

Description

L'invention concerne une installation pour la régulation automatique des feux de signalisation commandant le passage des véhicules à un carrefour.

A l'heure actuelle, on utilise des installations centralisées gérant le trafic dans toute une région contenant plusieurs carrefours. Ces installations ont accès aux mesures fournies par un certain nombre de capteurs, et utilisent, pour gérer l'enchaînement des configurations des feux de signalisation, des chronogrammes pré-établis. Toutes les dix minutes environ, une telle installation réévalue l'état du trafic à partir des mesures fournies par quelques capteurs sélectionnés, en général moins de dix capteurs, et à partir de ces mesures décide s'il y a lieu de changer de chronogramme. Le temps de réaction, de l'ordre de dix minutes, d'une telle installation, ne permet pas toujours une détection suffisamment rapide des premiers symptômes de congestion du trafic.

On connaît aussi des installations dites «en temps réel»; de telles installations ont la possibilité par exemple d'interrompre le déroulement régulier des phases des feux pour laisser passer un véhicule qui a été détecté arrivant sur une voie latérale lorsque ce dernier a passé sur un capteur situé en amont du carrefour. Ce dernier type d'installation ne permet pas non plus d'éviter totalement la congestion du trafic. En effet les actions de régulation, basées sur des événements parfois éphémères, obligent les différents carrefours, faisant partie d'une zone, à entreprendre des phases transitoires au détriment de la fluidité du trafic à plus long terme.

Comme on le voit, les types d'installations connus, qu'ils fonctionnent en «temps différé» ou en «temps réel» présentent un inconvénient majeur. En effet ils sont incapables à la fois de réagir suffisamment vite aux variations du trafic et de sélectionner une succession de configurations des feux de signalisation qui soit favorable à plus long terme.

La présente invention vise à combler cette lacune. Une installation selon l'invention est conforme à la revendication 1. Elle comprend des moyens d'accès à une base de temps lui permettant de déterminer une succession de cycles de relativement courte période. Elle comprend des moyens pour compter ou estimer le nombre de véhicules passant durant chacun desdits cycles par chacun des points d'un ensemble de points prédéterminés situés à des distances connues en amont du carrefour. Elle comprend enfin une unité de traitement numérique pour effectuer lors de chacun desdits cycles les opérations suivantes:

— à partir du nombre de véhicules qui ont passé pendant chacun des cycles précédents par des points situés à des distances connues en amont du carrefour sur chacune de ses voies d'accès, déduire le nombre de véhicules qui vont se présenter au carrefour durant chacun des cycles suivants, jusqu'à un nombre de cycles fixé d'avance et supérieur à un;

— à partir de ces déductions, choisir pour chacun desdits cycles suivants, une configuration à donner à la signalisation telle que l'enchaînement de

configurations ainsi déterminé minimise la moyenne au cours du temps de la somme des longueurs des files d'attente à toutes les entrées du carrefour,

— à la fin de chaque cycle, donner à la signalisation la configuration qui vient d'être choisie pour le cycle suivant.

L'unité de traitement numérique peut naturellement donner, consécutivement, à plusieurs cycles la même configuration. Ce principe de fonctionnement a l'avantage de tenir compte de l'évolution du trafic à relativement long terme (20 ou 30 cycles par exemple), tout en réévaluant la situation à chaque cycle (toutes les 5 ou 6 secondes par exemple), de façon à faire face à tout brusque changement dans la densité du trafic. Ce principe de fonctionnement basé sur une planification pour un nombre de cycles constant dans l'avenir sera appelé ici principe de «l'horizon glissant». Comme indiqué ci-dessus, la grandeur que l'installation cherche à minimiser est la moyenne au cours du temps de la somme des longueurs des files d'attente à toutes les entrées du carrefour. On peut se convaincre que le choix de ce critère de minimisation est judicieux, en effet, s'il était possible de ramener à zéro toutes les files de véhicules arrêtés, la moyenne ci-dessus serait égale à zéro, ce qui signifierait en pratique, que tout véhicule arrivant à l'intersection trouverait le feu au vert et poursuivrait sa route sans retard.

Précisons finalement que ledit compte, des véhicules passant par des points en amont du carrefour, peut éventuellement être un compte approximatif, comme c'est le cas dans l'exemple qui sera décrit en détail plus loin.

Dans ce qui suit, une réalisation particulière de l'invention est décrite plus en détail, à titre d'exemple, à l'aide des dessins annexés.

La fig. 1 est un diagramme d'opérations relatif au mode de fonctionnement de l'installation.

La fig. 2A est une représentation schématique d'un carrefour dont les feux sont commandés par l'installation.

La fig. 2B est une représentation schématique de la disposition des caméras vidéo équipant une installation particulière, capable de commander les feux de la fig. 2A.

La fig. 3 est un schéma synoptique de l'installation.

La fig. 4 est un schéma d'un module d'acquisition vidéo de cette installation.

La fig. 5 est un schéma plus détaillé d'une partie de ce module.

La fig. 6 est un schéma d'un module de stockage des informations de l'installation.

La fig. 7 est un schéma plus détaillé d'un des quatre sous-modules de ce module de stockage des informations.

La fig. 8 est un chronogramme des tensions de commande dans un de ces sous-modules.

La fig. 9 est un schéma des liaisons entre l'unité de traitement numérique et le reste de l'installation.

La fig. 10 est un schéma de l'interface entre l'unité de traitement et les feux de signalisation.

