

UNIVERSITÉ LAVAL

FACULTÉ DES SCIENCES ET DE GÉNIE
DÉPARTEMENT DE GÉNIE ÉLECTRIQUE



Laboratoire de Radiocommunications et de Traitement du Signal

Rapport final

MESURES EXPÉIMENTALES DES CONDITIONS
DE PROPAGATION EN MILIEU URBAIN

par

Gilles Y. Delisle, Michel Lecours, Jean-Yves Chouinard, Jean Roy

pour

Gouvernement du Canada
Ministère des communications
Ottawa - Canada K2H 8S2

Sous

Contrat OST85-00005
du
Ministère des Approvisionnements et Services

Période du 11 avril 1985 au 31 mars 1986

Mars 1986

(Rapport n° LRTS-86-8203)

IC

MDG-CR-RC-86-002

Rapport final

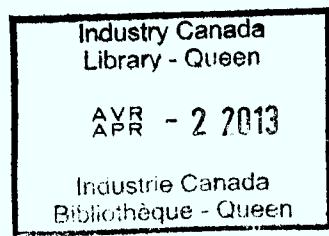
MESURES EXPERIMENTALES DES CONDITIONS
DE PROPAGATION EN MILIEU URBAIN

Par: Dr Gilles Y. Delisle, Chercheur principal
Dr Michel Lecours, Collaborateur
M. Jean-Yves Chouinard, Etudiant gradué
M. Jean Roy, Etudiant gradué

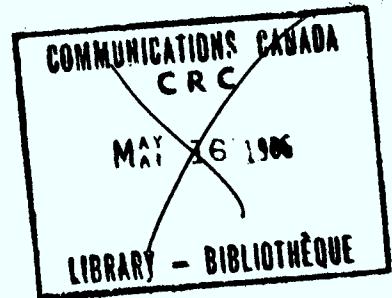
Pour: Ministère des Approvisionnements et Services

Période du 11 avril 1985 au 31 mars 1986

Mars 1986



(Rapport n° LRTS-86-8203)
DSS n° 36001-5-3509



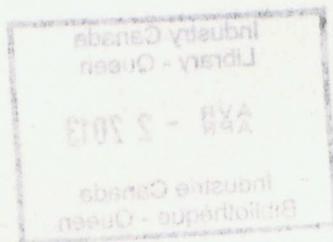
Rabbit 1111

NUMBER EXPLANATION AND CONDITIONS
OF POSITION IN MIGRATION

Dr. Gillies F. Bellis, Captain Executive
Dr. Michael Leckie, Captain Executive
H. Jean-Yves Gosselin, President Board
W. Paul Van Etchells Bishop

Bonni, Minnesota has approximately 1000 species of butterfly

Reported on 11 July 1982 in 31 miles 1980



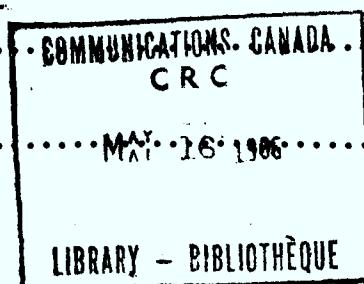
area 1980

(Report on PIRATA-53013)
PAS in PIRATA-53013



TABLE DES MATIÈRES

| | |
|--|-----|
| Chapitre 1 - INTRODUCTION..... | 1 |
| Chapitre 2 - TRANSMISSION NUMÉRIQUE..... | 2 |
| 2.1 Introduction..... | 2 |
| 2.2 Canal de transmission..... | 4 |
| 2.2.1 Considérations générales..... | 4 |
| 2.2.2 Emplacement des transmetteur et récepteur..... | 5 |
| 2.2.3 Synchronisation du système de réception..... | 6 |
| 2.3 Equipement utilisé..... | 9 |
| 2.3.1 Transmetteur..... | 11 |
| 2.3.2 Système de réception..... | 19 |
| 2.3.3 Acquisition des données..... | 31 |
| 2.3.4 Vérification préliminaire des données expérimentales..... | 34 |
| 2.4 Traitement préliminaire des données..... | 35 |
| 2.5 Conclusion..... | 37 |
| Chapitre 3 - MODÉLISATION STATISTIQUE D'UN CANAL RADIO-MOBILE..... | 43 |
| 3.1 Introduction et rappel..... | 43 |
| 3.2 Conversion d'une échelle de temps à une échelle position..... | 46 |
| 3.3 Séparation des variations lentes et rapides..... | 49 |
| 3.4 Résultats et conclusion..... | 55 |
| Chapitre 4 - CONCLUSION..... | 136 |
| Références..... | 139 |
| APPENDICE A..... | 140 |



Chapitre 1

INTRODUCTION

Bien que les auteurs de ce rapport, de même que plusieurs chercheurs du CRC, continuent à se préoccuper de façon importante de la modélisation du canal radio-mobile, ce rapport met en quelque sorte un point final à un projet représentant plusieurs années de collaboration soutenue entre le Laboratoire de Propagation Radio-électrique du CRC et le Laboratoire de Radio-communication et de Traitement du Signal du département de génie électrique de l'Université Laval.

Nous présentons ce rapport avec le sentiment d'avoir, au cours des dernières années, contribué de façon importante aux études et recherches sur la modélisation et la caractérisation du canal radio-mobile. L'ensemble des travaux réalisés a porté tout aussi bien sur des études théoriques et par simulation du canal radio-mobile à bande étroite et à large bande que sur des mesures de propagation sur un canal radio-mobile à bande étroite prises avec la collaboration des membres du CRC.

Ces travaux ont donné lieu à plusieurs publications et on trouvera à l'Appendice A de ce rapport une copie de trois publications [1,2,3] des années 1985 et 1986.

Le présent rapport comprend deux chapitres principaux.

Au chapitre 2, on présente l'instrumentation mise au point et utilisée à l'été et à l'automne 1985 en vue de mesures de propagation dans la bande de 900 MHz. Cette instrumentation a été améliorée par rapport à celle utilisée au cours des campagnes de mesures précédentes: le taux d'échantillonnage du niveau du signal reçu est passé de 100 Hz à 10 kHz, ce qui permettait un échantillonnage suffisant pour toutes les vitesses de déplacement de l'unité mobile; de plus, la porteuse transmise était modulée en phase par

une séquence binaire pseudo-aléatoire de 10 kHz et les erreurs dans la séquence reçue étaient enregistrées; on échantillonnait également à un taux de 10 kHz le niveau du bruit dans un canal adjacent; et, comme pour les campagnes de mesures précédentes, on enregistrait l'information sur le déplacement de l'unité mobile. Le chapitre 2 présente le détail de l'instrumentation utilisée, il décrit la campagne de mesure et il présente un certain nombre de résultats ayant trait, en particulier, aux caractéristiques des séquences d'erreurs.

Le chapitre 3 porte sur le traitement et l'analyse statistique des données résultant de la campagne de mesure de l'année 1984. Avec la vitesse de l'unité mobile réduite à 5 ou 10 km/h afin d'obtenir, au taux de 100 échantillons par seconde, un échantillonnage adéquat des variations du niveau du signal reçu, la région d'Ottawa a été couverte systématiquement en enregistrant 6000 échantillons à chaque kilomètre le long de huit routes allant dans différentes directions à partir de la station de base au CRC. Le chapitre 3 décrit, en particulier, une nouvelle approche utilisée pour filtrer les variations lentes et rapides du signal et présente un certain nombre de paramètres statistiques significatifs pour ces signaux, tels leurs moyennes, leurs déviations standards, les taux moyens de passage par un niveau (TPN) et les longueurs moyennes des affaiblissements (LMA).

La quantité et la qualité des mesures réalisées permettent d'envisager plusieurs travaux ultérieurs du plus grand intérêt. La conclusion de ce rapport fait état de travaux déjà entrepris en vue de comparer les mesures pour différents types de milieu urbain à différentes lois de distribution statistique et, en particulier, à la loi de Rice.

Chapitre 2

TRANSMISSION NUMÉRIQUE

2.1 Introduction

La transmission de l'information sous forme numérique présente de plus en plus d'intérêt pour les communications radio-mobiles. La numérisation de données de types divers (e.g. voix, caractères alphanumériques) permet la transmission de ces données à l'aide d'un système de communication unique, ce qui se traduit, en général, par une économie de matériel. Il est à prévoir qu'au cours des prochaines années, les principaux utilisateurs des systèmes de communications radio-mobiles opteront pour des systèmes ayant une versatilité au niveau du type d'information que ces derniers pourront supporter. Un autre avantage des communications numériques à considérer, est la facilité avec laquelle on peut protéger une liaison radio par l'utilisation de techniques de codage de canal. En télécommunications radio-mobiles, les conditions de propagation particulièrement difficiles prévalant dans le canal justifient les méthodes de protection de la liaison.

Au cours de l'été 1985, une campagne de mesures a été conduite afin de recueillir des données expérimentales du canal radio-mobile. La série de mesures a été effectuée en majeure partie en milieu urbain dans la ville d'Ottawa.

À partir d'une station fixe, on transmet un signal de 890 MHz modulé par saut de phase (PSK) par une séquence binaire pseudo-aléatoire (ayant un débit de 10 kbits/s) préalablement encodée différentiellement. Le signal résultant (DPSK) est reçu par une unité mobile se déplaçant à une vitesse typique en milieu urbain. Les données relatives aux niveaux du signal et du bruit, aux erreurs de transmission ainsi qu'à la position du véhicule sont enregistrées sur disques souples pour être ultérieurement transférées sur ordinateur pour être traitées.

Dans le présent chapitre, on s'intéresse en premier lieu (section 2.2) au canal de propagation radio-mobile et au choix de l'emplacement des transmetteur et récepteur. La description détaillée des systèmes de transmission, de réception et d'acquisition de données font l'objet de la section suivante (i.e. section 2.3). Enfin, à la section 2.4, il est question des premiers résultats obtenus à partir des données recueillies lors de la campagne de mesures.

2.2 Canal de transmission

Tel que mentionné ci-dessus, l'objectif premier de cette campagne de mesures expérimentales vise à analyser le comportement et les performances d'un système de communication numérique dans un canal typique de transmission radio-mobile.

En télécommunications numériques, on s'intéresse plus particulièrement à la distribution des erreurs de transmission produites par les conditions de propagation du canal. Le type de milieu dans lequel évolue l'unité mobile ainsi que la distance séparant le transmetteur et l'unité mobile déterminent le rapport signal-à-bruit présent à l'entrée du récepteur et, de ce fait, la distribution des erreurs. Il est donc important de choisir adéquatement l'emplacement du transmetteur et le type de région couverte par le mobile.

2.2.1 Considérations générales

Lors des campagnes de mesures effectuées en 1983 et 1984, l'ensemble des données ont été recueillies, en général, en milieu ouvert, suburbain et urbain de faible densité afin de permettre l'étude statistique de la distribution des pertes de transmission dues aux conditions de propagation en fonction du type de milieu. Cependant, pour la série de mesures du canal radio-mobile numérique de 1985, l'objectif consistait à enregistrer les erreurs de transmission causées par les affaiblissements rapides du signal à

la réception. Il importait donc d'échantillonner le signal, à savoir les amplitudes respectives du signal et du bruit, la séquence d'erreurs et la position du véhicule, dans les conditions de propagation les plus typiques possibles, c'est-à-dire en milieu urbain.

Au cours de la campagne de mesures, la majorité des données expérimentales ont été enregistrées dans le centre-ville d'Ottawa ; on peut considérer cet environnement comme un milieu urbain de densité moyenne. Quelques enregistrements ont été également effectués à grande vitesse sur l'autoroute 417 afin de produire une fréquence Doppler élevée et ainsi générer des affaiblissements plus rapides de l'amplitude du signal.

2.2.2 Emplacement des transmetteur et récepteur

Au début de la série de mesures, le transmetteur émettait le signal DPSK avec une puissance de 3 watts à partir d'une antenne omnidirectionnelle située sur le toit du Centre de recherche en communication à une hauteur de 30 mètres. Le gain de l'antenne de transmission était de 9 dB. Le CRC est situé à une quinzaine de kilomètres du centre-ville d'Ottawa.

À la suite de quelques essais, il est vite apparu que la puissance transmise était nettement insuffisante pour permettre d'effectuer des enregistrements de séquences d'erreurs satisfaisantes, le système de réception se désynchronisant très facilement. L'utilisation d'un second amplificateur de puissance au transmetteur, a permis d'augmenter la puissance émise à 30 watts et ainsi améliorer considérablement la synchronisation du récepteur.

Par la suite, le transmetteur a été relocalisé sur le toit d'un édifice (à environ 70 mètres du sol) situé en plein centre-ville. À ce moment, utilisant l'amplificateur de puissance original, la puissance émise était de nouveau limitée à 3 watts. Le gain de la nouvelle antenne était unitaire (0 dB) réduisant davantage la puissance irradiée. C'est avec cette configuration plus réaliste (i.e. puissance relativement faible, proximité des station émettrice et unité mobile) que la majorité des mesures expérimentales a été faite.

2.2.3 Synchronisation du système de réception

Lors de cette campagne de mesures du canal radio-mobile numérique, deux techniques de synchronisation du récepteur ont été employées; la récupération du signal d'horloge à partir du signal reçu et la génération d'un signal d'horloge stable au récepteur indépendant du signal transmis. Les systèmes de réception et d'acquisition de données font l'objet d'une section subséquente du présent chapitre, cependant il est approprié de mentionner ici l'effet des caractéristiques particulières du canal radio-mobile sur la synchronisation du système de réception.

La variation de la distance séparant le transmetteur et le récepteur produit un effet Doppler qui se traduit par une variation de la fréquence du signal reçu ainsi qu'une légère fluctuation du délai de propagation. De plus, le temps d'arrivée du signal au récepteur est fonction du délai de propagation du signal en question entre le transmetteur et le récepteur.

Afin de contrer les effets du délai de propagation et de la modulation de fréquence Doppler, on a utilisé à la réception un démodulateur DPSK cohérent ainsi qu'un circuit d'acquisition d'horloge asservi au signal reçu. En agissant de la sorte, la sous-porteuse IF et le signal d'horloge sont barrés, respectivement en fréquence et en temps, avec le signal provenant du transmetteur. Au début de la campagne, les mesures expérimentales du signal ont été effectuées avec cette configuration. Lorsque l'amplitude de l'enveloppe du signal est en-deçà d'un certain niveau, cette façon de procéder donne les meilleurs résultats, l'échantillonnage des signaux et les instants de décisions étant optimaux. Cependant, lorsque l'amplitude du signal est inférieure à ce seuil, le système de réception ne peut plus récupérer l'horloge du signal amenant ainsi une désynchronisation des démodulateur et circuit de décision. Il s'ensuit une perte substantielle de données transmises qui est trop importante pour qu'elle puisse être corrigée efficacement par des codes de correction d'erreurs. Les affaiblissements marqués de l'enveloppe du signal rencontrés lors de la campagne de mesures ont causé, en certaines occasions, la désynchronisation de l'horloge et ainsi produit des pertes importantes de données et des salves d'erreurs anormalement longues.

Afin de remédier à cette situation, un second signal d'horloge a été générée à partir de la sortie d'un oscillateur local indépendant de grande stabilité, asservi à un étalon de fréquence passif au rubidium. Cette configuration permet d'éliminer le problème d'acquisition d'horloge en l'absence de signal d'amplitude suffisante à la réception. Quelque soit le niveau du signal à l'entrée du récepteur, les circuits de démodulation et de décision logique fonctionnent de manière efficace. Un désavantage de cette méthode de génération du signal d'horloge réside dans le fait que la phase de l'horloge doit être réajustée lorsque la distance entre les transmetteur et récepteur varie de façon significative. Un circuit d'ajustement de phase du signal d'horloge a été prévu à cette fin et est décrit à la section 2.3.2. Ce circuit permet de réajuster la phase par huit incrément de 12.5 microsecondes, soit un huitième de la période de l'horloge. Le décalage de l'horloge est dû au fait que la différence entre les temps de propagation n'est plus négligeable par rapport à la période des bits transmis. Ainsi, une distance de 1 kilomètre produit un délai de propagation de 3.33 microsecondes alors que ce délai passe à 63.33 microsecondes si le récepteur se trouve à 19 kilomètres du transmetteur (voir tableau 2.1). Entre ces deux mesures l'horloge de référence est décalée de 60 microsecondes par rapport au signal reçu, soit plus d'un demi-bit. Afin d'assurer un rendement maximal des circuits de démodulation et de décision de niveau logique, on doit donc réajuster la phase de l'horloge entre ces deux mesures expérimentales.

Il est à noter qu'en général, plusieurs mesures ont été effectuées dans le même environnement (i.e. la distance demeure à toutes fins pratiques identique), avant de changer de région, minimisant ainsi les réajustements de phase du signal d'horloge. La durée de chaque enregistrement étant fixée à une seconde, la distance entre la station émettrice et l'unité mobile ne peut varier, dans le pire des cas (i.e. véhicule se déplaçant dans l'axe transmetteur-récepteur à la vitesse maximale de 120 km/h) que de 33.33 mètres conduisant à un décalage de 111 nanosecondes, c'est-à-dire un millième de la période des données. Donc, le décalage de l'horloge à la réception par rapport au signal reçu est négligeable à un débit d'information de 10 kbits/s pendant une mesure du signal. Cette deuxième configuration a permis d'éliminer les pertes de synchronisation rencontrées auparavant avec le

circuit de récupération d'horloge à partir du signal reçu. On a donc adopté la deuxième méthode de génération de signal d'horloge au cours de la campagne de mesures.

TABLEAU 2.1

Délais de propagation en fonction de la distance

| Distance en kilomètres | Délai en microsecondes |
|-------------------------------|-------------------------------|
| 1 | 3.33 |
| 2 | 6.67 |
| 3 | 10.00 |
| 4 | 13.33 |
| 5 | 16.67 |
| 6 | 20.00 |
| 7 | 23.33 |
| 8 | 26.67 |
| 9 | 30.00 |
| 10 | 33.33 |
| 11 | 36.67 |
| 12 | 40.00 |
| 13 | 43.33 |
| 14 | 46.67 |
| 15 | 50.00 |
| 16 | 53.33 |
| 17 | 56.67 |
| 18 | 60.00 |
| 19 | 63.33 |
| 20 | 66.67 |
| 21 | 70.00 |
| 22 | 73.33 |
| 23 | 76.67 |
| 24 | 80.00 |
| 25 | 83.33 |
| 26 | 86.67 |
| 27 | 90.00 |
| 28 | 93.33 |
| 29 | 96.67 |
| 30 | 100.00 |

2.3 Equipement utilisé

Le système utilisé pour les enregistrements du signal numérique est décrit en détail dans cette section. La figure 2.1 illustre la disposition de l'équipement à la station émettrice fixe et à l'unité de réception mobile.

Le transmetteur émet, à partir d'une station fixe, un signal de fréquence de 890 MHz modulé en phase par une séquence binaire pseudo-aléatoire préalablement encodée différentiellement. Tel que mentionné précédemment, la puissance émise par la station dépend du choix de l'amplificateur RF. Au début de l'expérimentation, l'antenne de transmission se trouvait sur le toit du Centre de Recherches en Communications, situé à une quinzaine de kilomètres du centre-ville d'Ottawa, à une hauteur de 33 mètres. Deux amplificateurs de puissance ont alors été utilisés; le premier émettant avec une puissance d'environ 3 watts alors que le second, plus puissant permettait de transmettre le signal avec 30 watts de puissance. Par la suite, on a déplacé le système de transmission sur le toit d'un édifice du centre-ville à quelques 70 mètres au-dessus du sol. On a alors utilisé uniquement l'amplificateur de puissance de 3 watts, ce dernier permettant de réaliser une liaison convenable entre la station et l'unité mobile.

La plupart des échantillons du signal radio-mobile ont été enregistrés alors que l'unité mobile se déplaçait en milieu urbain dans le centre-ville. En général, la vitesse du véhicule était de l'ordre de 30 km/h. Un récepteur syntonisé à 890 MHz produit un signal de fréquence intermédiaire (IF) qui lui, est démodulé afin de reproduire la séquence de données originales transmises. Un détecteur d'erreurs génère la séquence d'erreur correspondante à l'information reçue par l'unité mobile. Un second récepteur syntonisé légèrement en-deçà de la bande réservée au signal, produit un signal représentant une mesure du niveau de l'enveloppe du bruit. Un système d'acquisition de données composé de deux micro-ordinateurs numérise les échantillons du niveau de l'enveloppe du signal et du bruit, la position relative du véhicule par rapport à son point de départ ainsi que la séquence

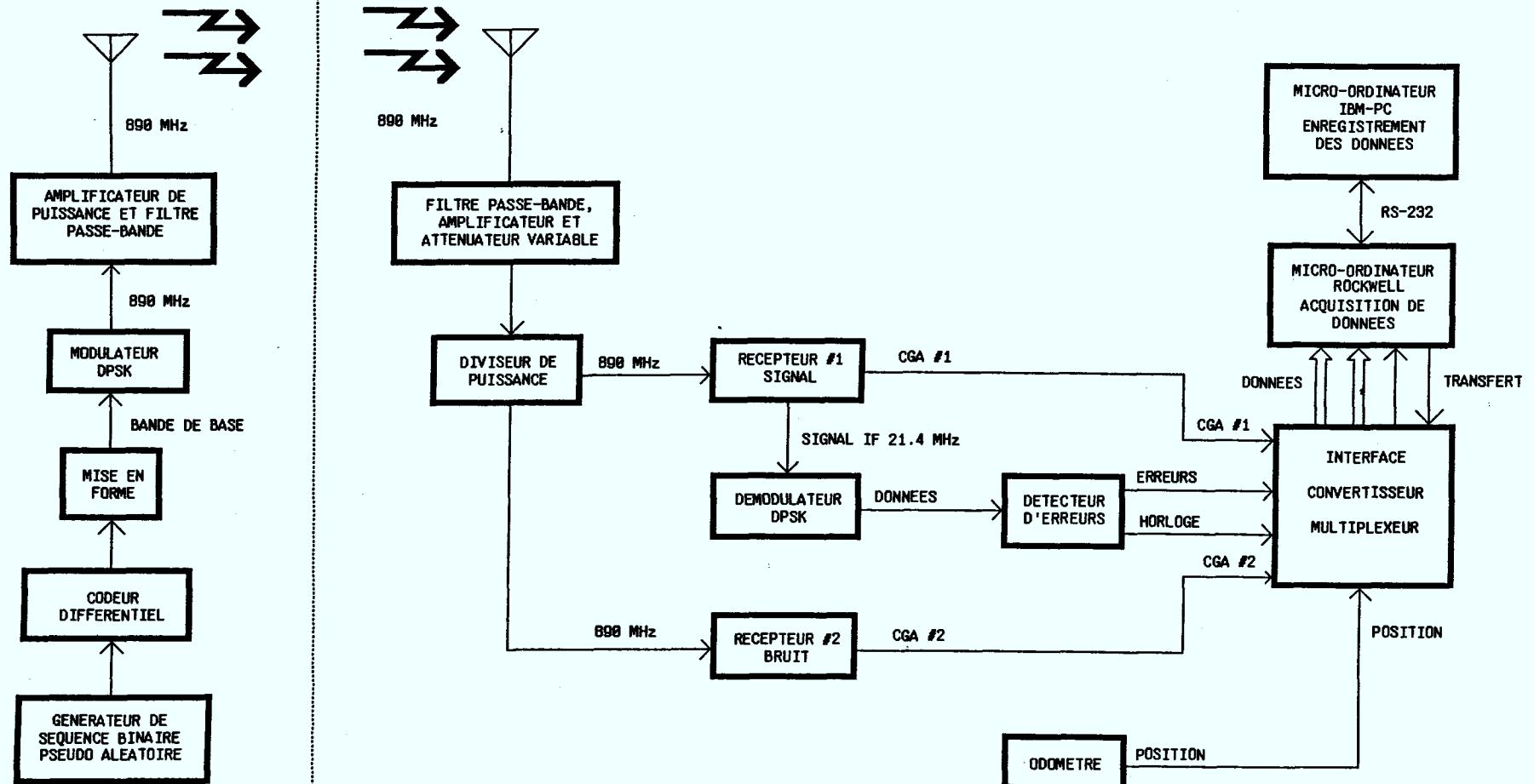


Figure 2.1

d'erreurs, les emmagasine temporairement dans la mémoire vive de l'un des micro-ordinateurs puis enregistre ces données sur disques souples.

La description détaillée de l'équipement utilisé pendant la campagne de mesures fait l'objet des paragraphes suivants.

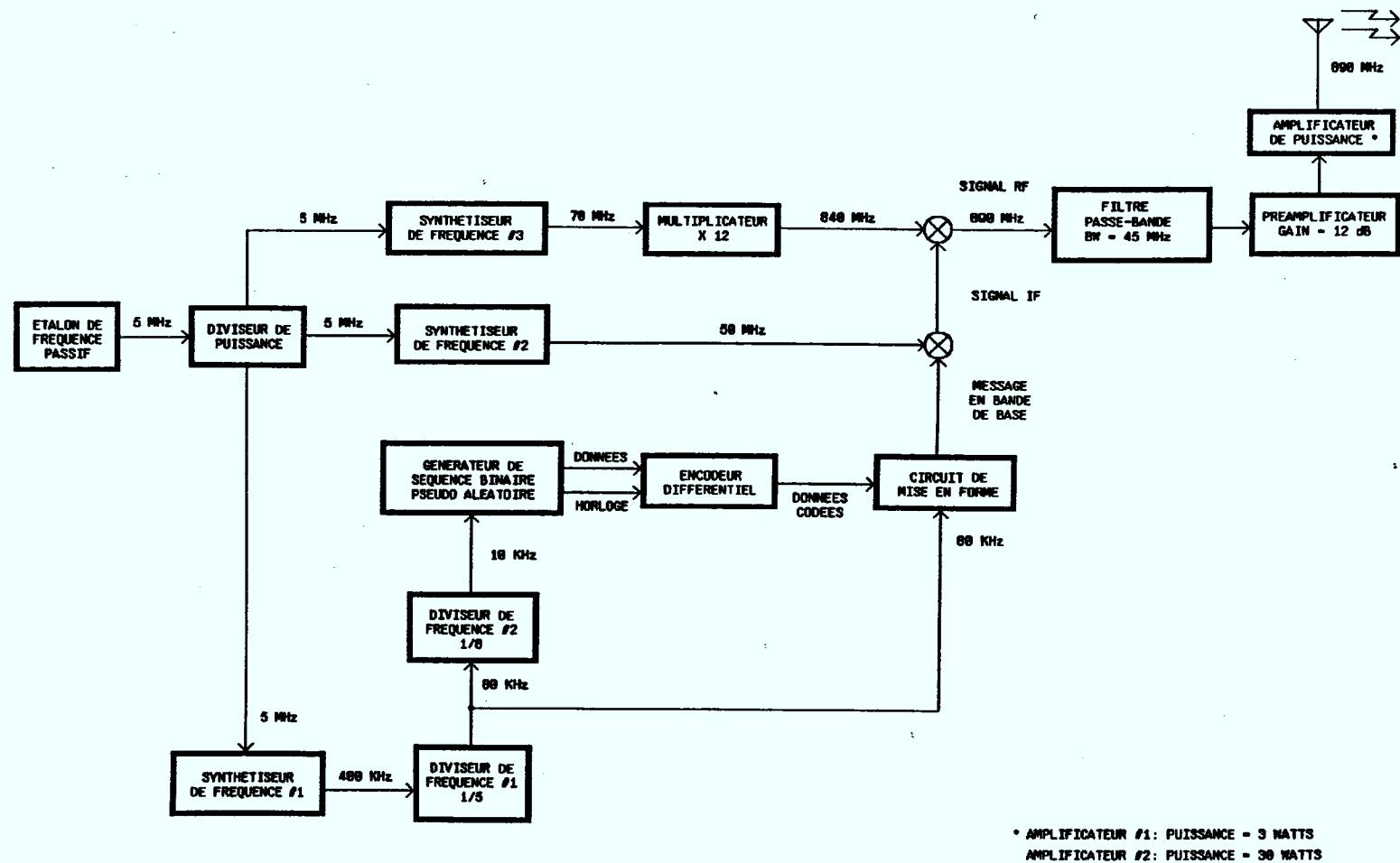
2.3.1 Transmetteur

On s'intéresse dans cette section au principe de fonctionnement du transmetteur. Le schéma complet du système de transmission est illustré à la figure 2.2. La transmission de l'information se fait, tel que mentionné plus haut, d'une station émettrice fixe à une unité de réception mobile. Rappelons également que deux emplacements différents du système de transmission ont été choisis au cours de la campagne de mesure, à savoir le Centre de Recherches sur les Communications situé à une quinzaine de kilomètres du centre-ville et un édifice situé dans le centre-ville.

Afin d'assurer une grande stabilité des oscillateurs employés dans le transmetteur, on a asservi chacun des synthétiseurs de fréquence à un étalon de fréquence passif.

Un premier synthétiseur génère un signal de référence de 400 kHz. Ce signal est divisé en fréquence pour produire deux signaux de 10 kHz et de 80 kHz qui servent respectivement de signal d'horloge pour un générateur de séquence binaire pseudo-aléatoire et pour un circuit de mise en forme.

Le générateur de séquence génère une séquence binaire de 511 bits de longueur avec un débit de transmission de 10 kbits/s. Un encodeur différentiel est alors utilisé afin d'éliminer l'ambiguité de phase inhérente aux démodulateurs DPSK. En effet, en détection cohérente, il est possible que la phase de l'oscillateur local du démodulateur BPSK ("Binary Phase Shift Keying") soit momentanément déphasée de 180 degrés par rapport à la phase du signal reçu conduisant à une indication erronée de probabilité d'erreur de 100% pendant ce laps de temps, alors que la transmission se fait en réalité



SYSTEME DE TRANSMISSION

Figure 2.2

sans erreur. Cependant, lorsque la phase de l'oscillateur local du récepteur est la même que celle du signal reçu, la probabilité d'erreur correspond à la probabilité d'erreur des bits transmis dans le canal. Or, à priori, dans un système de communication utilisant la modulation BPSK, on ne sait pas si, à un instant donné, la phase de l'oscillateur local du démodulateur correspond à celle transmise ou si l'oscillateur s'est barré sur le signal reçu avec un déphasage, ce qui, le cas échéant cause l'ambiguïté de phase au démodulateur. En utilisant un encodage différentiel, le démodulateur n'a plus à reconnaître la phase du signal reçu mais plutôt les changements de phase, ce qui élimine l'ambiguïté introduite par le circuit de récupération de la porteuse. Il est à noter que le circuit du codeur différentiel ainsi que le circuit du décodeur différentiel au récepteur ont été conçus et construits par les membres du Laboratoire de Propagation Radioélectrique du CRC.

Soit $b(t)$ l'information numérique en bande de base et $c(t)$ la porteuse générée par l'oscillateur local au transmetteur [4]. Le signal transmis par la station émettrice a alors la forme

$$m(t) = b(t) c(t) \quad (2-1)$$

où

$$c(t) = C \cos \omega_c t$$

ou encore:

$$m(t) = C b(t) \cos \omega_c t \quad (2-2)$$

Si le message en bande de base est bipolaire et produit uniquement les niveaux -1 et +1, alors le signal transmis peut être exprimé comme:

$$m(t) = C \cos [\omega_c t + \theta(t)] \quad (2-3)$$

L'information est contenue dans la phase $\theta(t)$ du signal transmis; cette dernière peut prendre les valeurs de 0 et π radians.

À l'unité mobile, le signal reçu est de la forme:

$$r(t) = C_r \cos [\omega_c t + \widehat{\theta}(t)] \quad (2-4)$$

L'amplitude maximale du signal à la réception C_r est évidemment fonction des pertes de propagation dans le canal, des gains d'antenne aux transmetteur et récepteur ainsi que du gain d'amplificateur à la station fixe. Le signal est alors démodulé à l'aide d'un mélangeur. Le signal résultant à la sortie du mélangeur est donné par:

$$p(t) = r(t) K \cos \omega_c t \quad (2-5)$$

où K est l'amplitude du signal de référence de l'oscillateur local.

$$p(t) = C_r K \cos [\omega_c t + \widehat{\theta}(t)] \cos \omega_c t \quad (2-6)$$

$$p(t) = \frac{1}{2} C_r K \cos [\widehat{\theta}(t)] + \frac{1}{2} C_r K \cos [2\omega_c t + \widehat{\theta}(t)] \quad (2-7)$$

En filtrant le signal $p(t)$ par un filtre passe-bas de fréquence de coupure de 10 kHz, on élimine les composantes à la fréquence de $2\omega_c t$ pour ne conserver que le signal en bande de base $q(t)$.

$$q(t) = \frac{1}{2} C_r K \cos [\widehat{\theta}(t)] \quad (2-8)$$

Il s'agit enfin d'évaluer la phase $\widehat{\theta}(t)$ du signal reçu et de générer la séquence binaire estimée $\{\widehat{b}_k\}$ correspondante. En l'absence d'erreur de transmission, la séquence de données reçue $\{\widehat{b}_k\}$ est identique à la séquence transmise $\{b_k\}$ mais décalée dans le temps par la valeur du délai de propagation τ du système de communication.

$$\widehat{b}(t) = b(t - \tau) \quad (2-9)$$

Pour éliminer l'ambiguïté de phase, la séquence $\{b_k\}$ est codée différentiellement. La séquence transmise $\{d_k\}$ est définie comme:

$$d_k = \overline{b_k \oplus d_{k-1}} \quad (2-10)$$

Ainsi, pour la séquence $\{b_k\} = 1010\dots$ par exemple, la séquence encodée $\{d_k\}$ est $1001\dots$, en assumant que d_{k-1} est à 1 (voir figure 2.3b). La phase du signal transmis est donc nulle si le bit d'information présent b_k et le bit encodé précédent d_{k-1} sont identiques; dans le cas contraire, il y a un déphasage $\theta(t)$ de π radians entre le signal émis par le transmetteur et le signal de référence de l'oscillateur local.

Au récepteur, le démodulateur génère un "0" ou un "1" logique selon que le déphasage entre le signal reçu et le signal provenant de l'oscillateur local tend respectivement vers 0 radian ou π radians. Il ne subsiste donc plus d'ambiguïté de phase due au fonctionnement du circuit de récupération de la porteuse.

La séquence de données différentiellement codées est alors transformée à l'aide d'un circuit de mise en forme. En transformant le train d'impulsions provenant du codeur différentiel en une forme d'onde quasi-sinusoidale, on réduit considérablement la largeur de bande nécessaire à la transmission des données numériques. La figure 2.3 montre, pour trois séquences courtes (i.e. "1000...", "1010...", "1100..." et "1111..."), la séquence originale, la séquence codée différentiellement et le signal résultant après la mise en forme. On remarque la forme quasi-sinusoidale du signal obtenu. La figure 2.4 illustre l'effet sur les spectres de puissance de la mise en forme des données. Il est à noter que l'enregistrement de ces spectres a été fait après modulation à la fréquence d'opération du système de transmission, c'est-à-dire à 890 MHz. On observe, tel que prévu, en examinant les spectres de puissance respectifs des signaux une réduction substantielle de la puissance contenue dans les lobes secondaires du signal modulé utilisant la mise en forme.

