalité du trafic, il faut donc le réduire au prorata de cette fraction.

Le graphique n° 9 donne l'évolution de ce coût rapporté au trafic total pour trois modes de desserte et trois fractions Ψ de trafic transbordé.

II.2 CALCUL DU SURCÔUT A L'EVP-VOYAGE DU NAVIRE OMNIBUS

Utilisant les formules de coût à l'EVP-voyage du modèle de base pour chacun des modes de desserte, on constate que la différence de coût ne porte que sur la traction maritime du bateau principal qui se trouve allongée de $n \Delta\theta$ en service omnibus.

Le surcoût est donc égal à :

$$\Delta\theta \frac{P/D + C_r + C_o}{K}$$

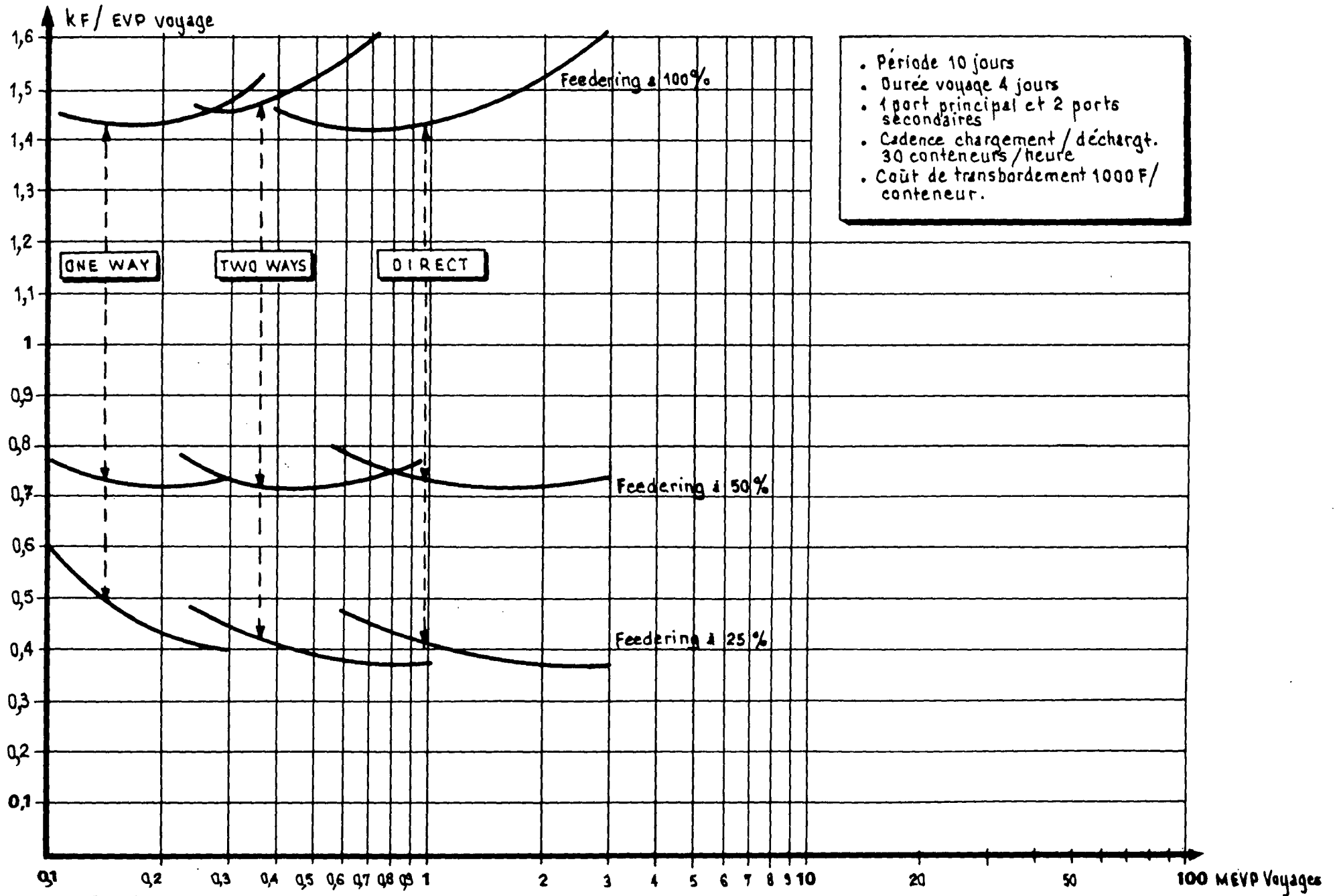
La taille K du bateau principal étant déterminée par le mode de desserte utilisé.

C'est ce surcoût qu'il faudra comparer au coût du feedering.

Le graphique n° 9 bis donne l'évolution du surcoût en fonction du trafic pour trois modes de desserte.

Graphique n°9

COÛT DU FEEDERING TRANSBORDEMENT INCLUS



III - COMPARAISON ECONOMIQUE DES SERVICES OMNIBUS ET FEEDER

Les graphiques n° 9 et 9 bis permettent de comparer, selon le mode de desserte et en fonction du trafic, le surcoût du bateau omnibus par rapport au coût du feeding et apprécier ainsi la rentabilité d'un système feeder.

Le feeding n'est rentable pour un mode de desserte, un flux et un taux de transbordement donnés que si bien sur le coût correspondant est inférieur au surcoût du bateau omnibus.

L'examen des courbes 9 et 9 bis permet de constater que :

- le coût du feeding à 100 % se situe autour de 1.500 F par EVP voyage (1.000 Francs en transbordement et 500 Francs en transport maritime secondaire) ;
- ce coût est très sensible à la fraction Ψ transbordée puisqu'il lui est pratiquement proportionnel à l'effet d'échelle près sur la taille du bateau feeder ;
- le feeding profite de l'effet de mutualisation des lignes en desserte circumterrestre grâce au recours à des bateaux feeders plus gros ;
- le surcoût du navire omnibus par rapport au mothership dépend du trafic et du mode de desserte et se situe dans une fourchette de 500 à 1000 Francs par EVP-voyage. Il est beaucoup plus sensible à l'importance du trafic que le coût du feeding.

En effet, aux tailles requises pour les bateaux feeders, et compte tenu de la faiblesse relative de la durée de rotation (4 jours contre près de 80 jours), les gains d'échelle possibles sur la traction maritime sont pratiquement contrebalancés par les pertes en immobilisation aux ports, d'où la faible sensibilité relative du coût du feeding à la taille, donc au trafic.

