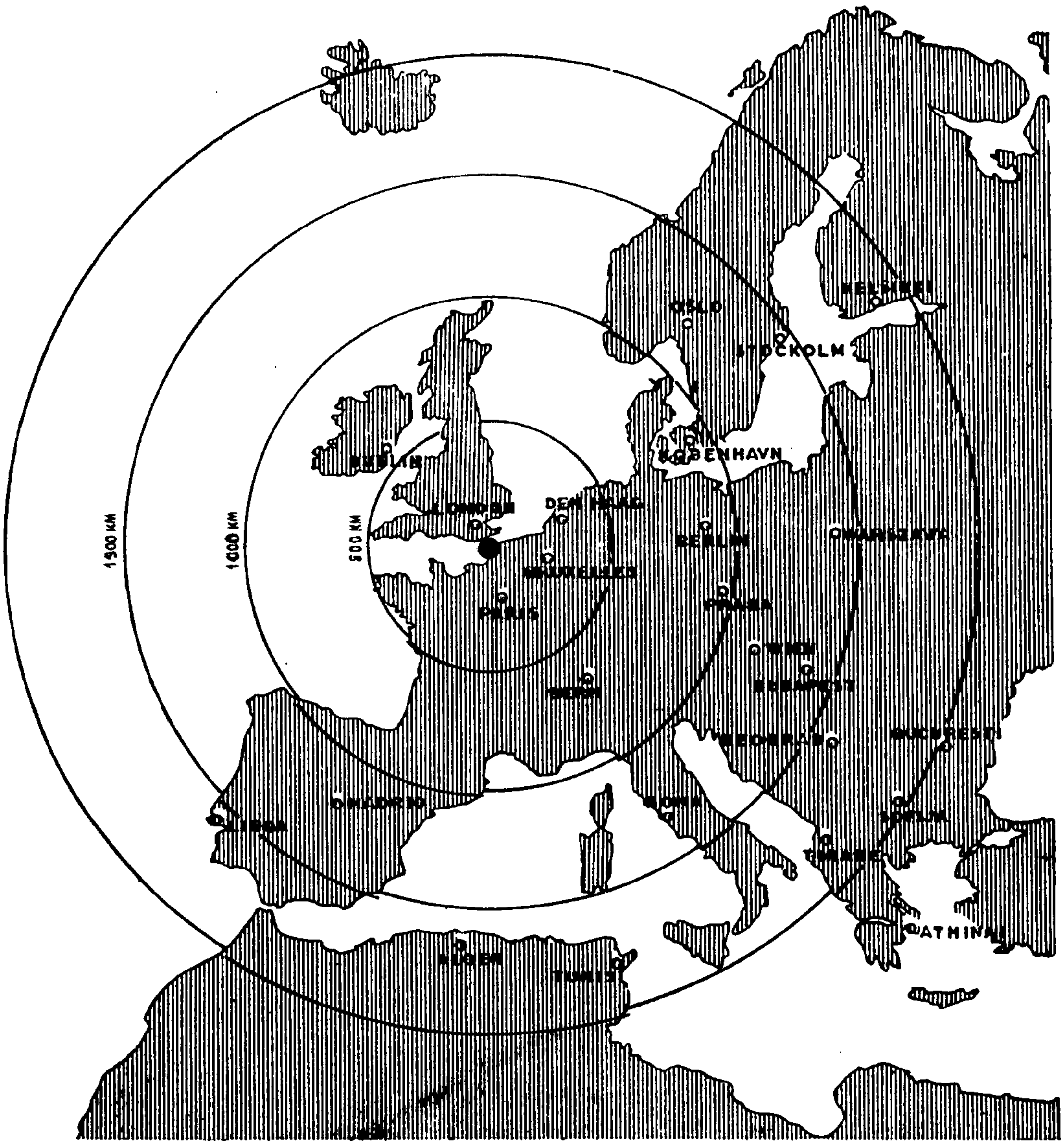
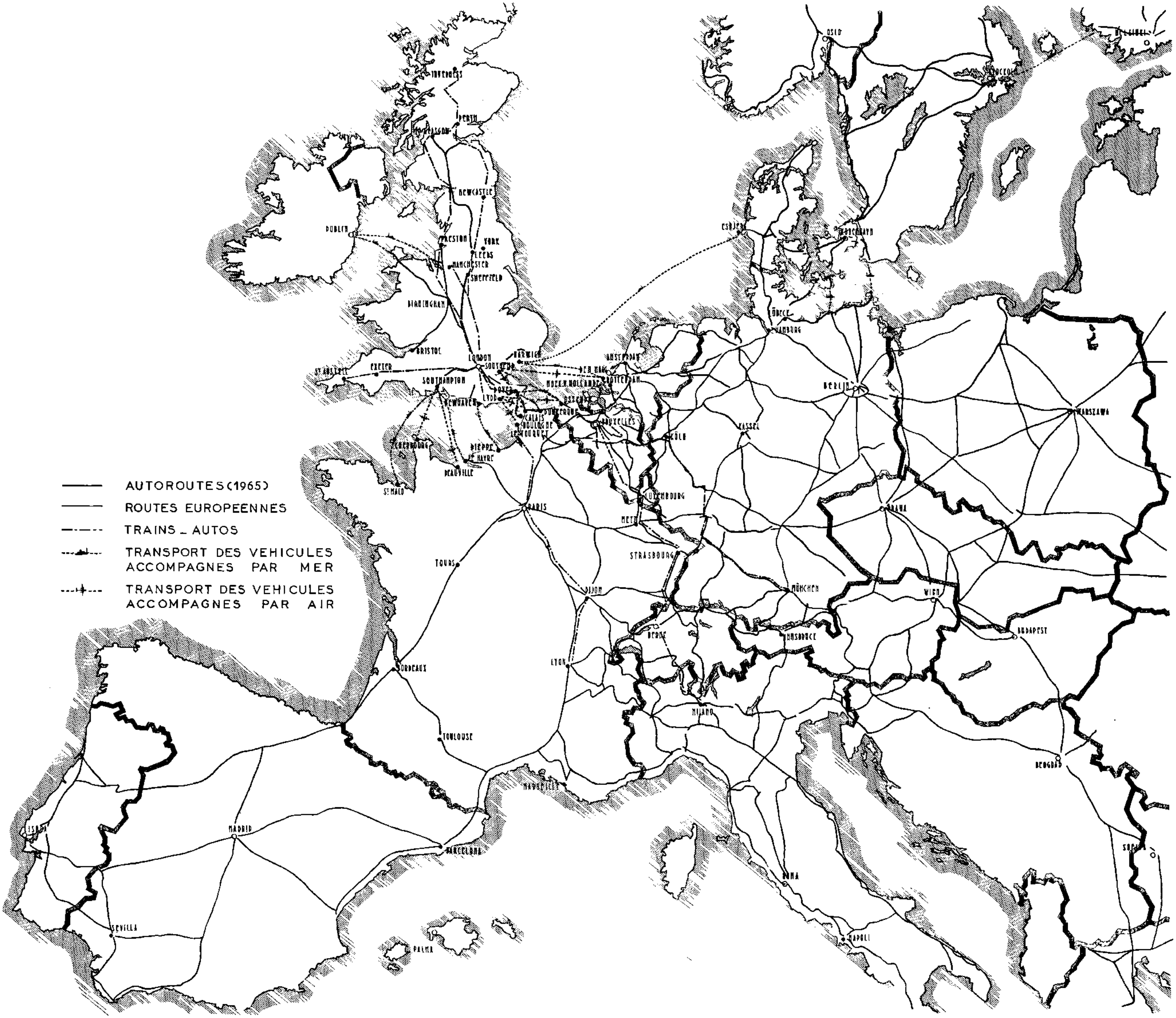
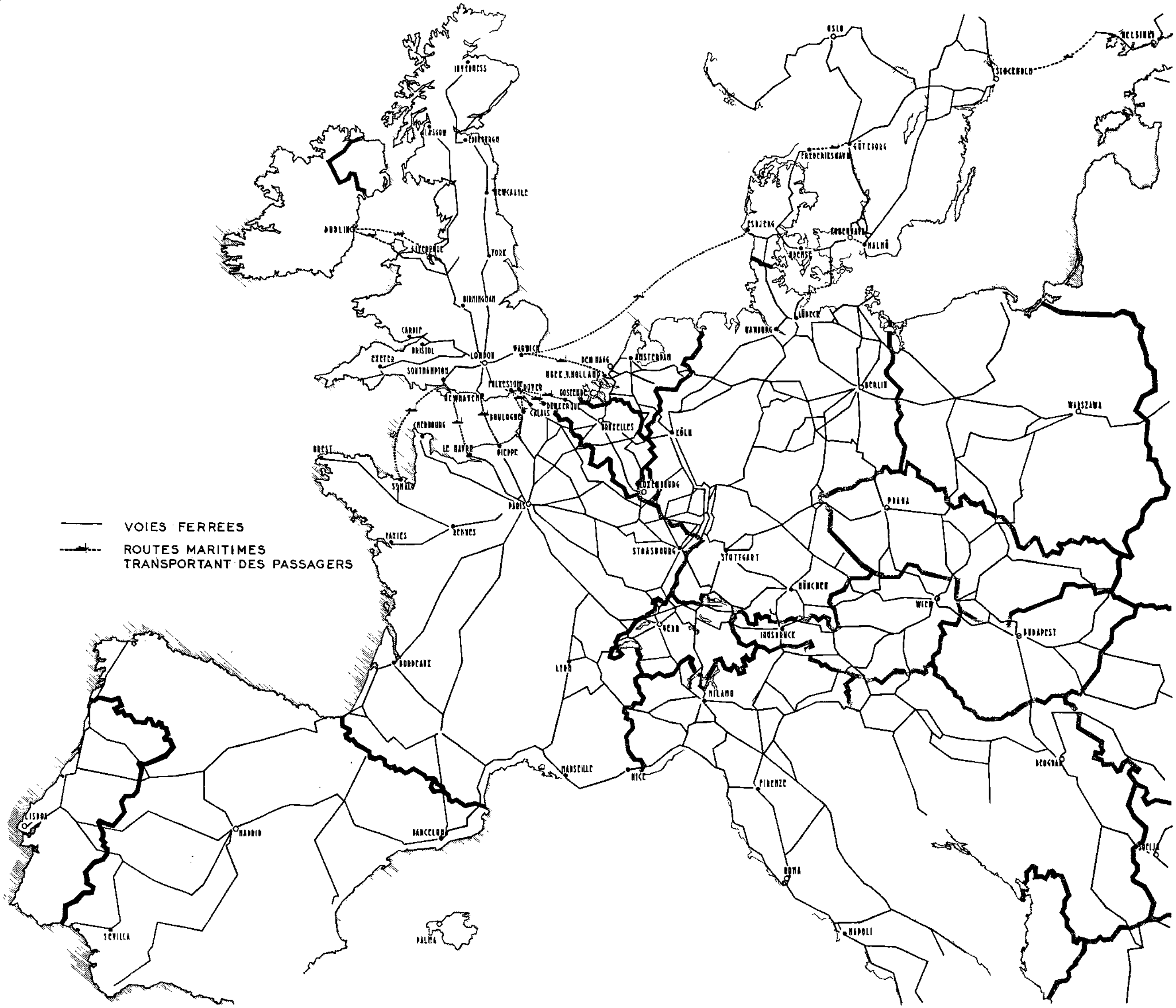

OSLO
STOCKHOLM
KØBENHAVN
LONDON
DEN HAAG
BERLIN
PARIS
MADRID
TUNIS
ATHINAI
2000 KM
1500 KM
1000 KM
500 KM

PLANCHES

MOYENS DE TRANSPORT DES VEHICULES ACCOMPAGNES A TRAVERS LA MANCHE ET RESEAU ROUTIER EUROPEEN EN 1965



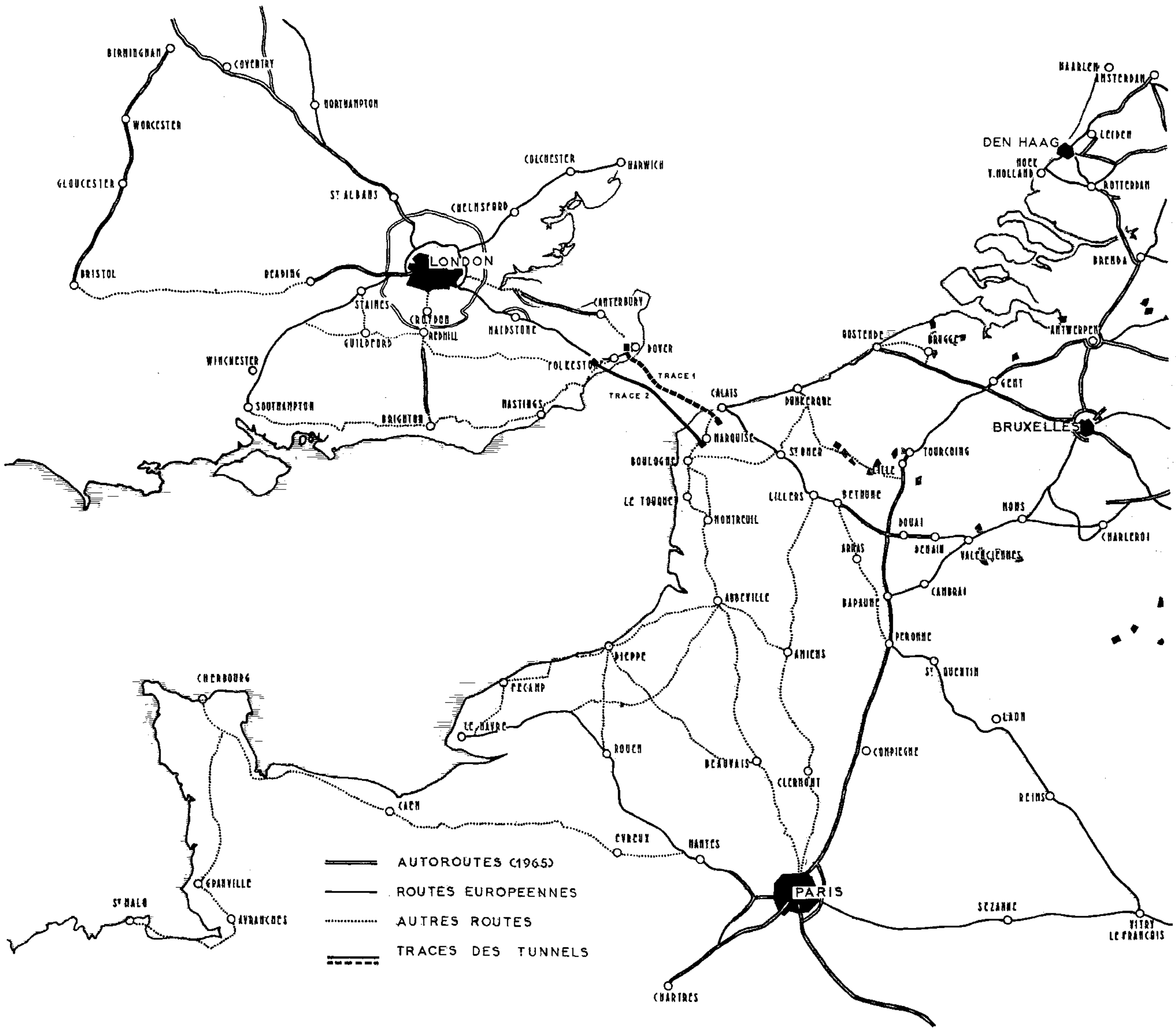
MOYENS MARITIMES DE TRANSPORT DES PASSAGERS A TRAVERS LA MANCHE ET RESEAU FERROVIAIRE EUROPEEN



2

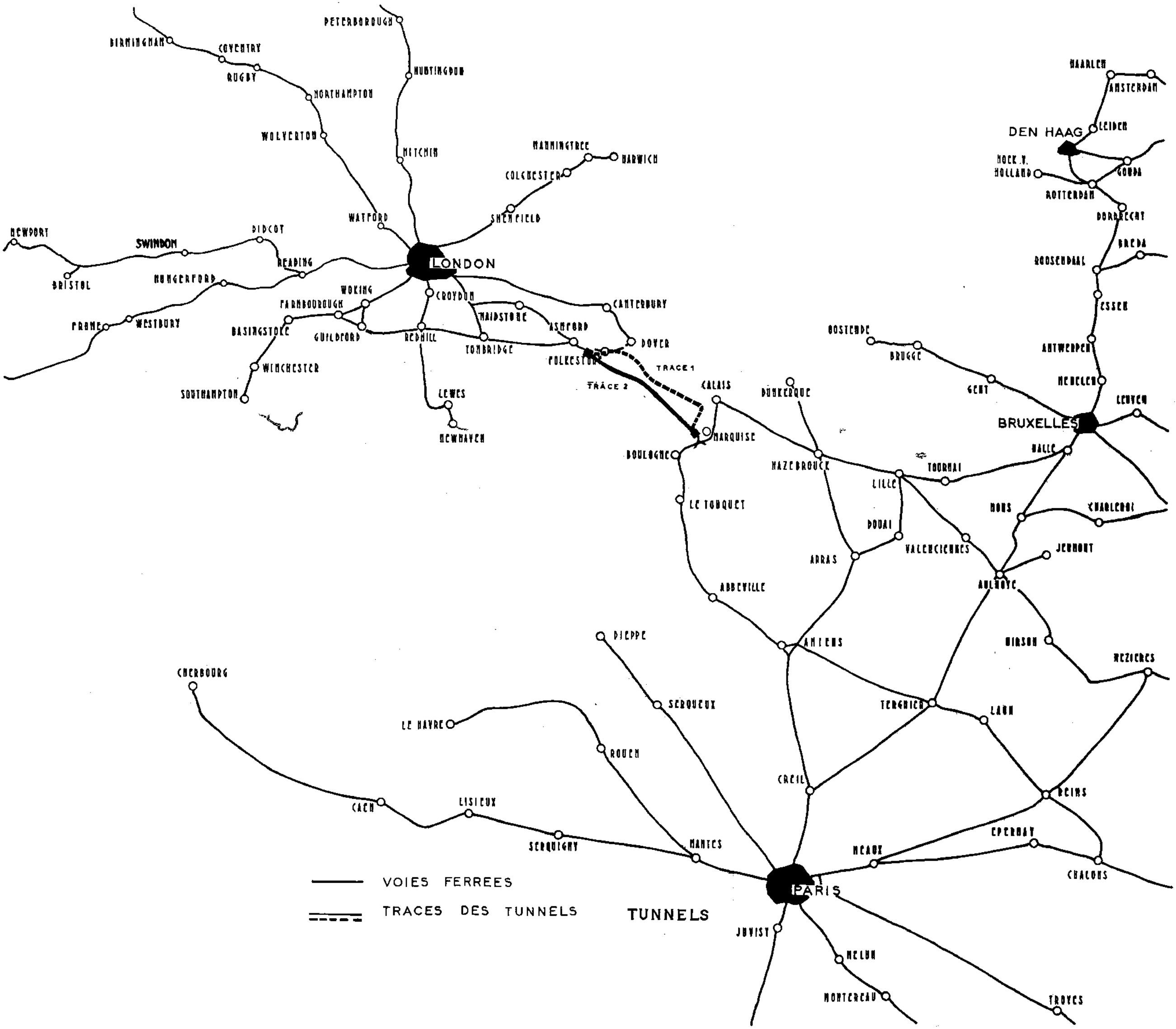
PRINCIPALES ROUTES AERIENNES A TRAVERS LA MANCHE

