

Détermination d'isochrones en région liégeoise selon les moyens de transport individuels

par J.-P. DONNAY

Assistant à l'Université de Liège

RESUME.- *Les courbes isochrones et iso-distances sont déterminées sur base des chiffres du recensement de la circulation de 1975. On applique un algorithme de recherche du plus court chemin sur le réseau routier de la région liégeoise. Les temps de trajet sont évalués - par défaut - selon les normes et les techniques de circulation routière.*

ABSTRACT.- *The isochronous and iso-distances curves have been settled on basis of the 1975 traffic census. A shortest path algorithm is applied on the road network of the region of Liège. The time of journey is reckoned - but under-estimated - according to the traffic engineering standards and techniques.*

Les études traitant de la représentation d'isochrones sont relativement nombreuses dans la littérature et la région liégeoise a plusieurs fois fait l'objet de telles publications.

Il s'agit de délimiter les zones accessibles en un temps donné, au départ d'un point fixé et selon un moyen de transport déterminé. Fréquemment les analyses portent sur les transports en commun. Dans ce cas, les temps de parcours, fournis par les horaires des compagnies de transport, sont cumulés le long des itinéraires empruntés par ce moyen de locomotion. Le calcul peut en outre prendre en compte les temps d'attente, de correspondance, etc. (F. Dussart, 1939, 1959 ; J.-L. Auguste, 1977 ; Y. Baudot et J.-P. Laloux, 1980).

Les transports individuels sont plus rarement étudiés. Une technique élémentaire consiste à calculer le temps nécessaire à parcourir un tronçon de route en fonction de la seule vitesse maximum autorisée sur cet axe. Cette méthode peut fournir une image approximative de l'accessibilité d'une région mais ne rend compte que d'un des nombreux paramètres intervenant en matière de circulation routière (M. Gewalt, 1980). La vitesse praticable ne peut être assimilée à la vitesse maximum autorisée que dans des conditions idéales de circu-

lation rarement réalisées dans la pratique.

Les techniques de "Traffic Engineering" ont profité de recherches théoriques relativement élaborées, menées essentiellement aux Etats-Unis. H. Hondermarcq rassemble bon nombre d'informations sur ce sujet (1977). L'utilisation de ces méthodes et l'application d'algorithmes de la théorie des graphes, ont permis la publication de plusieurs analyses d'accessibilité, notamment de la part des géographes de l'Université néerlandophone de Bruxelles (Vrije Universiteit Brussel) (W. de Lannoy et D. Van Oudheusden, 1975).

I. — METHODOLOGIE

La détermination d'isochrones se ramène à deux opérations successives : d'une part le calcul du temps de parcours des différents tronçons d'axes constituant le réseau routier ; d'autre part, la recherche des itinéraires les plus courts, en temps, entre le centre étudié et chaque noeud du réseau. La première procédure fait appel aux techniques de circulation routière, la seconde aux algorithmes traditionnels du plus court chemin dans un graphe.

A. — DETERMINATION DES TEMPS DE PARCOURS

Le temps nécessaire au parcours d'un tronçon routier dépend bien entendu du volume de circulation empruntant cet axe. Pourvu que ce tronçon soit homogène, c'est-à-dire qu'il présente sur toute sa longueur des caractéristiques identiques, diverses relations permettent de prévoir son temps de parcours en fonction du débit de circulation.

De très nombreux paramètres interviennent lorsqu'il s'agit de définir l'homogénéité d'un axe routier. A grande échelle diverses abaques permettent de prendre en considération des facteurs tels que la pente, le degré de visibilité, la largeur des accotements, la présence éventuelle d'obstacles en bordure de voirie, etc. Il est bien évident que l'analyse d'un problème au niveau régional ne peut se permettre ce genre de nuances sous peine de multiplier à l'infini le nombre de tronçons homogènes. Or, pour chaque tronçon, il est nécessaire de disposer d'une évaluation du volume de circulation. Le nombre de sections d'analyse est donc fonction du nombre de postes de comptages établis lors des recensements de circulation. Dès lors, seules quelques caractéristiques essentielles sont retenues pour déterminer la nature des routes.

Le type de route : autoroutes et routes ordinaires sont distinguées selon le nombre de voies qu'elles présentent et éventuellement la largeur de ces voies.