La fig. 11A est un graphe de l'état du compteur de déplacement en fonction de la fluidité du trafic.

La fig. 11B est un graphe de l'état du compteur d'occupation en fonction de la fluidité du trafic.

Dans l'installation à laquelle correspond la fig. 1, l'horizon glissant est à 19 cycles dans le futur et la durée d'un cycle est de six secondes.

Pour effectuer son travail, l'unité de traitement fonctionne selon un plan. Voici la démarche permettant d'élaborer un tel plan.

Pour permettre la mise sous forme mathématique du problème, nous introduisons maintenant les notations suivantes:

k : un indice permettant de numérotiser les cycles successifs.

j : un indice permettant de numérotiser les différentes voies d'accès au carrefour.

NF (nombre de files): le nombre total de voies d'accès au carrefour.

Les feux tricolores à un carrefour qui comporte un nombre donné (NF) de voies d'accès, peuvent prendre un nombre limité de configurations. Parmi celles-ci, une partie seulement sont permises, par exemple, dans le cas du carrefour représenté sur la fig. 2, la configuration dans laquelle les quatre feux sont verts entraînerait des conséquences catastrophiques. Cette configuration n'est donc pas permise. Introduisons encore les notations suivantes:

NC: le nombre de configurations permises.

U_k : le numéro de la configuration en vigueur durant le cycle k . On a donc:

$$U_k \in \{0, 1, \dots, NC\}$$

Comme nous l'avons dit, il s'agit de sélectionner pour les prochains cycles un enchaînement de configurations des feux de signalisation qui minimise la moyenne au cours de ces cycles de la somme des longueurs des files d'attente à toutes les entrées du carrefour. Il est équivalent de minimiser la somme sur tous ces cycles du nombre total des véhicules dans les files d'attente à toutes les entrées du carrefour au commencement de chaque cycle. Notons encore:

x_j^k : le nombre de véhicules dans la file d'attente j au commencement du cycle k .

Nous pouvons maintenant écrire la somme qui nous intéresse sous la forme:

$$S = \sum_k \sum_{j=1}^{NF} x_j^k$$

Nous définissons encore:

D_i^k : le nombre de véhicules qui ont le temps de démarrer et de franchir la ligne des feux pendant le cycle k à partir de la file j .

A_i^k : le nombre de véhicules qui atteindraient la ligne des feux durant le cycle k si il n'y avait ni ralentissement ni file d'attente sur la voie d'accès j . L'évolution du nombre de véhicules en files d'attente est approchée par la relation itérative:

$$x_j^{k+1} = \text{Max}(x_j^k + A_j^k - D_j^k, 0)$$

L'expression «Max» est là parce que le nombre de voitures ne peut jamais être inférieur à zéro.

Les paramètres D_i^k peuvent être établis une fois pour toutes car ils ne dépendent pas de la densité du trafic. Ces paramètres dépendent en revanche de la couleur des feux durant le cycle concerné. En particulier $D_i^k = 0$ lorsque le feu est rouge.

Les paramètres A_i^k sont déterminés à partir du nombre de véhicules qui ont passé par des points en amont du carrefour pendant les cycles précédents. La détermination des paramètres A_i^k peut également être mise sous forme mathématique à l'aide des notations suivantes:

d : la distance que parcourt un véhicule sur la voie d'accès au carrefour durant un cycle en l'absence de ralentissement.

Nous pouvons maintenant scinder le tronçon de route s'étendant en amont de la ligne de feux en segments successifs de longueur d .

Nous notons maintenant:

n : l'indice permettant de numérotiser les segments contigus de longueur d , en commençant par $n = 1$ pour le segment situé directement en amont de la ligne des feux.

Le nombre de véhicules qui quittent le segment n durant le cycle k est, en l'absence de ralentissement, égal au nombre de voitures qui quittent le segment $n-1$ durant le cycle $k+1$. Ce qui correspond à la relation itérative suivante:

$$nA_i^k = n-1A_i^{k+1}$$

$$\text{avec: } 1A_i^k = A_i^k$$

A partir de cette relation il est possible de déduire, à partir du nombre de véhicules sortant du segment n durant le cycle k , le terme A_i^{k+n-1} .

Durant le cycle $k = 1$ par exemple, l'unité de traitement peut calculer, à partir du nombre de véhicules qui sont entrés dans le segment n durant chacun des cycles antérieurs ($k \leq 0$) la somme

$$S = \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^{NF} x_j^k$$

Puisque les termes D_i^k dépendent de l'état des feux durant le cycle k concerné, il existe autant de sommes S différentes possibles qu'il y a d'enchaînements différents de configurations des feux entre le début du cycle $k = 1$ et la fin du cycle $k = n$. En effectuant chacune de ces sommes l'unité de traitement va repérer la plus petite et sélectionner l'enchaînement de configurations des feux qui lui correspond.

Outre le problème des configurations interdites décrit plus haut, l'installation doit respecter d'autres contraintes. En particulier, la durée pendant laquelle une configuration reste en vigueur doit être bornée inférieurement et supérieurement. Ceci pour éviter de trop pénaliser un faible courant. Pré-

cisons encore que tout écart entre l'évolution réelle et les prévisions peut être détecté en comparant le nombre de voitures comptées à moindre distance des feux (éventuellement le nombre de véhicules arrêtés dans les files d'attente si l'installation est équipée pour cela) et le nombre de voitures qui a été calculé à partir des mesures faites plus en amont. En outre, pour éviter que l'unité de traitement numérique n'opte pour des configurations qui sont défavorables à la fluidité du trafic à long terme (au-delà de l'horizon, cycle au-delà de n), on peut ajouter à la somme un terme correctif empirique.

