

Surveillance des conditions de trafic autoroutier

Méthode d'analyse temporelle du bruit émis par le trafic automobile

Pierre CHARLET
Technicien supérieur Génie physique
Centre d'études techniques de l'Équipement de Lyon
Laboratoire régional des Ponts et Chaussées de Lyon

RÉSUMÉ

Les perturbations du trafic autoroutier doivent pouvoir être détectées dans les délais les plus brefs, quelle qu'en soit la situation. Il faut ainsi tendre vers une surveillance des conditions de trafic quasi ininterrompue.

La solution proposée dans cet article consiste à analyser en permanence les caractéristiques du bruit émis par la circulation.

Le détecteur, conçu à cet effet, est situé en retrait de la barrière de sécurité, lieu où le niveau de bruit généré par la circulation est très prédominant sur toute autre source sonore.

Les avantages de cette solution sont le faible coût du détecteur et son installation totalement extérieure à la chaussée.

Les résultats présentés sont prometteurs. Le phénomène analysé, corrélé à la vitesse du flot de circulation, permet de détecter toutes les périodes de ralentissement.

MOTS CLÉS : 73 - *Trafic - Autoroute - Surveillance - Continu - Bruit - Capteur - Temps (durée) - Caractéristiques - Accotement - Corrélation (math., stat.) - Vitesse.*

La circulation automobile autoroutière peut souvent être comparée au flot tumultueux d'un fleuve. L'écoulement normal des flux dépend, pour l'un, de la section de son lit façonnée au fil des millénaires, pour l'autoroute de la largeur de sa chaussée, étudiée en fonction de l'ampleur des débits moyens attendus, du nombre et de l'importance des bretelles d'accès, comparables aux affluents. Cette analogie se révèle cependant imparfaite lorsque les débits augmentent. Alors que les eaux du fleuve ont le pouvoir d'échapper à l'emprisonnement, l'impossible débordement des usagers forme une procession de véhicules.

Le mécanisme générateur d'une perturbation du trafic est immuable. Dans un premier temps, l'afflux d'usagers provoque une augmentation graduelle du débit de véhicules, sans perte significative de la vitesse du flot. Puis, l'afflux persistant, le point de saturation de la chaussée est atteint, ce qui entraîne une légère perte du débit, mais surtout une chute importante de la vitesse du flot. Le processus est alors entretenu tant qu'un apport de véhicules subsiste en amont. Il peut être éventuellement aggravé par la pression des usagers désireux de pénétrer sur la voie par les accès restés ouverts en aval. La perturbation est alors formée. Nul ne sait quelle en sera la durée. Ces entraves à la libre circulation, aux apparitions imprévues hors sites habituels, généralement proches des grandes agglomérations, outre la gêne, l'impatience et la fatigue qu'elles suscitent, peuvent pour ces mêmes raisons, constituer une atteinte à la sécurité des usagers.

Ces éléments justifient les recherches entreprises pour concevoir un système de surveillance ininterrompu permettant de détecter rapidement toute formation de retenue afin de prendre les mesures nécessaires pour en éviter la prolongation.

Le procédé décrit dans ces lignes, qui fait l'objet d'un brevet déposé par l'État français, exploite comme source d'informations l'évolution temporelle du bruit émis par la circulation automobile. Le principe est basé sur l'analyse de la dynamique du bruit capté à faible distance de la chaussée. Cette grandeur est éminemment variable suivant l'état de fluidité de la circulation, comme chacun peut le constater lors de brèves périodes d'observation.

Le détecteur de perturbations construit sur ce principe est un appareil de faible encombrement et peu coûteux. Placé en retrait de la barrière de sécurité, son installation est rapide et n'occasionne aucune gêne aux usagers. Comme tout autre dispositif de surveillance, le détecteur transmet ses informations par l'intermédiaire d'un réseau de communication. Le système proposé offre ainsi la possibilité de multiplier les points de détection, afin de tendre vers une surveillance quasi continue d'un axe autoroutier, ce que ne permettent pas les moyens existants, caméras vidéo ou boucles de comptages, très performants, mais d'un coût trop élevé pour être multipliés tout au long d'un itinéraire.