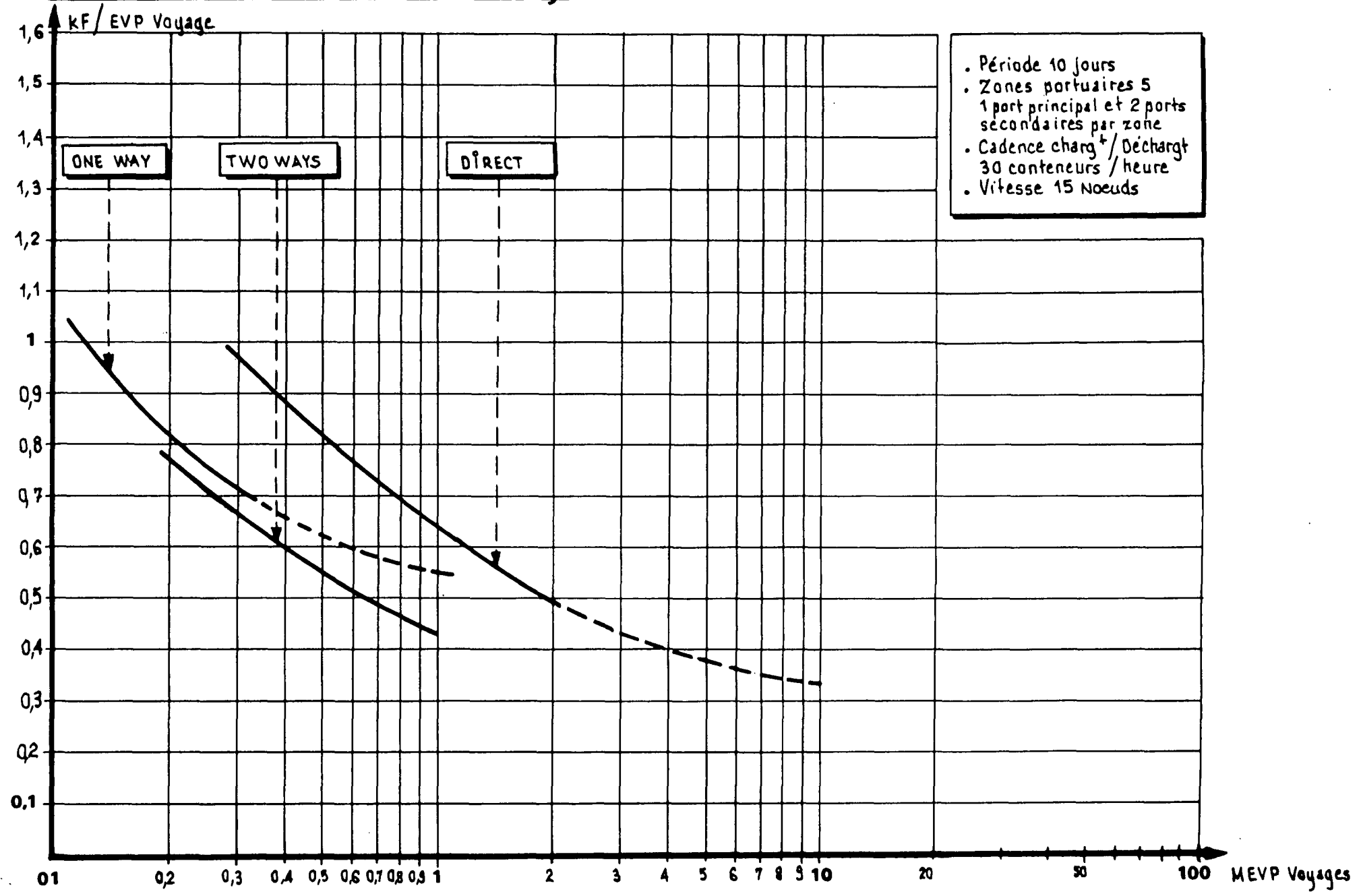
A mode de desserte donné, le surcoût du service omnibus baisse avec le flux de trafic (économie d'échelle sur la traction maritime secondaire réalisée par un bateau omnibus plus gros), ce qui améliore d'autant plus sa compétitivité vis à vis du feeding.

A trafic donné, la desserte circumterrestre requierant des bateaux plus gros, conduit donc à des surcoûts plus faibles. Par exemple, pour un trafic de 0,7 MEVP voyages, le surcoût du bateau omnibus est de 740 F en service direct, alors qu'il n'est que de 500 F en "one way" et de 470 F. en "two ways" ;

Graphique n°9 bis

SURCOUT DU BATEAU OMNIBUS

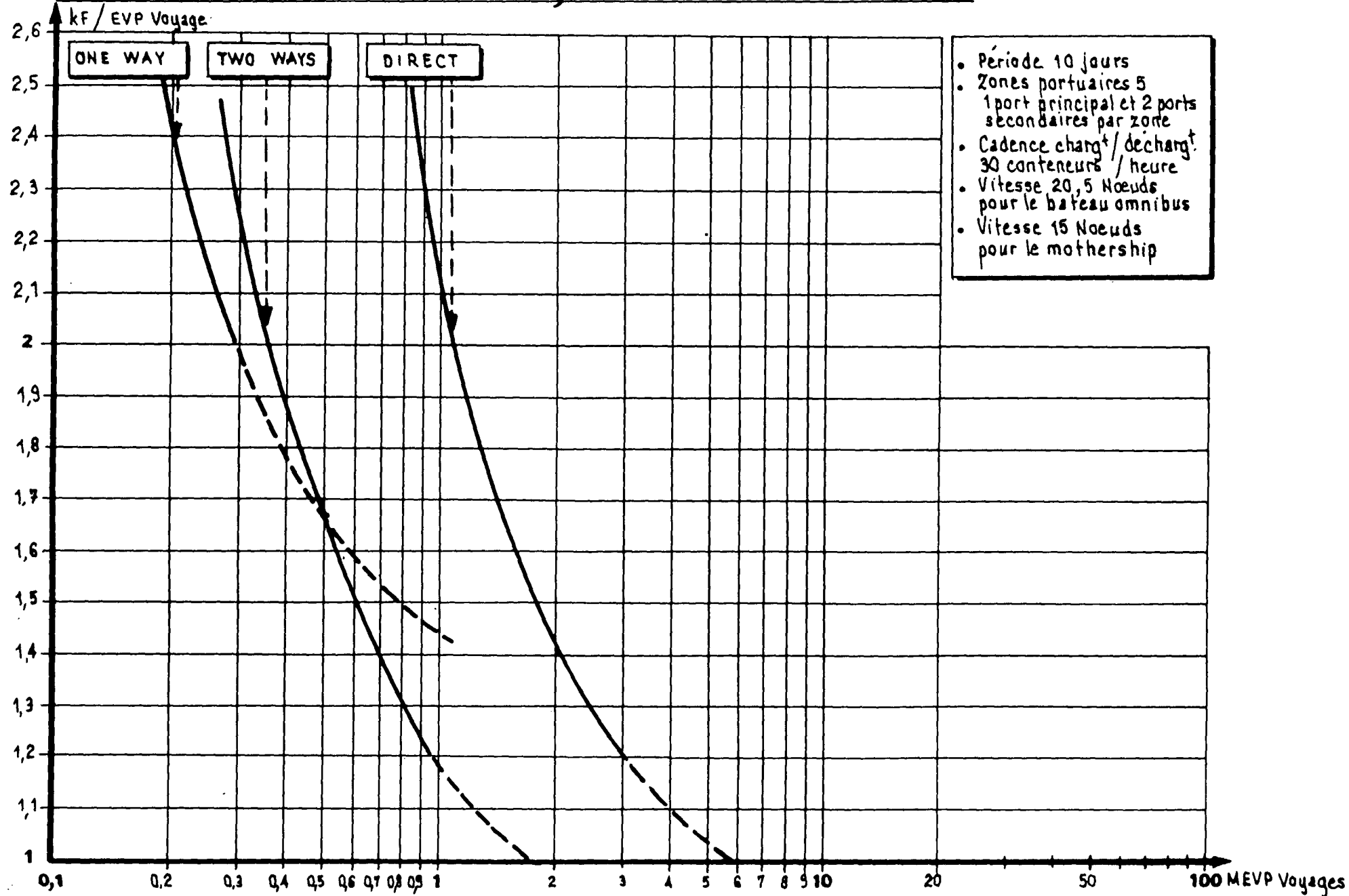
PAR RAPPORT AU MOTHERSHIP, EN VITESSE NORMALE