TUNNELS ROUTIERS — PLAN DE SITUATION

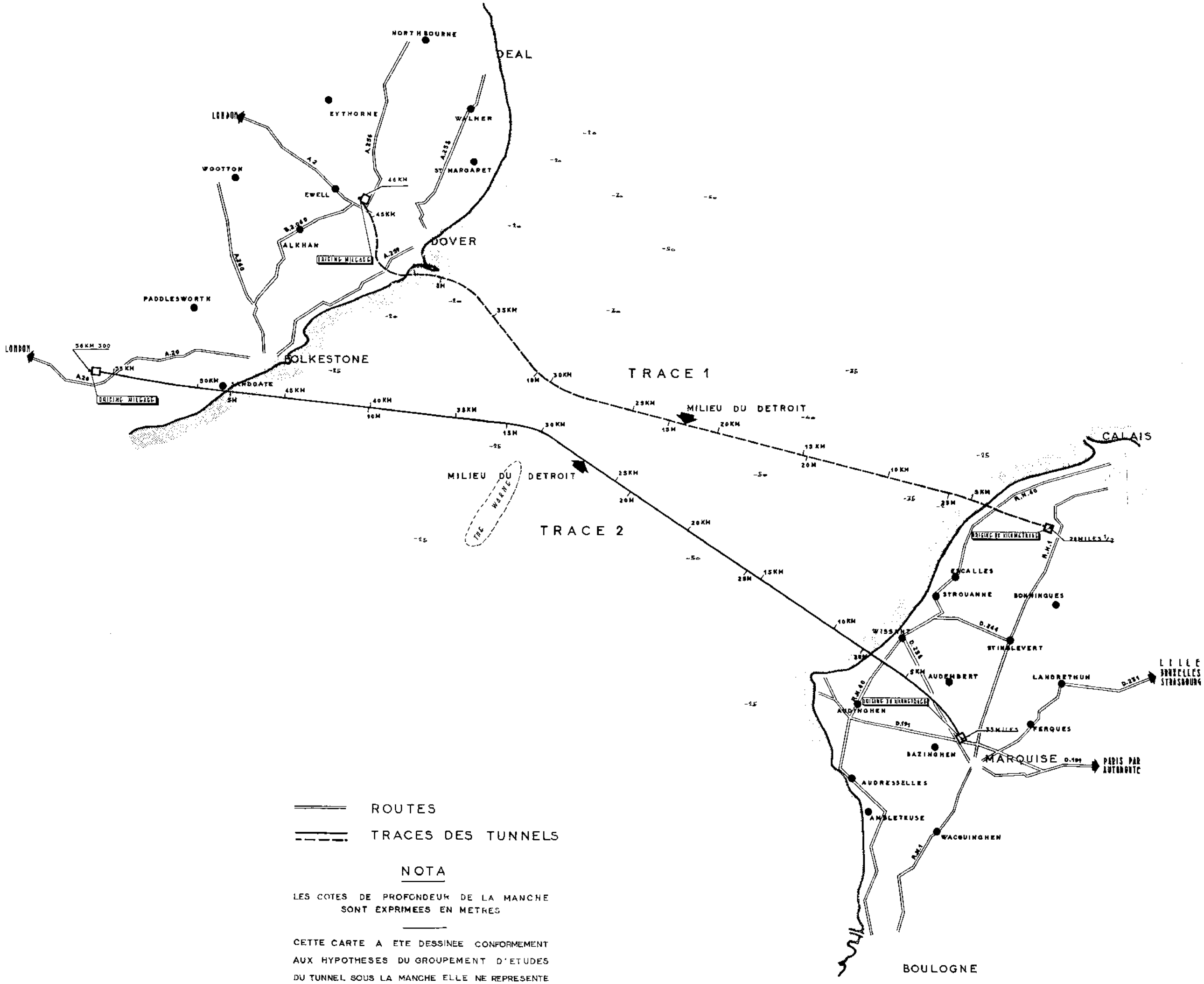


TUNNELS FERROVIAIRES — PLAN DE SITUATION

5



TUNNELS ROUTIERS — PLAN D'IMPLANTATION



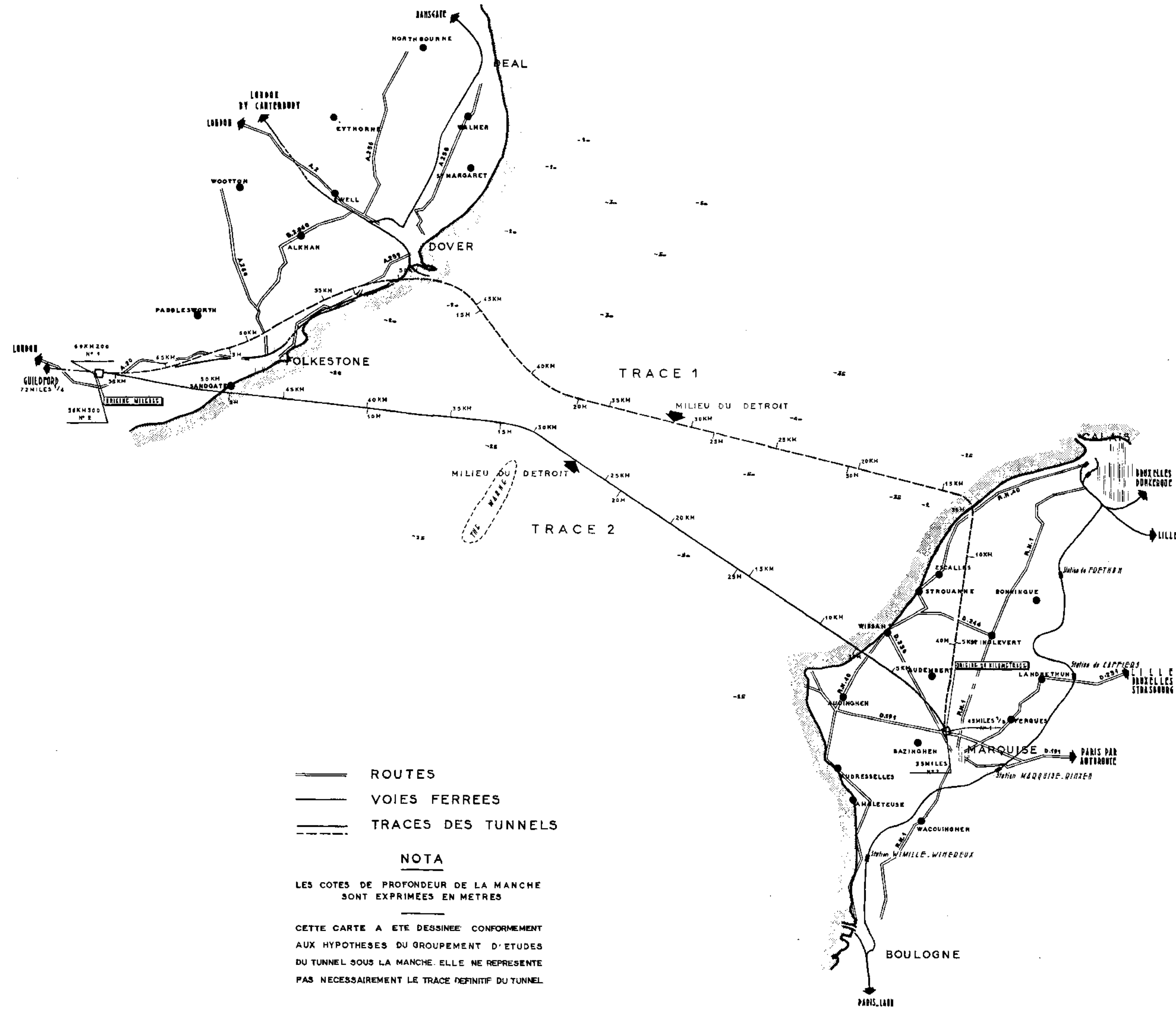
NOTA

LES COTES DE PROFONDEUR DE LA MANCHE SONT EXPRIMEES EN METRES

CETTE CARTE A ETE DESSINEE CONFORMEMENT AUX HYPOTHESES DU GROUPEMENT D'ETUDES DU TUNNEL SOUS LA MANCHE ELLE NE REPRESENTE PAS NECESSAIREMENT LE TRACE DEFINITIF DU TUNNEL

6

TUNNELS FERROVIAIRES — PLAN D'IMPLANTATION



NOTA

LES COTES DE PROFONDEUR DE LA MANCHE SONT EXPRIMEES EN METRES

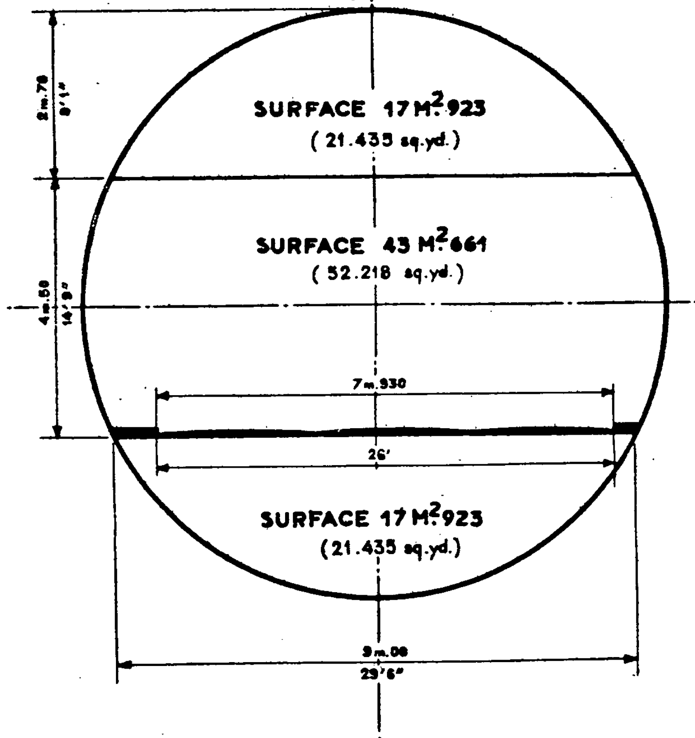
CETTE CARTE A ETE DESSINEE CONFORMEMENT AUX HYPOTHESES DU GROUPEMENT D'ETUDES DU TUNNEL SOUS LA MANCHE. ELLE NE REPRESENTE PAS NECESSAIREMENT LE TRACE DEFINITIF DU TUNNEL

COUPES EN TRAVERS DES TUNNELS ROUTIER ET FERROVIAIRE

8

SECTION 79 M².500
(951.082 sq.yd.)

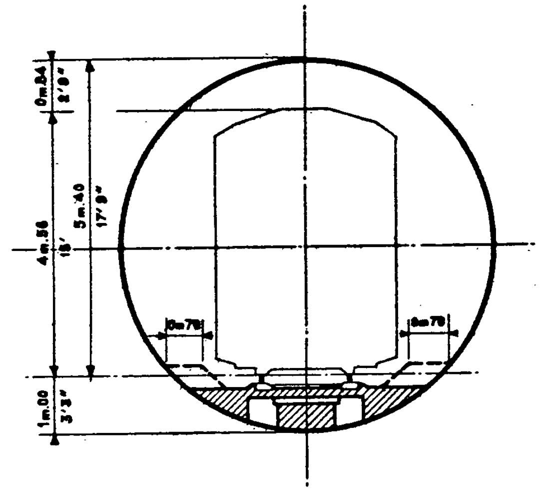
DIAMETRE 10 M. 065
(33')



TUNNEL ROUTIER

SECTION 32 M².150
(38.45 sq.yd.)

DIAMETRE 6 M.400
(21')



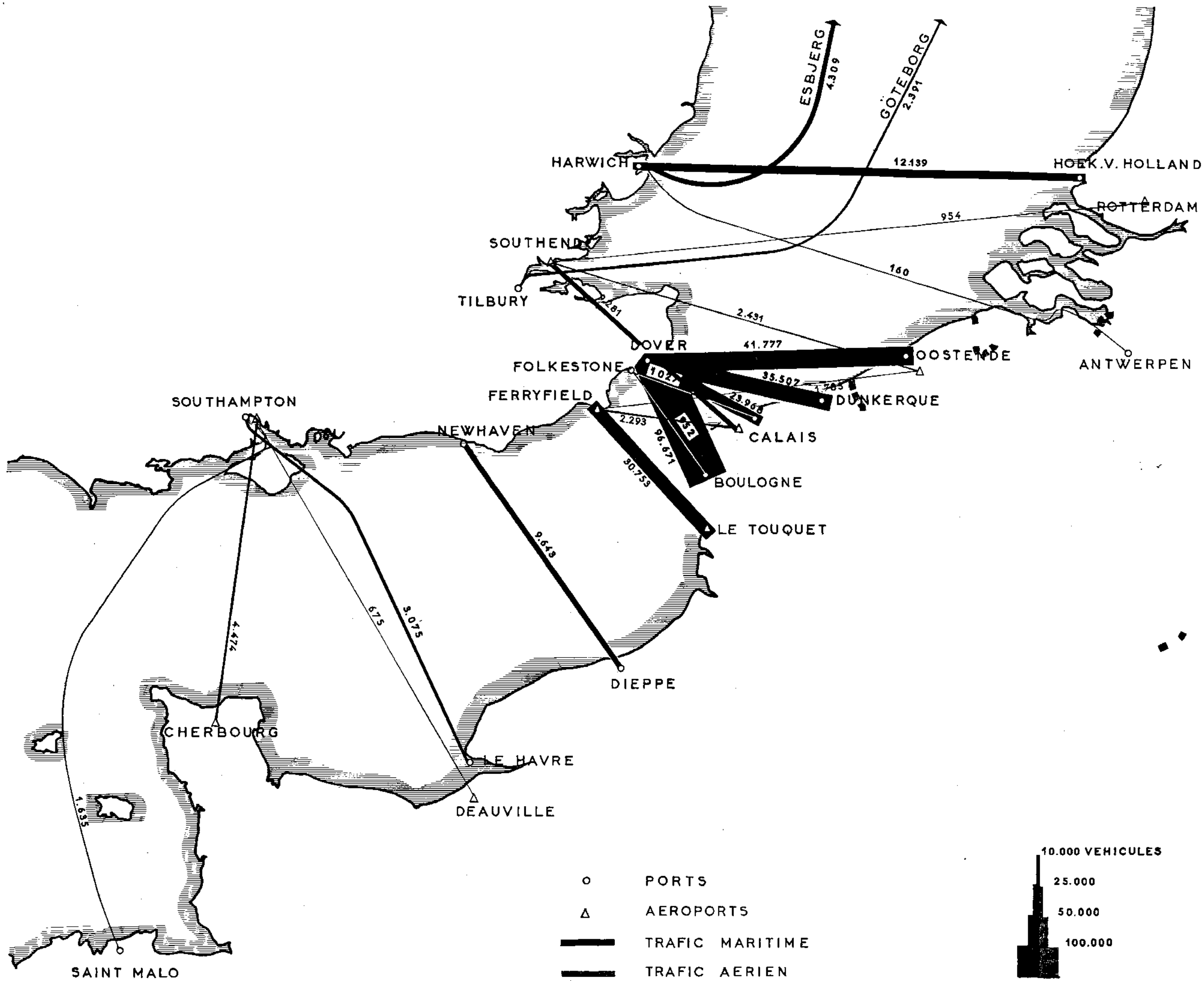
25 000 VOLTS

GABARIT DE 4 M.560
(15')

