

Un modèle d'affectation dynamique de la demande de stationnement en milieu urbain

V. TORRIERI, D. GATTUSO

Universita' di Reggio Calabria

Facolta' di Ingegneria

Istituto di Ingegneria Civile ed Energetica

INTRODUCTION

D'après Jean Polak (1988), un modèle d'analyse de la distribution du stationnement dans un centre urbain peut se révéler un utile instrument d'aménagement seulement s'il possède deux qualités premières:

- a) la capacité de représenter le contexte de base et les variables en jeu avec un raisonnable degré de crédibilité;
- b) la capacité de représenter un ensemble de comportements et de réactions potentiels que les usagers pourraient manifester à cause de la politique des autorités.

En outre, toujours selon l'opinion de Polak, un modèle idéal devrait avoir les attributs suivants:

- a) l'aptitude à la reproduction des caractéristiques de la demande de stationnement, y compris son articulation spatio-temporelle et sa désagrégation en catégories d'usagers différents;
- b) la capacité d'exprimer les aspects qui qualifient le

système de l'offre, c'est-à-dire le type et l'emplacement des parcs de stationnement, l'accessibilité au lieu d'arrivée finale partant de chaque parking, les performances de chaque installation de parking, les variations de ces performances-ci par rapport aux différents niveaux de la demande;

c) la possibilité d'envisager les effets d'une politique gestionnaire des parcs de stationnement en exprimant les variations contrôlées de certaines variables telles que la capacité des installations, la structure des tarifs, la limitation de la durée du stationnement, les mécanismes de direction et de régulation de l'usage des parcs mêmes.

Les modèles élaborés jusqu'à maintenant, se révèlent, dans la plupart des cas, plutôt loin de posséder toutes ces qualités bien précises; toutefois, dans ces dernières années, certains progrès ont été enregistrés dans des directions d'ailleurs parfois différentes, dans la tentative de les améliorer.

Actuellement on peut distinguer trois classes générales de modèles qui analysent les caractéristiques de distribution du stationnement urbain:

a) modèles de microrégulation du trafic, visant à fournir une représentation détaillée des conditions du trafic local. Ils se révèlent d'une grande utilité lorsqu'il s'agit d'examiner les conséquences d'une éventuelle adoption de plans alternatifs de circulation, en permettant d'obtenir une série d'informations comme, par exemple, l'écoulement de la circulation sur les branches du réseau routier, les retards des usagers, les longueurs des queues, etc. Une application plus vaste encore de ces modèles-ci permet aussi d'évaluer les implications d'une configuration alternative du système de l'offre et d'une réglementation du stationnement. Toutefois ils sont limités à cause de la nature rigide de la demande et généralement ils se rapportent à des heures de pointe sans être en mesure de contenir explicitement une dimension temporelle;

b) modèles de planifications des transports, plus généraux, ils sont aptes à la représentation sur des réseaux de transport des déplacements qui se déroulent selon un processus distributif par stades ou "à cascade".

Bien que l'on ait fait plusieurs efforts pour introduire même dans ce processus un "parking split" (M.S. Nour Eldin et al., 1981), les résultats ne semblent pas posséder les qualités requises par le "modèle idéal".

Ces modèles-ci, comme ceux de la classe précédente, ne peuvent que simuler des phénomènes de circulation qui se passent aux heures de pointe, non pas pendant des périodes de temps plus vastes; en outre ils ne se prêtent pas aisément à la représentation des variations d'état des caractéristiques "remarquables" de l'offre de stationnement; enfin ils ne sont pas à même de rapporter l'interaction de la demande et de l'offre;

c) modèles d'évaluation de la distribution de la demande de stationnement, qui examinent les caractéristiques comportementales des usagers par rapport aux alternatives disponibles. Récemment ils ont eu du succès en raison de la simplicité de leur usage et de leurs particulières propriétés statistiques (Austin, 1971; Van der Goot, 1982; Bradley et Layzell, 1986).

Toutefois, ces modèles-ci, à cause de leur nature limitée de modèles de demande, inclinent assez peu à simuler l'interaction entre la demande et l'offre, qui constitue un des principaux objectifs de la politique de planification du stationnement.

Dans ces dernières années la réflexion sur ces limites a poussé la recherche vers des types alternatifs de modèles, de plus en plus indiqués à devenir des instruments d'analyse au service de la planification. Parmi ces modèles on veut signaler le CLAMP (Computer-based Local Area Model of Parking behaviour, Bradley et al., 1986) et l'ORIENT IV (Leutzbach et Axhausen, 1987).

Quoique ces deux modèles adoptent une approche fondamentalement différente l'une de l'autre, ils introduisent quand même des innovations conceptuelles très remarquables:

- le rapport entre la demande et l'offre est simulé, au moyen d'un ordinateur, au cours d'une période de temps qui est décomposée par intervalles de longueur préétablie;
- pour mieux simuler le comportement des usagers, on considère la typologie du parking, son tarif relatif, sa distance des lieux de destination, le temps de recherche du parcage, le moyen de déplacement, les effets des écoulements de la circulation routière, l'état du système pendant chaque intervalle de temps; le choix des usagers est formalisé compte tenu du coût généralisé, selon un modèle d'"utilité désagrégée"(logit-based).

Cependant aux avantages qu'on relève dans l'usage de ces modèles s'oppose la difficulté essentielle de calibrer les paramètres relatifs; en outre, étant donné l'articulation de l'algorithme, il est difficile d'établir ses propriétés mathématiques formelles.

Le modèle que l'on propose dans ce rapport, peut être rangé parmi ceux de cette dernière génération, puisqu'il recherche une simplification de l'analyse de planification sans renoncer à simuler l'évolution temporelle de l'état du système et l'interaction entre celui-ci et la demande de stationnement.

1- LE MODÈLE DU SYSTÈME.

Le scénario d'analyse, sur un domaine espace-temps, est constitué par un système d'activités, un système de

places de stationnement, un ensemble d'équipements pour les déplacements dans le domaine considéré.

1.1- Le système des activités

Les activités sont réparties de façon discontinue sur le territoire et continue dans le temps; l'aire est divisée en zones Z_i , chacune identifiée par un point, de coordonnées (x_i, y_i) , représentant le centre de gravité des activités qui s'y déroulent.

Le poids des activités dans une zone Z_i est directement mesuré par la demande de transport destinée en elle.

La demande s'exprime de manière articulée par zone de destination, mais aussi par intervalle de temps (T_n), voie d'entrée au centre (l), motif de stationnement (s), moyen de déplacement parking-lieu de destination (m).

En forme mathématique $A_{i1sm}(T_n)$ indique le groupe minimum d'usagers aux caractères semblables; le dernier niveau distributif, celui qui concerne le moyen de déplacement des gens, est obtenu par un modèle logit, en fonction des coûts associés à chaque moyen:

$$(1) \quad A_{i1sm}(T_n) = A_{i1sm}(T_n) \cdot \pi_m(T_n)$$

avec $\pi_m(T_n)$ = probabilité de choix du moyen "m".

En faisant l'hypothèse que la courbe de présentation de chaque groupe d'usagers au cours du temps soit connue, si l'on indique avec " $\lambda(t)$ " le taux d'arrivées au temps t et avec " d " la durée de stationnement associée à $\lambda(t)$, on peut reconstruire la courbe de délaissement.

En effet on peut écrire:

$$\mu[t + d] = \lambda(t)$$

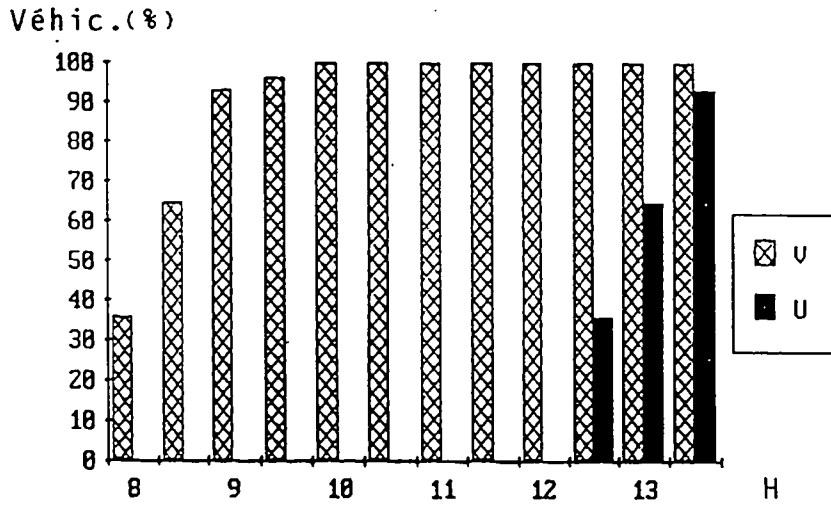
c'est à dire que la fonction $\mu(t)$ est écartée de la fonction $\lambda(t)$ d'une quantité " d ". Donc la connaissance de $\lambda(t)$ et " d " signifie la connaissance de $\mu(t)$.