La capacité : à chaque catégorie de route est associée une capacité correspondant au nombre maximum de véhicules qui peuvent passer, en une heure, sur une section donnée de ce type de route. Lorsque le débit de circulation

atteint la capacité il y a saturation. La vitesse praticable dans ces conditions est appelée vitesse critique.

La vitesse de base : généralement la vitesse maximum autorisée par la réglementation sur ce tronçon routier.

Notons enfin que la composition de la circulation est susceptible d'influencer la vitesse moyenne sur un axe routier. La mesure du volume de circulation s'établit généralement en unités de voitures particulières (u.v.p.) soit, essentiellement, après pondération de la part du trafic lourd dans le trafic total.

La vitesse praticable ou vitesse moyenne sur un tronçon peut varier entre les deux limites - vitesse de base et vitesse critique - tant que le stade de saturation n'est pas dépassé, auquel cas la vitesse peut à l'extrême s'annuler.

Tant que le débit n'a pas atteint la capacité, c'est-à-dire tant que le stade de saturation n'est pas franchi, la vitesse praticable reste inversement proportionnelle au débit. La relation est linéaire pour certains, parabolique pour d'autres (Highway Research Board, 1966). La diminution de vitesse simultanément à l'augmentation du débit s'explique par le progressif conditionnement de la circulation (diminution des opportunités de dépassement). Cependant, une fois la saturation atteinte, vitesse et débit diminuent. En effet, si la vitesse tend vers zéro, le nombre de véhicules qui peuvent passer sur une section routière en un temps donné, tend également à s'annuler. La figure 1 illustre une relation vitesse - rapport débit/capacité d'après Norman (Highway Research Board, 1966, cité par H. Hondermarcq, 1979).

Lorsque la vitesse moyenne est inférieure à la vitesse critique, la densité de véhicules peut pourtant encore augmenter. Le nombre de véhicules particuliers par kilomètre a, en effet, comme limite extrême une valeur proche de 120. Cette valeur est atteinte lorsque vitesse et espace entre deux véhicules successifs s'annulent. Au delà de la vitesse critique et jusqu'à l'annulation totale de la vitesse, la relation entre la vitesse praticable et la densité de véhicules est presque linéaire (fig. 2).

Vitesse moyenne et volume de circulation sont donc liés mais, on le voit, la relation n'est pas univoque et passe notamment par la connaissance de la densité de circulation. C'est à ce niveau que se posent les problèmes d'application.

Les chiffres disponibles en matière de circulation consistent en comptages du volume de véhicules par section de route. Par définition ce volume ne peut excéder la capacité du tronçon et, de fait, aucune incohérence de cette sorte n'apparaît dans l'application au cas liégeois. Cependant, un même débit peut être associé à deux vitesses différentes (en deçà et au delà de la vitesse critique) selon que l'on ait franchi ou non la situation de saturation. Or, aucune information n'est fournie à cet égard : ni la densité, ni la distance entre deux

véhicules en file. On en est réduit à supposer lors de l'application qu'aucune situation de saturation ne se présente sur le réseau. Cet aspect des choses est d'autre part implicite si l'on ne considère comme base de travail que les volumes moyens de circulation.

Signalons que les applications pratiques doivent faire appel à une relation de base légèrement différente. Ainsi le Plan quinquennal pour le réseau belge de voies routières rapides retient un rapport entre demande potentielle de trafic et capacité possible. Selon les auteurs, la demande peut excéder la capacité, auquel cas "il faut que le temps de transport augmente (. . .) pour ramener la demande au niveau de la capacité" (E.S. Kirschen *et al.*, p. 51). La relation énoncée telle quelle semble illogique, puisque la seule diminution de la vitesse, au delà du seuil de saturation, ne conduit plus à une augmentation du débit.

