

Eidgenössisches Departement des Innern  
Bundesamt für Strassenbau

Département fédéral de l'intérieur  
Office fédéral des routes

Dipartimento federale dell'interno  
Ufficio federale delle strade

# Trafic déterminant capacité et charge admissible des nœuds routiers

Massgebender Verkehr, Leistungsfähigkeit und  
zulässige Belastung der Strassenknoten

Robert-Grandpierre et Rapp S.A., Lausanne

Mandat de recherche 19/78  
de l'Union des professionnels suisses de la route

Juillet 1980

VSS

MANDAT DE RECHERCHE 19/78

---

TRAFIC DETERMINANT, CAPACITE ET CHARGE ADMISSIBLE  
DES NOEUDS ROUTIERS

---

LAUSANNE, JUILLET 1980

ROBERT-GRANDPIERRE ET RAPP SA  
RUCHONNET 4

1003 LAUSANNE

## TABLE DES MATIERES

	pages
Résumé	I
Zusammenfassung	II
1. Introduction	1
2. Etude de capacité	1
2.1 Recherche de relations entre variables déterminantes hypothèses de travail	1
2.2 Calculs de capacité pour quelques types caractéristiques de noeuds à 3 ou 4 branches	3
2.2.1 Noeuds à 3 branches	5
2.2.2 Noeuds à 4 branches	11
2.2.3 Les giratoires	16
2.2.3.1 Introduction	16
2.2.3.2 Recherche de formules de capacité et comparaison avec celles développées en Grande-Bretagne	16
2.2.3.3 Cas particulier : le giratoire de la Maladière	18
2.2.3.4 Conclusions	20
2.3 Etudes de détail complémentaires	21
2.3.1 Etude de l'influence des piétons sur la capacité d'un noeud	21
2.3.2 Etude de l'influence des hypothèses faites sur la relation entre proportion de "mouvements tournants" et le rapport des charges des axes principal et secondaire sur la capacité des noeuds étudiés	23
2.3.3 Etude de la gêne provoquée par les "mouvements tournants" ne possédant pas de présélection indépendante, en situation non régulé ou en situation régulée biphasée	24
3. Trafic déterminant	25
4. Charge admissible	26
5. Conclusions	26
Liste bibliographique	I - III

## RESUME

L'étude a pour but la détermination de la capacité de noeuds routiers types en fonction du système de régulation. Elle comprend une analyse de l'influence des mouvements tournants et de la répartition du trafic entre sens de circulation. Les calculs ont été effectués pour des types caractéristiques de noeuds à 3 ou 4 branches et pour les giratoires. L'influence des piétons est évaluée de manière globale.

Il s'agissait par cette étude de déterminer si la fluctuation de la capacité pour un type de noeud en fonction des divers paramètres était suffisamment faible pour permettre de déterminer des valeurs générales utilisables au niveau de la planification des réseaux.

Le rapport donne un résumé des calculs et les résultats par type de noeud sous forme de diagrammes. Un tableau résumé montre les valeurs moyennes des capacités qu'il serait possible d'utiliser dans la planification. Il est évident que ces valeurs ne peuvent être suffisantes pour une étude de détail, mais elles permettent de faire une première réflexion au niveau du choix du type de noeud et de régulation. Il est aussi montré que l'influence de paramètres tels : mouvements tournants, répartition par sens de circulation et piétons, reste relativement faible au niveau des valeurs globales et qu'il sera probablement possible au niveau de la planification de travailler avec des simples facteurs de réduction.

Cette étude a été intentionnellement limitée à peu de types de noeuds dans le but de montrer les valeurs extrêmes de la capacité.

Des recommandations sont faites au niveau du choix du trafic déterminant ainsi que sur le problème de l'utilisation éventuelle d'une charge admissible ou d'un niveau de service.

### Zusammenfassung

Die Studie hat zum Ziel, die Leistungsfähigkeit von Strassenknoten in Funktion des Systems der Knotensteuerung festzulegen. Sie enthält eine Untersuchung des Einflusses der Abbiegevorgänge und des Einflusses der Richtungsanteile. Für charakteristische Knotentypen mit drei und vier Armen und für Verkehrskreisel wurden Berechnungen durchgeführt. Der Einfluss der Fussgänger wurde global abgeschätzt.

In dieser Studie ging es vor allem darum, festzustellen, ob die Abweichungen der Leistungsfähigkeit eines Knotentyps in Funktion von verschiedenen Parametern genügend klein ist, um generelle Werte festzulegen, die auf der Ebene der Strassennetzplanung verwendet werden können.

Der vorliegende Bericht enthält eine Zusammenfassung der Berechnungen und der Ergebnisse für jeden Knotentyp in der Form von Diagrammen. Eine zusammenfassende Tabelle zeigt die mittleren Leistungsfähigkeitswerte, die in der Planung verwendet werden können. Selbstverständlich können diese Werte keine Detailstudien ersetzen, aber sie dürften genügen, um erste Ueberlegungen anzustellen für die Wahl des Knotentyps und des Steuerungssystems. Der Bericht zeigt auch, dass der Einfluss der Parameter Abbiegeströme, Richtungsanteile und Fussgänger auf die generellen Werte relativ schwach ist und, dass es vermutlich möglich sein wird, auf der Ebene der Netzplanung mit einfachen Abminderungsfaktoren zu arbeiten.

Die Studie beschränkt sich absichtlich auf einige wenige Knotentypen mit dem Ziel, die Extremwerte der Leistungsfähigkeit aufzuzeigen.

Sie enthält Empfehlungen in Bezug auf die Wahl des massgebenden Verkehrs und in Bezug auf das Problem des allfälligen Gebrauchs der zulässigen Belastung oder eines "Service-levels".

## 1. Introduction

Cette étude a consisté à évaluer les capacités horaires d'un certain nombre de noeuds caractéristiques en fonction du type de régulation adopté et des principales variables supplémentaires suivantes: proportion de mouvements tournants, rapport des charges entre l'axe principal et secondaire et entre sens de circulation, passage piétons. Cette analyse globale a permis de mieux cerner l'importance respective de chacune de ces variables.

Sur la base des conclusions tirées de cette étape, il y aura lieu d'affiner les résultats obtenus et de compléter l'étude en analysant un spectre plus large de type de noeuds et de tester la validité des résultats obtenus sur des exemples concrets de carrefours pour lesquels les charges et la capacité sont connues.

## 2. Etude de capacité

Les recherches menées jusqu'à ce jour comprennent trois grandes étapes :

- une étude de simplification du problème par la recherche de relations entre variables supposées relevantes et l'établissement d'hypothèses de travail.
- Calculs de capacité pour quelques types caractéristiques de noeuds à 3 et 4 branches et pré-étude du cas des giratoires.
- Etude de l'influence des piétons sur la capacité d'un noeud. Estimation des répercussions sur les valeurs de capacité obtenues de certaines hypothèses simplificatrices à la base du processus de calcul de la capacité d'un noeud.

### 2.1 Recherche de relations entre variables déterminantes hypothèses de travail

La recherche de relations entre variables a pour but la simplification du processus de calcul de la capacité d'un noeud par la réduction du nombre de facteurs à prendre en considération.

L'étude s'est concentrée sur l'analyse de relations possibles entre le rapport des charges sur axes principal et secondaire et la proportion de mouvements tournants à l'intérieur du carrefour.

A cet effet nous avons collecté un certain nombre de diagrammes d'écoulement de noeuds à 3 ou 4 branches (une quarantaine environ) en situation urbaine principalement. L'analyse statistique de cet échantillon a démontré que la relation espérée entre proportion mouvements tournants et rapport entre charges sur axes principal et secondaire était plutôt assez diffuse (spécialement pour les noeuds à 4 branches). Il a été donc tout au plus possible de définir des "champs de relation" délimités par des courbes enveloppes de relation minima et maxima. Cette corrélation très lâche entre ces deux paramètres provient d'une part de la taille assez restreinte de l'échantillon considéré, d'autre part du fait que la corrélation est multiple et que d'autres paramètres n'ont pas été pris en compte, tels que : situation urbaine ou en campagne, heure et jour du comptage, proportion de trafic origine-destination (qui peut être très localisé) et de trafic de transit.

L'analyse statistique a montré que certains paramètres, aisés à prendre en compte, influaient de façon significative cette relation. C'est ainsi que l'on a fait la distinction entre proportion de mouvements tournants à droite et à gauche (pour les noeuds à trois ou quatre branches), et dans le cas des noeuds à trois branches le rapport des charges entre sens de circulation sur l'axe principal a été pris en considération, car il influait de façon significative la relation entre proportion de mouvements tournants à droite et à gauche et rapport des charges sur axes principal et secondaire. C'est ainsi que trois cas de répartition des charges selon les sens de circulation sur l'axe principal du noeud à trois branches ont été retenus :

- une répartition dite "équilibrée" des charges selon les sens de circulation (env. 50 - 50%)
- une répartition dite "déséquilibrée" des charges selon les sens de circulation avec prédominance du sens comportant le mouvement tournant à gauche (env. 70 - 30%).
- une répartition dite "déséquilibrée" des charges selon les sens de circulation avec prédominance du sens comportant le mouvement tournant à droite (env. 30 - 70%).

annexes  
1 et 2

Ces quelques paramètres supplémentaires relativement aisés à prendre en compte, et influençant d'une façon assez significative la relation entre proportion de mouvements tournants et le rapport des charges sur axes principal et secondaire étaient aussi utiles à prendre en considération pour le processus de calcul de capacité ultérieur des noeuds à trois ou quatre branches.

Comme ce processus de calcul de capacité du noeud nécessitait, pour des raisons de simplification, d'établir une relation précise entre pourcentage de mouvements tournants et rapports des charges sur axes principal et secondaire, il a été choisi des

A cet effet nous avons collecté un certain nombre de diagrammes d'écoulement de noeuds à 3 ou 4 branches (une quarantaine environ) en situation urbaine principalement. L'analyse statistique de cet échantillon a démontré que la relation espérée entre proportion mouvements tournants et rapport entre charges sur axes principal et secondaire était plutôt assez diffuse (spécialement pour les noeuds à 4 branches). Il a été donc tout au plus possible de définir des "champs de relation" délimités par des courbes enveloppes de relation minima et maxima. Cette corrélation très lâche entre ces deux paramètres provient d'une part de la taille assez restreinte de l'échantillon considéré, d'autre part du fait que la corrélation est multiple et que d'autres paramètres n'ont pas été pris en compte, tels que : situation urbaine ou en campagne, heure et jour du comptage, proportion de trafic origine-destination (qui peut être très localisé) et de trafic de transit.

L'analyse statistique a montré que certains paramètres, aisés à prendre en compte, influaient de façon significative cette relation. C'est ainsi que l'on a fait la distinction entre proportion de mouvements tournants à droite et à gauche (pour les noeuds à trois ou quatre branches), et dans le cas des noeuds à trois branches le rapport des charges entre sens de circulation sur l'axe principal a été pris en considération, car il influait de façon significative la relation entre proportion de mouvements tournants à droite et à gauche et rapport des charges sur axes principal et secondaire. C'est ainsi que trois cas de répartition des charges selon les sens de circulation sur l'axe principal du noeud à trois branches ont été retenus :

- une répartition dite "équilibrée" des charges selon les sens de circulation (env. 50 - 50%)
- une répartition dite "déséquilibrée" des charges selon les sens de circulation avec prédominance du sens comportant le mouvement tournant à gauche (env. 70 - 30%).
- une répartition dite "déséquilibrée" des charges selon les sens de circulation avec prédominance du sens comportant le mouvement tournant à droite (env. 30 - 70%).

annexes  
1 et 2

Ces quelques paramètres supplémentaires relativement aisés à prendre en compte, et influençant d'une façon assez significative la relation entre proportion de mouvements tournants et le rapport des charges sur axes principal et secondaire étaient aussi utiles à prendre en considération pour le processus de calcul de capacité ultérieur des noeuds à trois ou quatre branches.

Comme ce processus de calcul de capacité du noeud nécessitait, pour des raisons de simplification, d'établir une relation précise entre pourcentage de mouvements tournants et rapports des charges sur axes principal et secondaire, il a été choisi des

courbes de "relation théorique" entre ces deux paramètres correspondant au cas le plus défavorable pour la capacité du noeud, à savoir:

- pour la relation entre le rapport des charges sur axes principal et secondaire et la proportion de mouvements "tournants à gauche", les "courbes enveloppes maxima" ont été retenues car la capacité du noeud est minimum quand la valeur des mouvements tournants à gauche est maximum, car ceux-ci sont en conflit à la fois avec les mouvements "tout droit" et "tournants à droite" de l'axe principal et les mouvements "tout droit" et "tournants à gauche", ou seulement "tournants à gauche" de l'axe secondaire, respectivement pour les noeuds à 3 et 4 branches. Ces mouvements "tournants à gauche" de l'axe principal sont un élément déterminant de la limitation de la capacité d'un noeud.
- Pour la relation entre le rapport des charges sur axe principal et secondaire et la proportion de mouvements "tournants à droite", les "courbes enveloppes minima" ont été retenues car la capacité du noeud est minimum quand la valeur des mouvements tournants à droite est minimum, car ceux-ci ne sont cette fois-ci en conflit qu'avec les mouvements "tournants à gauche" de l'axe principal et les mouvements "tout droit" de l'axe secondaire dans le cas d'un noeud à quatre branches. Ce qui veut dire que plus la proportion de mouvements tournants à droite est faible, plus la capacité du noeud est faible, à charges égales sur axes principal et secondaire.

L'influence de ces hypothèses et simplifications de la relation entre proportion de mouvements tournants à droite ou à gauche et rapport des charges sur axes principal et secondaire sur la capacité du noeud sera évaluée ultérieurement (chapitre 2.3.2).

## 2.2 Calculs de capacité pour quelques types caractéristiques de noeuds à trois ou quatre branches

annexe 3

Le but de ces calculs est de pouvoir mieux cerner l'influence de régulations différentes ainsi que de diverses autres variables sur la capacité de quelques types caractéristiques de noeuds à 3 ou 4 branches. Le processus de calcul a fait apparaître la nécessité de faire un certain nombre d'hypothèses supplémentaires qui sont exposées ci-après.

La théorie de Harders<sup>1)</sup> est à la base des calculs en situation non régulée, ou régulée biphasée (théorie originale utilisant

---

1) "Die Leistungsfähigkeit nicht signalgeregelter städtischer Verkehrsknoten", Dr. Ing. J. Harders, Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Bundesminister für Verkehr, Bonn 1968, Heft 76

celle de Harders). Cette dernière étant extrêmement empirique, il faudra garder à l'esprit que les résultats ainsi obtenus devront être contrôlés sur une série de cas concrets.

Chaque calcul a été illustré par un abaque donnant la charge maximale sur l'axe secondaire en fonction du type de régulation, de la proportion de mouvements tournants, du rapport entre sens de circulation et de la charge de l'axe principal.

Le secteur de l'abaque où la charge sur l'axe secondaire devient supérieure à celle de l'axe principal n'a pas été défini à cause de la fréquence assez limitée de ce genre de situation. Précisons malgré tout que les courbes définissant l'abaque dans ce secteur "non traité" ne sont pas les symétriques de celles dessinées dans le secteur où la charge sur l'axe principal est supérieure ou égale à celle de l'axe secondaire.

Au niveau des calculs de capacité des noeuds régulés par feux, il n'a pas été tenu compte des facteurs suivants:

- l'insertion des piétons dans l'organisation des phases
- la priorité aux transports en commun pour la traversée du noeud et ses conséquences sur l'organisation des phases.

L'influence de ces facteurs sur la capacité d'un noeud sera évaluée ultérieurement.

Les calculs de capacité effectués pour les noeuds non régulés considèrent le noeud en situation isolée. Si celui-ci devait être intégré dans une chaîne de carrefours régulés par feux, les résultats présentés ne seraient plus valables (écoulement par grappe au lieu d'un écoulement libre).