Graphique n° 9 ter

SURCOUT DU BATEAU OMNIBUS

PAR RAPPORT AU MOTHERSHIP, EN VITESSE ACCÉLÉRÉE



- Le feedering n'apparaît rentable que dans le cas d'un transbordement d'un pourcentage limité du trafic principal. La desserte circumterrestre permet toutefois de rentabiliser le feedering avec un taux de transbordement comparativement plus élevé.

Ainsi, alors qu'en lignes directes il faut que la fraction transbordée ne dépasse pas environ de 25 % pour le que feeder soit rentable, celle ci peut aller jusqu'à 50 % en desserte circumterrestre one way et approximativement 35 % pour la desserte two ways.

Il ressort globalement de cette analyse que l'intérêt des systèmes feeders est loin d'être décisif, même en tour du monde. C'est beaucoup moins le gigantisme du navire que la faiblesse relative du trafic transbordé, par rapport au trafic principal, qui est susceptible de les rentabiliser. Le gigantisme n'est pas en soi une cause inéluctable de rejet du service omnibus car il procure, en contre partie du surcoût d'immobilisation du navire dû aux détournements maritimes vers des ports secondaires, une économie d'échelle sur la traction maritime entre port principal et port secondaire.

Remarque 1 - Service omnibus accéléré

On peut penser que des impératifs commerciaux imposent d'accélérer les navires du service omnibus pour compenser la perte de temps qu'impliquent les escales secondaires et maintenir ainsi la qualité de service.

Il va de soi dans ce cas, que le service feeder sera beaucoup plus facilement rentabilisé car le surcoût du service omnibus, sera alourdi par la nécessité de naviguer à plus grande vitesse.

Le graphique n° 9 ter donne un aperçu de l'alourdissement du surcoût du bateau omnibus accéléré à 20,5 nœuds pour compenser les 20 jours de détournement sur les ports secondaires.

Remarque 2 - Feeder terrestre

Nous n'avons pas analysé en détail l'économie comparée d'un feeder terrestre par rapport à un feeder maritime.

On sait que les US LINES pour leur service tour du monde one way ont préféré recourir au feeder terrestre pour concentrer leur trafic européen sur les deux ports de Rotterdam et Marseille.

Sachant que selon des études récentes, le prix international de transport par route, et notamment en Europe, serait nettement inférieur au prix de 4,75 par boîte-km prévalant en France et estimant la distance moyenne du port principal à une plateforme intérieure à 300 kms environ, on peut situer le coût d'approche à :

1.200 Francs par boîte

auxquels il faut ajouter 350 Francs pour la rupture de charge en plateforme. On obtiendrait alors un coût global de feeder terrestre très comparable à celui du feeder maritime.

Il faut toutefois noter que le recours à des modes d'acheminement ferroviaires performants du type trains-blocs qu'autorisent des flux de trafics élevés doit permettre l'obtention de meilleurs coûts.

Remarque 3 - Service feeder et réseaux maritimes

L'influence du coefficient de transbordement Ψ sur la rentabilité du service feeder conduit à élargir le concept classique de feedering local à un concept d'interconnexion de lignes ou de circuits principaux dans un réseau maritime mondial.

En général, ces lignes ont un trafic autonome bien supérieur à celui qui transite d'une ligne à l'autre. En conséquence, plutôt que d'exploiter des lignes "transversales" à faible trafic, il est économiquement préférable d'organiser un transbordement sur un port commun aux deux lignes, port qui servirait de nœud de communication.

C'est bien ce type de système feeder qu'EVERGREEN a mis en place, son tour du monde two ways étant connecté à Singapour à un tour d'Asie, à Kingston à un tour des Caraïbes et à Valence sur un tour de la Méditerranée occidentale.

De la même façon, SEA-LAND qui ne s'est encore pas lancé dans les tours du monde a connecté trois de ses grandes lignes : celle reliant l'Europe du Nord au Moyen-Orient, celle de l'Atlantique Nord et celle de l'Atlantique Sud, en utilisant trois centres de transbordement (Rotterdam, New York et Algeiras).

CHAPITRE VI

DESSERTE CIRCUMTERRESTRE EN PRESENCE
DE TRAFICS INEGAUX ET DESEQUILIBRES

GESTION DES CONTENEURS VIDES

Dans le présent chapitre, on se propose d'apprécier les conséquences relatives à deux hypothèses "fortes" de notre modèle, à savoir :

- égalité des trafics d'une liaison à l'autre,
- équilibre des trafics aller-retour sur une même liaison.