Le signal de fréquence intermédiaire (IF) centré autour de 50 MHz, est obtenu par la multiplication du message codé en bande de base et une sous-porteuse de 50 MHz générée par un second synthétiseur de fréquence. Un

Séquence 1: 1000

Séquence originale
1 0 0 0

Séquence encodée différentielle

Mise en forme

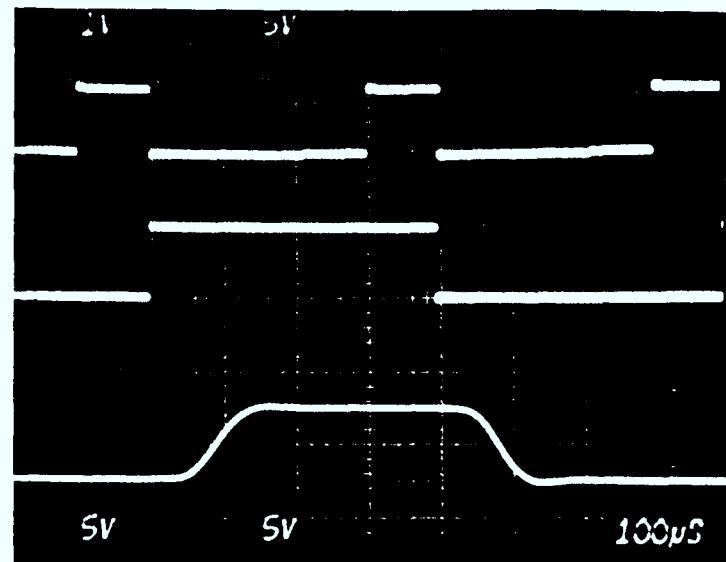


Figure 2.3a

Séquence 2: 1010

Séquence originale
1 0 1 0

Séquence encodée différentielle

Mise en forme

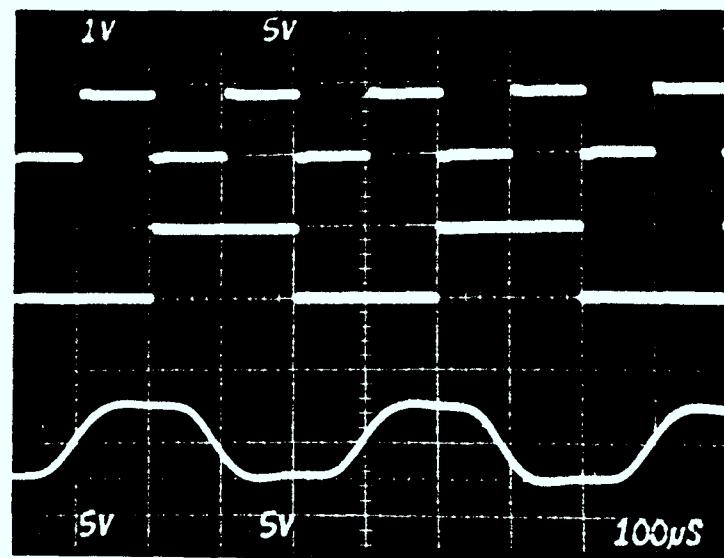


Figure 2.3b

Séquence 3: 1100

Séquence originale
1 1 0 0

Séquence encodée différentielle

Mise en forme

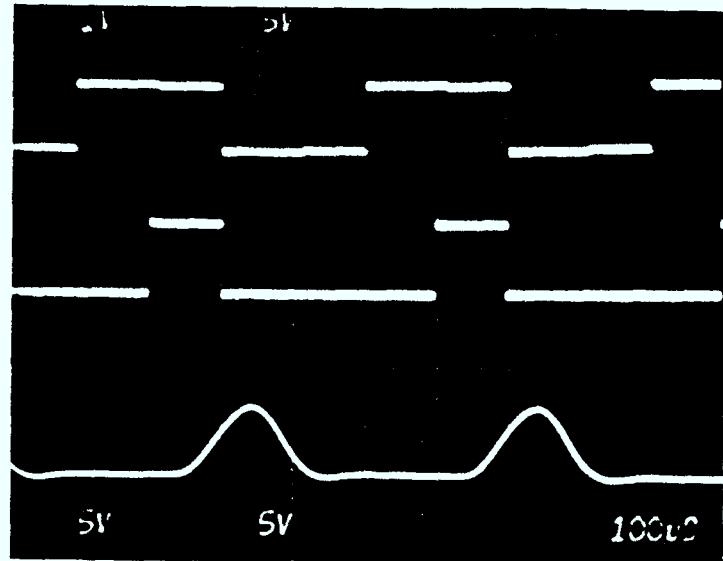


Figure 2.3c

Séquence 4: 1111

Séquence originale
1 1 1 1

Séquence encodée différentielle

Mise en forme

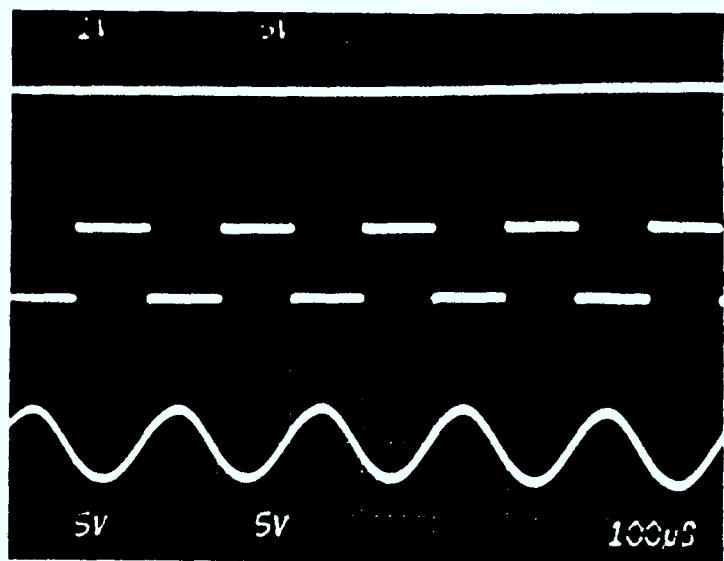
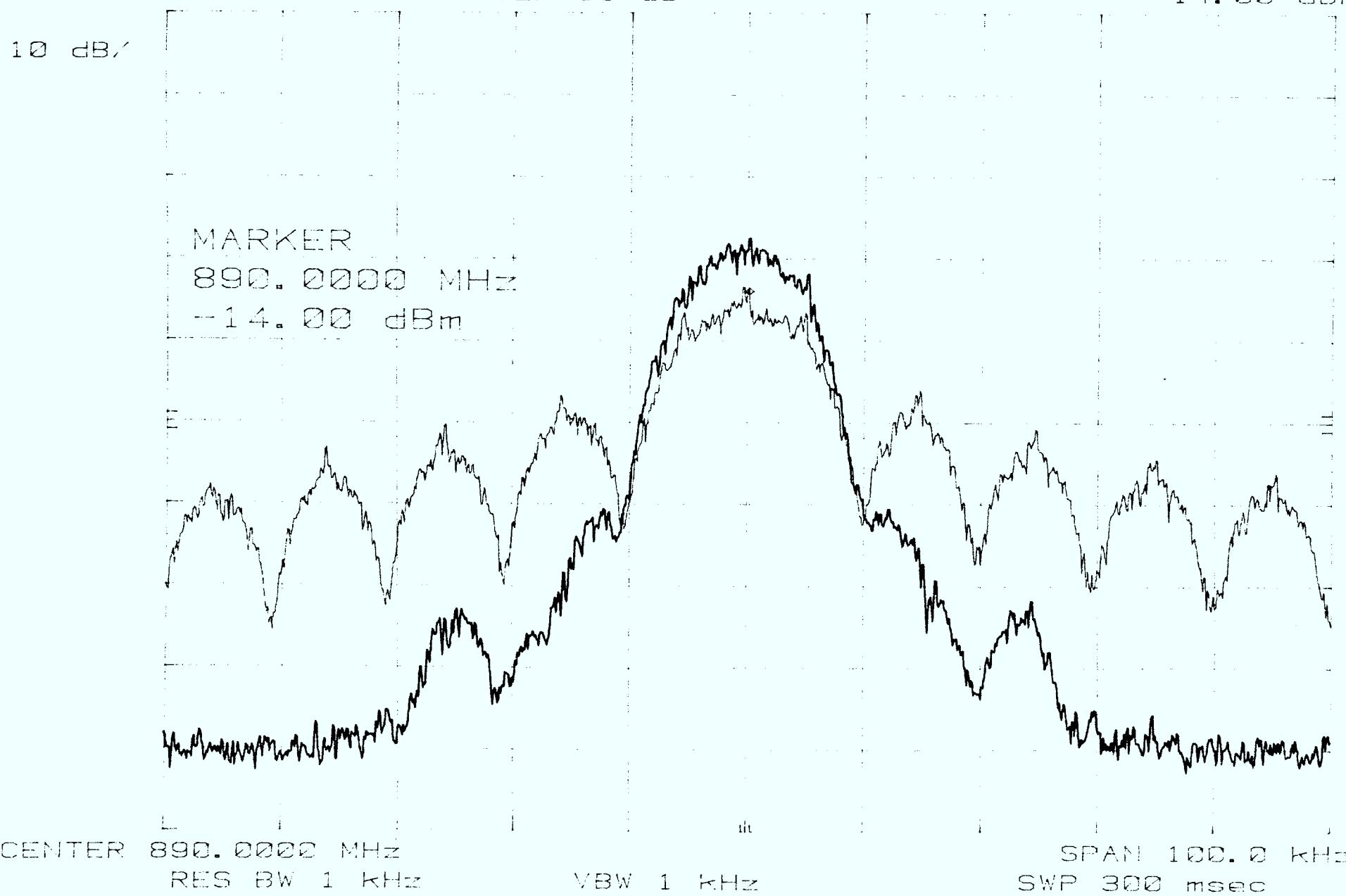


Figure 2.3d

Effet de la mise en forme (SBPA, L=511)
REF 20.0 dBm ATTEN 30 dB

MKR 890.0000 MHz
-14.00 dBm



circuit de multiplication de fréquence par un facteur 12 produit un signal de 840 MHz à partir du troisième synthétiseur de fréquence. Ce synthétiseur génère un signal de 70 MHz et est, tel les deux autres synthétiseurs, asservi à l'étalement de fréquence passif. Un second mélangeur produit le signal de fréquence radio par la multiplication du signal de fréquence intermédiaire et le signal de 840 MHz. Un filtre passe-bande centré à la fréquence radio (RF) de 890 MHz et de largeur de 45 MHz et employé afin d'éliminer les composantes parasites engendrées par les deux mélangeurs. Le signal est ensuite amplifié à la puissance désirée par un préamplificateur placé en cascade avec un amplificateur de puissance. Comme il a été mentionné précédemment, deux amplificateurs de puissance différents ont été utilisés pendant la série des mesures expérimentales. Le spectre de puissance de l'amplificateur de puissance d'environ 3 watts est représenté à la figure 2.5.

Pour la première série de mesures, alors que le transmetteur était situé sur le toit du CRC, on a utilisé une antenne avec éléments collinéaires ("collinear array") dont le diagramme de rayonnement est omnidirectionnel et le gain est de 9 dB. Les amplificateurs de puissance de 3 watts et de 30 watts ont alors été utilisés. L'antenne employée pour la seconde série de mesures effectuée à partir de l'édifice situé dans le centre-ville, est un monopôle vertical et son diagramme de rayonnement est également omnidirectionnel. Cependant, le gain d'antenne du monopôle est nul. On a uniquement utilisé l'amplificateur de puissance de 3 watts au cours de cette seconde série de mesures expérimentales.

2.3.2 Système de réception

À la réception, le système de mesure consiste essentiellement en deux récepteurs, l'un pour la mesure du niveau du signal et l'autre destiné à l'estimation du niveau du bruit dans le canal. Un système d'acquisition de données et un odomètre électronique viennent compléter l'instrumentation. Le système de réception comme tel est illustré à la figure 2.6 et comprend les deux récepteurs, un démodulateur DPSK et un détecteur d'erreurs. Dans cette section, le principe d'opération du système de réception est décrit en

Transmetteur #1 Puissance=3.6 W, 36.5 dBm MKR 890.0000 MHz
REF .0 dBm ATTEN 10 dB -14.30 dBm

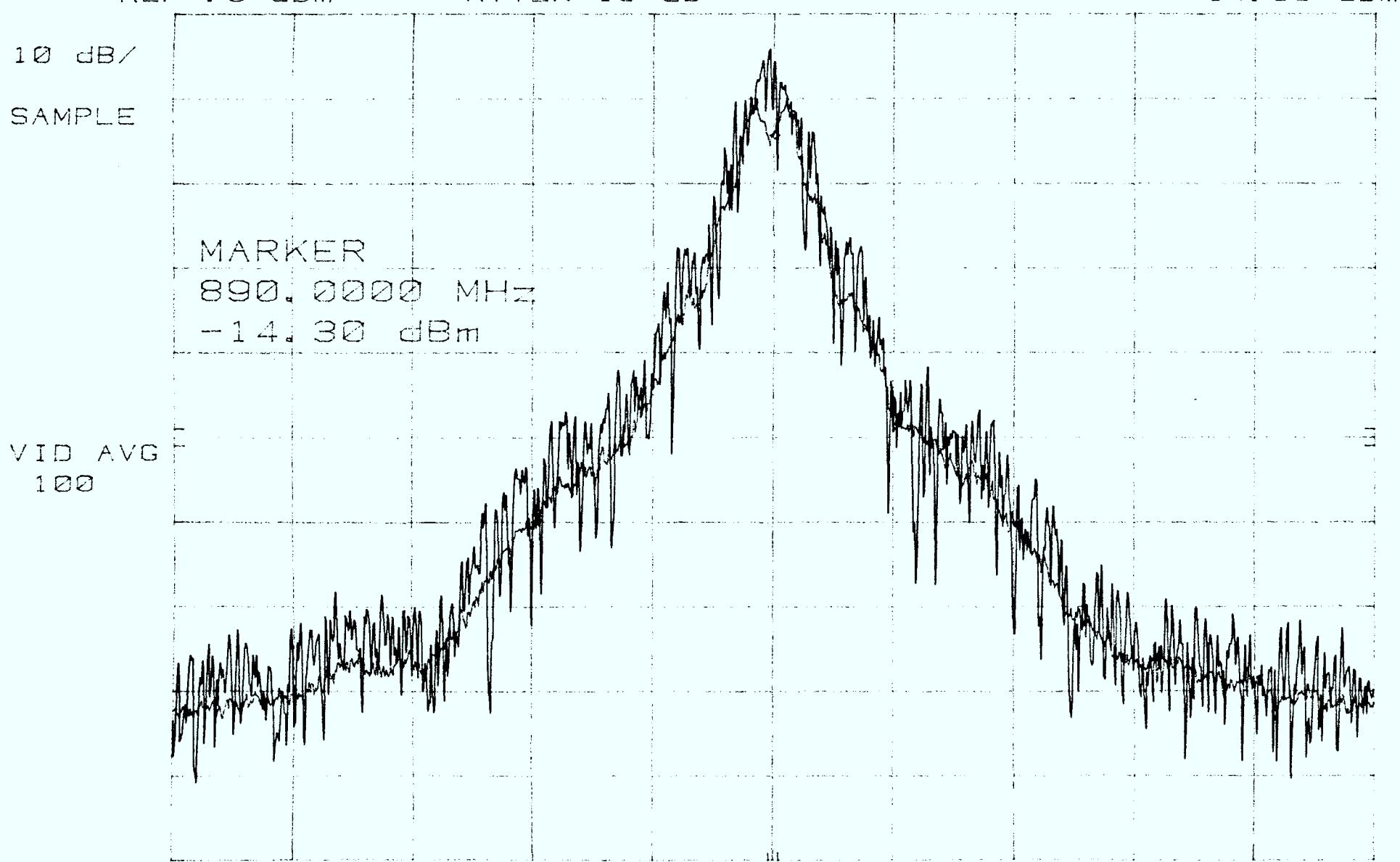
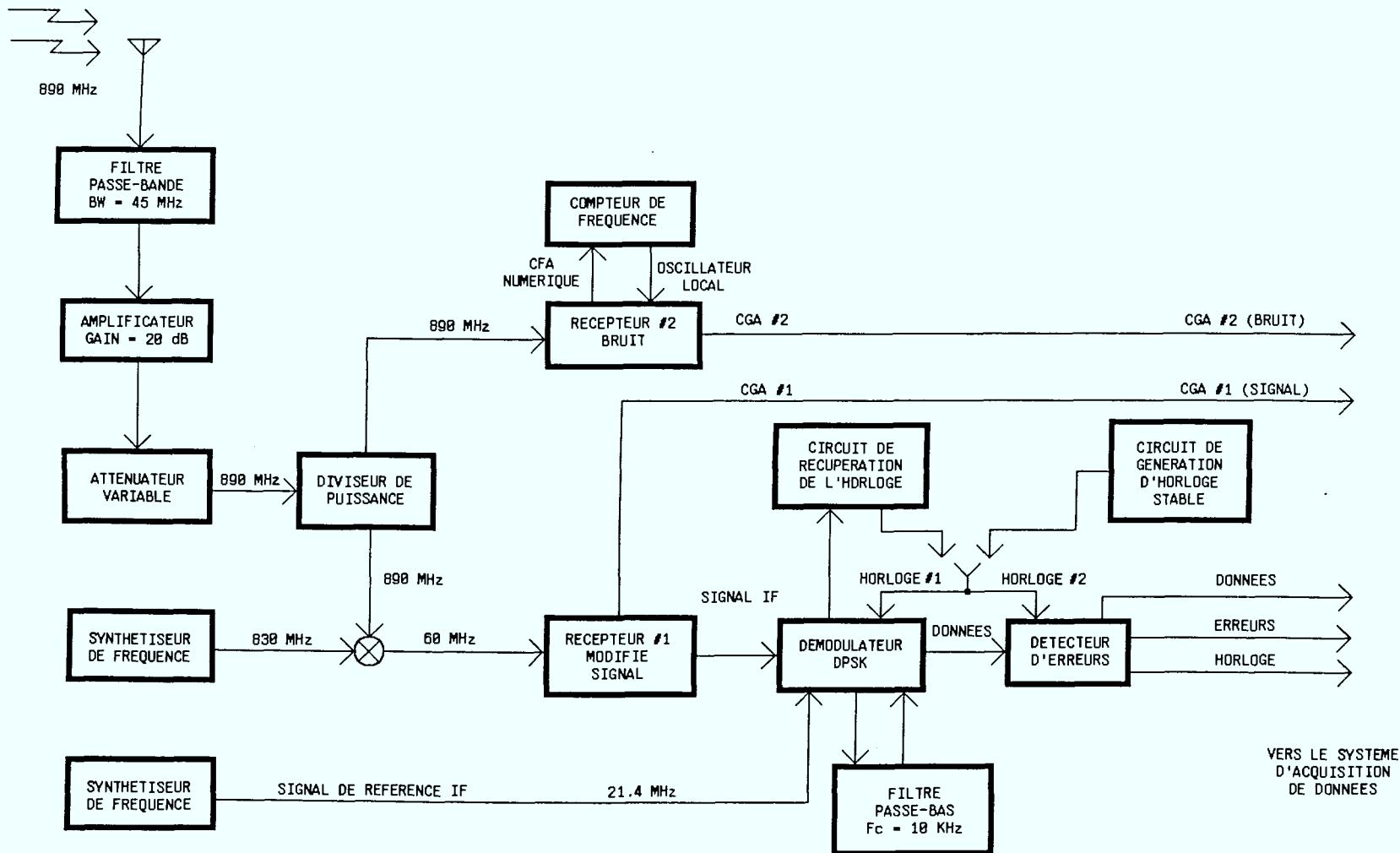


Figure 2.5



SYSTEME DE RECEPTION

Figure 2.6

détail. Il est à noter que le circuit du démodulateur DPSK a été conçu et fabriqué par des membres du Laboratoire de Propagation Radio-électrique du CRC, à savoir MM R. Bonnycastle, R. Bultitude, R. Charron et G. Phillips. Cependant, pour les besoins de la campagne de mesures menée par le Laboratoire de Radiocommunications et de Traitement de Signal de l'Université Laval, le démodulateur DPSK a dû être modifié pour permettre au système d'opérer avec un débit d'information de 10 kbits/s, le système étant initialement prévu pour fonctionner à 100 kbits/s.

Afin de réduire les perturbations mécaniques causées par le déplacement du véhicule de réception, tout l'équipement utilisé pour les mesures, à l'exception du micro-ordinateur IBM-PC et du circuit d'odomètre électronique, a été installé dans des étagères rigides (ou "racks"), elles-mêmes rattachées au châssis du véhicule à l'aide d'amortisseurs de caoutchouc. Cependant, à quelques reprises au cours des mesures, il a fallu réinitialiser le micro-ordinateur IBM-PC et reprendre l'enregistrement des données, même si celui-ci était protégé des chocs à l'aide de coussins de caoutchouc et maintenu en place avec des sangles.

À l'unité mobile, le signal contenant l'information transmise est reçu par un monopôle vertical omnidirectionnel et de gain unitaire. Le signal est filtré, afin de réduire l'amplitude des signaux interférents, puis amplifié avec un gain de 20 dB. Il est à noter que le filtre passe-bande utilisé laisse passer une largeur de bande relativement élevée (i.e. 44.5 MHz, soit 5% de la fréquence centrale du filtre). Il faut que ce filtre laisse passer une bande de fréquence plus large que celle du signal utile afin que l'on puisse effectuer une mesure du niveau du bruit dans une bande de fréquence voisine. Le filtrage du signal, proprement dit, se fait au niveau du récepteur destiné au signal. Pour éviter la saturation du récepteur de signal, lorsque le véhicule se trouve à proximité du transmetteur, le signal passe dans un atténuateur variable, avant d'être séparé en deux composantes identiques dans un diviseur de puissance. L'une des composantes est utilisée pour la mesure de l'amplitude du signal reçu et la démodulation de l'information transmise, alors que la deuxième composante est utilisée pour l'évaluation du niveau du bruit.

Le récepteur destiné à la mesure du niveau du bruit (indiqué comme récepteur #2 sur la figure 2.6), syntonisé à 893.5 MHz génère une tension de commande de gain automatique CGA qui est fonction de la puissance détectée par ce récepteur. La largeur de bande du récepteur est fixée à 200 kHz. La fréquence d'opération de 893.5 MHz a été choisie lors d'essais en laboratoire; avec une translation de fréquence de 3.5 MHz au-dessus de la fréquence réservée au signal DPSK utilisant la technique de mise en forme décrite auparavant, le récepteur dédié à la mesure du bruit n'est plus affecté par le niveau du signal. Cependant, il est préférable que la fréquence du récepteur de bruit soit la plus rapprochée possible de la fréquence d'opération du système de telle sorte que les caractéristiques du canal demeurent sensiblement les mêmes. La courbe de la calibration du récepteur est représentée à la figure 2.7. La fréquence d'opération, lors de la calibration en laboratoire du récepteur, était de 890 MHz alors qu'au cours de la campagne de mesure, le récepteur de bruit opérait à 893.5 MHz. Cette différence entre les deux fréquences n'a cependant pas d'effet notable sur la relation existant entre le niveau du signal présent à l'entrée du récepteur et la tension de commande de gain automatique. Le système d'acquisition de données échantillonne cette tension de commande, permettant ainsi l'enregistrement de l'information sur le niveau du bruit présent dans le canal.

Le récepteur dédié au niveau de l'enveloppe du signal (indiqué récepteur #1 sur la figure 2.6), opère de manière similaire. Le signal reçu de 890 MHz est mélangé avec une porteuse de 830 MHz afin de générer un signal de fréquence intermédiaire centré autour de 60 MHz. La bande passante du récepteur est de 50 kHz, ce qui est nettement suffisant pour permettre la détection du signal transmis. Il s'est avéré, lors de tests menés en laboratoire, que l'oscillateur local de 830 MHz dans le récepteur produisait des variations de fréquences aléatoires qui nuisaient considérablement à la démodulation de l'information. Ce problème a pu être contourné par l'utilisation d'un oscillateur local externe stable. Tout comme le récepteur de bruit, le récepteur de signal fournit une tension de commande de gain automatique qui est dirigée vers le système d'acquisition de données. La relation entre le niveau de l'enveloppe du signal et la tension de commande est illustrée à la figure 2.8. On note qu'en éliminant l'étage RF du récepteur,

RECEPTEUR #1, WJ-8731A SER 79
FICHIER: CALCWO

FREQ.: 890 MHz
BANDE: 10 KHz

AGC (volts)

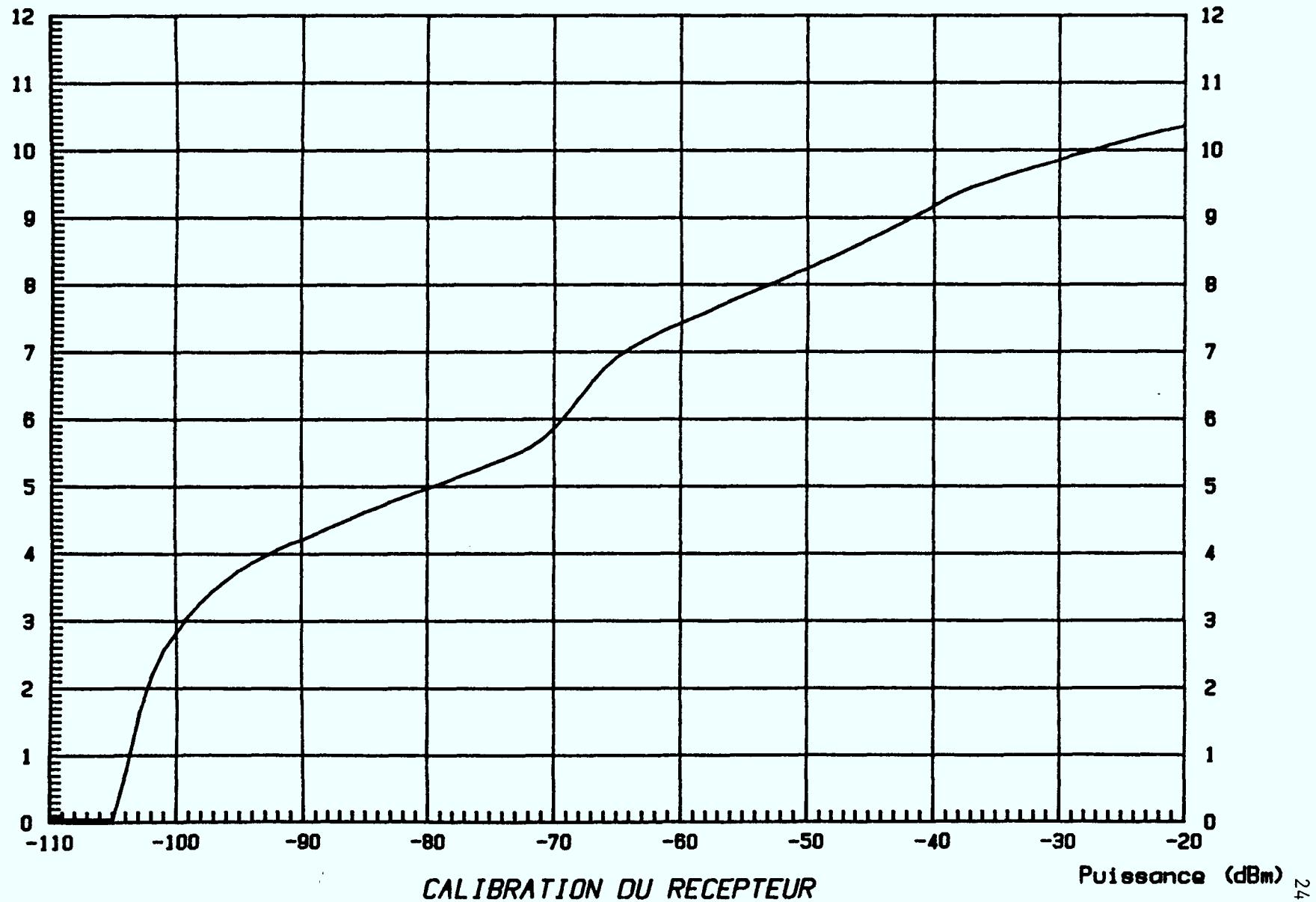


Figure 2.7

RECEPTEUR #2: WJ-8730 SER 42
FICHIER: CALCW1

FREQ.: 60 MHz
BANDE: 50 KHz

AGC (volts)

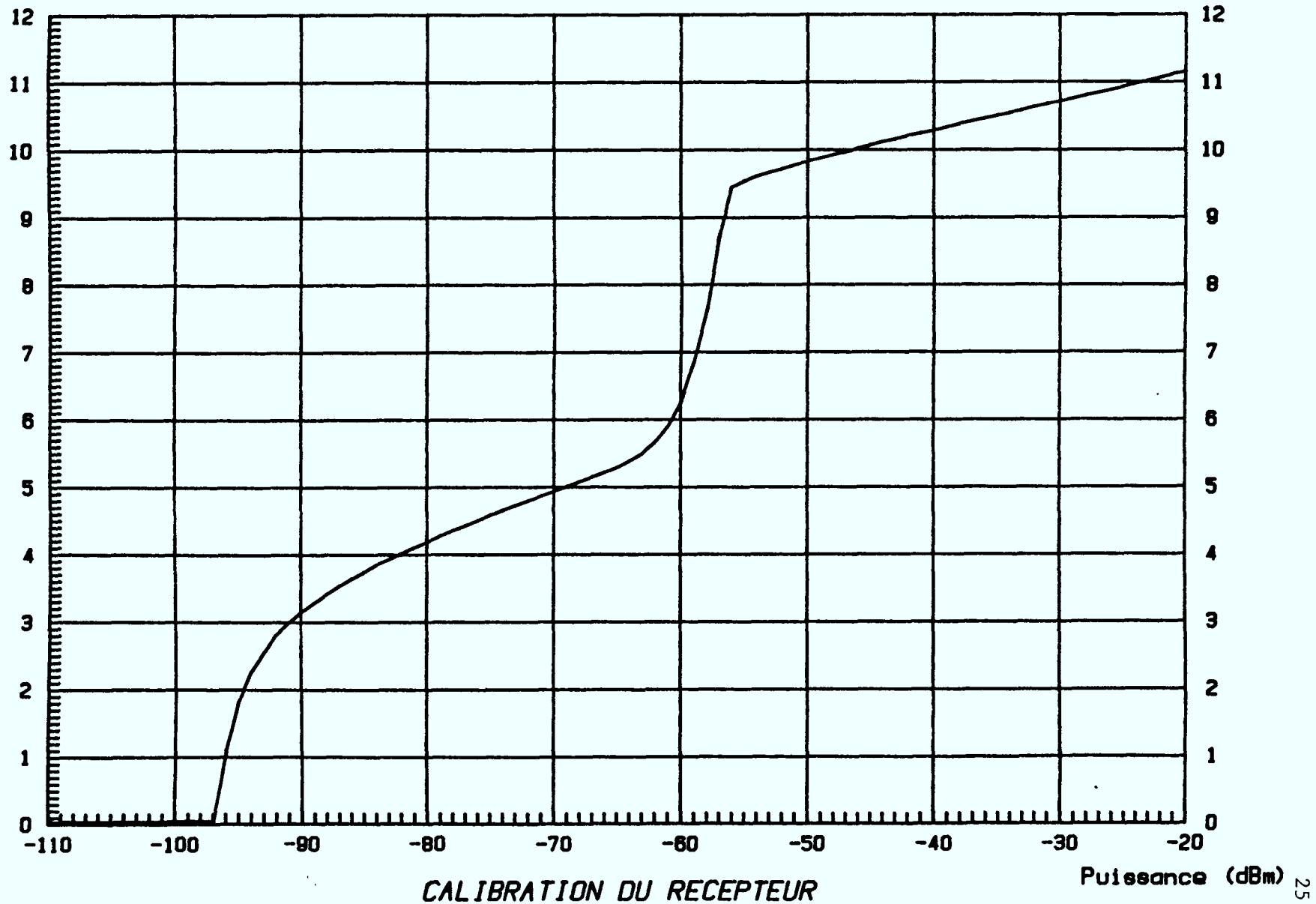


Figure 2.8

cette relation est moins progressive, dû au fait que la tension de commande du gain est elle-même fonction des niveaux du signal présents dans les étages RF et IF du récepteur. Toutefois, cette tension indique de façon unique le niveau de l'enveloppe du signal reçu. Enfin, le récepteur produit, à l'aide d'un oscillateur local interne fonctionnant à 81.4 MHz, le signal de fréquence intermédiaire de 21.4 MHz contenant l'information transmise, c'est-à-dire la séquence binaire pseudo-aléatoire.

La figure 2.9 montre en détail les diverses composantes du démodulateur DPSK. En raison du déplacement du véhicule, la fréquence centrale du signal de fréquence intermédiaire de 21.4 MHz, provenant du récepteur réservé au signal (i.e. récepteur #1), est affectée par des fluctuations de fréquence Doppler. Les synthétiseurs de fréquence, utilisés aux systèmes de transmission et de réception, étant stables et précis, le signal de 21.4 MHz à la sortie du récepteur suit ces variations Doppler. Les synthétiseurs de fréquence, utilisés aux systèmes de transmission et de réception, étant stables et précis, le signal de 21.4 MHz à la sortie du récepteur suit ces variations Doppler. En l'absence d'effet Doppler et en supposant l'erreur de fréquence de chacun des oscillateurs nulle, la fréquence du signal f_{IF} à l'entrée du démodulateur est, dans ces conditions, précisément de 21.4 MHz. Or, à cause des erreurs de fréquence des oscillateurs (surtout l'oscillateur interne de 81.4 MHz du récepteur), et du déplacement de fréquence Doppler, la fréquence angulaire ω_s du signal à l'entrée du démodulateur est:

$$\omega_s = \omega_{IF} + \Delta\omega + \omega_D \quad (2-11)$$

où

$$\omega_{IF} = 2\pi f_{IF}$$

$\Delta\omega$: erreur de pulsation causée par l'imprécision des oscillateurs.

ω_D : pulsation angulaire Doppler

Le signal à l'entrée du démodulateur peut alors être exprimé comme suit:

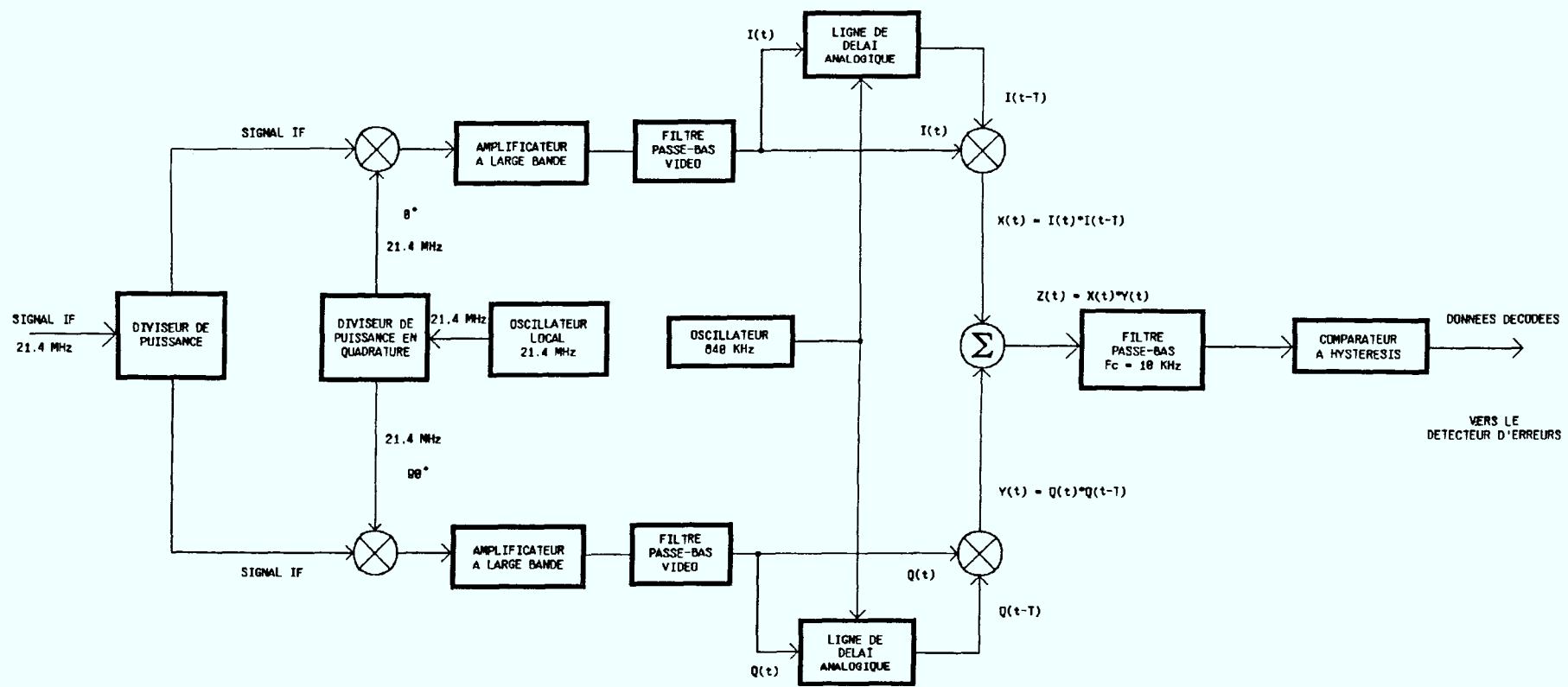


Figure 2.9

$$r(t) = A \cos(\omega_s t + \widehat{\theta(t)}) \quad (2-12)$$

où

$$\widehat{\theta(t)} = \theta(t) + \theta_p + \Delta\theta \quad (2-13)$$

Ici, le déphasage dû au délai de propagation est indiqué par θ_p et le déphasage introduit par les étages de fréquence radio et de fréquence intermédiaire (RF et IF) est indiqué par $\Delta\theta$.

Le signal est séparé en deux composantes égales, l'une multipliée en phase et l'autre en quadrature avec la sortie de 21.4 MHz, ou f_{OL} , d'un oscillateur local.

Signal en phase:

$$I(t) = A \cos(\omega_s t + \widehat{\theta(t)}) \cos \omega_{OL} t \quad (2-14a)$$

$$I(t) = \frac{A}{2} \cos(\omega_s t - \omega_{OL} t + \widehat{\theta(t)}) + \frac{A}{2} \cos(\omega_s t + \omega_{OL} t + \widehat{\theta(t)}) \quad (2-14b)$$

Signal en quadrature:

$$Q(t) = A \cos(\omega_s t + \widehat{\theta(t)}) (-\sin \omega_{OL} t) \quad (2-15a)$$

$$Q(t) = -\frac{A}{2} \sin(\omega_s t + \omega_{OL} t + \widehat{\theta(t)}) + \frac{A}{2} \sin(\omega_s t - \omega_{OL} t + \widehat{\theta(t)}) \quad (2-15b)$$

On retrouve, pour chacun des signaux $I(t)$ et $Q(t)$, des composantes fréquentielles de l'ordre de 42.8 MHz (i.e. $2f_{IF}$), à savoir $\omega_s t + \omega_{OL} t$, ainsi que des composantes en bande de base suivant les fluctuations Doppler, $\omega_s t - \omega_{OL} t$. En filtrant les composantes à hautes fréquences, les signaux en phase et en quadrature deviennent :

$$I(t) = \frac{A}{2} \cos(\omega_s t - \omega_{OL} t + \widehat{\theta(t)}) \quad (2-16)$$

$$Q(t) = \frac{A}{2} \sin(\omega_s t - \omega_{OL} t + \widehat{\theta(t)}) \quad (2-17)$$

Chacun des signaux ainsi filtrés est appliqué à une ligne de retard dont le délai est fixé à la durée d'un bit.