Les temps de dégagement "voiture - voiture (ou piéton)" et "piéton - voiture" calculés dans le cadre des noeuds régulés par feux sont basés sur les hypothèses suivantes:

- vitesse de dégagement du noeud ou de démarrage sur un itinéraire "tout droit": 7 m/s (pour tenir compte des vélos).
- vitesse de dégagement du noeud ou de démarrage sur un itinéraire "tournant": 5 m/s.
- temps de réaction au démarrage : 2 secondes
- vitesse de traversée des piétons depuis le début du clignotant: 1,5 m/s.
- les 3 secondes de clignotant sont considérées comme faisant partie du temps de dégagement "piéton - voiture".

## 2.2.1 Noeuds à trois branches

annexe 4

### a) type simple ( 1 )



Les calculs qui vont suivre prennent pour hypothèse de base les trois cas de répartition des charges selon les sens de circulation sur l'axe principal, présentés au chapitre précédent.

Les remarques suivantes peuvent être faites pour chaque type de régulation:

#### sans régulation lumineuse (perte de priorité)

- tous les mouvements sur l'axe secondaire ont été assimilés à un mouvement "tournant à gauche" ce qui est une hypothèse assez défavorable surtout dans le cas où le mouvement "tournant à droite" est prédominant par rapport à celui de "tournant à gauche".

- La proportion de mouvements tournants et le rapport entre sens de circulation sur l'axe principal n'influencent que faiblement la capacité du noeud.

#### Régulation lumineuse (3 phases)

La proportion de mouvements tournants et le rapport entre sens de circulation sur l'axe principal n'ont aucune influence sur la capacité du noeud puisque chaque phase correspond dans ce cas au passage d'un sens complet de l'axe principal ou secondaire.

#### Régulation lumineuse (2 phases)

- Vu la relative complexité du problème, il semble utile d'exposer succinctement les principales étapes du processus de calcul:

tout d'abord la charge maximale sur l'axe principal (ou secondaire) est calculée pour une série de valeurs de la proportion de "mouvements tournants" comme s'il n'y avait qu'un seul axe. Ensuite il faudra réduire cette capacité ainsi calculée en fonction du temps perdu sur le mouvement "tout droit" à cause de la file d'attente sur le mouvement tournant à gauche (théorie de Harders - trafic mélangé).

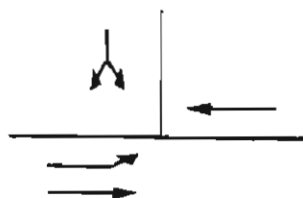
Connaissant la valeur de la charge totale sur l'axe principal, il est facile de déterminer le temps nécessaire pour écouler les charges correspondantes par simple rapport de proportionnalité avec la charge maximale horaire déterminée au point précédent. Le calcul du temps restant pour la phase de l'axe secondaire permet de déduire la charge maximale correspondante sur cet axe.

Il faut souligner malgré tout que ce calcul additionne une série d'hypothèses défavorables pour la capacité du noeud dont il faudra tenir compte dans l'interprétation des résultats. (On ne tient pas compte entre autre des passages de tourne à gauche à l'orange ou en début de phase).

- La proportion de mouvements tournants et le rapport des sens de circulation sur l'axe principal ont une incidence relativement modeste sur la capacité du noeud.

La comparaison des types de régulation indique que le passage d'un système non régulé à celui régulé par feux permet un accroissement moyen de la capacité du noeud d'environ 40%. Le système de régulation à trois phases offre une capacité à peu près constante quel que soit le rapport des charges totales de l'axe principal et secondaire.

Le système de régulation biphasé présente en général une capacité plutôt inférieure à celle de la régulation à trois phases et ceci accompagné d'une diminution de la sécurité sur le mouvement tournant à gauche de l'axe principal. Il semble donc que ce type de régulation ne soit pas spécialement recommandable dans ce cas.

b) Type intermédiaire ( 2 )

Les observations suivantes peuvent être faites à propos de chaque type de "régulation":

Sans régulation lumineuse (perte de priorité)

- Tous les mouvements sur l'axe secondaire ont été assimilés à un mouvement "tournant à gauche" ce qui est une hypothèse assez défavorable surtout dans le cas où le mouvement "tournant à droite" est prédominant par rapport à celui "tournant à gauche".
- La proportion de mouvements tournants et le rapport entre sens de circulation sur l'axe principal n'influent que faiblement la capacité du noeud.

Régulation lumineuse (3 phases)

Le rapport entre sens de circulation sur l'axe principal a une influence importante sur la capacité du noeud. Par contre l'influence correspondante de la proportion de mouvements tournants reste limitée.

Le cas où les sens de circulation sur l'axe principal sont déséquilibrés avec prédominance du sens qui comporte le mouvement "tournant à gauche" correspond à la capacité maximum, celui où c'est le sens qui comporte le mouvement "tournant à droite" qui est prédominant correspond à la capacité minimum. Le cas où les sens de circulation sur l'axe principal sont plus ou moins équilibrés correspond à une capacité située entre ces deux extrêmes.

Régulation lumineuse (2 phases)

- Le processus de calcul relativement complexe comprend les étapes et hypothèses suivantes:

Tout d'abord il sera admis que chaque cycle offre au moins deux secondes pendant lesquelles le mouvement "tournant à gauche" de l'axe principal peut passer sans conflits. Il faut ensuite calculer l'importance du rallongement de la durée de la phase sur l'axe principal de façon à permettre d'écouler le solde du mouvement "tournant à gauche" à travers un écoulement libre (régi par la théorie de Harders).

Pour déterminer la charge maximale correspondante sur l'axe secondaire il suffit de calculer la charge horaire qu'autorise le solde de temps vert à la disposition des mouvements de l'axe secondaire.

- Le rapport entre sens de circulation sur l'axe principal a une influence importante sur la capacité du noeud. En revanche l'influence de la proportion de mouvements tournants est modérée.

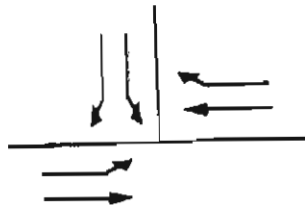
Le cas où les sens de circulation sur l'axe principal sont déséquilibrés avec prédominance du sens qui comporte le mouvement "tournant à gauche" correspond à la capacité maximum, celui où c'est le sens qui comporte le mouvement "tournant à droite" qui est prédominant correspond à la capacité minimum. Le cas où les sens de circulation sur l'axe principal sont plus ou moins équilibrés correspond à une capacité située entre ces deux extrêmes.

La comparaison des types de régulation indique que le passage d'un système non régulé à celui régulé par feux permet un accroissement moyen de la capacité du noeud compris entre 68 à 118% (suivant la répartition des sens sur l'axe principal).

Le système de régulation biphasé offre en général une capacité plus faible que le système à 3 phases, sauf dans le cas où le rapport des sens sur l'axe principal est déséquilibré avec prédominance du sens comportant le mouvement "tournant à droite". Si l'on considère que la sécurité sur le mouvement "tournant à gauche" de l'axe principal est moindre que dans la régulation à trois phases, ce système ne semble présenter aucun avantage déterminant.

annexe 6

c) Type complexe ( 3 )



Comme dans ce cas les mouvements "tournants à gauche et à droite" sur l'axe secondaire possèdent chacun une piste de présélection indépendante, il est nécessaire pour la suite des calculs de faire des hypothèses sur la répartition des charges sur ces deux mouvements. Trois cas de répartition des charges sur l'axe secondaire ont été retenues :

- La répartition "équilibrée" (50% sur chaque mouvement) correspondant à la répartition "équilibrée" sur l'axe principal (50% sur chaque sens de circulation).
- La répartition "déséquilibrée" avec prédominance du mouvement "tournant à droite" (70%) correspondant à la répartition "déséquilibrée" sur l'axe principal avec sens qui comporte le mouvement "tournant à gauche" prédominant (70% pour ce sens de circulation).

- La répartition "déséquilibrée" avec prédominance du mouvement "tournant à gauche" (70%) correspond à la répartition "déséquilibrée" sur l'axe principal avec sens qui comporte le mouvement "tournant à droite" prédominant (70% pour ce sens de circulation).

Comme le mouvement "tournant à droite" sur l'axe principal possède dans ce cas sa propre piste de présélection, les calculs devront prendre en compte la proportion de mouvement "tournant à droite" (liée au rapport des sens de circulation sur l'axe principal).

Les constatations suivantes peuvent être faites à propos de chaque type de "régulation" :

- sans régulation lumineuse (perte de priorité)

La répartition entre sens de circulation sur l'axe principal et entre mouvements sur l'axe secondaire a une influence assez marquée sur la capacité du noeud particulièrement lorsque la charge totale sur l'axe principal n'excède pas 500 à 700 véhicules par heure. La proportion de mouvements tournants n'a que peu d'influence par contre sur celle-ci.

- régulation lumineuse (3 phases)

La répartition entre sens de circulation sur l'axe principal et entre mouvements sur l'axe secondaire a une influence déterminante sur la capacité du noeud. La proportion de mouvements tournants a une influence modeste sur celle-ci sauf dans les cas où la charge totale sur l'axe principal excède environ 1800 véhicules par heure.

Le cas où les sens de circulation sur l'axe principal, les mouvements sur l'axe secondaire, sont "déséquilibrés" avec prédominance du sens de l'axe principal qui comporte le mouvement "tournant à gauche" correspond à la capacité maximum, celui où c'est le sens qui comporte le mouvement "tournant à droite" qui est prédominant correspond à la capacité minimum. Le cas où les sens de circulation sur l'axe principal, les mouvements sur l'axe secondaire, sont "équilibrés" correspond à une capacité située entre ces deux extrêmes.

- régulation lumineuse (2 phases)

Le processus de calcul utilisé est identique à celui employé pour ce même type de régulation pour le noeud de type "intermédiaire".

Les rapports entre sens de circulation sur l'axe principal, entre mouvements sur l'axe secondaire, a une influence importante sur la capacité du noeud tant que la charge totale sur l'axe principal n'excède pas 1600 à 2000 véhicules par heure.

L'influence de la proportion de mouvements tournants est aussi assez importante dans ce cas.

Les trois types de répartition des sens sur l'axe principal, des mouvements sur l'axe secondaire, déterminent de la même manière que pour la régulation triphasée, les variations de la capacité du noeud. Pour des valeurs de la charge totale sur l'axe principal supérieures à environ 2000 véhicules par heure, la capacité a tendance à être à peu près semblable quel que soit le type de répartition des sens, des mouvements, respectivement sur l'axe principal et secondaire.

- La comparaison des types de régulation indique que le passage d'un système non régulé à celui régulé par feux permet un accroissement moyen de la capacité du noeud compris entre 50 et 110% (suivant la répartition des sens et des mouvements, respectivement sur l'axe principal et secondaire).

Le système de régulation biphasée offre en général une capacité nettement plus faible que pour la régulation triphasée, sauf dans le cas de la répartition "déséquilibrée" des sens et des mouvements, avec prédominance du sens comportant le mouvement "tournant à droite", où celle-ci n'est que légèrement inférieure. Si l'on tient compte du fait que la sécurité sur le mouvement "tournant à gauche" (axe principal) est moindre, la régulation biphasée n'est pas non plus un système avantageux dans ce cas.

annexe 7

d) Synthèse et conclusions de l'examen de la capacité de quelques types de noeuds caractéristiques à trois branches

Les calculs de capacité effectués pour ces trois types de noeuds ont permis de mieux cerner l'importance des différentes variables, de fixer une plage de capacité en fonction du type de régulation, et de juger de l'adéquation des types de régulation possibles à des noeuds de complexité croissante. Les conclusions principales sont les suivantes :

- le nombre de variables influant de façon décisive la capacité d'un noeud reste limité, même dans le cas le plus complexe. C'est le rapport entre sens de circulation sur l'axe principal, entre mouvements sur l'axe secondaire, qui correspond à la variable la plus influente.
- La régulation par "perte de priorité" ou "stop" n'offre pas une augmentation de capacité significative avec l'accroissement de la complexité du noeud. Seul le niveau de service s'accroît en relation avec ce dernier.

- La régulation lumineuse biphasée offre en général une capacité plus faible ou nettement plus faible (noeud complexe) que la régulation triphasée, accompagnée d'une diminution de la sécurité sur le mouvement "tournant à gauche" de l'axe principal. Ce genre de régulation ne semble pas être recommandable dans la majorité des cas.
- La régulation lumineuse triphasée offre une augmentation de capacité importante avec l'accroissement de la complexité du noeud.
- Les variables influençant la capacité d'un noeud ont d'autant plus d'impact sur cette dernière que la complexité et la sophistication de la régulation et de l'aménagement du noeud s'accroissent.

Un tableau récapitulatif (annexe 7) présente de façon synoptique les fourchettes de capacité pour chaque type de noeud à trois branches examiné, en fonction du genre de régulation adoptée et du rapport des charges selon les sens de circulation de l'axe principal.

### 2.2.2 Noeuds à quatre branches

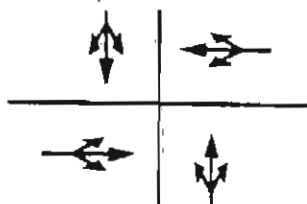
Les calculs suivants prennent pour hypothèse de base supplémentaire deux cas de répartition différente des charges selon les sens de circulation sur les axes principal et secondaire:

- la répartition "équilibrée" (50-50% sur chaque sens des deux axes)
- la répartition "déséquilibrée" (30-70% pour chaque sens des deux axes)

La proportion de mouvements tournants est admise identique sur chaque sens des axes principal et secondaire.

annexe 8

a) type simple ( 4 )



Les constatations suivantes peuvent être faites à propos de chaque type de "régulation" :

sans régulation lumineuse (perte de priorité)

- Tous les mouvements de l'axe secondaire ont été assimilés à un mouvement "tournant à gauche", hypothèse qui ne doit pas trop fausser les résultats car la capacité sur le mouvement "tout droit" est inférieure, celle sur le mouvement "tournant à droite" supérieure à la capacité sur le mouvement "tournant à gauche" pris comme référence.
- La proportion de mouvements tournants et le rapport entre sens de circulation sur les axes principal et secondaire n'influence que faiblement la capacité du noeud.

### Régulation lumineuse (4 phases)

- La proportion de mouvements tournants et le rapport entre sens de circulation sur les axes principal et secondaire n'ont aucune influence sur la capacité du noeud **puisque** chaque phase correspond, dans ce cas, au passage **complet** d'un sens de circulation de l'axe principal ou **secondaire**.

### Régulation lumineuse (2 phases)

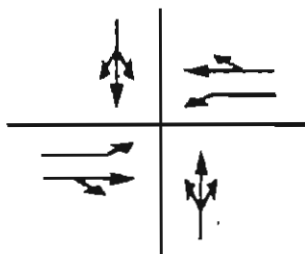
- le processus de calcul est identique à celui qui **a été** utilisé pour le noeud à trois branches de même type. La seule différence provient du fait qu'une fois **déterminé** le temps restant pour la phase de l'axe secondaire, la charge horaire maximale sur celui-ci doit être **déduite** par rapport de proportionnalité avec la "charge **maximale** horaire d'un axe unique" calculée au point précédent.

Comme précédemment, ce processus de calcul **additionne** une série d'hypothèses défavorables dont il **faudra tenir compte** dans l'interprétation des résultats (entre **autre**, on ne tient pas compte des possibilités de passage de tourne à gauche à l'orange ou en début de phase).

- La proportion de mouvements tournants et le **rapport** des sens de circulation sur les axes principal et secondaire ont une influence assez modeste sur la réserve de capacité du noeud.

La comparaison des types de régulation permet de constater que le passage d'un système non régulé à celui régulé par feux engendre un accroissement moyen de la capacité du noeud d'environ 30%. Le système de régulation à quatre phases présente une capacité à peu près constante quel que soit le rapport des charges totales sur les axes principal et secondaire.