Il est utile de préciser maintenant que l'invention englobe aussi bien le cas où l'on opère en minimisant la longueur des files, que celui où l'on opère en minimisant le nombre de véhicules dans ces files.

L'installation qui va être maintenant décrite en détail est prévue pour commander un carrefour qui comporte quatre voies d'accès, comme celui de la fig. 2. Dans cette réalisation, les moyens permettant de compter les véhicules sont des caméras vidéo, qui sont disposées comme indiqué sur la fig. 2B. L'utilisation de caméras vidéo permet d'éviter les coûts prohibitifs qu'entraîne la mise en œuvre de lignes de mesure avec de nombreux capteurs. La fig. 3 est un schéma d'ensemble de l'installation (sans les caméras et les feux) montrant les différents composants de l'installation.

1) Digitalisation de l'image vidéo.

On voit sur le schéma synoptique de l'installation (fig 3) l'élément 1 qui permet l'acquisition d'un signal vidéo. Quatre entrées vidéo sont disponibles permettant ainsi de visualiser et donc de prendre en compte l'ensemble des paramètres du carrefour.

Les liaisons 6 et 7 permettent le dialogue avec l'élément 3 (CPU).

La liaison 10 transfère des informations digitalisées vers l'élément 2.

La fig. 4 montre plus en détail l'acquisition vidéo.

a) Sur la fig. 4 on peut voir que le signal vidéo est tout d'abord préamplifié 21 avant d'être introduit dans le multiplexeur 22. La sortie du multiplexeur 29 est sélectionnée par le CPU 27 et 28. Ce signal est d'une part amplifié 23 avant d'attaquer le convertisseur analogique/numérique 25 et d'autre part décomposé 24 pour obtenir une sortie synchro trame 30 et une sortie synchro ligne 31. Le convertisseur A/N 25 délivre un signal digitalisé sur 4 bits 17. Sa fréquence d'échantillonnage 15 ainsi que la validité des données en sortie 16 sont engendrées par une logique de commande 32. La définition de l'image numérisée étant de 128×128 , la logique de commande 32 fournit un bus d'adresses sur 14 bits 18, ainsi que des signaux de contrôle 33, 34, 19 pour les éléments 2, 3.

b) La fig. 5 détaille la logique de commande qui pilote les éléments 3, 2, 25. L'installation traitera successivement les signaux issus de chacune des caméras, le traitement total de l'image d'une caméra dure 80 ms soit 4 trames. Cette durée est donc décomposée en 4 périodes «T0», «T1», «T2», «T3». La période «T0» correspond à l'acquisition de l'image, «T1» et «T2» au traitement CPU 3, «T3» au ra-

fraîchissement éventuel de l'image de référence. La décomposition s'effectue à l'aide d'un compteur 37 incrémenté par la synchro trame 30. La sortie de ce compteur délivre des périodes qui sont envoyées 33, 34, 19' et 19'' au CPU 3 ainsi qu'à l'élément de stockage des informations 2.

Les 14 bits d'adresses sont issus de 2 compteurs 35 et 36. Le premier compteur 35 incrémenté par un oscillateur interne 40 permet d'une part de générer un cycle de 8 états 42, 43 et 44 entre chaque incrémentation d'adresses, et d'autre part de fournir les 7 adresses poids forts 41. Son incrémentation est faite sur la synchro ligne 31. Ces compteurs sont verrouillés lorsqu'ils atteignent leur valeur finale 45, 46 et 47, 48. Leur remise à zéro permet de les relancer 30 et 31. Durant la période «T0» les données du convertisseur A/N 25 sont validées en sortie 38. L'échantillonnage s'effectue sur les cycles «0» 39 de la période «T0».

On peut naturellement utiliser tout autre type d'unité d'acquisition ayant des performances permettant de digitaliser l'image vidéo avec une définition et une vitesse suffisantes tout en fournissant des moyens pour la synchronisation des diverses opérations de l'installation.

II) Stockage des informations.

Sur la fig. 3 l'élément 2 (stockage d'information) permet de mémoriser les données nécessaires au traitement CPU 3. Les liaisons 8, 9, 11, permettent le transfert de ces informations.

La fig. 6 détaille les types d'informations mémorisées.

a) La fig. 6 nous montre le découpage en éléments 2A, 2B, 2C, 2D de la fonction Stockage d'Informations. Chaque élément correspond à la base de données d'une caméra. Les bus d'adresses 18, de données 17 et de contrôles 20, sont envoyés sur les éléments 2A, 2B, 2C, 2D l'un d'entre eux étant sélectionné par le CPU 9A, 9B, 9C, 9D. Les informations issues de l'élément sélectionné sont envoyées au CPU 8A, 8B, 8C, 8D.

b) La fig. 7 nous décrit l'un de ces éléments. Parallèlement à la mémorisation de l'image 17, 18, 49 deux traitements s'effectuent afin de prétraiter les informations qui seront lues par le CPU 8', 8''. Le premier traitement consiste à faire la différence entre deux images successives 17, 51, 52. Plus précisément, l'élément 52 fournit en sortie la différence entre les deux nombres de quatre bits qui correspondent aux niveaux de gris d'un pixel donné dans deux images successives. Cette différence est seuillée par l'élément 54 pour éliminer les faibles variations qui ne sont pas significatives. En sortie de l'élément 54 on obtient le signal suivant:

— Valeur 0 — — Le niveau de gris du pixel n'a pas changé de façon significative.