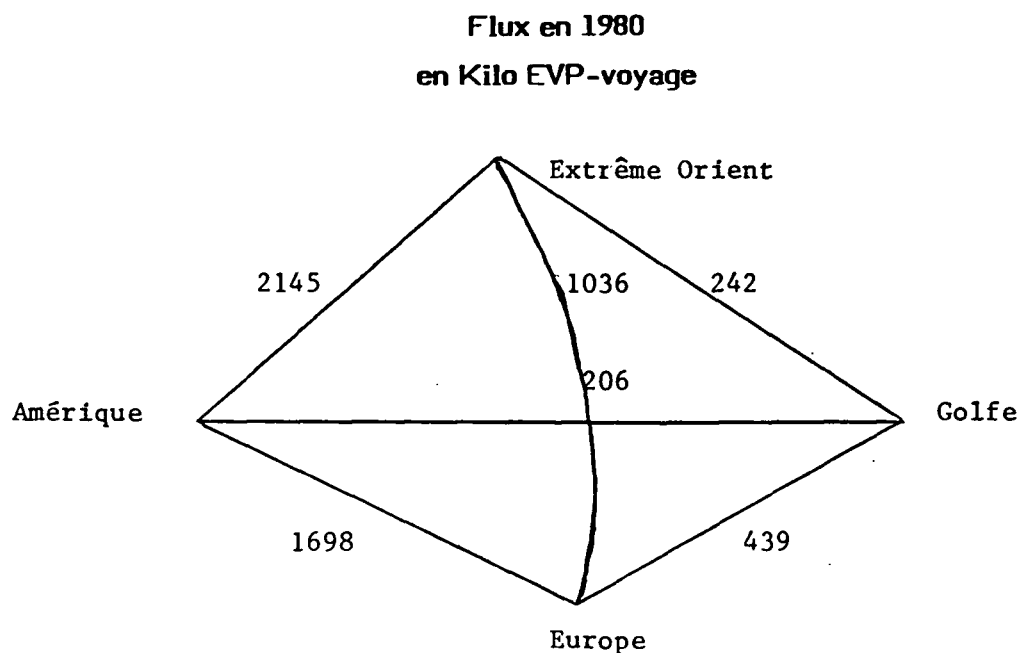
La première hypothèse garantissait une symétrie globale du système de desserte, et la seconde éliminait le problème des conteneurs vides et de leur repositionnement.

Dans quelles mesures nos conclusions sur l'efficacité économique des tours du monde sont-elles remises en cause par la levée de ces deux hypothèses et comment se présente le problème des conteneurs vides en desserte circumterrestre ?

C'est l'objet de l'analyse qui suit et qui sera étayée par les flux de l'année 1980.

I - INEGALITE DES TRAFICS D'UNE LIAISON A L'AUTRE

C'est évidemment ainsi que se présente la réalité des trafics comme le montre le graphique de flux en charge établi pour l'année 1980 sur les principaux axes maritimes Nord/Nord.



On constate que la liaison la plus chargée est celle qui relie les USA à l'Extrême Orient ; son trafic est significativement supérieur à celui de la liaison USA - Europe lui même supérieur à la liaison Extrême Orient - Europe.

On constate également l'importance pour cette année, du trafic sur le Golfe, surtout en provenance de l'Europe.

Ce profil de trafic mondial, qui est bien loin de la parfaite symétrie, se trouve lui-même très différent si l'on s'intéresse aux trafics propres de chacun des principaux armateurs dont les parts de marché sont loin d'être les mêmes d'une ligne à l'autre.

C'est ainsi qu'EVERGREEN est particulièrement bien placé sur les trafics en provenance d'Extrême Orient, alors que les USLINES sont mieux positionnées sur les trafics Atlantique, en particulier en ce qui concerne le fret militaire en provenance des Etats-Unis à destination de l'Europe.

Nous allons examiner successivement l'incidence de ces flux inégaux sur la desserte en ligne directe, puis sur les tours du monde.

Desserte en ligne directe

En ce qui concerne la desserte en ligne directe, on peut montrer qu'elle ne peut qu'être désavantagée économiquement par l'inégalité des flux, du fait de la convexité de la fonction de coût.

Bien qu'intuitif, ceci peut être démontré mathématiquement.

En effet, si x_1, x_2, \dots, x_n sont les tailles des bateaux affectés à chacune des n lignes, on a :

$$x_1 + x_2 + \dots + x_n = C^{\text{te}}$$

puisque l'on raisonne à service égal et à flux total égal et que les navires ont des tailles proportionnelles aux flux.

Appelant par ailleurs $C(x)$ le coût à l'EVP-voyage en fonction de la taille, on a, pour l'ensemble des lignes, un coût moyen à l'EVP-voyage égal à la moyenne pondérée.

$$\frac{\sum_i x_i C(x_i)}{\sum_i x_i}$$

Appliquant le théorème de LAGRANGE pour rechercher l'optimum sous contrainte, on obtient la condition

$$x_i \frac{dC}{dx_i} + C(x_i) = \text{Constante}$$

qui conduit à une valeur unique pour x_i , quelque soit i , ce qui correspond à un trafic homogène d'une ligne à l'autre. La forme de la fonction de coût garantit qu'il s'agit d'un minimum.

Pour déterminer l'importance de l'incidence économique de flux inégaux, nous nous sommes livrés à une simulation numérique du modèle, faite sur les flux de 1980 préalablement rééquilibrés par le rapatriement des conteneurs vides sur leurs ports d'origine, et concernant un armateur international hypothétique supposé détenir 10 % du marché sur toutes les lignes.

Le surcoût dû à l'inégalité des flux n'est pas apparu énorme, puisque l'on passerait seulement de 3.147 Francs à 3.180 Francs à l'EVP-voyage. Cette faiblesse du surcoût s'explique par le fait que la perte d'effet d'échelle due aux lignes à faible trafic est amortie par la faible pondération de ce trafic dans le calcul du coût moyen.

Desserte circumterrestre

Quelle est donc l'incidence de trafics inégaux sur l'économie des services tour du monde ?

Il faut tout d'abord remarquer que les dessertes circumterrestres réalisent une mutualisation de lignes qui permet une certaine compensation entre trafics faibles et trafics forts, relatifs à des liaisons successives dont les cargaisons seront chargées à bord du même navire à chaque rotation.

Cette compensation est parfaite sur le "one way" du fait de la mutualisation totale et par conséquent, l'économie de ce mode de desserte n'est pas effectuée pour l'inégalité des flux de trafics.

Si donc pour un trafic global donné, le "one way" venait à être le plus rentable des modes de desserte, il le serait a fortiori si les trafics étaient hétérogènes d'une liaison à l'autre.

Par contre, pour le "two ways", la mutualisation des lignes étant incomplète, il n'y a compensation entre trafics forts et trafics faibles que si ces trafics s'alternent sur le trajet du bateau ; sinon au contraire, il peut y avoir exacerbation, avec des navires surdimensionnés à cause d'une succession de liaisons à haut trafic, dans le sens de la rotation du navire. Un calcul fait en annexe sur les mêmes trafics 1980 montre que cela aurait été le cas cette année là avec un surdimensionnement des bateaux qui auraient alourdi significativement le coût à l'EVP-voyage, le faisant passer de 2.401 à 2.685 Francs.

Il eût été préférable dans ce cas là de bâtir le "two ways" en isolant certaines lignes à fort trafic pour ne pas surdimensionner inutilement les bateaux faisant le tour du monde.

C'est bien d'ailleurs ce que fait EVERGREEN qui a conservé provisoirement une ligne autonome reliant l'Extrême Orient à la Côte Est des USA et aux Caraïbes en complément de son tour du monde "two ways" qui passe pourtant par les mêmes ports.