Principe de l'analyse du bruit émis par la circulation

Le principe de détection acoustique des perturbations de trafic est fondé à partir des éléments suivants :

➤ la position optimale du détecteur :

La signature acoustique émise par un véhicule évolue entre deux niveaux distincts :

- l'un élevé généré au passage du véhicule au droit du microphone (L_{max}),
- le second, de valeur très inférieure, correspond au niveau de bruit ambiant sur le site en l'absence de véhicule proche (L_{min}).

On démontre que l'écart entre ces deux niveaux devient maximum, lorsque la distance séparant la chaussée du microphone est minimum.

La position optimale du point de surveillance est donc choisie en bordure de chaussée, lieu où la sensibilité du système aux variations d'état de circulation est la plus grande.

Observons aussi que cette position préserve l'immunité du système aux bruits extérieurs au trafic surveillé en raison de la valeur élevée de L_{max} .

➤ le second élément est lié à un facteur humain :

L'instinct de conservation régit la distance entre deux véhicules consécutifs. Il incite chaque

conducteur à respecter une distance de sécurité avec le véhicule qui le précède, en accord avec l'ampleur du débit et la vitesse du flot.

Trois états de circulation typiques permettent de définir le principe d'analyse.

Cas d'une circulation fluide

Les véhicules étant très espacés, le niveau L_{min} tend vers un niveau de bruit ambiant faible, donc $\Delta (L_{max}-L_{min})$ est grand.

Axiome 1 :

Une dynamique importante caractérise un état de circulation « fluide ».

Cas d'une circulation saturée

Lorsque le débit augmente, le regroupement graduel des véhicules entraîne une élévation du niveau de bruit ambiant (L_{min}), alors que le niveau maximum (L_{max}) conserve sa valeur en raison de la faible perte de vitesse.

Axiome 2 :

Une dynamique faible avec conservation de L_{max} caractérise un débit important et définit un état « saturé ».

Cas d'une circulation bloquée

La dynamique reste faible. La perte importante de vitesse provoque une diminution de (L_{max}), par effets conjugués des bruits de moteurs et de contact pneumatique-chaussée, tous deux moins intenses.

Axiome 3 :

La diminution de L_{max} associée à une faible dynamique caractérisent un état de circulation fortement perturbé ou « bloqué ».

Deux indicateurs acoustiques, « dynamique » et « L_{max} » sont donc suffisants pour caractériser l'un de ces trois états de la circulation.

Période d'analyse

La période d'analyse est l'intervalle de temps nécessaire pour obtenir une information fiable définissant un état de circulation précis.

Elle doit concilier deux impératifs.

Pour le gestionnaire de l'autoroute, elle doit être la plus courte possible pour qu'il ait une connaissance rapide de la formation d'une retenue.

Le principe impose par contre la prise en compte d'un nombre représentatif d'événements. Les événements dont il s'agit sont « les véhicules »

dont il faut intégrer l'ensemble des composantes plus ou moins bruyantes, poids lourds et véhicules légers, pendant la période d'analyse.

Les expérimentations ont été réalisées en adoptant une période égale à six minutes, en raison du pas d'analyse de l'appareil utilisé pour l'évaluation du procédé.

Des tests récents permettent d'envisager l'adoption d'une durée d'analyse très inférieure à une minute.

Soulignons qu'une courte durée d'analyse n'est pas incompatible avec le cas d'une circulation très aléatoire ou devenant nulle au cours de certaines périodes.

Dans ce cas le niveau « L_{max} » a une valeur proche de « L_{min} », et la dynamique résultant a une valeur faible.

La distinction de cet état de « circulation nulle » du cas de « circulation bloquée », est faite par la valeur de « L_{max} » appelé aussi « indicateur de présence ».