Le système de régulation biphasé offre une capacité légèrement supérieure à la régulation à quatre phases tant que le rapport des charges sur les sens de circulation des axes principal et secondaire reste équilibré et que la charge horaire sur l'axe principal n'excède pas 600 à 700 véhicules par heure. Dans le cas contraire la capacité du noeud est légèrement inférieure à celle de la régulation **à quatre phases**. Si l'on considère que dans le cas d'une telle **régulation** la sécurité sur les mouvements "tournants à gauche" est moindre que pour le système à quatre phases, il apparaît que celle-ci n'est pas très intéressante dans ce cas.



annexe 9

b) type intermédiaire ( 5 )

Les observations suivantes peuvent être faites sur chaque type de "régulation" :

sans régulation lumineuse (perte de priorité)

- tous les mouvements de l'axe secondaire sont assimilés à un mouvement "tournant à gauche" unique ce qui, comme nous l'avons vu précédemment, ne fausse pas trop les résultats.
- La proportion de mouvements tournants et le rapport entre sens de circulation sur les axes principal et secondaire ont encore une influence très modeste sur la capacité du noeud.

Régulation lumineuse (4 phases)

La proportion de mouvements tournants et le rapport entre sens de circulation sur les axes principal et secondaire ont une incidence assez importante sur la capacité du noeud (surtout la deuxième variable).

Régulation lumineuse (2 phases)

- Le processus de calcul est identique à celui qui a été utilisé pour le noeud à trois branches de même type. La seule différence provient du fait qu'une fois déterminé le temps restant pour la phase de l'axe secondaire, la charge horaire maximale sur celui-ci doit être déduite par rapport de proportionnalité avec la "charge maximale horaire d'un axe unique" calculée au point précédent. Cette dernière phase du processus de calcul accumule une série d'hypothèses défavorables pour la capacité du noeud dont il faudra tenir compte dans l'interprétation des résultats (entre autre on ne considère pas les possibilités de passage du tourne à gauche à l'orange et en début de phase).
- La proportion de mouvements tournants et le rapport entre sens de circulation sur les axes principal et secondaire ont une incidence très modeste sur la capacité du noeud.

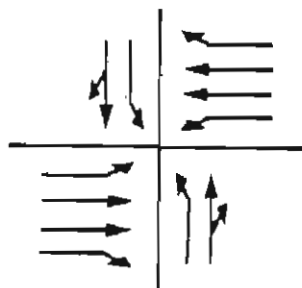
La comparaison des types de régulation montre que le passage d'un système non régulé à celui régulé par feux permet un accroissement moyen de la capacité horaire du noeud d'environ 100

La régulation biphasée provoque un accroissement de capacité du noeud d'environ 10 à 20% (respectivement sens équilibrés et dés-équilibrés) par rapport au système à quatre phases.

Si l'on considère que dans le cas d'une telle régulation, la sécurité sur les mouvements "tournants à gauche" est moindre que pour le système à quatre phases, il apparaît que l'avantage de ce type de régulation est assez restreint.

annexe  
10

c) Type complexe ( 6 )



Les remarques suivantes peuvent être faites pour chaque type de "régulation" :

sans régulation lumineuse (perte de priorité)

- tous les mouvements sur l'axe secondaire sont assimilés à un mouvement "tournant à gauche" unique ce qui, comme nous l'avons vu précédemment, ne fausse pas trop les résultats.
- La théorie de Harders utilisée jusqu'à présent pour ces calculs, semble présenter des insuffisances pour un cas aussi complexe (répartition inégale et problème de simultanéité de l'apparition de "créneaux de traversée" sur chacune des pistes de l'axe principal). Vu cette inadéquation de la théorie de Harders à ce type de noeud, de simples calculs aux limites ont été menés pour obtenir un ordre de grandeur de sa capacité.
- Il apparaît que la capacité ne diffère que peu de celles observées dans les deux types de noeuds précédents pour le même type de régulation. (mais le niveau de service est plus élevé)

Régulation lumineuse (4 phases)

- La proportion de mouvements "tournant à droite" apparaît dans ce cas comme nouvelle variable. Elle est admise liée par une relation "théorique" avec le rapport des charges totales de l'axe principal et de l'axe secondaire.
- La proportion de mouvements tournants et le rapport entre sens de circulation sur les axes principal et secondaire ont une influence assez importante sur la capacité du noeud.

Régulation lumineuse (2 phases)

- Ce type de régulation n'est **pas envisageable** pour un noeud aussi complexe, ceci avant tout pour des raisons de sécurité au niveau des mouvements antagonistes (distances de dégagement élevées, visibilité, franchissement de plusieurs flux de véhicules...).

Pour ces raisons le système **biphase** doit être écarté.

annexe 11

d) Synthèse et conclusions de l'examen de la capacité de quelques types de noeuds caractéristiques à quatre branches

Les calculs de capacité effectués pour ces trois types de noeuds ont permis de mieux cerner l'importance des différentes variables, de fixer une plage de capacité en fonction du type de régulation, et de juger de l'adéquation des types de régulation possibles à des noeuds de complexité croissante. Les conclusions principales sont les suivantes :

- le nombre de variables influant de façon notoire la capacité d'un noeud est à nouveau limité même pour le type le plus complexe. C'est toujours le rapport entre sens de circulation sur les axes principal et secondaire qui correspond à la variable la plus influente.
- La régulation par "perte de priorité" ou "stop" ainsi que la régulation biphasée ne sont adaptées qu'à la classe de noeuds simples à semi-complexes. Au-delà des problèmes de sécurité importants incitent à les déconseiller.
- Le système biphasé n'offre en aucun cas des gains de capacité importants par rapport à la régulation à quatre phases.
- La régulation par "perte de priorité" ou "stop" n'offre pas une augmentation de capacité significative avec l'accroissement de la complexité du noeud. Seul le niveau de service s'accroît en relation avec ce dernier.
- La régulation lumineuse à quatre phases dispense par contre des augmentations de capacité importantes avec l'accroissement de la complexité du noeud.
- Les variables influençant la capacité d'un noeud ont d'autant plus d'impact sur cette dernière que la complexité et la sophistication de la régulation et de l'aménagement du noeud s'accroissent.

Un tableau récapitulatif (annexe 11) présente de façon synoptique les fourchettes de capacité pour chaque type de noeud à quatre branches examiné, en fonction du genre de régulation adoptée et du rapport des charges selon les sens de circulation des axes principal et secondaire.

### 2.2.3 Les giratoires

#### 2.2.3.1 Introduction

Malgré le fait que les giratoires représentent une solution peu répandue en Suisse, il serait intéressant de pouvoir fournir quelques éléments sur la capacité d'un tel système, afin de préserver la continuité de la nomenclature des noeuds.

En Europe, seule la Grande-Bretagne utilise fréquemment ce système, c'est pourquoi l'essentiel des travaux de recherche et des expérimentations ont été effectués dans ce pays. On y rencontre une gamme étendue de giratoires tant du point de vue de leurs dimensions que de l'organisation des circulations à l'intérieur de ceux-ci (entre autre: priorité sur le giratoire ou sur les accès, sens de circulation unique ou antagoniste,...). Par contre, les giratoires suisses offre une variété plus restreinte du type d'organisation des circulations qui se limite à la localisation de la priorité. L'étude suivante tendra à vérifier l'adéquation des formules britanniques à la réalité helvétique.

#### 2.2.3.2 Recherche de formules de capacité et comparaison avec celles développées en Grande-Bretagne

La recherche d'une formule de capacité adaptée aux conditions suisses s'est inspirée des travaux effectués en Angleterre sur des giratoires de taille moyenne et grande et en fonction du type de priorité (cas les plus répandus en Suisse).

Le giratoire avec priorité sur les entrées ne sera pas traité car, d'une part ce système a tendance à disparaître pour des raisons de sécurité et de capacité, et d'autre part les recherches à ce sujet sont limitées et peu approfondies.

Les diverses études britanniques concernant les giratoires moyens et grands avec perte de priorité sur les entrées ont débouché sur une relation linéaire entre le débit sur entrée et celui sur le giratoire au droit de cet accès. Elle s'exprime par la formule empirique suivante :

$$Q_e = F - f_c Q_c$$

où

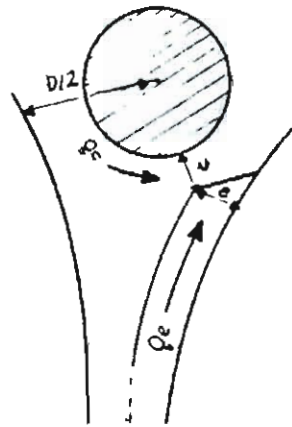
$$F = 329e + 35u + 2,4D - 135$$

$$f_c = 0,29 + 0,116e$$

avec  $Q_e$ : débit sur l'entrée considérée

$Q_c$ : débit sur le giratoire au droit de cette entrée

- $e$  : Largeur de l'entrée  
 $u$  : largeur sur le giratoire au droit de l'entrée  
 $D$  : diamètre extérieur du giratoire



Les coefficients prennent en compte certains paramètres non exprimés de façon explicite (telle que l'importance relative des différents courants de circulation sur le giratoire).

Pour obtenir la capacité d'un giratoire à partir de cette formule, il sera nécessaire d'utiliser un processus itératif (calculs de  $Q_e$  pour chaque entrée).

Cette formule ne peut pas être appliquée telle quelle en Suisse sans vérifier d'une part la linéarité de la fonction et d'autre part ses coefficients  $F$  et  $f_c$ .

Pour tester la validité de cette formule, il faudrait pouvoir collecter les caractéristiques d'un grand nombre de giratoires avec perte de priorité sur les entrées, fréquemment saturés et pour lesquels on dispose de comptages adéquats pendant ces périodes de saturation. Sur la base des données de circulation ainsi récoltées, il faudrait procéder à une analyse de régression multiple pour déterminer la relation qui lie le débit sur l'entrée au débit sur le giratoire au droit de l'accès et définir ses paramètres. Comme nous l'avons souligné précédemment, le nombre de giratoires en Suisse est restreint, pratiquement nul s'ils doivent souscrire aux exigences définies ci-dessus (priorité sur le giratoire, saturation des entrées, comptages adéquats).

Pour disposer d'un nombre maximum de cas, il faudrait procéder à des comptages appropriés au niveau des giratoires présentant les caractéristiques requises (saturation, type de priorité). Une telle campagne de comptage nécessiterait un personnel nombreux, du temps, donc des moyens financiers qui ne sont pas prévus dans le cadre de ce mandat.

Devant l'impossibilité de réaliser un programme aussi vaste, nous avons réduit notre investigation géographique à la Suisse romande (principalement à Lausanne et à Genève). Parmi le nombre limité de giratoires répertoriés, nous n'en avons trouvé qu'un qui remplisse les conditions requises : la Maladière (ouest lausannois).

annexe 3 2.2.3.3 Cas particulier : le giratoire de la Maladière (type 7 )

annexe 12 Les comptages effectués en période de saturation ont permis de vérifier la linéarité de la relation entre le débit sur l'entrée et le débit sur le giratoire au droit de celle-ci, sans toutefois tirer de conclusions définitives sur la généralité de ce type de relation. Il est évidemment impossible, au moyen de ce seul exemple, de fournir des valeurs significatives pour les paramètres de cette relation (pente, constante). Notons toutefois que la concordance des valeurs des paramètres des relations linéaires  $Q_c/Q_e$  pour les trois entrées considérées est assez élevée.

annexe 13 Toutefois, la comparaison entre ces mesures et les résultats obtenus par la formule anglaise, montre que le giratoire de la Maladière offre une plus faible capacité que ses homologues britanniques. Il n'est pas possible de chiffrer, en valeur relative, cette différence à partir de trois accès d'un seul giratoire, mais elle peut quand même s'expliquer en partie par le fait que la vitesse est plus élevée sur le giratoire de la Maladière que sur la moyenne des giratoires anglais, ce qui provoque pour l'automobiliste qui s'y engage le choix d'un créneau plus long, d'où une diminution de la capacité.

La méthode de Harders n'est pas applicable au cas des giratoires, car d'une part ses créneaux sont trop élevés puisque prévus pour des intersections conventionnelles à angle droit et d'autre part, elle ne tient pas compte du nombre de voies sur le giratoire. Un calcul comparatif appliqué à la capacité individuelle des entrées fait apparaître que la méthode de Harders donne une capacité nettement moindre que celle obtenue par la formule anglaise ou les mesures effectuées sur le cas particulier de la Maladière.

Afin de pouvoir comparer un giratoire avec d'autres types de noeuds, il faut pouvoir calculer sa capacité totale. Cette valeur n'est approchée qu'au moyen d'un processus itératif long et fastidieux : la capacité totale du giratoire correspond à la somme des capacités de chaque entrée, celles-ci étant dépendantes les unes des autres.

Cependant, il est possible de donner une fourchette des capacités au moyen des formules anglaises et des hypothèses simplificatrices suivantes :

- toutes les entrées sont saturées et ont le même débit
- emploi de la formule  $Q_e = F - f_c Q_c$

Dans le cas de la Maladière, les effets de ces deux hypothèses, si elles ne s'annulent pas, auront néanmoins tendance à se compenser : la première ayant pour effet de diminuer le débit total, la seconde de l'augmenter. La formule donnant la capacité totale d'un giratoire est :

$$Q_T = \frac{F_i}{1 + \frac{n-x}{n} f_{c_i}} \quad (\text{véh/heure})$$

où  $Q_T$  = capacité totale d'un giratoire

$F_i, f_{c_i}$  = facteurs géométriques propres à chaque entrée (cf page 15)

$n$  = nombre de branches

$n-x$  = nombre de branches intermédiaires franchies par les automobilistes entre celles d'entrée et de sortie

$$n-x = \sum_{i=1}^n \frac{Q_{c_i}}{Q_{e_i}}$$

C'est ce dernier facteur ( $n-x$ ) qui fixe les bornes de la fourchette de capacité du giratoire, les cas extrêmes étant :

a)  $n-x = 0$  : borne supérieure, tous les véhicules sortent directement par la première issue: donc pas d'entrecroisement;

b)  $n-x=n-2$  : borne inférieure, tous les véhicules sortent par la branche la plus éloignée.

Pour le giratoire de la Maladière, on peut raisonnablement penser que  $n-x$  varie entre 1 et 2, correspondant à des capacités totales respectives comprises entre 3900 et 5600 véh/h.

annexe 3

A titre de comparaison, un comptage effectué en janvier 1979 indique une capacité totale de 4100 véh/h à l'heure de pointe. Sur la base de comptages sommaires effectués au giratoire de Montchoisi (Lausanne) (type 8 ), il a été possible de se faire une idée de la capacité d'un giratoire de taille restreinte : elle correspond à peu de chose près à la fourchette de capacité obtenue précédemment pour les giratoires de grande taille (cas de la Maladière), mais avec un niveau de service plus bas et des vitesses plus faibles.

#### 2.2.3.4 Conclusions

La rareté du nombre de giratoires en Suisse, alliée aux exigences de saturation ainsi que l'inexistence ou l'inadéquation des comptages, rend hasardeuse la recherche dans ce domaine. Il ne sera donc possible que de fournir des valeurs indicatives et théoriques pour la capacité des giratoires.

L'annexe 15 présente de façon synoptique des valeurs de capacité indicatives pour les giratoires de taille moyenne à grande (types 7 et 8).

La fourchette de capacité obtenue pour le cas du giratoire au chapitre précédent, semblerait indiquer que la capacité de ce système est supérieure à celle d'un noeud à quatre branches de type complexe en situation non régulée ou régulée par feux. Il ne faut pas pour autant en tirer la conclusion que le giratoire est systématiquement une solution préférable au noeud traditionnel, car d'une part il "consomme" un espace important, d'autre part la fourchette de capacité obtenue par ce système correspond à un cas idéal où le trafic se répartit de façon très homogène entre les diverses entrées et où les vitesses de circulation sur le giratoire restent modérées (plus la vitesse de circulation sur le giratoire est élevée, plus le créneau minimum d'insertion s'accroît et plus la capacité totale diminue).