Cependant, une autre approche plus agressive commercialement consisterait au contraire à exploiter la rentabilité d'une ligne régulière bien chargée, en faisant tourner ses bateaux autour du monde moyennant un surcoût que l'on sait nettement inférieur au coût moyen d'une ligne nouvelle afin d'essayer d'acquérir par dumping des parts de marché sur des lignes où l'on est a priori mal placé. Il semble que ce soit la stratégie des USLINES qui utilisent leur marché captif de matériel militaire en USA et Europe pour attaquer dans la foulée, grâce à une rotation Est, le marché de la Far East Freight Conference.

Il semble que ce soit également la stratégie de la joint-venture asiatique NEPTUNE-OOCL qui a décidé de faire tourner ses bateaux à destination des USA plutôt que de les faire revenir sur le Pacifique.

II - DESEQUILIBRE DES TRAFICS ALLER-RETOUR OU "IMBALANCES"

1. Etat des imbalances en 1980

Les trafics maritimes Nord/Nord de l'année 1980 ont été déséquilibrés pour deux raisons :

- un dollar élevé qui a fait des USA une véritable pompe aspirante de marchandises mondiales, situation encore valable aujourd'hui,
- le caractère fortement et structurellement importateur du Golfe Persique (moins vrai aujourd'hui avec le ralentissement sensible des ventes de pétrole).

On peut très approximativement situer les installations à :

- 60 % / 40 % sur le Pacifique,
- 30 % / 70 % sur l'Atlantique,
- 45 % / 55 % sur la liaison Europe - Extrême Orient,
- 100 % sur toutes liaisons avec le Golfe Persique.

Compte tenu de la manière dont les trafics intéressant les USA s'éclatent entre la côte Est et la côte Ouest, ces imbalances conduisent à la matrice des flux en kilo EVP-voyages, ci-après :

Destinat ^o Origine	USA Ouest	USA Est	Europe	Golfe	Extrême Orient	Total destinat ^o
USA Ouest		0	69	0	621	690
USA Est	0		441	206	237	884
Europe	123	1065		439	466	2093
Golfe	0	0	0		0	0
Extrême Orient	832	455	570	242		2099
Total origine	955	1520	1080	887	1324	5766

Ces chiffres mettent bien en évidence les déséquilibres entre flux entrants et flux sortants zone par zone. Ainsi :

- les USA sont fortement importateurs sauf à destination du Golfe,
- l'Extrême Orient et l'Europe sont fortement exportateurs nets vers toute destination,
- il ya un certain équilibre de trafic entre l'Europe et l'Extrême Orient,
- le Golfe n'exporte pratiquement pas de marchandises conteneurisées.

2. Les diverses politiques de repositionnement des conteneurs vides envisageables

Il existe trois façons de repositionner les conteneurs vides :

- les ramener systématiquement à leur port d'origine, ce qui est le plus simple, mais aussi le plus coûteux,
- exploiter le caractère banalisé d'un conteneur vide en essayant de réduire les mouvements qui nécessitent son repositionnement :
 - . en réalisant le maximum de compensation locale possible entre lignes convergeant sur une même zone portuaire, c'est le "clearing local",
 - . en minimisant les mouvements physiques des soldes de conteneurs vides des zones d'accumulation vers les zones déficit,

ces deux dernières façons étant d'autant plus efficaces que la mutualisation des trafics de conteneurs vides sera grande.

Cette mutualisation des trafics de conteneurs vides peut être réalisée à plusieurs niveaux :

- . au sein d'un même armateur exploitant plusieurs lignes par zone portuaire,
- . entre armateurs directement par recours à la pratique de "l'interchange",
- . entre armateurs indirectement par recours à des entreprises de location de conteneurs d'envergure internationale et au "drop-off" des conteneurs (analogie avec la voiture particulière louée à un endroit et abandonnée à un autre).

Matrice des flux totaux en rapatriement simple des vides

	USA Ouest	USA Est	Europe	Golfe	Extrême Orient	Total destinat ^o
USA Ouest		0	123	0	832	955
USA Est	0		1 065	206	455	1 726
Europe	123	1065		439	570	2 197
Golfe	0	206	439		242	887
Extrême Orient	832	455	570	242		2099
Total origine	955	1 726	2 197	887	2 099	7 864

Elle est évidemment parfaitement symétrique, mais avec un flux total de conteneurs vides et pleins de 7 864 M EVP-voyages, soit 786 400 EVP-voyages pour notre armateur hypothétique détenant 10 % du marché ; soit un trafic supérieur de plus du tiers.

b. Repositionnement optimal

Cela consiste à faire dans un premier temps une compensation locale sur toutes les lignes concernant une zone de manière à établir le solde net (déficit ou excédent) de conteneurs vides.

Dans un second temps, acheminer les conteneurs vides des zones excédentaires vers les zones déficitaires en minimisant le temps de transport, donc d'immobilisation en mer des vides.

Le repositionnement optimal des conteneurs par rapport au rapatriement sur les ports d'origine des vides permet d'espérer gagner sur trois tableaux :

- grâce à la réduction du flux de trafic (pleins + vides) liée au clearing local, réduire la taille des navires et la capacité de la flotte ; c'est le gain en slots déployés,
- grâce au clearing local, gagner deux manipulations (chargement et déchargement) par conteneur compensé ; c'est le gain en manipulation,
- grâce à la fois au clearing local et au repositionnement optimal, réduire l'immobilisation en conteneurs vides par suppression ou réduction des trajets de retour à vide, c'est le gain en EVP x année d'immobilisation (1 EVP année coûte 5000 Francs environ).

Nous allons examiner ces trois sources de gain dans le cas de desserte en lignes directes puis dans le cas de tour du monde et nous utiliserons à nouveau, à titre de simulation numérique, la matrice des flux de l'année 1980 concernant un armateur international hypothétique supposé détenir 10 % du marché sur toutes les lignes.

3. Impact d'une politique optimale de repositionnement de conteneurs vides en desserte par lignes directes

Remarquons tout de suite qu'en lignes directes, la capacité de la flotte n'est conditionnée que par le seul trafic en conteneurs pleins et qu'un repositionnement optimal des vides n'aura d'influence que sur l'immobilisation en conteneurs. Il n'y a là donc pas de gain en slots à attendre.

a. Retour à vide simple

Si l'on se contentait d'un simple retour à vide des conteneurs à leur port d'origine, tout se passerait comme si l'on avait sur chaque tronçon un trafic équilibré, mais plus important que le seul trafic en charge. En effet, dans ce cas, notre matrice de flux deviendrait :

Il s'agit là d'un problème d'optimisation classique en Recherche Opérationnelle, dit "problème de transport" ; la matrice des coûts étant ici en fait la matrice des distances nautiques, c'est-à-dire indirectement des temps de navigation à vitesse donnée.