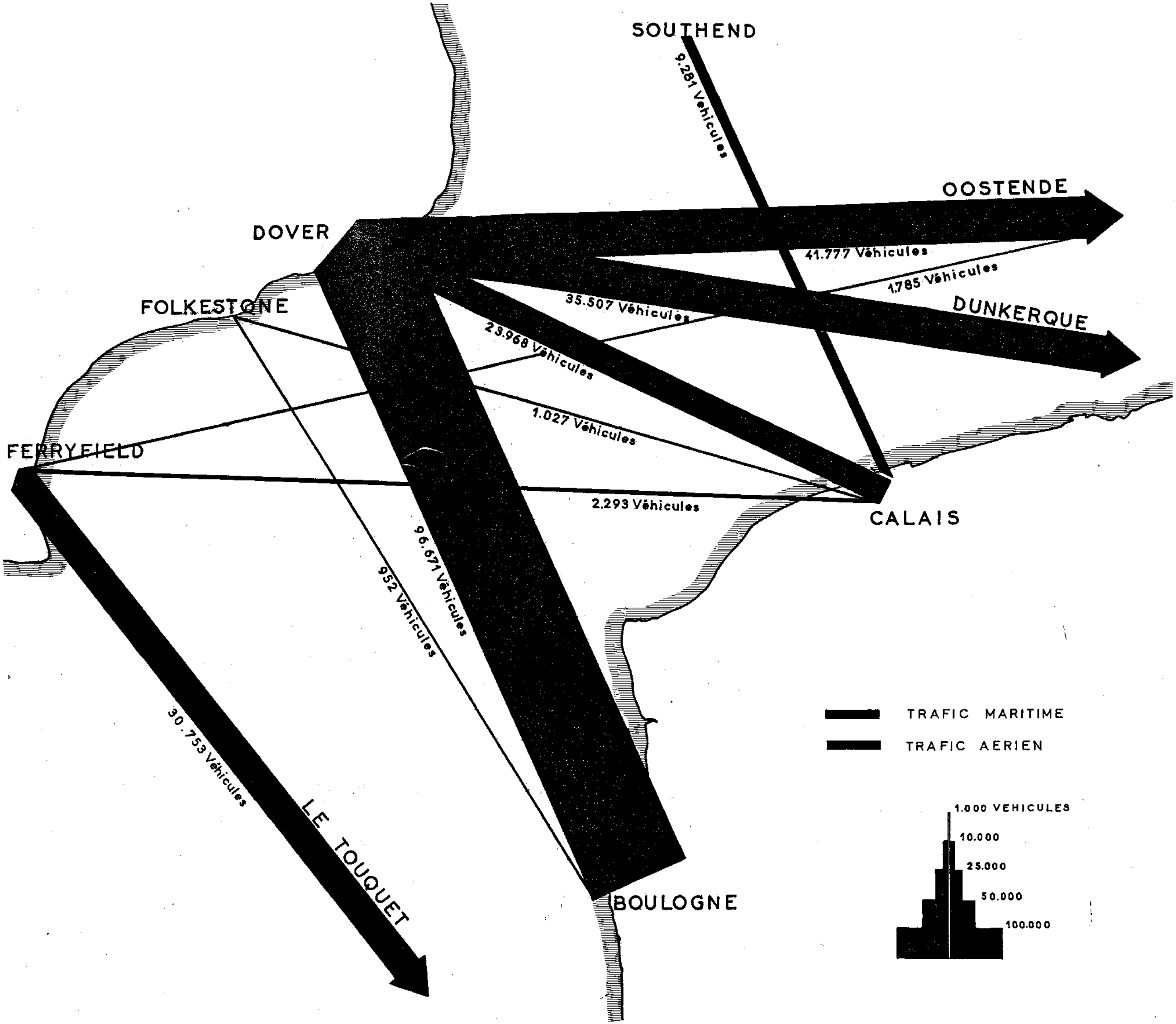
TUNNEL FERROVIAIRE

- 177 -

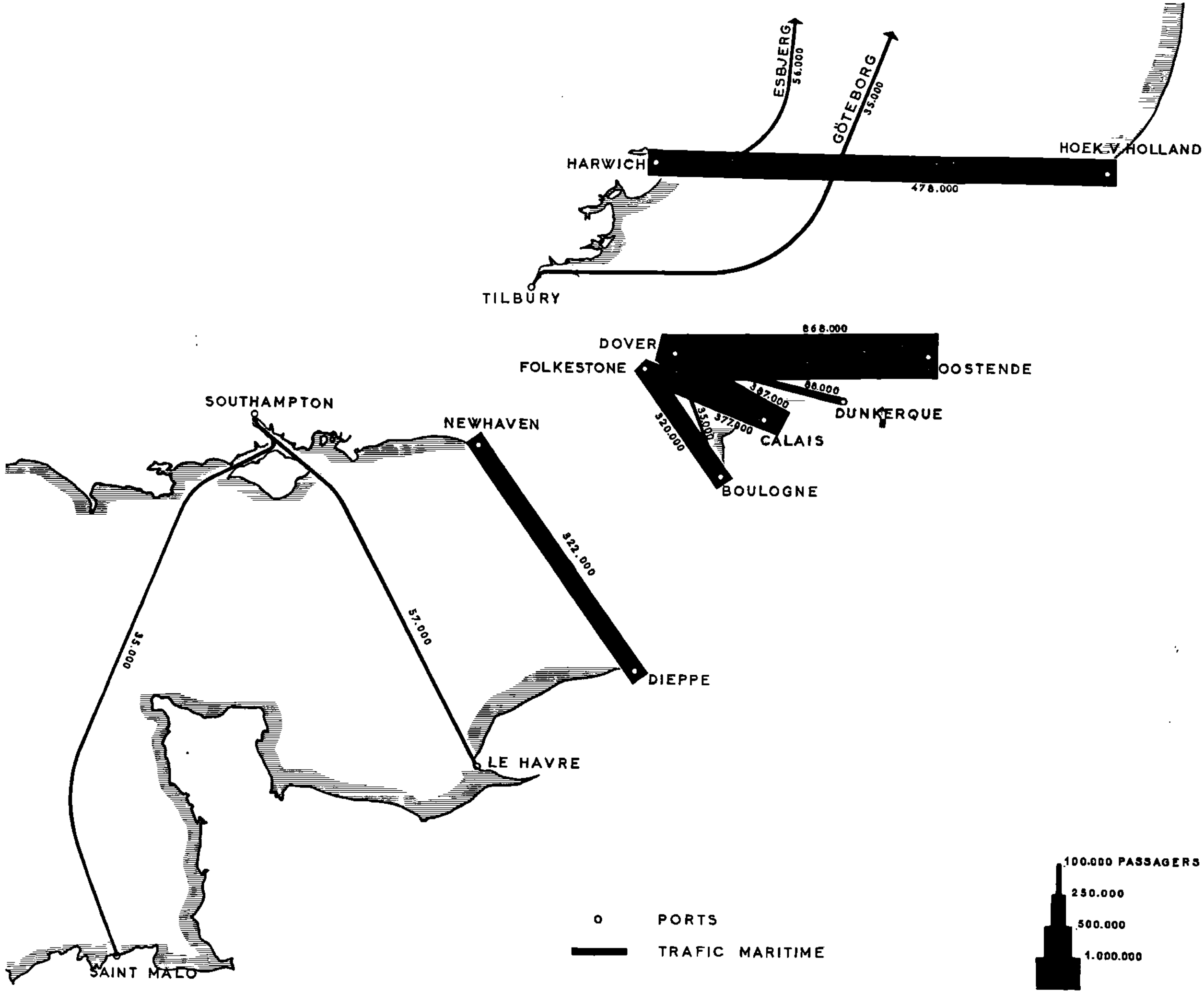
VOLUMES DE VEHICULES ACCOMPAGNES TRANSPORTES PAR LIGNE A TRAVERS LA MANCHE EN 1957



VOLUMES DE VEHICULES ACCOMPAGNES TRANSPORTES
PAR LIGNE DANS LA ZONE DU TUNNEL EN 1957

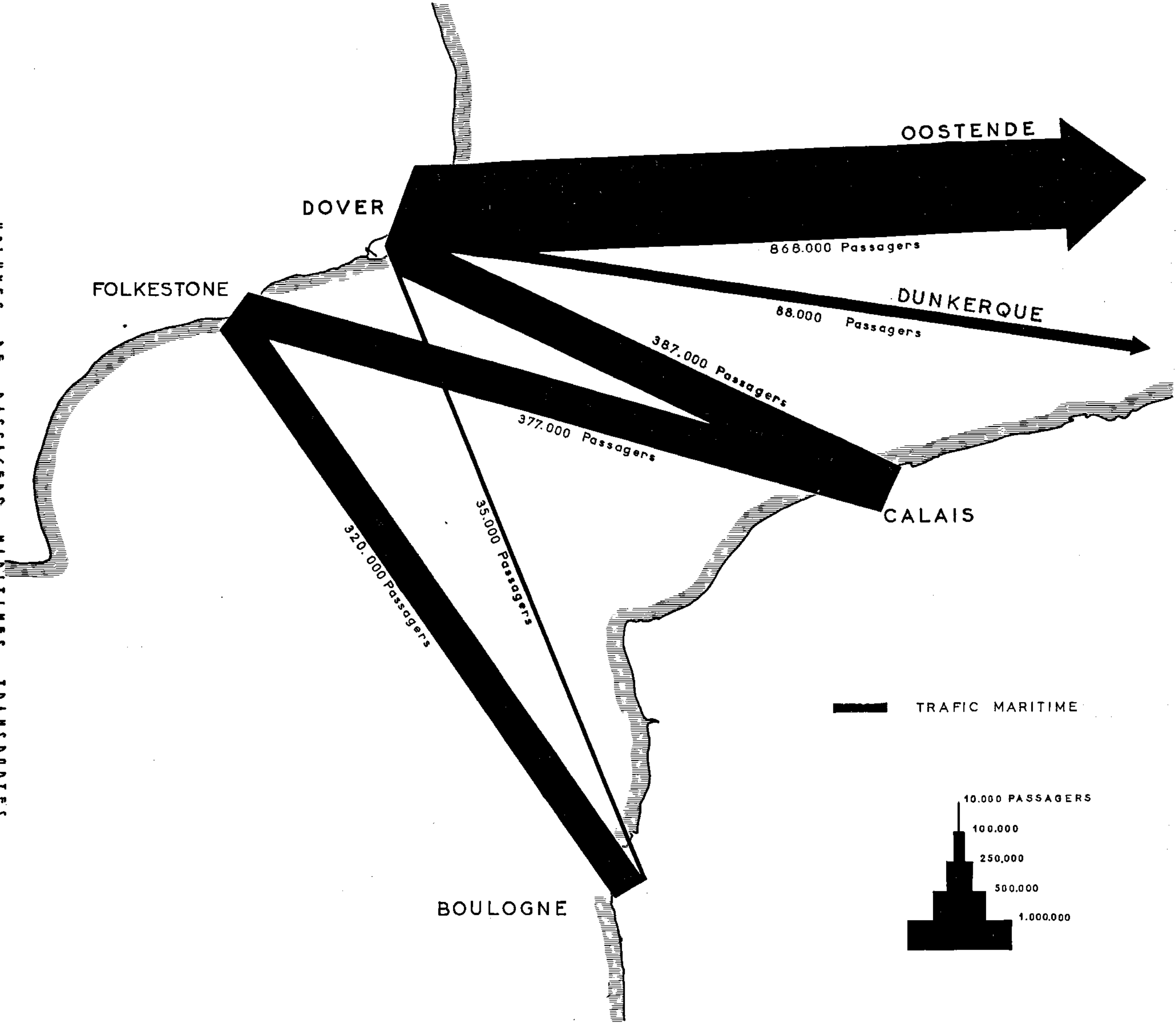


VOLUMES DE PASSAGERS MARITIMES TRANSPORTES
PAR LIGNE A TRAVERS LA MANCHE EN 1957

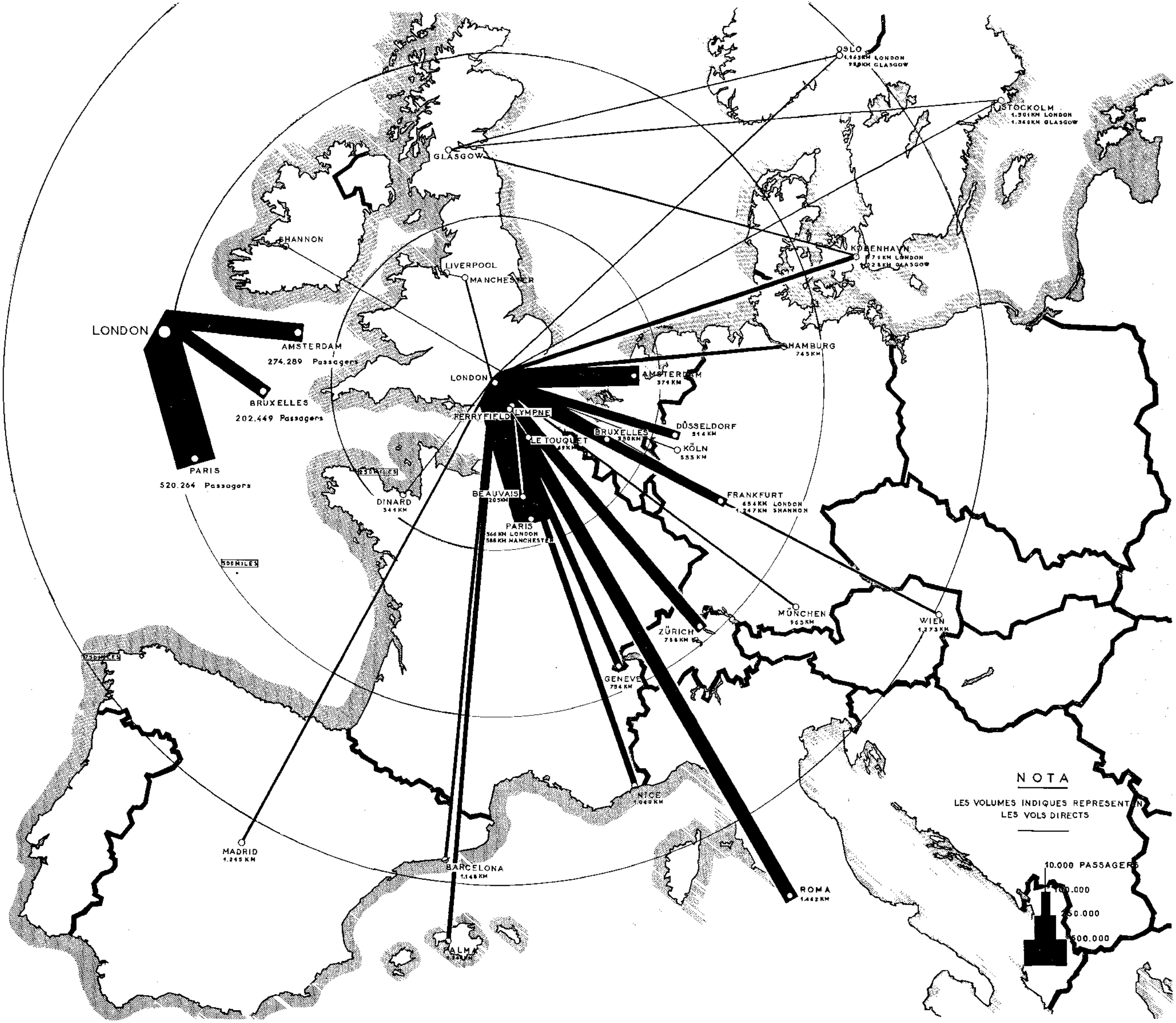


12

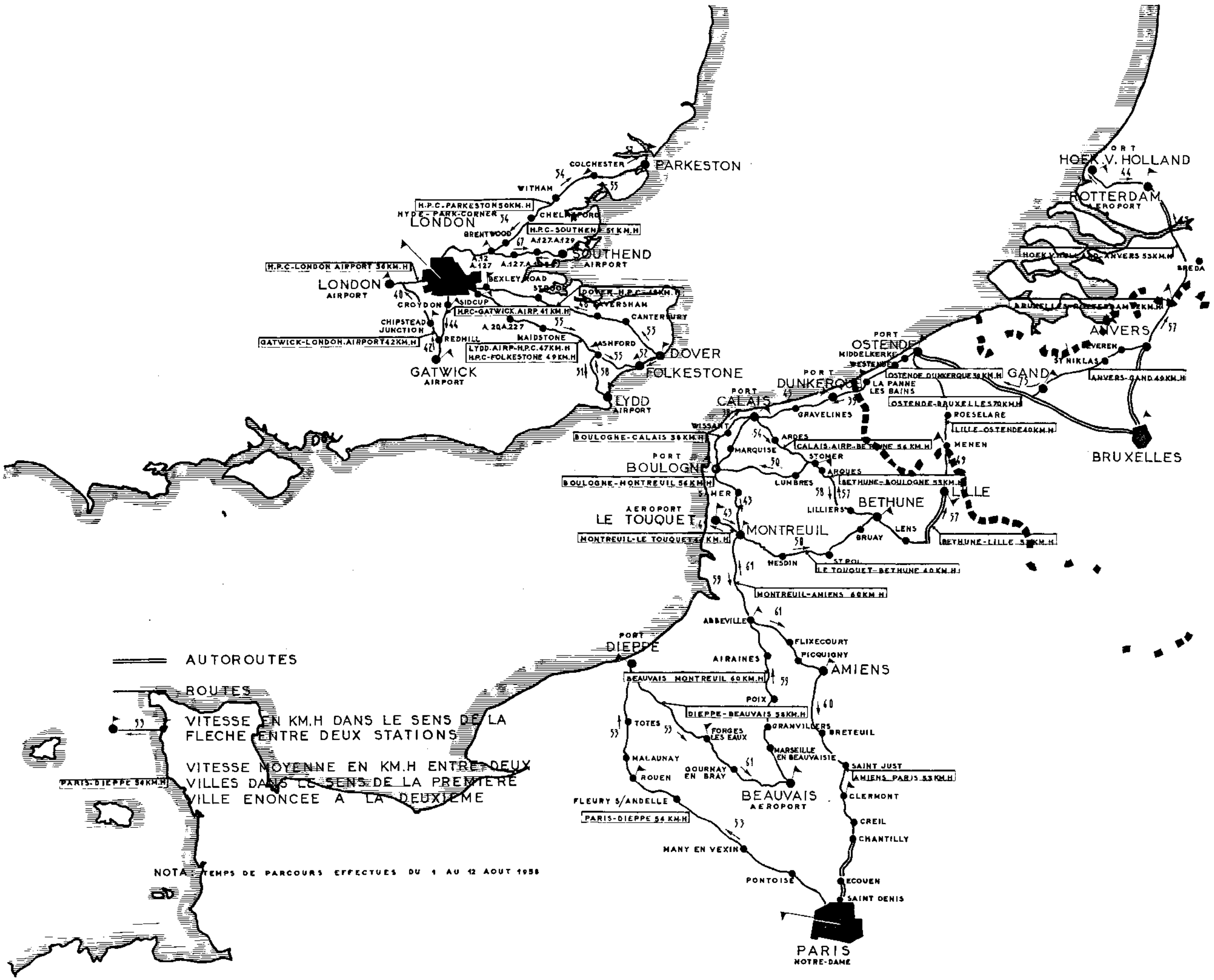
VOLUMES DE PASSAGERS MARITIMES TRANSPORTES
PAR LIGNE DANS LA ZONE DU TUNNEL EN 1957