Présentation du détecteur

Un point de surveillance est constitué d'un microphone situé à 2 mètres au-dessus du plan de chaussée. Il est fixé au centre d'un panneau rigide dont l'objet consiste à masquer les bruits extérieurs à la chaussée observée.

Le traitement du signal acoustique est réalisé par une électronique gérée par micro-processeur logée dans un boîtier étanche. Cette électronique assure également la communication avec le terminal.

Dans sa version prototype, la consommation du détecteur est de 30 mA sous 5 volts.

L'ensemble est fixé sur un poteau (voir photo). Il doit être installé en retrait de la barrière de sécurité, en bordure de la voie lente ou en terre-plein central.

Évaluation du procédé

L'évaluation du procédé a été réalisée en conditions réelles, sur une période de trois mois. Le site expérimental a été choisi en bordure de l'autoroute A25 dans le sens Dunkerque-Lille. Il s'agit d'un axe à deux voies de circulation dans chaque sens.

Quatre sites étaient équipés de deux détecteurs, l'un en bordure de la voie lente et l'autre en terre-plein central. Ils étaient équipés également d'une station de comptage de trafic délivrant par



Vue d'un détecteur.

Le microphone est au centre du panneau bleu. L'électronique est logée dans le boîtier au pied du poteau.

période successive de 6 minutes de durée les informations utiles à l'évaluation du principe acoustique, vitesse du flot et débit.

L'objectif de l'expérimentation a consisté à vérifier l'aptitude du principe acoustique à déceler toutes les perturbations de trafic.

Les informations acoustiques et trafic, en mémoire dans chaque appareil, ont été acheminées au laboratoire par le réseau commuté. Deux fichiers distincts ont été créés, l'un contenant les données « Acoustiques », le second les données « Trafic ».

L'étude des résultats est faite en deux phases. La première consiste à affecter à chaque période d'analyse du fichier « Acoustique » un symbole définissant l'état de la circulation, du type « Fluide », « Saturé » ou « Bloqué ». Ce symbole est déterminé uniquement en fonction des valeurs prises par les deux indicateurs acoustiques au cours de la période observée.

La seconde phase permet l'évaluation du procédé. Pour chaque période d'analyse commune aux deux fichiers, le symbole précédent est comparé aux données du fichier « trafic » parmi lesquelles deux paramètres ont été retenus, la vitesse harmonique du flot et le débit de véhicules.

Les résultats sont présentés sous forme de graphiques temporels à raison d'un trait horizontal par période d'analyse d'une durée de six minutes.

La couleur du trait correspond au symbole affecté à chaque période par l'analyse du fichier acoustique, **vert** pour l'état **Fluide**, **jaune** pour l'état **Saturé**, **rouge** pour l'état **Bloqué**. La longueur du trait est proportionnelle au paramètre Trafic étudié.

Les exemples présentés sont organisés en deux graphiques adjacents représentant le même cycle d'analyse. Celui de gauche étudie le comportement du système acoustique par rapport à la vitesse du flot « V », celui de droite par rapport au débit de véhicules « Q ». Les trois exemples présentés symbolisent un peu plus de deux semaines d'enregistrement (voire page 59).

Ils précisent clairement la différence faite entre les périodes de type « Saturé » (jaunes) et les périodes du type « Bloqué » (rouges). Les premières correspondent aux débits les plus forts, vers 8 heures les jours de semaine et autour des fortes perturbations du dimanche soir. Les secondes correspon-

dent aux vitesses les plus basses enregistrées essentiellement le dimanche soir.

Évaluation statistique

L'expérimentation réalisée a permis de vérifier l'aptitude du principe acoustique à déceler toutes les perturbations de trafic caractérisées soit par un débit important soit par une vitesse du trafic anormalement faible.