— Valeur 1 — — Le niveau de gris du pixel a changé.

Le signal de sortie de l'élément 54 incrémente un compteur 57. Une fois les opérations ci-dessus effectuées pour tous les pixels constituant une trame, le compteur 57 nous fournit une représentation quantifiée des déplacements dans une image. Le second traitement effectue la différence 58 entre

l'image courante 17 et l'image de référence 59, 60, seuille la valeur obtenue 61, 62 et incrémente éventuellement un compteur 63, 64, 65. Un séquenceur permet d'orchestrer les commandes de lectures et d'écritures des RAM 66, 67, de mettre en forme les signaux 68, 69, 70, 71 et d'incrémenter des compteurs 57, 65, tout cela en fonction des cycles (0 à 7) et des périodes («T0» à «T3») fournis par la fonction acquisition d'image. L'image de référence représentant une vue de la route sans véhicule, celle-ci doit tout d'abord être initialisée 72 et ensuite rafraîchie pour tenir compte des fluctuations de luminosité dans la journée 9.

L'installation utilise pour accomplir cette dernière opération les périodes au cours desquelles il n'y a pas de véhicules dans le champ des caméras. Les signaux 9', 9'' de remise à zéro des compteurs sont commandés par le CPU.

c) La fig. 8 nous donne le chronogramme des sorties du séquenceur 73.

Les signaux clk1 et clk2 sont les clocks des bascules D (fig. 6, 55 et 63), clr1 et clr2 sont les remises à zéro. Les valeurs du cycle et de la période sont données par le décodage des lignes 41, 42, 43 et 19', 19'' de la fig. F.

III Unité de traitement.

L'élément 3 de la fig. 3 (CPU) récolte les données 11, 12, 13 nécessaires à la mesure de fluidité du trafic dans la zone de contrôle. Les éléments 4 et 5 assurent les liaisons avec l'extérieur. La fig. 9 précise l'intégration de cet ensemble.

Sur la fig. 9 nous voyons que le calculateur 3 recueille 3 types d'informations.

- Données prétraitées provenant des caméras 8
- + Indicateurs de déplacement 8'
- + Indicateurs du taux d'occupation 8''
- Données provenant du contrôleur de carrefour 12'
- + Etat des feux du carrefour 50
- Données provenant des autres contrôleurs de carrefours et du PC central (liaison Modem) 13'
- + Etat des feux des carrefours voisins 26
- + Consigne du PC 26

Les valeurs des compteurs de déplacement et d'occupation sont représentatives de l'état du trafic. Les fig. 11a et 11b représentent la relation entre l'état des deux compteurs et l'état du trafic. La relation entre l'état des deux compteurs et la valeur à donner à un paramètre $^nA_i k$ est établie empiriquement puis pré-programmée dans le CPU. Le CPU peut donc, à partir des «indicateurs de déplacement et d'occupation» ci-dessus, déterminer tous les coefficients $^nA_i k$ dont il a besoin comme paramètres pour déterminer les enchaînements de configurations des feux, conformément au plan décrit précédemment.

Signalons finalement qu'une installation telle que décrite peut soit être utilisée de manière indépendante pour commander un carrefour, soit être intégrée dans un ensemble plus vaste, de type classique, commandant tous les carrefours dans une région donnée. Dans le second cas, un ordinateur

central de cet ensemble pourra imposer des stratégies tenant compte de la situation dans son ensemble, tout en laissant une autonomie locale aux installations commandant certains carrefours, lorsque le niveau général de la circulation dans l'ensemble le permet. Dans ce cas, l'ordinateur central comparera régulièrement les flux de véhicules détectés ou mesurés avec des valeurs pré-enregistrées sous forme de tables de vérités et décidera en conséquence s'il y a lieu de maintenir en fonction l'installation ou de la rendre inopérante et de s'y substituer pour réaliser temporairement une commande des feux à tous les carrefours de l'ensemble, selon un principe connu. Ceci correspond en particulier au cas de l'introduction progressive de l'installation dans un système plus vaste.

Revendications

1. Installation pour la régulation automatique des feux de signalisation commandant le passage des véhicules à un carrefour, caractérisée en ce qu'elle comporte: une base de temps fournissant une succession de cycles, des moyens pour fournir un compte du nombre de véhicules passant durant chacun desdits cycles par chacun des points d'un ensemble de points prédéterminés situés à des distances connues en amont du carrefour, et une unité de traitement numérique pour effectuer lors de chacun desdits cycles les opérations suivantes: à partir du nombre de véhicules qui ont passé pendant chacun des cycles précédents par des points situés à des distances connues en amont du carrefour sur chacune de ses voies d'accès, déduire le nombre de véhicules qui vont se présenter au carrefour durant chacun des cycles suivants, jusqu'à un nombre de cycles fixé d'avance et supérieur à un, à partir de ces déductions, choisir pour chacun desdits cycles suivants une configuration à donner à la signalisation, telle que l'enchaînement de configurations ainsi déterminé minimise la moyenne au cours du temps de la somme des longueurs des files d'attente à toutes les entrées du carrefour, à la fin de chaque cycle, donner à la signalisation la configuration qui vient d'être choisie pour le cycle suivant.

2. Installation selon la revendication 1, caractérisée en ce que lesdits moyens pour fournir un compte du nombre de véhicules passant durant chacun desdits cycles par des points en amont du carrefour, comprennent des caméras vidéo.