VOLUMES DE PASSAGERS AERIENS TRANSPORTES A TRAVERS LA MANCHE EN 1957

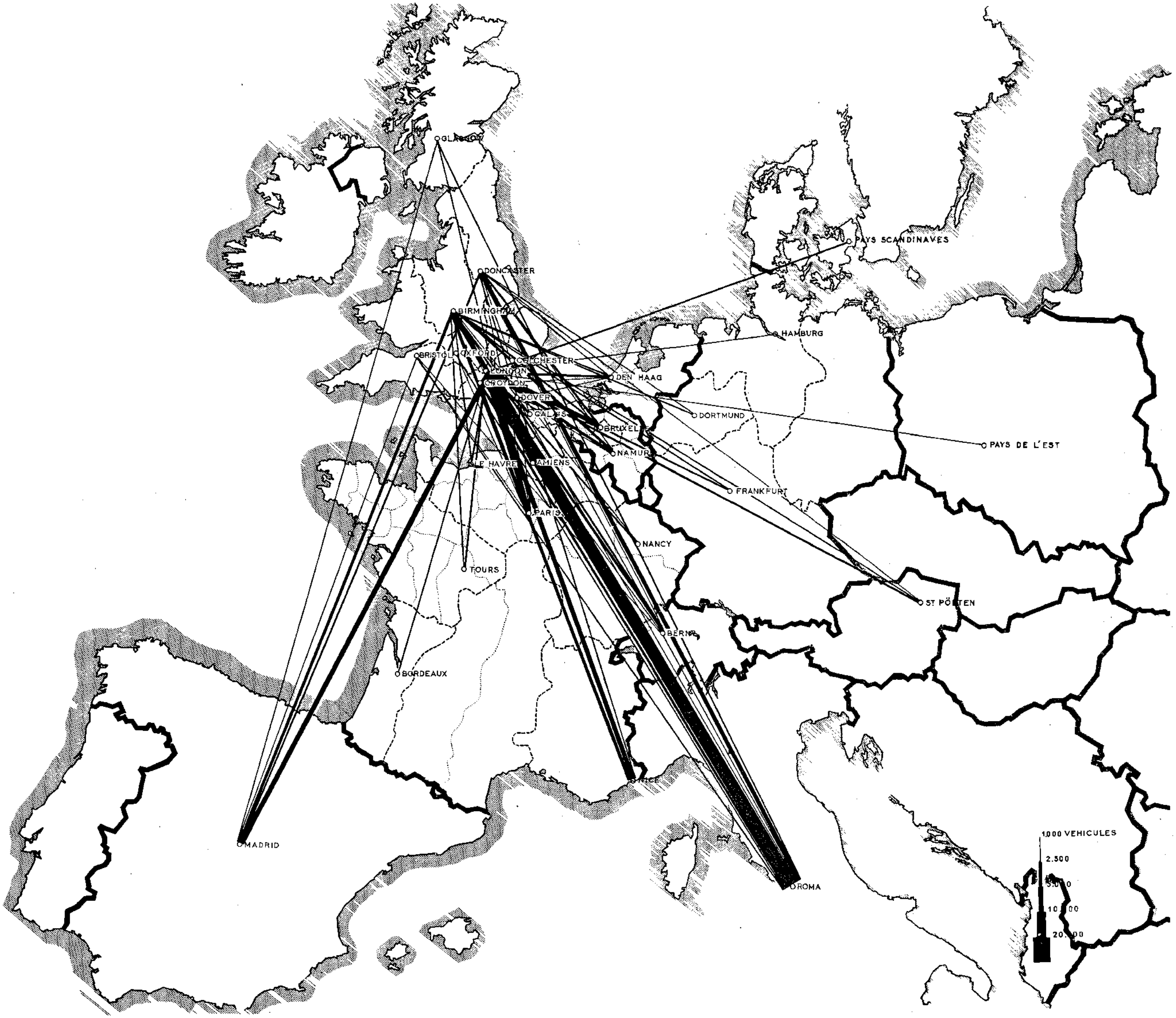


MESURES DE TEMPS DE PARCOURS — VITESSES MOYENNES

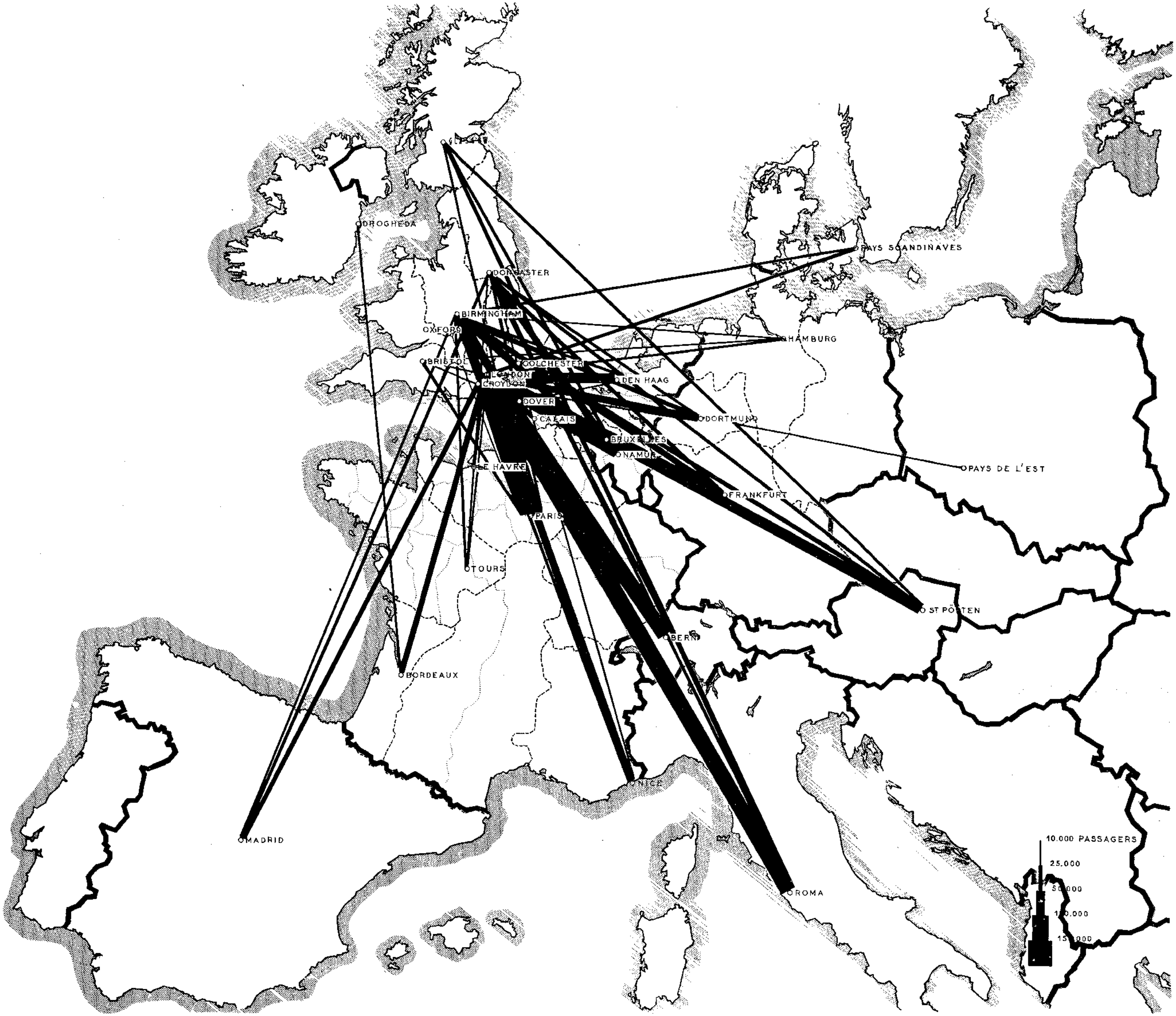


14

LIGNES DE DESIR DES VEHICULES ACCOMPAGNES (ETE)

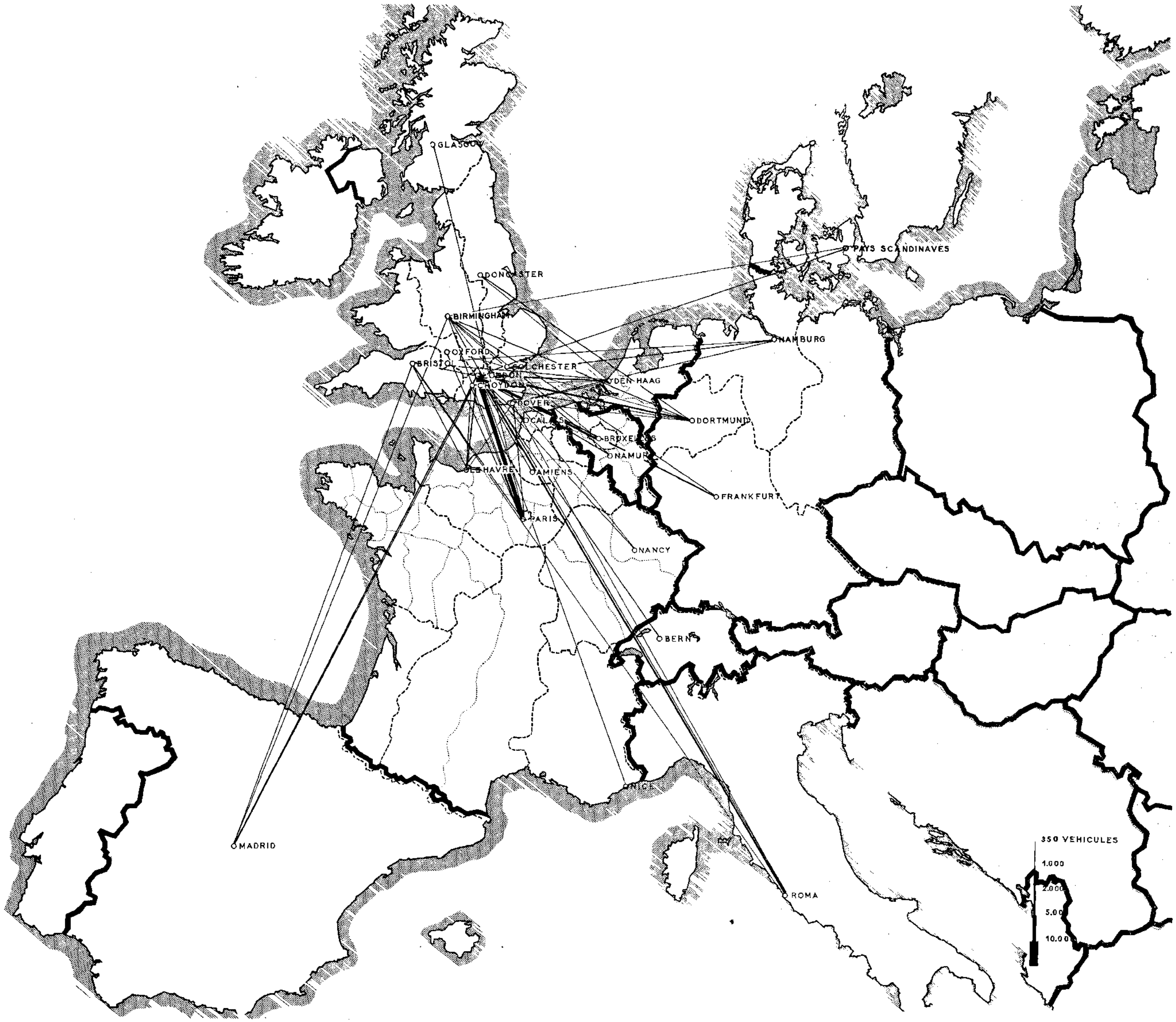


LIGNES DE DESIR DES PASSAGERS (ETE)

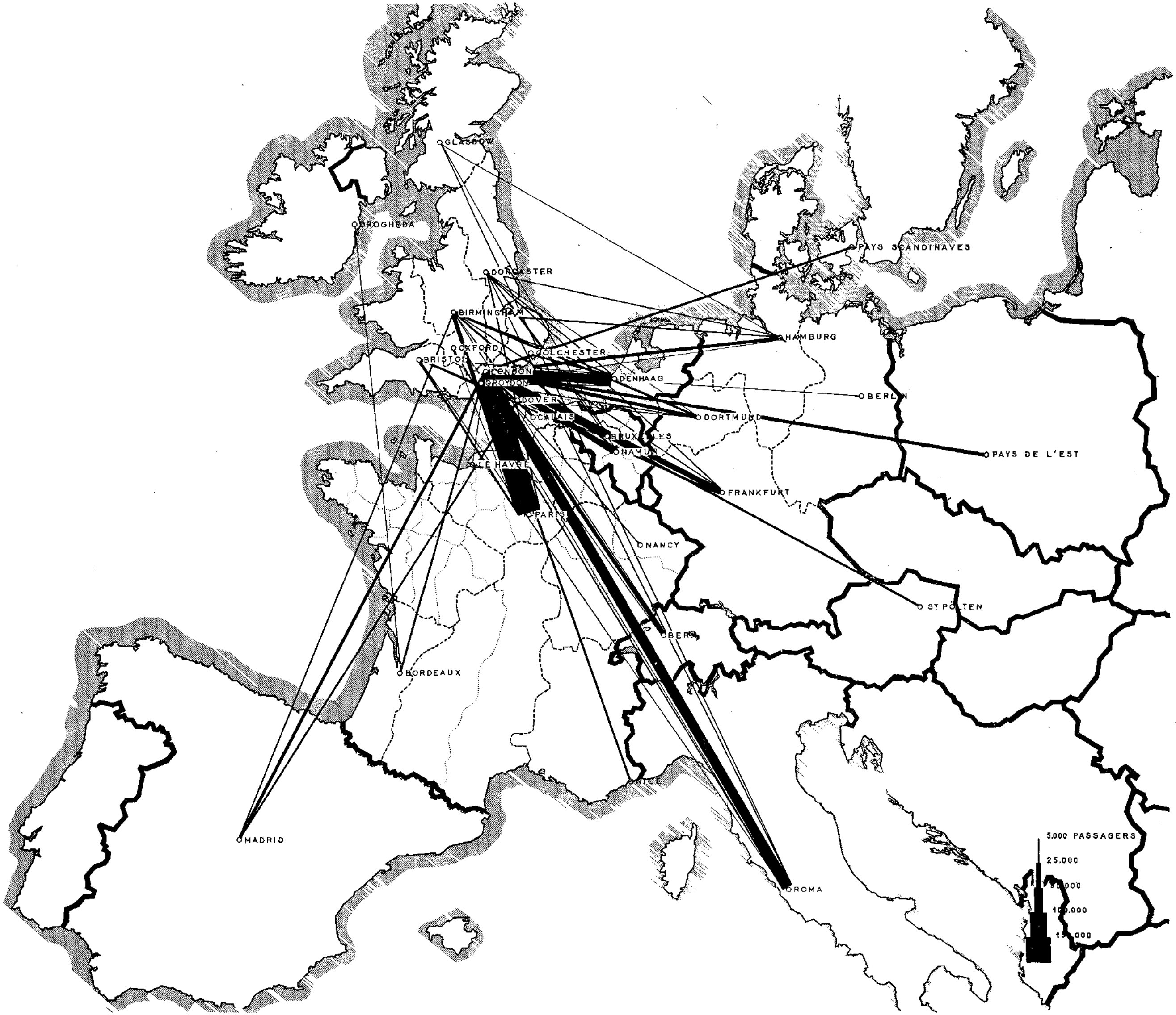


16

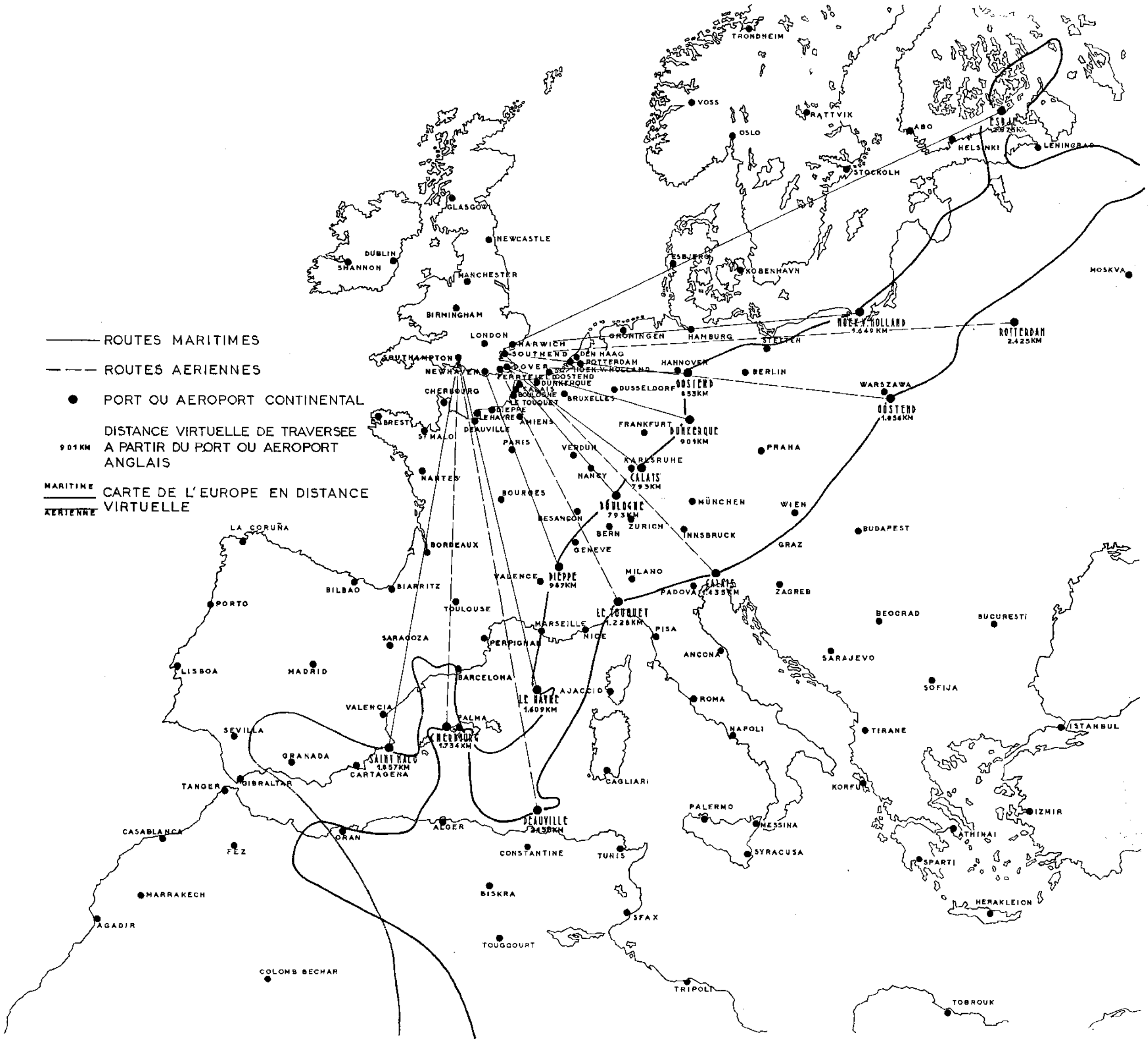
LIGNES DE DESIR DES VEHICULES ACCOMPAGNES (HIVER)



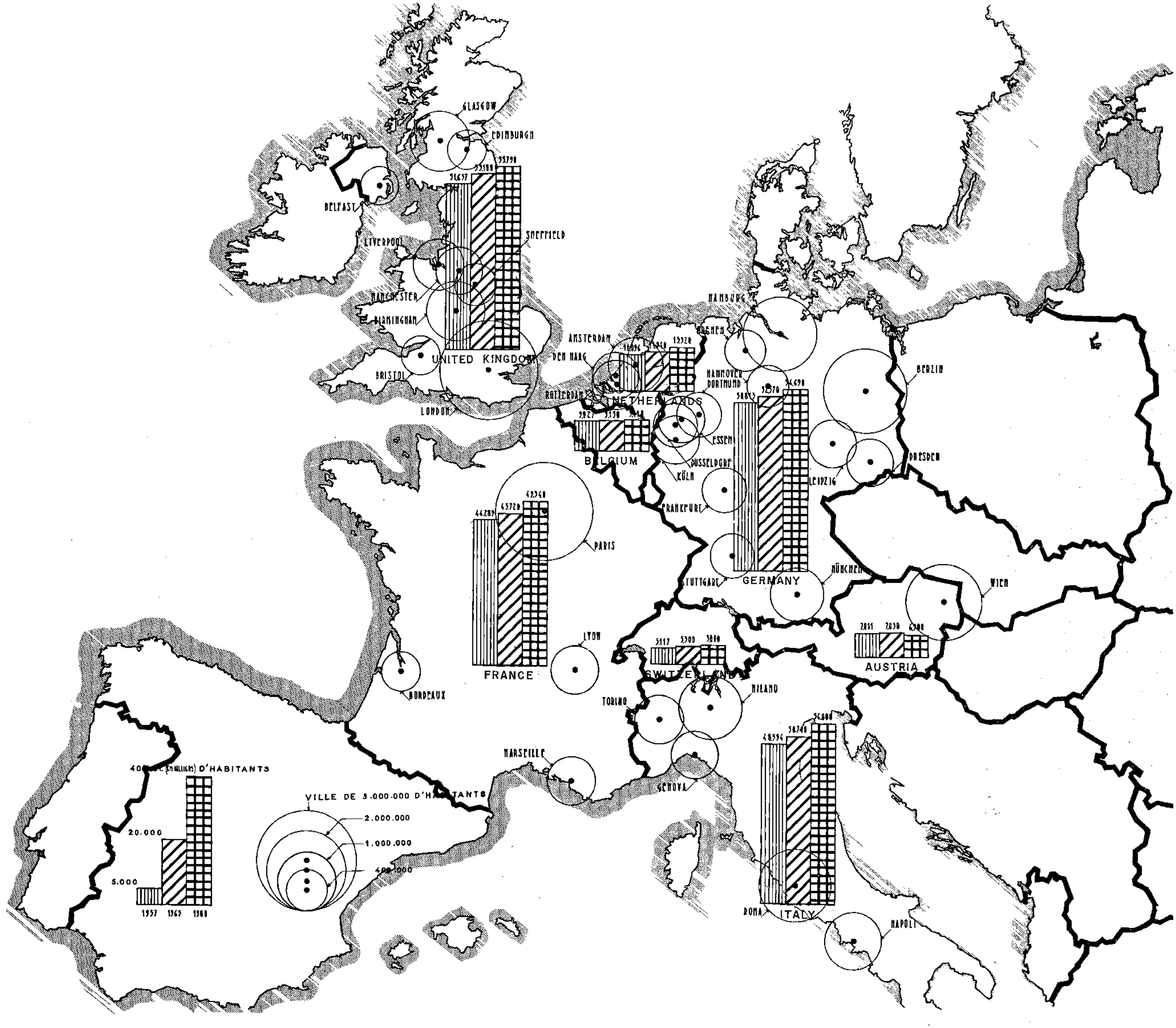
LIGNES DE DESIR DES PASSAGERS (HIVER)