L'évaluation du principe acoustique de détection est faite par rapport à une vitesse de référence prise égale à 70 km/h, valeur jugée représentative de la limite entre les situations de type « Saturé » et « Bloqué ». Elle permet de comptabiliser les périodes correspondant à ces situations, mais aussi les incidents de détection.

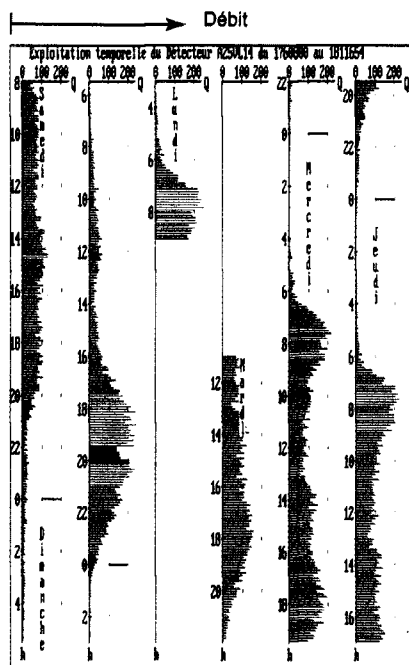
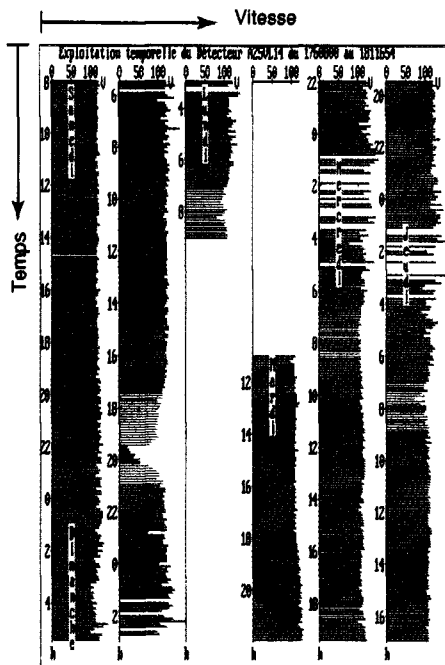
L'évaluation statistique de l'ensemble des données enregistrées est consignée dans le tableau ci-dessous.

Notons que le nombre de périodes de perturbation (colonnes 2 et 3) est faible et diminue avec l'éloignement. Il s'agit d'une caractéristique de l'autoroute observée dont nous n'étions pas maître. Les instants de plus fortes perturbations sont observés essentiellement le dimanche soir au retour de la plage.

Les pourcentages indiqués sont calculés par rapport au nombre total de périodes observées.

ÉVALUATION STATISTIQUE

Position du détecteur	Nombre de périodes totales	Nombre de périodes « bloquées »	Nombre de périodes « saturées »	Nombre de fausses alarmes	Nombre de périodes non détectées
PR 14.9 Voie lente	14 707	314 2,1 %	626 4,2 %	20 0,1 %	34 0,2 %
PR 14.9 Voie rapide	14 914	303 2 %	327 2,2 %	35 0,2 %	21 0,1 %
PR 14.9 Voie rapide (2 minutes)	7 797	238 3 %	139 1,8 %	6 0,08 %	26 0,5 %
PR 16.6 Voie lente	10 284	120 1,2 %	181 1,8 %	18 0,2 %	15 0,1 %
PR 19.6 Voie lente	15 410	159 1 %	266 1,7 %	36 0,2 %	12 0,1 %
PR 19.6 Voie rapide	15 388	133 0,9 %	350 2,3 %	49 0,3 %	13 0,08 %
PR 24.1 Voie lente	15 408	89 0,6 %	185 1,2 %	11 0,07 %	18 0,1 %
PR 24.1 Voie rapide	15 408	152 1 %	110 0,7 %	9 0,05 %	15 0,1 %