Dans les applications toutefois il n'est pas réaliste de penser pouvoir connaître les fonctions $\lambda(t)$, mais on connaît des valeurs intégrales référées aux intervalles T_n .

Pour chaque intervalle T_n en outre, des classes d'usagers aux durées différentes de stationnement (d_s), peuvent être déterminées, selon les motifs (s) de déplacement.

La figure 1 présente deux exemples de distributions temporelles de la demande de stationnement en milieu urbain: stationnement pour "travail", stationnement pour "autres motifs"; la différence en ordonnée, entre les deux courbes, sur chaque diagramme, indique la présence véhiculaire; évidemment celle-ci paraît variable au cours du temps.

Les arrivées (V) et les départs (U) véhiculaires.
Motif Travail.



Les arrivées (V) et les départs (U) véhiculaires.
Autres Motifs.

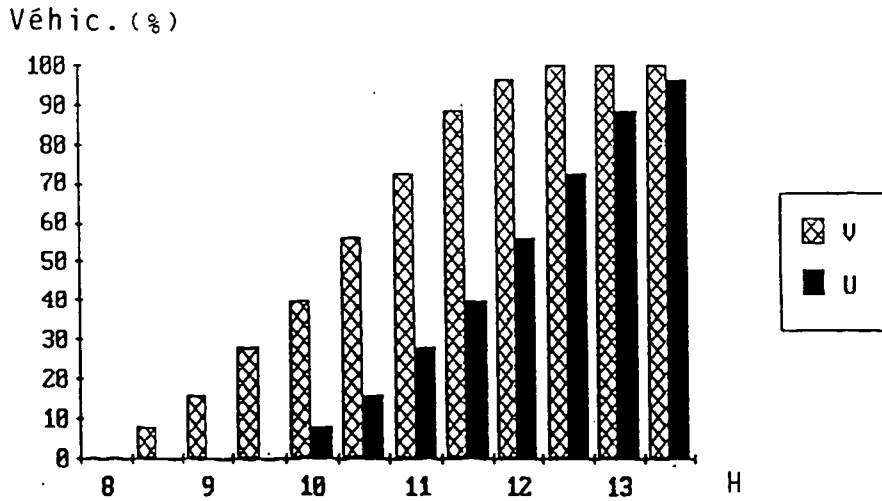


FIG.1. LA DEMANDE DE STATIONNEMENT.
VARIABILITÉ AU COURS DU TEMPS.

1.2- L'offre de stationnement

Le système de l'offre est constituée par m parkings; chacun d'eux (P_j) est caractérisé, à l'instant t , par:

- $Q_j(t)$, nombre de places disponibles;
- $C^F_j(t)$, coût d'exploitation;
- $C^A_j(t)$, coût d'approche;
- un couple de coordonnées (x_i, y_i) qui en précisent la position dans le territoire.

L'offre diffuse le long des trottoirs est ramenée à des parkings fictifs, un parking pour chaque zone Z_i .

Pour tenir compte de la réglementation du stationnement, il faut encore distinguer la capacité autorisée Q_L et la capacité physique Q_F . La première correspond au nombre de places réglementaires, tandis que Q_F correspond au nombre de places physiquement disponibles; cette capacité peut être déterminée de manière pratique, en mesurant le nombre de véhicules en stationnement simultané lors des pointes les plus élevées.

Au parking P_j sont associés un coût de stationnement et un coût d'approche. Le premier s'exprime par un tarif horaire et la durée de stationnement au motif "s" (d_s):

$$(2) \quad C^F_j(T_n) = p_j(T_n) d_s$$

Le coût d'approche dépend du degré de remplissage $f_j(t)$ du parking et de la politique de répression du stationnement interdit qui s'exprime au moyen d'une contravention M multipliée par le risque PM_j de la subir; ce risque devient actif lorsque le niveau d'occupation du parking atteint le seuil $f_L = Q_L/Q_F$, c'est à dire lorsque la capacité est dépassée.

La figure 2 décrit la fonction coût d'approche. En symboles:

$$(3) \quad C^A_j(T_n) = R_o J \frac{f_j(T_n)}{1 - f_j(T_n)} + M \cdot PM_j(T_n) \cdot \delta$$

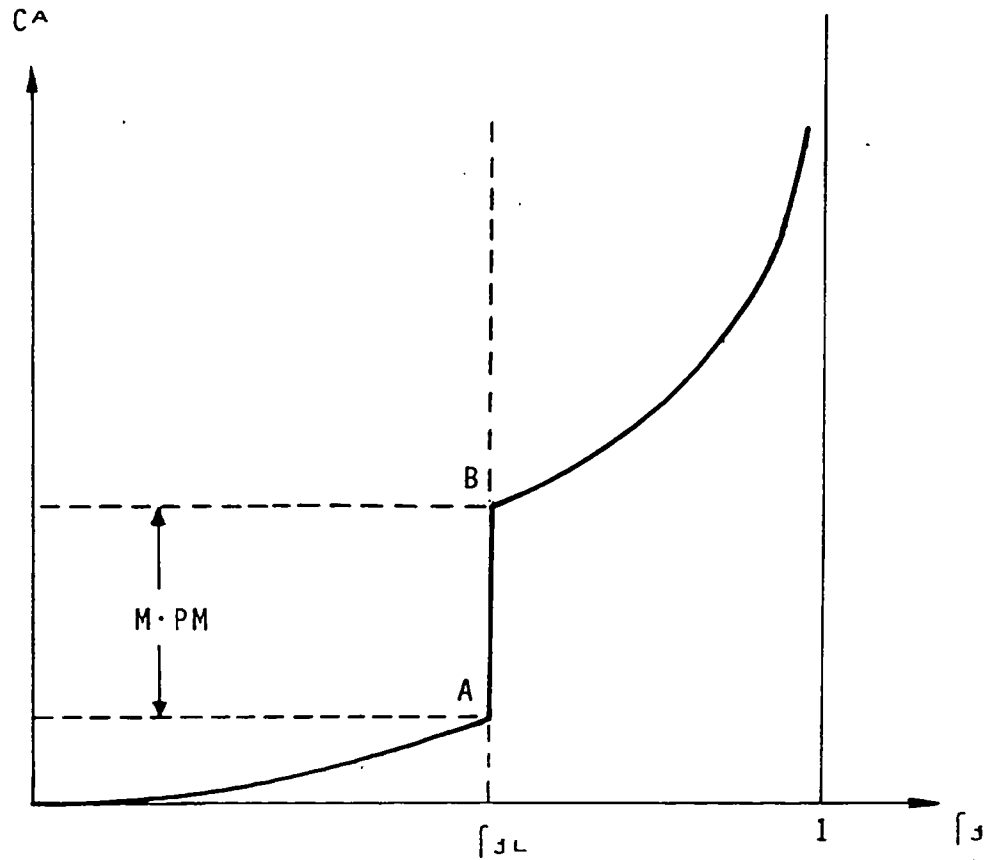
avec

$$f_j(T_n) = \frac{D_j(T_n)}{Q_F}$$

$D_j(T_n)$ = nombre de véhicules présents à l'intérieur du parking P_j

$$\delta = \begin{cases} 0 & \text{si } f_j(T_n) \leq f_{jL} \\ 1 & \text{si } f_j(T_n) > f_{jL} \end{cases}$$

R_o = coût lié au niveau de saturation $f_j=0.5$, avec $J = 1$;



$$CA_j(T_n) = R_o \cdot j \frac{[j(T_n)]}{1 - [j(T_n)]} + M \cdot PM_j(T_n) \cdot \delta$$

avec

$$[j(T_n)] = \frac{D_j(T_n)}{Q_F}$$

$$\delta = \begin{cases} 0 & \text{si } [j(T_n)] \leq [j_L] \\ 1 & \text{si } [j(T_n)] > [j_L] \end{cases}$$

FIG.2. COÛT D'APPROCHE DU PARKING

J = coefficient dépendant du genre de parking;
 l'analyse paramétrique a conduit à l'adoption de deux différentes valeurs:
 J=0.1 pour parkings hors de route;
 J=0.3 pour aires de stationnement sur route.

1.3 Équipements d'approche et de déplacement

Les opportunités de s'approcher du lieu de parking, et de se déplacer d'ici jusqu'à l'endroit de destination, dépendent du système des transports urbains et de leur intégration avec les parcs de stationnement.