DISTANCES A TERRE EQUIVALENTES AUX TRAVERSEES DE LA MANCHE PAR LES DIVERSES ROUTES

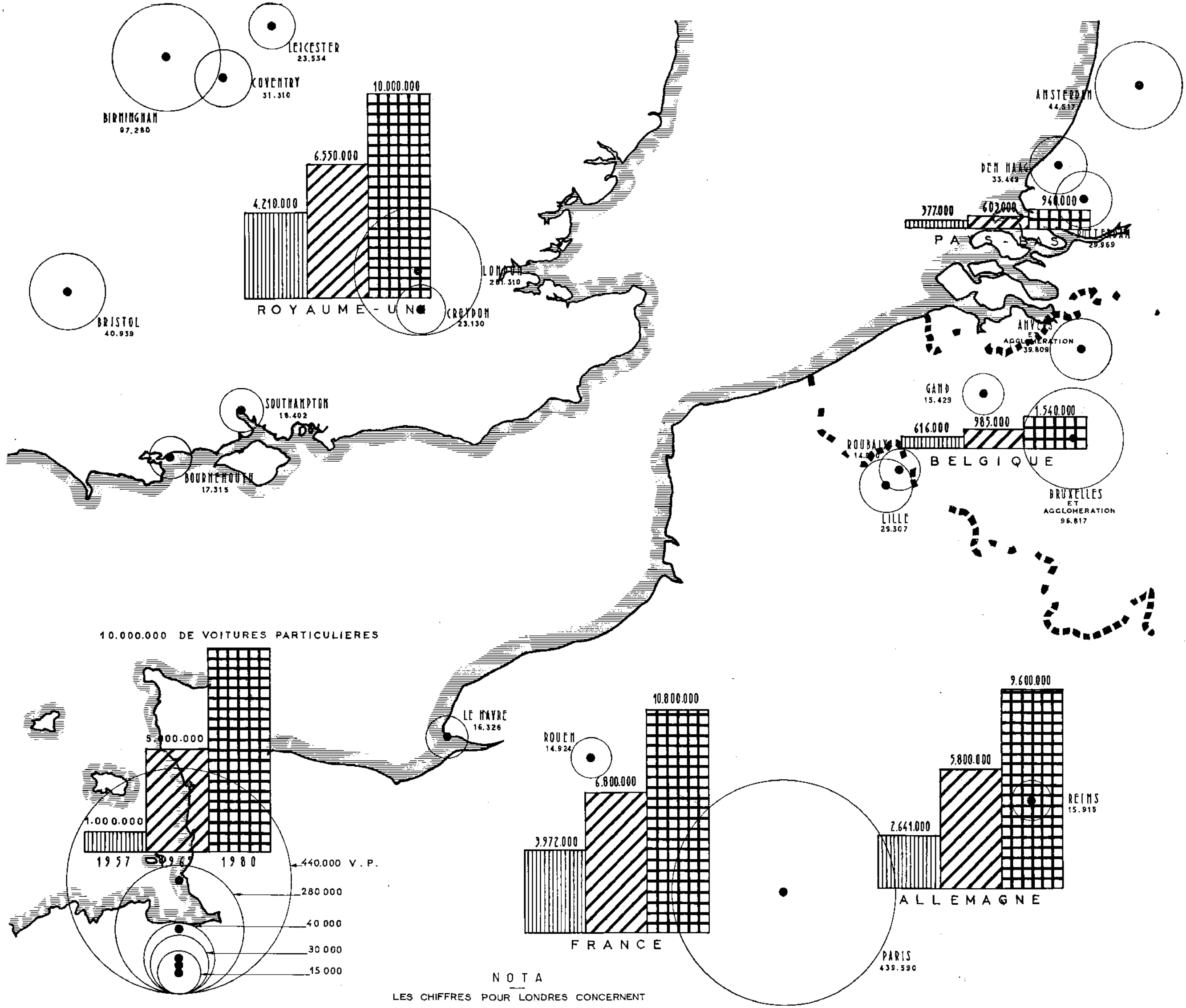


POPULATION EN EUROPE - 1.957 - 1.965 - 1.980



20

EFFECTIF DES VOITURES PARTICULIERES EN EUROPE _ 1.957 _ 1.965 _ 1.980



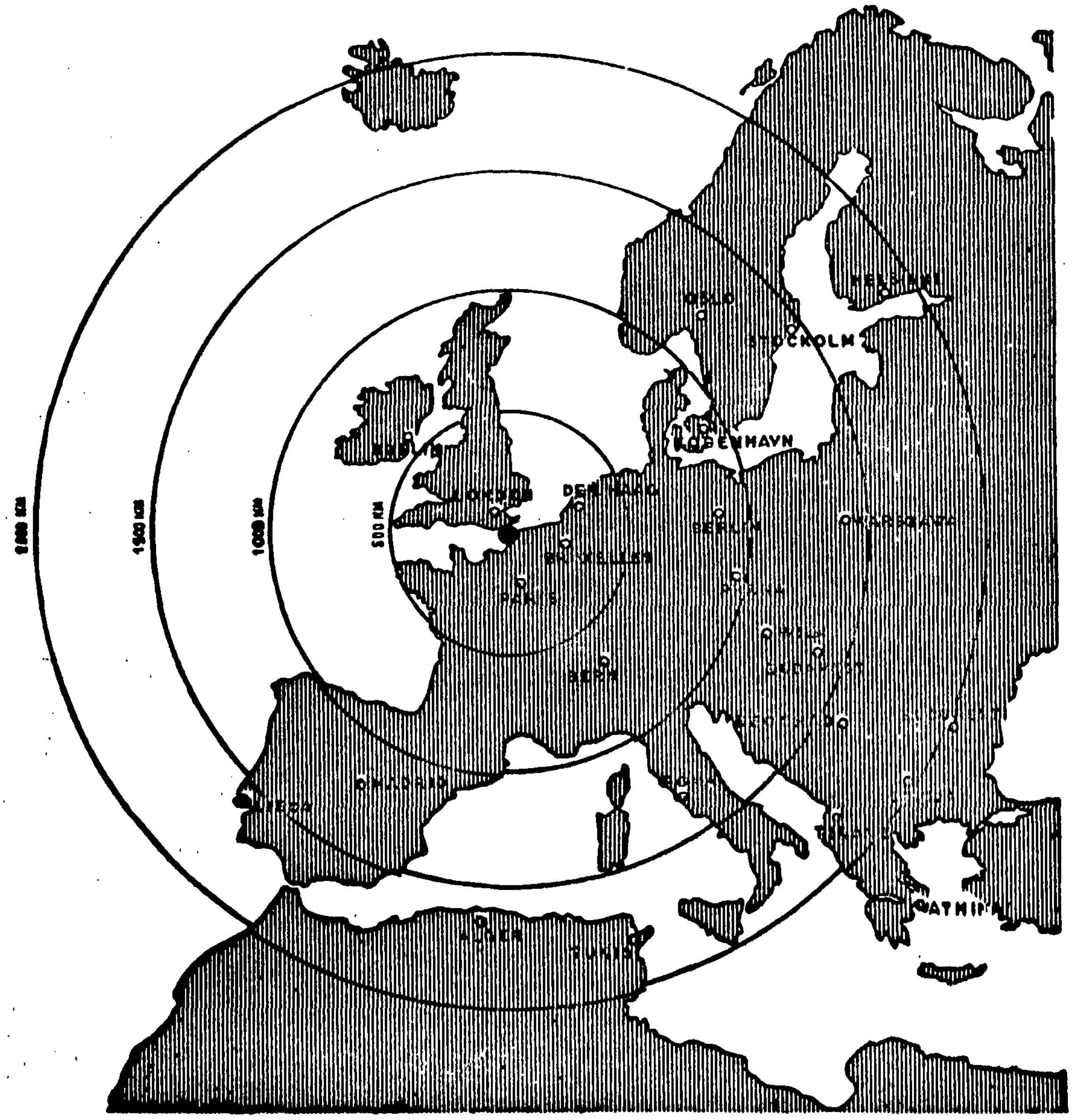

OSLO
STOCKHOLM
KOBENHAVN
PARIS
BERN
500 KM
1000 KM
1500 KM
2000 KM

TABLE DES MATIERES

APPENDICE : Liste des Graphiques

ANNEXE

UNE APPROCHE THEORIQUE POUR LE TRAFIC DETOURNE ET POUR LE TRAFIC ENGENDRE

1. HISTORIQUE ET BUT

Le problème difficile de l'estimation du trafic potentiel a été, dans les années récentes, étudié de manière approfondie aux Etats-Unis où les principales routes à péage ont été construites depuis la fin de la deuxième guerre mondiale.

L'estimation du trafic détourné est basée généralement sur des "courbes d'affectation" déduites de données d'enquêtes d'origine et de destination avec l'hypothèse de base que le temps de trajet peut être mesuré en termes de monnaie comme le coût d'exploitation du véhicule. Les courbes d'affectation utilisées sont déterminées expérimentalement par comparaison des bénéfices pour les usagers et du péage payé et sont généralement des courbes en forme de S.

Le phénomène le plus difficile à apprécier est l'engendrement d'un trafic nouveau, n'existant pas auparavant, et qui dans le cas de moyens fixes de franchissement remplaçant les bacs peut atteindre un niveau supérieur à 100%. En traitant du trafic induit dans le numéro de Janvier 1953 du "Traffic Quaterly" publié par l'"ENO Foundation", Mr. Burpee disait: "la méthode habituelle pour estimer le trafic induit consiste à raisonner par analogie c'est-à-dire à étudier l'histoire d'autres ouvrages analogues au projet considéré".

On doit reconnaître que le problème du trafic détourné et du trafic engendré posé par le Tunnel sous la Manche projeté est d'une amplitude et d'une complexité rarement rencontrées jusqu'alors.

Les données obtenues par l'enquête ont été utilisées pour construire les courbes d'affectation point par point. Mais dans certains cas les courbes ainsi obtenues ont du être extrapolées dans des zones où, étant donné la structure existante des tarifs, aucun point ne pouvait être obtenu. Par suite, la connaissance de la forme et des propriétés de la courbe d'affectation était l'outil le meilleur et le plus sûr.

L'engendrement de trafic est d'une importance capitale. Les voyages effectués à travers la Manche atteignent en moyenne une distance virtuelle de 2.000 kilomètres, distance tout à fait inhabituelle. La méthode suivie par les ingénieurs-conseils pour estimer le trafic engendré consiste à trouver la relation entre le trafic et la distance virtuelle de façon à pouvoir calculer la variation du trafic entraînée par une variation donnée de la distance virtuelle des voyages.

2. COURBES D'AFFECTATION (COURBES DE DETOURNEMENT OU COURBES DE CHOIX)

2.1 Notion empirique de courbe de choix entre deux possibilités

Supposons que pour deux coûts donnés C_1 et C_2 (ces coûts tenant compte de tous les éléments auxquels l'usager attache une valeur monétaire), pour deux routes données L_1 et L_2, n_1 individus choisissent la route L_1 et n_2 choisissent la route L_2.

Supposons que nous modifiions C_2, par exemple que nous l'augmentions. Une partie des individus qui avaient décidé d'utiliser L_2 vont utiliser L_1. Le nombre total des individus $n_1 + n_2$ étant donné, $\frac{n_1}{n_2}$ est une fonction de C_1 et C_2.

$$\frac{n_1}{n_2} = f\,(C_1, C_2)$$

Si les divers groupes d'individus qui ont à effectuer le choix entre deux possibilités ont un comportement analogue, cette fonction sera applicable quels que soient ces groupes et quelle que soit leur taille n

2.2 Deux modèles simples

2.20 Deux approximations différentes, toutes deux très simples, sont les suivantes:

a) C_1 et C_2 agissent sur le choix seulement par leur différence $(C_2 - C_1)$

$$\frac{n_1}{n_2} = f\,(C_2 - C_1)$$

b) C_1 et C_2 agissent sur le choix seulement par leur rapport C_2/C_1

$$\frac{n_1}{n_2} = f\,\left(\frac{C_2}{C_1}\right)$$

2.21 Choix de la fonction

Des fonctions simples sont les suivantes:

2.220 Modèle de la différence des coûts

$$\frac{d.\frac{n_1}{n_2}}{\frac{n_1}{n_2}} = \lambda\ d.\ (C_2 - C_1) \qquad (M_1):\ \frac{n_1}{n_2} = Ke^{\lambda (C_2 - C_1)}$$

2.221 Modèle du rapport des coûts

$$\frac{d.\left(\frac{n_1}{n_2}\right)}{\frac{n_1}{n_2}} = \alpha\, d.\left(\frac{C_2}{C_1}\right) \qquad (M_2): \frac{n_1}{n_2} = K\left(\frac{C_2}{C_1}\right)^{\alpha}$$

Ces deux modèles sont valables (en tant qu'approximation du 1er ordre) pour des variations limitées de (C_2-C_1) ou $\frac{C_2}{C_1}$. Ces deux modèles diffèrent seulement par l'action de C_1 et C_2. Ils correspondent à:

$$\text{Log}\ \frac{n_1}{n_2} = \begin{cases} \lambda\,(C_2-C_1) & \text{(Modèle } M_1) \\ \alpha\ \text{Log}\ \frac{C_2}{C_1} & \text{(Modèle } M_2) \end{cases}$$

Dans ce qui suit, le modèle(M_1)sera étudié plus particulièrement parce que nos courbes d'affectation ont été tracées en utilisant des différences de coûts (Toutes les conclusions tirées peuvent être appliquées facilement au modèle(M_2). Il suffit de remplacer C_2-C_1 par Log $\frac{C_2}{C_1}$)

2.3 Présentation adoptée pour la courbe de choix : $\frac{n_1}{n_1+n_2}$

2.30 Au lieu de considérer $\frac{n_1}{n_2}$ considérons $\frac{n_1}{n_1+n_2}$ qui représente la proportion du trafic utilisant la route L_1.

Si pour $C_2=C_1$ le trafic se répartit en parties égales entre les deux routes nous avons K=1 et le modèle devient : $\frac{n_1}{n_2} = e^{\lambda\,(C_2-C_1)}$.
La courbe $\frac{n_1}{n_1+n_2}$ est symétrique autour du point $(C_2-C_1) = 0, \frac{n_1}{n_1+n_2} = 50\%$ comme le montre le graphique n° 1.

Le tableau joint au graphique n° 1 donne quelques valeurs de $\frac{n_1}{n_1+n_2}$ pour une valeur particulière de λ. En fait nous avons utilisé $\text{Log}_{10}\ \frac{n_1}{n_2} = C_2-C_1$.

La courbe correspondante représentée sur le graphique n° 1 a une forme en "S".

2.31 La signification de la constante K

Une erreur dans la mesure d'un coût ou, par exemple, un élément non pris en considération dans le calcul de ce coût explique la nécessité d'introduire la constante K. En fait :

$$Ke^{\lambda (C_2-C_1)} = e^{\lambda (C_2-C_1+\delta)}$$

L'introduction de la constante $K = e^{\lambda \delta}$ entraine pour la courbe $\frac{n_1}{n_1+n_2}$, comme pour la courbe $\frac{n_1}{n_2}$, une translation d'amplitude $-\delta$ parallèlement à l'axe des abscisses.

2.4 Explication de la courbe de choix par les "valeurs subjectives" (1)

2.40 La base de la courbe de choix

Pour un individu (i) qui doit choisir entre L_1 et L_2 la possibilité L_1 est préférée à la possibilité L_2 si la différence des valeurs subjectives $(V_1-V_2)_i$ est supérieure à la différence des coûts réels $(C_2-C_1)_i$.

C_1 et C_2 représentent des coûts calculés de la manière suivante :

coût moyen de traversée
+ coût moyen d'exploitation d'une voiture pour une distance donnée
+ coût moyen du temps pour une longueur donnée du voyage.

Ces coûts sont des moyennes pour des groupes d'individus. De plus il faut noter que des erreurs ont pu s'introduire dans la mesure de C_1 et C_2, par exemple éléments du coût moyen non mesurés exactement ou autres éléments non pris en compte tels que sécurité, confort, etc.. (2)

---

(1) L'idée de cette explication a été introduite par Mr. Malcor

(2) Voir paragraphe 2.31 ci-dessus.

Le coût ainsi mesuré, pour l'individu (i) et pour la possibilité (L) intervient seulement par sa différence avec la valeur subjective de cette possibilité (L) pour cet individu (i). Il est plus commode pour le développement du raisonnement de rapporter toutes les possibilités à une même valeur subjective de référence et de considérer pour chaque individu des coûts subjectifs des différentes possibilités pour une même valeur subjective.

Ainsi pour l'individu (i) les possibilités L_1 et L_2 ont des coûts subjectifs égaux à :

$$C_{1i} = \pi_i + C_1 + \gamma_1 + \varepsilon_{1i} \quad \text{avec } E(\varepsilon_{1i}) = 0 \ (2)$$

$$C_{2i} = \pi_i + C_2 + \gamma_2 + \varepsilon_{2i} \quad \text{avec } E(\varepsilon_{2i}) = 0$$

π_i étant une constante arbitraire.

Il n'est pas restrictif de prendre la même valeur π de π_i pour tous les individus et de faire rentrer cette valeur de π dans γ_1 et γ_2. Ainsi pour chaque individu (i), chaque possibilité a un coût subjectif défini comme suit:

$$C_i = C + \gamma + \varepsilon_i \quad \text{avec } E(\varepsilon_i) = 0$$

où C = coût moyen pris en considération

γ = coût subjectif moyen plus moyenne des coûts objectifs non pris en considération

ε_i = somme de deux catégories d'éléments :

- Variations des coûts objectifs autour de la moyenne pour les différents individus
- Variations des coûts subjectifs autour de la moyenne pour les différents individus

La possibilité L_1 est préférée à la possibilité L_2 par l'individu (i) si $C_{1i} < C_{2i}$.

Considérée par rapport à l'ensemble des individus les C_1 définissent une loi de probabilité de moyenne $C + \gamma$ et de variance $\sigma^2_{\varepsilon_i}$. Si nous considérons la distribution des différences de coûts subjectifs $C_{2i} - C_{1i}$ entre les 2 possibilités L_1 et L_2, différence qui a pour moyenne $m_2 - m_1 = C_2 - C_1 + \gamma_2 - \gamma_1$, la probabilité P pour que $C_{2i} - C_{1i} < 0$

---

(2) Le symbole $E(\varepsilon i)$ signifie espérance mathématique de εi.

représentée par l'aire hachurée sur le graphique n° 2 est l'espérance mathématique de la proportion des individus choisissant la route L_1.

Si n est grand nous avons $\frac{n_1}{n_1+n_2} = P$.

2.42 La courbe de choix entre L_2 et L_1 en fonction de (C_2-C_1)

Si (C_2-C_1) augmente de ΔC, $\frac{n_1}{n_1+n_2}$ pour des valeurs élevées de $n = n_1+n_2$ varie de P (0) à P (ΔC) (voir graphique n° 2), la courbe de choix $\frac{n_1}{n_1+n_2}$ (C_2-C_1) est la courbe représentant P en fonction de $C_{2i}-C_{1i}$.

Les conclusions suivantes peuvent donc être tirées:

2.420 Le point "50% - 50%" correspond à la "médiane" de la distribution des différences de coûts subjectifs.

2.421 Si la courbe (C) est symétrique l'abscisse-δ du point (50%-50%) est égale à $m_2-m_1=(C_2-C_1)+(\gamma_1-\gamma_2)$

2.422 Si (C) est symétrique la courbe de choix est symétrique autour du point (50%-50%).

2.43 Un modèle simple basé sur la loi des "coûts subjectifs".

2.430 Conditions d'un modèle "normal".

Il est assez naturel de faire l'hypothèse que la distribution de $(C_2-C_1)_i$ est, en première approximation, une distribution de Laplace-Gauss (c'est-à-dire une distribution normale). On peut, en fait, penser que les causes déterminant les $(C_2-C_1)_i$ pour les différents individus sont suffisamment nombreuses, suffisamment indépendantes en probabilité, suffisamment comparables dans l'ordre de grandeur de leurs effets, pour considérer que les conditions de Borel sont satisfaites en première approximation (1).