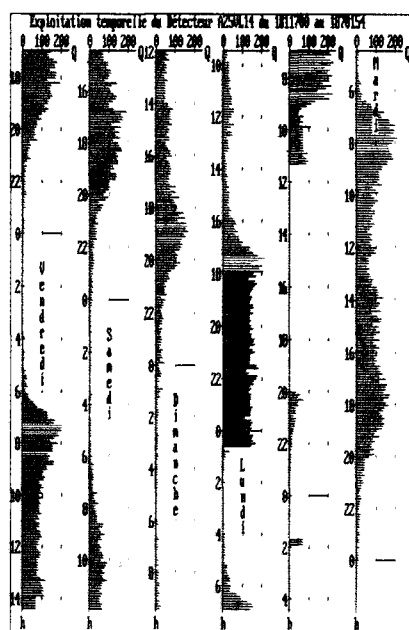
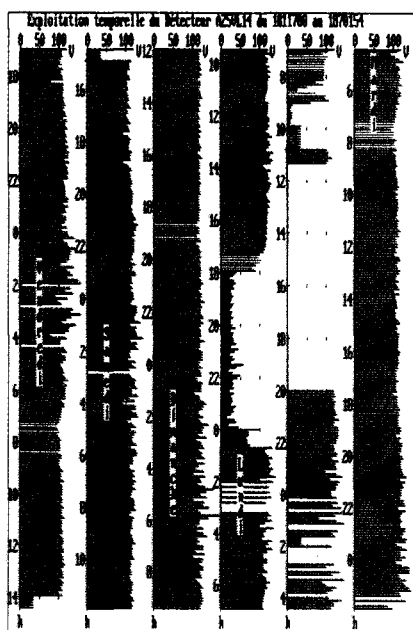


ÉVALUATION TEMPORELLE

Période du 25 au 30 juin

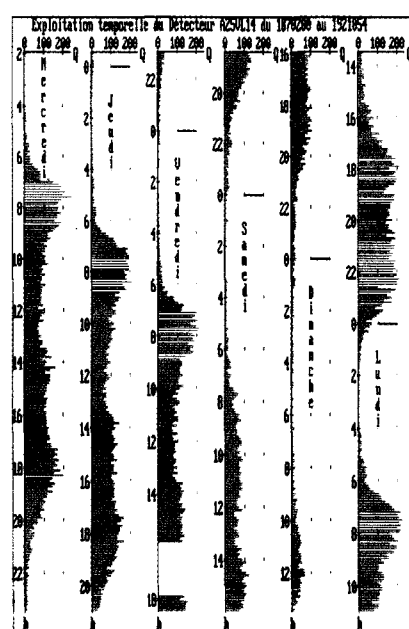
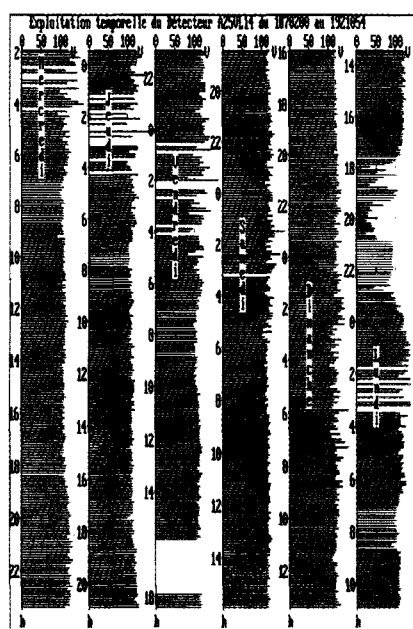
La période de blocage est assez courte. Elle est précédée et suivie de périodes de saturation.

Période d'analyse : 6 minutes



Période du 30 juin au 6 juillet

La période de blocage s'est prolongée 7 heures. Elle est précédée d'une courte période de saturation. On note également le lundi une période de blocage entre 9 et 10 heures. Son apparition très soudaine et les vitesses très basses enregistrées laisse penser qu'elle a été provoquée par un accident.