Pour chaque tranche de demande entrée dans le domaine par la porte E_1 avec pour destination Z_i , le parcours à l'intérieur peut être dessiné comme présenté dans la figure 3, avec:

- un déplacement d'approche E_1-P_j ;
- un déplacement P_j-Z_i du lieu de stationnement au lieu de destination.

On considère l'arc E_1-P_j représentatif du parcours le plus bref sur le réseau routier urbain et le niveau de congestion sur le réseau sans influence sur les usagers de P_j .

Alors le coût associé à cet arc est constant et l'on peut l'exprimer par:

$$(4) \quad C_{1j} = t_{1j} \cdot \tau_s$$

avec t_{1j} = temps perdu sur la distance $l-j$;

τ_s = valeur du temps, pour les usagers se déplaçant pour le motif "s".

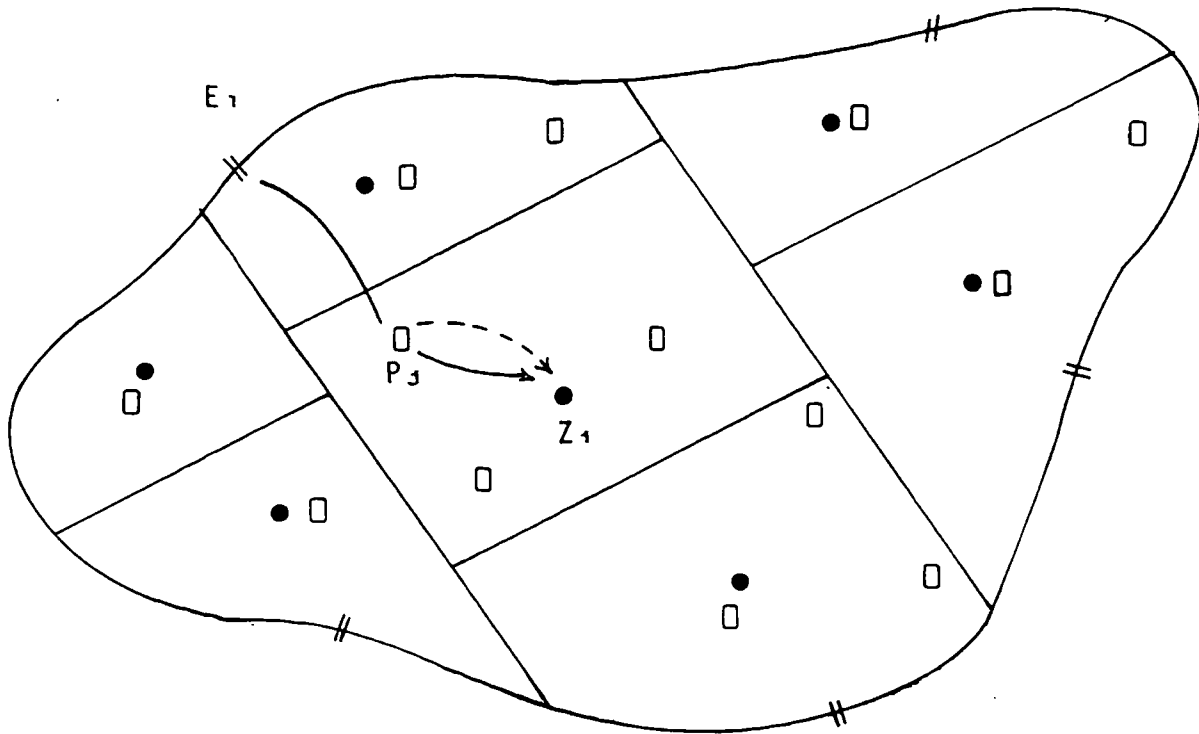
Pour les usagers venant de l'intérieur du domaine, le parcours d'approche est considéré sans influence sur le parcours distributif.

Pour le déplacement P_j-Z_i deux alternatives se présentent et deux lignes les indiquent. Le trait continu représente le parcours à pied et correspond à la distance en ligne d'air entre P_j et Z_i , agrandie par un coefficient β_1 traduisant l'organisation routière ($\beta_1 = 1.41$ pour un réseau aux mailles carrées); la ligne hachée indique le parcours effectué au moyen du transport public; même en ce cas-là, on considère un facteur de parcours β_2 .

La fonction de coût de l'arc est dans les deux cas:

$$(5) \quad C_{jip} = \beta_1 \tau_s \frac{l_{ji}}{v_p}$$

FIG.3. SCHÉMA DE DÉPLACEMENT D'APPROCHE D'UN USAGER VERS LE LIEU DE DESTINATION.



= Porte d'entrée dans le centre $E_1(x_1, y_1)$

● Points qui symbolisent les zones $Z_1(x_1, y_1)$

□ Points qui symbolisent les parkings $P_j(x_j, y_j)$

→ Parcours alternatifs de déplacement du parking au lieu de destination.

$$(6) \quad C_{jic} = \tau_s \left[\frac{l_{ji}}{v_c} \beta_z + t_a \right] + p_c$$

avec les notations suivantes:

l_{ji} , distance entre le lieu de parking P_j et le lieu de destination Z_i ;
 v_p , vitesse de marche du piéton;
 v_c , vitesse commerciale du transport public;
 β , facteur de parcours (à pied: β_1 ; sur moyen public: β_z);
 t_a , temps d'attente du moyen public;
 p_c , tarif du transport public.

1.4 La fonction des coûts

L'utilisation du parking générique P_j entraîne un coût résultant de l'addition des tarifs, des coûts d'approche, de déplacement en ville et d'éloignement. D'après ce qu'on a dit auparavant, ce coût dépend des caractéristiques du parking, des parcours suivis pour s'en servir, et de la demande tels que:

-le motif de stationnement (durée et valeur du temps);
 -la porte d'entrée dans le domaine et la zone Z_i de destination.

Le coût associé par la tranche de demande A_k ($i, l, s, m = k$ pour simplifier) au stationnement dans le parc P_j est:

$$(7) \quad C_j[A_{kj}(T_n)] = p_j(T_n) \cdot d_s + R_o \cdot J \cdot \frac{f_j(T_n)}{1 - f_j(T_n)} +$$

$$+ M \cdot PM_j(T_n) \cdot \delta_1 + t_{1j} \cdot \tau_s +$$

$$+ \left[\beta_1 \cdot \tau_s \cdot \frac{l_{ji}}{v_p} \right] \delta_1 +$$

$$+ \left[\tau_s \cdot \left(\frac{l_{ji}}{v_c} \beta_z + t_a \right) + p_c \right] \cdot \delta_z$$

avec $\delta_z = 1$ si $\delta_1 = 0$ et vice versa, selon le mode utilisé après stationnement.

2. L'AFFECTATION DE LA DEMANDE DE STATIONNEMENT AUX PARKINGS.

Si l'on admet que chaque groupe d'usagers "k" connaît les valeurs moyennes des paramètres de coût des différents parcs de stationnement et le coût en résultant, le choix du parking peut s'exprimer par un modèle logit multinomial.

En ce qui concerne cette hypothèse l'on fait référence ici justifications développées par D.Von Der Goot (1982), J.Bates et M.Bradley (1986), W.Leutzbach et K.W.Axhausen (1987).

Alors:

$$(8) \quad V_{kj}(T_n) = A_k(T_n) \cdot \text{PROB}_{kj}(T_n) \\ = A_k(T_n) \cdot \frac{\text{EXP } C_{kj}(T_n)}{\sum_{x=1}^N \text{EXP } C_{kx}}$$

Les paramètres sont variables au cours du temps et, par conséquent il en va de même pour la probabilité de choix, et pas seulement à la suite des décisions de réglementation du stationnement (par exemple le tarif et le nombre de places libres peuvent changer à chaque période T_n), mais surtout à cause des phénomènes de congestion qui se rapportent au coût d'approche au parking en raison du niveau de remplissage.

Ce processus est simulé en modifiant le coût d'exploitation de chaque parc à intervalles T_n discrets, sur un domaine temporel T . La variable clé du processus est la $D_j(T_n)$, nombre de véhicules présents à l'intérieur du parking P_j à la n -ème phase (intervalle).