3. Installation selon la revendication 1, caractérisée en ce qu'elle comporte également des moyens pour déterminer les longueurs des files de véhicules arrêtés au carrefour.

4. Installation selon la revendication 3, caractérisée en ce que lesdits moyens pour déterminer les longueurs des files de véhicules arrêtés au carrefour, comprennent des caméras vidéo.

5. Installation selon la revendication 4, caractérisée en ce que chaque caméra vidéo est placée de façon à ce que son champ englobe l'intégralité d'une voie d'accès au carrefour de la ligne de feux jusqu'au plus éloigné desdits points situés à des distances connues en amont du carrefour.

FIGURE 1

PRINCIPE DE L'HORIZON GLISSANT

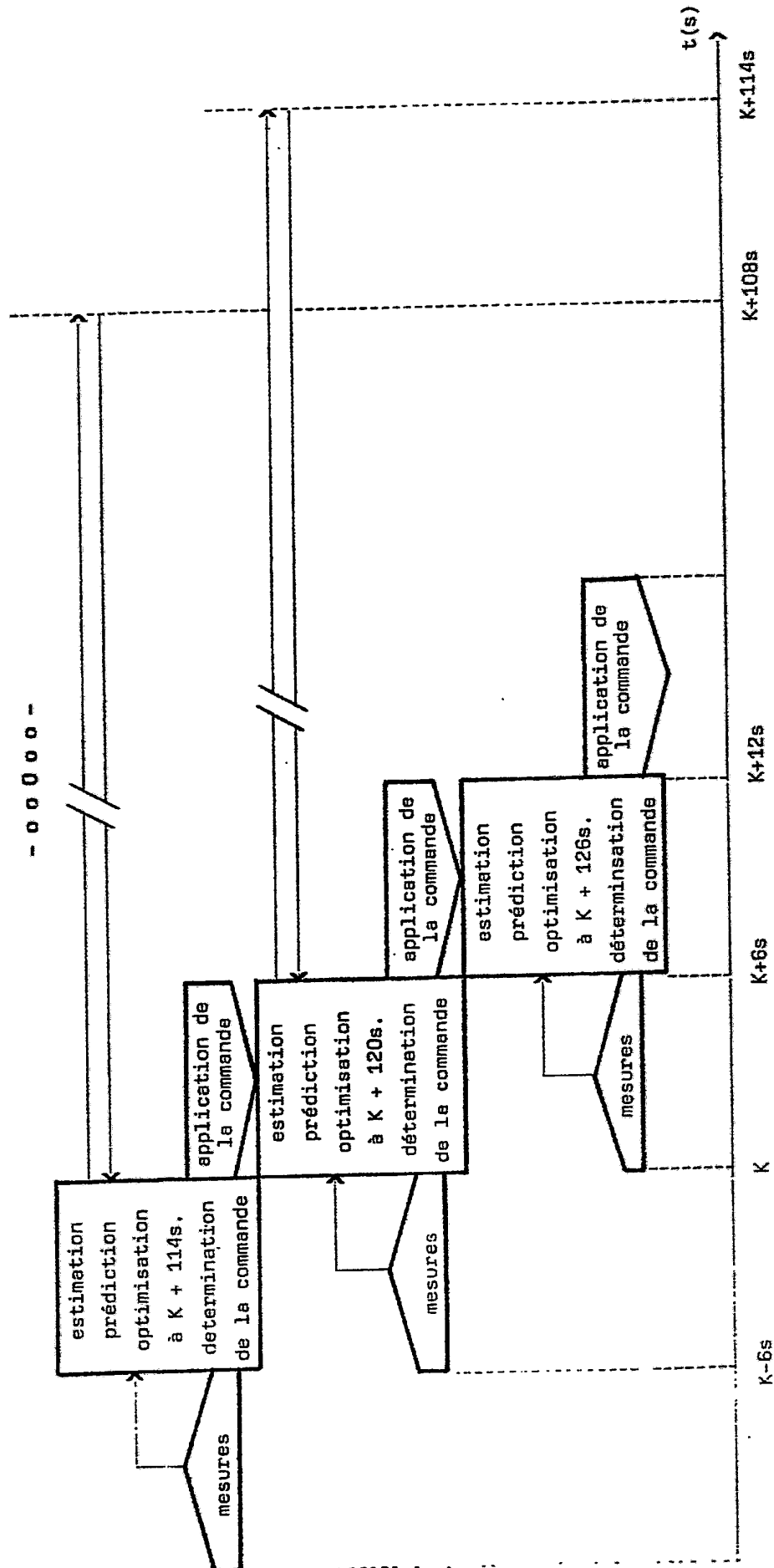
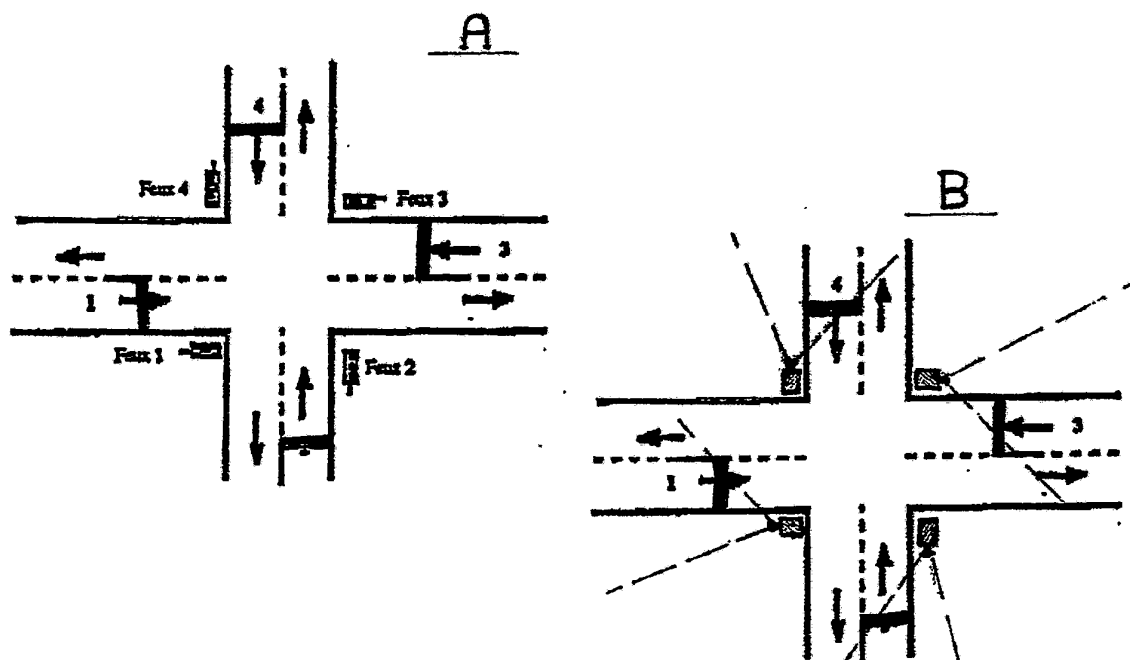
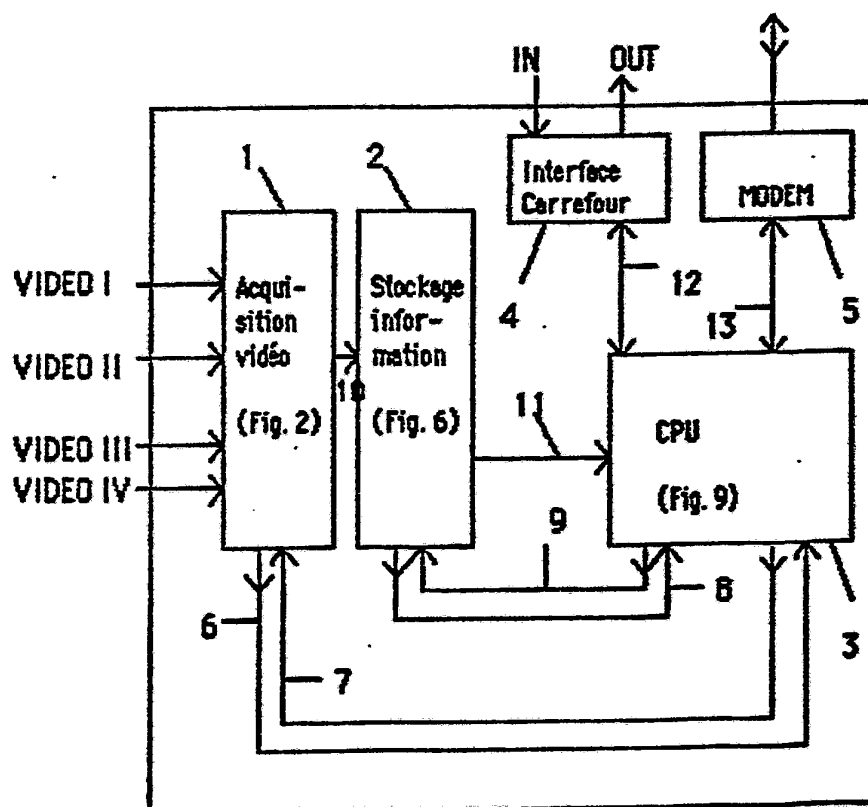