Période du 6 au 11 juillet

La période de blocage est discontinue, entremêlée de phases de saturation et de fluidité. On observe aussi les apparitions des phases de saturation aux heures de pointe, marquées par une faible diminution de la vitesse et une forte augmentation du débit.

Les incidents de détection (colonnes 4 et 5) sont définis ainsi :

- Nombre de fausses alarmes = Nombre de périodes « rouges » pour lesquelles la vitesse réelle était supérieure à la vitesse de référence.
- Nombre de périodes non détectées = Nombre de périodes « vertes » pour lesquelles la vitesse réelle était inférieure à la vitesse de référence.

Le discernement de l'origine de ces incidents de détection permet d'en relativiser l'importance. La compréhension des phénomènes perturbateurs peut aussi contribuer à limiter dans l'avenir l'apparition de ces incidents.

Observons qu'une vitesse de référence de 70 km/h prise avec une tolérance de plus ou moins 2 km/h aurait limité le nombre des incidents de détection.

Ceci étant, certains incidents ont des origines différentes :

➤ **Les fausses alarmes** : Le principe de détection acoustique, tel qu'il est exposé, ne peut générer une information de type « Bloqué » lorsque le trafic est « Fluide ».

Certaines fausses alarmes ont été provoquées par la présence fortuite d'un écran devant le microphone, dans un cas à la suite du stationnement d'un véhicule devant le détecteur, dans un autre à la suite d'un orage ayant occasionné l'obturation du conduit du microphone par une goutte d'eau.

Ce type d'incident est donc bien étranger au principe de la détection.

➤ **Les périodes non détectées** : Il s'agit des périodes signalées « Fluide » par l'analyse acoustique alors que la circulation est « Bloquée ».

Remarque 1 : Toutes les phases de perturbation ayant été détectées, ces incidents

apparaissent uniquement pendant leurs présences.

Remarque 2 : Il a été observé que ces incidents ont toujours apparu isolément.

Certaines perturbations sont typiques d'un flux de véhicules très irrégulier avec une progression en « accordéon ». L'émission acoustique résultante devient de ce fait très instable et parfois, la valeur de l'indicateur « dynamique » est supérieure à la valeur moyenne enregistrée pour une situation de type « Bloquée ».

À l'inverse des « fausses alarmes », ces incidents de détection sont imputables au principe acoustique.

Néanmoins, leur faible nombre et le fait qu'ils apparaissent toujours isolés à l'intérieur de phases de perturbation, qui ont été détectées, ou le seront lors des périodes suivantes, ne constituent pas un vice rédhibitoire.

Conclusion

Ces résultats prometteurs montrent que l'analyse du bruit de la circulation constitue une méthode fiable, apte à détecter et signaler toute perturbation de trafic sur l'axe de circulation surveillé. Le faible coût d'un détecteur, son installation rapide hors emprise de la chaussée, en font un matériel autorisant la multiplication des points de surveillance entre deux stations complexes, boucles de comptage ou caméras vidéo.

La mise au niveau opérationnel du procédé reste à réaliser, d'autres expérimentations doivent être conduites afin de déjouer les inévitables pièges restés insoupçonnés.

L'amélioration de la sécurité des usagers vaut probablement cet effort.

ABSTRACT

The surveillance of motorway traffic conditions : a method of temporal analysis

P. CHARLET

It must be possible to detect motorway traffic disturbances with the minimum of delay, whatever the situation. Traffic surveillance must therefore be practically uninterrupted.

The solution proposed by the author is the permanent analysis of the characteristics of traffic noise.

The detector designed for this purpose is recessed in the safety barrier, where the traffic noise level largely dominates all other sources of noise.

The advantages of this system are the low cost of the detector and its position completely apart from the pavement.

The results, presented here, are promising. The phenomenon analysed, correlated with the rate of traffic flow, makes it possible to detect all periods of slow-down.