2.431 Pente de la courbe $\frac{n_1}{n_1+n_2}$ au point (50%-50%)

---

(1) Théorème "Central limit".

Si σ est l'écart type de la distribution normale suivie par $(C_2-C_1)_i$ il est facile de montrer que la pente de la courbe de choix $\frac{n_1}{n_1+n_2}$ au point (50%-50%) est égale à $\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}$ (2)

Par suite, la pente de la courbe de choix sera d'autant plus faible que la variation de la différence des coûts subjectifs d'un individu à l'autre sera plus grande.

On peut donc penser "a priori" que la pente de la courbe de choix entre une ligne maritime et une ligne aérienne est moins forte qu'entre deux lignes maritimes.

2.5 Deux modèles très voisins : le modèle "normal" et le modèle (M_1)

Si l'on trace la courbe cumulative de HENRI correspondant aux valeurs $\frac{n_1}{n_1+n_2}$ du modèle (M_1) on constate (voir graphique n°2) qu'elle est pratiquement identique à une ligne droite pour les valeurs comprises entre 2% et 98%. Par suite les deux modèles (M_1) et "normal" sont pratiquement équivalents.

La pente au point (50%-50%) pour le modèle (M_1) est égale à $\frac{\lambda}{4}$ (1). Par suite $\frac{\lambda}{4} \# \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}$

Cette propriété a été très utile. Elle a permis d'ajuster des familles de courbes de choix sur du papier "normal".

2.6 Courbe de choix et courbe d'affectation entre deux possibilités

Si l'on considère la répartition (n_1, n_2) entre deux lignes, par mer ou air, L_1 et L_2, pour diverses relations (mouvements entre deux zones données d'origine et de destination) et si nous connaissons

---

(1) $$\frac{n_1}{n_1+n_2} = \int_{-\infty}^{C_2-C_1} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{[(C_2-C_1)-(\gamma_1-\gamma_2)]^2}{2\sigma^2}} d(C_2-C_1)$$

(2) $$\frac{d}{dx}\frac{e^{-\lambda x}}{1+e^{-\lambda x}}(\text{pour } x=0) = \frac{\lambda}{4}$$

la courbe de regression de $\frac{n_1}{n_1+n_2}$ en fonction de (C_2-C_1) cette courbe d'affectation est identique à la courbe de choix en fonction de (C_2-C_1)

La seule hypothèse nécessaire est la suivante : même loi des coûts subjectifs pour les individus des différentes relations (c'est-à-dire des différentes "origine-destination") ce qui suppose essentiellement :

2.60 que $\gamma_2 - \gamma_1$ a la même valeur pour toutes les relations (distributions avec la même valeur moyenne).

2.61 que la variance est la même.

La deuxième hypothèse qui signifie que les populations des diverses relations (deux zones d'origine et de destination données) ont un comportement analogue est très vraisemblable.

La première hypothèse suppose essentiellement que les erreurs systématiques sur (C_2-C_1) sont les mêmes quelle que soit la relation considérée ce qui est une restriction peu importante (1). On doit noter que les erreurs d'échantillonnage sur les estimations de $\frac{n_1}{n_1+n_2}$ à l'aide de l'enquête "Origine-Destination" n'introduisent pas d'erreur systématique.

---

(1) L'existence d'erreurs systématiques différentes introduirait une variabilité horizontale et conduirait à une légère sous-estimation de la pente de la courbe de choix et par conséquent à sous-estimer légèrement le trafic détourné ce qui est de faible importance.

3. "LOI DE TRAFIC"

3.1 Le trafic fonction de la distance virtuelle entre deux zones

Etant donné deux zones, par exemple deux villes, le trafic entre ces deux zones a une certaine valeur T_o par unité de temps dans les circonstances actuelles où la distance virtuelle (coût total du voyage) entre les deux villes a une valeur bien déterminée d_o. Si l'on modifie seulement la variable d_o le trafic T_o varie et l'on peut concevoir le trafic T comme une fonction de d :

$$T = T\,(d)$$

La connaissance de la variation de T en fonction de d est fondamentale pour pouvoir calculer le trafic engendré par le passage d'une valeur d_o de d à une valeur plus faible d_1.

Parmi les fonctions simples que nous pouvons envisager à la lumière des études effectuées antérieurement, nous avons :

- la fonction "puissance" : $\dfrac{T_1}{T_o} = \left(\dfrac{d_o}{d_1}\right)^{\alpha}$

- la fonction exponentielle : $\dfrac{T_1}{T_o} = e^{\lambda\,(d_o - d_1)}$

3.2 Etudes précédentes

3.20 Au cours des études effectuées pour la traversée du Sound le Dr. Astrom a utilisé la fonction $T\,\frac{K}{d}2{,}7$ qui a été déduite d'enquêtes "origine-destination" sur les principales routes suédoises. Il a été le premier, à notre connaissance, à introduire la notion de distance virtuelle.

3.21 En Hollande, Mr. Van Veen à partir d'une relation statistique donnant la distribution des voyages en fonction de la distance est arrivé à une courbe exponentielle.

3.3 Signification des "lois" "puissance" et "exponentielle"

La relation la plus simple entre d et T semble être $T_1 - T_o = K\,(d_o - d_1)$, mais K dépend manifestement de T_o. C'est la raison pour laquelle les relations les plus simples sont celles de la forme :

$$\frac{T_1}{T_o} = f\left(\frac{d_o}{d_1}\right) \text{ où f dépend uniquement de } \left(\frac{d_o}{d_1}\right)$$

L'un des modèles les plus simples de ce type est $f\left(\frac{d_o}{d_1}\right) = \left(\frac{d_o}{d_1}\right)^{\alpha}$
<u>Un tel modèle signifie que l'élasticité du trafic en fonction de la distance est constante.</u>

Mais ce modèle suppose que la motivation du trafic dépend de la variation relative de la distance virtuelle. Si cette motivation ne dépend pas du niveau de la distance virtuelle, il vaut mieux utiliser la différence de distance et par conséquent considérer le modèle $\frac{T_1}{T_o} = e^{\lambda (d_o - d_1)}$

3.4 <u>Structure du trafic entre deux groupes de zones</u>

3.40 Si nous considérons un premier groupe de zones ($i = 1, 2, \ldots r$) et un deuxième groupe de zones ($j = 1, 2, \ldots s$) il existe rs relations caractérisées dans les circonstances actuelles par les distances virtuelles d_{ij} et des volumes de trafic par unité de temps T_{ij}.

3.41 <u>Qu'arrive-t-il si l'on modifie les</u> d_{ij}

Si pour une relation donnée (i, j) d_{ij} varie de $(d_{ij})_o$ à $(d_{ij})_1$ il n'est pas évident que la variation du trafic pour la relation (i,j) ne dépend pas des variations pour les autres relations. Si une telle hypothèse d'<u>indépendance</u> des relations peut être acceptable pour les voyages d'affaires elle peut être considérée "a priori" comme suspecte pour les touristes venant de la zone (i), ceux-ci ayant la possibilité de modifier leur choix de la zone (j).

3.42 <u>Si l'on accepte l'hypothèse d'indépendance</u> la même diminution de la distance virtuelle sur toutes les relations (i, j) entraine :

3.420 <u>Avec une loi "puissance"</u> un accroissement relatif du trafic plus faible pour les relations les plus éloignées.

3.421 <u>Avec une loi exponentielle</u> le même accroissement relatif du trafic pour toutes les relations.

3.5 Principe de calcul du trafic engendré par le Tunnel à partir de la structure du trafic actuel entre la Grande-Bretagne et le Continent.

3.50 Méthode suivie

Le problème a pour but de déterminer le α ou le λ de la "loi" de trafic. La méthode suivie par les ingénieurs-conseils a consisté à tester divers modèles avec la structure actuelle du trafic de manière à pouvoir isoler la seule influence du paramètre α ou λ. Dans les paragraphes suivants sont décrits les essais effectués par les ingénieurs-conseils dans diverses directions avant de pouvoir adopter une solution.

Une méthode classique est basée sur le modèle suivant:

(1) $T_{ij} = K_i K_j \ f(d_{ij})$, ou sur le modèle plus élaboré

$$T_{ij} = (K'_i \ K''_j + K''_i \ K'_j) \ f(d_{ij})$$

où K_i, K_j (ou K'_i, K'_j, K''_i, K''_j) sont connus et peuvent être multipliés par un facteur constant. Les paramètres suivants ont été utilisés:

(1) K_i, K_j : nombre de voitures

(2) K'_i, K'_j : nombre de voitures

K''_i, K''_j : population

3.51 Etude de la répartition des départs de la zone (i) entre les Zones (j) de destination

Si l'on admet un trafic de la forme $T_{ij} = K_i K_j f(d_{ij})$ (1) l'hypothèse d'une forme particulière entraine certaines propriétés de la répartition des voyages partant de la zone (i) entre les diverses zones (j).

---

(1) qui suppose l'indépendance des relations définies ci-dessus. K_i peut être le nombre de véhicules de la zone (i), K_j le coefficient d'attraction touristique de la zone (j).

3.510 <u>Fonction exponentielle</u>

Si $d_{ij} = d_i + d_j$, ce qui est le cas pour de nombreuses relations pour lesquelles la ligne la plus favorable (distance virtuelle la plus courte) est Douvres-Boulogne, nous avons :

$$(1) \quad \frac{T_{i1j}}{T_{i2j}} = \frac{K_{i1}}{K_{i2}} \; e^{-\lambda (d_{i1}-d_{i2})}$$

et

$$(2) \quad \frac{T_{i\,j1}}{T_{i\,j2}} = \frac{K_{j1}}{K_{j2}} \; e^{-\lambda (d_{i1}-d_{i2})}$$

3.5100 L'équation (1) ci-dessus signifie que le rapport du nombre de véhicules quittant une zone (i_1) pour une zone (j) au nombre de véhicules quittant une zone (i_2) pour la même zone (j) est le même quelle que soit la zone j considérée.

En conséquence, nous avons essayé de voir si nos voyages répondaient à cette propriété. Nous avons dessiné le graphique 3 qui indique en abscisse le logarithme de la distance virtuelle entre Douvres et des groupes de zones du Continent choisies d'après la valeur de leur distance virtuelle à Douvres et en ordonnée le nombre de véhicules en provenance d'un groupe de zones donné en Grande-Bretagne exprimé en proportion du nombre en provenance de la zone de Londres.

Si la loi exponentielle doit être vérifiée la ligne tracée pour un groupe de zones anglaises donné doit être une ligne horizontale. Le graphique est très satisfaisant si l'on considère que les points représentant les mouvements entre les zones A et F et les zones extrêmes du Continent correspondent aux plus petits nombres de voyages et sont les moins significatifs.

3.5101 L'équation (2) ci-dessus signifie que le rapport des arrivées entre, par exemple, Paris et Milan est le même pour les départs de l'Ecosse que pour les départs de Londres.

3.5102

Pour une zone (i) donnée et les diverses zones (j) :
$T_{ij} = K_i\ K_j\ e^{-\lambda(d_i+d_j)}$. K_i étant une constante
nous avons $\sum_j T_{ij}$ = nombre de véhicules quittant la zone (i) =

$$Ki\ e^{-\lambda di} \sum_j k_j\ e^{-\lambda d_j}$$

Mais $\sum_j K_j\ e^{-\lambda d_j}$ est une constante, par suite nous avons :

<u>nombre de véhicules quittant la zone</u> (i) = $A\ K_i\ e^{-\lambda d_i}$

Si nous considérons maintenant le nombre de véhicules V_i de la zone (i) nous pouvons écrire :

$$\frac{T_i}{V_i} = Be^{-\lambda d_i}$$

L'étude de la dépendance statistique entre $\frac{T_1}{V_i}$ et d_i permet de déterminer λ. Ceci a été très important car nous n'avons pas trouvé de moyen pour isoler de manière précise le seul effet de α. C'est donc sur la base de cette détermination de λ que le trafic engendré a été calculé.

Afin d'éliminer les interférences géographiques éventuelles nous avons considéré au graphique n° 4 la zone de destination la plus importante sur le Continent. La proportion des automobilistes quittant les zones urbaines est notablement supérieure à celle des automobilistes quittant les zones rurales. La valeur de λ ainsi déterminée est de 0,0166.

Dans les paragraphes suivants, nous indiquons d'autres travaux de recherche effectués par les ingénieurs-conseils afin de déterminer de manière valable α ou λ par d'autres méthodes, méthodes qui se sont révélées impraticables.

3.511 <u>Fonction "puissance"</u>

3.5110 Si nous avons toujours $d_{ij} = d_i + d_j$ nous n'avons plus $\frac{T_{i1j}}{T_{i2j}}$ indépendant de j. En réalité :

$$\frac{T_{i1j}}{T_{i2j}} = \frac{K_1}{K_2} \left(\frac{d_2 + d_j}{d_1 + d_j}\right)^{\alpha}$$

Les départs des différentes zones (i) ne sont pas distribués de la même manière entre les zones (j) plus la zone (i) est éloignée, plus importante est la part des zones (j) les plus lointaines dans la distribution des arrivées en provenance de la zone (i).

La distribution de nos voyages ne suit pas cette propriété.

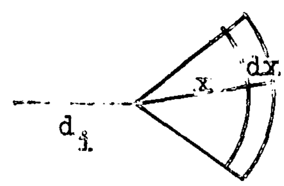
3.5111 S'il existait un $\alpha > 2$, le graphique n° 3 devrait montrer des pentes de signe négatif pour la courbe de la zone A et des pentes positives pour celles des autres zones, les pentes croissant de manière continue avec C, D, E, F, et G. Le graphique ne met pas en évidence une telle propriété.

3.52 Distribution statistique des voyages en fonction de la Distance

Toujours avec l'hypothèse que $T_{ij} = K_i' K_j f(d_{ij})$ on peut essayer de déterminer la relation entre la distance virtuelle d et le nombre de départs d'une zone donnée (i) pour une destination plus lointaine que d.

Cette relation est influencée par la structure géographique des K_j. En fait, en appelant K ds l'attraction d'une zone ds à une distance x de (i)

$$T_d = \int_{x=d}^{x=\infty} T(x)\, dx = K_i' \iint_{x=d}^{x=\infty} K ds\, f(d)$$



Si l'on admet que K = constante, que les zones (j) font un angle et que f(d) est une loi "puissance"

$$T_d = K_i' \int_{x=d_i}^{x=\infty} \frac{x}{(d_i + x)^{\alpha}}\, dx$$

Si la loi de trafic était une exponentielle $e^{-\lambda x}$ la loi cumulative serait une exponentielle.

$$T_d = K_i' \int_{x=d_i}^{x=\infty} x e^{-\lambda x}\, dx$$

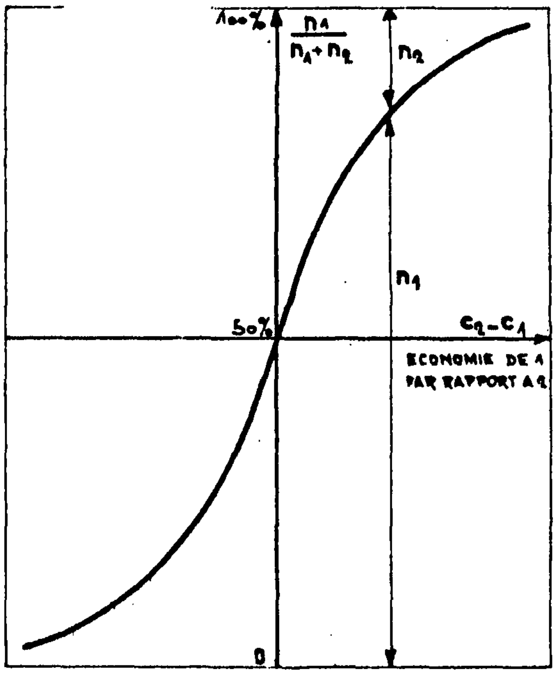
Les deux remarques ci-dessus sur les conséquences de la structure géographique d'une part et la forme des intégrales d'autre part montrent pourquoi nous n'avons pu isoler le α ou le λ de la "loi" de trafic par cette méthode.

Les courbes pour Londres et pour tous les voyages de Grande-Bretagne sont indiquées avec échelle logarithmique et semi-logarithmique sur les graphiques 5, 6, 7, 8, 9, et 10. Nous avons utilisé la distance virtuelle réelle d'une part et la distance virtuelle par la meilleure route Douvres-Boulogne d'autre part. Comme il a été dit ci-dessus cette courbe ne permet pas de déterminer α ou λ. La partie de la courbe où la pente change correspond à la zone du Continent ayant la plus forte attraction géographique.

COURBES D'AFFECTATION
VEHICULES ACCOMPAGNES
ET PASSAGERS_

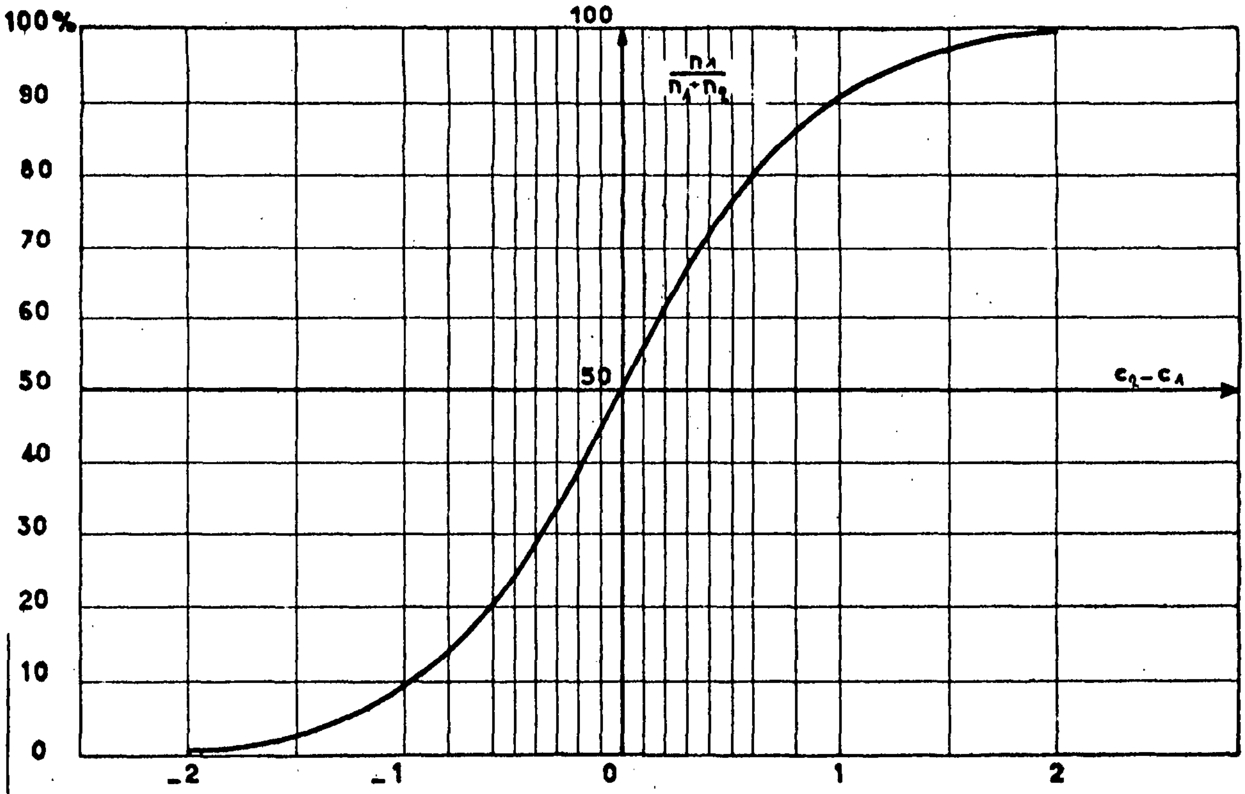
ALLURE DE LA COURBE D'AFFECTATION

MODELE M1 = $\frac{n_1}{n_2} = K e^{\lambda(c_2 - c_1)}$



LA PRESENTATION DE LA COURBE DE CHOIX

$C_2 - C_1$	$\frac{n_1}{n_2}$	$\frac{n_1}{n_1+n_2}$
0	1,000	0,500
0,1	1,258	0,557
0,2	1,584	0,613
0,3	1,995	0,666
0,4	2,512	0,715
0,5	3,162	0,759
0,6	3,981	0,799
0,8	6,310	0,863
1,0	10,000	0,909
1,5	31,620	0,970
2	100	0,990
$\text{Log}_{10} \frac{n_1}{n_2} = C_2 - C_1$		