On obtient les signaux retardés en phase et en quadrature:

$$I(t-T) = \frac{A}{2} \cos(\omega_s(t-T) - \omega_{OL}(t-T) + \widehat{\theta(t-T)}) \quad (2-18)$$

$$Q(t-T) = -\frac{A}{2} \sin(\omega_s(t-T) - \omega_{OL}(t-T) + \widehat{\theta(t-T)}) \quad (2-19)$$

En faisant le produit des signaux $I(t)$ et $Q(t)$ avec leur version retardée, on a:

$$X(t) = I(t) I(t-T) \quad (2-20a)$$

$$X(t) = \frac{A^2}{4} [\cos(\omega_s t - \omega_{OL} t + \widehat{\theta(t)})] \cdot [\cos(\omega_s(t-T) - \omega_{OL}(t-T) + \widehat{\theta(t-T)})] \quad (2-20b)$$

$$\begin{aligned} X(t) = & \frac{A^2}{8} \{ [\cos(\omega_s T - \omega_{OL} T + \widehat{\theta(t)} - \widehat{\theta(t-T)})] + \\ & + [\cos(2\omega_s t - 2\omega_{OL} t - \omega_s T + \omega_{OL} T + \widehat{\theta(t)} - \widehat{\theta(t-T)})] \} \end{aligned} \quad (2-20c)$$

De même, pour la composante en quadrature:

$$Y(t) = Q(t) \cdot Q(t-T) \quad (2-21a)$$

$$\begin{aligned} Y(t) = & \frac{A^2}{8} \{ [\cos(\omega_s T - \omega_{OL} T + \widehat{\theta(t)} - \widehat{\theta(t-T)})] - \\ & - [\cos(2\omega_s t - 2\omega_{OL} t - \omega_s T + \omega_{OL} T + \widehat{\theta(t)} - \widehat{\theta(t-T)})] \} \end{aligned} \quad (2-21b)$$

En additionnant les composantes en phase et en quadrature, on obtient:

$$Z(t) = X(t) + Y(t) \quad (2-22a)$$

$$Z(t) = \frac{A^2}{4} \cos(\omega_s T - \omega_{OL} T + \widehat{\theta(t)} - \widehat{\theta(t-T)}) \quad (2-22b)$$

ou encore:

$$\begin{aligned} Z(t) = \frac{A^2}{4} & [\cos(\omega_s T - \omega_{OL} T) \cos(\widehat{\theta(t)} - \widehat{\theta(t-T)}) - \\ & - \sin(\omega_s T - \omega_{OL} T) \sin(\widehat{\theta(t)} - \widehat{\theta(t-T)})] \end{aligned} \quad (2-22c)$$

Or, la fréquence angulaire de l'oscillateur local ω_{OL} est égale à ω_{IF} et, tel qu'indiqué dans l'équation (2-11), la pulsation du signal reçu ω_s est:

$$\omega_s = \omega_{IF} + \Delta\omega + \omega_D \quad (2-23)$$

Il s'ensuit donc que:

$$\omega_s T - \omega_{OL} T = \Delta\omega T + \omega_D T \quad (2-24)$$

L'erreur cumulative de fréquence $2\pi\Delta\omega$ des oscillateurs, au transmetteur et au récepteur, pouvant être limitée à quelques Hertz par l'ajustement de fréquence du synthétiseur de fréquence de 830 MHz, et la période T d'un bit étant fixée à 1×10^{-4} seconde, le terme $\Delta\omega T$ tend vers 0.

$$\omega_s T - \omega_{OL} T \approx \omega_D T \quad (2-25)$$

Si l'on considère une vitesse maximale de l'unité mobile de 120 km/h, c'est-à-dire environ 33.3 m/s, et une fréquence d'opération du système de transmission de 890 MHz, la fréquence Doppler maximale est de 98.9 Hz (i.e. déplacement du véhicule dans l'axe transmetteur-récepteur). Alors,

$$\omega_s T - \omega_{OL} T = 2\pi \cdot 98.9 \cdot 10^{-4} \text{ radian} \quad (2-26a)$$

$$\omega_s T - \omega_{OL} T = 0.0621 \text{ radian} \quad (2-26b)$$

et,

$$\cos(\omega_s T - \omega_{OL} T) = 0.998 \approx 1 \quad (2-27)$$

$$\sin(\omega_s T - \omega_{OL} T) = 0.062 \approx 0 \quad (2-28)$$

L'équation (2-22c) se réduit alors à:

$$z(t) = \frac{A^2}{4} \cos(\widehat{\theta(t)} - \widehat{\theta(t-T)}) \quad (2-29)$$

La sortie du sommateur produit donc deux niveaux de tension différents selon que le démodulateur détecte ou non un changement de phase. Ainsi, pour des phases identiques du signal reçu aux instants t et $t-T$, on a:

$$\widehat{\theta(t)} = \widehat{\theta(t-T)} = z(t) = \frac{A^2}{4} \cos(0) = \frac{A^2}{4} \quad (2-30)$$

alors qu'un changement de phase donne:

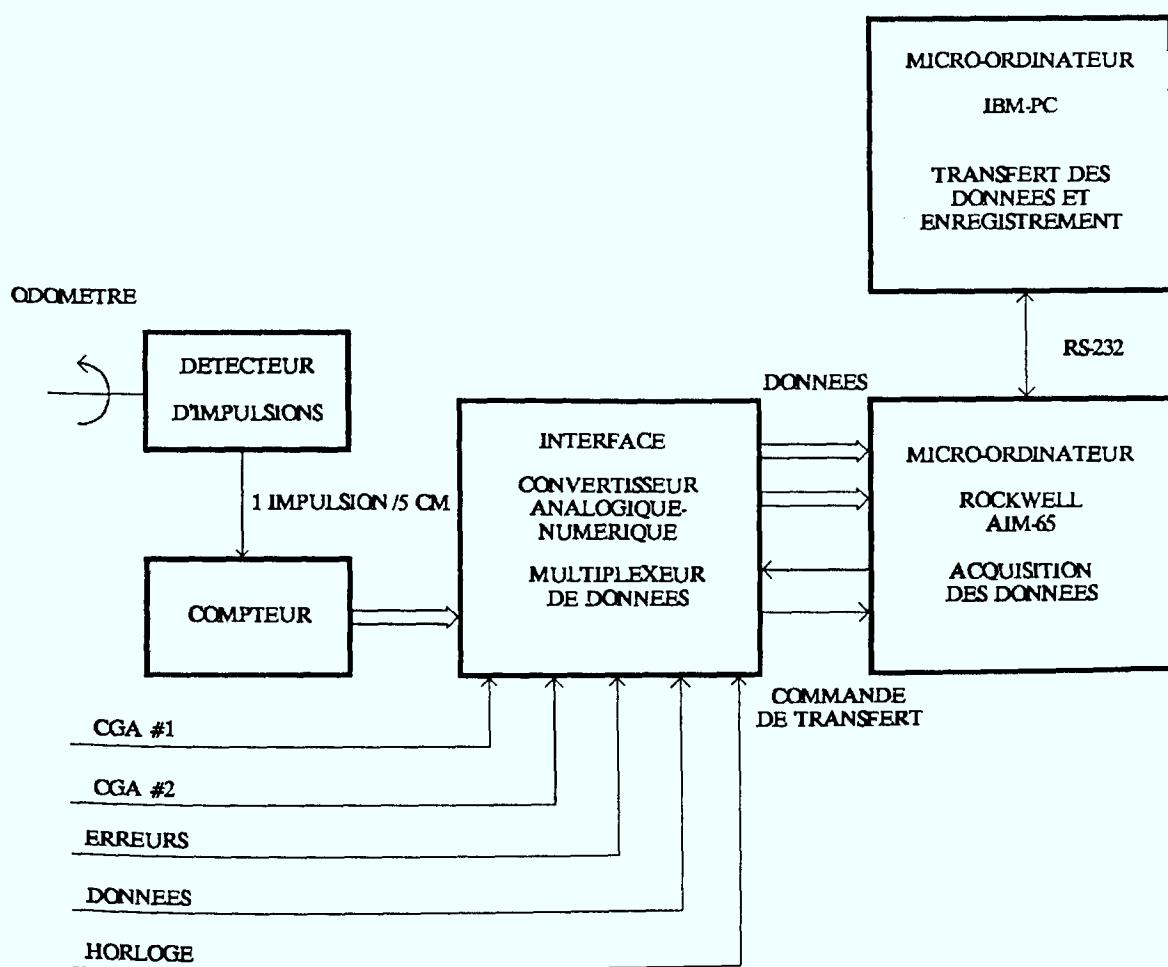
$$\widehat{\theta(t)} = \widehat{\theta(t-T)} + \pi = z(t) = \frac{A^2}{4} \cos(\pi) = -\frac{A^2}{4} \quad (2-31)$$

Le comparateur regénère les données détectées, correspondant au signal démodulé et filtré, sous la forme d'un train d'impulsions binaires.

Un détecteur d'erreur génère, à partir de la séquence de données reçues, la séquence d'erreurs causées par le canal de transmission. Le circuit de synchronisation mentionné à la section 2.2.3 du présent chapitre, détermine les instants d'échantillonnage du détecteur d'erreur ainsi que du comparateur de niveaux du démodulateur. Ce signal d'horloge peut être avancé manuellement par incrément de 12.5 micro-secondes, soit un huitième de la durée d'un bit, afin d'ajuster la synchronisation de l'horloge et ainsi d'optimiser la détection des signaux. La séquence de données reçues ainsi que la séquence d'erreurs correspondante sont échantillonnées par le système d'acquisition de données.

2.3.3 Acquisition des données

Le système d'acquisition de données représenté à la figure 2.10 a pour fonction d'échantillonner les diverses informations utiles pour l'analyse



SYSTÈME D'ACQUISITION DE DONNÉES

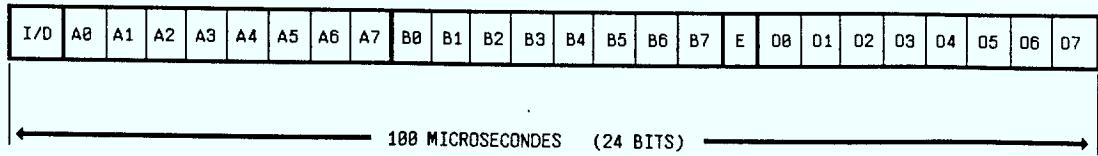
Figure 2.10

statistique du canal radio-mobile. Ces données sont emmagasinées sur disques souples pour être ultérieurement transférées sur rubans magnétiques pour être traitées à l'aide d'un ordinateur VAX-785.

La carte d'interface échantillonne les tensions continues de commande de gain automatique des deux récepteurs destinés à la mesure de la puissance du signal et du bruit (i.e. les signaux CGA #1 et CGA #2) et les quantifie sur 128 niveaux discrets à l'aide de blocs de 7 bits chacun. À chaque mesure, le système échantillonne chacune de ces tensions à un taux de 10 000 prélèvements par seconde, et ce, pour une seconde. Tous les signaux sont échantillonnés simultanément. La séquence d'erreur est également échantillonnée au même taux de 10 kbits/s. La position de l'unité mobile est relevée à partir d'un compteur d'impulsions de 8 bits; à chaque fois que le véhicule se déplace de 5 centimètres, la valeur du compteur est incrémentée. On peut, de cette manière, connaître la position de l'unité mobile au 5 centimètres près, et ce, pour 12.8 mètres (c'est-à-dire 256 impulsions multiplié par 5 cm/impulsion) avant que le compteur ne se remette à zéro. Les mots de huit bits ainsi générés sont échantillonnés par le circuit d'interface. Le signal d'horloge est requis pour la synchronisation des signaux de commande de l'interface.

Un premier micro-ordinateur, le micro-ordinateur AIM-65 (Rockwell), est utilisé pour faire l'acquisition rapide des données expérimentales. Le système doit acquérir toutes les données échantillonnées en temps réel, c'est-à-dire 10 000 mots de 24 bits (le tableau 2.2 indique le format employé lors de l'enregistrement des données), et les emmagasiner dans sa mémoire vive. Le circuit d'interface est en communication constante avec le micro-ordinateur AIM-65, afin d'assurer la synchronisation des opérations des convertisseurs analogiques-numériques, des multiplexeurs des données recueillies et des diverses fonctions du programme d'acquisition de données du micro-ordinateur lui-même (e.g. transfert des données de la carte d'interface au micro-ordinateur, transfert des données dans sa propre mémoire vive).

Une fois la mesure des paramètres du canal radio-mobile complétée, les données inscrites dans la mémoire vive sont transférées à un second micro-



I/D: BIT D'IDENTIFICATION OU BIT DE DONNEES

A_i: NIVEAU DU SIGNAL (128 NIVEAUX DISCRETS)

B_i: NIVEAU DU BRUIT (128 NIVEAUX DISCRETS)

E: BIT D'ERREUR

D_i: ODOMETRE (COMPTE SUR 256 IMPULSIONS)

FORMAT D'ENREGISTREMENT DES DONNEES

TABLEAU 2.2

ordinateur (i.e. micro-ordinateur IBM-PC) par liaison série RS-232. Les données sont alors inscrites sur un disque souple. Ce sont ces données qui sont, par la suite, utilisées pour l'analyse du canal. Tel que mentionné auparavant, l'installation, sur des coussins de caoutchouc, du micro-ordinateur IBM-PC, destiné à l'enregistrement définitif des données, a été la source de quelques ennuis techniques lors de la campagne de mesure, et ce, malgré le fait que celui-ci soit solidement attaché à l'intérieur du véhicule. Il a donc fallu, à quelques reprises, reprendre l'enregistrement des données expérimentales.

2.3.4 Vérification préliminaire des données expérimentales

Pendant la campagne de mesures, certaines vérifications préliminaires ont été effectuées afin de s'assurer que les enregistrements des données expérimentales étaient valides. On a ainsi pu se rendre compte du problème de synchronisation dont il a été fait mention à la section 2.2.3 de ce

chapitre. Lorsque le signal à la réception était affecté par un affaiblissement important, on a observé un glissement rapide du signal d'horloge par rapport au train d'impulsion reçu correspondant aux bits d'information transmis dans le canal. Lors d'un affaiblissement marqué du signal, il est normal que les données reçues soient fortement atténées et que le signal d'horloge, généré à partir de ces données, soit momentanément affecté d'un glissement. Cependant, les affaiblissements sont de courte durée et, de ce fait, la perte de données (sans compter les erreurs de transmission) limitée à quelques bits. Or, le circuit de récupération du signal d'horloge prend considérablement plus de temps à réacquérir sa synchronisation, résultant ainsi, non pas en quelques erreurs de transmission, mais plutôt en une perte complète de signal. La durée de la perte totale du signal est déterminée par la bande passante d'un filtre de boucle d'asservissement de phase utilisée dans le circuit de récupération de l'horloge. Ainsi, en examinant les données recueillies, on a observé des pertes de signal de l'ordre de quelques centaines de bits correspondant à un taux de transmission de 10 kbits/s, à un temps d'acquisition de l'horloge de quelques centièmes de secondes. Pour remédier à la situation, on a utilisé la sortie d'un synthétiseur de fréquence stable pour générer le signal d'horloge; de cette façon la synchronisation était préservée quelque soit le niveau du signal reçu par l'unité mobile. La figure 2.11 montre l'effet des affaiblissements du signal sur la séquence d'erreur pour les deux techniques de synchronisation considérées. On note une nette amélioration de la séquence d'erreur (fig. 2.11b) dans le cas où le signal de synchronisation est dérivé du synthétiseur de fréquence indépendant.

2.4 Traitement préliminaire des données

Une première analyse de données enregistrées illustre bien la distribution non uniforme des erreurs de transmission en fonction du temps. La figure 2.11b, représentant la séquence d'erreur du fichier RMOBIL41.DAT, montre la répartition des erreurs de transmission en salves.

Pour examiner la performance des codes algébriques sur les séquences d'erreurs recueillies lors des mesures expérimentales du canal radio-mobile, ces séquences ont été découpées en blocs de 7 bits de longueur. Pour chaque fichier, on calcule la probabilité d'obtenir un certain nombre d'erreurs par mot ou bloc de 7 bits. Par exemple, pour le fichier RMOBI141.DAT, la probabilité qu'un mot ne contienne aucune erreur est de 88.87% et la probabilité d'obtenir une erreur par bloc est 2.80% (tableau 2.3). Le code algébrique BCH (7,4,1) permet de corriger les erreurs simples, ainsi pour le fichier RMOBI141.DAT, la probabilité d'erreur de décodage d'un mot est de 8.33%. Il est à noter que la probabilité d'erreur par bit transmis dans le canal est de 4.32% et qu'en l'absence de codage la probabilité d'erreur par bloc est de 11.13% (i.e. 100% - 88.87%) en raison de la distribution des erreurs en salves. En réduisant le taux du code à 1/7, par l'utilisation d'un code simple de répétition des bits d'information (7,1,3), on augmente la capacité de correction et la probabilité de décodage erroné devient 3.22%. L'amélioration de la performance du système de transmission nécessite donc une réduction importante du taux de transmission effectif des bits d'information.

On peut réduire la probabilité d'erreur de décodage, tout en conservant le même taux de transmission des bits d'information, en entrelaçant les mots de 7 bits. Le tableau 2.3 indique, pour le fichier RMOBI141.DAT, le degré d'entrelacement qui réduit le plus la probabilité de décodage erroné. Ainsi, avec le code (7,4,1), en entrelaçant 2 mots de 7 bits, le taux d'erreur par mot passe de 8.33% à 7.77%. Cependant, un autre degré d'entrelacement peut conduire à une augmentation du taux d'erreur. C'est notamment le cas lorsque le degré d'entrelacement est de 33; la probabilité d'erreur par mot passe alors à 9.38%. Or, pour le code (7,1,3), on obtient une probabilité d'erreur de décodage minimale de 1.05% avec un degré d'entrelacement de 33. Le degré d'entrelacement optimal est déterminé par la longueur des salves et le nombre de bits séparant ces salves. En communication radio-mobile, la longueur et la distribution des salves dépendent de la fréquence des affaiblissements du signal et, par conséquent, il est très difficile de déterminer le degré d'entrelacement optimal.

2.5 Conclusion

Le principe de fonctionnement de l'équipement utilisé, pour la campagne de mesures du canal de transmission radio-mobile numérique, est exposé en détail dans le présent chapitre.

Il est question, en particulier, des problèmes de synchronisation inhérents à la récupération du signal d'horloge à partir de signal reçu par l'unité mobile. Le canal de transmission radio-mobile étant affecté sévèrement par des affaiblissements importants du signal, la régénération du signal d'horloge devient très difficile. Afin de prévenir la désynchronisation du système d'acquisition de données, un signal d'horloge indépendant des conditions de propagation du canal est généré à l'aide d'un oscillateur très stable en fréquence.

L'analyse préliminaire des données expérimentales recueillies sur le canal de transmission radio-mobile numérique indique, tel que prévu, la distribution en salves des erreurs de transmission causées par le canal de transmission. Les techniques de codage numériques conventionnelles permettent de réduire la probabilité de décodage des mots transmis, et ce, au prix d'un taux de transmission effectif moindre. L'utilisation de la technique d'entrelacement des mot-codes pour sa part, nécessite une bonne connaissance de la durée des salves d'erreurs. La longueur des salves est fonction de la fréquence Doppler dans le système de communication, et donc, difficile à prévoir. On doit donc employer l'entrelacement avec précaution.

Il reste un travail d'analyse du canal radio-mobile numérique important à faire. À partir des données expérimentales, on se propose d'étudier les variations de l'enveloppe du signal et du niveau du bruit en fonction du temps et en fonction de la distance parcourue par l'unité mobile. On pourra ainsi évaluer le rapport signal-à-bruit instantané et, également, la probabilité d'erreur par bit en fonction du rapport signal-à-bruit moyen.

TABLEAU 2.3

Fichier contenant la sequence d'erreur= RMOBI141.DAT

Statistiques globales:

Nb. bits err.: 432 Prob. bits err. Pbe= 4.32%

| # | 1 | Degre: | 1 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | (7, 4, 1) | (7, 1, 3) |
|----------|----|--------|----|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|-----------|
| Err/mot: | | | | 1269 | 40 | 41 | 32 | 26 | 13 | 4 | 3 | 119 | 46 |
| | | | | 88.87% | 2.80% | 2.87% | 2.24% | 1.82% | 0.91% | 0.28% | 0.21% | 8.33% | 3.22% |
| # | 2 | Degre: | 2 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | (7, 4, 1) | (7, 1, 3) |
| Err/mot: | | | | 1263 | 54 | 27 | 42 | 22 | 10 | 10 | 0 | 111 | 42 |
| | | | | 88.45% | 3.78% | 1.89% | 2.94% | 1.54% | 0.70% | 0.70% | 0.00% | 7.77% | 2.94% |
| # | 3 | Degre: | 3 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | (7, 4, 1) | (7, 1, 3) |
| Err/mot: | | | | 1249 | 53 | 52 | 41 | 20 | 8 | 3 | 2 | 126 | 33 |
| | | | | 87.46% | 3.71% | 3.64% | 2.87% | 1.40% | 0.56% | 0.21% | 0.14% | 8.82% | 2.31% |
| # | 32 | Degre: | 32 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | (7, 4, 1) | (7, 1, 3) |
| Err/mot: | | | | 1210 | 96 | 58 | 44 | 14 | 4 | 2 | 0 | 122 | 20 |
| | | | | 84.73% | 6.72% | 4.06% | 3.08% | 0.98% | 0.28% | 0.14% | 0.00% | 8.54% | 1.40% |
| # | 33 | Degre: | 33 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | (7, 4, 1) | (7, 1, 3) |
| Err/mot: | | | | 1206 | 88 | 76 | 43 | 13 | 1 | 1 | 0 | 134 | 15 |
| | | | | 84.45% | 6.16% | 5.32% | 3.01% | 0.91% | 0.07% | 0.07% | 0.00% | 9.38% | 1.05% |
| # | 34 | Degre: | 34 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | (7, 4, 1) | (7, 1, 3) |
| Err/mot: | | | | 1210 | 94 | 62 | 38 | 20 | 4 | 0 | 0 | 124 | 24 |
| | | | | 84.73% | 6.58% | 4.34% | 2.66% | 1.40% | 0.28% | 0.00% | 0.00% | 8.68% | 1.68% |

Code (7, 4, 1):

erreurs maximum: 134
erreurs minimum: 111
Pemax = 9.38%
Pemin = 7.77%

Code (7, 1, 3):

erreurs maximum: 46
erreurs minimum: 15
Pemax = 3.22%
Pemin = 1.05%

SEQUENCE D'ERREUR

Figure 2.11a (début)

| | | |
|-------------------------------|-------|--------|
| Nombre de bits exacts (0): | 8850 | 88.5 % |
| Nombre de bits en erreur (1): | 1150 | 11.5 % |
| Nombre total de bits | 10000 | |

Figure 2.11a (fin)

| | | |
|-------------------------------|-------|---------|
| Nombre de bits exacts (0): | 9568 | 95.68 % |
| Nombre de bits en erreur (1): | 432 | 4.32 % |
| Nombre total de bits: | 10000 | |

Figure 2.11b (fin)

RMOBI141.DAT

SEQUENCE D'ERREUR

Figure 2.11b (début)

Chapitre 3

MODÉLISATION STATISTIQUE D'UN CANAL RADIO-MOBILE

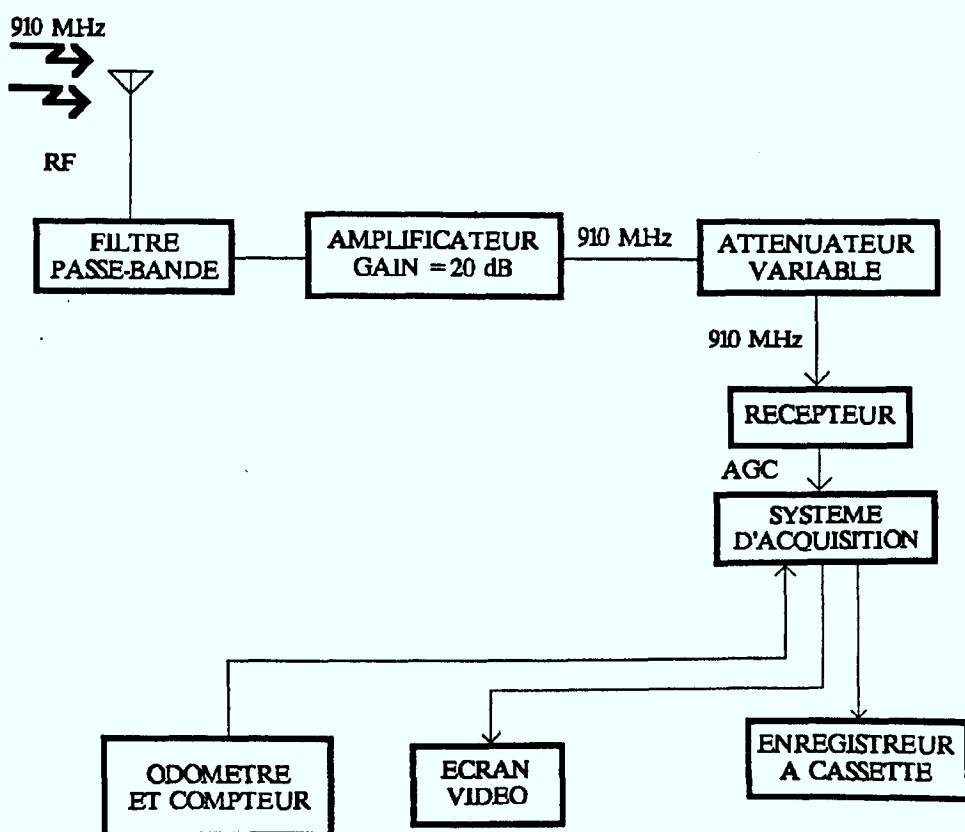
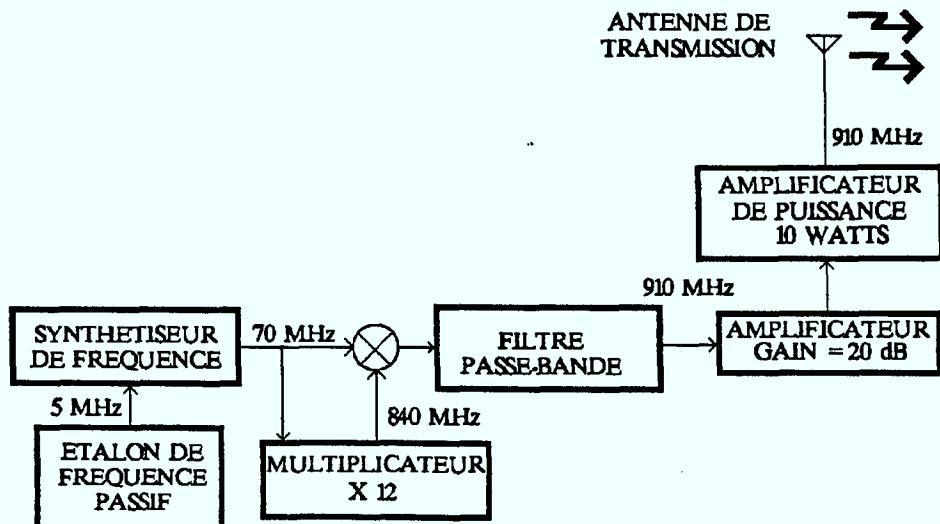
3.1 Introduction et rappel

Ce présent chapitre est consacré au traitement des mesures de propagation prises au cours de l'été 1984 dans la région d'Ottawa. Dans le but de procéder de façon systématique, ces mesures de propagation ont été faites le long de 8 routes, d'une longueur variant de 15 à 30 kilomètres, ces routes s'étendant radialement dans différentes directions à partir des laboratoires du CRC. À différents points de ces routes, c'est-à-dire autant que possible à tous les kilomètres, un fichier de données de 6000 points était enregistré à une fréquence d'échantillonnage de 100 Hz, d'abord avec le véhicule immobilisé et ensuite avec le véhicule circulant à une vitesse réduite de l'ordre de 10 km/h de telle sorte que, dans ce cas, le fichier de 6000 points correspond à une distance de l'ordre de 150 mètres. Au total, 408 fichiers ont été ainsi enregistrés.

La figure 3.1 présente respectivement un schéma du système utilisé pour la transmission, et un schéma du système utilisé à la réception y incluant le système d'acquisition de données. Les aspects les plus importants de cette instrumentation ont déjà été décrits précédemment [5].

La figure 3.2 donne une vue générale de l'emplacement couvert par la campagne de mesure avec une indication de l'allure générale des 8 routes parcourues.

Les 408 fichiers de données correspondants, enregistrés selon la procédure décrite au début de ce chapitre, ont été transférés sur le système VAX-785 de l'Université Laval afin de procéder à leur traitement. Chacun des fichiers a été tracé et une inspection visuelle des fichiers en mouvement a été faite afin de ne conserver pour traitement ultérieur que les



RECEPTEUR

Figure 3.1 – Appareillage utilisé

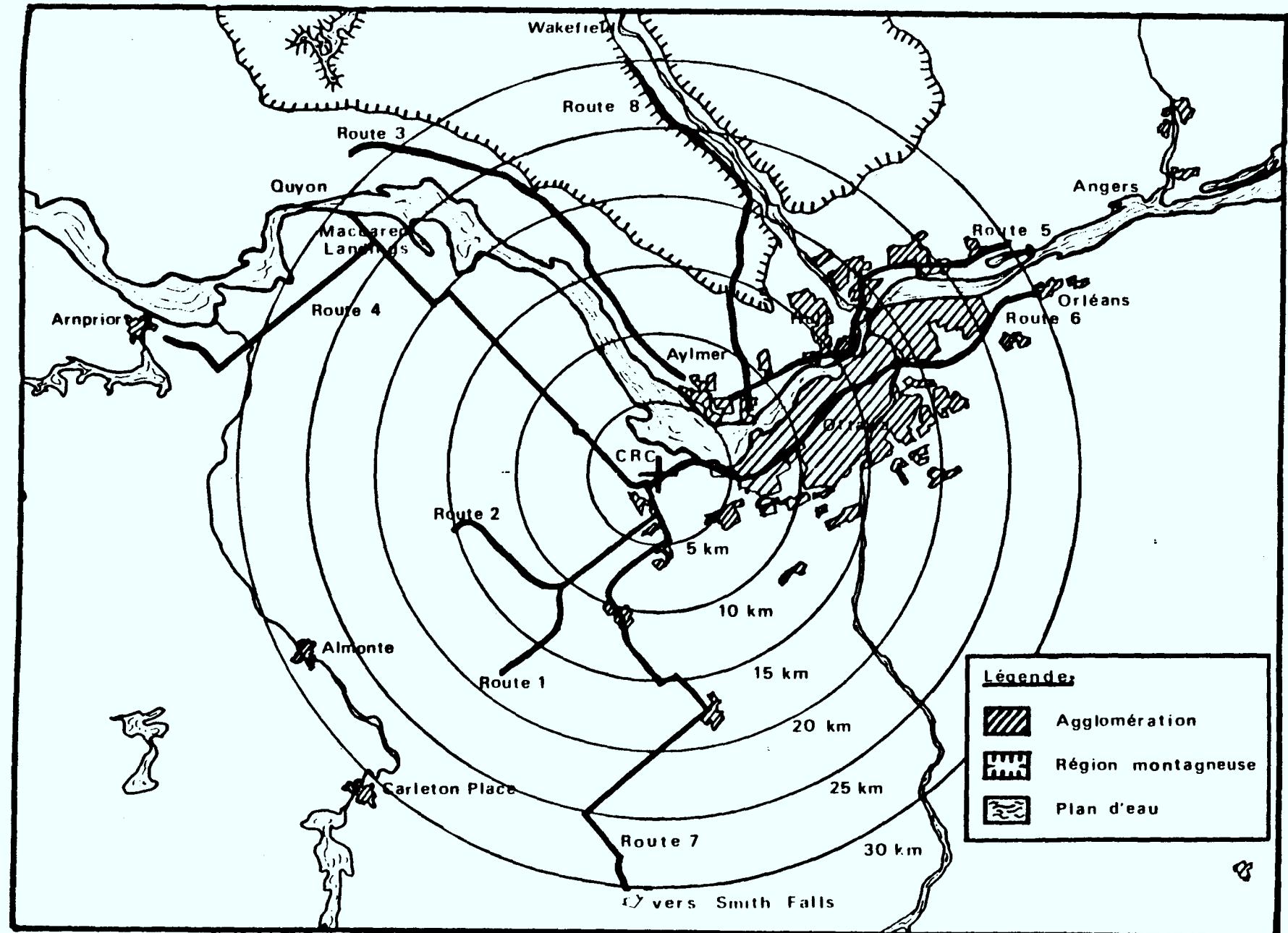


Figure 3.2 – Vue générale de la région couverte par la campagne de mesures

fichiers dont les enregistrements étaient absolument irréprochables. Ont donc été éliminés les fichiers sur lesquels apparaissaient des irrégularités tels la présence de conditions de saturation, la perte de synchronisation, un enregistrement incorrect de la position du véhicule, etc.

On a donc procédé en fin de compte à l'analyse de 122 fichiers pour le véhicule en mouvement. La plupart de ces fichiers, soit 90, correspondaient à des régions ouvertes, alors que 21, 7 et 4 fichiers appartenaient à des régions suburbaines, et urbaines à faible et moyenne densité.

Alors que les données de la campagne de mesure précédente, en 1983, avaient été prises avec l'unité mobile circulant à des vitesses normales, on avait pris soin, pour la campagne de mesure de 1984, de limiter la vitesse de l'unité mobile à une valeur de 5 à 10 km/h. Ceci permettait d'obtenir un taux d'échantillonnage suffisant pour bien suivre les variations temporelles du niveau du signal reçu. Ainsi, pour une longueur d'onde de .33 mètre correspondant à une fréquence de 900 MHz, une unité mobile se déplaçant à 6 km/h couvre une distance de 1.67 mètre en une seconde. Un taux de 100 échantillons par seconde donne une vingtaine d'échantillons par longueur d'onde, ce qui est plus que suffisant pour suivre convenablement les variations cycliques du signal reçu qu'on s'attend à observer à toutes les longueurs d'onde. Même en doublant la vitesse, on a encore une dizaine d'échantillons par longueur d'onde.

En vue d'obtenir une assurance raisonnable que le taux d'échantillonnage était suffisant pour suivre les variations du niveau du signal reçu, un certain nombre de segments des enregistrements du signal reçu ont été tracés à grande échelle. Ces tracés ont permis de vérifier que le taux d'échantillonnage était suffisant pour bien suivre les variations du signal.

3.2 Conversion d'une échelle de temps à une échelle position

Si le fait de décrire le niveau du signal reçu en fonction du temps correspond bien à la situation réelle dans laquelle évolue la communication

radio-mobile, il faut bien se rendre compte cependant que cette description permet difficilement d'en arriver à une description statistique générale, et à une description qui soit directement reliée aux phénomènes physiques en cause. Comment peut-on distinguer, dans des statistiques prises à partir d'une description du signal en fonction du temps ce qui dépend des conditions de la circulation et de la configuration du terrain? Les principaux paramètres physiques à considérer étant reliés à la vitesse de l'unité mobile et à sa position sur le terrain, la logique impose, pour fins de modélisation statistique, d'exprimer les résultats en fonction de la position sur le terrain.

Le système d'acquisition de données échantillonnait tous les 10 ms le niveau du signal reçu de même que la position d'un compteur relié à l'odomètre de l'unité mobile, calibré pour produire une impulsion à chaque 5 cm de déplacement. Aux vitesses considérées ici qui étaient de l'ordre de 5 à 10 km/h, le compteur restait normalement à la même valeur pour quelques échantillons avant d'avancer à la valeur suivante, et ainsi de suite. Il fallait donc procéder à un lissage de l'information de déplacement avant de calculer la vitesse du véhicule et de convertir le signal en fonction du temps en un signal fonction de la position.

Pour le calcul de la vitesse de l'unité mobile à partir des enregistrements du déplacement, on pouvait utiliser des procédures d'interpolation ou un filtre numérique passe-bas. L'utilisation d'un filtre numérique devait apparaître comme une solution commode. De plus, le câble et le système d'odomètre étant sujet à des contraintes de torsion et de friction, la rotation n'était pas assez régulière pour permettre d'utiliser directement les données sur le déplacement de l'unité mobile pour en calculer la vitesse. De fait, même de petites irrégularités dans la rotation du câble de l'odomètre causent des fluctuations importantes dans les estimés de la vitesse instantanée. C'est ce qu'illustre la figure 3.3: la courbe du haut donne l'amplitude instantanée du signal en fonction du temps et celle du bas le calcul de la vitesse instantanée à partir des données directes sur le déplacement. Ces variations importantes et quasi-périodiques de la vitesse proviennent de l'odomètre.