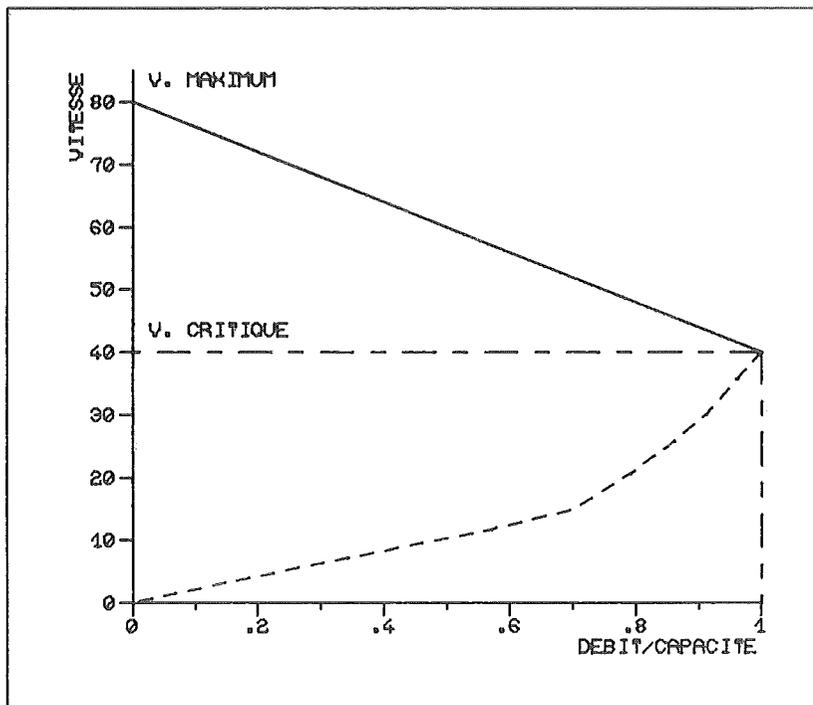


FIG. 1. — La relation vitesse-débit/capacité.

Au contraire, ce dernier diminue également après avoir atteint un maximum à la capacité. Ce genre de solution quelque peu artificielle est cependant couramment utilisée lorsqu'il s'agit d'optimiser un réseau et cela, afin de conserver l'univocité de la relation vitesse-débit/capacité.

Les auteurs du plan établissent ainsi trois équations pour rendre compte de cette liaison : deux linéaires jusqu'à saturation, une fonction puissance négative au delà. G. Engelen et J.-P. Brans (1980, p. 115) utilisent ces mêmes formules mais signalent ne pas avoir cherché à estimer les relations existantes. Pour sa part, P.A. Steenbrink (1974, p. 196) utilise une courbe unique pour estimer la vitesse en fonction du quotient débit/capacité.

B. — LE PLUS COURT CHEMIN

1. — *Le graphe.* — Le réseau routier constitue un graphe dont les arêtes sont les tronçons homogènes définis plus haut. Les noeuds du graphe représentent

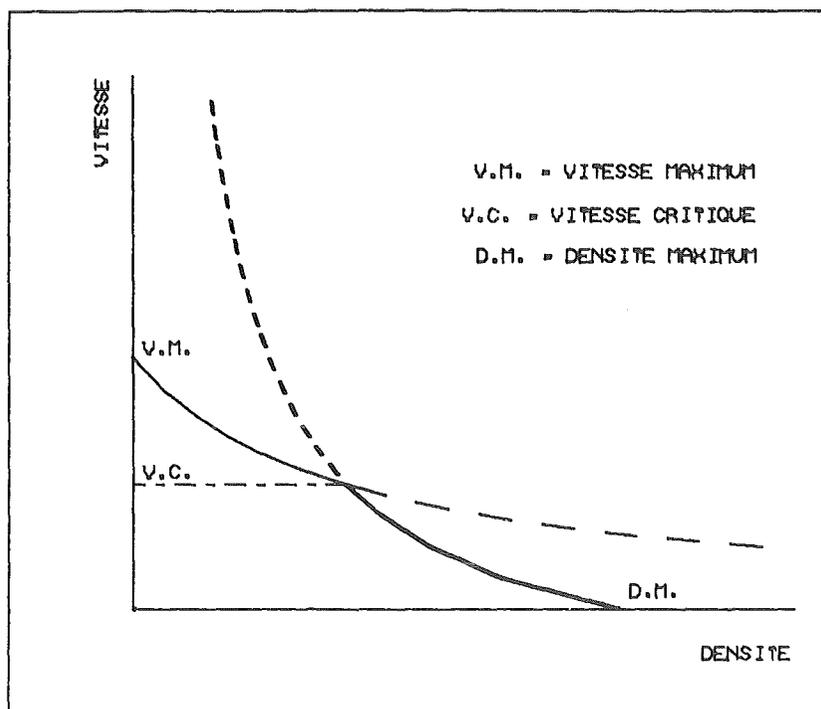


FIG. 2. — La relation vitesse-densité.

les sites d'occurrence d'hétérogénéité des axes routiers. Il s'agit principalement :

- de rétrécissements des voies ou de diminutions du nombre de voies ;
- de carrefours ;
- de modifications de la vitesse maximale autorisée ;
- de villes ou de villages qui présentent généralement plusieurs, voire toutes les conditions précédentes.