ALLURE EN "S" DE LA COURBE D'AFFECTATION

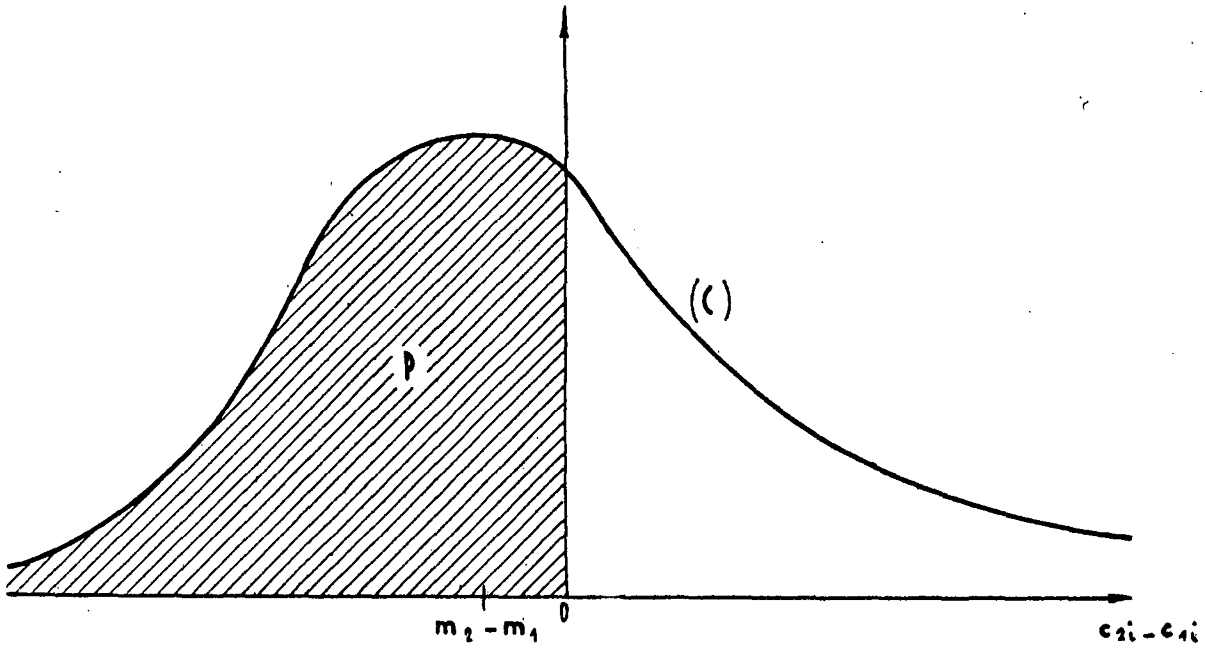
APPENDICE : GRAPHIQUE N° 1

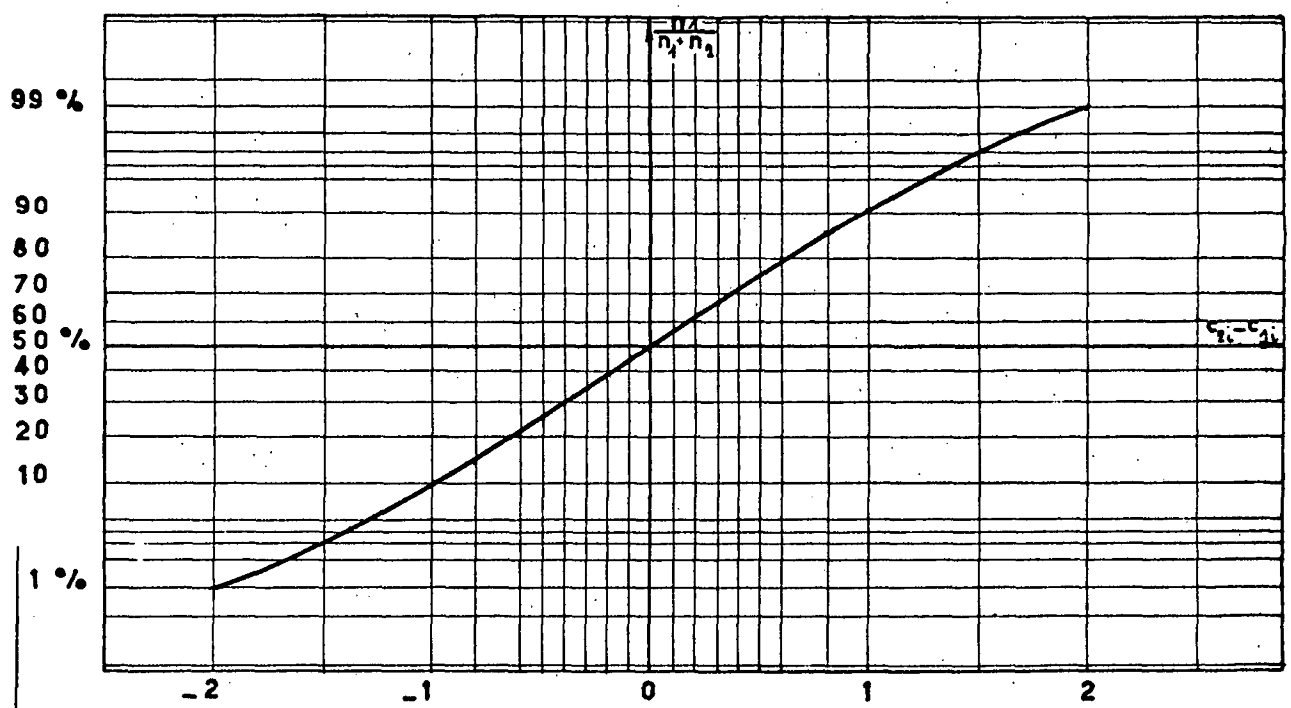
COURBES D'AFFECTATION VEHICULES ACCOMPAGNES ET PASSAGERS

LOI DES COUTS SUBJECTIFS

P = ESPERANCE MATHEMATIQUE DE LA PROPORTION DES INDIVIDUS CHOISISSANT LA ROUTE L_1

$m_2 - m_1$ = MEDIANE DE LA LOI DE DIFFERENCE DES COUTS SUBJECTIFS.





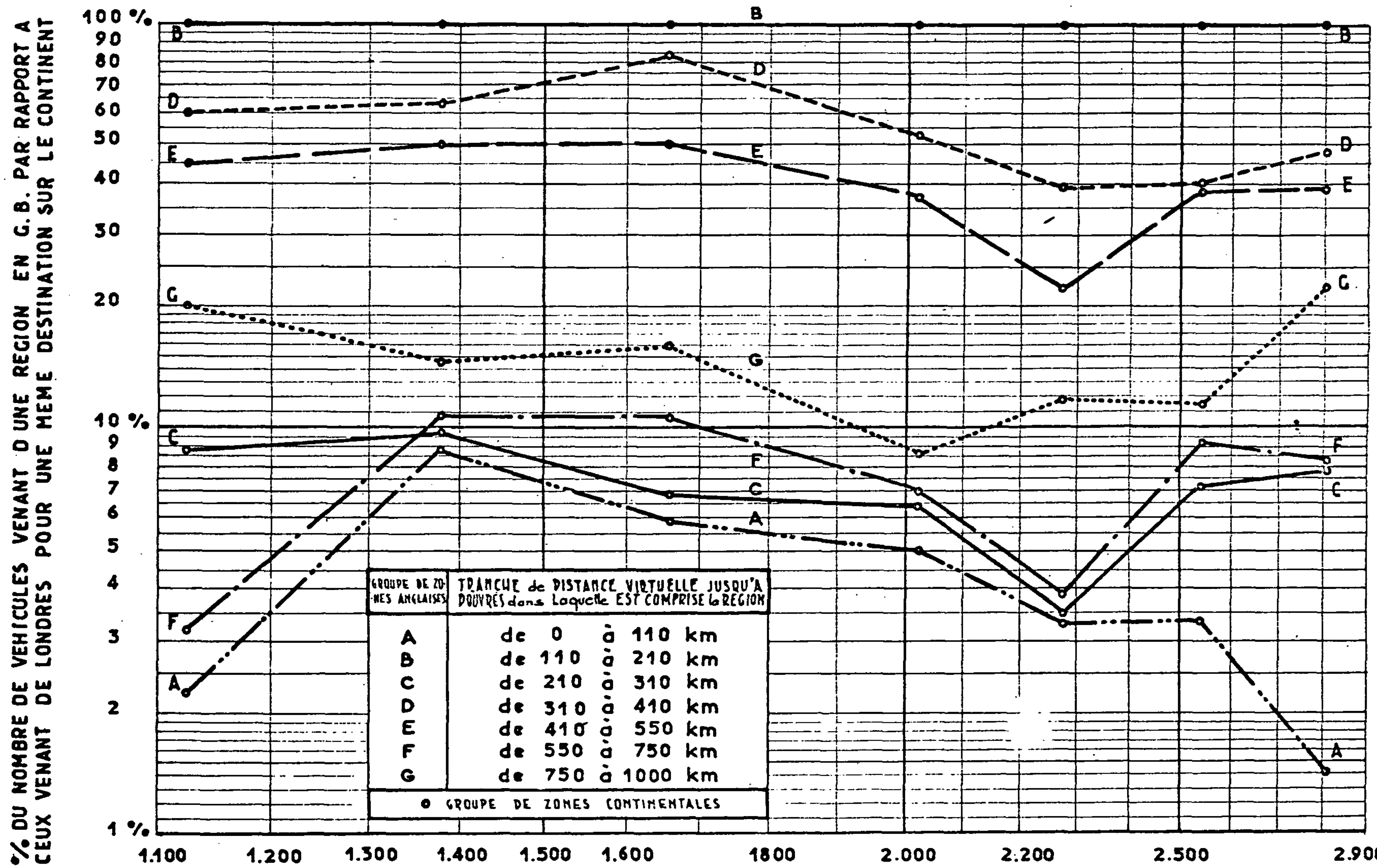
ALLURE DU MODELE M_1 ($\log_{10} \frac{n_1}{n_2} = c_2 - c_1$) EN GAUSSO NORMALES

APPENDICE : GRAPHIQUE N° 2

APPENDICE : GRAPHIQUE N° 3

LOI DE TRAFIC
VEHICULES
ACCOMPAGNES

NOMBRE DE VEHICULES QUITTANT UNE ZONE ANGLAISE DONNEE (EXPRIME EN POURCENTAGE DU NOMBRE DE VEHICULES QUITTANT LONDRES) EN FONCTION DE LA ZONE CONTINENTALE DE DESTINATION