## 2.3 Etudes de détail complémentaires

### 2.3.1 Etude de l'influence des piétons sur la capacité d'un noeud

L'étude de l'influence des piétons sur la capacité s'est limitée aux six types de noeuds à trois et quatre branches examinés précédemment. Seules les régulations lumineuses à quatre et trois phases, respectivement pour les carrefours à quatre et trois branches ont été examinées. La situation non régulée a été écartée d'emblée, car elle correspond en général à un domaine de validité où les charges sont relativement faibles, ce qui laisse des créneaux suffisants pour la traversée des piétons. La régulation biphasée n'a pas été examinée, car il est peu concevable d'avoir une telle régulation avec des traversées de piétons à cause des conflits étendus qui en résulteraient.

annexe 14 Deux types d'organisation de la traversée des piétons ont été retenus :

- traversée avec conflits "restreints" (ou nuls) : conflits uniquement sur la traversée des axes secondaires (avec "tourne à droite" de l'axe principal), et présence d'une phase piéton indépendante pour la traversée de l'axe principal.
- traversée avec conflits "étendus" : conflits aussi sur la traversée de l'axe principal (avec le "tourne à droite", éventuellement le "tourne à gauche" de l'axe secondaire), pas de présence de phase piéton indépendante.

Pour les carrefours à quatre branches, l'influence des piétons sur la capacité du noeud peut être résumée comme suit :

- la traversée "avec conflits restreints (ou nuls)" provoque une baisse de capacité comprise entre 15 et 30% suivant le type de noeud et la répartition des charges suivant les sens de circulation envisagés.
- la traversée "avec conflits étendus" cause surtout une diminution de la capacité de l'axe principal, et en cas de répartition déséquilibrée des charges suivant les sens de circulation, une très légère diminution de la capacité totale du noeud (de l'ordre de 5%). Tant que la valeur des charges sur l'axe principal ne dépasse pas ces nouvelles "capacités limites", la capacité globale du noeud n'est pour ainsi dire pas affectée par la traversée des piétons. En résumé, la traversée des piétons "avec conflits étendus" est nettement plus favorable pour la capacité du noeud que celle "avec conflits restreints (ou nuls)", mais ceci au détriment de la sécurité et du confort des piétons.

Pour les carrefours à trois branches, l'influence des piétons sur la capacité du noeud est relativement différente de celle observée pour les carrefours à quatre branches. Les observations principales suivantes peuvent être faites à ce niveau :

- pour le noeud de type le plus simple (aucune présélection pour les mouvements tournants), les constatations faites à propos des noeuds à quatre branches sont encore valables globalement; la traversée "avec conflits restreints (ou nuls)" provoque une baisse de la capacité totale du noeud de l'ordre de 18%. La traversée "avec conflits étendus" cause une légère diminution de la capacité de l'axe principal (environ 5%), la capacité totale du noeud n'étant pas affectée tant que les charges de l'axe principal ne dépassent pas cette nouvelle "capacité limite".
- Pour les deux autres types de noeuds à trois branches examinés (type "intermédiaire" et "complexe"), la traversée "avec conflits restreints (ou nuls)" n'influence la capacité du noeud que si la répartition des charges selon les sens de circulation est déséquilibrée (axe principal), avec prédominance du sens qui comporte le mouvement de "tourne à gauche" (diminution de 4 à 18%).

La traversée avec "conflits étendus" n'influence pour ainsi dire pas la capacité totale du noeud et celle de l'axe principal.

En résumé, il apparaît cette fois-ci que la traversée "avec conflits étendus" n'est pas plus avantageuse en général pour la capacité du noeud que celle "avec conflits restreints", sauf dans le cas de répartition déséquilibrée des charges selon les sens de circulation de l'axe principal, avec prédominance du sens comportant le mouvement "tournant à gauche". Hormis ce cas, la traversée des piétons "avec conflits restreints (ou nuls)" sera obligatoirement retenue, car elle apporte une sécurité et un confort accrus à ses usagers par rapport à la traversée des piétons avec "conflits étendus".

L'examen de l'influence des piétons sur la capacité d'un noeud à partir de ces quelques exemples traités, permet de dégager les conclusions principales suivantes :

- L'introduction de passages piétons régulés dans la signalisation lumineuse d'un noeud à trois ou quatre branches provoque une baisse de capacité maximale de 20 à 30%.
- Le fait d'admettre des conflits étendus "piétons - véhicules" permet de réduire très fortement cette diminution de capacité, au détriment de la sécurité et du confort des piétons. L'avantage de ce système devient très limité par contre dans le cas de noeud à trois branches.
- La réalisation d'îlots permettant la traversée des piétons en deux fois, permet de diminuer la perte de capacité, toutefois ce mode de régulation peut comporter des dangers.

### 2.3.2 Etude de l'influence des hypothèses faites sur la relation entre proportion de "mouvements tournants" et le rapport des charges des axes principal et secondaire sur la capacité des noeuds étudiés

La recherche, au début de cette étude, d'une relation entre la proportion de "mouvements tournants" et le rapport des charges des axes principal et secondaire, avait montré que celle-ci était diffuse et il avait fallu se contenter de définir un "champ de relation" délimité par des courbes enveloppes théoriques, maximum et minimum. Pour les calculs, la courbe la plus défavorable à la capacité du noeud avait été retenue, à savoir: pour la relation avec les "mouvements tournants à gauche" c'est la courbe maximum qui a été retenue, pour celle avec les "mouvements tournants à droite" c'est la courbe minimum qui a été choisie.

Il s'agit donc d'évaluer maintenant l'influence de ces choix simplificateurs sur la capacité des noeuds étudiés. Cette étude n'a concerné que l'influence des hypothèses faites sur la relation concernant les "mouvements tournants à gauche", étant admis à priori que les résultats sont à peu près semblables pour les hypothèses faites sur la relation concernant les "mouvements tournants à droite".

Les principales conclusions de cette étude sont les suivantes:

- en situation non régulée par feux, le choix de ces hypothèses simplificatrices à propos de la relation entre proportion de "mouvements tournants" et le rapport des charges sur les axes principal et secondaire, n'a une influence maximum que de 2 à 4% sur les résultats de capacité obtenus.  
(Dans le sens d'une diminution de capacité).
- En situation régulée par feux, ces hypothèses simplificatrices ont une influence maximale de 4 à 10%. Celle-ci est d'autant plus importante que la répartition des charges suivant les sens de circulation devient déséquilibrée (généralement dans le sens d'une diminution de capacité pour les noeuds à trois branches, dans le sens d'une augmentation de capacité pour les noeuds à quatre branches).
- En conclusion, il est donc possible d'affirmer que l'influence de ces hypothèses simplificatrices sur la relation entre proportion de "mouvements tournants" et rapport des charges sur axes principal et secondaire reste inférieure à l'imprécision intrinsèque des calculs de capacité effectués.

### 2.3.3 Etude de la gêne provoquée par les "mouvements tournants" ne possédant pas de présélection indépendante, en situation non régulée ou en situation régulée biphasée.

Cette étude concerne avant tout la gêne provoquée par les "mouvements tournants à gauche" non indépendants plus que celle provoquée par les "mouvements tournants à droite", car dans ce dernier cas il s'agit uniquement d'un problème de niveau de service et non de capacité.

La théorie de Harders, à la base de tous nos calculs, tient compte de la limitation de la capacité d'un noeud par les phénomènes de gêne provoqués par les "mouvements tournants à gauche" non indépendant en réduisant la capacité des mouvements de l'axe secondaire.

Par ailleurs le degré de gêne (calculé selon Harders), ne dépasse jamais environ 15 - 30%, respectivement pour les situations non régulée et régulée biphasée, dans le domaine de validité respectif de chacune de ces régulations. Ceci tient au fait que la saturation sur les mouvements de l'axe secondaire intervient bien avant celle sur l'axe principal. Des degrés de gêne inacceptables ne pourraient donc être atteints que si les charges sur l'axe principal se rapprochaient suffisamment des valeurs de saturation pour cet axe, c'est-à-dire dans un domaine de valeurs pour les charges totales du noeud dépassant largement la capacité de ce dernier.

Certaines autres études ayant trait à ce sujet<sup>1)</sup> aboutissent à la conclusion qu'il faut prévoir des pistes de présélection indépendantes pour les "mouvements tournants" (spécialement "tournant à gauche") pour des valeurs de charge encore faibles sur l'axe principal (nettement inférieures à celles obtenues par la théorie de Harders). Cela provient du fait que les niveaux de service retenus sont plutôt plus restrictifs, mais avant tout des processus de calcul respectifs qui aboutissent à des résultats fort divergents. Comme celui de cette dernière étude n'est pas explicite, il est difficile de juger du bien fondé des résultats ainsi obtenus.

Même en fixant le degré de gêne à une valeur assez basse (environ 10%), cela ne limiterait la capacité de l'axe principal que dans le cas d'un noeud à trois branches en situation non régulée ou régulée biphasée, en situation de répartition équilibrée des charges selon les sens de circulation de l'axe principal, ou de répartition déséquilibrée avec prédominance du sens comportant le mouvement tournant à droite. La charge de l'axe principal devrait alors être limitée à environ 850 véh/h, ce qui représenterait une diminution de capacité de cet axe d'environ 23% en situation régulée, d'environ 30 à 35% en situation régulée

---

1) "Einsatzgrenzen und geometrische Ausbildung von Abbiegestreifen an nicht lichtsignalisierten Knotenpunkten", Norbert Müller/Wien/Verkehrsforum der Forschungsgesellschaft für das Strassenwesen im öiAV.

biphasée. La réduction de la capacité totale du noeud serait respectivement d'environ 13 et 10%.

### 3. Trafic déterminant

Le dimensionnement d'un noeud doit-il être effectué à la journée, à l'heure de pointe ou au quart d'heure de pointe? Une différenciation peut être faite entre le niveau planification générale et étude de détail. Les calculs effectués au chapitre précédent ont été faits pour des débits horaires; au vu des fourchettes de valeur relativement faibles, il était légitime de se demander si un calcul à la journée ne pourrait donner des résultats identiques.

Une analyse de nombreux carrefours a été faite afin de déterminer s'il existe une relation entre le type de carrefour, le débit total journalier et le débit total de l'heure de pointe. Il est rapidement apparu que si cette relation existe au niveau des types de route, il n'en est pas de même au niveau des carrefours. En effet les cas singuliers avec des pourcentages de débit horaire différents sur les branches du noeud sont en majorité. Il est ainsi très hypothétique de trouver une relation entre le type de noeud (simple à complexe) et le rapport des débits. Les risques d'erreur, même au niveau de la planification générale, deviendraient trop grands si un calcul de valeur globale journalière de la capacité des noeuds était fait, ou il ne serait alors possible que de donner des valeurs avec une fourchette qui serait tellement importante qu'elles seraient inutilisables.

Ainsi au niveau de la planification, il peut être recommandé de dimensionner les noeuds routiers à l'aide du trafic de l'heure de pointe. Au cas où les données de base seraient fournies à la journée, il y aura lieu de convertir ces valeurs à l'heure de pointe en fonction du type de route de chaque branche du noeud et non en fonction du type de noeud.

Au niveau des études de détail il apparaît souvent, en particulier dans les agglomérations de faible à moyenne importance et en zone rurale, que le quart d'heure de pointe présente la meilleure valeur de dimensionnement si l'on veut garantir un écoulement normal du trafic. Il ne semble pas qu'il y ait lieu de choisir une unité de temps plus petite, un tel procédé risquerait de conduire à un surdimensionnement du carrefour ce qui n'est pas souhaitable, en particulier pour les périodes creuses de la journée.

#### 4. Charge admissible

Il est difficile de parler de charge admissible au niveau des noeuds. Il serait préférable de donner des niveaux de qualité en relation avec la réserve de capacité.

Pour les noeuds non régulés par signalisation lumineuse, le problème de la réserve de capacité est important. En effet, lorsque la charge approche la capacité, cela signifie que la quasi totalité des créneaux admissibles devront être utilisés. L'inconfort pour les usagers des mouvements secondaires augmente donc rapidement de même que la sécurité décroît. Si les charges de l'axe principal sont importantes et très faibles sur l'axe secondaire, il faut s'attendre à des temps d'attente assez longs lorsque l'on approche de la capacité.

Donc même si l'on ne dépasse pas la capacité il est possible d'avoir des niveaux de qualité assez bas suivant la répartition des charges et le type de noeud. L'appréciation est donc délicate et devra se faire de cas en cas en relation avec la situation du noeud dans le réseau.

Au niveau des noeuds régulés par signalisation lumineuse, il y a lieu de distinguer divers types de régulation: fixe, semi-adaptative, adaptative.

Dans le cas de la régulation à temps fixe, la réserve de capacité ne correspond pas directement à une élévation du niveau de service du fait que les temps d'attente restent les mêmes. Pour les régulations semi-adaptatives ou adaptatives, la réserve de capacité correspond en général à une augmentation du niveau de service.

#### 5. Conclusions

Cette étude a permis de fournir des plages de capacité horaire pour un certain nombre de noeuds-type les plus fréquents et de cerner quels sont les paramètres qui ont une influence déterminante sur la capacité d'un noeud.

Les conséquences des nombreuses hypothèses et simplification de calcul sur les résultats de capacité fournis ont été systématiquement évaluées de façon quantitative, ou à défaut de façon qualitative. Il s'est avéré en général que les erreurs qui en découlaient restaient inférieures à l'imprécision intrinsèque des processus de calcul utilisés.

Par souci de clarté, et en prévision de l'intégration des valeurs de capacité fournies dans une norme destinée à la planification générale, le nombre et le type de noeuds ont été restreints.

L'échantillon de ces noeuds a été constitué de façon à fournir en règle générale des bornes minima, moyennes, maxima de capacité horaire pour chaque système de régulation ("perte de priorité", régulation lumineuse 2, 3, 4 phases) ou type de "noeud" (3,4 branches, giratoires avec classification interne selon leur ordre de complexité croissante).

Les carrefours en "double T" n'ont pas été traités au niveau de cette étude, car une recherche spécifique a été menée dans ce domaine en Allemagne fédérale<sup>1)</sup>. Il suffira lors de l'élaboration d'une norme de planification générale concernant la capacité des noeuds, d'intégrer les résultats fournis par cette recherche.

Il faut néanmoins souligner que les valeurs obtenues dans cette étude ne sont pas destinées à être utilisées au niveau de la planification de détail. Ceci en raison de la simplification des types de noeuds examinés, des caractéristiques retenues pour les schémas de circulation (répartition des charges par sens, sur axes principal et secondaire, proportion de mouvements tournants...) et des paramètres constitutifs de régulation lumineuse retenus (durée du cycle, temps de réaction au démarrage, temps de dégagement...).

Ainsi pour une planification de détail il serait plus indiqué de fournir dans une norme des indications sur les procédures de calcul adaptées à chaque type de régulation envisagé et en particulier la valeur des paramètres de base.

annexe 15

Les conclusions principales de cette étude au niveau des valeurs de capacité horaire obtenues pour les différents types de régulation et de noeud sont les suivantes :

- en situation non régulée ("perte de priorité"), les noeuds à 3 ou 4 branches présentent à peu près la même capacité horaire totale quelle que soit la complexité du noeud (environ 1000 à 1300 véh/h). Le système de giratoire offre quant à lui une capacité nettement plus élevée (environ 4700 véh/h), mais ceci seulement si les vitesses de circulation sont faibles et si la répartition du trafic selon les diverses entrées et sorties est homogène.
- en situation régulée par feux les capacités horaires totales des noeuds à 3 et 4 branches (régulation à 2 phases ou 3 et 4 phases) sont très proches, sauf pour les noeuds à 3 ou 4 branches complexes pour lesquels la capacité est nettement supérieure. L'aug-

---

1) "Untersuchungen über die Zweckmässigkeit versetzter Einmündungen" (RAL-K)/ B. Krauss und K.H. Trapp - Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik - Heft Nr. 261 Bundesminister für Verkehr - Bonn.

mentation de la complexité des noeuds en situation régulée par feux, permet une élévation substantielle de la capacité horaire totale (3 branches: + 40 à 130% / 4 branches: 130 à 190%).

La plage des capacités horaires totales des noeuds à 3 et 4 branches régulés par feux, respectivement à 3 ou 4 phases est de 1400 à 3200 véh/h et de 1300 à 3800 véh/h.