Amplitude du signal en fonction du temps (fichier 362)

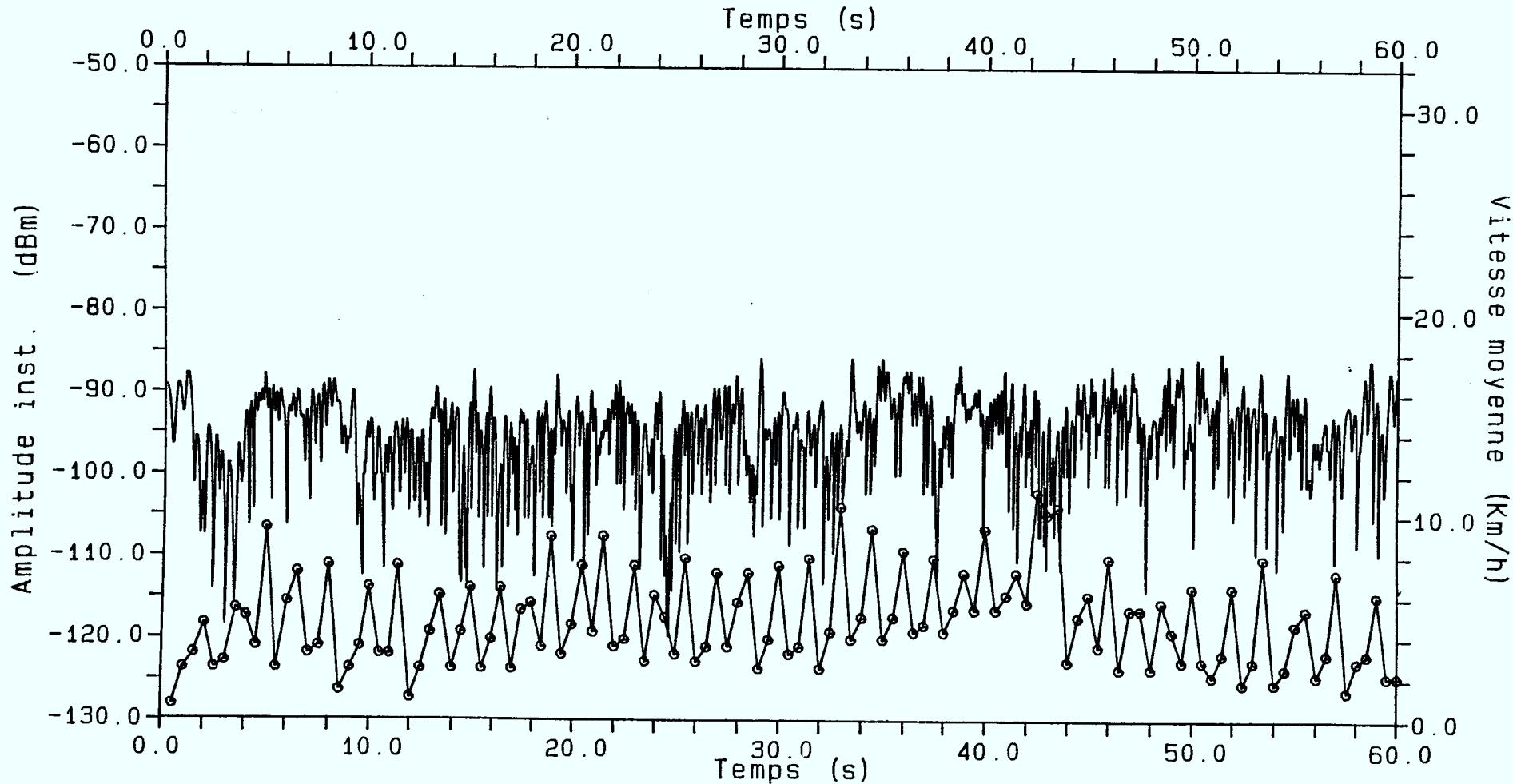


Figure 3.3 – Tracé d'un enregistrement de l'amplitude instantanée en fonction du temps, et de l'estimé de la vitesse avant le lissage de l'information de déplacement

Afin de lisser l'information sur le déplacement, un filtre passe-bas à réponse impulsionale finie pondérée par une fenêtre de Hamming a été adopté après plusieurs essais: la fréquence de coupure du filtre a été fixée à 0.3 Hz, la bande d'arrêt commençant à 0.6 Hz avec une atténuation de 44 dB. La réponse en amplitude de ce filtre apparaît à la figure 3.4 alors que sa réponse en phase est illustrée à la figure 3.5. On notera que la réponse en phase de ce type de filtre est linéaire ce qui est essentiel si on désire convertir sans distorsion le signal en fonction du temps en un signal en fonction de la position; c'est ainsi que ce filtre a une longueur de 1335 échantillons et cause en conséquence un délai fixe de 667 échantillons; ceci implique que, à partir des 6000 échantillons originaux de chaque fichier, 5333 pouvaient être récupérés à la sortie du filtre.

On voit à la figure 3.6 deux tracés superposés des lectures de l'odomètre en fonction du temps. Si on regarde avec attention, on réussit à voir sur un tracé les irrégularités quasi-périodiques dans le mouvement de l'odomètre; ce sont ces petites irrégularités qui causent les importantes fluctuations remarquées à la figure 3.3 dans le tracé de la vitesse instantanée. Le lissage fait disparaître ces irrégularités et on remarque à la figure 3.6 que le tracé après filtrage se superpose parfaitement par dessus le tracé initial; seules les oscillations sont supprimées et, tel que mentionné ci-dessus, les 667 dernières positions du fichier sont absentes.

La figure 3.7 illustre un tracé du niveau du signal reçu en fonction du temps et de la vitesse moyenne du véhicule, tel que résultant du traitement explicité ci-dessus.

3.3 Séparation des variations lentes et rapides

On reconnaît de façon générale que le niveau du signal reçu (plus spécifiquement, son amplitude exprimée en volt ou en micro-volt par exemple) dans un canal radio-mobile à bande étroite peut être considéré comme l'effet conjugué d'un signal à variation lente (correspondant à la "moyenne locale") dont la densité de probabilité de l'amplitude serait log-normale,

Amplitude du filtre, fenetre Hanning

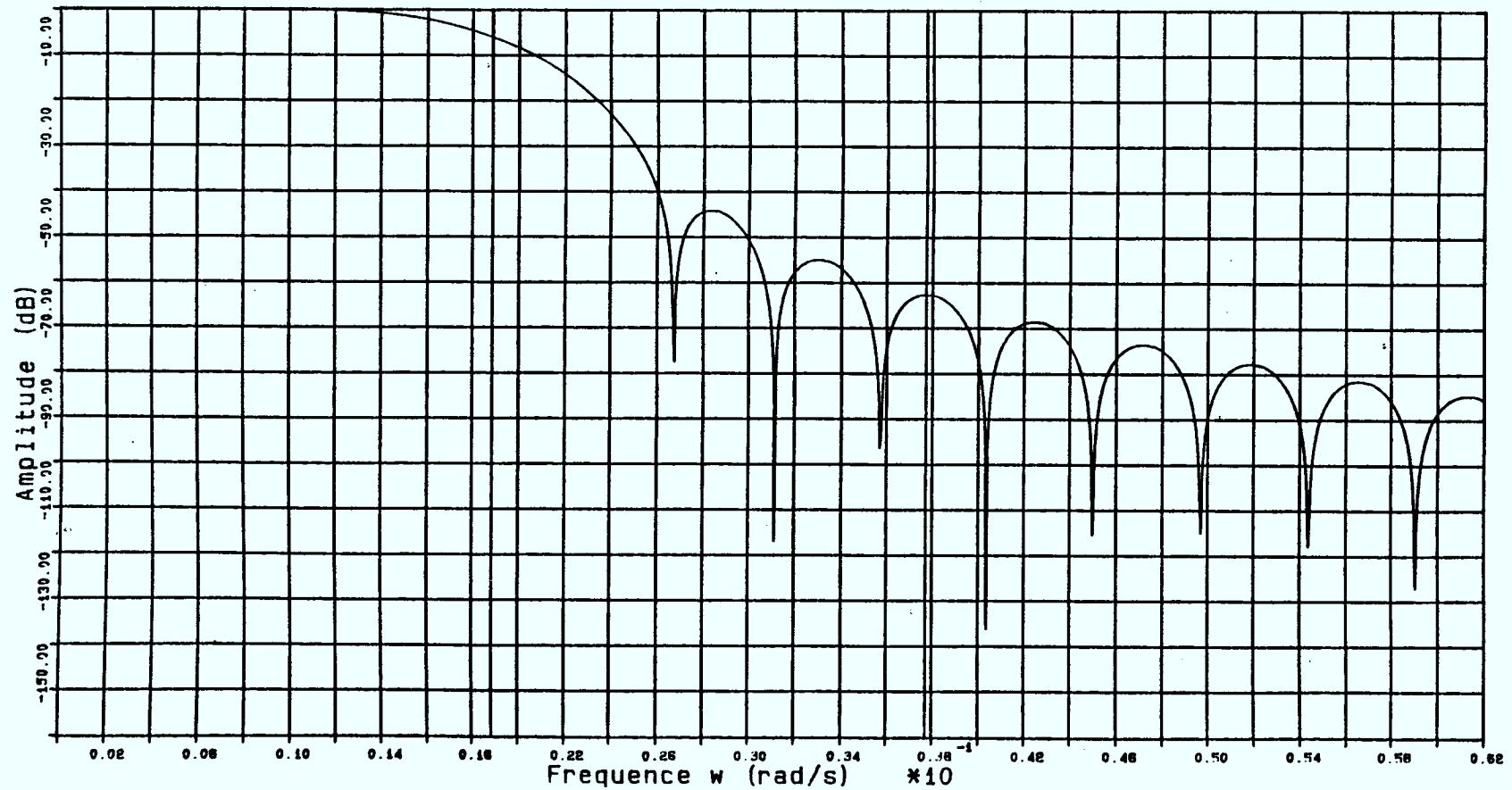


Figure 3.4

Phase du filtre, fenetre Hanning

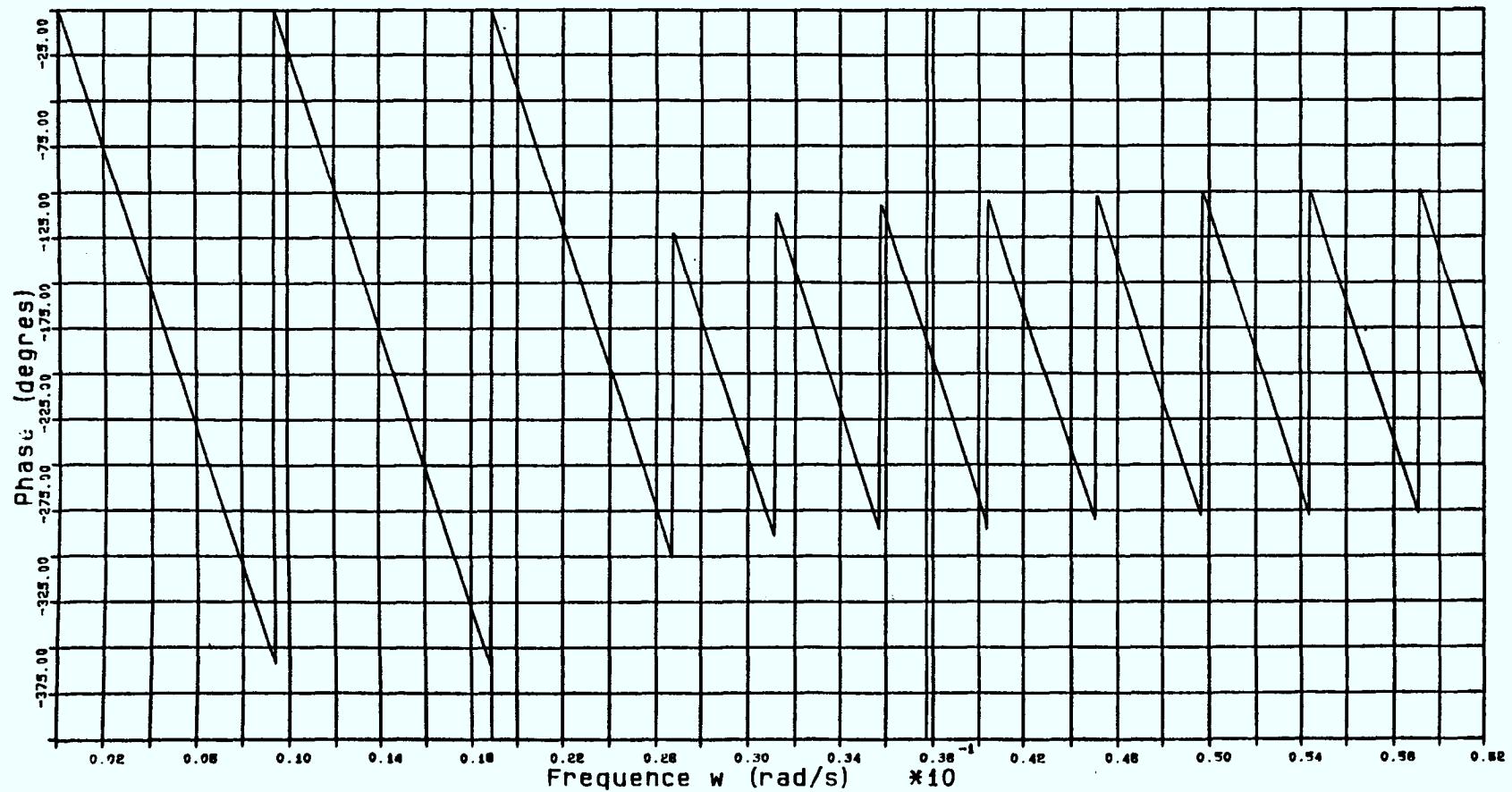


Figure 3.5

Position, filtre RIF, en fonction du temps (fichier 362)

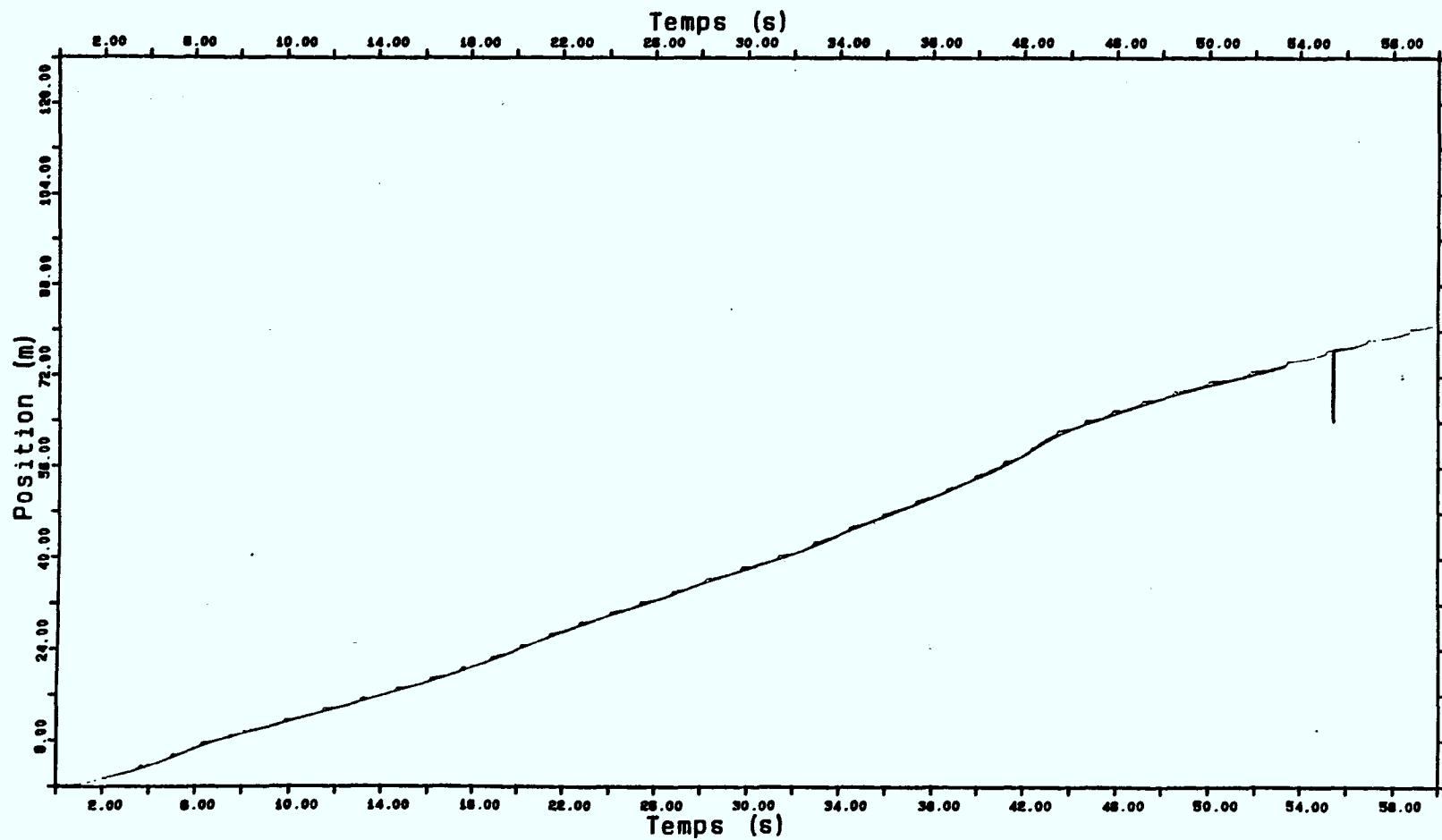


Figure 3.6 – Lecture de l'odomètre en fonction du temps, avant et après lissage

Amplitude du signal en fonction du temps (fichier 362) Page 1

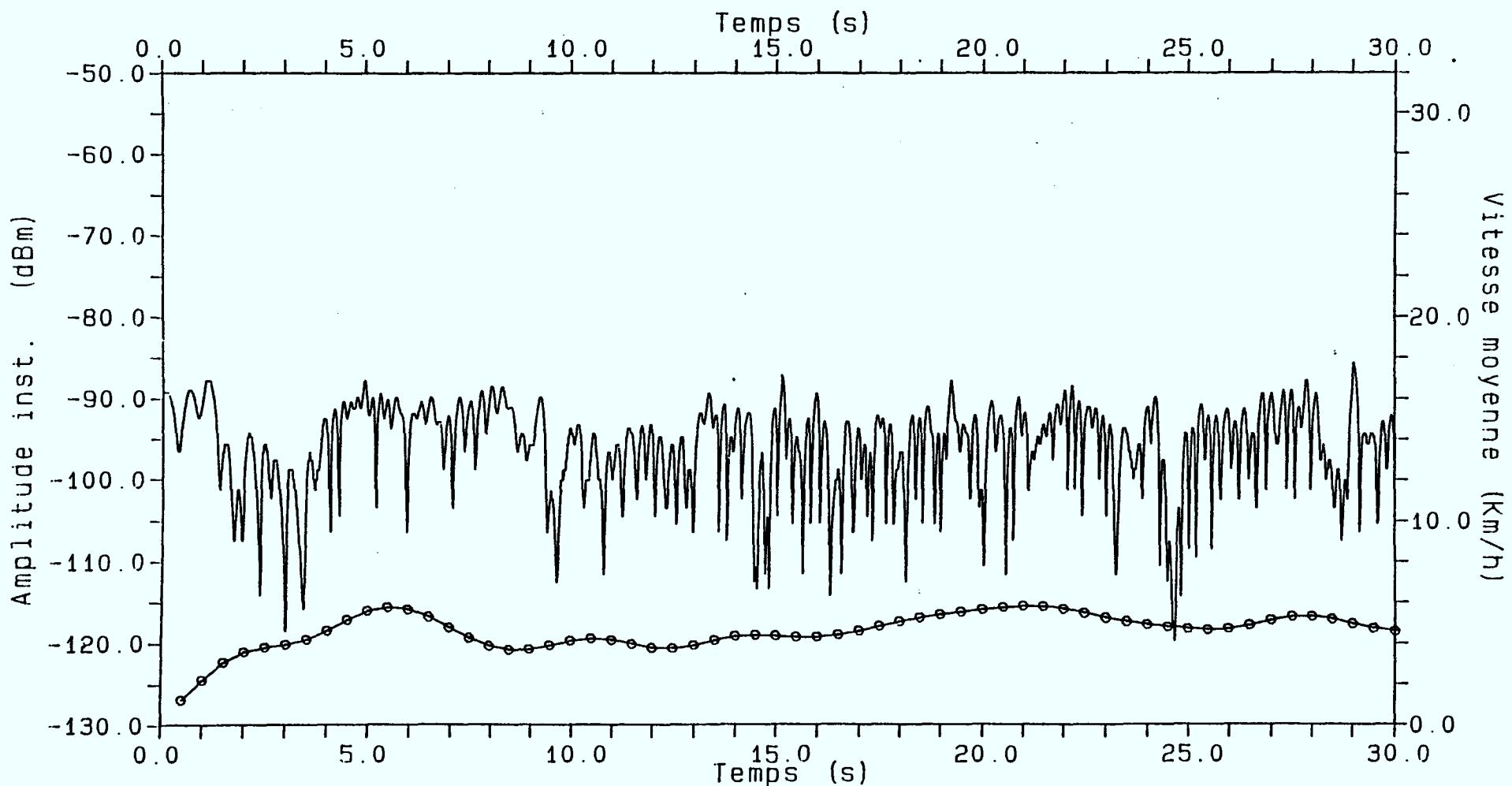


Figure 3.7 - Tracé d'un enregistrement de l'amplitude instantanée en fonction du temps, et tracé de la vitesse après le lissage de l'information de déplacement

multiplié par un facteur à variation rapide qui suivrait une loi de Rayleigh ou de Rice.

Différentes méthodes ont été proposées pour estimer la "moyenne locale" du signal reçu par une unité mobile. On a montré, par exemple [6], qu'un bon estimé de la moyenne locale peut être obtenu en moyennant le signal sur des intervalles de 40 à 200 λ de longueur.

Nous avons plutôt décidé d'explorer une autre approche, c'est-à-dire celle de filtrer le signal reçu par un filtre passe-bas afin de séparer les composantes à variation lente et à variation rapide. Le signal ayant déjà été transformé pour être exprimé en fonction de la position plutôt que du temps, il a fallu pour fin de filtrage introduire le concept d'une "fréquence-position" f_p (en cycles/mètre) plutôt que celui d'une "fréquence-temps" f_t (en Hertz). Ces deux paramètres sont reliés entre eux par la vitesse v_m (en km/h) de l'unité mobile:

$$f_p = \frac{3.6 f_t}{v_m}$$

Il importe maintenant de choisir la fréquence de coupure et les caractéristiques du filtre passe-bas à utiliser pour obtenir le signal de variation lente. Après de nombreux essais, on a choisi un filtre à phase linéaire de même type que celui déjà décrit ci-haut; la fréquence de coupure du filtre a été fixée à .125 cycle/ λ , la fréquence de la bande d'arrêt étant fixée à .1875 cycle/ λ , soit 1.5 fois la fréquence de coupure. Cette définition permettrait éventuellement d'utiliser les mêmes paramètres pour traiter des enregistrements radio-mobile dans d'autres bandes de fréquence. Le raisonnement menant au choix de ces paramètres est élaboré ci-dessous.

En principe, les minima qu'on remarque dans la composante de Rayleigh du signal radio-mobile peuvent apparaître à tous les λ de distance, c'est-à-dire à tous les .33 mètre à la fréquence de 910 MHz. Ceci correspond à une "fréquence-position" de 3 cycles/mètre. Une valeur 5 à 10 fois plus petite, soit une valeur entre .3 et .6 cycle/mètre ou entre .1 et .2 cycle/ λ ,

apparaît donc raisonnable pour la fréquence de coupure du filtre passe-bas. Différents essais ont été faits: il en ressort que le choix exact de la fréquence de coupure n'est pas très critique tant qu'on demeure dans cette zone.

Vu d'un autre angle, ceci signifie que les variations les plus rapides incluses dans la composante à variation lente sont de l'ordre du mètre.

Le filtre utilisé avait une longueur de 1281, et occasionnait donc un délai de 640 échantillons (ou de 10.55 mètres, comme on pourra le déduire du paragraphe suivant).

Le filtre en question opère sur un signal radio-mobile qui a déjà été converti d'une échelle en fonction du temps à une échelle en fonction de la position. La périodicité du taux d'échantillonnage original a donc été détruite et on procède alors à une interpolation afin de restaurer un échantillonnage cadencé à l'entrée du filtre. On a jugé commode de choisir un intervalle de $\lambda/20$ entre les échantillons.

3.4 Résultats et conclusion

On présente à la figure 3.8 un tracé typique de l'amplitude instantanée du signal (en dBm) en fonction de la position. La courbe superposée à ce signal est la composante des variations lentes obtenue à la sortie du filtre passe-bas décrit ci-dessus. On remarque qu'il suit bien la variation du niveau moyen. Sa valeur moyenne est presque identique à la moyenne globale du fichier, ce qui s'est vérifié pour tous les fichiers analysés.

La figure 3.9 montre le tracé des variations rapides pour le même fichier: c'est la différence entre le signal original et la composante à variation lente. On note que sa valeur moyenne est très près de 0 dB, ce qui a été le cas pour toutes les données analysées.

Les quelques 200 fichiers enregistrés en 1984 avec l'unité mobile en mouvement ont tous été tracés et, après avoir rejeté les fichiers pour

Amplitude du signal en fonction de la position (fichier 362) Page 1

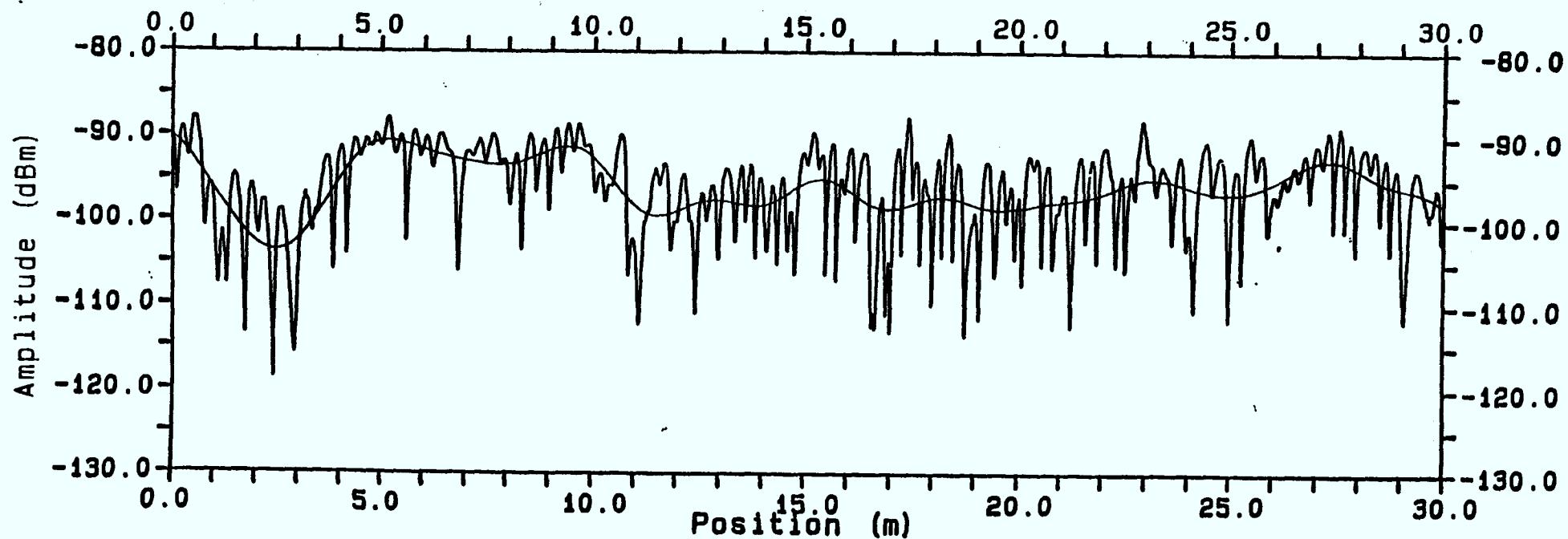


Figure 3.8 – Tracé de l'amplitude instantanée en fonction de la position
et tracé de la composante à variation rapide du signal

Amplitude du signal en fonction de la position (fichier 362) Page 1

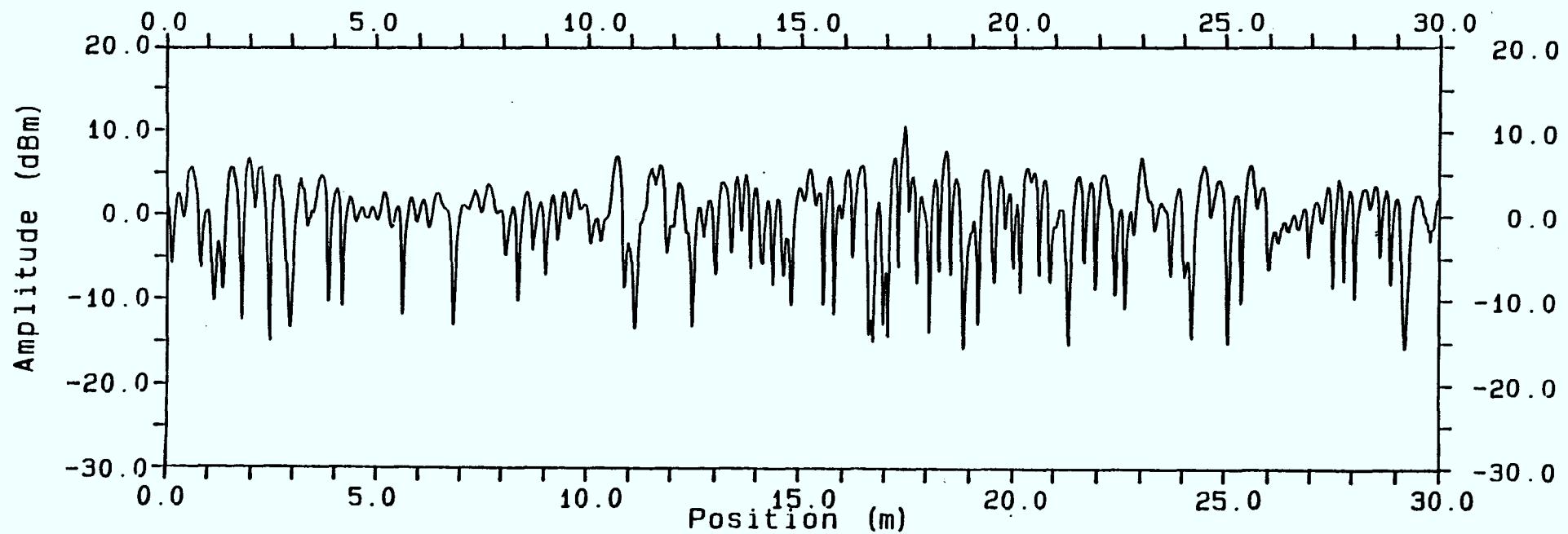


Figure 3.9 – Composante des variations rapides du signal

lesquels les irrégularités ont pu être notées, un total de 122 fichiers ont été retenus pour fins d'analyse statistique. La plupart de ces fichiers, soit 90, correspondaient à des milieux ouverts, alors que 21, 7 et 4 fichiers correspondaient à des régions suburbaines, urbaines à faible densité et urbaine à moyenne densité respectivement. Les données prises en 1985 permettront éventuellement d'ajouter plusieurs fichiers correspondant à des milieux urbains.

En ce qui concerne les hypothèses pour la distribution statistique du signal, et de ses composantes à variation lente et à variation rapide, rappelons ce que nous avons écrit au début de la section précédente.

De façon générale, le niveau du signal reçu (plus spécifiquement, son amplitude exprimée en volt ou en micro-volt par exemple) dans un canal radio-mobile à bande étroite peut être considéré comme l'effet conjugué d'un signal à variation lente (correspondant à la "moyenne locale") dont la densité de probabilité de l'amplitude serait log-normale, multiplié par un facteur à variation rapide qui suivrait une loi de Rayleigh ou de Rice.

Pour tenter d'éviter, dans la mesure du possible, toute confusion, nous citons ci-dessous deux extraits d'un article de R.C. French [7] qui précise bien cette question. Le premier extrait a trait au signal à variation lente, le deuxième extrait se rapporte au signal à variation rapide. Les définitions des termes sont les suivantes:

S Amplitude of received signal envelope in μ volts

$$S_d = 20 \log_{10} S$$

\bar{S} Local mean of S

$$\bar{S}_d = 20 \log_{10} \bar{S}$$

m_d Area mean: mean of \bar{S}_d over the length of a field measurement

σ Standard deviation in dB of the normal distribution of \bar{S}_d

Extrait 1

As the vehicle moves throughout an area at roughly constant distance from the transmitter, the local mean signal level... is found to vary lognormally. That is, the local mean expressed in dB, \bar{S}_d is normally distributed about an area mean, m_d equal to the mean of the variable \bar{S}_d . Consequently, the density function of the local mean is

$$P(\bar{S}_d) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma^2} \exp \left[\frac{-(\bar{S}_d - m_d)^2}{2\sigma^2} \right] \quad (3.2)$$

where σ is the standard deviation (in dB) of the local mean quoted as 6 dB in London, and as 8 to 12 dB in cities in the U.S.A. and Japan.

Extrait 2

... the probability of signal envelope S occurring, with local mean signal level \bar{S} , is given by the Rayleigh density function

$$P(S|\bar{S}) = \frac{\pi S}{2\bar{S}^2} \exp \left[-\frac{\pi S^2}{4\bar{S}^2} \right] \quad (3.3)$$

Mentionnons qu'en utilisant la relation entre la moyenne \bar{S} et la déviation standard σ_r de la distribution de Rayleigh, soit:

$$\bar{S} = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \sigma_r \quad (3.4)$$

$P(S|\bar{S})$ peut s'écrire aussi sous la forme suivante:

$$P(S|\bar{S}) = \frac{S}{\sigma_r^2} \exp \left[-\frac{S^2}{2\sigma_r^2} \right] \quad (3.5)$$

qui correspond à la forme traditionnelle sous laquelle on exprime généralement la loi de Rayleigh.

On trouve tout d'abord aux tableaux 3.1 et 3.2 un résumé de plusieurs des résultats.

Les résultats correspondent à l'amplitude du signal exprimée en dB pour les variations lentes, et à un facteur multiplicatif linéaire pour les variations rapides. Pour ces résultats, les signaux originellement enregistrés en dBm ont été convertis en volts et filtres. C'est à la suite de ceci que le signal à variation lente a été converti en dB pour fins de traitement, alors que le signal à variation rapide était traité tel quel.

Plusieurs tableaux d'analyse statistique ont aussi été préparés et sont présentés dans les pages suivantes. Chacun de ces tableaux s'étend sur plusieurs pages.

Rappelons que les signaux originellement enregistrés en dBm ont été convertis en volts et soumis au filtrage pour l'obtention des composantes à variation lente et rapide. Pour les tableaux 3.3 et 3.8, on utilise directement les valeurs obtenues pour les composantes à variation lente et à variation rapide. Pour les tableaux 3.9 à 3.14, on a converti sur une échelle logarithmique les composantes à variation lente et rapide. On résume ci-dessous l'objectif des tableaux de résultats:

Résultats avec les signaux exprimés sur une échelle linéaire

Composante à variations lentes

Tableau 3.3 : moyennes et écart-types

Tableau 3.4 : taux de passage par un niveau et longueur moyenne des affaiblissements

Tableau 3.5 : probabilité d'un affaiblissement donné sous la moyenne

Composante à variations rapides

Tableaux 3.6, 3.7 et 3.8

Résultats avec les signaux exprimés sur une échelle logarithmiqueComposante à variations lentes

Tableaux 3.9, 3.10 et 3.11

Composante à variations rapides

Tableaux 3.12, 3.13 et 3.14

Pour les résultats relatifs aux variations lentes, le tableau 3.1 sur les déviations standard, taux de passage par la moyenne (TPM) et longueurs moyennes des affaiblissements (LMA) ne donne pas d'indication de différence systématique entre les différents types de milieu. Le tableau 3.2 montre bien que, pour tous les milieux, les variations lentes suivent une loi qui est très près d'une loi gaussienne. On peut escompter que l'analyse des résultats de 1985, lorsqu'elle aura été faite, viendra ajouter des informations relatives aux milieux urbain et suburbain.

Pour les résultats relatifs aux variations rapides, il est important de noter tout d'abord qu'ils sont présentés sur une échelle linéaire et non sur une échelle logarithmique. C'est donc dire que le signal à variation rapide devient sur une échelle linéaire un facteur qui vient multiplier la composante à variation lente (exprimée en volt) et dont la moyenne est approximativement égale à l'unité. Avec une telle échelle linéaire, les résultats peuvent être comparés directement à une loi de densité de probabilité de Rayleigh ou de Rice, comme on le voit au tableau 3.2: il ressort très clairement qu'il existe une relation entre les affaiblissements mesurés et la loi de Rayleigh.

Un autre résultat potentiellement très intéressant relatif aux variations rapides est celui correspondant à la déviation standard dans différents types de milieux, tel qu'indiqué au tableau 3.1: on voit que la

déviation standard tend à augmenter progressivement lorsqu'on passe d'un milieu ouvert à un milieu urbain. Alors que, tel que mentionné au paragraphe précédent, la distribution se compare assez bien à une distribution de Rayleigh pour tous les milieux.