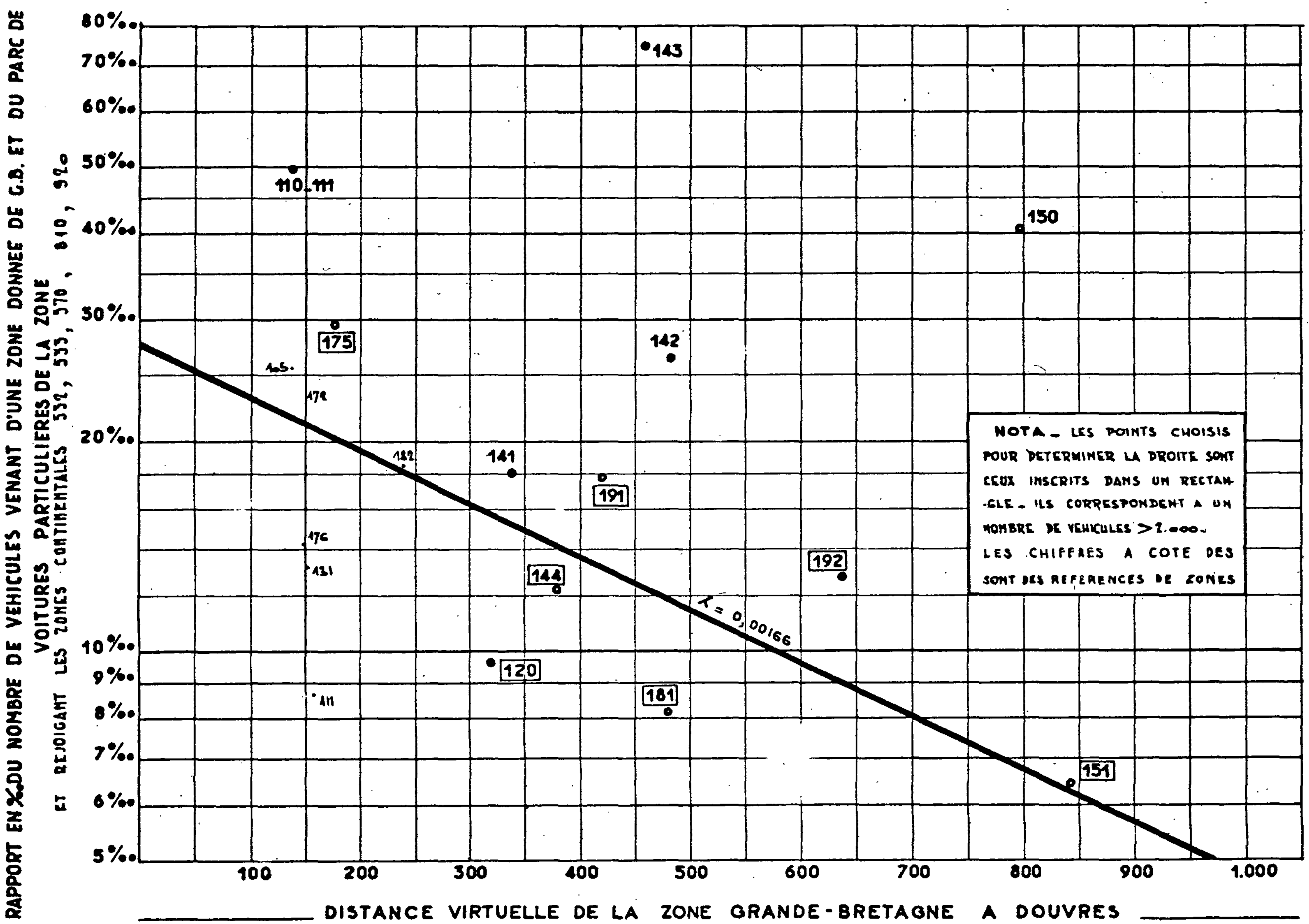


DISTANCE VIRTUELLE ENTRE DOUVRES ET LA DESTINATION CONTINENTALE EN KILOMETRES

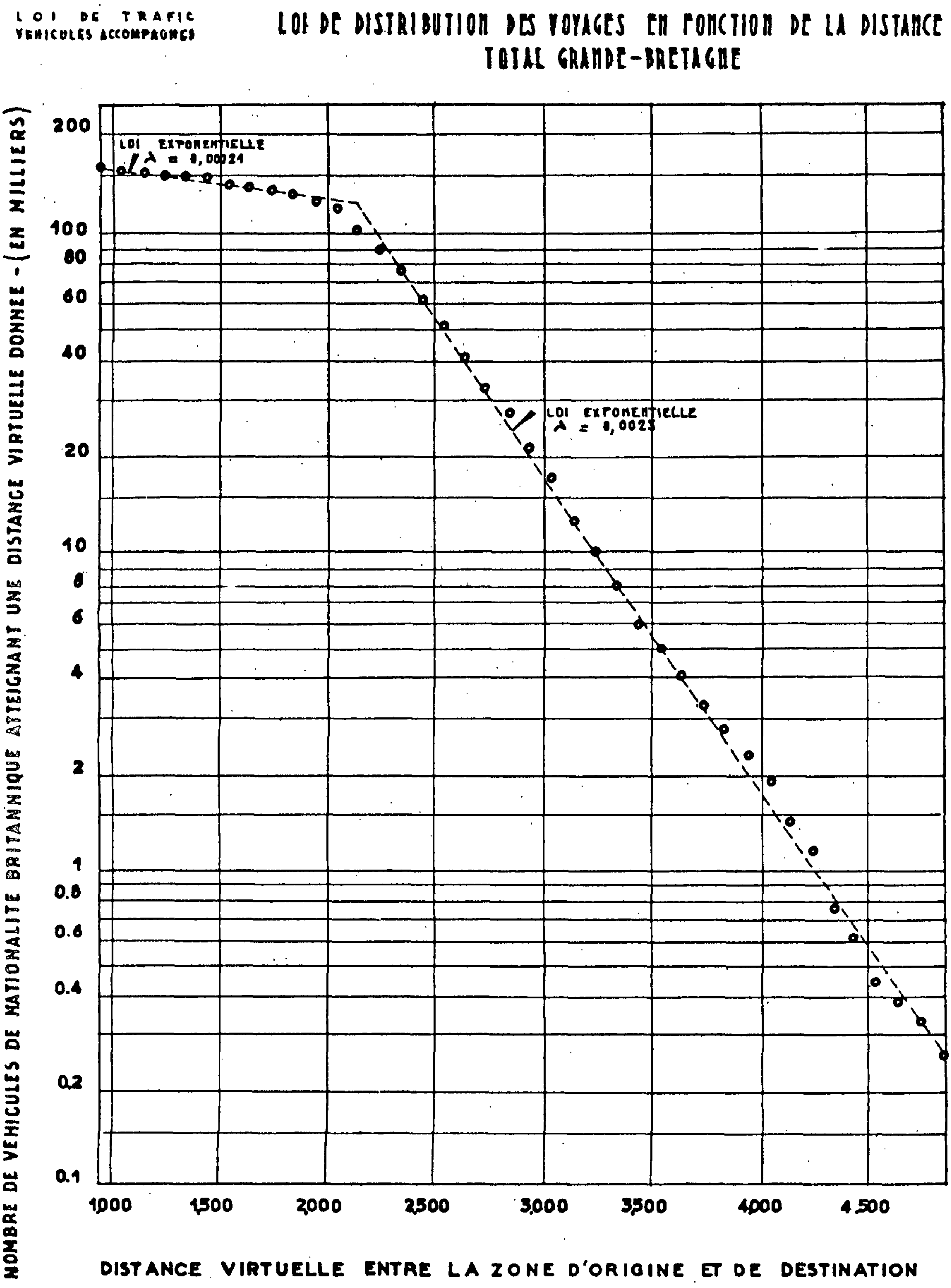
APPENDICE : GRAPHIQUE N° 4

LOI DE TRAFIC
VEHICULES ACCOMPAGNES

DETERMINATION DE LA LOI EXPONENTIELLE



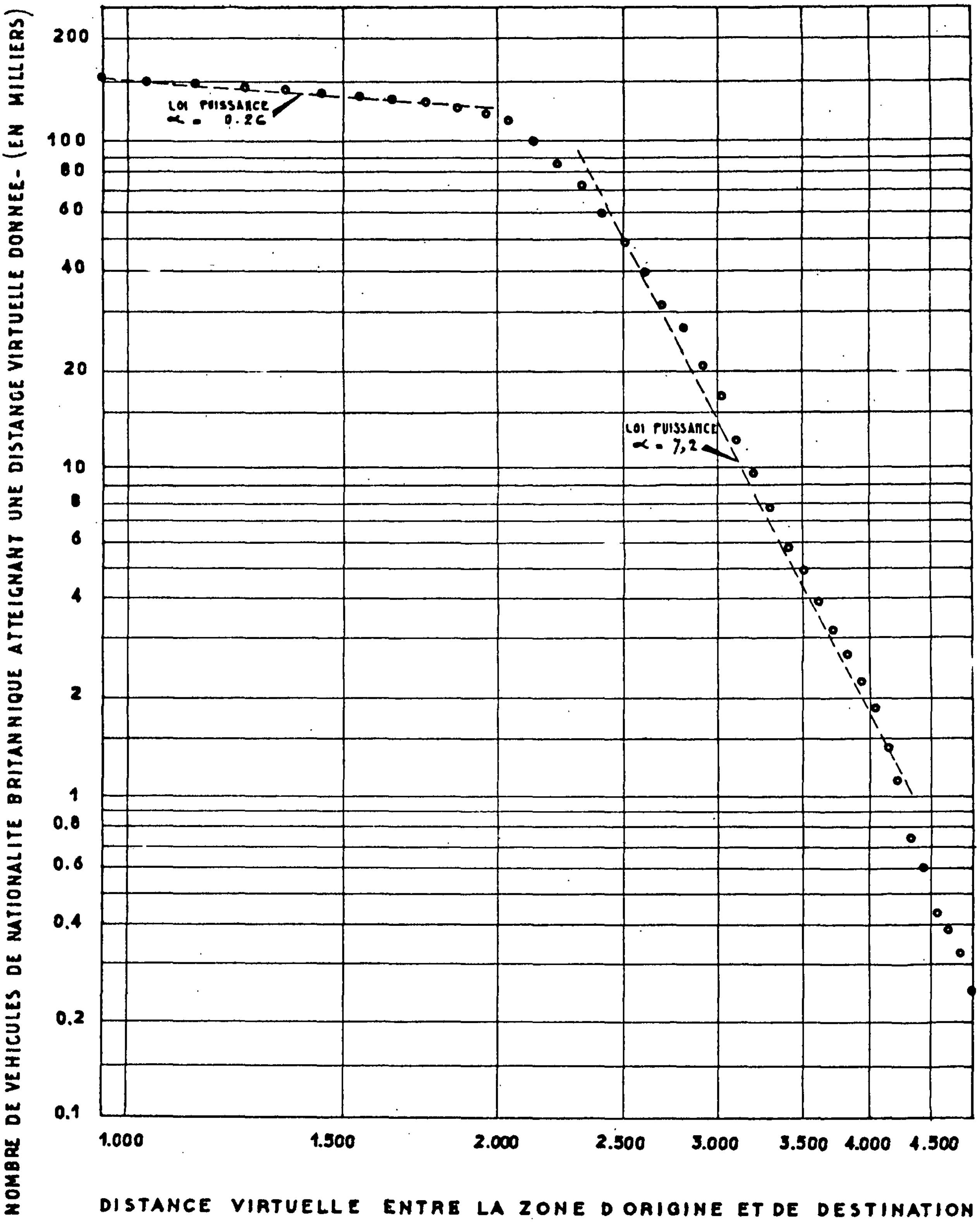
-913-



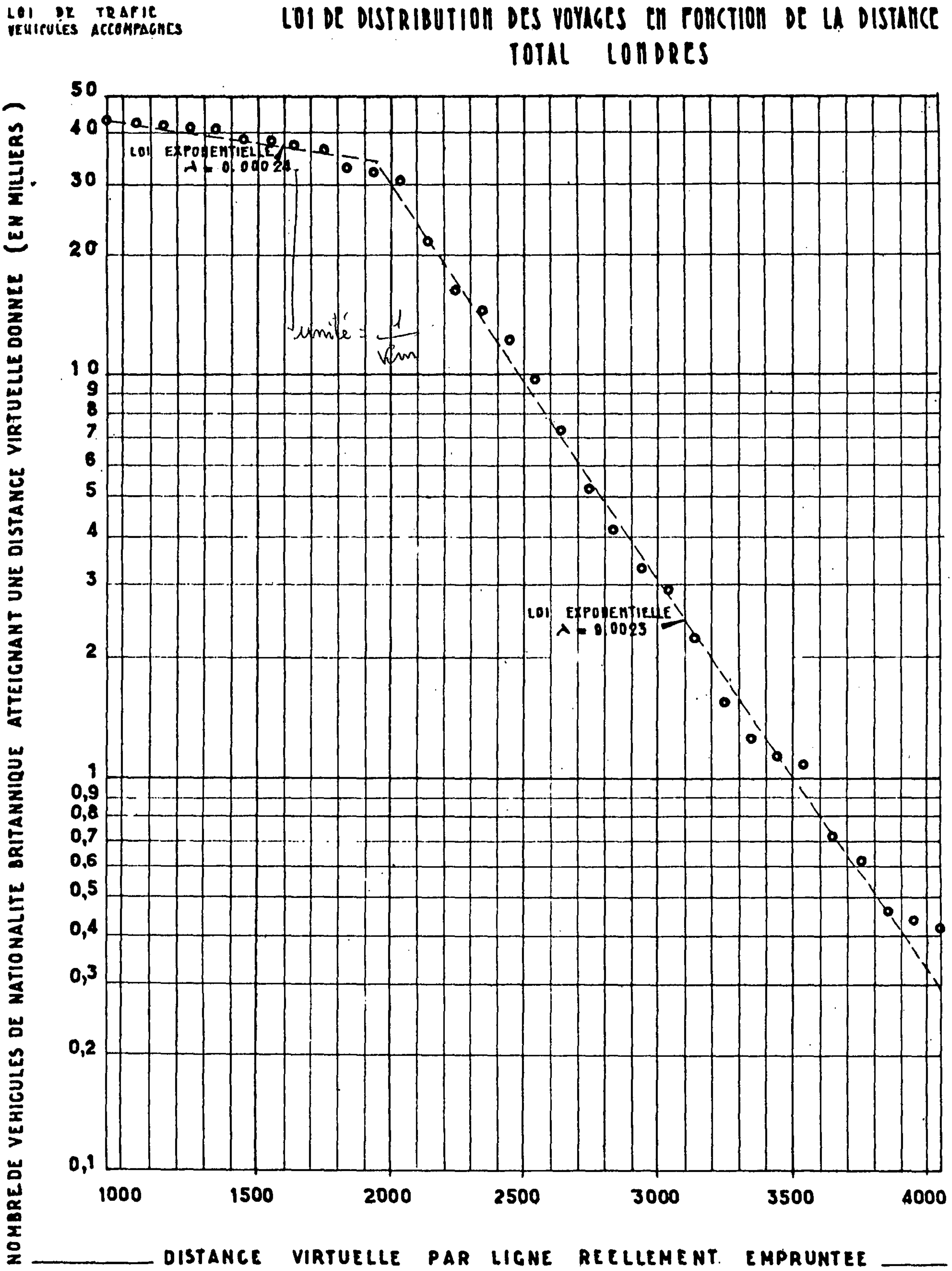
APPENDICE : GRAPHIQUE N° 5

LOI DE TRAFIC
VEHICULES ACCOMPAGNES

LOI DE DISTRIBUTION DES VOYAGES EN FONCTION DE LA DISTANCE
TOTAL GRANDE-BRETAGNE



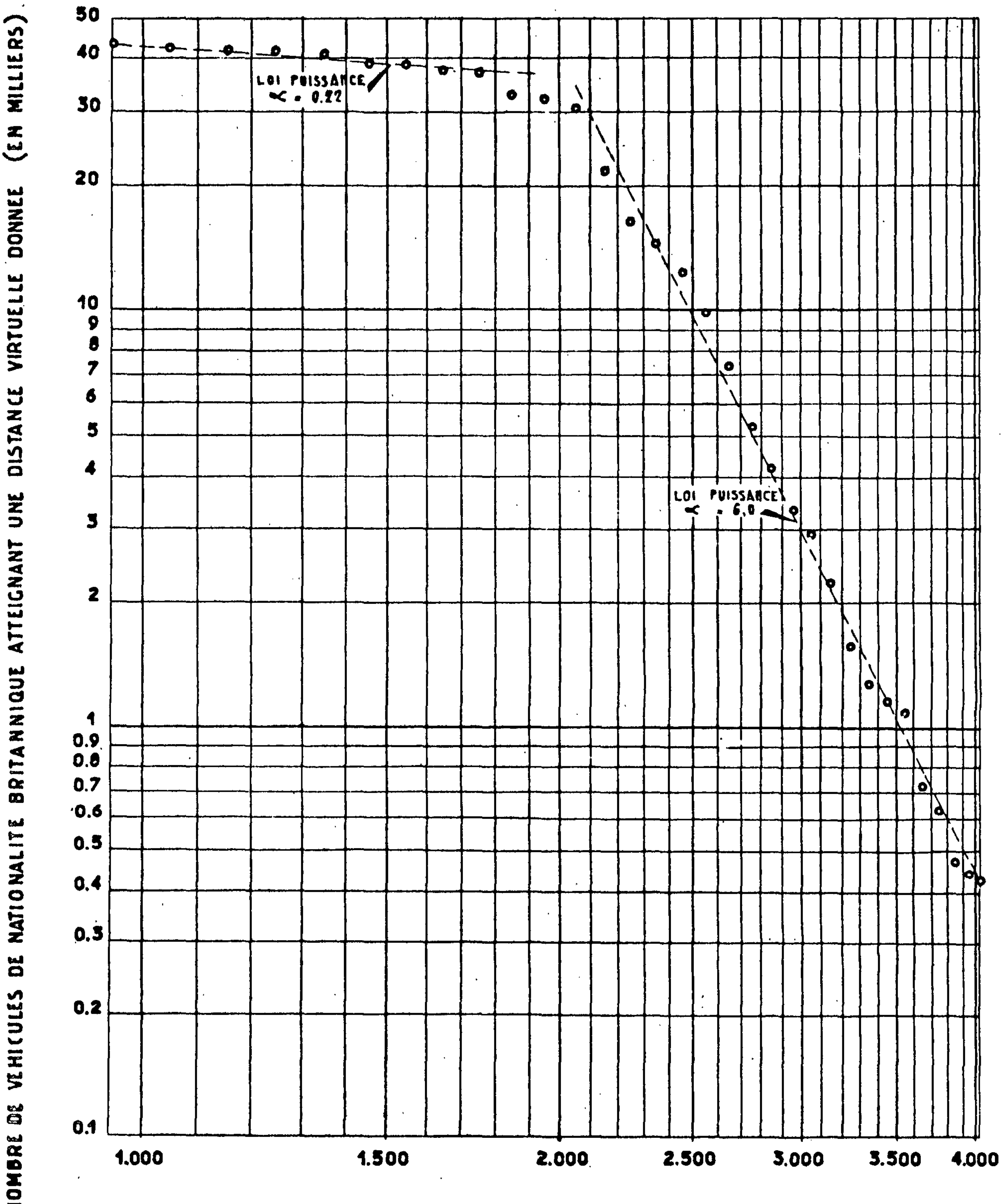
APPENDICE : GRAPHIQUE N° 6



APPENDICE : GRAPHIQUE N° 7

LOI DE TRAFIC
VEHICULES ACCOMPAGNES

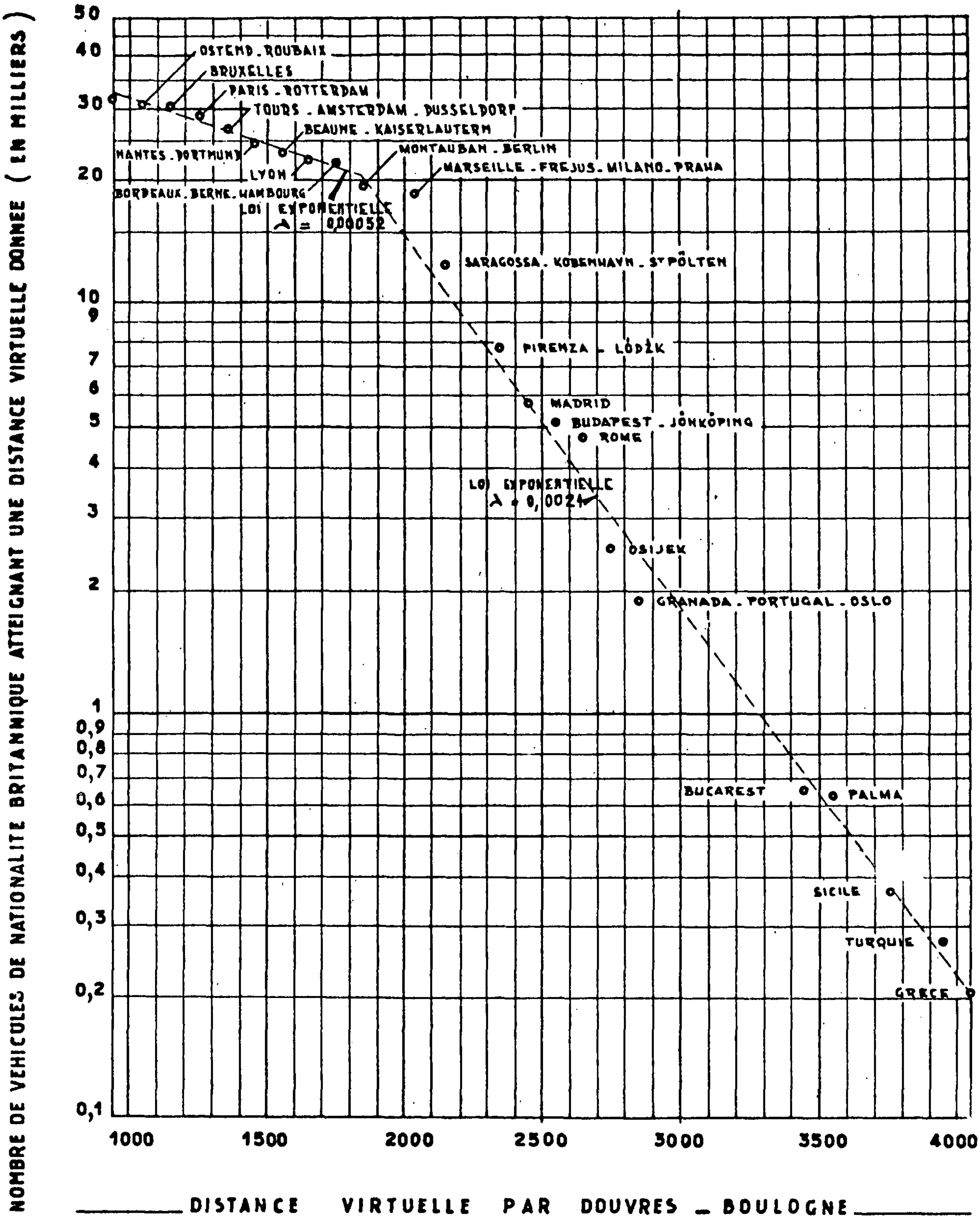
LOI DE DISTRIBUTION DES VOYAGES EN FONCTION DE LA DISTANCE
TOTAL LONDRES



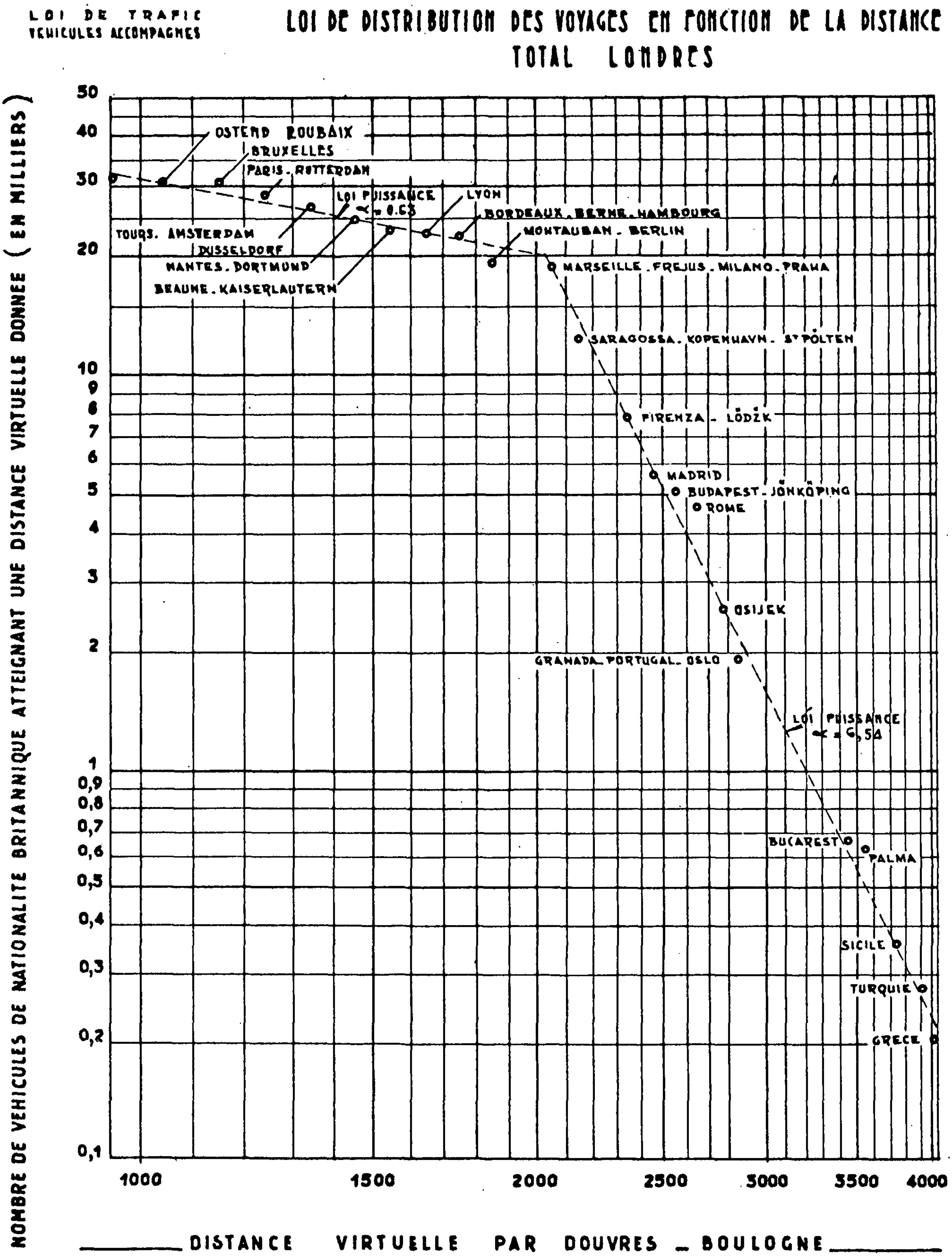
APPENDICE : GRAPHIQUE N° 8

LOI DE TRAFIC
VEHICULES ACCOMPAGNES

LOI DE DISTRIBUTION DES VOYAGES EN FONCTION DE LA DISTANCE
TOTAL LONDRES



APPENDICE : GRAPHIQUE N° 9



APPENDICE : GRAPHIQUE N° 10