Les noeuds à 3 et 4 branches de type simple régulés par feux n'offrent qu'une capacité légèrement supérieure à celles de ces mêmes noeuds non régulés.

- La régulation biphasée s'est avérée en règle générale peu intéressante du point de vue de la capacité (généralement inférieure ou égale à celle des systèmes à 3 et 4 phases). Si l'on tient compte du fait que la sécurité pour les usagers est moindre avec ce système, il semble que ce type de régulation n'est pas à conseiller, sauf pour des situations particulières à examiner de cas en cas.
- Les principaux paramètres liés au trafic qui ont une influence notable sur la capacité d'un noeud (hormis les giratoires) sont en premier lieu la répartition du trafic selon les sens de circulation, et dans une moindre mesure la proportion de mouvements tournants (plus ou moins liée avec le rapport des charges sur axes principal et secondaire).

Mentionnons encore que l'introduction de passages piétons dans un système régulé par feux provoque une baisse de capacité maximale de 20 à 30%. Le fait d'admettre des conflits entre piétons et véhicules (y compris sur l'axe principal) permet de réduire très nettement cette diminution de capacité au détriment de la sécurité et du confort des piétons. Notons que l'avantage précité de ce système est très limité dans le cas d'un noeud à trois branches. L'insertion des piétons dans un système non régulé ne provoque pas en général de diminution de capacité du noeud, car pour le domaine de validité considéré, les charges sont relativement faibles et ménagent ainsi des créneaux suffisants pour la traversée des piétons.

Les systèmes de priorité de passage pour les bus et les trams dans les noeuds régulés par feux, comportant des anticipations ou des allongements de phase, ne provoquent que de faibles diminutions de la capacité totale du noeud (5 à 10% au maximum), ceci pour autant que la fréquence de la ligne transports en commun ne soit pas trop petite.

LISTE BIBLIOGRAPHIQUE

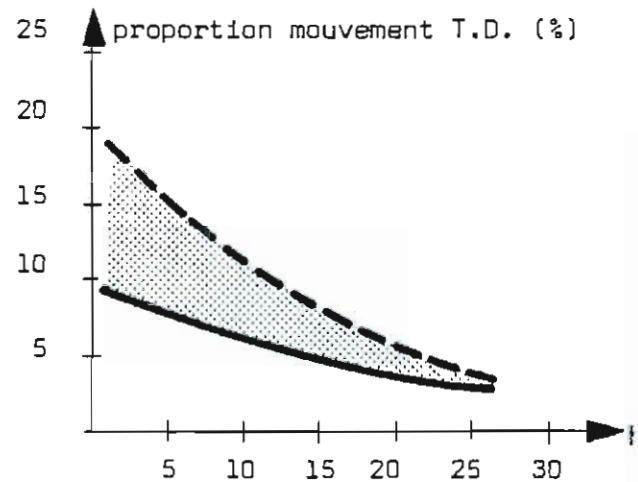
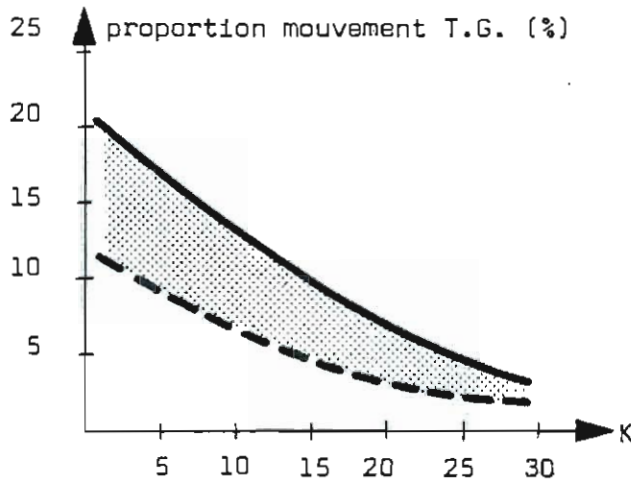
- (1) - "Die Leistungsfähigkeit nicht signalgeregelter städtischer Verkehrsknoten" - J. Harders, Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Heft 76, Bundesminister für Verkehr, Abt. Strassenbau, Bonn, 1968.
- (2) - "Entwurfsgrundsätze für planfreie städtische Knotenpunkte" - G. Krasser, Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Heft 164, Bundesminister für Verkehr, Abt. Strassenbau, Bonn, 1974.
- (3) - "Untersuchungen über die Anlage von Beschleunigungs- und Verzögerungsspuren sowie Verflechtungs- und Manöverstrecken" - R. Fiolic, Bundesministerium für Bauten und Technik, Strassenforschung, Heft 77, Wien, 1977.
- (4) - "Transportation and traffic engineering handbook" - Institute of Transportation engineers, 1976 New Jersey.
- (5) - "Simulation des circulations dans un noeud isolé" - rapport général et mode d'emploi, mandat SVI, institut de technique des transports EPF-Lausanne, 1973.
- (6) - "CASIG - Rapport Général" - institut de technique des transports EPF-Lausanne 1971.
- (7) - "Aménagement du territoire et transports" - Ph.H. Bovy département d'architecture et institut de technique des transports EPF-Lausanne 1973.
- (8) - "Strassenprojektierung", K. Dietrich, U. Graf, M. Rotach, IVT-ETHZ, octobre 1975.
- (9) - "Einsatzgrenzen und geometrische Ausbildung von Abbiegestreifen an nicht lichtsignalgeregelten Knotenpunkten" - N. Müller, Wien - August 79, Verkehrsforum der Forschungsgesellschaft für das Strassenwesen im öiAV.
- (10) - "Modifikationen des Zeitlückenverfahrens" - W. Voigt - Zentrales Forschungsinstitut des Verkehrswesens der DDR, Sektion 1, Abt. Stadtverkehr - Die Strasse, Heft 6, Juni 1973.
- (11) - "Untersuchungen über die Zweckmässigkeit versetzter Einmündungen (RAL-K)" - B. Krauss und K.H. Trapp - Forschungsgesellschaft für das Strassenwesen - Köln - Informationen über Strassenbau und Strassenverkehrsforschung - Nr. 24, Januar 1979.
- (12) - "Literaturangaben über Leistungsfähigkeitsberechnungen nicht signalgeregelter Knoten" - E. Marx - Bundesministerium für Bauten und Technik - Strassenforschung - Heft 74 - Wien 1977.

- (13) - "Die Ermittlung der Anzahl der Spuren beim Entwurf lichtsignalgesteuerter Strassenknoten" - W. Schnabel, Hochschule für Verkehrswesen "Friedrich List", Wissenschaftsbereich Strassenverkehr, die Strasse, Heft 7, Juli 1978.
- (14) - "Wartezeitoptimierung bei festzeitgesteuerten Strassenknoten" - W. Schnabel, Dresden, die Strasse, Heft 1, Januar 1980.
- (15) - "Ein Kriterium zur Bestimmung der Notwendigkeit des Einsatzes von Verkehrslichtsignalanlagen" - F. Zibuschka, Wien - Verkehrsforum und Mitteilungen der Forschungsgesellschaft für das Strassenwesen im öiAV.
- (16) - "Research on Road Traffic" - Road Research Laboratory (1965), pages 220 à 228.
- (17) - "Testing a Traffic circle for possible capacity" - E.B. Sharpe, Proceedings, Highway Board, 1951.
- (18) - Transportation Road Research Laboratory - "The Ringwood-experiment" - Leaflet 406, (July 1974).
- (19) - Transportation Road Research Laboratory - "Accidents at offside priority Roundabouts" - Leaflet 393 (Issue 2) (April 1975).
- (20) - Transportation Road Research Laboratory - "A modification to design formula for conventional Roundabouts" - Leaflet 571 (May 1975).
- (21) - Transportation Road Research Laboratory - "A filter lane for left-turning traffic at an overloaded Roundabout" - Leaflet 468 (March 1975).
- (22) - Technical Memorandum H2/75 - Department of the Environment, Highways Directorate - "Technical Memorandum on Roundabout Design" (February 1975).
- (23) - Transportation Road Research Laboratory - "A track experiment on the entry capacities of offside priority roundabouts" - R.M. Kimber and M.C. Semmens - TRRL supplementary report 334 (1977).
- (24) - Transportation Road Research Laboratory - "The capacity of offside priority roundabout entries" - M.G.M. Glen, S.L. Sumner and R.M. Kimber - TRRL supplementary report 436 (1978).

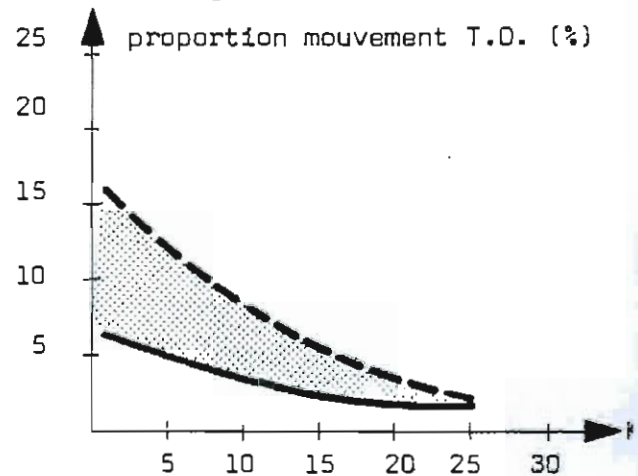
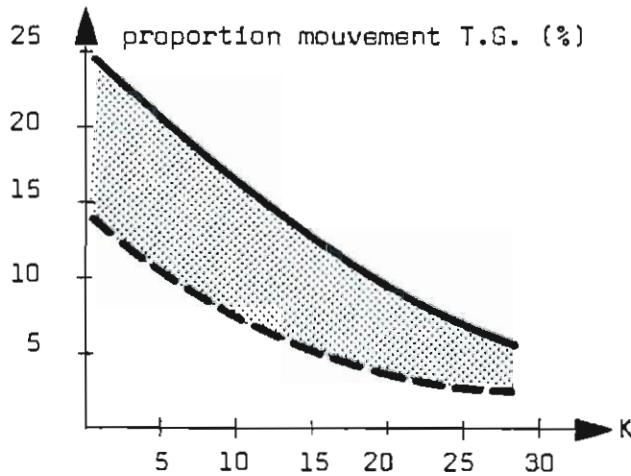
- (25) - Transportation Road Research Laboratory - "Capacity measurements on experimental roundabout designs at Swindon" - R.C. Halsall and F.C. Blackmore - TRRL supplementary report 145 VC (1975).
- (26) - "Capacity, safety and delay at new types of roundabouts with offside priority" - G. Maycock - PIARC 12th International Study Week, Traffic engineering and Safety, 1974, Theme IX.
- (27) - "A new procedure for capacity calculations at conventional roundabouts" Ashworth, R. and CJD Laurence - Proc. Civ. Engrs. Part 2, 65 (1978).

Relation entre le rapport des charges sur axes principal et secondaire et la proportion de mouvements tournants pour un noeud à trois branches

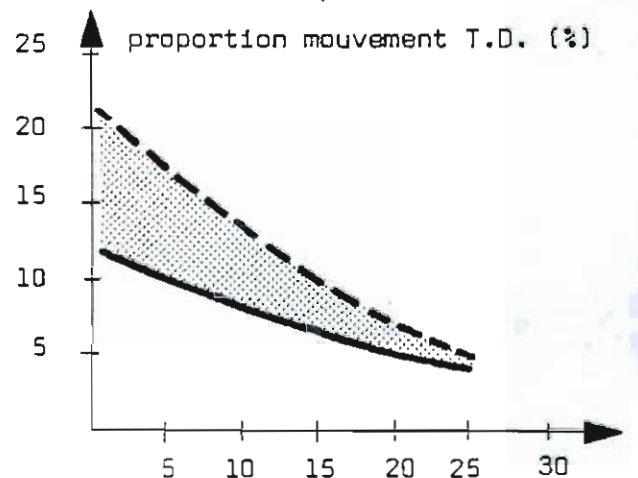
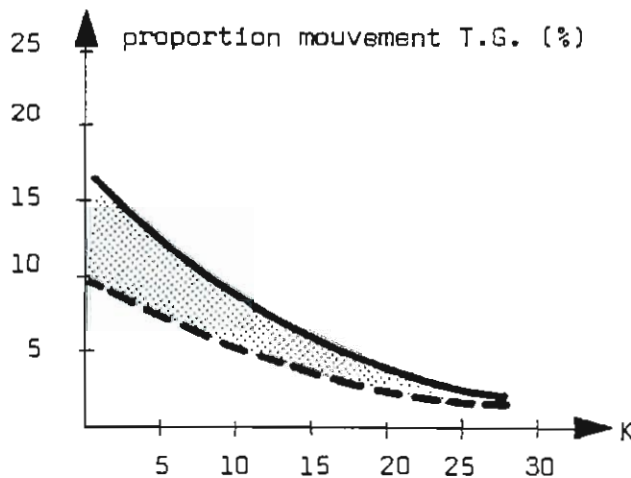
Circulations équilibrées ( 50-50%)



Circulations déséquilibrées ( 70-30%): tourne à gauche prédominant



Circulations déséquilibrées ( 30-70%): tourne à droite prédominant



Légende:

— courbe retenue pour les calculs

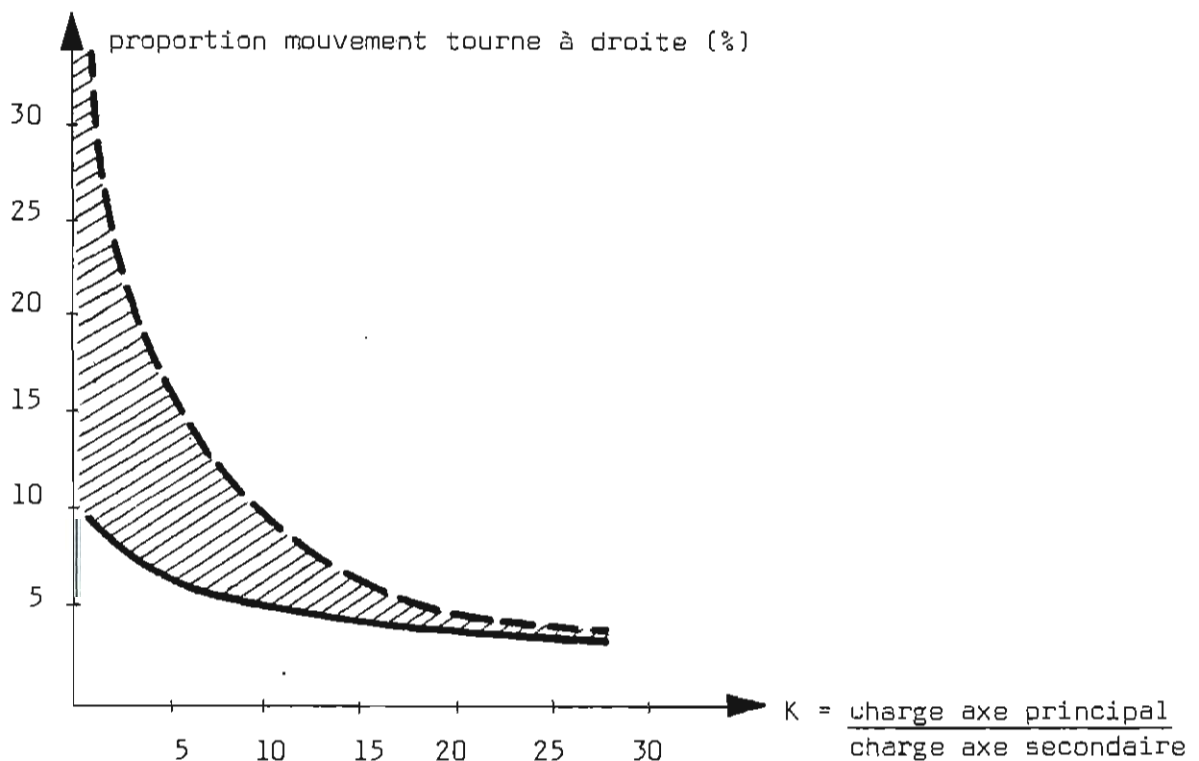
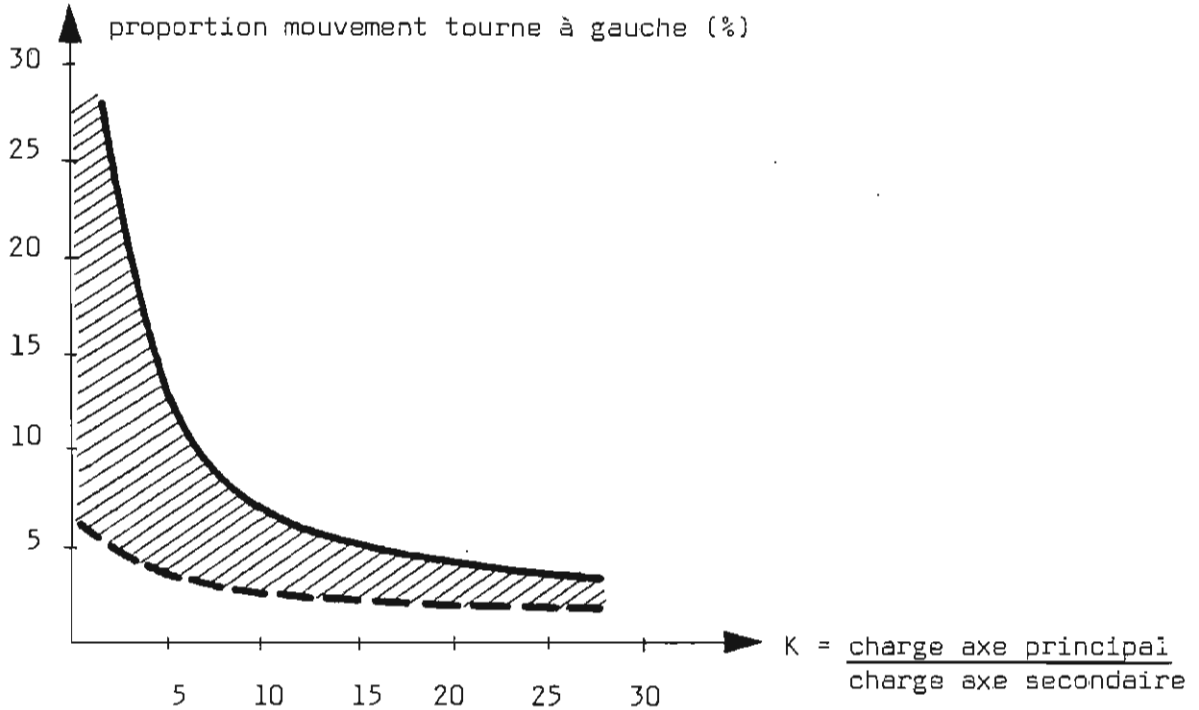
▨ champ des valeurs

$K = \frac{\text{charge axe principal}}{\text{charge axe secondaire}}$

T.G.: tourne à gauche

T.D.: tourne à droite

Relation entre le rapport des charges sur axes principal et secondaire et la proportion de mouvements tournants pour un noeud à quatre branches

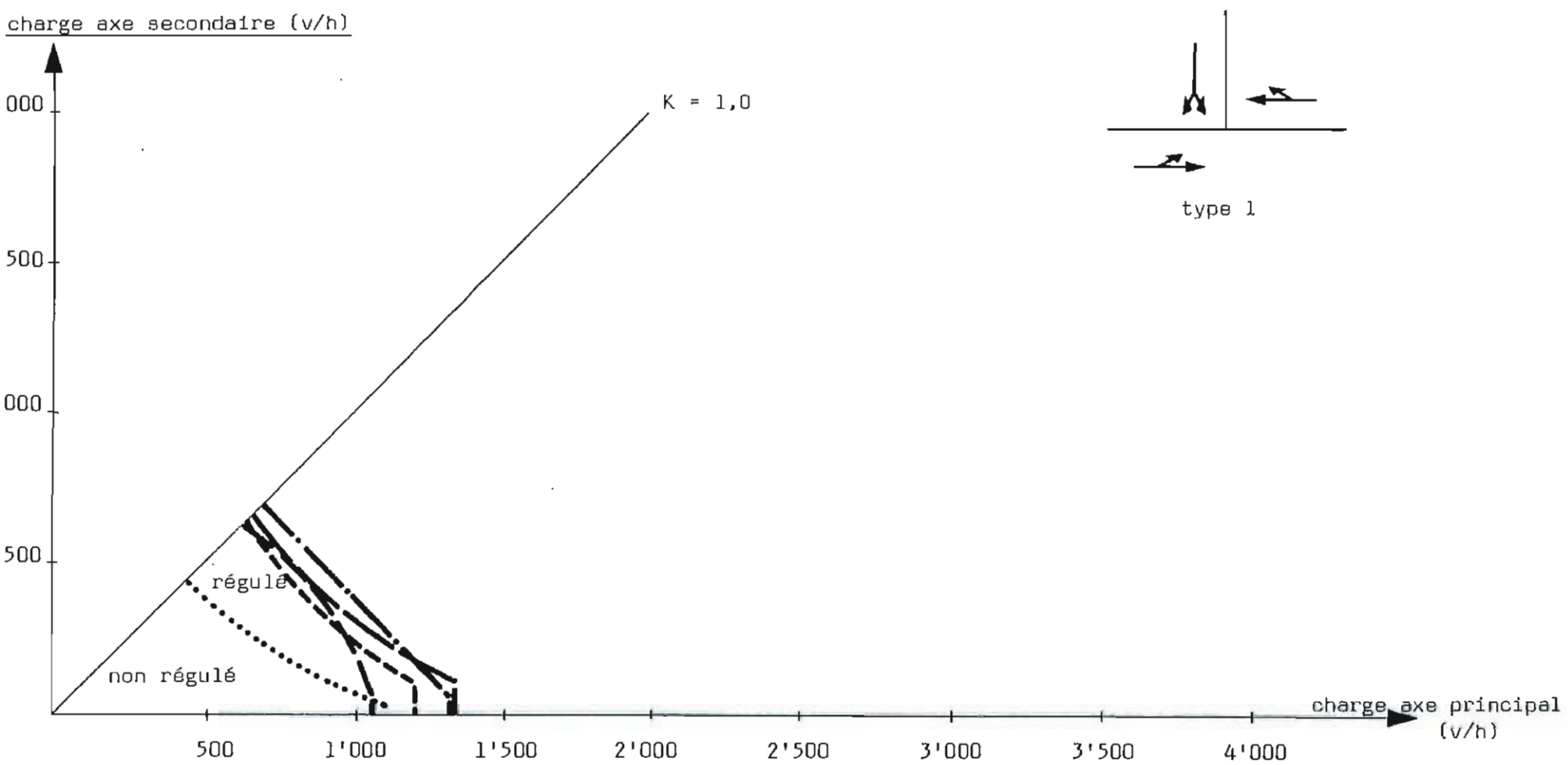


Légende:

- : courbe retenue pour les calculs
- ▨ : champ des valeurs

Type de noeud : Schéma et numéro de référence	
noeuds à trois branches	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%; text-align: center;"> <p>①</p> </div> <div style="width: 45%; text-align: center;"> <p>②</p> </div> </div>
	<div style="text-align: center;"> <p>③</p> </div>
noeuds à quatre branches	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%; text-align: center;"> <p>④</p> </div> <div style="width: 45%; text-align: center;"> <p>⑤</p> </div> </div>
	<div style="text-align: center;"> <p>⑥</p> </div>
giratoires	<div style="text-align: center;"> <p>⑦</p> <p>D=100-150 m</p> </div>
	<div style="text-align: center;"> <p>⑧</p> <p>D=30-40 m</p> </div>

Capacité d'un carrefour "3 branches" suivant le type de régulation



Légende: voir annexe 4 bis

Légende:

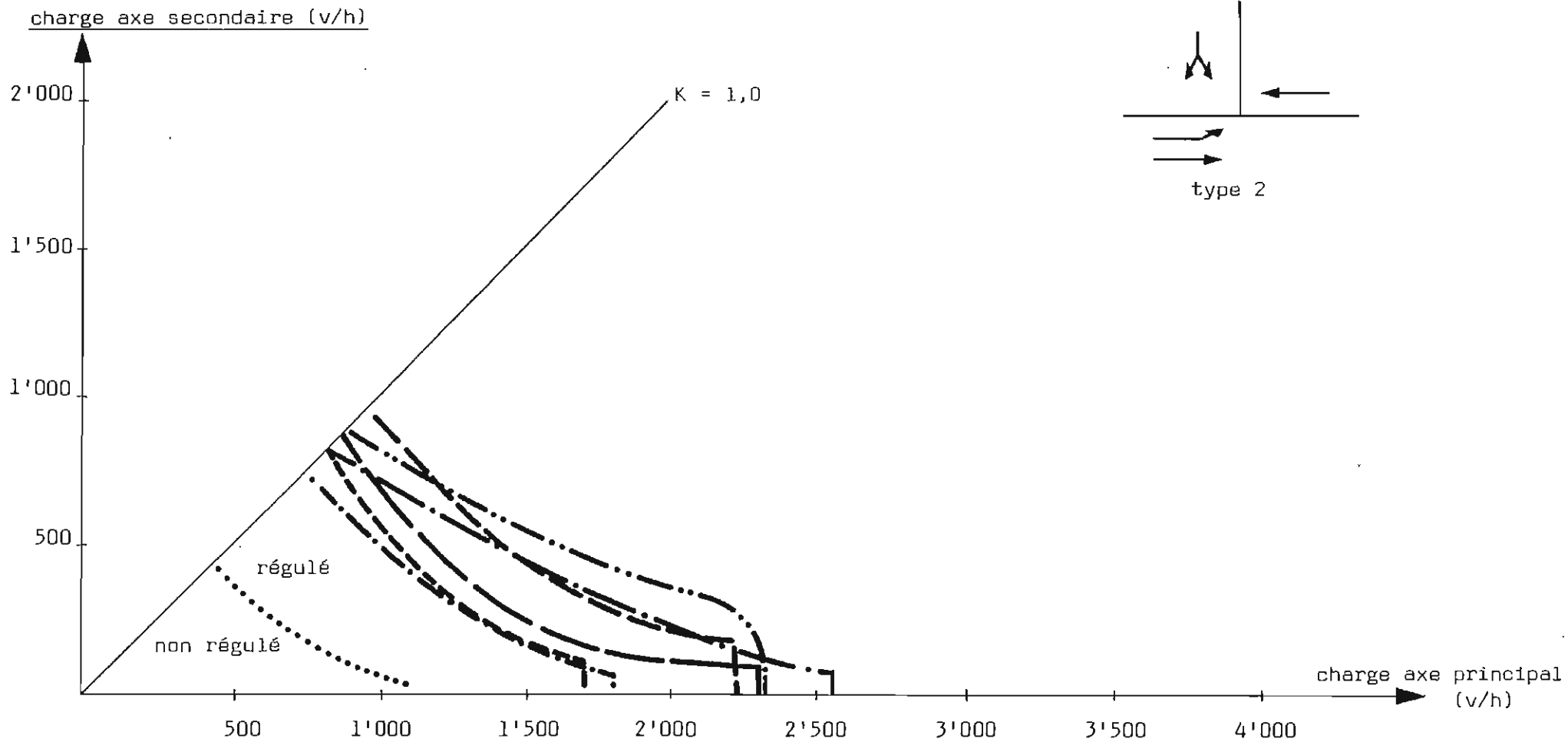
- Régulation lumineuse 3 ou 4 phases : répartition équilibrée des charges selon sens de circulation ( 50-50%)
- Régulation lumineuse 3 ou 4 phases : répartition déséquilibrée des charges selon sens de circulation ( 70-30%) sens comportant T.G. prédominant
- Régulation lumineuse 3 ou 4 phases : répartition déséquilibrée des charges selon sens de circulation ( 30-70%) sens comportant T.D. prédominant
- Régulation lumineuse biphasée : répartition équilibrée des charges selon sens de circulation ( 50-50%)
- Régulation lumineuse biphasée : répartition déséquilibrée des charges selon sens de circulation ( 70-30%) sens comportant T.G. prédominant
- Régulation lumineuse biphasée : répartition déséquilibrée des charges selon sens de circulation ( 30-70%) sens comportant T.D. prédominant
- ..... Non régulé: "perte de priorité" : répartition équilibrée des charges selon sens de circulation ( 50-50%)
- ..... Non régulé: "perte de priorité" : répartition déséquilibrée des charges selon sens de circulation ( 70-30%) sens comportant T.G. prédominant
- ..... Non régulé: "perte de priorité" : répartition déséquilibrée des charges selon sens de circulation ( 30-70%) sens comportant T.D. prédominant

$$K = \frac{\text{charge axe principal}}{\text{charge axe secondaire}}$$

T.G. : mouvement "tournant à gauche"

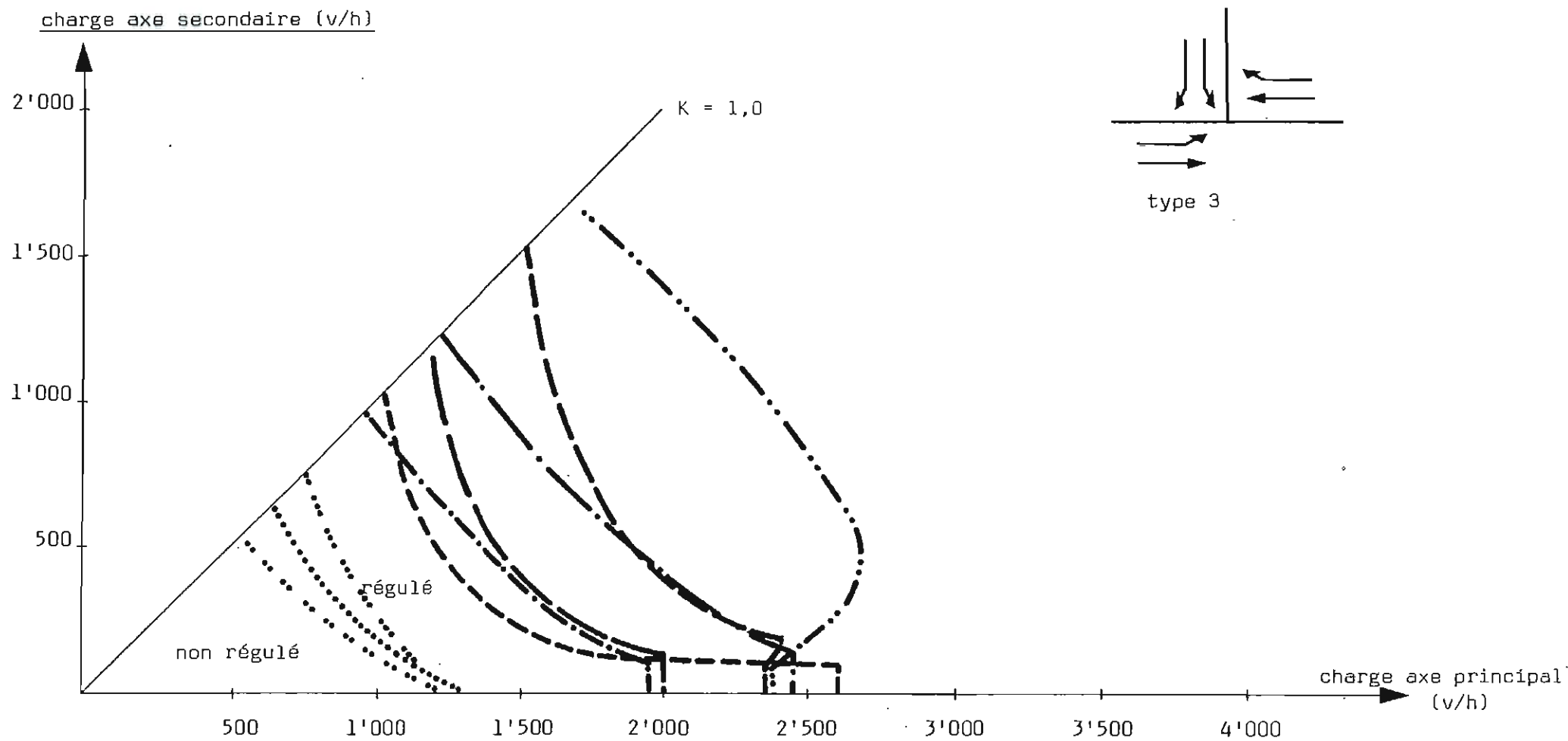
T.D. : mouvement "tournant à droite"