La détermination des temps de parcours des arêtes du graphe nécessite la connaissance du volume de circulation sur chacune de celles-ci. Par construction, le réseau routier étudié se réduit dès lors à l'ensemble des axes qui ont fait l'objet d'un comptage. Ces derniers ne correspondent d'ailleurs pas nécessairement à des sections homogènes et dans certains cas il a été nécessaire d'évaluer le volume de circulation sur un tronçon non individualisé lors du recensement. Enfin, la réduction spatiale des villes en un point - un noeud du graphe - empêche la prise en compte des réseaux internes des agglomérations. Il s'ensuit une sous-estimation des temps de franchissement, mais nous verrons que le problème se pose d'une manière semblable pour tous les sommets du réseau.

Le graphe, une fois déterminé, peut être valué de deux manières. D'une part, il est aisé d'associer à chaque arête sa distance kilométrique. Le relevé se fait soit au départ de cartes routières conventionnelles, soit au curvimètre sur cartes à grande échelle. D'autre part le temps de parcours de chaque section peut être évalué en fonction de sa longueur et de la vitesse praticable sur ce tronçon estimée comme vu précédemment. La recherche des plus courtes distances kilométriques et distances-temps entre chaque sommet du graphe et le lieu central choisi fournit deux mesures de l'accessibilité.

2.- *L'algorithme du plus court chemin.* - Les applications de la théorie des graphes sont nombreuses en matière de transport (K.J. Tinkler, 1979) et les méthodes les plus adaptées au problème en question sont largement discutées (P.A. Steenbrink, 1974, chap. 7). L'algorithme de Dijkstra, retenu pour cette analyse, est notamment présenté de manière claire par G. Engelen et J.-P. Brans dans un article déjà cité (1980, pp. 117-126).

Le graphe valué est traduit en une matrice carrée et symétrique - dans notre exemple - des distances (-temps ou kilométriques) entre sommets. Les valeurs de la diagonale sont nulles tandis qu'aux liaisons inexistantes entre deux noeuds correspondent des valeurs égales à $-\infty$. L'algorithme utilisé est du type arborescent et "one through" (N-1 itérations au maximum si N = le nombre de sommets). Il permet de déterminer le chemin le plus court entre un noeud du graphe et tous les autres. Un tableau des plus courts chemins est constitué et si le point d'origine est a, ce tableau est initialisé de la manière suivante :

$$d^{aa} = 0$$

$$d^{aj} = \infty \quad \text{pour tout } j \in N$$

L'opération sur laquelle se base la construction de l'arbre est la suivante :

$$d_{aj} = \min (d_{ai} + d_{ij})$$

A chaque itération cette opération est appliquée, où d_{ai} est le plus court chemin fixé à l'itération précédente. A la première étape, i est le sommet le plus voisin de a . L'algorithme fixe à chaque passage au moins un chemin minimum entre a et un sommet j , plusieurs s'il existe plusieurs chemins de longueur égale à ce minimum.

Les longueurs d_{ij} sont lues dans la matrice des distances entre sommets établie auparavant.

On peut constater qu'il n'est tenu aucun compte des temps de traversée des noeuds du graphe. Les temps de parcours sont donc systématiquement sous-évalués, en particulier lorsque ces sommets correspondent à des villes ou des villages. Si les temps de traversée sont connus, ils peuvent être introduits sur la diagonale de la matrice des distances-temps entre sommets. L'opération de base peut prendre alors la forme suivante :

$$d_{aj} = \min (d_{ai} + d_{ij} + d_{ii})$$

Pour connaître l'itinéraire suivi pour joindre, depuis l'origine, un sommet quelconque du réseau par le chemin le plus court, il suffit de mémoriser le numéro du sommet le précédant directement sur ce parcours. Les itinéraires complets sont alors aisément retrouvés par récurrence.