En ce qui concernent les taux de passage par un niveau, les résultats des différents tableaux peuvent également être comparés aux taux de passage théorique avec une distribution de Rayleigh et qui sont:

- 2.69 : taux de passage par la moyenne moins un écart-type,
- 3.07 : taux de passage par la moyenne,
- 1.66 : taux de passage par la moyenne plus un écart-type.

En résumé, le traitement des données de l'été 84 fait déjà apparaître un ensemble de résultats très intéressant en vue de la modélisation statistique du canal radio-mobile en milieu urbain.

TABLEAU 3.1

Déviations standard (σ), taux de passage par la moyenne (TPM) et longueur moyenne des affaiblissements (LMA) pour les variations lentes et rapides dans différents types de milieux

| type de milieu | ouvert | suburbain | urbain faible dens. | urbain moy. dens. |
|-------------------------------|--------|-----------|------------------------|----------------------|
| nombre de fichiers | 90 | 21 | 7 | 4 |
| variations lentes (dB) | | | | |
| σ (dB) | 2.91 | 2.65 | 3.28 | 3.17 |
| TPM (par mètre) | .118 | .145 | .127 | .101 |
| LMA (mètre) | 5.31 | 3.73 | 4.60 | 6.86 |
| variations rapides (linéaire) | | | | |
| \bar{m} (linéaire) | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| σ (linéaire) | .287 | .291 | .344 | .378 |
| TPM (par mètre) | 2.61 | 2.66 | 2.95 | 3.65 |
| LMA (mètre) | .206 | .204 | .178 | .147 |

TABLEAU 3.2

Probabilité d'un affaiblissement de X en-dessous de la moyenne
pour les variations lentes et rapides

| type de milieu | ouvert | suburbain | urbain faible dens. | urbain moy. dens. | valeur de référence |
|-------------------------------|--------|-----------|------------------------|----------------------|---------------------------|
| nombre de fichiers | 90 | 21 | 7 | 4 | |
| variations lentes (dB) | | | | | loi gaussienne |
| X = | | | | | |
| 0.0 | .461 | .481 | .494 | .508 | .500 |
| 0.5 σ | .292 | .305 | .311 | .325 | .309 |
| 1.0 σ | .164 | .171 | .162 | .176 | .159 |
| 1.5 σ | .080 | .076 | .083 | .072 | .067 |
| 2.0 σ | .035 | .030 | .021 | .018 | .023 |
| 2.5 σ | .012 | .006 | .006 | .000 | .006 |
| 3.0 σ | .004 | .001 | .001 | .000 | .001 |
| variations rapides (linéaire) | | | | | loi de Rayleigh |
| X = | | | | | |
| 0.0 | .510 | .514 | .518 | .509 | .544 |
| 0.5 σ | .304 | .317 | .321 | .332 | .349 |
| 1.0 σ | .150 | .159 | .166 | .180 | .164 |
| 1.5 σ | .059 | .058 | .057 | .063 | .036 |
| 2.0 σ | .017 | .014 | .008 | .005 | - |
| 2.5 σ | .006 | .003 | .000 | .000 | - |
| 3.0 σ | .002 | .001 | .000 | .000 | - |

TABLEAU 3.3

MOYENNES ET ECART-TYPES

| Type de milieu: ouvert | | | | | Variations: lentes | |
|------------------------|------------------|---------|-------------|---------|----------------------|--------------------|
| Fichiers 1984 | | | | | Separation: lineaire | |
| Route | Distance (km) | Fichier | Obstruction | Riviere | Moyenne (uV) | Ecart-type (uV) |
| 1 | 3 | 2 | 0 | non | 115.79 | 32.60 |
| 1 | 4 | 4 | 0 | non | 37.12 | 16.47 |
| 1 | 6 | 8 | 1 | non | 42.27 | 22.66 |
| 1 | 7 | 10 | 0 | non | 38.12 | 4.81 |
| 1 | 8 | 12 | 0 | non | 5.52 | 1.61 |
| 1 | 9 | 14 | 0 | non | 11.56 | 5.07 |
| 1 | 10 | 16 | 0 | non | 9.94 | 4.10 |
| 1 | 11 | 18 | 0 | non | 10.12 | 5.56 |
| 1 | 12 | 20 | 0 | non | 3.06 | 1.06 |
| 1 | 14 | 24 | 0 | non | 1.56 | 0.52 |
| 3 | 7 | 70 | 0 | oui | 213.53 | 42.87 |
| 3 | 8 | 72 | 0 | oui | 67.68 | 28.24 |
| 3 | 9 | 74 | 0 | oui | 102.34 | 47.40 |
| 3 | 10 | 76 | 0 | oui | 67.92 | 28.12 |
| 3 | 11 | 78 | 0 | oui | 43.26 | 15.11 |
| 3 | 12 | 80 | 0 | oui | 36.65 | 4.61 |
| 3 | 13 | 82 | 0 | oui | 28.90 | 8.33 |
| 3 | 14 | 85 | 0 | oui | 51.07 | 20.90 |
| 3 | 16 | 87 | 1 | oui | 7.13 | 2.15 |
| 3 | 17 | 89 | 2 | oui | 7.69 | 2.08 |
| 3 | 18 | 91 | 0 | oui | 24.15 | 7.50 |
| 3 | 19 | 93 | 0 | oui | 16.72 | 5.93 |
| 3 | 20 | 95 | 0 | oui | 15.56 | 4.98 |
| 3 | 21 | 97 | 0 | oui | 39.39 | 9.59 |
| 3 | 22 | 99 | 0 | oui | 30.90 | 4.63 |
| 3 | 23 | 101 | 1 | oui | 4.59 | 1.36 |
| 3 | 25 | 107 | 3 | oui | 2.03 | 0.54 |
| 3 | 26 | 109 | 3 | oui | 4.91 | 1.09 |
| 3 | 28 | 114 | 4 | oui | 2.40 | 0.78 |
| 3 | 29 | 116 | 4 | oui | 4.64 | 2.18 |
| 3 | 30 | 118 | 4 | oui | 4.46 | 1.86 |
| 3 | 31 | 120 | 0 | oui | 2.44 | 0.48 |
| 3 | 32 | 123 | 0 | oui | 5.50 | 2.17 |
| 4 | 4 | 180 | 0 | non | 48.05 | 17.35 |
| 4 | 5 | 178 | 0 | non | 186.58 | 54.98 |
| 4 | 6 | 176 | 0 | non | 79.15 | 31.28 |
| 4 | 7 | 174 | 0 | non | 33.50 | 13.30 |
| 4 | 8 | 172 | 0 | non | 9.93 | 3.87 |
| 4 | 9 | 170 | 0 | non | 8.59 | 2.17 |
| 4 | 10 | 168 | 0 | non | 13.71 | 4.01 |

Moyenne des amplitudes moyennes: 35.96 uV

Moyenne des ecart-types: 11.608 uV

TABLEAU 3.3 (suite)

MOYENNES ET ECART-TYPES

Type de milieu: ouvert

Variations: lentes

Fichiers 1984

Separation: lineaire

| Route | Distance (km) | Fichier | Obstruction | Riviere | Moyenne (μ V) | Ecart-type (μ V) |
|-------|------------------|---------|-------------|---------|-----------------------|--------------------------|
| 4 | 11 | 166 | 1 | non | 5.19 | 1.53 |
| 4 | 12 | 164 | 1 | non | 10.17 | 3.91 |
| 4 | 13 | 162 | 0 | non | 14.80 | 1.45 |
| 4 | 14 | 160 | 0 | non | 9.49 | 3.95 |
| 4 | 15 | 158 | 0 | non | 18.56 | 3.26 |
| 4 | 16 | 156 | 0 | non | 18.84 | 5.24 |
| 4 | 17 | 154 | 0 | non | 12.86 | 4.33 |
| 4 | 18 | 152 | 0 | non | 21.36 | 3.19 |
| 4 | 19 | 150 | 0 | non | 20.76 | 3.85 |
| 4 | 20 | 148 | 0 | non | 9.88 | 2.56 |
| 4 | 21 | 146 | 0 | non | 3.22 | 0.98 |
| 4 | 22 | 144 | 0 | non | 11.91 | 2.95 |
| 4 | 23 | 142 | 0 | non | 21.44 | 4.22 |
| 4 | 24 | 140 | 0 | non | 14.60 | 5.82 |
| 4 | 25 | 138 | 0 | non | 7.97 | 2.54 |
| 4 | 26 | 136 | 0 | non | 3.46 | 1.03 |
| 4 | 27 | 134 | 1 | non | 2.25 | 0.98 |
| 5 | 8 | 190 | 0 | oui | 34.79 | 7.55 |
| 5 | 9 | 192 | 0 | oui | 15.09 | 5.50 |
| 5 | 10 | 194 | 1 | oui | 4.45 | 1.08 |
| 5 | 11 | 196 | 1 | oui | 4.42 | 1.21 |
| 5 | 12 | 199 | 1 | oui | 3.63 | 0.73 |
| 5 | 13 | 201 | 1 | oui | 2.23 | 0.50 |
| 5 | 18 | 211 | 2 | oui | 0.88 | 0.25 |
| 5 | 22 | 221 | 4 | oui | 5.39 | 1.21 |
| 6 | 2 | 289 | 0 | non | 122.90 | 46.89 |
| 6 | 3 | 287 | 0 | non | 136.25 | 38.40 |
| 6 | 6 | 281 | 0 | non | 46.06 | 14.45 |
| 6 | 23 | 253 | 0 | oui | 1.92 | 0.74 |
| 6 | 24 | 251 | 0 | oui | 1.70 | 0.69 |
| 6 | 28 | 243 | 5 | oui | 1.52 | 0.52 |
| 6 | 29 | 241 | 6 | oui | 3.14 | 0.31 |
| 7 | 3 | 302 | 0 | non | 440.76 | 146.85 |
| 7 | 7 | 311 | 1 | non | 36.25 | 13.18 |
| 7 | 8 | 313 | 0 | non | 51.84 | 8.42 |
| 7 | 9 | 315 | 0 | non | 10.95 | 3.62 |
| 7 | 12 | 321 | 1 | non | 7.55 | 1.79 |
| 7 | 14 | 325 | 2 | non | 3.72 | 1.32 |
| 7 | 15 | 327 | 2 | non | 4.16 | 1.05 |

Moyenne des amplitudes moyennes: 29.39 μ VMoyenne des ecart-types: 8.925 μ V

TABLEAU 3.3 (suite)

MOYENNES ET ECART-TYPES

Type de milieu: ouvert

Variations: lentes

Fichiers 1984

Separation: linéaire

| Route | Distance (km) | Fichier | Obstruction | Rivière | Moyenne (uV) | Ecart-type (uV) |
|-------|------------------|---------|-------------|---------|-----------------|--------------------|
| 7 | 16 | 329 | 3 | non | 3.74 | 1.41 |
| 7 | 18 | 333 | 2 | non | 3.47 | 1.15 |
| 7 | 27 | 352 | 2 | non | 1.57 | 0.42 |
| 8 | 9 | 364 | 0 | oui | 13.69 | 5.02 |
| 8 | 10 | 366 | 0 | oui | 3.67 | 0.97 |
| 8 | 11 | 368 | 0 | oui | 6.10 | 1.80 |
| 8 | 12 | 370 | 1 | oui | 1.59 | 0.42 |
| 8 | 13 | 372 | 2 | oui | 3.06 | 0.97 |
| 8 | 14 | 374 | 1 | oui | 4.03 | 1.68 |
| 8 | 18 | 382 | 9 | oui | 3.26 | 0.74 |

Moyenne des amplitudes moyennes: 4.42 uV

Moyenne des ecart-types: 1.459 uV

TABLEAU 3.3 (suite)

MOYENNES ET ECART-TYPES

Type de milieu: suburbain

Variations: lentes

Fichiers 1984

Separation: lineaire

| Route | Distance (km) | Fichier | Obstruction | Riviere | Moyenne (uV) | Ecart-type (uV) |
|-------|------------------|---------|-------------|---------|-----------------|--------------------|
| 5 | 14 | 203 | 0 | oui | 4.80 | 1.09 |
| 5 | 20 | 217 | 4 | oui | 1.85 | 0.69 |
| 5 | 21 | 219 | 4 | oui | 2.16 | 0.59 |
| 5 | 23 | 223 | 1 | oui | 1.47 | 0.50 |
| 5 | 26 | 229 | 2 | oui | 1.49 | 0.65 |
| 5 | 27 | 231 | 2 | oui | 1.50 | 0.39 |
| 5 | 28 | 233 | 1 | oui | 2.07 | 0.54 |
| 6 | 4 | 285 | 0 | non | 57.77 | 25.52 |
| 6 | 5 | 283 | 0 | non | 21.96 | 7.68 |
| 6 | 7 | 278 | 0 | non | 12.42 | 3.70 |
| 6 | 22 | 255 | 0 | oui | 5.76 | 0.82 |
| 6 | 25 | 249 | 1 | oui | 1.21 | 0.31 |
| 6 | 30 | 239 | 6 | oui | 1.08 | 0.17 |
| 7 | 2 | 299 | 0 | non | 417.40 | 157.27 |
| 7 | 4 | 304 | 0 | non | 327.26 | 70.60 |
| 7 | 5 | 307 | 0 | non | 73.36 | 22.93 |
| 7 | 6 | 309 | 3 | non | 10.71 | 3.00 |
| 7 | 10 | 317 | 0 | non | 10.54 | 1.97 |
| 7 | 11 | 319 | 0 | non | 3.75 | 1.53 |
| 7 | 17 | 331 | 2 | non | 2.10 | 0.74 |
| 8 | 8 | 362 | 0 | oui | 19.60 | 5.83 |

Moyenne des amplitudes moyennes: 46.68 uV

Moyenne des ecart-types: 14.597 uV

TABLEAU 3.3 (suite)

MOYENNES ET ECART-TYPES

| Type de milieu: urbain non-dense | Variations: lentes | | | | | |
|----------------------------------|----------------------|---------|-------------|---------|-----------------|--------------------|
| Fichiers 1984 | Separation: lineaire | | | | | |
| Route | Distance (km) | Fichier | Obstruction | Riviere | Moyenne (uV) | Ecart-type (uV) |
| 5 | 15 | 205 | 0 | oui | 6.38 | 2.59 |
| 5 | 17 | 209 | 1 | oui | 1.61 | 0.44 |
| 6 | 10 | 273 | 0 | oui | 9.03 | 3.78 |
| 6 | 18 | 263 | 1 | oui | 1.99 | 0.57 |
| 6 | 19 | 261 | 1 | oui | 6.06 | 2.84 |
| 6 | 20 | 259 | 1 | oui | 2.74 | 0.89 |
| 6 | 21 | 257 | 0 | oui | 3.56 | 1.57 |

Moyenne des amplitudes moyennes: 4.51 uV

Moyenne des ecart-types: 1.813 uV

TABLEAU 3.3 (suite)

MOYENNES ET ECART-TYPES

Type de milieu: urbain dense

Variations: lentes

Fichiers 1984

Separation: linéaire

| Route | Distance (km) | Fichier | Obstruction | Rivière | Moyenne (uV) | Ecart-type (uV) |
|-------|------------------|---------|-------------|---------|-----------------|--------------------|
| 5 | 16 | 207 | 1 | oui | 7.63 | 4.61 |
| 6 | 15 | 269 | 0 | oui | 6.72 | 1.72 |
| 6 | 16 | 267 | 0 | oui | 8.23 | 2.91 |
| 6 | 17 | 265 | 0 | oui | 5.50 | 1.42 |

Moyenne des amplitudes moyennes: 7.02 uV

Moyenne des ecart-types: 2.665 uV

TABLEAU 3.4

TAUX DE PASSAGE PAR UN NIVEAU ET LONGUEUR MOYENNE DES AFFAIBLISSEMENTS

Type de milieu: ouvert

Variations: lentes

Fichiers 1984

Separation: lineaire

| Fichier | Moyenne (uV) | Ecart-type (uV) | TPN (passages par metre) | | | LMA (metre) | | |
|---------|-----------------|--------------------|-----------------------------|-------|--------|----------------|--------|--------|
| | | | Moy-ET | Moy | Moy+ET | Moy-ET | Moy | Moy+ET |
| 2 | 115.79 | 32.60 | 0.090 | 0.167 | 0.116 | 1.936 | 2.935 | 7.352 |
| 4 | 37.12 | 16.47 | 0.118 | 0.059 | 0.049 | 1.598 | 9.624 | 16.975 |
| 8 | 42.27 | 22.66 | 0.061 | 0.051 | 0.020 | 2.797 | 10.596 | 38.926 |
| 10 | 38.12 | 4.81 | 0.075 | 0.066 | 0.084 | 2.532 | 7.646 | 9.526 |
| 12 | 5.52 | 1.61 | 0.120 | 0.136 | 0.056 | 1.313 | 3.943 | 15.028 |
| 14 | 11.56 | 5.07 | 0.068 | 0.110 | 0.059 | 2.227 | 5.097 | 13.969 |
| 16 | 9.94 | 4.10 | 0.103 | 0.123 | 0.072 | 1.622 | 4.567 | 11.367 |
| 18 | 10.12 | 5.56 | 0.070 | 0.059 | 0.059 | 2.069 | 9.712 | 13.582 |
| 20 | 3.06 | 1.06 | 0.120 | 0.190 | 0.100 | 1.194 | 2.958 | 8.540 |
| 24 | 1.56 | 0.52 | 0.105 | 0.140 | 0.087 | 1.255 | 4.214 | 9.437 |
| 70 | 213.53 | 42.87 | 0.027 | 0.137 | 0.027 | 3.445 | 3.701 | 32.390 |
| 72 | 67.68 | 28.24 | 0.052 | 0.129 | 0.013 | 1.067 | 4.991 | 69.857 |
| 74 | 102.34 | 47.40 | 0.057 | 0.075 | 0.057 | 3.775 | 6.676 | 14.868 |
| 76 | 67.92 | 28.12 | 0.089 | 0.089 | 0.059 | 2.151 | 6.137 | 13.751 |
| 78 | 43.26 | 15.11 | 0.132 | 0.176 | 0.103 | 1.302 | 3.092 | 8.343 |
| 80 | 36.65 | 4.61 | 0.062 | 0.175 | 0.050 | 2.001 | 2.624 | 17.703 |
| 82 | 28.90 | 8.33 | 0.069 | 0.120 | 0.069 | 2.155 | 4.119 | 12.264 |
| 85 | 51.07 | 20.90 | 0.077 | 0.108 | 0.062 | 2.585 | 4.832 | 13.063 |
| 87 | 7.13 | 2.15 | 0.155 | 0.155 | 0.103 | 1.000 | 3.560 | 8.181 |
| 89 | 7.69 | 2.08 | 0.038 | 0.076 | 0.038 | 4.154 | 6.408 | 21.931 |
| 91 | 24.15 | 7.50 | 0.062 | 0.021 | 0.062 | 3.758 | 19.220 | 14.341 |
| 93 | 16.72 | 5.93 | 0.063 | 0.094 | 0.063 | 2.720 | 5.486 | 13.076 |
| 95 | 15.56 | 4.98 | 0.059 | 0.059 | 0.044 | 3.457 | 7.978 | 18.978 |
| 97 | 39.39 | 9.59 | 0.067 | 0.067 | 0.080 | 2.535 | 7.556 | 10.115 |
| 99 | 30.90 | 4.63 | 0.082 | 0.082 | 0.068 | 2.159 | 5.758 | 12.171 |
| 101 | 4.59 | 1.36 | 0.112 | 0.261 | 0.112 | 1.335 | 2.046 | 7.802 |
| 107 | 2.03 | 0.54 | 0.094 | 0.172 | 0.094 | 1.761 | 3.036 | 9.038 |
| 109 | 4.91 | 1.09 | 0.085 | 0.170 | 0.102 | 2.159 | 2.990 | 8.055 |
| 114 | 2.40 | 0.78 | 0.138 | 0.138 | 0.103 | 1.234 | 4.177 | 8.115 |
| 116 | 4.64 | 2.18 | 0.067 | 0.040 | 0.053 | 3.649 | 11.742 | 15.387 |
| 118 | 4.46 | 1.86 | 0.088 | 0.103 | 0.044 | 2.003 | 5.131 | 17.901 |
| 120 | 2.44 | 0.48 | 0.119 | 0.191 | 0.083 | 1.202 | 2.688 | 10.340 |
| 123 | 5.50 | 2.17 | 0.066 | 0.080 | 0.027 | 2.163 | 8.176 | 30.091 |
| 180 | 48.05 | 17.35 | 0.141 | 0.200 | 0.082 | 1.379 | 2.555 | 10.323 |
| 178 | 186.58 | 54.98 | 0.057 | 0.043 | 0.057 | 2.955 | 10.055 | 14.320 |
| 176 | 79.15 | 31.28 | 0.049 | 0.074 | 0.049 | 4.100 | 6.890 | 15.849 |
| 174 | 33.50 | 13.30 | 0.096 | 0.096 | 0.032 | 1.096 | 6.294 | 26.580 |
| 172 | 9.93 | 3.87 | 0.065 | 0.129 | 0.052 | 2.245 | 4.447 | 16.582 |
| 170 | 8.59 | 2.17 | 0.082 | 0.114 | 0.065 | 1.721 | 4.985 | 12.775 |
| 168 | 13.71 | 4.01 | 0.060 | 0.048 | 0.024 | 3.551 | 8.238 | 35.918 |

Moyenne des TPN(Moy): 0.113 passages par metre.

Moyenne des LMA(Moy): 5.922 metres.

TAUX DE PASSAGE PAR UN NIVEAU ET LONGUEUR MOYENNE DES AFFAIBLISSEMENTS

Type de milieu: ouvert

Variations: lentes

Fichiers 1984

Separation: lineaire

| Fichier | Moyenne (uV) | Ecart-type (uV) | TPN (passages par metre) | | | LMA (metre) | | |
|---------|-----------------|--------------------|-----------------------------|-------|--------|----------------|--------|--------|
| | | | Moy-ET | Moy | Moy+ET | Moy-ET | Moy | Moy+ET |
| 166 | 5.19 | 1.53 | 0.058 | 0.092 | 0.035 | 2.469 | 5.794 | 24.769 |
| 164 | 10.17 | 3.91 | 0.040 | 0.050 | 0.040 | 5.468 | 9.689 | 20.398 |
| 162 | 14.80 | 1.45 | 0.086 | 0.173 | 0.086 | 1.658 | 2.309 | 10.427 |
| 160 | 9.49 | 3.95 | 0.076 | 0.054 | 0.043 | 1.971 | 10.276 | 17.728 |
| 158 | 18.56 | 3.28 | 0.045 | 0.079 | 0.068 | 4.005 | 5.451 | 12.937 |
| 156 | 18.84 | 5.24 | 0.095 | 0.068 | 0.054 | 2.197 | 6.719 | 15.054 |
| 154 | 12.86 | 4.33 | 0.085 | 0.098 | 0.098 | 2.435 | 4.743 | 8.334 |
| 152 | 21.36 | 3.19 | 0.036 | 0.024 | 0.084 | 4.676 | 17.613 | 9.977 |
| 150 | 20.76 | 3.85 | 0.049 | 0.078 | 0.049 | 3.541 | 6.243 | 17.011 |
| 148 | 9.88 | 2.56 | 0.070 | 0.028 | 0.028 | 2.713 | 16.525 | 29.670 |
| 146 | 3.22 | 0.98 | 0.084 | 0.139 | 0.084 | 1.819 | 3.925 | 10.530 |
| 144 | 11.91 | 2.95 | 0.062 | 0.062 | 0.062 | 2.720 | 7.854 | 13.525 |
| 142 | 21.44 | 4.22 | 0.046 | 0.069 | 0.058 | 4.216 | 6.555 | 14.304 |
| 140 | 14.60 | 5.82 | 0.034 | 0.023 | 0.023 | 5.599 | 22.797 | 34.591 |
| 138 | 7.97 | 2.54 | 0.024 | 0.060 | 0.036 | 6.280 | 8.838 | 22.720 |
| 136 | 3.46 | 1.03 | 0.060 | 0.091 | 0.030 | 3.045 | 5.569 | 24.997 |
| 134 | 2.25 | 0.98 | 0.029 | 0.015 | 0.029 | 5.299 | 40.055 | 26.942 |
| 190 | 34.79 | 7.55 | 0.115 | 0.230 | 0.132 | 1.481 | 1.962 | 6.507 |
| 192 | 15.09 | 5.50 | 0.136 | 0.151 | 0.075 | 1.125 | 3.649 | 11.354 |
| 194 | 4.45 | 1.08 | 0.118 | 0.171 | 0.118 | 1.553 | 3.188 | 7.016 |
| 196 | 4.42 | 1.21 | 0.136 | 0.119 | 0.085 | 1.294 | 4.307 | 10.052 |
| 199 | 3.63 | 0.73 | 0.142 | 0.221 | 0.126 | 1.168 | 2.209 | 6.773 |
| 201 | 2.23 | 0.50 | 0.123 | 0.176 | 0.088 | 1.345 | 2.642 | 9.768 |
| 211 | 0.88 | 0.25 | 0.104 | 0.130 | 0.078 | 1.830 | 3.796 | 10.750 |
| 221 | 5.39 | 1.21 | 0.158 | 0.172 | 0.106 | 1.151 | 3.281 | 7.655 |
| 289 | 122.90 | 46.89 | 0.099 | 0.110 | 0.088 | 1.734 | 4.874 | 9.505 |
| 287 | 136.25 | 38.40 | 0.065 | 0.129 | 0.065 | 2.262 | 4.160 | 12.943 |
| 281 | 46.06 | 14.45 | 0.057 | 0.066 | 0.066 | 4.176 | 6.535 | 12.386 |
| 253 | 1.92 | 0.74 | 0.033 | 0.090 | 0.049 | 4.409 | 6.312 | 17.514 |
| 251 | 1.70 | 0.69 | 0.074 | 0.074 | 0.037 | 1.522 | 8.442 | 22.846 |
| 243 | 1.52 | 0.52 | 0.028 | 0.038 | 0.057 | 8.000 | 12.989 | 14.618 |
| 241 | 3.14 | 0.31 | 0.076 | 0.114 | 0.076 | 2.380 | 4.264 | 10.838 |
| 302 | 440.76 | 146.85 | 0.085 | 0.127 | 0.085 | 1.966 | 3.973 | 8.918 |
| 311 | 36.25 | 13.18 | 0.129 | 0.129 | 0.129 | 1.310 | 4.302 | 6.033 |
| 313 | 51.84 | 8.42 | 0.051 | 0.103 | 0.077 | 3.354 | 4.541 | 10.819 |
| 315 | 10.95 | 3.62 | 0.092 | 0.246 | 0.123 | 1.637 | 2.135 | 6.766 |
| 321 | 7.55 | 1.78 | 0.129 | 0.161 | 0.129 | 1.224 | 3.224 | 6.350 |
| 325 | 3.72 | 1.32 | 0.057 | 0.114 | 0.114 | 4.154 | 4.125 | 6.919 |
| 327 | 4.16 | 1.05 | 0.142 | 0.177 | 0.142 | 1.166 | 2.598 | 5.979 |

Moyenne des TPN(Moy): 0.109 passages par metre.

Moyenne des LMA(Moy): 7.140 metres.

TAUX DE PASSAGE PAR UN NIVEAU ET LONGUEUR MOYENNE DES AFFAIBLISSEMENTS

Type de milieu: ouvert

Variations lentes

Fichiers 1984

Separation: linéaire

| Fichier | Moyenne (uV) | Ecart-type (uV) | TPN (passages par metre) | | | LMA (metre) | | |
|---------|-----------------|--------------------|-----------------------------|-------|--------|----------------|-------|--------|
| | | | Moy-ET | Moy | Moy+ET | Moy-ET | Moy | Moy+ET |
| 329 | 3.74 | 1.41 | 0.112 | 0.112 | 0.037 | 1.187 | 5.451 | 22.187 |
| 333 | 3.47 | 1.15 | 0.130 | 0.194 | 0.130 | 1.747 | 2.511 | 6.161 |
| 352 | 1.57 | 0.42 | 0.125 | 0.094 | 0.094 | 1.327 | 5.786 | 8.681 |
| 364 | 13.69 | 5.02 | 0.076 | 0.174 | 0.120 | 1.293 | 3.620 | 7.094 |
| 366 | 3.67 | 0.97 | 0.106 | 0.153 | 0.129 | 1.489 | 3.598 | 6.364 |
| 368 | 6.10 | 1.80 | 0.106 | 0.159 | 0.093 | 1.784 | 3.261 | 8.870 |
| 370 | 1.59 | 0.42 | 0.133 | 0.199 | 0.106 | 1.312 | 2.702 | 8.083 |
| 372 | 3.06 | 0.97 | 0.125 | 0.215 | 0.107 | 1.328 | 2.321 | 8.052 |
| 374 | 4.03 | 1.68 | 0.076 | 0.101 | 0.038 | 1.703 | 5.969 | 22.220 |
| 382 | 3.26 | 0.74 | 0.105 | 0.226 | 0.105 | 1.585 | 2.129 | 8.124 |

Moyenne des TPN(Moy): 0.163 passages par metre.

Moyenne des LMA(Moy): 3.735 metres.

TAUX DE PASSAGE PAR UN NIVEAU ET LONGUEUR MOYENNE DES AFFAIBLISSEMENTS

Type de milieu: suburbain

Variations: lentes

Fichiers 1984

Separation: linéaire

| Fichier | Moyenne (uV) | Ecart-type (uV) | TPN | | | LMA | | |
|---------|-----------------|--------------------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|
| | | | Moy-ET | Moy | Moy+ET | Moy-ET | Moy | Moy+ET |
| 203 | 4.80 | 1.09 | 0.162 | 0.216 | 0.126 | 1.005 | 2.481 | 6.596 |
| 217 | 1.85 | 0.69 | 0.054 | 0.068 | 0.041 | 3.190 | 8.862 | 20.687 |
| 219 | 2.16 | 0.59 | 0.106 | 0.154 | 0.071 | 1.458 | 3.223 | 12.025 |
| 223 | 1.47 | 0.50 | 0.144 | 0.156 | 0.120 | 1.299 | 3.434 | 6.859 |
| 229 | 1.49 | 0.65 | 0.091 | 0.104 | 0.065 | 1.524 | 5.530 | 13.276 |
| 231 | 1.50 | 0.39 | 0.074 | 0.148 | 0.049 | 1.761 | 3.721 | 16.694 |
| 233 | 2.07 | 0.54 | 0.066 | 0.066 | 0.066 | 2.136 | 7.236 | 12.827 |
| 285 | 57.77 | 25.52 | 0.084 | 0.126 | 0.042 | 2.135 | 4.316 | 19.508 |
| 283 | 21.96 | 7.68 | 0.085 | 0.121 | 0.073 | 2.270 | 4.225 | 11.393 |
| 278 | 12.42 | 3.70 | 0.043 | 0.152 | 0.054 | 2.481 | 4.047 | 15.959 |
| 255 | 5.76 | 0.82 | 0.038 | 0.113 | 0.075 | 4.654 | 4.548 | 11.420 |
| 249 | 1.21 | 0.31 | 0.126 | 0.184 | 0.103 | 1.274 | 2.758 | 8.324 |
| 239 | 1.08 | 0.17 | 0.086 | 0.098 | 0.061 | 2.112 | 5.081 | 13.751 |
| 299 | 417.40 | 157.27 | 0.130 | 0.104 | 0.052 | 1.216 | 5.440 | 15.602 |
| 304 | 327.26 | 70.60 | 0.089 | 0.148 | 0.089 | 2.033 | 3.399 | 8.632 |
| 307 | 73.36 | 22.93 | 0.124 | 0.082 | 0.124 | 2.033 | 6.346 | 6.225 |
| 309 | 10.71 | 3.00 | 0.123 | 0.154 | 0.062 | 1.434 | 3.738 | 13.253 |
| 317 | 10.54 | 1.97 | 0.151 | 0.113 | 0.113 | 1.092 | 4.951 | 7.022 |
| 319 | 3.75 | 1.53 | 0.091 | 0.205 | 0.091 | 1.467 | 2.690 | 9.738 |
| 331 | 2.10 | 0.74 | 0.154 | 0.269 | 0.115 | 0.911 | 2.089 | 7.242 |
| 362 | 19.60 | 5.83 | 0.125 | 0.157 | 0.110 | 1.348 | 3.547 | 7.509 |

Moyenne des TPN(Moy): 0.140 passages par metre.

Moyenne des LMA(Moy): 4.365 metres.

TABLEAU 3.4 (suite)

TAUX DE PASSAGE PAR UN NIVEAU ET LONGUEUR MOYENNE DES AFFAIBLISSEMENTS

Type de milieu: urbain non-dense

Variations lentes

Fichiers 1984

Separation linéaire

| Fichier | Moyenne (uV) | Ecart-type (uV) | TPN (passages par metre) | | | LMA (metre) | | |
|---------|-----------------|--------------------|-----------------------------|-------|--------|----------------|-------|--------|
| | | | Moy-ET | Moy | Moy+ET | Moy-ET | Moy | Moy+ET |
| 205 | 6.38 | 2.59 | 0.057 | 0.076 | 0.057 | 2.896 | 7.154 | 13.676 |
| 209 | 1.81 | 0.44 | 0.137 | 0.171 | 0.103 | 1.230 | 3.201 | 8.203 |
| 273 | 9.03 | 3.78 | 0.074 | 0.148 | 0.086 | 1.245 | 4.070 | 9.961 |
| 263 | 1.99 | 0.57 | 0.114 | 0.185 | 0.071 | 1.319 | 3.153 | 11.621 |
| 261 | 6.06 | 2.84 | 0.072 | 0.061 | 0.041 | 1.997 | 9.165 | 20.448 |
| 259 | 2.74 | 0.89 | 0.089 | 0.127 | 0.089 | 1.917 | 4.042 | 9.146 |
| 257 | 3.56 | 1.57 | 0.085 | 0.085 | 0.049 | 1.667 | 6.709 | 17.122 |

Moyenne des TPN(Moy): 0.122 passages par metre.

Moyenne des LMA(Moy): 5.356 metres.

TABLEAU 3.4 (suite)

TAUX DE PASSAGE PAR UN NIVEAU ET LONGUEUR MOYENNE DES AFFAIBLISSEMENTS

Type de milieu: urbain dense

Variations: lentes

Fichiers 1984

Separation: linéaire

| Fichier | Moyenne (uV) | Ecart-type (uV) | TPN | | | LMA | | |
|---------|-----------------|--------------------|----------------------|--------|-------|--------|--------|--------|
| | | | (passages par metre) | Moy-ET | Moy | Moy+ET | Moy-ET | Moy |
| 207 | 7.63 | 4.61 | 0.039 | 0.078 | 0.019 | 1.780 | 8.052 | 41.324 |
| 269 | 6.72 | 1.72 | 0.086 | 0.160 | 0.074 | 1.903 | 3.303 | 11.291 |
| 267 | 8.23 | 2.91 | 0.083 | 0.050 | 0.050 | 1.605 | 12.126 | 15.731 |
| 265 | 5.50 | 1.42 | 0.046 | 0.139 | 0.108 | 4.615 | 3.286 | 7.771 |

Moyenne des TPN(Moy): 0.107 passages par metre.

Moyenne des LMA(Moy): 6.692 metres.