Capacité d'un carrefour "3 branches" suivant le type de régulation



Légende: voir annexe 4 bis

Capacité d'un carrefour "3 branches" suivant le type de régulation



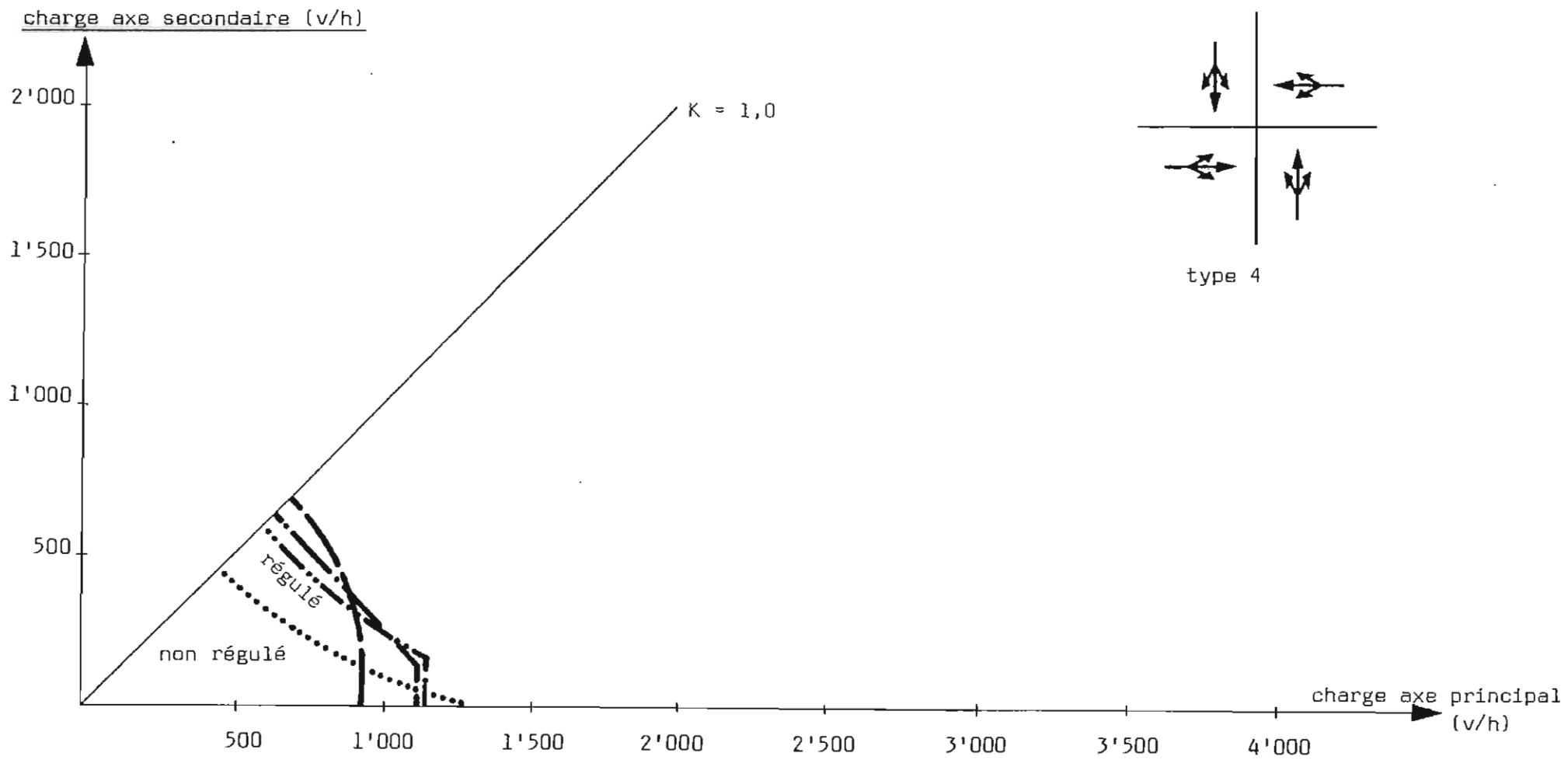
Légende: voir annexe 4 bis

type de noeud		CAPACITE HDRAIRE EN V/H DE 3 TYPES DE NOEUDS A 3 BRANCHES													
		non régulé "perte de priorité"		régulation lumineuse: 2 phases						régulation lumineuse: 3 phases					
				sens équil. (50-50%)		sens déséquil. a) (30-70%)		sens déséquil. b) (70-30%)		sens équil. (50-50%)		sens déséquil. a) (30-70%)		sens déséquil. b) (70-30%)	
		cap. min.	cap. max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.
1		900	1100	1400	1600	1300	1600	1100	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400
				peu recommandable											
2		900	1200	1800	2400*	1700	1900*	2000	2400*	1700	2600	1500	1900	1800	2500*
				peu recommandable											
3		1100	1500	2400	2600	2000*	2100*	2600*	3000	2500	2700	1900	2000	3100*	3400
				à éviter											
évolution de la cap.	2/1	0%	+9%	+29%	+50%	+31%	+19%	+82%	+71%	+21%	+86%	+7%	+36%	+29%	+79%
	3/1	+22%	+36%	+71%	+63%	+54%	+31%	+136%	+114%	+79%	+93%	+36%	+43%	+121%	+143%
	3/2	+22%	+25%	+33%	+8%	+18%	+11%	+30%	+25%	+47%	+4%	+27%	+5%	+72%	+36%

Légende:

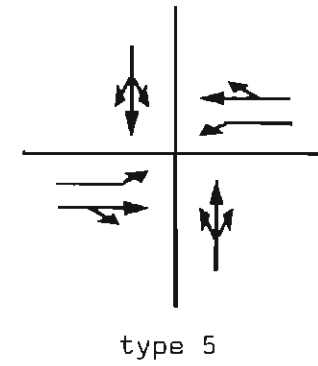
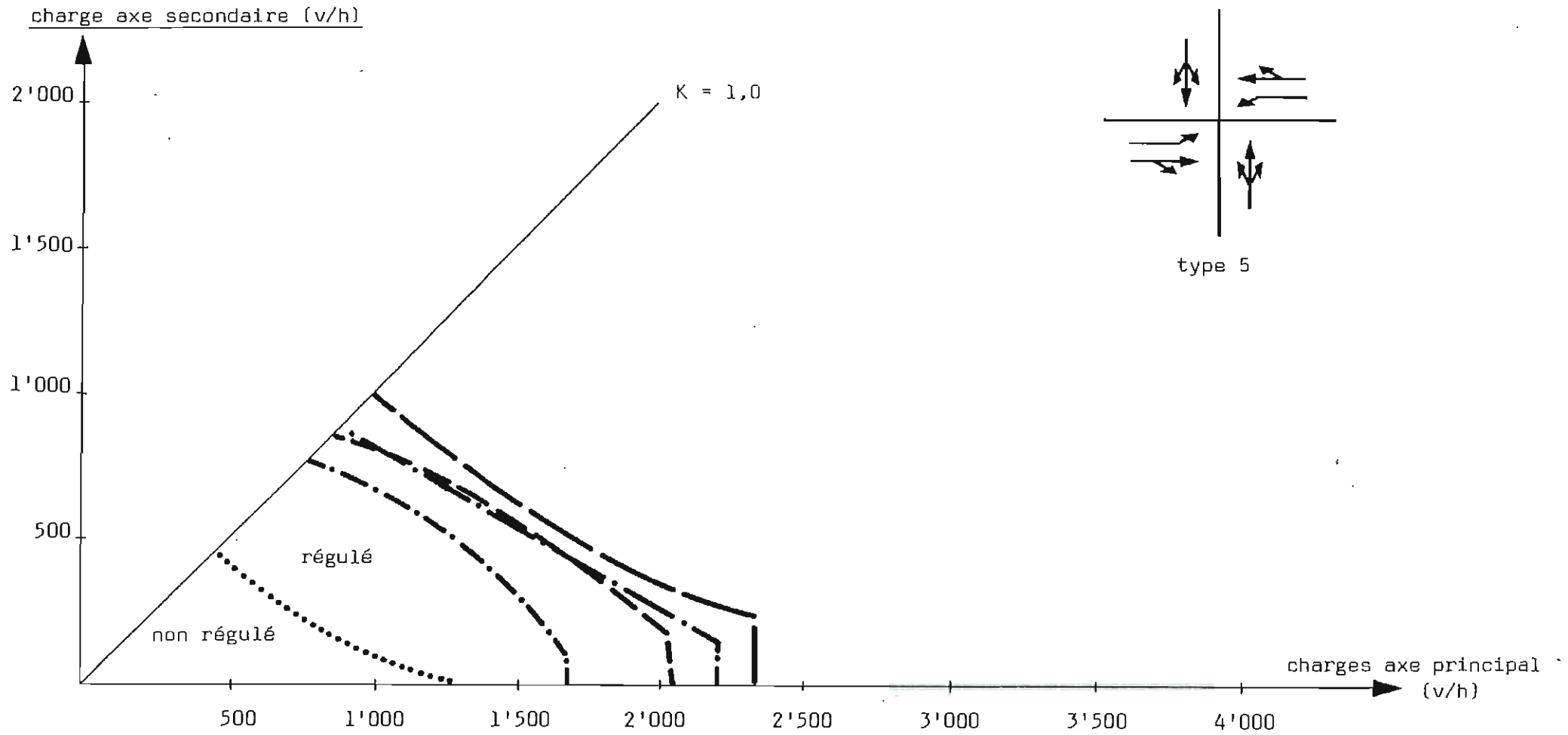
- |  |  |  |
|--|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- sens déséquilibrés sur l'axe principal</li> <li>- mouvements déséquilibrés sur l'axe sec.</li> <li>- sens équilibrés sur l'axe principal</li> <li>- mouvements équilibrés sur l'axe sec.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>} sens avec T.G.: 30%</li> <li>} mouvement T.G.: 70%</li> <li>} sens avec T.D.: 50%</li> <li>} mouvement T.G.: 50%</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>a) sens avec T.D.: 70%</li> <li>a) mouvement T.D.: 30%</li> <li>b) sens avec T.G.: 70%</li> <li>b) mouvement T.G.: 30%</li> <li>b) sens avec T.D.: 30%</li> <li>b) mouvement T.D.: 70%</li> </ul> |
|--|--|--|
- \*: valeurs de capacité données avec une certaine approximation