L'ensemble de la procédure - constitution de matrices, algorithme, cartographie - a été programé sur micro-ordinateur. En langage interprété, cette version permet le calcul des plus courts chemins d'un réseau constitué de 70 sommet, en quelque 2 minutes et 30 secondes.

II.- APPLICATION A LA REGION LIEGEOISE

La région d'analyse est centrée sur Liège. Elle en couvre l'arrondissement et déborde largement sur les arrondissements voisins. Le réseau routier est constitué des autoroutes et des routes d'Etat. Il s'agit en fait du réseau de voies ayant fait l'objet de comptages lors du recensement de la circulation de 1975 (Administration des Routes, 1976).

Six catégories de routes sont distinguées, eu égard au nombre de voies et à la vitesse maximale permise (tabl. I). Il est clair que cette classification est simplifiée. Des situations particulières, autres que les six proposées, apparaissent sur le réseau, mais elles sont de trop faible extension que pour être identifiées.

Les capacités possibles ont été estimées largement. Elles correspondent aux capacités pour une circulation continue dans des conditions idéales (tabl. II).

TABLEAU I. — Catégories des routes.

<i>Type de route</i>	<i>Nombre de voies</i>	<i>Vitesse maximum</i>
Autoroute	2 x 3	120
	2 x 2	120
Route ordinaire	2 x 2	120
	3	90
	2	90
	2	60

Il faut les distinguer des capacités "pratiques" (H. Hondermarcq, 1979, pp. 168 + 13) utilisées dans les applications et inférieures d'environ 25 %.

Le volume de circulation est fourni par le recensement dont il a été fait mention (Administration des Routes, 1976). Il s'agit en l'occurrence des volumes journaliers moyens annuels. Les chiffres ont été pondérés par la part de trafic lourd dans le trafic total, de manière à conserver l'unité de voiture particulière à laquelle fait référence la notion de capacité. Un facteur d'équivalence de 4 a été choisi en fonction du relief vallonné de la région (H. Hondermarcq, 1979, fig. IV. 23).

En ce qui concerne le temps de parcours des arêtes du réseau, plusieurs essais ont été réalisés selon les modèles proposés par la littérature. Les cartes illustrant cette application se réfèrent au modèle de P.-A. Steenbrink mais le tableau III compare ces résultats avec ceux obtenus par le jeu d'équations établies par les auteurs du plan quinquennal (E.S. Kirschen *et al.*, 1975).

TABLEAU II.— Capacités horaires pour une circulation continue dans des conditions idéales

<i>Type de route</i>	<i>Capacité horaire en u.v.p.</i>
deux voies	2000 pour les deux sens de circulation
trois voies	4000 pour les deux sens de circulation
2 x 2 voies et plus	2000 par voie

TABLEAU III. — Temps de parcours suivant les plus courts chemins entre Liège et quelques villes de la Province, selon deux relations entre la vitesse (V) et le rapport débit/capacité (D/C)

Villes	Temps de parcours depuis Liège (min. et 1/10)	
	(1)	(2)
Aywaille	33.0	31.9
Huy	24.4	20.0
Spa	34.1	29.6
Verviers	18.4	16.9
Visé	9.5	8.6
Waremme	14.4	11.6

(1) $0 < D/C \leq 60 \text{ ‰} : V = V_{\max} + a' \cdot (D/C)$

$60 < D/C \leq 100 \text{ ‰} : V = b' + c' \cdot (D/C)$

$D/C > 100 \text{ ‰} : V = V_{\max} / (D/C)^{1/2}$

(2) Relation de P.-A. Steenbrink. Voir texte.;

Le modèle dont les résultats sont cartographiés détermine le temps nécessaire au parcours d'une unité de distance de la façon suivante :

$$t = (1/V_{\max}) + a \cdot (D/C)^5$$

où : t = temps de trajet ; V_{\max} = vitesse de base ; D = débit ; C = capacité.

La valeur de l'exposant a été déterminée par les responsables du Rijkswaterstaat et du Netherlands Economic Institute. Signalons à cet égard que les valeurs d'exposant 5, 6 et 7 conduisent à des ajustements quasi similaires (P.-A. Steenbrink, 1974, p. 191).

Le coefficient a est déterminé de manière telle qu'une vitesse critique de 40 km/h soit atteinte à 90 ‰ de la capacité.