TABLEAU 3.5

PROBABILITE D'UN AFFAIBLISSEMENT DU SIGNAL DE "X" uV SOUS LA MOYENNE

Type de milieu: ouvert

Variations: lentes

Fichiers 1984

Separation: linesite

Fichier Moyenne Ecart-type
(uV) (uV)

Probabilite

| | | | 0. 0 | 0. 5*ET | 1. 0*ET | 1. 5*ET | 2. 0*ET | 2. 5*ET | 3. 0*ET |
|-----|---------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 2 | 115. 79 | 32. 60 | 0. 490 | 0. 318 | 0. 174 | 0. 085 | 0. 005 | 0. 000 | 0. 000 |
| 4 | 37. 12 | 16. 47 | 0. 568 | 0. 380 | 0. 188 | 0. 012 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 8 | 42. 27 | 22. 66 | 0. 536 | 0. 373 | 0. 170 | 0. 028 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 10 | 38. 12 | 4. 81 | 0. 501 | 0. 335 | 0. 190 | 0. 077 | 0. 014 | 0. 000 | 0. 000 |
| 12 | 5. 52 | 1. 61 | 0. 537 | 0. 361 | 0. 158 | 0. 033 | 0. 004 | 0. 000 | 0. 000 |
| 14 | 11. 56 | 5. 07 | 0. 561 | 0. 399 | 0. 151 | 0. 020 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 16 | 9. 94 | 4. 10 | 0. 563 | 0. 373 | 0. 167 | 0. 017 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 18 | 10. 12 | 5. 56 | 0. 569 | 0. 429 | 0. 145 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 20 | 3. 06 | 1. 06 | 0. 563 | 0. 331 | 0. 143 | 0. 042 | 0. 007 | 0. 000 | 0. 000 |
| 24 | 1. 56 | 0. 52 | 0. 590 | 0. 365 | 0. 132 | 0. 008 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 70 | 213. 53 | 42. 87 | 0. 507 | 0. 276 | 0. 094 | 0. 072 | 0. 045 | 0. 006 | 0. 000 |
| 72 | 67. 68 | 28. 24 | 0. 646 | 0. 344 | 0. 055 | 0. 002 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 74 | 102. 34 | 47. 40 | 0. 503 | 0. 360 | 0. 213 | 0. 025 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 76 | 67. 92 | 28. 12 | 0. 545 | 0. 359 | 0. 191 | 0. 035 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 78 | 43. 26 | 15. 11 | 0. 544 | 0. 330 | 0. 172 | 0. 026 | 0. 013 | 0. 000 | 0. 000 |
| 80 | 36. 65 | 4. 61 | 0. 458 | 0. 247 | 0. 125 | 0. 065 | 0. 042 | 0. 024 | 0. 013 |
| 82 | 28. 90 | 8. 33 | 0. 494 | 0. 304 | 0. 148 | 0. 064 | 0. 032 | 0. 019 | 0. 000 |
| 85 | 51. 07 | 20. 90 | 0. 521 | 0. 375 | 0. 199 | 0. 023 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 87 | 7. 13 | 2. 15 | 0. 552 | 0. 369 | 0. 155 | 0. 020 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 89 | 7. 69 | 2. 08 | 0. 489 | 0. 315 | 0. 158 | 0. 087 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 91 | 24. 15 | 7. 50 | 0. 398 | 0. 325 | 0. 233 | 0. 067 | 0. 036 | 0. 018 | 0. 000 |
| 93 | 16. 72 | 5. 93 | 0. 515 | 0. 327 | 0. 170 | 0. 095 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 95 | 15. 56 | 4. 98 | 0. 468 | 0. 350 | 0. 203 | 0. 063 | 0. 013 | 0. 000 | 0. 000 |
| 97 | 39. 39 | 9. 59 | 0. 504 | 0. 325 | 0. 169 | 0. 075 | 0. 014 | 0. 000 | 0. 000 |
| 99 | 30. 90 | 4. 63 | 0. 472 | 0. 308 | 0. 177 | 0. 076 | 0. 027 | 0. 010 | 0. 000 |
| 101 | 4. 59 | 1. 36 | 0. 533 | 0. 282 | 0. 149 | 0. 070 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 107 | 2. 03 | 0. 54 | 0. 523 | 0. 324 | 0. 166 | 0. 057 | 0. 003 | 0. 000 | 0. 000 |
| 109 | 4. 91 | 1. 09 | 0. 507 | 0. 342 | 0. 183 | 0. 065 | 0. 005 | 0. 000 | 0. 000 |
| 114 | 2. 40 | 0. 78 | 0. 576 | 0. 368 | 0. 170 | 0. 015 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 116 | 4. 64 | 2. 18 | 0. 469 | 0. 378 | 0. 243 | 0. 014 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 118 | 4. 46 | 1. 86 | 0. 529 | 0. 348 | 0. 177 | 0. 063 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 120 | 2. 44 | 0. 48 | 0. 512 | 0. 291 | 0. 143 | 0. 057 | 0. 029 | 0. 015 | 0. 000 |
| 123 | 5. 50 | 2. 17 | 0. 652 | 0. 383 | 0. 144 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 180 | 48. 05 | 17. 35 | 0. 511 | 0. 327 | 0. 195 | 0. 045 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 178 | 186. 58 | 54. 98 | 0. 428 | 0. 343 | 0. 168 | 0. 087 | 0. 037 | 0. 000 | 0. 000 |
| 176 | 79. 15 | 31. 28 | 0. 511 | 0. 366 | 0. 203 | 0. 042 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 174 | 33. 50 | 13. 30 | 0. 602 | 0. 356 | 0. 105 | 0. 010 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 172 | 9. 93 | 3. 87 | 0. 574 | 0. 351 | 0. 145 | 0. 033 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 170 | 8. 59 | 2. 17 | 0. 570 | 0. 318 | 0. 141 | 0. 050 | 0. 020 | 0. 000 | 0. 000 |
| 168 | 13. 71 | 4. 01 | 0. 397 | 0. 293 | 0. 214 | 0. 120 | 0. 023 | 0. 000 | 0. 000 |

MOYENNES-->

11. 61 0. 525 0. 341 0. 166 0. 046 0. 009 0. 002 0. 000

TABLEAU 3.5 (suite)

PROBABILITE D'UN AFFAIBLISSEMENT DU SIGNAL DE "X" uV SOUS LA MOYENNE

Type de milieu: ouvert

Variations: lentes

Fichiers 1984

Separation: lineaire

Fichier Moyenne Ecart-type
(uV) (uV)

Probabilite

| | | | 0. 0 | 0. 5*ET | 1. 0*ET | 1. 5*ET | 2. 0*ET | 2. 5*ET | 3. 0*ET |
|-----|---------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 166 | 5. 19 | 1. 53 | 0. 534 | 0. 335 | 0. 142 | 0. 060 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 164 | 10. 17 | 3. 91 | 0. 484 | 0. 327 | 0. 218 | 0. 066 | 0. 004 | 0. 000 | 0. 000 |
| 162 | 14. 80 | 1. 45 | 0. 399 | 0. 260 | 0. 143 | 0. 090 | 0. 067 | 0. 032 | 0. 005 |
| 160 | 9. 49 | 3. 95 | 0. 556 | 0. 418 | 0. 149 | 0. 019 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 158 | 18. 56 | 3. 28 | 0. 432 | 0. 257 | 0. 181 | 0. 120 | 0. 029 | 0. 000 | 0. 000 |
| 156 | 18. 84 | 5. 24 | 0. 455 | 0. 323 | 0. 208 | 0. 079 | 0. 015 | 0. 000 | 0. 000 |
| 154 | 12. 86 | 4. 33 | 0. 463 | 0. 329 | 0. 208 | 0. 110 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 152 | 21. 36 | 3. 19 | 0. 424 | 0. 281 | 0. 169 | 0. 112 | 0. 050 | 0. 015 | 0. 000 |
| 150 | 20. 76 | 3. 85 | 0. 489 | 0. 328 | 0. 173 | 0. 081 | 0. 019 | 0. 000 | 0. 000 |
| 148 | 9. 88 | 2. 56 | 0. 459 | 0. 357 | 0. 189 | 0. 079 | 0. 038 | 0. 000 | 0. 000 |
| 146 | 3. 22 | 0. 98 | 0. 547 | 0. 325 | 0. 152 | 0. 045 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 144 | 11. 91 | 2. 95 | 0. 486 | 0. 345 | 0. 168 | 0. 069 | 0. 027 | 0. 000 | 0. 000 |
| 142 | 21. 44 | 4. 22 | 0. 455 | 0. 310 | 0. 195 | 0. 097 | 0. 019 | 0. 000 | 0. 000 |
| 140 | 14. 60 | 5. 82 | 0. 516 | 0. 286 | 0. 190 | 0. 091 | 0. 021 | 0. 000 | 0. 000 |
| 138 | 7. 97 | 2. 54 | 0. 526 | 0. 345 | 0. 149 | 0. 080 | 0. 016 | 0. 000 | 0. 000 |
| 136 | 3. 46 | 1. 03 | 0. 504 | 0. 327 | 0. 184 | 0. 079 | 0. 015 | 0. 000 | 0. 000 |
| 134 | 2. 25 | 0. 98 | 0. 586 | 0. 373 | 0. 155 | 0. 024 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 190 | 34. 79 | 7. 55 | 0. 452 | 0. 285 | 0. 171 | 0. 094 | 0. 037 | 0. 000 | 0. 000 |
| 192 | 15. 09 | 5. 50 | 0. 551 | 0. 363 | 0. 153 | 0. 020 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 194 | 4. 45 | 1. 08 | 0. 545 | 0. 319 | 0. 184 | 0. 043 | 0. 004 | 0. 000 | 0. 000 |
| 196 | 4. 42 | 1. 21 | 0. 512 | 0. 402 | 0. 176 | 0. 029 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 199 | 3. 63 | 0. 73 | 0. 489 | 0. 304 | 0. 166 | 0. 059 | 0. 027 | 0. 013 | 0. 000 |
| 201 | 2. 23 | 0. 50 | 0. 466 | 0. 295 | 0. 166 | 0. 085 | 0. 030 | 0. 000 | 0. 000 |
| 211 | 0. 88 | 0. 25 | 0. 493 | 0. 348 | 0. 190 | 0. 050 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 221 | 5. 39 | 1. 21 | 0. 563 | 0. 344 | 0. 182 | 0. 037 | 0. 006 | 0. 000 | 0. 000 |
| 289 | 122. 90 | 46. 89 | 0. 535 | 0. 382 | 0. 171 | 0. 030 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 287 | 136. 25 | 38. 40 | 0. 538 | 0. 356 | 0. 146 | 0. 047 | 0. 004 | 0. 000 | 0. 000 |
| 281 | 46. 06 | 14. 45 | 0. 432 | 0. 343 | 0. 236 | 0. 071 | 0. 014 | 0. 000 | 0. 000 |
| 253 | 1. 92 | 0. 74 | 0. 570 | 0. 310 | 0. 145 | 0. 055 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 251 | 1. 70 | 0. 69 | 0. 623 | 0. 372 | 0. 112 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 243 | 1. 52 | 0. 52 | 0. 492 | 0. 338 | 0. 227 | 0. 043 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 241 | 3. 14 | 0. 31 | 0. 485 | 0. 282 | 0. 180 | 0. 082 | 0. 035 | 0. 000 | 0. 000 |
| 302 | 440. 76 | 146. 85 | 0. 504 | 0. 331 | 0. 166 | 0. 063 | 0. 030 | 0. 000 | 0. 000 |
| 311 | 36. 25 | 13. 18 | 0. 556 | 0. 320 | 0. 169 | 0. 067 | 0. 025 | 0. 000 | 0. 000 |
| 313 | 51. 84 | 8. 42 | 0. 467 | 0. 331 | 0. 173 | 0. 063 | 0. 006 | 0. 000 | 0. 000 |
| 315 | 10. 95 | 3. 62 | 0. 526 | 0. 318 | 0. 151 | 0. 075 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 321 | 7. 55 | 1. 78 | 0. 520 | 0. 322 | 0. 158 | 0. 060 | 0. 036 | 0. 009 | 0. 000 |
| 325 | 3. 72 | 1. 32 | 0. 472 | 0. 314 | 0. 238 | 0. 099 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 327 | 4. 16 | 1. 05 | 0. 460 | 0. 330 | 0. 165 | 0. 075 | 0. 029 | 0. 000 | 0. 000 |

MOYENNES--> 8. 92 0. 502 0. 329 0. 174 0. 065 0. 015 0. 002 0. 000

PROBABILITE D'UN AFFAIBLISSEMENT DU SIGNAL DE "X" uV SOUS LA MOYENNE

Type de milieu: ouvert

Variations: lentes

Fichiers 1984

Separation: lineaire

Fichier Moyenne Ecart-type
(uV) (uV)

Probabilite

| | | | 0. 0 | 0. 5*ET | 1. 0*ET | 1. 5*ET | 2. 0*ET | 2. 5*ET | 3. 0*ET |
|-------------|--------|-------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 329 | 3. 74 | 1. 41 | 0. 610 | 0. 397 | 0. 133 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 333 | 3. 47 | 1. 15 | 0. 488 | 0. 321 | 0. 226 | 0. 086 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 352 | 1. 57 | 0. 42 | 0. 544 | 0. 369 | 0. 166 | 0. 027 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 364 | 13. 69 | 5. 02 | 0. 630 | 0. 306 | 0. 098 | 0. 009 | 0. 003 | 0. 000 | 0. 000 |
| 366 | 3. 67 | 0. 97 | 0. 549 | 0. 377 | 0. 157 | 0. 033 | 0. 007 | 0. 000 | 0. 000 |
| 368 | 6. 10 | 1. 80 | 0. 518 | 0. 356 | 0. 189 | 0. 030 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 370 | 1. 59 | 0. 42 | 0. 539 | 0. 319 | 0. 174 | 0. 036 | 0. 009 | 0. 000 | 0. 000 |
| 372 | 3. 06 | 0. 97 | 0. 499 | 0. 300 | 0. 166 | 0. 091 | 0. 012 | 0. 000 | 0. 000 |
| 374 | 4. 03 | 1. 68 | 0. 604 | 0. 362 | 0. 129 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 382 | 3. 26 | 0. 74 | 0. 481 | 0. 286 | 0. 167 | 0. 089 | 0. 011 | 0. 000 | 0. 000 |
| MOYENNES--> | | 1. 46 | 0. 546 | 0. 341 | 0. 161 | 0. 040 | 0. 004 | 0. 000 | 0. 000 |

PROBABILITE D'UN AFFAIBLISSEMENT DU SIGNAL DE "X" uV SOUS LA MOYENNE

Type de milieu: suburbain

Variations: lentes

Fichiers 1984

Separation: lineaire

Fichier Moyenne Ecart-type
(uV) (uV)

Probabilite

| | | | 0. 0 | 0. 5*ET | 1. 0*ET | 1. 5*ET | 2. 0*ET | 2. 5*ET | 3. 0*ET |
|-------------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 203 | 4. 80 | 1. 09 | 0. 535 | 0. 347 | 0. 163 | 0. 038 | 0. 016 | 0. 003 | 0. 000 |
| 217 | 1. 85 | 0. 69 | 0. 598 | 0. 340 | 0. 172 | 0. 013 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 219 | 2. 16 | 0. 59 | 0. 495 | 0. 342 | 0. 155 | 0. 055 | 0. 003 | 0. 000 | 0. 000 |
| 223 | 1. 47 | 0. 50 | 0. 535 | 0. 366 | 0. 187 | 0. 021 | 0. 005 | 0. 000 | 0. 000 |
| 229 | 1. 49 | 0. 65 | 0. 574 | 0. 335 | 0. 138 | 0. 016 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 231 | 1. 50 | 0. 39 | 0. 552 | 0. 339 | 0. 131 | 0. 051 | 0. 003 | 0. 000 | 0. 000 |
| 233 | 2. 07 | 0. 54 | 0. 479 | 0. 349 | 0. 141 | 0. 084 | 0. 011 | 0. 000 | 0. 000 |
| 285 | 57. 77 | 25. 52 | 0. 545 | 0. 364 | 0. 180 | 0. 022 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 283 | 21. 96 | 7. 68 | 0. 512 | 0. 305 | 0. 193 | 0. 088 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 278 | 12. 42 | 3. 70 | 0. 613 | 0. 334 | 0. 107 | 0. 011 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 255 | 5. 76 | 0. 82 | 0. 513 | 0. 252 | 0. 175 | 0. 090 | 0. 024 | 0. 000 | 0. 000 |
| 249 | 1. 21 | 0. 31 | 0. 506 | 0. 335 | 0. 161 | 0. 065 | 0. 006 | 0. 000 | 0. 000 |
| 239 | 1. 08 | 0. 17 | 0. 499 | 0. 347 | 0. 182 | 0. 064 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 299 | 417. 40 | 157. 27 | 0. 565 | 0. 347 | 0. 158 | 0. 047 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 304 | 327. 26 | 70. 60 | 0. 504 | 0. 349 | 0. 181 | 0. 085 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 307 | 73. 36 | 22. 93 | 0. 523 | 0. 358 | 0. 251 | 0. 050 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 309 | 10. 71 | 3. 00 | 0. 577 | 0. 349 | 0. 177 | 0. 023 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 317 | 10. 54 | 1. 97 | 0. 561 | 0. 376 | 0. 165 | 0. 058 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 319 | 3. 75 | 1. 53 | 0. 550 | 0. 342 | 0. 133 | 0. 015 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 331 | 2. 10 | 0. 74 | 0. 562 | 0. 354 | 0. 140 | 0. 059 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 362 | 19. 60 | 5. 83 | 0. 556 | 0. 345 | 0. 169 | 0. 026 | 0. 012 | 0. 000 | 0. 000 |
| MOYENNES--> | | 14. 60 | 0. 541 | 0. 342 | 0. 165 | 0. 047 | 0. 004 | 0. 000 | 0. 000 |

PROBABILITE D'UN AFFAIBLISSEMENT DU SIGNAL DE "X" uV SOUS LA MOYENNE

Type de milieu: urbain non-dense

Variations: lentes

Fichiers 1984

Separation: linéaire

Fichier Moyenne Ecart-type
(uV) (uV)

Probabilite

| | | | 0. 0 | 0. 5*ET | 1. 0*ET | 1. 5*ET | 2. 0*ET | 2. 5*ET | 3. 0*ET |
|-------------|-------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 205 | 6. 38 | 2. 59 | 0. 544 | 0. 377 | 0. 165 | 0. 050 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 209 | 1. 81 | 0. 44 | 0. 547 | 0. 320 | 0. 168 | 0. 030 | 0. 008 | 0. 000 | 0. 000 |
| 273 | 9. 03 | 3. 78 | 0. 601 | 0. 394 | 0. 092 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 263 | 1. 99 | 0. 57 | 0. 582 | 0. 324 | 0. 150 | 0. 049 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 261 | 6. 06 | 2. 84 | 0. 562 | 0. 377 | 0. 143 | 0. 019 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 259 | 2. 74 | 0. 89 | 0. 513 | 0. 360 | 0. 170 | 0. 063 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 257 | 3. 56 | 1. 57 | 0. 573 | 0. 385 | 0. 142 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| Moyennes--> | 1. 81 | 0. 560 | 0. 363 | 0. 147 | 0. 030 | 0. 001 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |

PROBABILITE D'UN AFFAIBLISSEMENT DU SIGNAL DE "X" uV SOUS LA MOYENNE

Type de milieu: urbain dense

Variations: lentes

Fichiers 1984

Separation: linéaire

Fichier Moyenne Ecart-type
(uV) (uV)

Probabilite

| | | | 0. 0 | 0. 5*ET | 1 0*ET | 1. 5*ET | 2. 0*ET | 2. 5*ET | 3. 0*ET |
|-------------|-------|-------|--------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 207 | 7. 63 | 4. 61 | 0. 625 | 0. 379 | 0. 069 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 269 | 6. 72 | 1. 72 | 0. 529 | 0. 344 | 0. 164 | 0. 034 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 267 | 8. 23 | 2. 91 | 0. 603 | 0. 439 | 0. 133 | 0. 016 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 265 | 5. 50 | 1. 42 | 0. 457 | 0. 310 | 0. 214 | 0. 106 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| MOYENNES--> | | 2. 66 | 0. 553 | 0. 368 | 0. 145 | 0. 039 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |

TABLEAU 3.6

MOYENNES ET ECART-TYPES

Type de milieu: ouvert

Variations rapides

Fichiers 1984

Separation: linéaire

| Route | Distance (km) | Fichier | Obstruction | Rivière | Moyenne | Ecart-type |
|-------|------------------|---------|-------------|---------|---------|------------|
| 1 | 3 | 2 | 0 | non | 1.00 | 0.380 |
| 1 | 4 | 4 | 0 | non | 1.00 | 0.268 |
| 1 | 6 | 8 | 1 | non | 1.00 | 0.135 |
| 1 | 7 | 10 | 0 | non | 1.00 | 0.062 |
| 1 | 8 | 12 | 0 | non | 1.00 | 0.373 |
| 1 | 9 | 14 | 0 | non | 1.00 | 0.262 |
| 1 | 10 | 16 | 0 | non | 1.00 | 0.354 |
| 1 | 11 | 18 | 0 | non | 1.00 | 0.201 |
| 1 | 12 | 20 | 0 | non | 1.00 | 0.377 |
| 1 | 14 | 24 | 0 | non | 1.00 | 0.351 |
| 3 | 7 | 70 | 0 | oui | 1.00 | 0.218 |
| 3 | 8 | 72 | 0 | oui | 1.00 | 0.250 |
| 3 | 9 | 74 | 0 | oui | 1.00 | 0.217 |
| 3 | 10 | 76 | 0 | oui | 1.00 | 0.316 |
| 3 | 11 | 78 | 0 | oui | 1.00 | 0.312 |
| 3 | 12 | 80 | 0 | oui | 1.00 | 0.110 |
| 3 | 13 | 82 | 0 | oui | 1.00 | 0.210 |
| 3 | 14 | 85 | 0 | oui | 1.00 | 0.264 |
| 3 | 16 | 87 | 1 | oui | 1.00 | 0.402 |
| 3 | 17 | 89 | 2 | oui | 1.00 | 0.202 |
| 3 | 18 | 91 | 0 | oui | 1.00 | 0.103 |
| 3 | 19 | 93 | 0 | oui | 1.00 | 0.315 |
| 3 | 20 | 95 | 0 | oui | 1.00 | 0.185 |
| 3 | 21 | 97 | 0 | oui | 1.00 | 0.137 |
| 3 | 22 | 99 | 0 | oui | 1.00 | 0.106 |
| 3 | 23 | 101 | 1 | oui | 0.99 | 0.440 |
| 3 | 25 | 107 | 3 | oui | 1.00 | 0.413 |
| 3 | 26 | 109 | 3 | oui | 1.00 | 0.227 |
| 3 | 28 | 114 | 4 | oui | 1.00 | 0.370 |
| 3 | 29 | 116 | 4 | oui | 1.00 | 0.316 |
| 3 | 30 | 118 | 4 | oui | 1.00 | 0.222 |
| 3 | 31 | 120 | 0 | oui | 1.00 | 0.417 |
| 3 | 32 | 123 | 0 | oui | 1.00 | 0.354 |
| 4 | 4 | 180 | 0 | non | 1.00 | 0.232 |
| 4 | 5 | 178 | 0 | non | 1.00 | 0.117 |
| 4 | 6 | 176 | 0 | non | 1.00 | 0.210 |
| 4 | 7 | 174 | 0 | non | 1.00 | 0.343 |
| 4 | 8 | 172 | 0 | non | 1.00 | 0.319 |
| 4 | 9 | 170 | 0 | non | 1.00 | 0.240 |
| 4 | 10 | 168 | 0 | non | 1.00 | 0.190 |

Moyenne des amplitudes moyennes: 1.00

Moyenne des ecart-types: 0.263

TABLEAU 3.6 (suite)

MOYENNES ET ECART-TYPES

Type de milieu: ouvert

Variations: rapides

Fichiers 1984

Separation: linéaire

| Route | Distance (km) | Fichier | Obstruction | Riviere | Moyenne | Ecart-type |
|-------|------------------|---------|-------------|---------|---------|------------|
| 4 | 11 | 166 | 1 | non | 1.00 | 0.282 |
| 4 | 12 | 164 | 1 | non | 1.00 | 0.152 |
| 4 | 13 | 162 | 0 | non | 1.00 | 0.193 |
| 4 | 14 | 160 | 0 | non | 1.00 | 0.230 |
| 4 | 15 | 158 | 0 | non | 1.00 | 0.081 |
| 4 | 16 | 156 | 0 | non | 1.00 | 0.111 |
| 4 | 17 | 154 | 0 | non | 1.00 | 0.183 |
| 4 | 18 | 152 | 0 | non | 1.00 | 0.072 |
| 4 | 19 | 150 | 0 | non | 1.00 | 0.093 |
| 4 | 20 | 148 | 0 | non | 1.00 | 0.212 |
| 4 | 21 | 146 | 0 | non | 1.00 | 0.364 |
| 4 | 22 | 144 | 0 | non | 1.00 | 0.141 |
| 4 | 23 | 142 | 0 | non | 1.00 | 0.079 |
| 4 | 24 | 140 | 0 | non | 1.00 | 0.120 |
| 4 | 25 | 138 | 0 | non | 1.00 | 0.125 |
| 4 | 26 | 136 | 0 | non | 1.00 | 0.190 |
| 4 | 27 | 134 | 1 | non | 1.00 | 0.246 |
| 5 | 8 | 190 | 0 | oui | 0.99 | 0.413 |
| 5 | 9 | 192 | 0 | oui | 1.00 | 0.357 |
| 5 | 10 | 194 | 1 | oui | 1.00 | 0.398 |
| 5 | 11 | 196 | 1 | oui | 1.00 | 0.404 |
| 5 | 12 | 199 | 1 | oui | 1.00 | 0.459 |
| 5 | 13 | 201 | 1 | oui | 1.00 | 0.430 |
| 5 | 18 | 211 | 2 | oui | 1.00 | 0.314 |
| 5 | 22 | 221 | 4 | oui | 1.00 | 0.172 |
| 6 | 2 | 289 | 0 | non | 1.00 | 0.310 |
| 6 | 3 | 287 | 0 | non | 1.00 | 0.287 |
| 6 | 6 | 281 | 0 | non | 1.00 | 0.225 |
| 6 | 23 | 253 | 0 | oui | 1.00 | 0.247 |
| 6 | 24 | 251 | 0 | oui | 1.00 | 0.261 |
| 6 | 28 | 243 | 5 | oui | 1.00 | 0.124 |
| 6 | 29 | 241 | 6 | oui | 1.00 | 0.078 |
| 7 | 3 | 302 | 0 | non | 1.00 | 0.193 |
| 7 | 7 | 311 | 1 | non | 1.00 | 0.192 |
| 7 | 8 | 313 | 0 | non | 1.00 | 0.135 |
| 7 | 9 | 315 | 0 | non | 1.00 | 0.432 |
| 7 | 12 | 321 | 1 | non | 1.00 | 0.297 |
| 7 | 14 | 325 | 2 | non | 1.00 | 0.262 |
| 7 | 15 | 327 | 2 | non | 1.00 | 0.438 |

Moyenne des amplitudes moyennes: 1.00

Moyenne des ecart-types: 0.239

MOYENNES ET ECART-TYPES

Type de milieu: ouvert

Variations: rapides

Fichiers 1984

Separation: lineaire

| Route | Distance (km) | Fichier | Obstruction | Riviere | Moyenne | Ecart-type |
|-------|------------------|---------|-------------|---------|---------|------------|
| 7 | 16 | 329 | 3 | non | 0.99 | 0.340 |
| 7 | 18 | 333 | 2 | non | 0.99 | 0.294 |
| 7 | 27 | 352 | 2 | non | 1.00 | 0.165 |
| 8 | 9 | 364 | 0 | oui | 1.00 | 0.420 |
| 8 | 10 | 366 | 0 | oui | 1.00 | 0.468 |
| 8 | 11 | 368 | 0 | oui | 1.00 | 0.334 |
| 8 | 12 | 370 | 1 | oui | 1.00 | 0.381 |
| 8 | 13 | 372 | 2 | oui | 1.00 | 0.380 |
| 8 | 14 | 374 | 1 | oui | 1.00 | 0.363 |
| 8 | 18 | 382 | 9 | oui | 1.00 | 0.449 |

Moyenne des amplitudes moyennes: 1.00

Moyenne des ecart-types: 0.359

TABLEAU 3.6 (suite)

MOYENNES ET ECART-TYPES

Type de milieu: suburbain

Variations rapides

Fichiers 1984

Separation: linéaire

| Route | Distance (km) | Fichier | Obstruction | Riviere | Moyenne | Ecart-type |
|-------|------------------|---------|-------------|---------|---------|------------|
| 5 | 14 | 203 | 0 | oui | 1.00 | 0.418 |
| 5 | 20 | 217 | 4 | oui | 1.00 | 0.364 |
| 5 | 21 | 219 | 4 | oui | 1.00 | 0.358 |
| 5 | 23 | 223 | 1 | oui | 1.00 | 0.327 |
| 5 | 26 | 229 | 2 | oui | 1.00 | 0.280 |
| 5 | 27 | 231 | 2 | oui | 1.00 | 0.200 |
| 5 | 28 | 233 | 1 | oui | 1.00 | 0.179 |
| 6 | 4 | 285 | 0 | non | 1.00 | 0.223 |
| 6 | 5 | 283 | 0 | non | 1.00 | 0.274 |
| 6 | 7 | 278 | 0 | non | 1.00 | 0.409 |
| 6 | 22 | 255 | 0 | oui | 1.00 | 0.126 |
| 6 | 25 | 249 | 1 | oui | 1.00 | 0.285 |
| 6 | 30 | 239 | 6 | oui | 1.00 | 0.066 |
| 7 | 2 | 299 | 0 | non | 1.00 | 0.279 |
| 7 | 4 | 304 | 0 | non | 1.00 | 0.168 |
| 7 | 5 | 307 | 0 | non | 0.99 | 0.366 |
| 7 | 6 | 309 | 3 | non | 0.99 | 0.293 |
| 7 | 10 | 317 | 0 | non | 1.00 | 0.375 |
| 7 | 11 | 319 | 0 | non | 1.01 | 0.436 |
| 7 | 17 | 331 | 2 | non | 1.00 | 0.266 |
| 8 | 8 | 362 | 0 | oui | 1.00 | 0.407 |

Moyenne des amplitudes moyennes: 1.00

Moyenne des ecart-types: 0.291

TABLEAU 3.6 (suite)

MOYENNES ET ECART-TYPES

Type de milieu: urbain non-dense

Variations: rapides

Fichiers 1984

Separation: linéaire

| Route | Distance (km) | Fichier | Obstruction | Riviere | Moyenne | Ecart-type |
|-------|------------------|---------|-------------|---------|---------|------------|
| 5 | 15 | 205 | 0 | oui | 1.00 | 0.336 |
| 5 | 17 | 209 | 1 | oui | 1.00 | 0.401 |
| 6 | 10 | 273 | 0 | oui | 1.00 | 0.381 |
| 6 | 18 | 263 | 1 | oui | 1.00 | 0.384 |
| 6 | 19 | 261 | 1 | oui | 1.00 | 0.314 |
| 6 | 20 | 259 | 1 | oui | 1.00 | 0.297 |
| 6 | 21 | 257 | 0 | oui | 1.00 | 0.291 |

Moyenne des amplitudes moyennes: 1.00

Moyenne des ecart-types: 0.344

TABLEAU 3.6 (suite)

MOYENNES ET ECART-TYPES

Type de milieu: urbain dense

Variations rapides

Fichiers 1964

Separation linéaire

| Route | Distance (km) | Fichier | Obstruction | Rivière | Moyenne | Ecart-type |
|-------|------------------|---------|-------------|---------|---------|------------|
| 5 | 16 | 207 | 1 | oui | 1.00 | 0.397 |
| 6 | 15 | 269 | 0 | oui | 1.00 | 0.406 |
| 6 | 16 | 267 | 0 | oui | 1.00 | 0.368 |
| 6 | 17 | 265 | 0 | oui | 1.00 | 0.342 |

Moyenne des amplitudes moyennes: 1.00

Moyenne des ecart-types: 0.378

TABLEAU 3.7

TAUX DE PASSAGE PAR UN NIVEAU ET LONGUEUR MOYENNE DES AFFAIBLISSEMENTS

| Type de milieu: ouvert | | | Variations rapides | | | | | |
|------------------------|---------|------------|-----------------------------|-------|--------|----------------|-------|--------|
| Fichiers 1984 | | | Séparation linéaire | | | | | |
| Fichier | Moyenne | Ecart-type | TPN (passages par metre) | | | LMA (mètre) | | |
| | | | Moy-ET | Moy | Moy+ET | Moy-ET | Moy | Moy+ET |
| 2 | 1.00 | 0.386 | 1.335 | 1.566 | 0.937 | 0.127 | 0.327 | 0.902 |
| 4 | 1.00 | 0.268 | 1.081 | 2.113 | 1.012 | 0.125 | 0.240 | 0.855 |
| 8 | 1.00 | 0.135 | 0.719 | 1.913 | 0.749 | 0.137 | 0.258 | 1.203 |
| 10 | 1.00 | 0.062 | 1.677 | 3.025 | 1.780 | 0.091 | 0.168 | 0.476 |
| 12 | 1.00 | 0.373 | 2.194 | 3.243 | 1.786 | 0.076 | 0.166 | 0.469 |
| 14 | 1.00 | 0.262 | 1.126 | 2.684 | 1.101 | 0.119 | 0.185 | 0.799 |
| 16 | 1.00 | 0.354 | 1.920 | 2.967 | 1.612 | 0.082 | 0.173 | 0.527 |
| 18 | 1.00 | 0.201 | 0.844 | 2.109 | 0.832 | 0.131 | 0.233 | 1.066 |
| 20 | 1.00 | 0.377 | 1.533 | 2.274 | 1.292 | 0.101 | 0.237 | 0.659 |
| 24 | 1.00 | 0.351 | 1.154 | 2.160 | 1.251 | 0.135 | 0.256 | 0.678 |
| 70 | 1.00 | 0.218 | 1.288 | 2.234 | 1.138 | 0.113 | 0.225 | 0.756 |
| 72 | 1.00 | 0.250 | 1.332 | 2.367 | 1.164 | 0.114 | 0.210 | 0.747 |
| 74 | 1.00 | 0.217 | 0.659 | 2.053 | 1.017 | 0.181 | 0.236 | 0.861 |
| 76 | 1.00 | 0.316 | 1.435 | 2.514 | 1.213 | 0.102 | 0.205 | 0.724 |
| 78 | 1.00 | 0.312 | 1.568 | 2.871 | 1.612 | 0.091 | 0.187 | 0.521 |
| 80 | 1.00 | 0.110 | 1.634 | 2.756 | 1.759 | 0.092 | 0.192 | 0.475 |
| 82 | 1.00 | 0.210 | 1.355 | 2.538 | 1.286 | 0.087 | 0.198 | 0.684 |
| 85 | 1.00 | 0.264 | 1.510 | 2.912 | 1.448 | 0.090 | 0.178 | 0.588 |
| 87 | 1.00 | 0.402 | 2.068 | 2.981 | 1.568 | 0.077 | 0.178 | 0.536 |
| 89 | 1.00 | 0.202 | 2.498 | 4.177 | 2.270 | 0.059 | 0.121 | 0.373 |
| 91 | 1.00 | 0.103 | 1.345 | 2.897 | 1.159 | 0.076 | 0.166 | 0.770 |
| 93 | 1.00 | 0.315 | 2.876 | 4.252 | 1.891 | 0.055 | 0.117 | 0.456 |
| 95 | 1.00 | 0.185 | 1.671 | 3.460 | 1.481 | 0.074 | 0.145 | 0.600 |
| 97 | 1.00 | 0.137 | 1.575 | 2.896 | 1.535 | 0.090 | 0.171 | 0.561 |
| 99 | 1.00 | 0.106 | 1.244 | 2.228 | 1.312 | 0.121 | 0.225 | 0.643 |
| 101 | 0.99 | 0.440 | 1.600 | 2.010 | 1.154 | 0.105 | 0.264 | 0.720 |
| 107 | 1.00 | 0.413 | 1.457 | 2.036 | 1.316 | 0.117 | 0.266 | 0.635 |
| 109 | 1.00 | 0.227 | 1.306 | 2.391 | 1.136 | 0.113 | 0.210 | 0.757 |
| 114 | 1.00 | 0.370 | 1.085 | 1.740 | 1.085 | 0.157 | 0.292 | 0.768 |
| 116 | 1.00 | 0.316 | 0.865 | 1.611 | 0.945 | 0.171 | 0.306 | 0.911 |
| 118 | 1.00 | 0.222 | 1.267 | 2.770 | 1.208 | 0.108 | 0.189 | 0.721 |
| 120 | 1.00 | 0.417 | 1.704 | 2.216 | 1.370 | 0.101 | 0.244 | 0.608 |
| 123 | 1.00 | 0.354 | 1.076 | 1.567 | 1.076 | 0.153 | 0.321 | 0.775 |
| 180 | 1.00 | 0.232 | 1.259 | 2.354 | 1.248 | 0.112 | 0.218 | 0.689 |
| 178 | 1.00 | 0.117 | 1.235 | 2.186 | 1.164 | 0.110 | 0.219 | 0.736 |
| 176 | 1.00 | 0.210 | 1.260 | 2.482 | 1.210 | 0.111 | 0.206 | 0.712 |
| 174 | 1.00 | 0.343 | 1.212 | 1.849 | 0.973 | 0.133 | 0.270 | 0.881 |
| 172 | 1.00 | 0.319 | 1.523 | 2.298 | 1.200 | 0.106 | 0.215 | 0.703 |
| 170 | 1.00 | 0.240 | 1.095 | 1.879 | 1.062 | 0.133 | 0.267 | 0.803 |
| 168 | 1.00 | 0.190 | 1.180 | 2.287 | 0.951 | 0.107 | 0.212 | 0.926 |

Moyenne des TPN(Moy): 2.472 passages par metre.

Moyenne des LMA(Moy): 0.217 metres.