FIGURE 2FIGURE 3

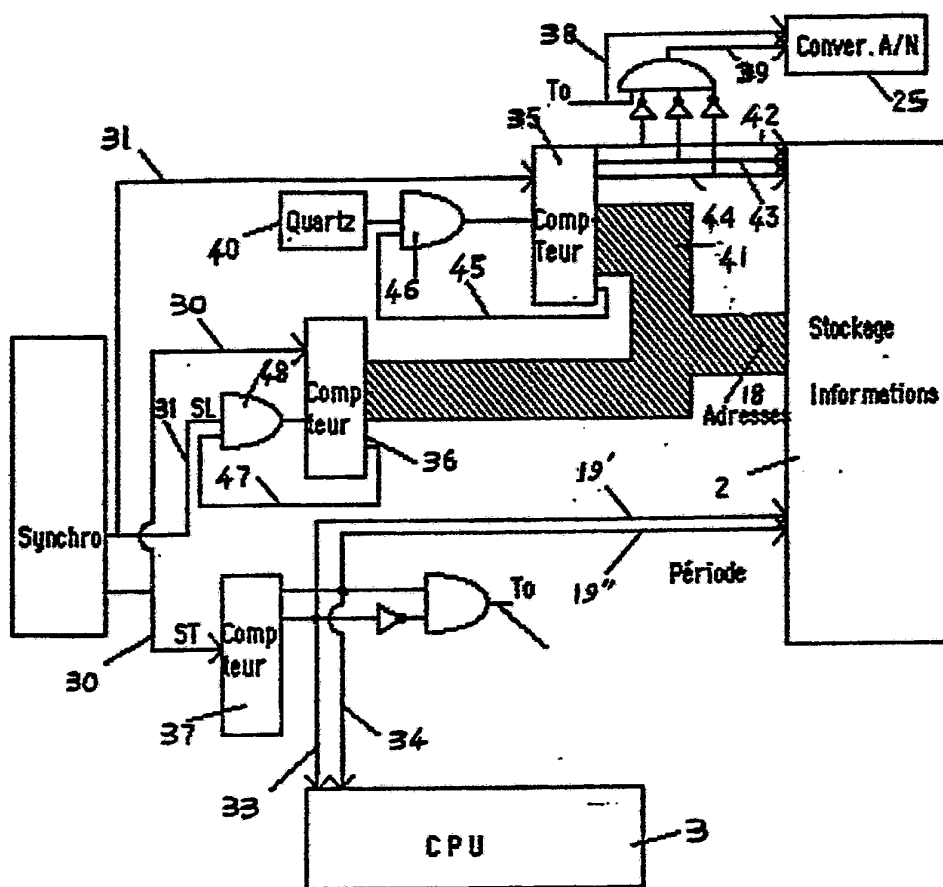


FIGURE 11A

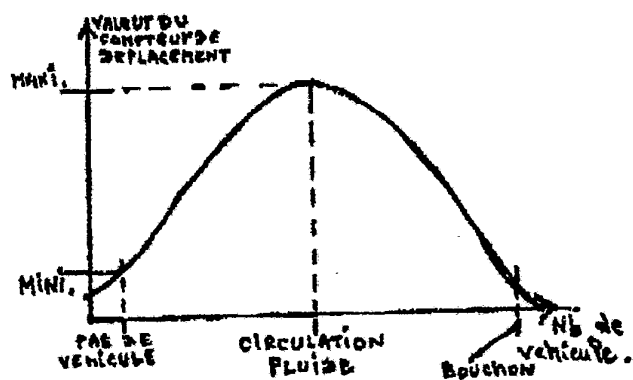


FIGURE 11B

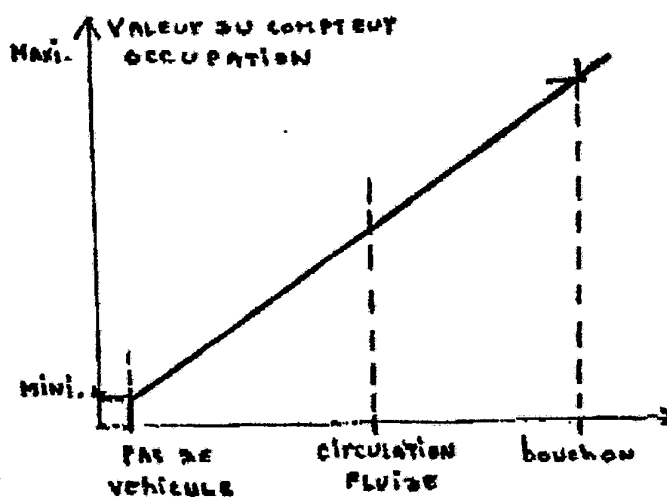