Laissant de côté, afin de ne pas allonger notre propos, les indices relatifs à chaque composante de la demande et les opérations d'agrégation, l'équation qui exprime le processus d'évolution de $D_j(T_n)$ est la suivante:

$$(9) \quad D_j(T_n) = D_j(T_{n-1}) + V_j(T_n) - U_j(T_n)$$

avec:

$$(10) \quad V_j(T_n) = \sum_{k=1}^N V_{kj}(T_n)$$

$$(11) \quad U_j(T_n) = \sum_{q=1}^n V_j(T_q) \delta_q$$

dont δ_q est un paramètre binaire tel que:

$$(12) \quad \delta_q = 1 \text{ si } T_q + d_s = T_n$$

$$(13) \quad \delta_q = 0 \text{ si } T_q + d_s \neq T_n$$

En autres termes, la formule (9) peut devenir:

$$(14) \quad D_j(T_n) = D_j(T_{n-1}) + \sum_{k=1}^N V_{kj}(T_n) - \sum_{q=1}^n V_j(T_q) \delta_q$$

Le niveau d'occupation du parking P_j est alors:

$$(15) \quad f_j(T_n) = \frac{D_j(T_n)}{Q_j}$$

A chaque pas du processus l'on vérifie les contraintes de capacité globale:

$$\sum_{j=1}^N D_j \leq \sum_{j=1}^N Q_j$$

3. VARIABLES D'ÉVALUATION

La structure du modèle est bien adaptée pour décrire l'occupation des parcs de stationnement dans le domaine temporel T , mais elle convient également pour mettre en évidence des valeurs significatives d'autres variables d'évaluation du système.

En particulier, pour chaque parc, les paramètres suivants sont calculés:

- le nombre total d'usagers l'utilisant, avec une subdivision en fonction des motifs de déplacement;
- le nombre total de véhicules ayant trouvé une place;
- le nombre d'usagers qui se déplacent, du lieu de stationnement au lieu de destination, à pied ou en transport public, divisés encore en fonction des motifs de déplacement;
- le temps total et la distance totale de déplacement à pied et par moyen public;
- le coût total pour les usagers en stationnement.

4. LA SENSIBILITÉ DU MODELE.

L'utilité du modèle se révèle dans sa capacité d'offrir des renseignements sur l'état du système résultant d'une série d'interventions qui, dans leur combinaison, produisent des effets pas toujours faciles à prévoir.

Elle se manifeste alors comme un instrument capable d'évaluer la sensibilité des paramètres et donc, des interventions.

Par exemple, les figures suivantes montrent les résultats d'une analyse paramétrique conduite lors d'une application pratique (ville de Reggio de Calabre); l'on voit l'influence des tarifs sur l'occupation de deux parkings en centre ville (fig.4) et l'influence de la politique de contrôle du stationnement qui s'exprime par la probabilité de risquer une amende dans une aire située en centre-ville (fig.5).

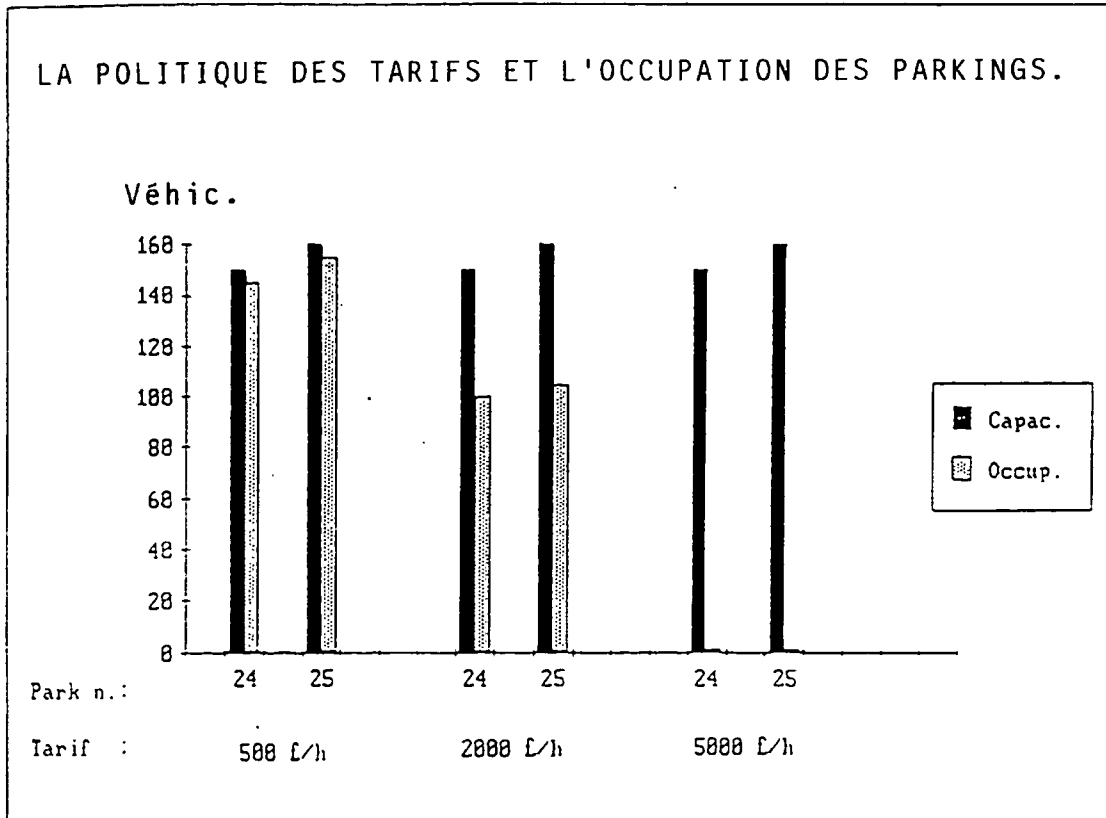


FIG.4.

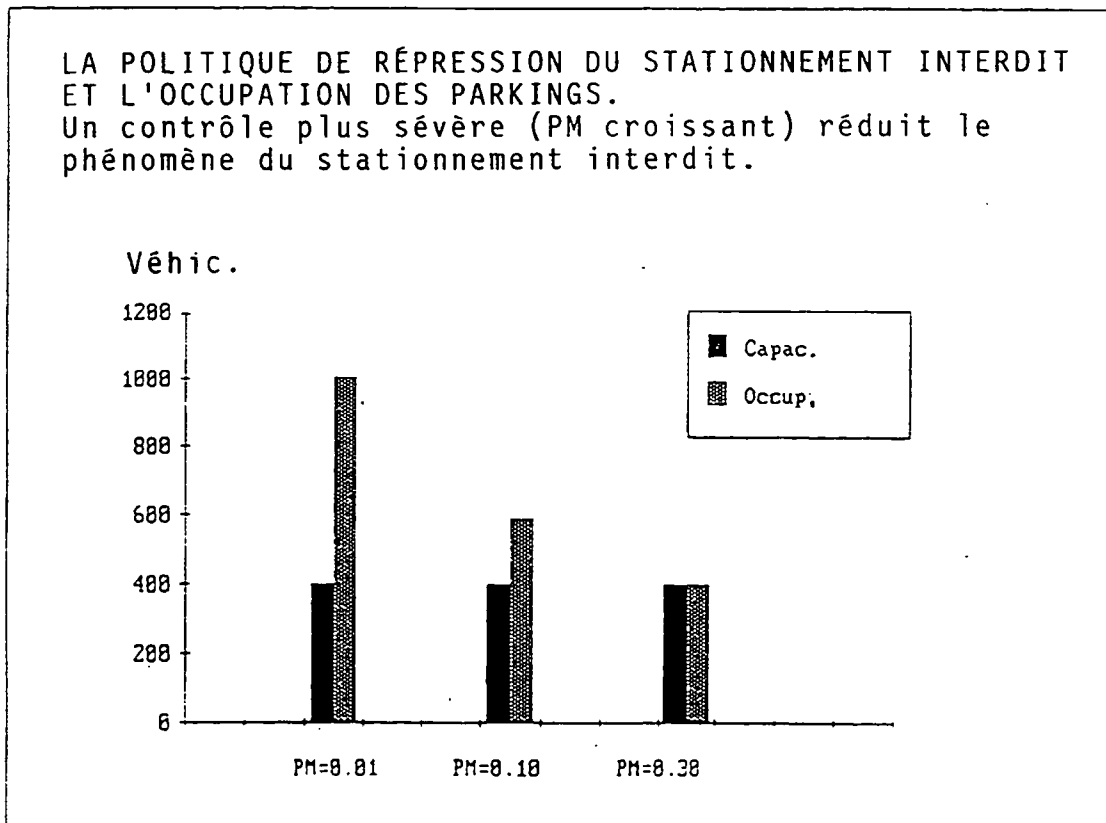


FIG.5

5. UNE VÉRIFICATION DU PROGRAMME URBAIN DES PARCS DE STATIONNEMENT DANS LA VILLE DE REGGIO DE CALABRE.

En Italie, la loi n. 122/1989 prévoit le concours de l'Etat pour la réalisation de parcs de stationnement; elle se propose plusieurs objectifs et particulièrement:

- a) pourvoir au manque d'espaces en ville destinés au stationnement des véhicules;
- b) rendre au trafic véhiculaire les capacités routières occupées par les véhicules en stationnement;
- c) gagner de l'espace pour les déplacements des piétons et améliorer la qualité de l'environnement dans les centres historiques;
- d) favoriser l'usage intégré du transport individuel et du transport public pour les déplacements en entrée et en sortie des centres-villes.