TAUX DE PASSAGE PAR UN NIVEAU ET LONGUEUR MOYENNE DES AFFAIBLISSEMENTS

Type de milieu: ouvert

Variations rapides

Fichiers 1984

Séparation linéaire

| Fichier | Moyenne | Ecart-type | TPN (passages par mètre) | | | LMA (mètre) | | |
|---------|---------|------------|-----------------------------|-------|--------|----------------|-------|--------|
| | | | Moy-ET | Moy | Moy+ET | Moy-ET | Moy | Moy+ET |
| 166 | 1.00 | 0.282 | 2.177 | 3.168 | 1.774 | 0.076 | 0.159 | 0.473 |
| 164 | 1.00 | 0.152 | 1.358 | 2.676 | 1.049 | 0.102 | 0.186 | 0.840 |
| 162 | 1.00 | 0.193 | 2.418 | 3.472 | 2.177 | 0.072 | 0.139 | 0.375 |
| 160 | 1.00 | 0.230 | 1.224 | 2.588 | 1.029 | 0.103 | 0.196 | 0.850 |
| 158 | 1.00 | 0.081 | 1.743 | 3.237 | 1.686 | 0.078 | 0.150 | 0.515 |
| 156 | 1.00 | 0.111 | 1.409 | 3.022 | 1.342 | 0.084 | 0.167 | 0.660 |
| 154 | 1.00 | 0.183 | 2.170 | 3.974 | 1.719 | 0.063 | 0.120 | 0.510 |
| 152 | 1.00 | 0.072 | 1.156 | 2.251 | 1.226 | 0.115 | 0.221 | 0.695 |
| 150 | 1.00 | 0.093 | 1.705 | 3.125 | 1.646 | 0.078 | 0.162 | 0.522 |
| 148 | 1.00 | 0.212 | 1.766 | 3.336 | 1.348 | 0.079 | 0.150 | 0.646 |
| 146 | 1.00 | 0.364 | 2.106 | 3.138 | 1.785 | 0.085 | 0.166 | 0.467 |
| 144 | 1.00 | 0.141 | 1.904 | 3.235 | 1.594 | 0.077 | 0.156 | 0.542 |
| 142 | 1.00 | 0.079 | 1.052 | 2.416 | 1.052 | 0.124 | 0.205 | 0.819 |
| 140 | 1.00 | 0.120 | 1.165 | 2.512 | 0.984 | 0.093 | 0.195 | 0.906 |
| 138 | 1.00 | 0.125 | 1.916 | 3.487 | 1.964 | 0.068 | 0.142 | 0.437 |
| 136 | 1.00 | 0.190 | 1.796 | 3.411 | 1.569 | 0.079 | 0.145 | 0.552 |
| 134 | 1.00 | 0.246 | 1.477 | 2.661 | 1.331 | 0.103 | 0.197 | 0.650 |
| 190 | 0.99 | 0.413 | 1.547 | 2.337 | 1.350 | 0.093 | 0.234 | 0.618 |
| 192 | 1.00 | 0.357 | 2.097 | 2.746 | 1.539 | 0.084 | 0.179 | 0.542 |
| 194 | 1.00 | 0.398 | 2.144 | 2.894 | 1.657 | 0.081 | 0.180 | 0.504 |
| 196 | 1.00 | 0.404 | 1.783 | 2.326 | 1.409 | 0.098 | 0.221 | 0.584 |
| 199 | 1.00 | 0.459 | 1.880 | 2.496 | 1.359 | 0.101 | 0.210 | 0.613 |
| 201 | 1.00 | 0.430 | 2.204 | 2.839 | 1.604 | 0.079 | 0.192 | 0.518 |
| 211 | 1.00 | 0.314 | 0.818 | 1.934 | 1.181 | 0.164 | 0.298 | 0.713 |
| 221 | 1.00 | 0.172 | 1.253 | 2.494 | 1.517 | 0.122 | 0.195 | 0.553 |
| 289 | 1.00 | 0.310 | 1.438 | 2.284 | 1.252 | 0.110 | 0.224 | 0.678 |
| 287 | 1.00 | 0.287 | 1.008 | 1.951 | 1.008 | 0.149 | 0.252 | 0.848 |
| 281 | 1.00 | 0.225 | 1.727 | 2.925 | 1.680 | 0.084 | 0.180 | 0.506 |
| 253 | 1.00 | 0.247 | 1.125 | 1.937 | 1.166 | 0.143 | 0.265 | 0.723 |
| 251 | 1.00 | 0.261 | 1.549 | 2.901 | 1.660 | 0.102 | 0.183 | 0.513 |
| 243 | 1.00 | 0.124 | 1.109 | 2.284 | 1.109 | 0.129 | 0.223 | 0.786 |
| 241 | 1.00 | 0.078 | 1.536 | 2.654 | 1.649 | 0.099 | 0.192 | 0.517 |
| 302 | 1.00 | 0.193 | 1.988 | 3.786 | 1.608 | 0.065 | 0.130 | 0.544 |
| 311 | 1.00 | 0.192 | 1.099 | 2.230 | 1.164 | 0.118 | 0.209 | 0.761 |
| 313 | 1.00 | 0.135 | 2.443 | 4.038 | 2.212 | 0.067 | 0.124 | 0.383 |
| 315 | 1.00 | 0.432 | 1.816 | 2.401 | 1.262 | 0.092 | 0.218 | 0.657 |
| 321 | 1.00 | 0.297 | 2.001 | 2.775 | 1.581 | 0.076 | 0.187 | 0.537 |
| 325 | 1.00 | 0.262 | 1.746 | 2.947 | 1.574 | 0.081 | 0.174 | 0.552 |
| 327 | 1.00 | 0.439 | 2.231 | 2.798 | 1.594 | 0.078 | 0.189 | 0.528 |

Moyenne des TPN(Moy): 2.812 passages par mètre.

Moyenne des LMA(Moy): 0.188 mètres.

TAUX DE PASSAGE PAR UN NIVEAU ET LONGUEUR MOYENNE DES AFFAIBLISSEMENTS

Type de milieu: ouvert

Variations: rapides

Fichiers 1984

Séparation: linéaire

| Fichier | Moyenne | Ecart-type | TPN (passages par metre) | | | LMA (metre) | | |
|---------|---------|------------|-----------------------------|-------|--------|----------------|-------|--------|
| | | | Moy-ET | Moy | Moy+ET | Moy-ET | Moy | Moy+ET |
| 329 | 0.99 | 0.340 | 2.276 | 3.209 | 1.754 | 0.077 | 0.153 | 0.484 |
| 333 | 0.99 | 0.294 | 0.681 | 1.426 | 0.875 | 0.214 | 0.369 | 0.957 |
| 352 | 1.00 | 0.165 | 0.877 | 1.848 | 0.908 | 0.175 | 0.278 | 0.930 |
| 364 | 1.00 | 0.420 | 2.141 | 2.674 | 1.543 | 0.086 | 0.192 | 0.540 |
| 366 | 1.00 | 0.468 | 1.479 | 2.101 | 1.150 | 0.118 | 0.255 | 0.726 |
| 368 | 1.00 | 0.334 | 1.521 | 2.341 | 1.336 | 0.103 | 0.213 | 0.637 |
| 370 | 1.00 | 0.381 | 1.688 | 2.300 | 1.542 | 0.108 | 0.234 | 0.534 |
| 372 | 1.00 | 0.380 | 1.825 | 2.631 | 1.414 | 0.094 | 0.194 | 0.596 |
| 374 | 1.00 | 0.363 | 2.516 | 3.375 | 1.833 | 0.068 | 0.155 | 0.459 |
| 382 | 1.00 | 0.449 | 1.221 | 1.567 | 1.010 | 0.138 | 0.341 | 0.820 |

Moyenne des TPN(Moy): 2.347 passages par metre.

Moyenne des LMA(Moy): 0.238 metres.

TAUX DE PASSAGE PAR UN NIVEAU ET LONGUEUR MOYENNE DES AFFAIBLISSEMENTS

Type de milieu: suburbain

Variations: rapides

Fichiers 1984

Separation: linéaire

| Fichier | Moyenne | Ecart-type | TPN (passages par metre) | | | LMA (metre) | | |
|---------|---------|------------|-----------------------------|-------|--------|----------------|-------|--------|
| | | | Moy-ET | Moy | Moy+ET | Moy-ET | Moy | Moy+ET |
| 203 | 1.00 | 0.418 | 2.680 | 3.184 | 1.727 | 0.068 | 0.163 | 0.483 |
| 217 | 1.00 | 0.364 | 0.986 | 1.810 | 1.364 | 0.184 | 0.283 | 0.606 |
| 219 | 1.00 | 0.358 | 1.500 | 2.256 | 1.323 | 0.114 | 0.235 | 0.631 |
| 223 | 1.00 | 0.327 | 1.450 | 2.756 | 1.510 | 0.108 | 0.199 | 0.557 |
| 229 | 1.00 | 0.280 | 1.880 | 3.150 | 1.931 | 0.091 | 0.169 | 0.429 |
| 231 | 1.00 | 0.200 | 1.732 | 2.722 | 1.695 | 0.094 | 0.184 | 0.498 |
| 233 | 1.00 | 0.179 | 1.841 | 3.258 | 1.748 | 0.082 | 0.156 | 0.489 |
| 285 | 1.00 | 0.223 | 1.631 | 2.935 | 1.494 | 0.085 | 0.178 | 0.574 |
| 283 | 1.00 | 0.274 | 1.854 | 3.126 | 1.345 | 0.077 | 0.159 | 0.644 |
| 278 | 1.00 | 0.409 | 2.273 | 2.761 | 1.440 | 0.079 | 0.188 | 0.574 |
| 255 | 1.00 | 0.126 | 2.094 | 3.536 | 1.969 | 0.066 | 0.139 | 0.439 |
| 249 | 1.00 | 0.285 | 2.180 | 3.293 | 2.077 | 0.075 | 0.168 | 0.400 |
| 239 | 1.00 | 0.066 | 1.830 | 3.156 | 1.916 | 0.079 | 0.165 | 0.442 |
| 299 | 1.00 | 0.279 | 0.727 | 1.558 | 0.909 | 0.212 | 0.323 | 0.942 |
| 304 | 1.00 | 0.168 | 1.721 | 2.759 | 1.543 | 0.081 | 0.179 | 0.553 |
| 307 | 0.99 | 0.366 | 1.112 | 2.018 | 0.947 | 0.137 | 0.249 | 0.893 |
| 309 | 0.99 | 0.298 | 1.234 | 2.498 | 1.110 | 0.120 | 0.204 | 0.778 |
| 317 | 1.00 | 0.375 | 1.246 | 2.001 | 1.397 | 0.131 | 0.249 | 0.591 |
| 319 | 1.01 | 0.436 | 1.182 | 1.796 | 0.955 | 0.141 | 0.295 | 0.889 |
| 331 | 1.00 | 0.266 | 1.652 | 2.882 | 1.537 | 0.102 | 0.171 | 0.551 |
| 362 | 1.00 | 0.407 | 1.802 | 2.319 | 1.175 | 0.093 | 0.219 | 0.725 |

Moyenne des TPN(Moy): 2.656 passages par metre.

Moyenne des LMA(Moy): 0.204 metres.

TAUX DE PASSAGE PAR UN NIVEAU ET LONGUEUR MOYENNE DES AFFAIBLISSEMENTS

Type de milieu: urbain non-dense

Variations: rapides

Fichiers 1984

Separation: linéaire

| Fichier | Moyenne | Ecart-type | TPN | | | LMA | | |
|---------|---------|------------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|
| | | | Moy-ET | Moy | Moy+ET | Moy-ET | Moy | Moy+ET |
| 205 | 1.00 | 0.338 | 2.434 | 3.537 | 1.959 | 0.070 | 0.140 | 0.431 |
| 209 | 1.00 | 0.401 | 2.085 | 2.940 | 1.692 | 0.089 | 0.183 | 0.487 |
| 273 | 1.00 | 0.381 | 1.834 | 2.462 | 1.305 | 0.095 | 0.210 | 0.643 |
| 263 | 1.00 | 0.384 | 2.031 | 3.139 | 1.804 | 0.085 | 0.169 | 0.462 |
| 261 | 1.00 | 0.314 | 2.013 | 2.923 | 1.564 | 0.078 | 0.176 | 0.547 |
| 259 | 1.00 | 0.297 | 1.295 | 2.667 | 1.308 | 0.114 | 0.191 | 0.663 |
| 257 | 1.00 | 0.291 | 1.768 | 2.987 | 1.512 | 0.088 | 0.174 | 0.568 |

Moyenne des TPN(Moy): 2.951 passages par metre.

Moyenne des LMA(Moy): 0.178 metres.

TAUX DE PASSAGE PAR UN NIVEAU ET LONGUEUR MOYENNE DES AFFAIBLISSEMENTS

Type de milieu: urbain dense

Variations: rapides

Fichiers 1984

Separation: linéaire

| Fichier | Moyenne | Ecart-type | TPN (passages par metre) | | | LMA (metre) | | |
|---------|---------|------------|-----------------------------|-------|--------|----------------|-------|--------|
| | | | Moy-ET | Moy | Moy+ET | Moy-ET | Moy | Moy+ET |
| 207 | 1.00 | 0.397 | 1.901 | 2.658 | 1.416 | 0.093 | 0.188 | 0.600 |
| 269 | 1.00 | 0.406 | 2.575 | 3.129 | 1.910 | 0.069 | 0.169 | 0.432 |
| 267 | 1.00 | 0.368 | 3.861 | 4.607 | 2.602 | 0.049 | 0.109 | 0.318 |
| 265 | 1.00 | 0.342 | 3.091 | 4.204 | 2.195 | 0.057 | 0.121 | 0.383 |

Moyenne des TPN(Moy): 3.650 passages par metre.

Moyenne des LMA(Moy): 0.147 metres.

TABLEAU 3.8

PROBABILITE D'UN AFFAIBLISSEMENT DU SIGNAL DE "X" SOUS LA MOYENNE

Type de milieu: ouvert

Variations: rapides

Fichiers 1984

Separation: linéaire

Fichier Moyenne Ecart-type

Probabilite

| | | | 0. 0 | 0. 5*ET | 1. 0*ET | 1. 5*ET | 2. 0*ET | 2. 5*ET | 3. 0*ET |
|-------------|-------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 2 | 1. 00 | 0. 386 | 0. 511 | 0. 333 | 0. 170 | 0. 058 | 0. 005 | 0. 000 | 0. 000 |
| 4 | 1. 00 | 0. 268 | 0. 507 | 0. 283 | 0. 135 | 0. 065 | 0. 032 | 0. 011 | 0. 000 |
| 8 | 1. 00 | 0. 135 | 0. 493 | 0. 218 | 0. 098 | 0. 055 | 0. 033 | 0. 020 | 0. 013 |
| 10 | 1. 00 | 0. 062 | 0. 509 | 0. 308 | 0. 153 | 0. 066 | 0. 020 | 0. 003 | 0. 000 |
| 12 | 1. 00 | 0. 373 | 0. 539 | 0. 338 | 0. 166 | 0. 042 | 0. 003 | 0. 000 | 0. 000 |
| 14 | 1. 00 | 0. 262 | 0. 497 | 0. 254 | 0. 134 | 0. 068 | 0. 030 | 0. 011 | 0. 001 |
| 16 | 1. 00 | 0. 354 | 0. 513 | 0. 322 | 0. 158 | 0. 061 | 0. 008 | 0. 000 | 0. 000 |
| 18 | 1. 00 | 0. 201 | 0. 491 | 0. 241 | 0. 110 | 0. 060 | 0. 032 | 0. 021 | 0. 012 |
| 20 | 1. 00 | 0. 377 | 0. 538 | 0. 337 | 0. 155 | 0. 042 | 0. 001 | 0. 000 | 0. 000 |
| 24 | 1. 00 | 0. 351 | 0. 553 | 0. 349 | 0. 156 | 0. 024 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 70 | 1. 00 | 0. 218 | 0. 502 | 0. 289 | 0. 145 | 0. 063 | 0. 022 | 0. 014 | 0. 006 |
| 72 | 1. 00 | 0. 250 | 0. 496 | 0. 293 | 0. 151 | 0. 067 | 0. 022 | 0. 005 | 0. 001 |
| 74 | 1. 00 | 0. 217 | 0. 485 | 0. 249 | 0. 119 | 0. 064 | 0. 036 | 0. 018 | 0. 011 |
| 76 | 1. 00 | 0. 316 | 0. 515 | 0. 304 | 0. 147 | 0. 057 | 0. 014 | 0. 001 | 0. 000 |
| 78 | 1. 00 | 0. 312 | 0. 538 | 0. 323 | 0. 142 | 0. 050 | 0. 016 | 0. 002 | 0. 000 |
| 80 | 1. 00 | 0. 110 | 0. 529 | 0. 312 | 0. 151 | 0. 052 | 0. 012 | 0. 006 | 0. 002 |
| 82 | 1. 00 | 0. 210 | 0. 502 | 0. 261 | 0. 118 | 0. 053 | 0. 027 | 0. 015 | 0. 005 |
| 85 | 1. 00 | 0. 264 | 0. 518 | 0. 311 | 0. 135 | 0. 055 | 0. 021 | 0. 010 | 0. 002 |
| 87 | 1. 00 | 0. 402 | 0. 529 | 0. 326 | 0. 160 | 0. 061 | 0. 005 | 0. 000 | 0. 000 |
| 89 | 1. 00 | 0. 202 | 0. 507 | 0. 288 | 0. 147 | 0. 066 | 0. 023 | 0. 009 | 0. 002 |
| 91 | 1. 00 | 0. 103 | 0. 481 | 0. 233 | 0. 102 | 0. 053 | 0. 032 | 0. 019 | 0. 013 |
| 93 | 1. 00 | 0. 315 | 0. 497 | 0. 280 | 0. 159 | 0. 073 | 0. 022 | 0. 002 | 0. 000 |
| 95 | 1. 00 | 0. 185 | 0. 501 | 0. 246 | 0. 123 | 0. 063 | 0. 034 | 0. 015 | 0. 007 |
| 97 | 1. 00 | 0. 137 | 0. 495 | 0. 292 | 0. 142 | 0. 060 | 0. 021 | 0. 009 | 0. 005 |
| 99 | 1. 00 | 0. 106 | 0. 501 | 0. 305 | 0. 150 | 0. 063 | 0. 024 | 0. 007 | 0. 003 |
| 101 | 0. 99 | 0. 440 | 0. 530 | 0. 336 | 0. 167 | 0. 052 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 107 | 1. 00 | 0. 413 | 0. 541 | 0. 350 | 0. 171 | 0. 037 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 109 | 1. 00 | 0. 227 | 0. 501 | 0. 288 | 0. 147 | 0. 066 | 0. 029 | 0. 009 | 0. 003 |
| 114 | 1. 00 | 0. 370 | 0. 508 | 0. 332 | 0. 170 | 0. 065 | 0. 004 | 0. 000 | 0. 000 |
| 116 | 1. 00 | 0. 316 | 0. 492 | 0. 299 | 0. 148 | 0. 074 | 0. 024 | 0. 001 | 0. 000 |
| 118 | 1. 00 | 0. 222 | 0. 524 | 0. 271 | 0. 137 | 0. 067 | 0. 030 | 0. 005 | 0. 000 |
| 120 | 1. 00 | 0. 417 | 0. 541 | 0. 356 | 0. 173 | 0. 034 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 123 | 1. 00 | 0. 354 | 0. 503 | 0. 325 | 0. 164 | 0. 068 | 0. 015 | 0. 000 | 0. 000 |
| 180 | 1. 00 | 0. 232 | 0. 514 | 0. 300 | 0. 141 | 0. 058 | 0. 028 | 0. 010 | 0. 003 |
| 178 | 1. 00 | 0. 117 | 0. 480 | 0. 313 | 0. 136 | 0. 064 | 0. 029 | 0. 014 | 0. 004 |
| 176 | 1. 00 | 0. 210 | 0. 511 | 0. 295 | 0. 140 | 0. 059 | 0. 021 | 0. 008 | 0. 002 |
| 174 | 1. 00 | 0. 343 | 0. 499 | 0. 309 | 0. 161 | 0. 062 | 0. 020 | 0. 001 | 0. 000 |
| 172 | 1. 00 | 0. 319 | 0. 494 | 0. 304 | 0. 161 | 0. 069 | 0. 024 | 0. 004 | 0. 000 |
| 170 | 1. 00 | 0. 240 | 0. 502 | 0. 310 | 0. 145 | 0. 061 | 0. 023 | 0. 011 | 0. 002 |
| 168 | 1. 00 | 0. 190 | 0. 486 | 0. 277 | 0. 127 | 0. 053 | 0. 022 | 0. 011 | 0. 006 |
| MOYENNES--> | | 0. 263 | 0. 509 | 0. 299 | 0. 145 | 0. 058 | 0. 019 | 0. 007 | 0. 003 |

TABLEAU 3.8 (suite)

PROBABILITE D'UN AFFAIBLISSEMENT DU SIGNAL DE "X" SOUS LA MOYENNE

Type de milieu: ouvert

Variations rapides

Fichiers 1984

Separation: linesite

Fichier Moyenne Ecart-type

Probabilite

| | | | 0. 0 | 0. 5*ET | 1. 0*ET | 1. 5*ET | 2. 0*ET | 2. 5*ET | 3. 0*ET |
|-------------|-------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 166 | 1. 00 | 0. 282 | 0. 504 | 0. 316 | 0. 165 | 0. 066 | 0. 019 | 0. 002 | 0. 000 |
| 164 | 1. 00 | 0. 152 | 0. 497 | 0. 286 | 0. 138 | 0. 062 | 0. 023 | 0. 009 | 0. 006 |
| 162 | 1. 00 | 0. 193 | 0. 483 | 0. 320 | 0. 174 | 0. 077 | 0. 022 | 0. 003 | 0. 000 |
| 160 | 1. 00 | 0. 230 | 0. 506 | 0. 273 | 0. 127 | 0. 065 | 0. 026 | 0. 009 | 0. 002 |
| 158 | 1. 00 | 0. 081 | 0. 485 | 0. 274 | 0. 135 | 0. 070 | 0. 031 | 0. 014 | 0. 006 |
| 156 | 1. 00 | 0. 111 | 0. 505 | 0. 255 | 0. 119 | 0. 056 | 0. 027 | 0. 013 | 0. 007 |
| 154 | 1. 00 | 0. 183 | 0. 478 | 0. 264 | 0. 136 | 0. 064 | 0. 032 | 0. 016 | 0. 007 |
| 152 | 1. 00 | 0. 072 | 0. 498 | 0. 298 | 0. 133 | 0. 066 | 0. 028 | 0. 011 | 0. 004 |
| 150 | 1. 00 | 0. 093 | 0. 506 | 0. 284 | 0. 133 | 0. 063 | 0. 031 | 0. 013 | 0. 006 |
| 148 | 1. 00 | 0. 212 | 0. 499 | 0. 286 | 0. 140 | 0. 059 | 0. 024 | 0. 010 | 0. 002 |
| 146 | 1. 00 | 0. 364 | 0. 522 | 0. 325 | 0. 179 | 0. 064 | 0. 001 | 0. 000 | 0. 000 |
| 144 | 1. 00 | 0. 141 | 0. 504 | 0. 300 | 0. 147 | 0. 060 | 0. 022 | 0. 009 | 0. 002 |
| 142 | 1. 00 | 0. 079 | 0. 495 | 0. 259 | 0. 131 | 0. 061 | 0. 033 | 0. 017 | 0. 006 |
| 140 | 1. 00 | 0. 120 | 0. 489 | 0. 253 | 0. 109 | 0. 055 | 0. 025 | 0. 018 | 0. 010 |
| 138 | 1. 00 | 0. 125 | 0. 494 | 0. 296 | 0. 131 | 0. 054 | 0. 023 | 0. 011 | 0. 006 |
| 136 | 1. 00 | 0. 190 | 0. 495 | 0. 294 | 0. 141 | 0. 063 | 0. 024 | 0. 007 | 0. 000 |
| 134 | 1. 00 | 0. 246 | 0. 525 | 0. 303 | 0. 152 | 0. 057 | 0. 010 | 0. 000 | 0. 000 |
| 190 | 0. 99 | 0. 413 | 0. 547 | 0. 341 | 0. 144 | 0. 049 | 0. 005 | 0. 000 | 0. 000 |
| 192 | 1. 00 | 0. 357 | 0. 493 | 0. 314 | 0. 177 | 0. 076 | 0. 017 | 0. 000 | 0. 000 |
| 194 | 1. 00 | 0. 398 | 0. 520 | 0. 340 | 0. 175 | 0. 055 | 0. 002 | 0. 000 | 0. 000 |
| 196 | 1. 00 | 0. 404 | 0. 515 | 0. 316 | 0. 175 | 0. 068 | 0. 003 | 0. 000 | 0. 000 |
| 199 | 1. 00 | 0. 459 | 0. 524 | 0. 340 | 0. 189 | 0. 047 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 201 | 1. 00 | 0. 430 | 0. 545 | 0. 365 | 0. 175 | 0. 019 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 211 | 1. 00 | 0. 314 | 0. 576 | 0. 348 | 0. 134 | 0. 020 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 221 | 1. 00 | 0. 172 | 0. 485 | 0. 298 | 0. 152 | 0. 073 | 0. 028 | 0. 008 | 0. 002 |
| 289 | 1. 00 | 0. 310 | 0. 511 | 0. 299 | 0. 158 | 0. 069 | 0. 020 | 0. 002 | 0. 000 |
| 287 | 1. 00 | 0. 287 | 0. 491 | 0. 296 | 0. 150 | 0. 065 | 0. 028 | 0. 012 | 0. 001 |
| 281 | 1. 00 | 0. 225 | 0. 528 | 0. 327 | 0. 145 | 0. 049 | 0. 013 | 0. 004 | 0. 001 |
| 253 | 1. 00 | 0. 247 | 0. 514 | 0. 317 | 0. 160 | 0. 067 | 0. 014 | 0. 000 | 0. 000 |
| 251 | 1. 00 | 0. 261 | 0. 530 | 0. 324 | 0. 158 | 0. 054 | 0. 009 | 0. 000 | 0. 000 |
| 243 | 1. 00 | 0. 124 | 0. 509 | 0. 301 | 0. 143 | 0. 059 | 0. 019 | 0. 008 | 0. 003 |
| 241 | 1. 00 | 0. 078 | 0. 510 | 0. 302 | 0. 153 | 0. 066 | 0. 020 | 0. 008 | 0. 002 |
| 302 | 1. 00 | 0. 193 | 0. 492 | 0. 279 | 0. 130 | 0. 058 | 0. 030 | 0. 013 | 0. 003 |
| 311 | 1. 00 | 0. 192 | 0. 467 | 0. 255 | 0. 130 | 0. 061 | 0. 039 | 0. 026 | 0. 008 |
| 313 | 1. 00 | 0. 135 | 0. 500 | 0. 310 | 0. 164 | 0. 068 | 0. 020 | 0. 005 | 0. 001 |
| 315 | 1. 00 | 0. 432 | 0. 524 | 0. 321 | 0. 167 | 0. 063 | 0. 001 | 0. 000 | 0. 000 |
| 321 | 1. 00 | 0. 297 | 0. 520 | 0. 330 | 0. 152 | 0. 047 | 0. 018 | 0. 005 | 0. 000 |
| 325 | 1. 00 | 0. 262 | 0. 513 | 0. 295 | 0. 141 | 0. 062 | 0. 024 | 0. 007 | 0. 000 |
| 327 | 1. 00 | 0. 438 | 0. 529 | 0. 319 | 0. 175 | 0. 065 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| MOYENNES--> | | 0. 239 | 0. 508 | 0. 303 | 0. 150 | 0. 060 | 0. 018 | 0. 007 | 0. 002 |

PROBABILITE D'UN AFFAIBLISSEMENT DU SIGNAL DE "X" SOUS LA MOYENNE

Type de milieu: ouvert

Variations: rapides

Fichiers 1984

Separation: linéaire

Fichier Moyenne Ecart-type

Probabilite

| | | | 0. 0 | 0. 5*ET | 1. 0*ET | 1. 5*ET | 2. 0*ET | 2. 5*ET | 3. 0*ET |
|-------------|-------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 329 | 0. 99 | 0. 340 | 0. 490 | 0. 311 | 0. 175 | 0. 075 | 0. 015 | 0. 000 | 0. 000 |
| 333 | 0. 99 | 0. 294 | 0. 526 | 0. 312 | 0. 145 | 0. 052 | 0. 024 | 0. 005 | 0. 000 |
| 352 | 1. 00 | 0. 165 | 0. 514 | 0. 311 | 0. 153 | 0. 070 | 0. 016 | 0. 003 | 0. 000 |
| 364 | 1. 00 | 0. 420 | 0. 513 | 0. 336 | 0. 184 | 0. 054 | 0. 001 | 0. 000 | 0. 000 |
| 366 | 1. 00 | 0. 468 | 0. 536 | 0. 354 | 0. 174 | 0. 035 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 368 | 1. 00 | 0. 334 | 0. 498 | 0. 308 | 0. 157 | 0. 072 | 0. 018 | 0. 000 | 0. 000 |
| 370 | 1. 00 | 0. 381 | 0. 538 | 0. 377 | 0. 182 | 0. 024 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 372 | 1. 00 | 0. 380 | 0. 510 | 0. 319 | 0. 172 | 0. 065 | 0. 002 | 0. 000 | 0. 000 |
| 374 | 1. 00 | 0. 363 | 0. 522 | 0. 329 | 0. 170 | 0. 055 | 0. 002 | 0. 000 | 0. 000 |
| 382 | 1. 00 | 0. 449 | 0. 535 | 0. 352 | 0. 168 | 0. 053 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| MOYENNES--> | | 0. 359 | 0. 518 | 0. 331 | 0. 168 | 0. 055 | 0. 008 | 0. 001 | 0. 000 |

TABLEAU 3.8 (suite)

PROBABILITE D'UN AFFAIBLISSEMENT DU SIGNAL DE "X" SOUS LA MOYENNE

Type de milieu: suburbain

Variations: rapides

Fichiers 1984

Separation: linéaire

Fichier Moyenne Ecart-type

Probabilité

| | | | 0. 0 | 0. 5*ET | 1. 0*ET | 1. 5*ET | 2. 0*ET | 2. 5*ET | 3. 0*ET |
|-------------|-------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 203 | 1. 00 | 0. 418 | 0. 519 | 0. 350 | 0. 182 | 0. 050 | 0. 001 | 0. 000 | 0. 000 |
| 217 | 1. 00 | 0. 364 | 0. 512 | 0. 335 | 0. 181 | 0. 058 | 0. 007 | 0. 000 | 0. 000 |
| 219 | 1. 00 | 0. 358 | 0. 531 | 0. 331 | 0. 171 | 0. 052 | 0. 001 | 0. 000 | 0. 000 |
| 223 | 1. 00 | 0. 327 | 0. 548 | 0. 344 | 0. 157 | 0. 036 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 229 | 1. 00 | 0. 280 | 0. 531 | 0. 334 | 0. 170 | 0. 049 | 0. 002 | 0. 000 | 0. 000 |
| 231 | 1. 00 | 0. 200 | 0. 502 | 0. 319 | 0. 163 | 0. 066 | 0. 013 | 0. 001 | 0. 000 |
| 233 | 1. 00 | 0. 179 | 0. 507 | 0. 312 | 0. 151 | 0. 059 | 0. 019 | 0. 004 | 0. 001 |
| 285 | 1. 00 | 0. 223 | 0. 523 | 0. 307 | 0. 139 | 0. 051 | 0. 018 | 0. 008 | 0. 003 |
| 283 | 1. 00 | 0. 274 | 0. 497 | 0. 273 | 0. 142 | 0. 074 | 0. 033 | 0. 006 | 0. 000 |
| 278 | 1. 00 | 0. 409 | 0. 519 | 0. 342 | 0. 180 | 0. 053 | 0. 001 | 0. 000 | 0. 000 |
| 255 | 1. 00 | 0. 126 | 0. 492 | 0. 287 | 0. 138 | 0. 060 | 0. 028 | 0. 013 | 0. 006 |
| 249 | 1. 00 | 0. 285 | 0. 553 | 0. 366 | 0. 163 | 0. 026 | 0. 001 | 0. 000 | 0. 000 |
| 239 | 1. 00 | 0. 066 | 0. 520 | 0. 317 | 0. 144 | 0. 061 | 0. 025 | 0. 006 | 0. 001 |
| 299 | 1. 00 | 0. 279 | 0. 504 | 0. 296 | 0. 154 | 0. 070 | 0. 016 | 0. 004 | 0. 001 |
| 304 | 1. 00 | 0. 168 | 0. 495 | 0. 289 | 0. 139 | 0. 060 | 0. 025 | 0. 013 | 0. 006 |
| 307 | 0. 99 | 0. 366 | 0. 502 | 0. 306 | 0. 152 | 0. 070 | 0. 027 | 0. 003 | 0. 000 |
| 309 | 0. 99 | 0. 298 | 0. 508 | 0. 300 | 0. 148 | 0. 059 | 0. 025 | 0. 009 | 0. 000 |
| 317 | 1. 00 | 0. 375 | 0. 499 | 0. 324 | 0. 164 | 0. 074 | 0. 026 | 0. 000 | 0. 000 |
| 319 | 1. 01 | 0. 436 | 0. 529 | 0. 319 | 0. 167 | 0. 048 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 331 | 1. 00 | 0. 266 | 0. 493 | 0. 307 | 0. 169 | 0. 073 | 0. 017 | 0. 000 | 0. 000 |
| 362 | 1. 00 | 0. 407 | 0. 508 | 0. 306 | 0. 168 | 0. 073 | 0. 008 | 0. 000 | 0. 000 |
| MOYENNES--> | | 0. 291 | 0. 514 | 0. 317 | 0. 159 | 0. 058 | 0. 014 | 0. 003 | 0. 001 |

TABLEAU 3.8 (suite)

PROBABILITE D'UN AFFAIBLISSEMENT DU SIGNAL DE "X" SOUS LA MOYENNE

Type de milieu: urbain non-dense

Variations rapides

Fichiers 1984

Separation linéaire

Fichier Moyenne Écart-type

Probabilité -

| | | 0. 0 | 0. 5*ET | 1. 0*ET | 1. 5*ET | 2. 0*ET | 2. 5*ET | 3. 0*ET |
|-------------|-------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 205 | 1. 00 | 0. 338 | 0. 497 | 0. 308 | 0. 170 | 0. 075 | 0. 018 | 0. 000 |
| 209 | 1. 00 | 0. 401 | 0. 537 | 0. 357 | 0. 185 | 0. 032 | 0. 000 | 0. 000 |
| 273 | 1. 00 | 0. 381 | 0. 516 | 0. 320 | 0. 175 | 0. 065 | 0. 005 | 0. 000 |
| 263 | 1. 00 | 0. 384 | 0. 532 | 0. 354 | 0. 173 | 0. 034 | 0. 000 | 0. 000 |
| 261 | 1. 00 | 0. 314 | 0. 515 | 0. 306 | 0. 157 | 0. 065 | 0. 009 | 0. 000 |
| 259 | 1. 00 | 0. 297 | 0. 510 | 0. 299 | 0. 148 | 0. 064 | 0. 015 | 0. 000 |
| 257 | 1. 00 | 0. 291 | 0. 519 | 0. 304 | 0. 156 | 0. 062 | 0. 011 | 0. 001 |
| MOYENNES--> | | 0. 344 | 0. 518 | 0. 321 | 0. 166 | 0. 057 | 0. 008 | 0. 000 |

TABLEAU 3.8 (suite)

PROBABILITE D'UN AFFAIBLISSEMENT DU SIGNAL DE "X" SOUS LA MOYENNE

Type de milieu: urbain dense

Variations: rapides

Fichiers 1984

Separation: lineaire

Fichier Moyenne Ecart-type

Probabilite

| | | | 0. 0 | 0. 5*ET | 1. 0*ET | 1. 5*ET | 2. 0*ET | 2. 5*ET | 3. 0*ET |
|-------------|-------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 207 | 1. 00 | 0. 397 | 0. 500 | 0. 310 | 0. 176 | 0. 071 | 0. 007 | 0. 000 | 0. 000 |
| 269 | 1. 00 | 0. 406 | 0. 529 | 0. 352 | 0. 179 | 0. 049 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 267 | 1. 00 | 0. 368 | 0. 501 | 0. 337 | 0. 190 | 0. 063 | 0. 005 | 0. 000 | 0. 000 |
| 265 | 1. 00 | 0. 342 | 0. 507 | 0. 328 | 0. 176 | 0. 070 | 0. 007 | 0. 000 | 0. 000 |
| MOYENNES--> | | 0. 378 | 0. 509 | 0. 332 | 0. 180 | 0. 063 | 0. 005 | 0. 000 | 0. 000 |