Dans le cas de notre matrice de flux de départ, on peut constater que par solde :

- la zone USA Ouest est excédentaire de $955 - 690 = 265$
- la zone USA Est est excédentaire de $1\,520 - 884 = 636$
- la zone Europe est déficitaire de $2\,093 - 1\,080 = 1\,013$
- la zone Golfe est excédentaire de $887 - 0 = 887$
- la zone Extrême Orient est déficitaire de $2\,099 - 1\,324 = 775$

On vérifie bien que la somme des excédents, soit

$$265 + 636 + 887 = 1\,788$$

est égale à la somme des déficits, soit

$$1\,013 + 775 = 1\,788.$$

Par ailleurs, la matrice des distances nautiques est la suivante :

Matrice des distances *

	USA Ouest	USA Est	Europe	Golfe	Extrême Orient
USA Ouest		$5\,290^E$	$8\,624^E$	$11\,190^W$	$4\,520^W$
USA Est	$5\,290^W$		$3\,334^E$	$10\,305^E$	$9\,810^W$
Europe	$8\,624^W$	$3\,334^W$		$6\,971^E$	$13\,641^E$
Golfe	$11\,190^E$	$10\,305^W$	$6\,971^W$		$6\,670^E$
Extrême Orient	$4\,520^E$	$9\,810^E$	$13\,641^W$	$6\,670^W$	

* : le signe E ou W indique le sens de rotation (est ou ouest) qui assure la distance la plus courte figurant sur la matrice.

Le plan de repositionnement optimal est ici aisé à déterminer (cf. matrice ci-après).

Les vides de USA Côte Ouest sont rapatriés sur l'Extrême Orient, alors que les vides de USA Côte Est sont rapatriés sur l'Europe ; quant aux vides du Golfe, ils se répartissent entre Extrême Orient et Europe pour compléter leurs besoins.

Matrice des flux de conteneurs vides repositionnés au mieux

	USA Ouest	USA Est	Europe	Golfe	Extrême Orient	Total destinat ^o
USA Ouest					265	265
USA Est			636			636
Europe						
Golfe			377		510	887
Extrême Orient						
Total origine			1 013		775	1 788

Si l'on inclut le clearing local et le repositionnement optimal des vides dans le flux global, on obtient une nouvelle matrice de flux pleins + vides.

Matrice des flux, repositionnement inclus

	USA Ouest	USA Est	Europe	Golfe	Extrême Orient	Total destinat°
USA Ouest		0	69	0	886	955
USA Est	0		1 077	206	237	1 520
Europe	123	1 065		439	466	2 093
Golfe	0	0	377		510	887
Extrême Orient	832	455	570	242		2 099
Total origine	955	1 520	2 093	887	2 099	7 554

On constate sur cette matrice deux choses :

- le flux total de 7 544 est bien sûr supérieur au seul flux de conteneurs chargé 5 766, mais inférieur au flux résultant d'un rapatriement pur et simple 7 864. Ceci est dû au clearing local indépendamment de tout mode de repositionnement des soldes de conteneurs vides. La faiblesse de son impact (310 mouvements) provient du caractère très déséquilibré du commerce international de marchandises générales qui prévalait en 1980.
- Toutes les zones portuaires sont bien équilibrées en entrées/sorties de conteneurs (pleins + vides), avec le nouveau système de repositionnement des vides.

La réduction de flux résultant du repositionnement optimal par rapport au rapatriement simple s'obtient en rapprochant les deux matrices de flux correspondantes. On trouve la matrice d'écart de flux ci-après :

	USA Ouest	USA Est	Europe	Golfe	Extrême Orient	Total destinat°
USA Ouest		0	54	0	- 54	0
USA Est	0		- 12	0	218	206
Europe	0	0		0	104	104
Golfe	0	206	62		- 268	0
Extrême Orient	0	0	0	0		0
Total origine	0	206	104	0	0	310

L'économie en immobilisation de conteneurs vides s'obtient en multipliant case à case la matrice d'écart de flux ci-dessus par la matrice des milles nautiques, puis en divisant par la vitesse en nœuds et en cumulant sur toutes les liaisons, le tout pris à 10 % pour tenir compte de la part du marché de notre armateur hypothétique.

Avec une vitesse de navigation de 18 nœuds, on obtient un gain en immobilisation de 2.858 EVP-année, ce qui, sur la base d'un coût de 5000 Francs à l'EVP-année (amortissement + coût de maintenance) correspond, pour notre armateur, à une économie de 14,3 MF, à rapprocher d'un coût global de transport hors manipulation de :

$$\frac{1}{10} \times 7.864.000 \times 3180 = 2.500 \text{ MF}$$

dans lequel l'immobilisation en mer des conteneurs compte pour 10 % environ. L'économie est donc de l'ordre de 5 %.

Il faut également tenir compte de l'économie de manipulation obtenue grâce au clearing qui élimine

$$\frac{1}{10} \times 310.000 \text{ EVP-voyages}$$

de conteneurs vides, soit le double en manipulation (chargement + déchargement).

Sur la base d'un coût de 500 Francs par manipulation, cela fait pour notre armateur une économie supplémentaire de 31 MF, à rapporter à un coût total de manipulation de :

$$\frac{1}{10} \times 7.864.000 \times 500 \times 2 = 786,4 \text{ MF}$$

soit une économie de l'ordre de 4 %.

L'économie en manipulation et immobilisation de conteneurs peut paraître bien modeste (de l'ordre de 5 %), mais il faut bien voir que le profil des flux de l'année 1980 se prêtait fort mal à la rentabilisation d'une bonne gestion des vides du fait du caractère très déséquilibré du commerce extérieur des principales zones portuaires.

4. Desserte circumterrestre et repositionnement des vides

En tour du monde, le problème du repositionnement optimal demeure, bien que se posant en des termes différents tant du point de vue de l'efficacité économique que celui de la mise en œuvre.

4.1. Efficacité économique

En ce qui concerne l'économie du conteneur proprement dit, la desserte circumterrestre n'est a priori pas favorable ; en effet, que ce soit par l'allongement des trajets (en "one way") ou que ce soit par les attentes supplémentaires dans des ports tiers, les tours du monde requièrent des temps d'immobilisation de conteneurs pleins et vides supérieurs.

Pour les mêmes raisons, le repositionnement optimal des conteneurs également opportun en tour du monde, conduit à des gains d'immobilisation qui ne sauraient être meilleurs qu'en desserte par lignes directes.

Si l'on regarde du côté des manipulations, les économies résultant du regroupement optimal sont strictement les mêmes.