Une telle politique exige nécessairement des interventions coordonnées de différente nature qui, tout en envisageant l'implantation de nouveaux espaces pour le stationnement, sont ainsi résumées:

- mesures de réglementation et contrôle du stationnement le long de la voirie;
- mesures convenables pour développer et intégrer les transports collectifs avec les parkings;
- articulation dans l'espace et au cours du temps de la tarification du stationnement sur la voirie et hors de la voirie.

Le succès de cette politique qu'on peut entrevoir dans une réalisation équilibrée des objectifs, ne peut s'obtenir qu'en mixant les interventions indiquées, dont l'efficacité par contre n'est pas intuitive.

Il s'agit donc de simuler le comportement du système et, avant d'adopter un programme quelconque d'interventions, d'en vérifier les conséquences sur son fonctionnement.

L'évolution urbanistique de Reggio de Calabre a une histoire récente parce que cette ville a été rebâtie à la suite du séisme de 1908. Sa physionomie urbaine est caractérisée: 1) par une aire centrale où domine un schéma urbanistique qui est typique des premières années du siècle, aux bâtiments bas, aux rues étroites et aux pâtés de maisons de petites dimensions; 2) par un grand nombre de cités-dortoirs dans les zones périphériques du nord et du sud.

De nos jours, la ville compte environ 200000 habitants, dont 20% résident dans la zone centrale, où se localise en outre le 80% des activités urbaines.

L'action concomitante du trafic et du stationnement provoque des niveaux d'engorgement de la circulation très élevés, surtout à cause du manque de contenance de l'aire centrale par rapport aux 40000 véhicules environ qui, tous les jours, se dirigent vers elle. Le stationnement, qui

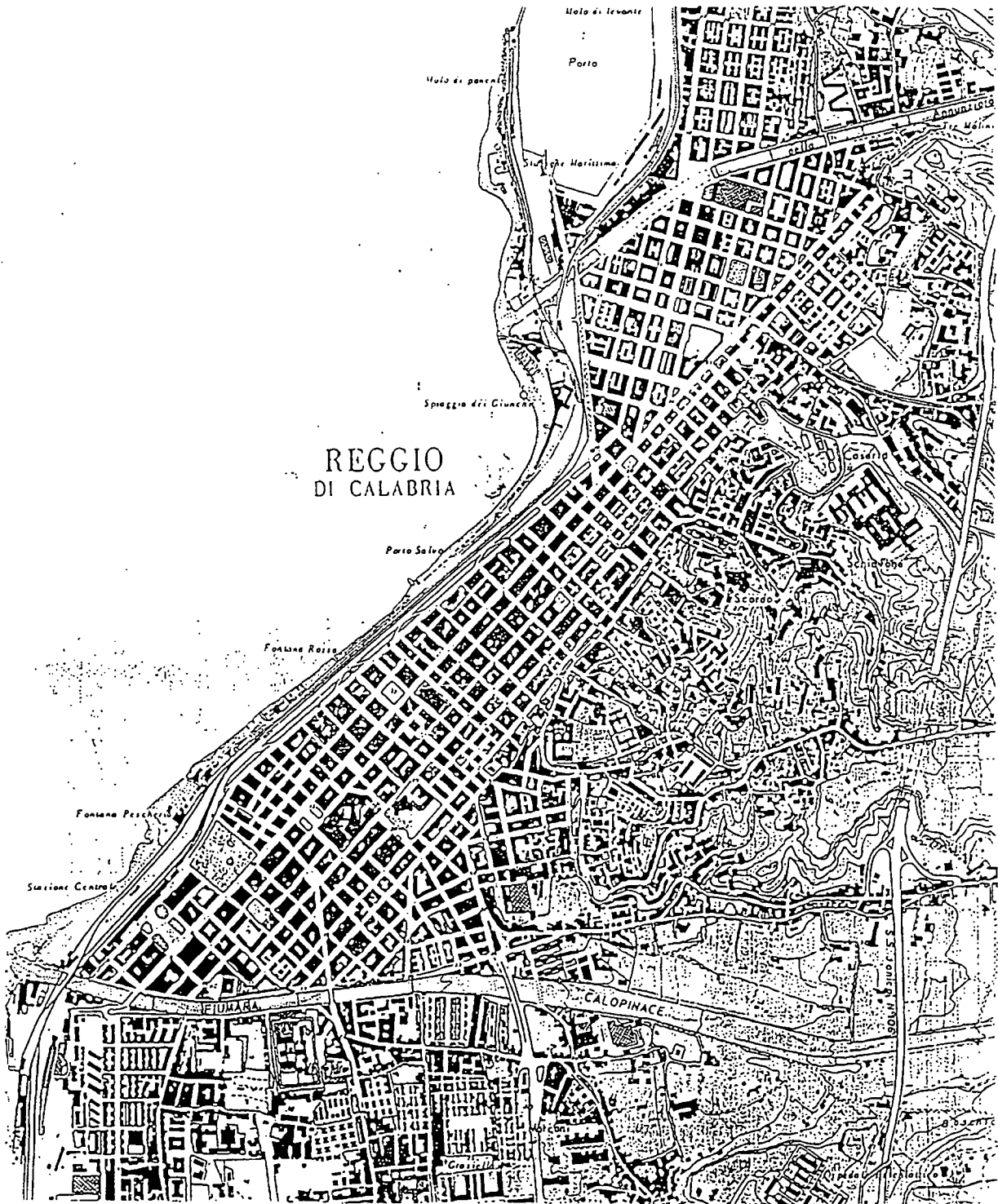


FIG.7. REGGIO DE CALABRE: LE CENTRE-VILLE

s'effectue presque entièrement le long de la voirie, atteint une occupation maximale de 20000 véhicules environ, couvrant plus de 20% de l'aire, avec des pointes de densité qui atteignent et dépassent les 100 voitures/hectare dans plusieurs zones.

Pour ces raisons la loi 122/89 a classé Reggio de Calabre parmi les quinze premières villes italiennes pour lesquelles est prioritaire la poursuite des objectifs préfigurés; c'est pourquoi la Municipalité, au mois de Décembre 1989, a préparé un plan d'intervention qui prévoit la création de 4000 places de stationnement environ, répartis dans huit parkings hors voirie et localisés tout au plus dans la périphérie du centre.

Dans les pages suivantes on se livrera donc à l'estimation du programme urbain des parcs (P.U.P) de stationnement en utilisant le modèle décrit auparavant.

5.1. Caractéristiques de la demande et de l'offre de stationnement dans le centre-ville de Reggio de Calabre

Le domaine spatial où l'on réalise la vérification du P.U.P., est constitué par le centre de la ville; la période temporelle comprend une demi-journée ordinaire de 7 h 30 à 13 h 30, dans laquelle on prévoit que l'engorgement de la circulation soit maximum.

L'aire a été divisée en 21 zones suffisamment homogènes en ce qui concerne les caractéristiques fonctionnelles et urbanistiques (fig.8)

Le processus évolutif de la demande est schématisé au moyen d'une succession discrète de stades, correspondant à des intervalles temporels d'une demi-heure, tels que ceux qui sont représentés dans la fig.9. Les motifs mis en compte sont au nombre de deux: l'un concerne la demande de stationnement bref (durée d'une heure et demie), l'autre la demande de stationnement long (durée de cinq heures). Le Tableau 1 fournit les valeurs numériques par aires de provenance (intérieure, extérieure au centre).

Dans l'ensemble la demande de stationnement a été quantifiée à 25733 unités pendant les six heures antéméridiennes.

Dans les Tableaux 2 et 3 sont représentées les caractéristiques de l'offre respectivement dans l'état actuel et dans l'état de projet correspondant au P.U.P.; les équipements sont de deux genres: 1) équipements "sur voirie" (précisément 21 pour l'état actuel et 21 pour l'état de projet); équipements "hors voirie" (5 pour l'état actuel, 11 pour l'état de projet).

On suppose que, dans le premier scénario, la capacité soit égale à la capacité limite (46500) et que le risque de procès-verbal soit nul, de façon que l'état actuel du système soit représenté avec assez de crédibilité; en outre

la tarification n'est appliquée que dans deux parkings "hors voirie".