FIGURE 7

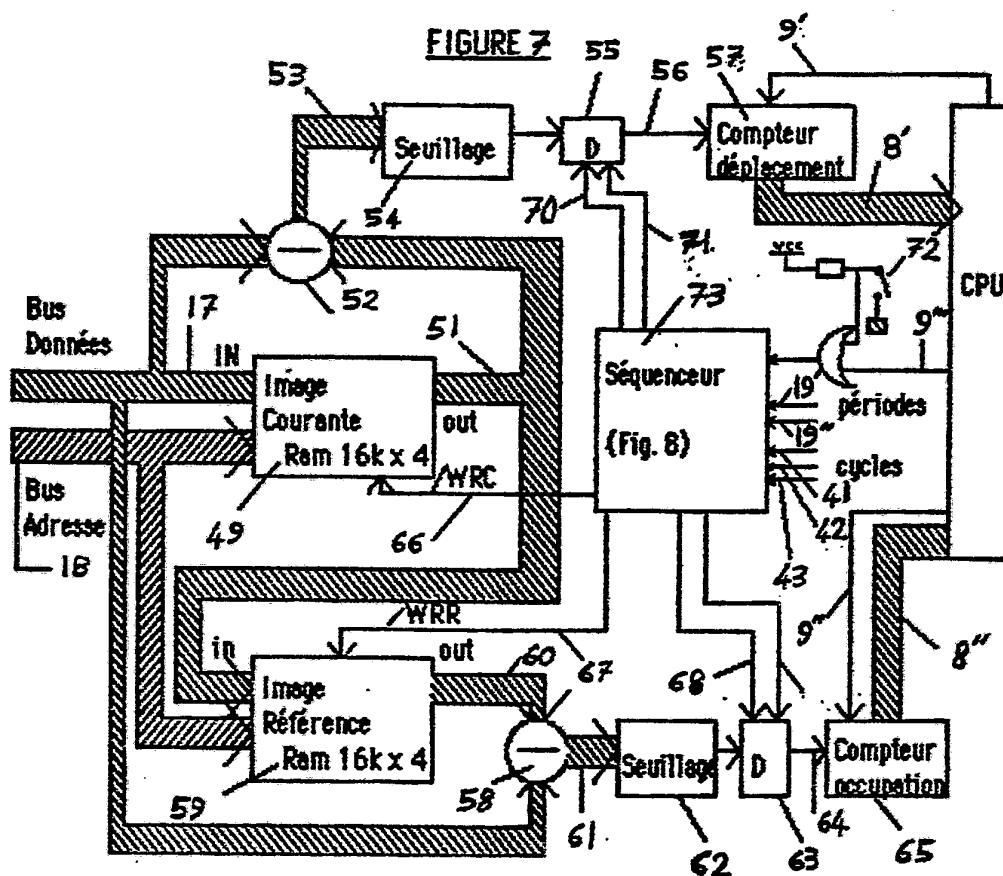


FIGURE 8

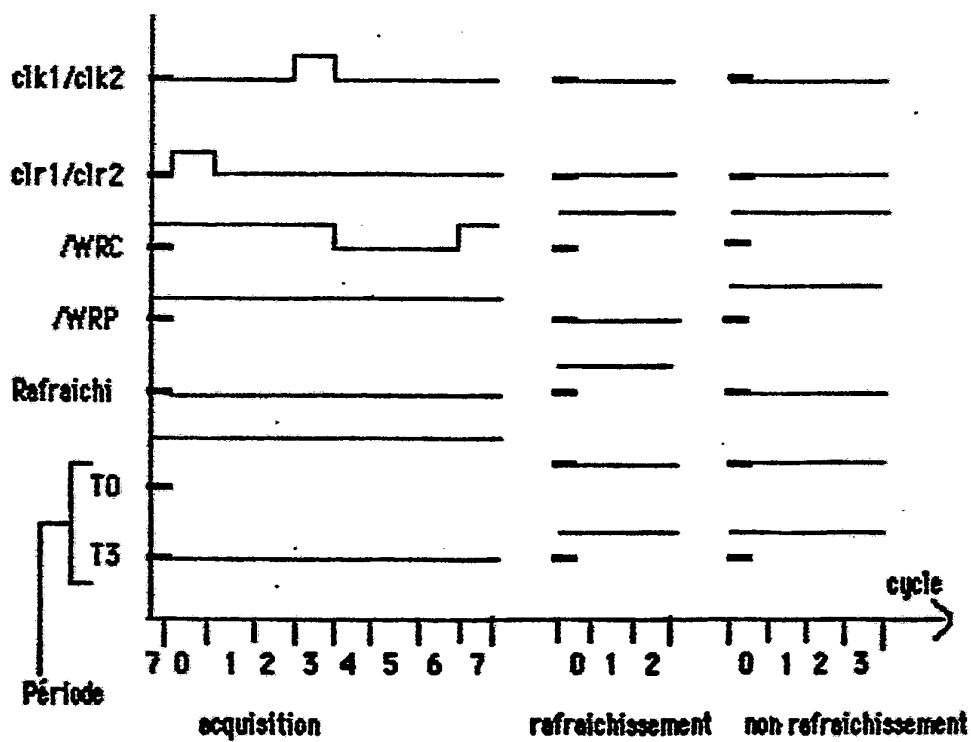


FIGURE 9

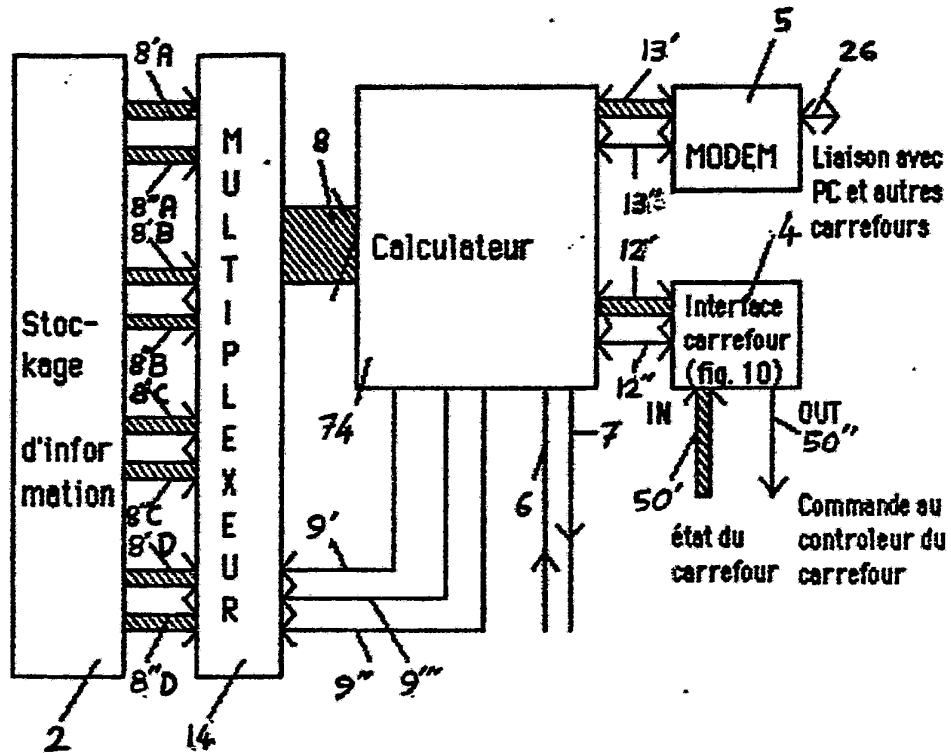


FIGURE 10