Enfin, aucune information n'étant disponible sur le temps de traversée des sommets du réseau, ce retard n'a pas été pris en compte. Notons aussi que les longueurs des axes concernés sont arrêtées aux limites extérieures des agglomérations.

III.— LES RESULTATS DE L'ANALYSE

Les différents paramètres choisis ou imposés dans cette application conduisent

à une sous-estimation parfois sensible des temps de trajet. En effet, une forte capacité, une vitesse de base équivalente à la vitesse maximum autorisée et l'abandon des temps de traversée des agglomérations, cumulent leurs effets. A grande échelle, les résultats en sont vite affectés. De plus, l'utilisation de volumes moyens de circulation lisse tout effet de pointe de trafic. Il convient de garder ces éléments en mémoire lors de l'analyse des documents finaux.

Les deux cartes qui illustrent cette application (fig. 3 et 4) sont classiques des analyses d'accessibilité. Ces documents parlent d'eux-mêmes et une description détaillée est sans doute superflue.

La première carte donne une représentation des courbes d'iso-distances. Les isoplèthes concentriques soulignent la structure radiaire du réseau routier étudié. Ce dernier est légèrement déformé vers le sud-est. Les autoroutes E9 et A27 n'étaient pas encore en activité lors du recensement. L'analyse de ce document n'est complète qu'une fois confronté à la carte des isochrones.

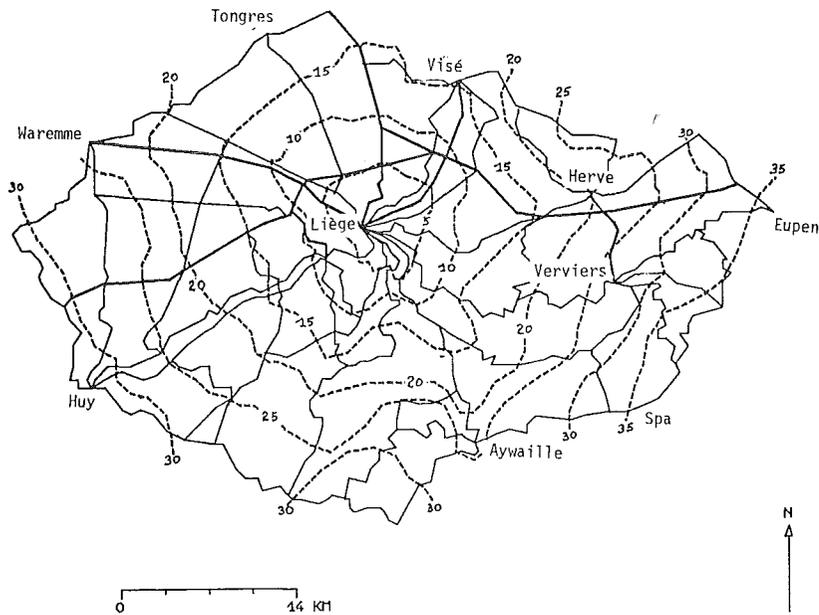


FIG. 3. — Accessibilité nodale relative centrée sur Liège. Courbes iso-distances en kilomètres.

Sur celle-ci l'influence des autoroutes est bien sûr remarquable. Leur disposition, approximativement tous les 30 degrés dans la moitié nord de l'agglomération, et la présence d'un réseau complémentaire de routes concentriques, permettent une accessibilité exceptionnelle, en particulier dans la partie nord-ouest.

Dans le sud l'absence d'autoroute et les routes étroites et sinueuses des vallées produisent l'effet inverse. Ainsi les routes empruntant les vallées de la Vesdre et de la Meuse en amont de Liège, présentent de telles conditions de circulation que les villes de Verviers et Huy respectivement, sont gagnées plus rapidement par les autoroutes passant au nord et ce, malgré un allongement de parcours de plusieurs kilomètres. Là où aucune autoroute ne se substitue à l'itinéraire traditionnel, le gradient des isochrones est nettement plus accusé. Beaufays par exemple, n'est rejoint qu'en plus de 20 minutes. Ce cas précis connaît aujourd'hui une situation meilleure à la suite de la construction de l'E9 déjà mentionnée.