Le scénario de projet (Tab.3 - Fig.10) est fondé sur une série d'hypothèses de travail que voici:

1. création d'une aire "verte" avec stationnement interdit;
2. définition d'une aire "bleue" avec limitation du stationnement véhiculaire au dessous de 40-50 véhicules/hectare (standard que l'on a déjà retenu qualitativement valable au cours d'autres expériences dans plusieurs villes européennes);
3. limitation du stationnement à 70-80 véhicules/ha sur les autres zones du centre;
4. introduction d'un système tarifaire diversifié par aires;
5. construction de 8 nouveaux parcs de stationnement, aux dimensions limitées, situés aux périphéries du centre, capables d'offrir 3800 nouvelles places;
6. réalisation d'un plan plus sévère de contrôle des infractions, visant à réprimer l'occupation des espaces non réservés au stationnement (de façon que la probabilité de contravention s'élève à 0.90 dans l'aire "verte", à 0.50 dans l'aire "bleue", à 0.25 dans les zones restantes du centre);
7. augmentation du niveau de service du transport collectif (vitesse moyenne élevée de 10 à 15 Km/h, fréquence moyenne de 10 courses/h).

La capacité licite s'établit donc à environ 20000 places.

A ces deux situations est appliqué le modèle d'affectation dynamique de la demande de stationnement. Le tableau 4 indique les niveaux d'occupation, en termes de densité véhiculaire, pour chaque aire de parking, et pour les deux scénarios, dans la demi-heure de pointe (11:00 - 11:30).

Le différent code de numérotation des zones de parking, adopté afin de simplifier l'élaboration par ordinateur, n'empêche pas de comparer les résultats.

On peut comparer en outre quelques indicateurs d'état du système tels que la distance et le temps perdu, dans l'ensemble, par les usagers pour les déplacements d'approche.

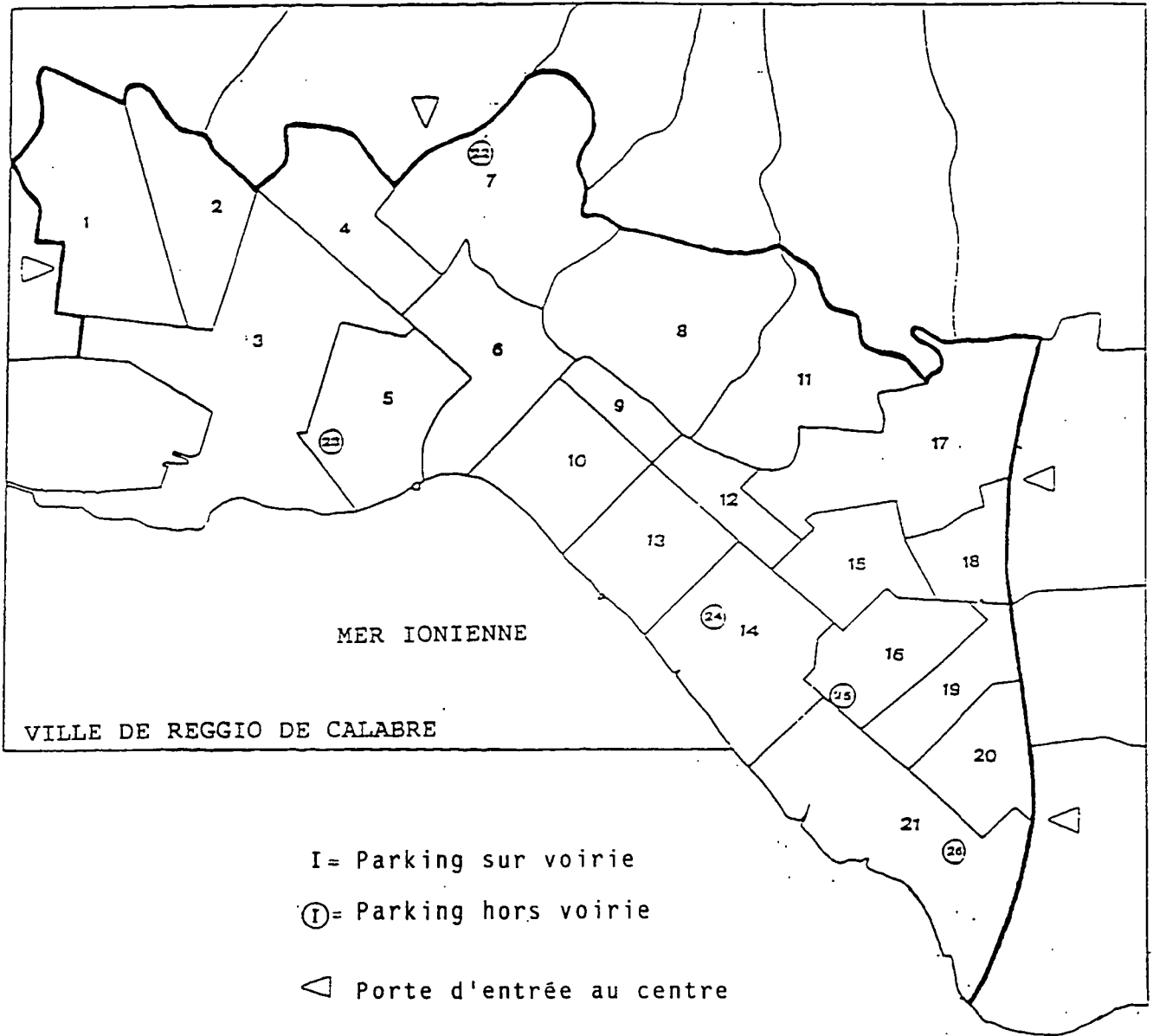
Le Tableau 5 et la Figure 11 indiquent une substantielle modification distributive du stationnement; en particulier le tableau présente une mesure du degré d'utilisation des aires de parking (rapport entre le nombre de véhicules ayant trouvé une place et la capacité). On peut relever le drainage provoqué par la politique de sauvegarde du centre-ville (parkings 1-21), plus marqué en zone bleue, total en zone verte; la plus large fréquence d'usage des parkings maintenus hors voirie; l'importante absorption de demande par les nouveaux parkings (27-34).

La Figure 11 suggère le genre d'information provenant de l'analyse au moyen du modèle pour une aire de parking dans la zone bleue, c'est-à-dire le niveau de présence véhiculaire en stationnement décelé dans les six heures

considérées. La donnée est désagrégée par type d'usagers (stationnement de longue et de brève durée) et moyen de déplacement d'approche.

Ce genre d'information est disponible pour toutes les aires de parking et pour chacun des intervalles de temps entre lesquels est découpé le processus évolutif. Les résultats peuvent être utilisés aussi afin d'évaluer des effets économiques, lorsque l'on considère les coûts des interventions pour dessiner des nouveaux aménagements des espaces urbains, les profits de gestion dérivant de la tarification du stationnement et du transport public, les variations de coût généralisé retombant sur les usagers.

FIG.8. SITUATION D'AUJOURD'HUI



- I = Parking sur voirie
- Ⓜ = Parking hors voirie
- ◁ Porte d'entrée au centre

TABLEAU 1. LES ARRIVÉES DES VÉHICULES AU CENTRE-VILLE DIVISÉES PAR HEURE, MOTIF (DURÉE DE STATIONNEMENT), ORIGINE.

h	Stat. court			Stat. long			Total	Total cumulé
	Origine	intér.	extér.	tot1	intér.	extér.		
7.30+8.00	0	0	0	2037	2096	4943	4943	4943
8.00+8.30	422	526	948	1624	2319	3943	4891	9034
8.30+9.00	422	526	948	1624	2319	3943	4891	14725
9.00+9.30	634	805	1439	195	255	450	1889	16614
9.30+10.00	634	805	1439	195	255	450	1889	18503
10.30+11.00	853	1092	1945	0	0	0	1945	20448
11.00+11.30	853	1092	1945	0	0	0	1945	22393
11.30+12.00	853	1092	1945	0	0	0	1945	24338
12.00+12.30	422	526	948	0	0	0	948	25286
12.30+13.00	205	242	447	0	0	0	447	25733
13.00+13.30	0	0	0	0	0	0	0	25733
13.30+14.00	0	0	0	0	0	0	0	25733
	5298	6706	12004	5675	8054	13729	25733	