En fait, c'est au niveau du gain en slots que l'impact du repositionnement optimal est comparativement le plus significatif. En effet, alors qu'en lignes directes, la taille de la flotte est insensible au repositionnement optimal des vides, les navires étant dimensionnés en fonction du seul trafic en charge, en desserte circumterrestre au contraire, la capacité de la flotte, directement liée à l'ensemble du trafic (pleins + vides) peut être réduite à concurrence des gains de mouvements résultant des clearings.

Dans le cas des flux de l'année 1980, cet avantage au niveau de la capacité des navires s'est avéré surpasser largement les inconvénients dûs aux surcoûts d'immobilisation des conteneurs vides (notamment en one way).

42. La mise en œuvre

Là encore, la desserte circumterrestre se trouve présenter un avantage non négligeable. En effet, le clearing aux ports d'escale entre conteneurs vides et pleins est pratiquement automatique. Par ailleurs, les opérations de chargement/déchargement et aiguillage des vides sont beaucoup plus simples :

- . en one way, il suffit de charger le bateau avec le maximum possible de conteneurs vides au départ de chaque port, sans se préoccuper des destinations, une fois les besoins locaux servis bien sûr,
- . en two ways, la règle de gestion est un peu moins simple, car il faut arbitrer entre bateaux Est et bateaux Ouest. On pourrait se référer au pourcentage résultant du plan de repositionnement optimal pour réaliser la répartition des vides au chargement, comme au déchargement.

ANNEXES

ANNEXE 1

IMPACT DE TRAFICS INEGAUX MAIS EQUILIBRES
SUR LA DESSERTTE "TWO WAYS"Hypothèses

- On utilise la matrice des flux en charge de l'année 1980,
- on suppose que les imbalances sont compensées par le rapatriement des conteneurs vides sur leurs ports d'origine, ce qui conduit à la matrice en kilo-EVP :

	USA Ouest	USA Est	Europe	Golfe	Extrême Orient	Total destinat ^o
USA Ouest		0	123	0	832	955
USA Est	0		1 065	206	455	1 726
Europe	123	1 065		439	570	2 197
Golfe	0	206	439		242	887
Extrême Orient	832	455	570	242		2 099
Total origine	955	1 726	2 197	887		7 864

- On considère par ailleurs un armateur assurant 10 % de ce trafic avec une fréquence de desserte décadaire.

Il faut tout d'abord scinder la matrice des flux en deux sous-matrices correspondant respectivement aux bateaux naviguant Est et aux bateaux naviguant Ouest, l'allocation étant faite selon le sens conduisant à la liaison la plus courte.

Sous-matrice Est

	USA Ouest	USA Est	Europe	Golfe	Extrême Orient	Total destinat ^o
USA Ouest		0	123	0	0	123
USA Est	0		1 065	206	0	1 271
Europe	0	0		439	570	1 009
Golfe	0	0	0		242	242
Extrême Orient	832	455	0	0		1 287
Total origine	832	455	1 188	645	812	3 932

Sous-matrice Ouest

	USA Ouest	USA Est	Europe	Golfe	Extrême Orient	Total destinat°
USA Ouest		0	0	0	832	832
USA Est	0		0	0	455	455
Europe	123	1 065		0	0	1 188
Golfe	0	206	439		0	645
Extrême Orient	0	0	570	242		812
Total origine	123	1271	1 009	242	1 287	3 932

On constate bien le caractère anti symétrique de la scission, chaque liaison ayant le flux aller sur l'une des sous-matrices et le flux retour sur l'autre sous-matrice.

Pour chacune de ces sous-matrices, on se trouve en quelque sorte ramené au cas de la desserte one way avec toutefois maintenant, une imbalance systématique sur chaque liaison, puisque l'un des deux flux aller ou retour est obligatoirement nul.

Dans ces conditions, la cargaison en charge sur le navire ne saurait être la même selon le point du globe où se trouve le navire et donc la taille de celui-ci devra être égale au maximum de cette cargaison.

Un raisonnement par comptage conduit pour les bateaux naviguant Est à une taille de :

$$1394 \times 0,10 \times \frac{10}{365} = 3.819 \text{ EVP,}$$

et pour le bateau navigant Ouest, à une taille identique :

$$1394 \times 0,10 \times \frac{10}{365} = 3.819 \text{ EVP,}$$

taille correspondant à la cargaison maximale atteinte sur l'Atlantique par chacune des deux sens de rotation.

Cette taille est supérieure à celle qui résulterait de flux parfaitement homogènes d'une liaison à l'autre donnée par la formule :

$$\frac{1}{8} \Phi_{\text{mondial}} \times \frac{n+1}{n} \times 0,10 \times \frac{10}{365}$$

3.232 EVP

et que l'on peut lire sur le graphique n° 1.

Le surdimensionnement du navire fait passer le coût à l'EVP-voyage de 2.401 Francs à 2.685 Francs.

La variabilité des trafics altère donc l'efficacité du service "two ways", car elle impose un surdimensionnement des bateaux qui sera d'autant plus accusé que la variabilité est forte et que les trafics les plus élevés se trouvent sur des lignes successives.

Il vaudra mieux dans ce cas songer à isoler certaines lignes autonomes du circuit tour du monde.

ANNEXE 2

**GAIN EN SLOTS RESULTANT DU REPOSITIONNEMENT OPTIMAL
DES VIDES EN "TWO WAYS"**

La matrice des flux (pleins + vides repositionnés au mieux) en two ways peut être éclatée en deux sous-matrices Est et Ouest, selon le sens de la liaison la plus courte.

**Matrice des flux Est
Repositionnement inclus**

	USA Ouest	USA Est	Europe	Golfe	Extrême Orient	Total destinat ^o
USA Ouest		0	69	0	0	69
USA Est	0		1 077	206	0	1 283
Europe	0	0		439	466	905
Golfe	0	0	0		510	510
Extrême Orient	832	455	0	0		1 287
Total origine	832	455	1 146	645	976	4 054

Matrice des flux Ouest
Repositionnement inclus

	USA Ouest	USA Est	Europe	Golfe	Extrême Orient	Total destinat ^o
USA Ouest		0	0	0	886	886
USA Est	0		0	0	237	237
Europe	123	1 065		0	0	1 188
Golfe	0	0	377		0	377
Extrême Orient	0	0	570	242		812
Total origine	123	1 065	947	242	1 123	3 500

On considère toujours un armateur détenant 10 % du trafic.

On peut constater par comptage des cargaisons chargées et déchargées en cours d'une rotation que pour les bateaux Ouest, comme pour les bateaux Est, c'est la charge sur l'Atlantique qui détermine la taille des navires, soit :

$$\frac{1}{10} \times 1.352.000 \times \frac{10}{365} = 3.704 \text{ EVP pour les bateaux Est}$$

$$\frac{1}{10} \times 1.188.000 \times \frac{10}{365} = 3.255 \text{ EVP pour les bateaux Ouest}$$

Ces tailles sont différentes car contrairement au rapatriement pur et simple, le repositionnement optimal des conteneurs vides n'assure pas l'équilibre du trafic sur chacune des liaisons prise séparément.