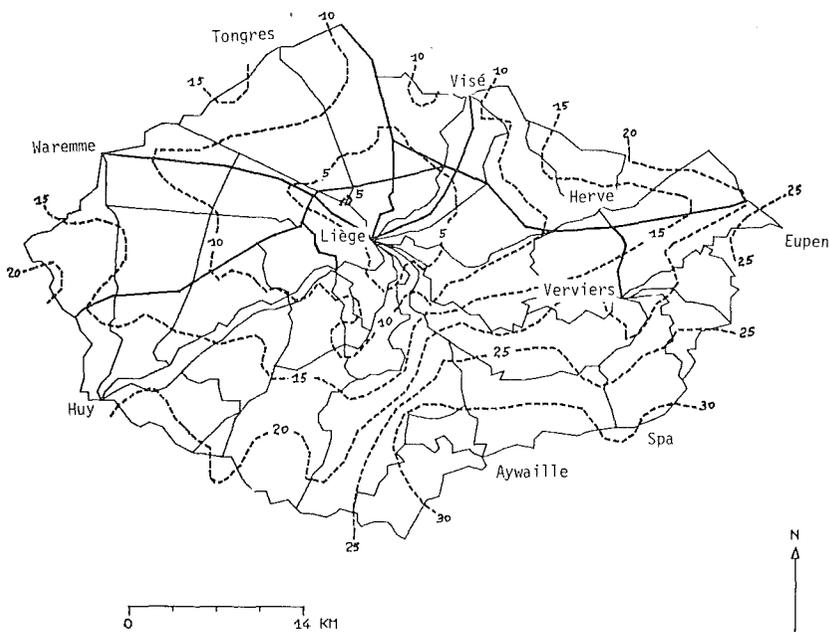


FIG. 4. — Accessibilité nodale relative centrée sur Liège. Courbes isochrones en minutes.

La consultation de la matrice des distances-temps et des deux documents cartographiques permet de multiplier ce genre de commentaires. Autant de situations banales peut-être pour les utilisateurs quotidiens du réseau mais retrouvées ici, en ordre de grandeur tout du moins, de manière originale et sans doute plus économique.

BIBLIOGRAPHIE

- ADMINISTRATION DES ROUTES, 1976. — *Recensement général de la circulation routière en 1975*, Service du Trafic routier, n° 74.
- AUGUSTE J.-L., 1977. — La desserte par les transports en commun routiers dans la région liégeoise, *Bull. de la Soc. géogr. de Liège*, n° 13, pp. 97-105.
- BAUDOT Y. et LALOUX J.-P., 1980. — Les transports en commun par bus, dans J.A. SPORCK *et al.*, *Liège prépare son avenir*, Liège, E. Wahle, pl. 22, p. 87.
- DE LANNOY W. et VAN OUDHEUSDEN D., 1975. — Een isochronenkaart voor Brussel op basis van het autovervoer, *De Aardrijkskunde*, n° 3, pp. 181-184.
- DUSSART F., 1939. — La méthode des courbes isochrones. Son application à la ville de Liège, *Trav. du Séminaire de Géogr. de l'Université de Liège*, fasc. LXVII, 7 p.
- DUSSART F., 1959. — Les courbes isochrones de la ville de Liège pour 1958-1959, *Trav. du Séminaire de Géogr. de l'Université de Liège*, fasc. CXXXII, 10 p.
- ENGELEN G. et BRANS J.-P., 1980. — Accessibilité du territoire. Une approche quantitative par la recherche opérationnelle, *Cahiers de Géogr. de Besançon*, n° 20, pp. 107-142.
- GEWELT M., 1980. — La route, dans J.A. SPORCK *et al.*, *Liège prépare son avenir*, Liège, E. Wahle, pl. 18, p. 75.
- HIGHWAY RESEARCH BOARD, 1966. — *Highway Capacity Manual 1965*, Washington D.C.
- HONDERMARCQ H., 1979. — Cours de théorie et de technique de la circulation routière, 2 tomes, s.l.
- KIRSCHEN E.S., BLAUWENS G., EECKHOUDT L., GLEJSER H., SPORCK J., VANDENBORRE R. et VANDERMOTTEN C., 1975. — *Un plan quinquennal pour le réseau routier belge de voies routières rapides*, Fédération routière belge, s.l.
- STEENBRINK P.-A., 1974. — *Optimization of Transport Networks*, London, Wiley.
- TINKLER K.J., 1979. — Graph theory, *Progress in Human Geography*, Vol. 3, n° 1, pp. 85-116.