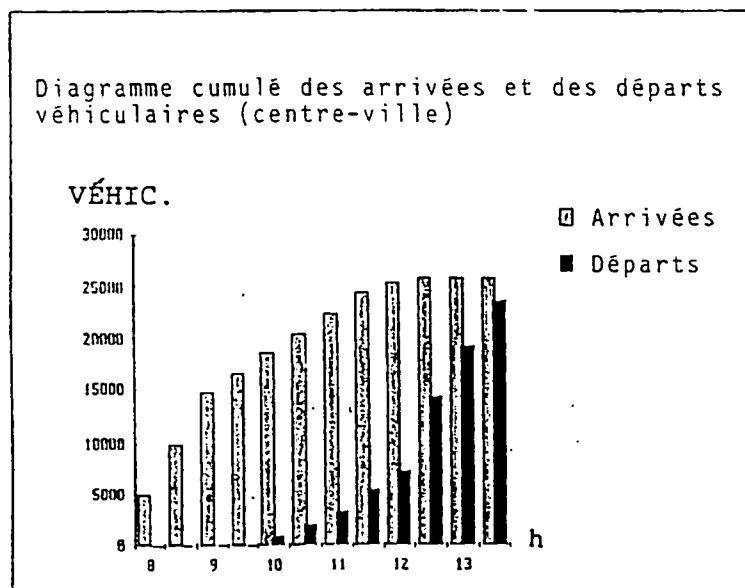


FIG. 9

FIG.10. SITUATION DE PROJET

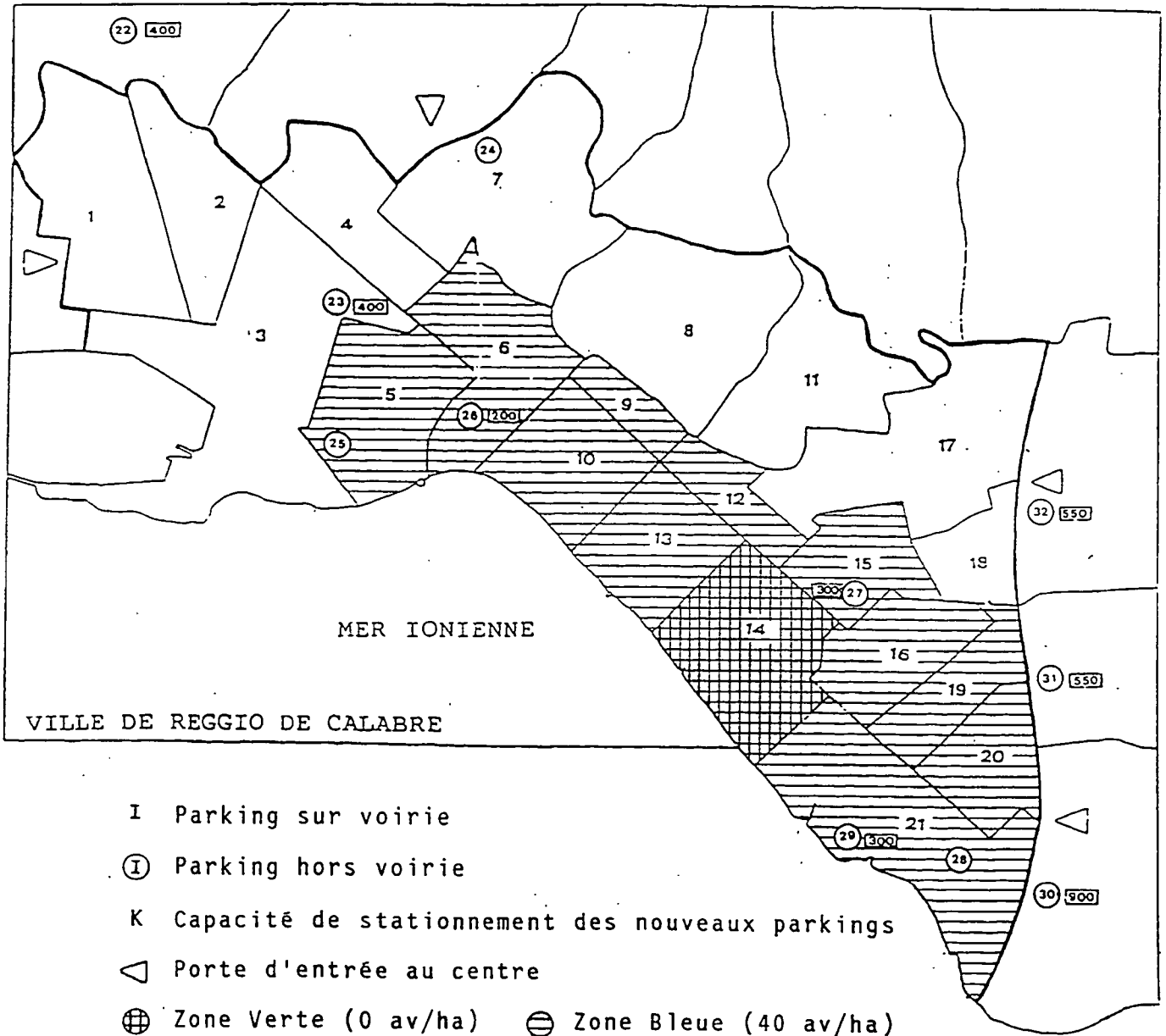


TABLEAU 2. L'OFFRE DE STATIONNEMENT. SITUATION D'AUJOURD'HUI.

Park	Coordonnées							Type
	Q _t	Q _F	Tarif/h	x	Y	Prob. contrav.		
1	3156	3156	0	0.27	2.40	0.01	st	
2	1315	1315	0	0.60	2.43	0.01	st	
3	5143	5143	0	0.73	2.07	0.01	st	
4	1584	1584	0	0.96	2.44	0.01	st	
5	2184	2184	0	1.05	1.89	0.01	st	
6	2138	2138	0	1.36	2.01	0.01	st	
7	3415	3415	0	1.34	2.52	0.01	st	
8	3506	3506	0	1.81	2.20	0.01	st	
9	578	578	0	1.69	1.91	0.01	st	
10	1733	1733	0	1.56	1.74	0.01	st	
11	2455	2455	0	2.18	2.08	0.01	st	
12	908	908	0	1.97	1.65	0.01	st	
13	1536	1536	0	1.78	1.47	0.01	st	
14	2328	2328	0	2.04	1.20	0.01	st	
15	1275	1275	0	2.29	1.39	0.01	st	
16	1518	1518	0	2.39	1.13	0.01	st	
17	3565	3565	0	2.53	1.80	0.01	st	
18	960	960	0	2.62	1.53	0.01	st	
19	1213	1213	0	2.57	1.06	0.01	st	
20	1296	1296	0	2.65	0.90	0.01	st	
21	3094	3094	0	2.48	0.70	0.01	st	
22	300	300	0	1.28	2.58	1.00	fs	
23	200	200	0	1.30	1.82	1.00	fs	
24	150	150	3000	1.94	1.27	1.00	fs	
25	160	160	3000	2.29	1.03	1.00	fs	
26	240	240	0	2.59	0.66	1.00	fs	
TOT.	45950	45950						

Tarif bus (£):	800
Vitesse moyenne bus (Km/h):	10
Vitesse marche à pieds (Km/h):	4
Attente moyenne bus (h):	0.2
Valeur du temps MT (£/h):	14000
Valeur du temps AM (£/h):	7000

MT - Déplacement Maison-Travail
AM - Déplacement Autres Motifs

st - Aire de stationnement sur voirie
fs - Aire de stationnement hors voirie:

TABLEAU 3. L'OFFRE DE STATIONNEMENT. SITUATION DE PROJET

Park	Coordonnées		Tarif/h	x	y	Prob. contrav.	Type
	Q _L	Q _R					
1	1475	3156	0	0.27	2.40	0.25	st
2	615	1315	0	0.60	2.43	0.25	st
3	1600	3428	0	0.73	2.07	0.25	st
4	740	1584	0	0.96	2.44	0.25	st
5	580	2184	500	1.05	1.89	0.50	st
6	570	2138	500	1.36	2.01	0.50	st
7	1590	3415	0	1.34	2.52	0.25	st
8	1635	3506	0	1.81	2.20	0.25	st
9	155	578	500	1.69	1.91	0.50	st
10	460	1733	500	1.56	1.74	0.50	st
11	1145	2455	0	2.18	2.08	0.25	st
12	240	908	500	1.97	1.65	0.50	st
13	410	1536	500	1.78	1.47	0.50	st
14	1	2328	50000	2.04	1.20	0.90	st
15	340	1275	500	2.29	1.39	0.50	st
16	405	1518	500	2.39	1.13	0.50	st
17	1665	3565	0	2.53	1.80	0.25	st
18	450	960	0	2.62	1.53	0.25	st
19	325	1213	500	2.57	1.06	0.50	st
20	345	1296	500	2.65	0.90	0.50	st
21	455	1856	500	2.48	0.70	0.50	st
22	400	400	1000	0.36	2.98	1.00	fs
23	400	400	1000	1.02	2.14	1.00	fs
24	300	300	1000	1.28	2.58	1.00	fs
25	400	400	1000	0.91	1.73	1.00	fs
26	200	200	1000	1.30	2.82	1.00	fs
27	300	300	1000	2.28	1.31	1.00	fs
28	240	240	1000	2.59	0.66	1.00	fs
29	300	300	1000	2.26	0.65	1.00	fs
30	900	900	1000	2.79	0.50	1.00	fs
31	550	550	1000	2.77	1.10	1.00	fs
32	550	550	1000	2.73	1.61	1.00	fs

TOT.