Capacité d'un carrefour "4 branches" suivant le type de régulation



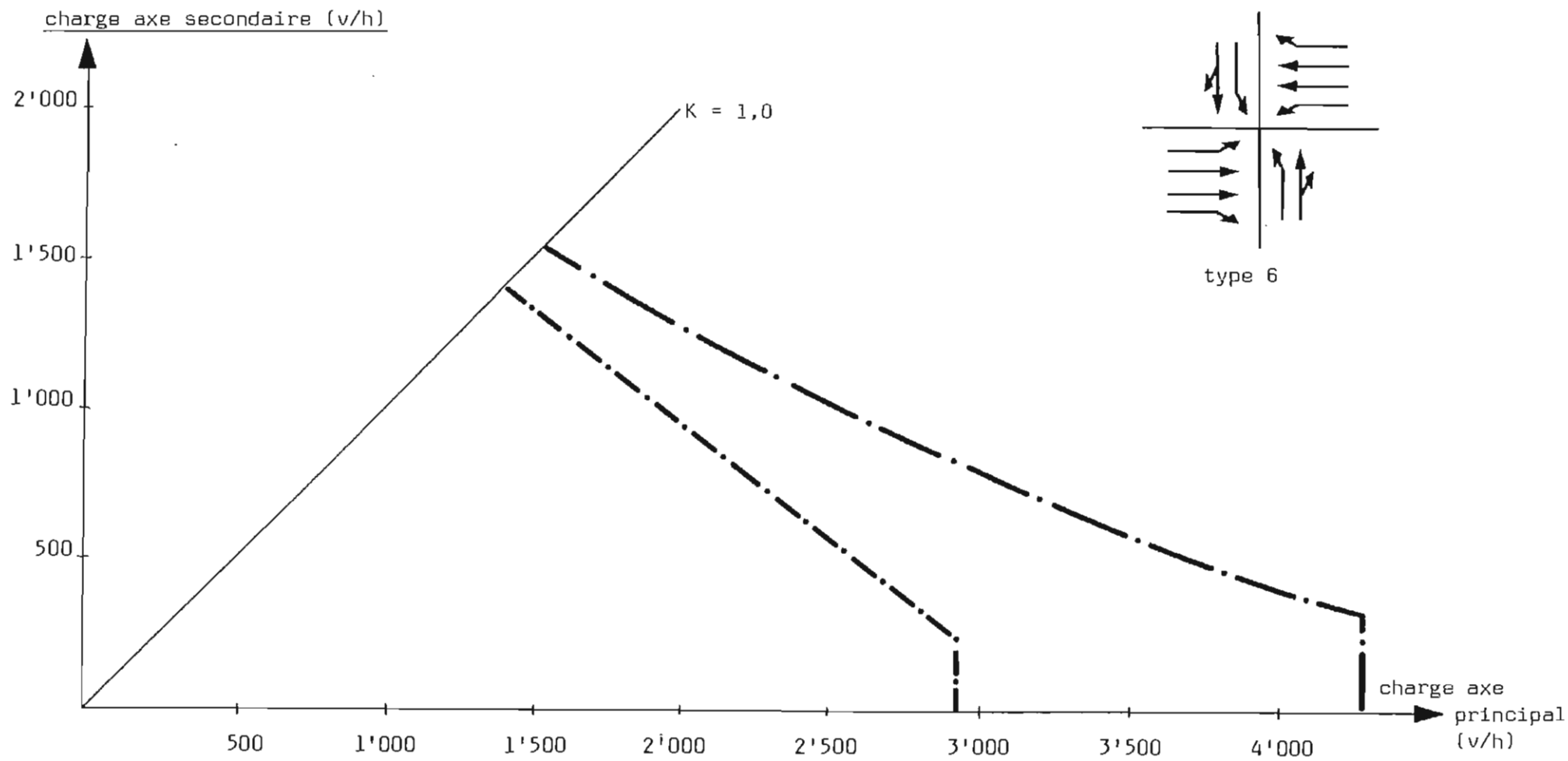
Légende: voir annexe 4 bis

Capacité d'un carrefour "4 branches" suivant le type de régulation



Légende: voir annexe 4 bis

Capacité d'un carrefour "4 branches" suivant le type de régulation



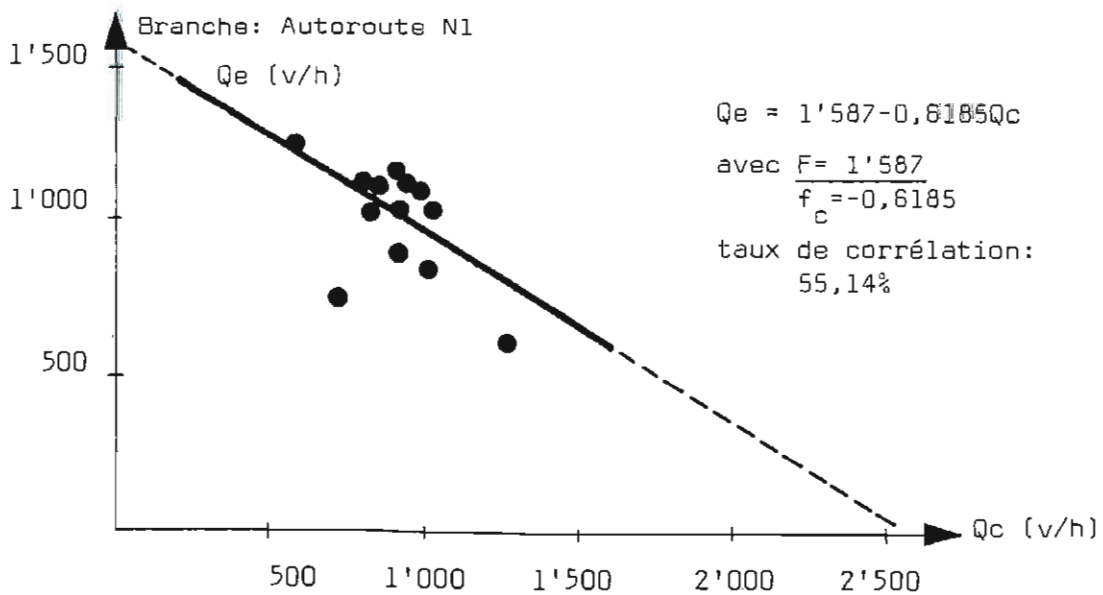
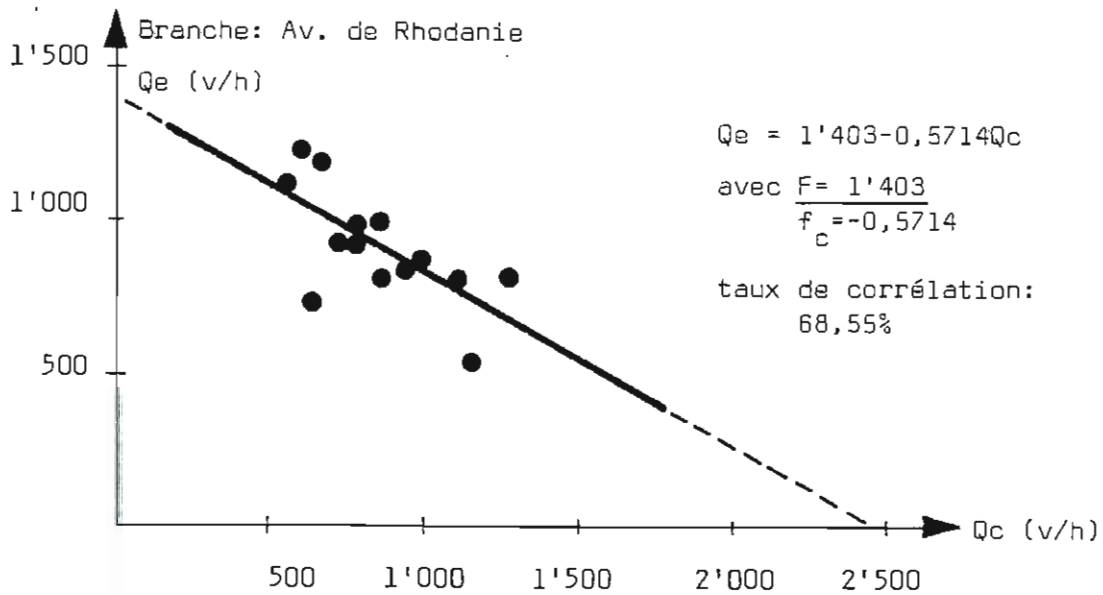
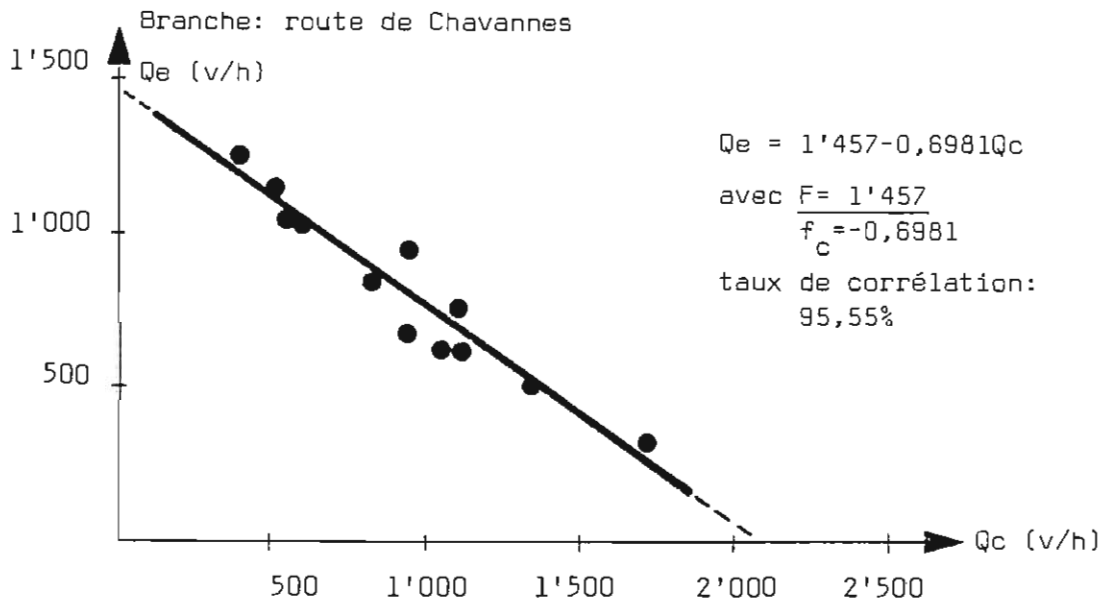
Légende: voir annexe 4 bis

type de noeud		CAPACITE HORAIRE EN V/H DE 3 TYPES DE NOEUDS A 4 BRANCHES									
		non régulé "perte de priorité"		régulation lumineuse: 2 phases				régulation lumineuse: 4 phases			
				sens équilibrés (50-50%)		sens déséquilibrés (30-70%)		sens équilibrés (50-50%)		sens déséquilibrés (30-70%)	
		cap. min.	cap. max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.
4		900	1100	1000*	1300	1200	1400*	1300	1300	1300	1300
5		900	1200	2000	2700	1700	2200	1800	2300	1500	1800
6		env.1100*	env.1200*	-	-	-	-	3100	4500	2800	3200
		pas recommandé		pas recommandé		pas recommandé					
évolution de la ca- pacité	5/4	0%	+9%	+100%	+108%	+42%	+57%	+38%	+77%	+15%	+38%
	6/4	~ +22%	~ +9%	-	-	-	-	+138%	+246%	+115%	+146%
	6/5	~ +22%	~ +0%	-	-	-	-	+72%	+96%	+87%	+78%

Légende:

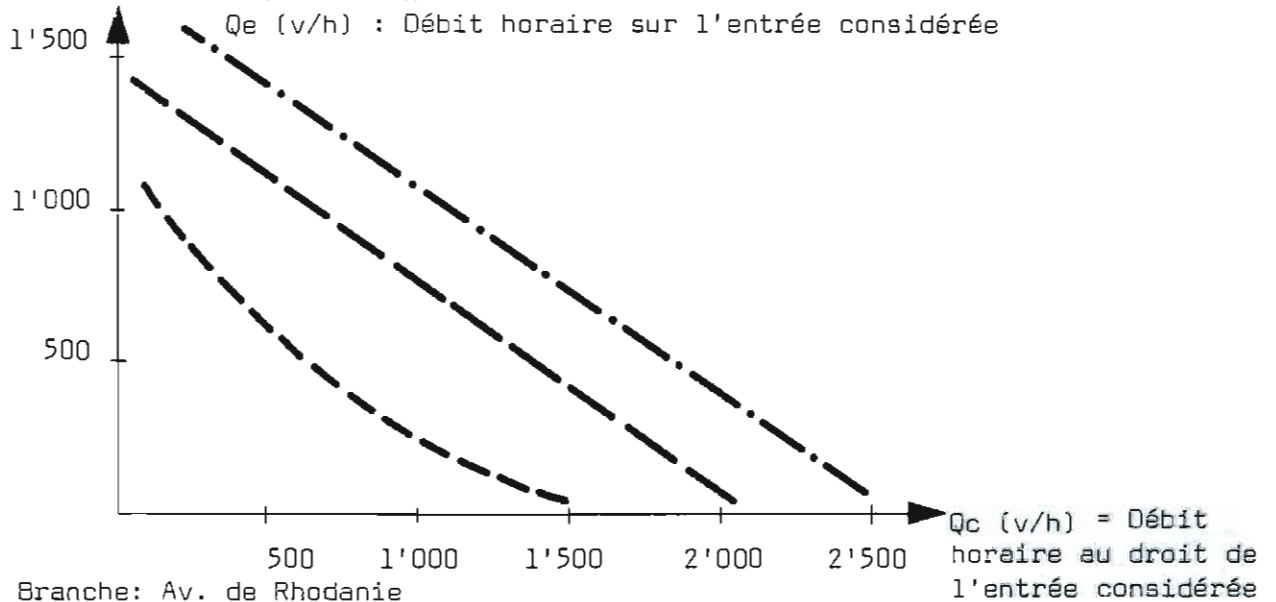
- sens de circulation équilibrés sur l'axe principal } = 50% sur chaque sens de circulation
- sens de circulation équilibrés sur l'axe secondaire } = 50% sur chaque sens de circulation
- sens de circulation déséquilibrés sur l'axe principal } = 30 ou 70% sur chaque sens de circulation
- sens de circulation déséquilibrés sur l'axe secondaire } = 30 ou 70% sur chaque sens de circulation
- \* : valeurs de capacité données avec une certaine approximation

## GIRATOIRE DE LA MALADIERE

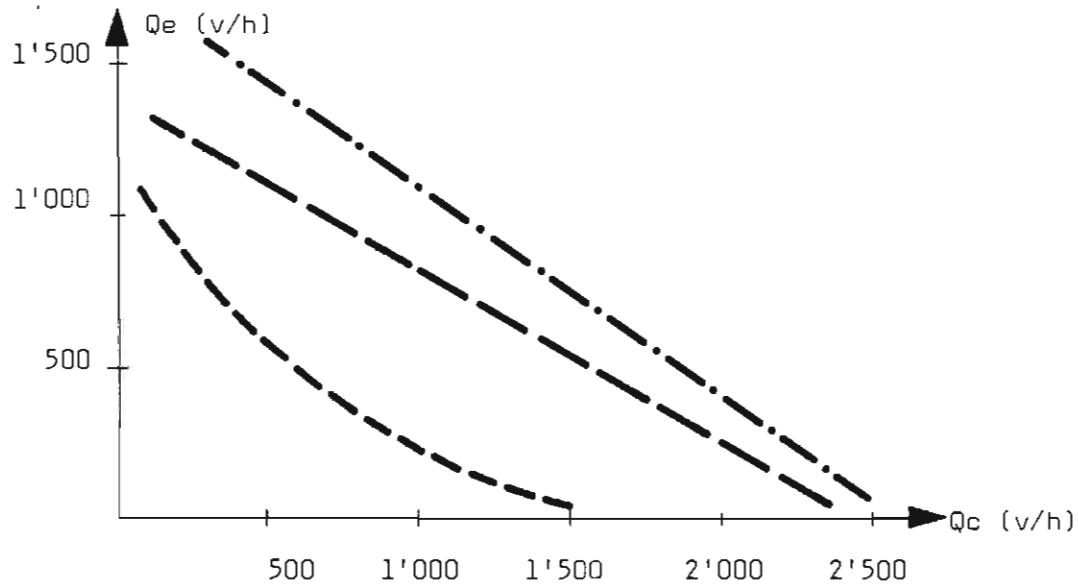
Relation  $Q_c/Q_e$  d'après les comptages effectués in situ

GIRATOIRE DE LA MALADIERE: Comparaison de la relation  $Q_c/Q_e$  d'après les comptages effectués in situ, les résultats donnés par la formule britannique et ceux fournis par la théorie de Harders.

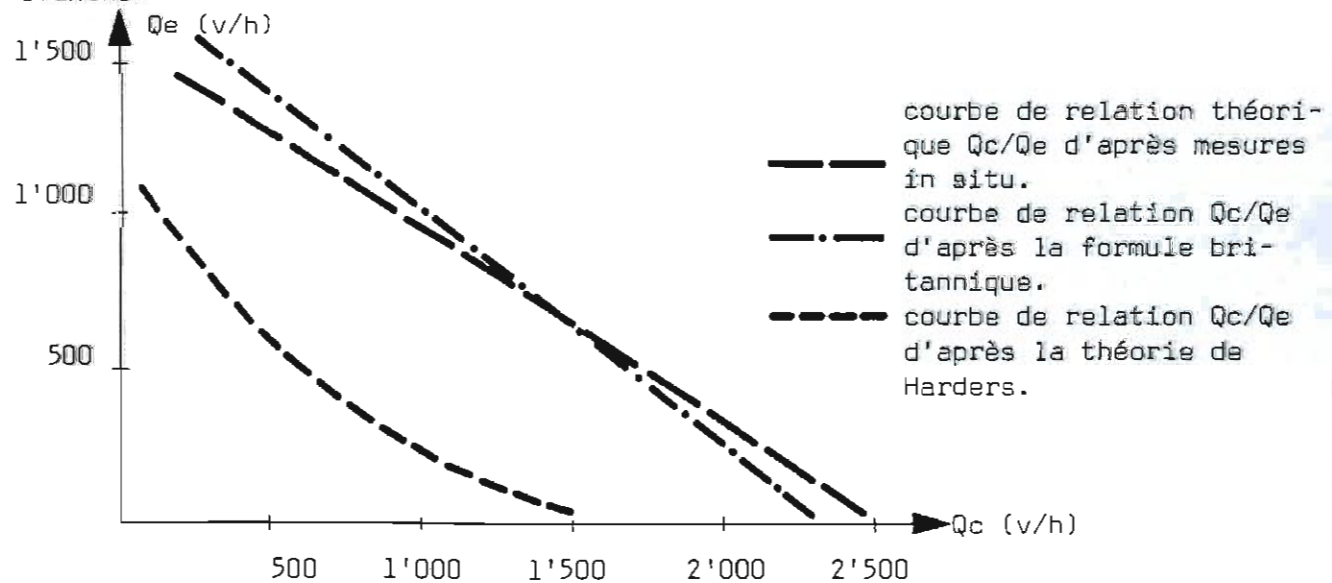
Branche: route de Chavannes



Branche: Av. de Rhodanie



Branche: Autoroute N1



Type de conflit piéton - voiture	SCHEMAS	
conflits nuls		
conflits restreints		
conflits étendus		

- (P) : axe principal
- (S) : axe secondaire
- ⚙ : clignotant sur mouvement en conflit avec les piétons
- ↔ : passage piéton

type de noeud		CAPACITE HORAIRE TOTALE (véhicules/heure)						
		non régulé "perte de priorité"	régulation lumineuse: 2 phases			régulation lumineuse: > 2 phases (3/4)		
			sens équilibrés (50-50%)	sens déséquil./cap. moyenne		sens équil. (50-50%)	sens déséquil./cap. moyenne	
				sens avec T.D. prédominant (30-70%)	sens avec T.G. prédominant (70-30%)		sens avec T.D. prédominant (30-70%)	sens avec T.G. prédominant (70-30%)
capacité moyenne	cap. moyenne			cap. moyenne				
1	noeuds à 3 branches	1000	1500	1400 peu recommandable	1300	1400	1400	1400
2		1100	2100	1800 peu recommandable	2200	2100	1700	2200
3		1300	2500	2100 à éviter	2800	2600	2000	3200
4	noeuds à 4 branches	1000	1200 peu utile	1300		1300	1300	
5		1100	2300	2000		2000	1700	
6		~ 1200 pas recomb.	pas recommandé			3800	3000	
7	giratoires* toires*	~ 4700	X			X		
8		~ 4700						

\* giratoires/perte de priorité sur les entrées