Par ailleurs, ces tailles sont bien inférieures à celles de 3819 EVP qu'aurait donné la politique de rapatriement pur et simple des conteneurs vides (cf. annexe précédente), ce qui implique bien une réduction de la capacité de la flotte nécessaire.

Le modèle mathématique permet de calculer le coût à l'EVP-voyage hors chargement/déchargement en fonction de la taille des navires.

- En politique de rapatriement pur et simple, la taille de 3819 EVP conduit comme on l'a vu à un coût à l'EVP-voyage de 2685 Francs, qui multiplié par le trafic (pleins + vides), donne un coût total pour l'armateur de :

$$2685 \times 7.864.000 \times \frac{1}{10} = 2.110 \text{ MF}$$

- En politique de repositionnement optimal, grâce au clearing, le flux global passe de

$$\frac{1}{10} \times 7.864.000 \text{ à } \frac{1}{10} \times 7.554.000$$

ce qui, on l'a vu, va permettre d'utiliser des navires plus petits ; seulement, les tailles ne vont pas alors être les mêmes selon le sens de la rotation :

- . en rotation Est, on calcule à partir de flux successifs qu'il faut des bateaux de 3704 EVP pour acheminer les

$$\frac{1}{10} \times 4.054.000$$

conteneurs dans ce sens.

- . En navigation Ouest, le même type de calcul conduit à des bateaux de 3255 EVP pour acheminer un flux de

$$\frac{1}{10} \times 3.500.000$$

conteneurs dans le sens Ouest.

L'ensemble des deux rotations conduit à un coût global de

1.970 MF

ce qui, par rapport à la politique de rapatriement pur et simple représente une économie significative de près de

140 MF

qui couvre à la fois l'économie en slots déployés et l'économie en immobilisation des conteneurs.

ANNEXE 3

**CALCUL DU SURCÔUT D'IMMOBILISATION DES CONTENEURS VIDES
EN TOUR DU MONDE "ONE WAY"**

Ce surcoût d'immobilisation provient du fait que le sens unique provoque un allongement du trajet de repositionnement pour les liaisons desservies en sens inverse, tant pour les conteneurs vides que pour les conteneurs pleins d'ailleurs.

A titre indicatif, la matrice des distances en "one way" Est se présente comme suit :

	USA Ouest	USA Est	Europe	Golfe	Extrême Orient
USA Ouest		5 290	8 624	15 595	22 265
USA Est	21 495		3 334	10 305	16 975
Europe	18 161	23 451		6 971	13 641
Golfe	11 190	16 480	19 814		6 670
Extrême Orient	4 520	9 810	13 144	20 155	

On constate bien sur cette matrice combien certaines liaisons sont rallongées, telle la liaison de la côte Ouest des USA vers l'Extrême Orient, ou même la liaison de l'Europe vers les USA.

Cette modification des distances va engendrer un nouveau plan de repositionnement optimal des vides.

En effet, compte tenu du sens giratoire vers l'Est, les vides des Côtes Ouest et Est seront préférentiellement repositionnés sur l'Europe alors que ceux du Golfe iront vers l'Extrême Orient en priorité.

On obtient le plan de repositionnement suivant :

	USA Ouest	USA Est	Europe	Golfe	Extrême Orient	Total dest.
USA Ouest			265			265
USA Est	0		636			636
Europe						
Golfe			112		775	887
Extrême Orient						
Total origine			1 013		775	1 788

Comparé au repositionnement correspondant à une relation dans les deux sens (cf. chapitre VI), la desserte "one way" implique une immobilisation supplémentaire de vides égale à :

$$265 (8.624 - 4.520) + (775 - 510) \times 6.670 + 112 \times 19.814 - 377 \times 6.971$$

$$= 2.446.211 \text{ kilo EVP x mille,}$$

soit, toujours sur la base d'une vitesse de 18 nœuds et d'une part de marché de 10 %, un surcroît d'immobilisation de vides de

$$1551 \text{ EVP-année.}$$

Ainsi dans notre exemple, la moitié environ du gain d'immobilisation des conteneurs résultant du repositionnement optimal des vides est perdue à cause du sens unique de rotation des navires.

ANNEXE 4

TRAFICS HETEROGENES ET IMBALANCES
SYNOPSIS DE LA SIMULATION NUMERIQUE

Cette annexe est consacrée au tableau synoptique de notre simulation numérique portant sur un armateur international détenant 10 % du trafic de l'année 1980 et ce de manière uniforme sur toutes les lignes Nord/Nord.

On donne pour chacun des modes de desserte, la taille requise des navires, le coût global de transport et le coût de manipulation (chargement/déchargement).

Ce tableau permet d'apprécier l'incidence du repositionnement optimal sur chacun des modes de desserte, ainsi que l'efficacité économique de chacun d'entre eux.

On notera en ce qui concerne le one way, que les chiffres sont données à titre de point de comparaison, les tailles des navires requises n'étant pas accessibles en l'état actuel de la technologie.

On vérifie conformément au graphique n° 4 que le "two ways" est le mode de desserte le plus performant par la taille du trafic envisagé.

On constatera que c'est encore la desserte "two ways" qui est le plus sensible à l'hétérogénéité du trafic d'une ligne à l'autre et qui tire le meilleur parti d'un repositionnement optimal de conteneurs grâce à la réduction significative de la taille des navires.

On remarquera également qu'indépendamment de tout mode de desserte, le repositionnement optimal des conteneurs procure

31 MF

d'économie en manipulation de conteneurs.

TABLEAU SYNOPTIQUE
SIMULATION NUMERIQUE

- . Flux 1980
- . Trafic en charge 5.766 MEVP-voyages
- . Armateur à 10 % du trafic

	Trafics égaux et équilibrés 786.400 EVP - voyages			Trafics inégaux Rapatriement des vides 786.400 EVP - voyages			Trafics inégaux Rapatriement optimal des vides 755.400 EVP - voyages		
	Taille navires EVP	Coût transport MF	Coût manip. MF	Taille navires EVP	Coût transport MF	Coût manip. MF	Taille navires EVP	Coût transport MF	Coût manip. MF
Direct	1 092	2 475	786,4	variable selon lignes	2 500	786,4	selon	2 486	755,4
Two ways	3 232	1 884	786,4	3 819	2 110	786,4	3 704 Est 3 255 Ouest	1 970	755,4
One way	10 922 Inaccessible techniquement	2 737	786,4	10 922 Inaccessible techniquement	2 737	786,4	10 178 Inaccessible techniquement	2 608	755,4

N.B. : Surcoût intrinsèque dû aux vides : $\frac{2500}{5766} - \frac{2500}{7864} = 1157$ Francs par EVP-voyages à plein