19781

46487

Tarif bus (£):	800
Vitesse moyenne bus (Km/h):	15
Vitesse marche à pieds (Km/h):	4
Attente moyenne bus (h):	0.1
Valeur du temps MT (£/h):	14000
Valeur du temps AM (£/h):	7000

MT - Déplacement Maison-Travail
AM - Déplacement Autres Motifs

st - Aire de stationnement sur voirie
fs - Aire de stationnement hors voirie

TABLEAU 4. DENSITÉ DE STATIONNEMENT SUR VOIRIE (Véhic./Ha)
ET COEFFICIENT D'UTILISATION DES PARKINGS HORS
VOIRIE (Véhic./Capacité) DANS L'INTERVALLE DE
POINTE (11:00-11:30)

PARK. SUR VOIRIE			
Park	S.A. (av./Ha)	Park	S.P. (av./Ha)
1	34.2	1	38.8
2	69.4	2	76.6
3	42.7	3	69.2
4	75.9	4	85.6
5	57.3	5 (b)	17.9
6	58.8	6 (b)	26.3
7	42.4	7	72.6
8	33.3	8	82.1
9	133.3	9 (b)	40.5
10	78.1	10 (b)	39.9
11	47.1	11	92.7
12	130.4	12 (b)	39.8
13	99.4	13 (b)	40.1
14	99.7	14 (v)	0.0
15	127.6	15 (b)	40.1
16	129.2	16 (b)	40.4
17	36.3	17	92.9
18	110.7	18	142.6
19	121.7	19 (b)	40.3
20	98.3	20 (b)	40.8
21	76.0	21 (b)	40.0

PARK. HORS VOIRIE			
Park	S.A.	Park	S.P.
22	1.00	24	0.89
23	1.00	25	0.69
24	0.08	— (v)	0.00
25	0.09	— (v)	0.00
26	1.00	28	1.00
		26	1.00
		27	0.86
		29	1.00
		30	0.41
		31	1.00
		32	1.00
		22	0.20
		23	0.81

S.A. Situation d'aujourd'hui S.P. Situation de projet
(v) Zone verte (b) Zone bleue

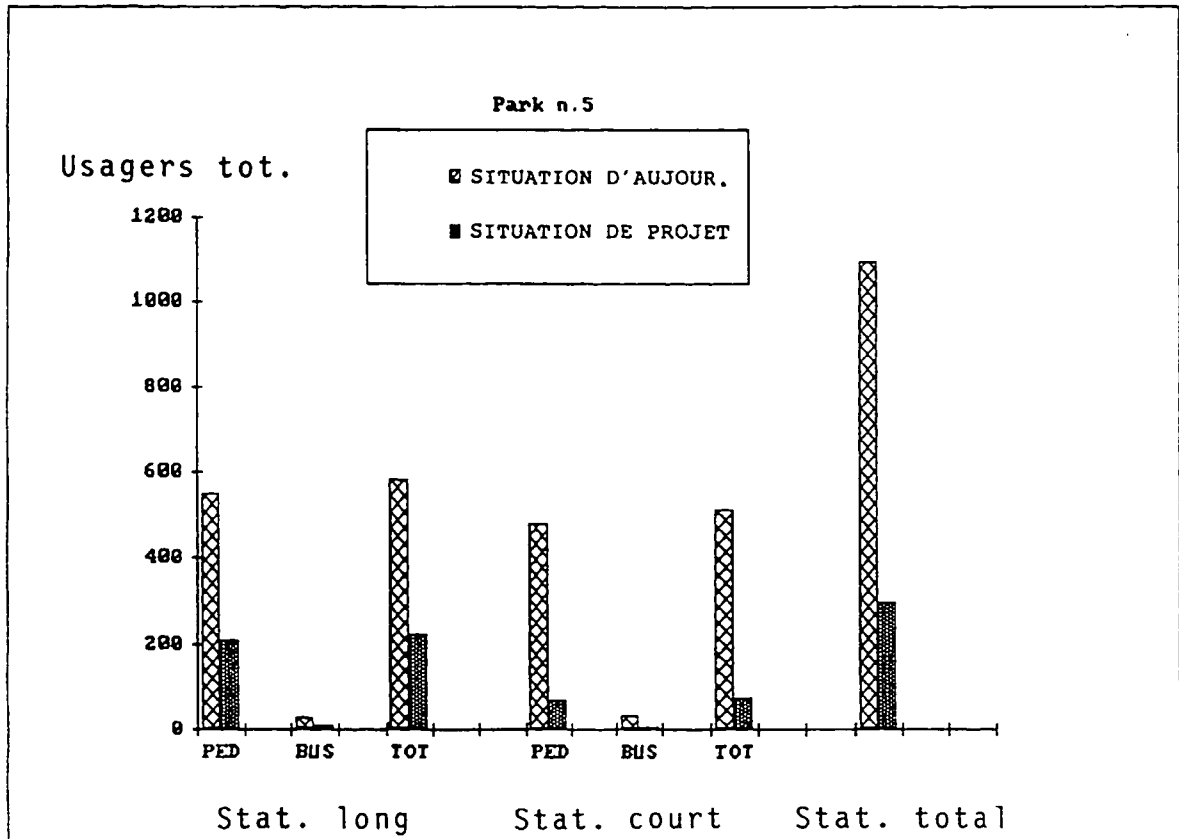
TABLEAU 5. FRÉQUENCE D'USAGE POUR CHAQUE AIRE DE STATIONNEMENT (véhicules servis) DANS LA PÉRIODE 7:30-13:30.

PARK. SUR VOIRIE				
Park	S.A.	Park	S.P.	± %
1	893	1	928	+ 3.9
2	791	2	720	- 9.0
3	1246	3	1761	+ 41.3
4	1053	4	944	- 10.3
5	1092	5 (b)	294	- 73.0
6	1126	6 (b)	431	- 61.7
7	1271	7	1847	+ 45.3
8	1037	8	1983	+ 91.2
9	655	9 (b)	164	- 74.9
10	1213	10 (b)	490	- 59.6
11	1040	11	1585	+ 52.4
12	1012	12 (b)	250	- 75.3
13	1371	13 (b)	425	- 69.0
14	2041	14 (v)	0	-100.0
15	1415	15 (b)	348	- 75.4
16	1664	16 (b)	427	- 74.3
17	1182	17	2301	+ 94.7
18	975	18	957	- 1.8
19	1297	19 (b)	331	- 74.5
20	1143	20 (b)	357	- 68.7
21	1267	21 (b)	504	- 60.2
Tot.	24784		17047	
PARK. HORS VOIRIE				
Park	S.A.	Park	S.P.	± %
22	347	24	682	+ 96.5
23	236	25	843	+257.2
24	24	- (v)	0	-100.0
25	25	- (v)	0	-100.0
26	310	28	412	+ 32.9
		26	614	
		27	455	
		29	543	
		30	1669	
		31	971	
		32	1043	
		22	617	
		23	831	
Tot.	942		8680	

S.A. Situation d'aujourd'hui S.P. Situation de projet

(v) Zone verte (b) Zone bleue

± % : (S.P.-S.A.)/S.A.

FIG.11. EFFET DES CHOIX DE PROJET SUR UN PARKING
"SUR VOIRIE", EN ZONE BLEUE

Références Bibliographiques

AA.VV. (1974). Etudes de stationnement. Programme PARK, Ed. SETRA, Paris (F).

AA.VV. (1980). Evaluation of urban parking system. Road Research, Ed. OCDE, Paris (F).

AA.VV. (1984). Studio per un piano dei parcheggi nella città di Napoli, Ed. C.C.I.A. Provincia di Napoli, Napoli.

Bates J., Bradley M. (1986). The CLAMP parking policy analysis model, Traffic Engineering and Control, pagg.10-11, London (GB).

Jones D., Rutheford S., Rigby J. (1989). A comprehensive approach to traffic and parking policy: a case-study of York, Traffic Engineering and Control, pagg.172-174, London (GB).

Nour Eldin M.S., El Reedy T.Y., Ismail H.K. (1981). A combined parking and traffic assignment model, Traffic Engineering and Control, pagg.524-530, London (GB).

Polak J. (1988). The analysis of central area parking management policies, Ed. Oxford University, Oxford (GB).

Torrieri V., D'Elia S. ed al. (1984). Atti del seminario sui metodi per la valutazione della domanda di parcheggio nei centri urbani, Ed. DI.PI.TER, Cosenza.

Van Der Goot D. (1982). A model to describe the choice of parking places. Transportation Research, Vol.16A, n.2, Pergamon Press, Washington (USA).