TABLEAU 3.9

MOYENNES ET ECART-TYPES

Type de milieu: ouvert

Variations: lentes

Fichiers 1984

Separation: lineaire

| Route | Distance (km) | Fichier | Obstruction | Riviere | Moyenne (dB) | Ecart-type (dB) |
|-------|------------------|---------|-------------|---------|-----------------|--------------------|
| 1 | 3 | 2 | 0 | non | -79.11 | 2.652 |
| 1 | 4 | 4 | 0 | non | -89.49 | 3.976 |
| 1 | 6 | 8 | 1 | non | -89.00 | 5.537 |
| 1 | 7 | 10 | 0 | non | -88.45 | 1.121 |
| 1 | 8 | 12 | 0 | non | -105.53 | 2.552 |
| 1 | 9 | 14 | 0 | non | -99.60 | 3.966 |
| 1 | 10 | 16 | 0 | non | -100.81 | 3.689 |
| 1 | 11 | 18 | 0 | non | -101.30 | 5.100 |
| 1 | 12 | 20 | 0 | non | -110.82 | 3.104 |
| 1 | 14 | 24 | 0 | non | -116.55 | 2.744 |
| 3 | 7 | 70 | 0 | oui | -73.60 | 1.847 |
| 3 | 8 | 72 | 0 | oui | -83.98 | 3.037 |
| 3 | 9 | 74 | 0 | oui | -80.88 | 4.570 |
| 3 | 10 | 76 | 0 | oui | -84.18 | 3.915 |
| 3 | 11 | 78 | 0 | oui | -87.84 | 3.219 |
| 3 | 12 | 80 | 0 | oui | -88.79 | 1.179 |
| 3 | 13 | 82 | 0 | oui | -91.25 | 3.150 |
| 3 | 14 | 85 | 0 | oui | -86.62 | 3.798 |
| 3 | 16 | 87 | 1 | oui | -103.32 | 2.536 |
| 3 | 17 | 89 | 2 | oui | -102.62 | 2.478 |
| 3 | 18 | 91 | 0 | oui | -92.93 | 3.532 |
| 3 | 19 | 93 | 0 | oui | -96.19 | 3.589 |
| 3 | 20 | 95 | 0 | oui | -96.66 | 3.066 |
| 3 | 21 | 97 | 0 | oui | -88.37 | 2.242 |
| 3 | 22 | 99 | 0 | oui | -90.30 | 1.361 |
| 3 | 23 | 101 | 1 | oui | -107.15 | 2.627 |
| 3 | 25 | 107 | 3 | oui | -114.17 | 2.362 |
| 3 | 26 | 109 | 3 | oui | -106.39 | 1.989 |
| 3 | 28 | 114 | 4 | oui | -112.83 | 2.803 |
| 3 | 29 | 116 | 4 | oui | -107.80 | 4.637 |
| 3 | 30 | 118 | 4 | oui | -107.90 | 4.131 |
| 3 | 31 | 120 | 0 | oui | -112.44 | 1.802 |
| 3 | 32 | 123 | 0 | oui | -105.81 | 3.254 |
| 4 | 4 | 180 | 0 | non | -86.96 | 3.295 |
| 4 | 5 | 178 | 0 | non | -75.05 | 3.022 |
| 4 | 6 | 176 | 0 | non | -82.78 | 3.722 |
| 4 | 7 | 174 | 0 | non | -90.12 | 3.235 |
| 4 | 8 | 172 | 0 | non | -100.72 | 3.438 |
| 4 | 9 | 170 | 0 | non | -101.61 | 2.261 |
| 4 | 10 | 168 | 0 | non | -97.72 | 2.973 |

Moyenne des amplitudes moyennes: -95.94 dB

Moyenne des ecart-types: 3.088 dB

MOYENNES ET ECART-TYPES

Type de milieu: ouvert

Variations: lentes

Fichiers 1984

Separation: lineaire

| Route | Distance (km) | Fichier | Obstruction | Riviere | Moyenne (dB) | Ecart-type (dB) |
|-------|------------------|---------|-------------|---------|-----------------|--------------------|
| 4 | 11 | 166 | 1 | non | -106.07 | 2.601 |
| 4 | 12 | 164 | 1 | non | -100.63 | 3.923 |
| 4 | 13 | 162 | 0 | non | -96.64 | 0.909 |
| 4 | 14 | 160 | 0 | non | -101.25 | 3.783 |
| 4 | 15 | 158 | 0 | non | -94.78 | 1.647 |
| 4 | 16 | 156 | 0 | non | -94.88 | 2.688 |
| 4 | 17 | 154 | 0 | non | -98.41 | 3.386 |
| 4 | 18 | 152 | 0 | non | -93.51 | 1.409 |
| 4 | 19 | 150 | 0 | non | -93.81 | 1.672 |
| 4 | 20 | 148 | 0 | non | -100.43 | 2.490 |
| 4 | 21 | 146 | 0 | non | -110.25 | 2.642 |
| 4 | 22 | 144 | 0 | non | -98.78 | 2.326 |
| 4 | 23 | 142 | 0 | non | -93.56 | 1.806 |
| 4 | 24 | 140 | 0 | non | -97.69 | 4.612 |
| 4 | 25 | 138 | 0 | non | -102.48 | 3.099 |
| 4 | 26 | 136 | 0 | non | -109.68 | 2.910 |
| 4 | 27 | 134 | 1 | non | -113.83 | 4.011 |
| 5 | 8 | 190 | 0 | oui | -89.40 | 2.039 |
| 5 | 9 | 192 | 0 | oui | -97.00 | 3.165 |
| 5 | 10 | 194 | 1 | oui | -107.29 | 2.140 |
| 5 | 11 | 196 | 1 | oui | -107.42 | 2.361 |
| 5 | 12 | 199 | 1 | oui | -108.99 | 1.853 |
| 5 | 13 | 201 | 1 | oui | -113.27 | 2.094 |
| 5 | 18 | 211 | 2 | oui | -121.46 | 2.538 |
| 5 | 22 | 221 | 4 | oui | -105.59 | 1.949 |
| 6 | 2 | 289 | 0 | non | -78.86 | 3.439 |
| 6 | 3 | 287 | 0 | non | -77.66 | 2.491 |
| 6 | 6 | 281 | 0 | non | -87.24 | 3.104 |
| 6 | 23 | 253 | 0 | oui | -115.02 | 3.540 |
| 6 | 24 | 251 | 0 | oui | -116.01 | 3.270 |
| 6 | 28 | 243 | 5 | oui | -116.94 | 3.260 |
| 6 | 29 | 241 | 6 | oui | -110.11 | 0.875 |
| 7 | 3 | 302 | 0 | non | -67.72 | 3.477 |
| 7 | 7 | 311 | 1 | non | -89.53 | 3.826 |
| 7 | 8 | 313 | 0 | non | -85.82 | 1.430 |
| 7 | 9 | 315 | 0 | non | -99.74 | 3.125 |
| 7 | 12 | 321 | 1 | non | -102.71 | 2.264 |
| 7 | 12 | 323 | 2 | non | -105.30 | 7.268 |
| 7 | 14 | 325 | 2 | non | -109.25 | 3.593 |
| 7 | 15 | 327 | 2 | non | -107.93 | 2.388 |

Moyenne des amplitudes moyennes: -100.67 dB

Moyenne des ecart-types: 2.785 dB

TABLEAU 3.9 (suite)

MOYENNES ET ECART-TYPES

Type de milieu: ouvert

Variations: lentes

Fichiers 1984

Separation: lineaire

| Route | Distance (km) | Fichier | Obstruction | Riviere | Moyenne (dB) | Ecart-type (dB) |
|-------|------------------|---------|-------------|---------|-----------------|--------------------|
| 7 | 16 | 329 | 3 | non | -109.10 | 3.061 |
| 7 | 18 | 333 | 2 | non | -109.75 | 3.229 |
| 7 | 27 | 352 | 2 | non | -116.41 | 2.340 |
| 8 | 9 | 364 | 0 | oui | -97.78 | 2.949 |
| 8 | 10 | 366 | 0 | oui | -109.01 | 2.306 |
| 8 | 11 | 368 | 0 | oui | -104.69 | 2.652 |
| 8 | 12 | 370 | 1 | oui | -116.29 | 2.312 |
| 8 | 13 | 372 | 2 | oui | -110.81 | 3.117 |
| 8 | 14 | 374 | 1 | oui | -108.57 | 3.361 |
| 8 | 18 | 382 | 9 | oui | -109.96 | 2.071 |

Moyenne des amplitudes moyennes: -109.24 dB

Moyenne des ecart-types: 2.740 dB

TABLEAU 3.9 (suite)

MOYENNES ET ECART-TYPES

Type de milieu: suburbain

Variations: lentes

Fichiers 1984

Separation: lineaire

| Route | Distance (km) | Fichier | Obstruction | Riviere | Moyenne (dB) | Ecart-type (dB) |
|-------|------------------|---------|-------------|---------|-----------------|--------------------|
| 5 | 14 | 203 | 0 | oui | -106.61 | 2.031 |
| 5 | 20 | 217 | 4 | oui | -115.23 | 3.192 |
| 5 | 21 | 219 | 4 | oui | -113.66 | 2.443 |
| 5 | 23 | 223 | 1 | oui | -117.18 | 3.047 |
| 5 | 26 | 229 | 2 | oui | -117.35 | 3.735 |
| 5 | 27 | 231 | 2 | oui | -116.76 | 2.248 |
| 5 | 28 | 233 | 1 | oui | -113.98 | 2.421 |
| 6 | 4 | 285 | 0 | non | -85.66 | 4.044 |
| 6 | 5 | 283 | 0 | non | -93.80 | 3.506 |
| 6 | 7 | 278 | 0 | non | -98.46 | 2.402 |
| 6 | 22 | 255 | 0 | oui | -104.89 | 1.264 |
| 6 | 25 | 249 | 1 | oui | -118.61 | 2.280 |
| 6 | 30 | 239 | 6 | oui | -119.40 | 1.366 |
| 7 | 2 | 299 | 0 | non | -68.24 | 3.450 |
| 7 | 4 | 304 | 0 | non | -69.92 | 1.976 |
| 7 | 5 | 307 | 0 | non | -83.15 | 2.876 |
| 7 | 6 | 309 | 3 | non | -99.73 | 2.384 |
| 7 | 10 | 317 | 0 | non | -99.69 | 1.643 |
| 7 | 11 | 319 | 0 | non | -109.19 | 3.430 |
| 7 | 17 | 331 | 2 | non | -114.10 | 3.193 |
| 8 | 8 | 362 | 0 | oui | -94.55 | 2.674 |

Moyenne des amplitudes moyennes: -102.87 dB

Moyenne des ecart-types: 2.648 dB

TABLEAU 3.9 (suite)

MOYENNES ET ECART-TYPES

Type de milieu: urbain non-dense

Variations: lentes

Fichiers 1984

Separation: linéaire

| Route | Distance (km) | Fichier | Obstruction | Rivière | Moyenne (dB) | Ecart-type (dB) |
|-------|------------------|---------|-------------|---------|-----------------|--------------------|
| 5 | 15 | 205 | 0 | oui | -104.70 | 3.631 |
| 5 | 17 | 209 | 1 | oui | -115.10 | 2.126 |
| 6 | 10 | 273 | 0 | oui | -101.53 | 3.286 |
| 6 | 18 | 263 | 1 | oui | -114.37 | 2.491 |
| 6 | 19 | 261 | 1 | oui | -105.34 | 4.265 |
| 6 | 20 | 259 | 1 | oui | -111.77 | 3.056 |
| 6 | 21 | 257 | 0 | oui | -109.81 | 3.869 |

Moyenne des amplitudes moyennes: -108.95 dB

Moyenne des écart-types: 3.275 dB

TABLEAU 3.9 (suite)

MOYENNES ET ECART-TYPES

Type de milieu: urbain dense

Variations: lentes

Fichiers 1984

Separation: linéaire

| Route | Distance (km) | Fichier | Obstruction | Rivière | Moyenne (dB) | Ecart-type (dB) |
|-------|------------------|---------|-------------|---------|-----------------|--------------------|
| 5 | 16 | 207 | 1 | oui | -103.82 | 4.993 |
| 6 | 15 | 269 | 0 | oui | -103.74 | 2.223 |
| 6 | 16 | 267 | 0 | oui | -102.22 | 3.038 |
| 6 | 17 | 265 | 0 | oui | -105.50 | 2.415 |

Moyenne des amplitudes moyennes: -103.82 dB

Moyenne des ecart-types: 3.168 dB

TAUX DE PASSAGE PAR UN NIVEAU ET LONGUEUR MOYENNE DES AFFAIBLISSEMENTS

Type de milieu: urbain dense

Variations lentes

Fichiers 1984

Séparation linéaire

| Fichier | Moyenne (dB) | Ecart-type (dB) | TPN (passages par metre) | | | LMA (metre) | | |
|---------|-----------------|--------------------|-----------------------------|-------|--------|----------------|--------|--------|
| | | | Moy-ET | Moy | Moy+ET | Moy-ET | Moy | Moy+ET |
| 207 | -103.82 | 4.993 | 0.097 | 0.058 | 0.019 | 1.731 | 9.736 | 41.044 |
| 269 | -103.74 | 2.223 | 0.086 | 0.172 | 0.074 | 1.957 | 2.789 | 11.247 |
| 267 | -102.22 | 3.038 | 0.116 | 0.050 | 0.050 | 1.359 | 11.637 | 15.462 |
| 265 | -105.50 | 2.415 | 0.046 | 0.124 | 0.093 | 4.489 | 3.286 | 9.308 |

Moyenne des TPN(Moy): 0.101 passages par metre.

Moyenne des LMA(Moy): 6.862 metres.

TABLEAU 3.10 (suite)

TAUX DE PASSAGE PAR UN NIVEAU ET LONGUEUR MOYENNE DES AFFAIBLISSEMENTS

Type de milieu: ouvert

Variations lentes

Fichiers 1984

Separation linéaire

| Fichier | Moyenne (dB) | Ecart-type (dB) | TPN (passages par mètre) | | | LMA (mètre) | | |
|---------|-----------------|--------------------|-----------------------------|-------|--------|----------------|--------|--------|
| | | | Moy-ET | Moy | Moy+ET | Moy-ET | Moy | Moy+ET |
| 2 | -79.11 | 2.652 | 0.090 | 0.167 | 0.103 | 1.818 | 2.563 | 8.394 |
| 4 | -89.49 | 3.976 | 0.108 | 0.098 | 0.049 | 1.909 | 4.876 | 16.876 |
| 8 | -89.00 | 5.537 | 0.061 | 0.051 | 0.030 | 2.615 | 8.644 | 26.330 |
| 10 | -88.45 | 1.121 | 0.075 | 0.066 | 0.094 | 2.466 | 7.425 | 8.685 |
| 12 | -105.53 | 2.552 | 0.120 | 0.144 | 0.056 | 1.371 | 3.386 | 14.976 |
| 14 | -99.60 | 3.966 | 0.076 | 0.102 | 0.068 | 2.104 | 4.845 | 12.113 |
| 16 | -100.81 | 3.689 | 0.103 | 0.113 | 0.082 | 1.775 | 4.412 | 9.874 |
| 18 | -101.30 | 5.100 | 0.070 | 0.059 | 0.059 | 2.242 | 8.518 | 13.490 |
| 20 | -110.82 | 3.104 | 0.120 | 0.190 | 0.100 | 1.214 | 2.519 | 8.540 |
| 24 | -116.55 | 2.744 | 0.131 | 0.175 | 0.079 | 1.312 | 3.019 | 10.348 |
| 70 | -73.60 | 1.847 | 0.027 | 0.123 | 0.027 | 3.379 | 3.727 | 32.547 |
| 72 | -83.98 | 3.037 | 0.065 | 0.103 | 0.039 | 1.596 | 5.292 | 21.890 |
| 74 | -80.88 | 4.570 | 0.057 | 0.094 | 0.057 | 3.626 | 4.859 | 15.027 |
| 76 | -84.18 | 3.915 | 0.089 | 0.104 | 0.059 | 2.077 | 4.717 | 13.842 |
| 78 | -87.84 | 3.219 | 0.132 | 0.161 | 0.103 | 1.280 | 2.847 | 8.383 |
| 80 | -88.79 | 1.179 | 0.062 | 0.175 | 0.050 | 1.879 | 2.425 | 17.860 |
| 82 | -91.25 | 3.150 | 0.069 | 0.103 | 0.069 | 1.603 | 3.981 | 12.997 |
| 85 | -86.62 | 3.798 | 0.077 | 0.108 | 0.062 | 2.581 | 4.399 | 13.212 |
| 87 | -103.32 | 2.536 | 0.155 | 0.172 | 0.103 | 1.152 | 2.952 | 8.124 |
| 89 | -102.62 | 2.478 | 0.038 | 0.057 | 0.038 | 4.030 | 7.203 | 22.030 |
| 91 | -92.93 | 3.532 | 0.041 | 0.041 | 0.041 | 3.124 | 8.753 | 23.415 |
| 93 | -96.19 | 3.589 | 0.063 | 0.109 | 0.063 | 2.444 | 4.097 | 13.500 |
| 95 | -96.66 | 3.066 | 0.059 | 0.044 | 0.044 | 3.165 | 9.824 | 19.280 |
| 97 | -88.37 | 2.242 | 0.067 | 0.080 | 0.067 | 2.384 | 5.626 | 12.396 |
| 99 | -90.30 | 1.361 | 0.068 | 0.096 | 0.055 | 2.380 | 4.655 | 15.560 |
| 101 | -107.15 | 2.627 | 0.112 | 0.261 | 0.112 | 1.346 | 1.705 | 7.791 |
| 107 | -114.17 | 2.362 | 0.094 | 0.172 | 0.094 | 1.750 | 2.706 | 9.058 |
| 109 | -106.39 | 1.989 | 0.085 | 0.170 | 0.102 | 2.120 | 2.805 | 8.093 |
| 114 | -112.83 | 2.803 | 0.155 | 0.155 | 0.121 | 1.275 | 3.310 | 6.808 |
| 116 | -107.80 | 4.637 | 0.067 | 0.027 | 0.053 | 3.485 | 15.445 | 15.565 |
| 118 | -107.90 | 4.131 | 0.074 | 0.074 | 0.044 | 2.008 | 5.914 | 18.110 |
| 120 | -112.44 | 1.802 | 0.119 | 0.203 | 0.083 | 1.146 | 2.255 | 10.401 |
| 123 | -105.81 | 3.254 | 0.066 | 0.106 | 0.053 | 2.532 | 5.561 | 14.790 |
| 180 | -86.96 | 3.295 | 0.141 | 0.212 | 0.082 | 1.379 | 2.039 | 10.340 |
| 178 | -75.05 | 3.022 | 0.043 | 0.028 | 0.023 | 3.313 | 14.316 | 30.178 |
| 176 | -82.78 | 3.722 | 0.049 | 0.086 | 0.062 | 4.043 | 5.327 | 12.795 |
| 174 | -90.12 | 3.235 | 0.128 | 0.128 | 0.032 | 1.203 | 4.214 | 26.357 |
| 172 | -100.72 | 3.438 | 0.065 | 0.142 | 0.065 | 2.380 | 3.355 | 13.174 |
| 170 | -101.61 | 2.261 | 0.082 | 0.114 | 0.065 | 1.711 | 4.568 | 12.804 |
| 168 | -97.72 | 2.973 | 0.060 | 0.060 | 0.036 | 2.947 | 5.825 | 24.879 |

Moyenne des TPN(Moy): 0.117 passages par mètre.

Moyenne des LMA(Moy): 5.135 mètres.

TABLEAU 3.10 (suite)

TAUX DE PASSAGE PAR UN NIVEAU ET LONGUEUR MOYENNE DES AFFAIBLISSEMENTS

Type de milieu: ouvert

Variations: lentes

Fichiers 1984

Separation: lineaire

| Fichier | Moyenne (dB) | Ecart-type (dB) | TPN (passages par metre) | | | LMA (metre) | | |
|---------|-----------------|--------------------|-----------------------------|-------|--------|----------------|--------|--------|
| | | | Moy-ET | Moy | Moy+ET | Moy-ET | Moy | Moy+ET |
| 166 | -106.07 | 2.601 | 0.069 | 0.069 | 0.035 | 2.140 | 6.769 | 24.747 |
| 164 | -100.63 | 3.923 | 0.060 | 0.050 | 0.050 | 2.967 | 8.136 | 16.902 |
| 162 | -96.64 | 0.909 | 0.086 | 0.173 | 0.069 | 1.576 | 2.209 | 13.269 |
| 160 | -101.25 | 3.783 | 0.076 | 0.054 | 0.043 | 2.093 | 9.600 | 17.674 |
| 158 | -94.78 | 1.647 | 0.034 | 0.079 | 0.068 | 5.093 | 5.084 | 13.217 |
| 156 | -94.88 | 2.688 | 0.081 | 0.081 | 0.041 | 2.201 | 5.253 | 20.692 |
| 154 | -98.41 | 3.386 | 0.085 | 0.098 | 0.085 | 2.254 | 4.162 | 10.229 |
| 152 | -93.51 | 1.409 | 0.036 | 0.036 | 0.084 | 4.363 | 11.379 | 10.401 |
| 150 | -93.81 | 1.672 | 0.049 | 0.059 | 0.049 | 3.452 | 7.849 | 17.107 |
| 148 | -100.43 | 2.490 | 0.070 | 0.014 | 0.028 | 2.456 | 31.187 | 30.437 |
| 146 | -110.25 | 2.642 | 0.084 | 0.167 | 0.112 | 1.942 | 2.962 | 7.739 |
| 144 | -98.78 | 2.326 | 0.062 | 0.062 | 0.062 | 2.580 | 7.566 | 13.696 |
| 142 | -93.56 | 1.806 | 0.046 | 0.046 | 0.058 | 3.787 | 8.707 | 14.466 |
| 140 | -97.69 | 4.612 | 0.023 | 0.023 | 0.023 | 6.453 | 16.747 | 38.909 |
| 138 | -102.48 | 3.099 | 0.012 | 0.060 | 0.024 | 9.066 | 7.777 | 34.970 |
| 136 | -109.68 | 2.910 | 0.060 | 0.091 | 0.045 | 2.712 | 4.786 | 17.797 |
| 134 | -113.83 | 4.011 | 0.044 | 0.073 | 0.029 | 3.670 | 7.091 | 26.942 |
| 190 | -89.40 | 2.039 | 0.115 | 0.214 | 0.115 | 1.394 | 1.922 | 7.568 |
| 192 | -97.00 | 3.165 | 0.151 | 0.136 | 0.091 | 1.149 | 3.707 | 9.275 |
| 194 | -107.29 | 2.140 | 0.118 | 0.184 | 0.118 | 1.573 | 2.664 | 7.007 |
| 196 | -107.42 | 2.361 | 0.136 | 0.102 | 0.085 | 1.383 | 4.769 | 9.999 |
| 199 | -108.99 | 1.853 | 0.142 | 0.237 | 0.126 | 1.092 | 1.904 | 6.931 |
| 201 | -113.27 | 2.094 | 0.106 | 0.159 | 0.071 | 1.475 | 2.703 | 12.379 |
| 211 | -121.46 | 2.538 | 0.104 | 0.143 | 0.078 | 1.836 | 3.181 | 10.753 |
| 221 | -105.59 | 1.949 | 0.158 | 0.158 | 0.106 | 1.216 | 3.305 | 7.626 |
| 289 | -78.86 | 3.439 | 0.099 | 0.077 | 0.088 | 1.846 | 6.002 | 9.490 |
| 287 | -77.66 | 2.491 | 0.078 | 0.103 | 0.065 | 1.959 | 4.747 | 12.923 |
| 281 | -87.24 | 3.104 | 0.066 | 0.057 | 0.075 | 3.184 | 6.940 | 11.604 |
| 253 | -115.02 | 3.540 | 0.033 | 0.082 | 0.041 | 4.413 | 5.512 | 21.122 |
| 251 | -116.01 | 3.270 | 0.074 | 0.098 | 0.037 | 1.995 | 5.740 | 22.588 |
| 243 | -116.94 | 3.260 | 0.028 | 0.047 | 0.047 | 7.835 | 8.611 | 17.868 |
| 241 | -110.11 | 0.875 | 0.076 | 0.104 | 0.076 | 2.302 | 4.500 | 10.922 |
| 302 | -67.72 | 3.477 | 0.063 | 0.127 | 0.085 | 2.137 | 3.577 | 9.857 |
| 311 | -89.53 | 3.826 | 0.129 | 0.194 | 0.097 | 1.055 | 2.495 | 8.907 |
| 313 | -85.82 | 1.430 | 0.051 | 0.103 | 0.077 | 3.354 | 4.372 | 10.824 |
| 315 | -99.74 | 3.125 | 0.092 | 0.246 | 0.123 | 1.582 | 1.859 | 6.820 |
| 321 | -102.71 | 2.264 | 0.097 | 0.161 | 0.097 | 1.335 | 3.013 | 8.747 |
| 323 | -105.30 | 7.268 | 0.055 | 0.110 | 0.027 | 1.533 | 4.051 | 32.459 |
| 325 | -109.25 | 3.593 | 0.057 | 0.086 | 0.114 | 3.923 | 4.769 | 7.661 |
| 327 | -107.93 | 2.388 | 0.142 | 0.177 | 0.142 | 1.076 | 2.420 | 6.132 |

Moyenne des TPN(Moy): 0.108 passages par metre.

Moyenne des LMA(Moy): 6.001 metres.

TABLEAU 3.10 (suite)

TAUX DE PASSAGE PAR UN NIVEAU ET LONGUEUR MOYENNE DES AFFAIBLISSEMENTS

Type de milieu: ouvert

Variations: lentes

Fichiers 1984

Separation: lineaire

| Fichier | Moyenne (dB) | Ecart-type (dB) | TPN (passages par metre) | | | - LMA (metre) | | |
|---------|-----------------|--------------------|-----------------------------|-------|--------|------------------|-------|--------|
| | | | Moy-ET | Moy | Moy+ET | Moy-ET | Moy | Moy+ET |
| 329 | -109.10 | 3.061 | 0.112 | 0.112 | 0.037 | 1.478 | 4.835 | 21.956 |
| 333 | -109.75 | 3.229 | 0.130 | 0.194 | 0.130 | 1.578 | 2.124 | 6.268 |
| 352 | -116.41 | 2.340 | 0.125 | 0.094 | 0.094 | 1.413 | 5.407 | 8.643 |
| 364 | -97.78 | 2.949 | 0.120 | 0.196 | 0.120 | 1.160 | 2.694 | 6.932 |
| 366 | -109.01 | 2.306 | 0.106 | 0.153 | 0.129 | 1.555 | 3.366 | 6.333 |
| 368 | -104.69 | 2.652 | 0.106 | 0.172 | 0.093 | 1.776 | 2.767 | 8.869 |
| 370 | -116.29 | 2.312 | 0.133 | 0.199 | 0.106 | 1.330 | 2.485 | 8.069 |
| 372 | -110.81 | 3.117 | 0.125 | 0.215 | 0.089 | 1.229 | 2.004 | 9.847 |
| 374 | -108.57 | 3.361 | 0.088 | 0.114 | 0.038 | 2.027 | 4.604 | 21.714 |
| 382 | -109.96 | 2.071 | 0.105 | 0.181 | 0.105 | 1.533 | 2.323 | 8.159 |

Moyenne des TPN(Moy): 0.163 passages par metre.

Moyenne des LMA(Moy): 3.261 metres.

TAUX DE PASSAGE PAR UN NIVEAU ET LONGUEUR MOYENNE DES AFFAIBLISSEMENTS

Type de milieu: suburbain

Variations lentes

Fichiers 1984

Separation: lineaire

| Fichier | Moyenne (dB) | Ecart-type (dB) | TPN (passages par metre) | | | - LMA (metre) | | |
|---------|-----------------|--------------------|-----------------------------|-------|--------|------------------|-------|--------|
| | | | Moy-ET | Moy | Moy+ET | Moy-ET | Moy | Moy+ET |
| 203 | -106.61 | 2.031 | 0.162 | 0.216 | 0.126 | 0.993 | 2.295 | 6.624 |
| 217 | -115.23 | 3.192 | 0.027 | 0.054 | 0.027 | 7.459 | 9.239 | 30.536 |
| 219 | -113.66 | 2.443 | 0.106 | 0.154 | 0.071 | 1.454 | 2.919 | 12.041 |
| 223 | -117.18 | 3.047 | 0.144 | 0.168 | 0.120 | 1.346 | 2.858 | 6.827 |
| 229 | -117.35 | 3.735 | 0.117 | 0.130 | 0.065 | 1.482 | 3.813 | 13.065 |
| 231 | -116.76 | 2.248 | 0.074 | 0.136 | 0.049 | 1.843 | 3.638 | 16.628 |
| 233 | -113.98 | 2.421 | 0.053 | 0.066 | 0.053 | 2.505 | 6.745 | 16.302 |
| 285 | -85.66 | 4.044 | 0.084 | 0.116 | 0.042 | 2.190 | 4.007 | 19.479 |
| 283 | -93.80 | 3.506 | 0.085 | 0.109 | 0.073 | 2.072 | 3.875 | 11.799 |
| 278 | -98.46 | 2.402 | 0.076 | 0.184 | 0.054 | 1.785 | 2.792 | 15.765 |
| 255 | -104.89 | 1.264 | 0.038 | 0.113 | 0.075 | 4.632 | 4.238 | 11.503 |
| 249 | -118.61 | 2.280 | 0.126 | 0.172 | 0.092 | 1.260 | 2.652 | 9.400 |
| 239 | -119.40 | 1.366 | 0.086 | 0.111 | 0.061 | 2.150 | 4.196 | 13.718 |
| 299 | -68.24 | 3.450 | 0.130 | 0.156 | 0.052 | 1.226 | 3.217 | 15.618 |
| 304 | -69.92 | 1.976 | 0.089 | 0.148 | 0.089 | 1.951 | 3.195 | 8.725 |
| 307 | -83.15 | 2.876 | 0.124 | 0.124 | 0.124 | 1.995 | 3.643 | 6.308 |
| 309 | -99.73 | 2.384 | 0.093 | 0.154 | 0.062 | 2.225 | 3.448 | 13.179 |
| 317 | -99.69 | 1.643 | 0.151 | 0.151 | 0.113 | 1.084 | 3.519 | 7.022 |
| 319 | -109.19 | 3.430 | 0.091 | 0.159 | 0.114 | 1.690 | 2.979 | 7.671 |
| 331 | -114.10 | 3.193 | 0.154 | 0.269 | 0.115 | 0.935 | 1.811 | 7.242 |
| 362 | -94.55 | 2.674 | 0.125 | 0.157 | 0.110 | 1.345 | 3.185 | 7.521 |

Moyenne des TPN(Moy): 0.145 passages par metre.

Moyenne des LMA(Moy): 3.727 metres.

TABLEAU 3.10 (suite)

TAUX DE PASSAGE PAR UN NIVEAU ET LONGUEUR MOYENNE DES AFFAIBLISSEMENTS

Type de milieu: urbain non-dense

Variations: lentes

Fichiers 1984

Separation: linéaire

| Fichier | Moyenne (dB) | Ecart-type (dB) | TPN (passages par metre) | | | - LMA (metre) | | |
|---------|-----------------|--------------------|-----------------------------|-------|--------|------------------|-------|--------|
| | | | Moy-ET | Moy | Moy+ET | Moy-ET | Moy | Moy+ET |
| | | | | | | | | |
| 205 | -104.70 | 3.831 | 0.057 | 0.057 | 0.057 | 2.852 | 8.170 | 13.912 |
| 209 | -115.10 | 2.126 | 0.137 | 0.154 | 0.103 | 1.286 | 3.313 | 8.148 |
| 273 | -101.53 | 3.286 | 0.123 | 0.160 | 0.098 | 1.233 | 3.276 | 8.450 |
| 263 | -114.37 | 2.491 | 0.114 | 0.213 | 0.057 | 1.378 | 2.345 | 14.419 |
| 261 | -105.34 | 4.265 | 0.082 | 0.072 | 0.041 | 1.982 | 6.871 | 20.386 |
| 259 | -111.77 | 3.058 | 0.076 | 0.127 | 0.089 | 2.115 | 3.694 | 9.243 |
| 257 | -109.81 | 3.869 | 0.098 | 0.110 | 0.073 | 1.698 | 4.540 | 11.198 |

Moyenne des TPN(Moy): 0.127 passages par metre.

Moyenne des LMA(Moy): 4.602 metres.

PROBABILITE D'UN AFFAIBLISSEMENT DU SIGNAL DE "X" DB SOUS LA MOYENNE

| Type de milieu: ouvert | | | Variations lentes | | | | | | | |
|------------------------|----------|---------|---------------------|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Fichiers 1984 | | | Separation linéaire | | | | | | | |
| | Fichier | Moyenne | Ecart-type | Probabilité | | | | | | |
| | (dB) | (dB) | | 0. 0 | 0. 5*ET | 1. 0*ET | 1. 5*ET | 2. 0*ET | 2. 5*ET | 3. 0*ET |
| 2 | -79. 11 | 2. 652 | 0. 428 | 0. 284 | 0. 163 | 0. 097 | 0. 055 | 0. 008 | 0. 000 | |
| 4 | -89. 49 | 3. 976 | 0. 479 | 0. 335 | 0. 206 | 0. 061 | 0. 018 | 0. 004 | 0. 000 | |
| 8 | -89. 00 | 5. 537 | 0. 438 | 0. 307 | 0. 159 | 0. 089 | 0. 042 | 0. 016 | 0. 000 | |
| 10 | -88. 45 | 1. 121 | 0. 487 | 0. 320 | 0. 185 | 0. 083 | 0. 023 | 0. 007 | 0. 000 | |
| 12 | -105. 53 | 2. 552 | 0. 488 | 0. 329 | 0. 165 | 0. 065 | 0. 021 | 0. 007 | 0. 002 | |
| 14 | -99. 60 | 3. 966 | 0. 492 | 0. 328 | 0. 160 | 0. 071 | 0. 024 | 0. 010 | 0. 000 | |
| 16 | -100. 81 | 3. 689 | 0. 498 | 0. 328 | 0. 182 | 0. 075 | 0. 022 | 0. 000 | 0. 000 | |
| 18 | -101. 30 | 5. 100 | 0. 523 | 0. 327 | 0. 158 | 0. 086 | 0. 025 | 0. 000 | 0. 000 | |
| 20 | -110. 82 | 3. 104 | 0. 480 | 0. 274 | 0. 146 | 0. 072 | 0. 032 | 0. 010 | 0. 008 | |
| 24 | -116. 55 | 2. 744 | 0. 528 | 0. 336 | 0. 172 | 0. 048 | 0. 008 | 0. 006 | 0. 001 | |
| 70 | -73. 60 | 1. 847 | 0. 460 | 0. 248 | 0. 093 | 0. 075 | 0. 058 | 0. 037 | 0. 009 | |
| 72 | -83. 98 | 3. 037 | 0. 558 | 0. 324 | 0. 103 | 0. 030 | 0. 013 | 0. 005 | 0. 000 | |
| 74 | -80. 88 | 4. 570 | 0. 458 | 0. 309 | 0. 205 | 0. 069 | 0. 026 | 0. 016 | 0. 000 | |
| 76 | -84. 18 | 3. 915 | 0. 488 | 0. 293 | 0. 184 | 0. 100 | 0. 030 | 0. 000 | 0. 000 | |
| 78 | -87. 84 | 3. 219 | 0. 459 | 0. 286 | 0. 169 | 0. 042 | 0. 021 | 0. 017 | 0. 014 | |
| 80 | -88. 79 | 1. 179 | 0. 424 | 0. 220 | 0. 117 | 0. 062 | 0. 045 | 0. 029 | 0. 016 | |
| 82 | -91. 25 | 3. 150 | 0. 410 | 0. 229 | 0. 110 | 0. 061 | 0. 044 | 0. 027 | 0. 022 | |
| 85 | -86. 62 | 3. 798 | 0. 474 | 0. 305 | 0. 199 | 0. 092 | 0. 021 | 0. 002 | 0. 000 | |
| 87 | -103. 32 | 2. 536 | 0. 509 | 0. 345 | 0. 179 | 0. 057 | 0. 016 | 0. 000 | 0. 000 | |
| 89 | -102. 62 | 2. 478 | 0. 412 | 0. 278 | 0. 154 | 0. 104 | 0. 047 | 0. 000 | 0. 000 | |
| 91 | -92. 93 | 3. 532 | 0. 362 | 0. 296 | 0. 129 | 0. 054 | 0. 038 | 0. 034 | 0. 028 | |
| 93 | -96. 19 | 3. 589 | 0. 448 | 0. 261 | 0. 153 | 0. 106 | 0. 068 | 0. 012 | 0. 000 | |
| 95 | -96. 66 | 3. 066 | 0. 432 | 0. 304 | 0. 186 | 0. 083 | 0. 031 | 0. 018 | 0. 002 | |
| 97 | -88. 37 | 2. 242 | 0. 451 | 0. 303 | 0. 159 | 0. 092 | 0. 044 | 0. 013 | 0. 000 | |
| 99 | -90. 30 | 1. 361 | 0. 445 | 0. 292 | 0. 163 | 0. 084 | 0. 042 | 0. 016 | 0. 008 | |
| 101 | -107. 15 | 2. 627 | 0. 444 | 0. 256 | 0. 150 | 0. 102 | 0. 044 | 0. 000 | 0. 000 | |
| 107 | -114. 17 | 2. 362 | 0. 466 | 0. 277 | 0. 164 | 0. 080 | 0. 040 | 0. 010 | 0. 000 | |
| 109 | -106. 39 | 1. 989 | 0. 476 | 0. 298 | 0. 180 | 0. 077 | 0. 034 | 0. 000 | 0. 000 | |
| 114 | -112. 83 | 2. 803 | 0. 513 | 0. 337 | 0. 198 | 0. 061 | 0. 008 | 0. 000 | 0. 000 | |
| 116 | -107. 80 | 4. 637 | 0. 411 | 0. 337 | 0. 232 | 0. 071 | 0. 014 | 0. 006 | 0. 000 | |
| 118 | -107. 90 | 4. 131 | 0. 436 | 0. 297 | 0. 148 | 0. 080 | 0. 056 | 0. 014 | 0. 000 | |
| 120 | -112. 44 | 1. 802 | 0. 457 | 0. 252 | 0. 134 | 0. 065 | 0. 038 | 0. 027 | 0. 018 | |
| 123 | -105. 81 | 3. 254 | 0. 591 | 0. 318 | 0. 168 | 0. 038 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 | |
| 180 | -86. 96 | 3. 295 | 0. 432 | 0. 295 | 0. 195 | 0. 095 | 0. 030 | 0. 000 | 0. 000 | |
| 178 | -75. 05 | 3. 022 | 0. 407 | 0. 290 | 0. 141 | 0. 088 | 0. 066 | 0. 027 | 0. 010 | |
| 176 | -82. 78 | 3. 722 | 0. 461 | 0. 322 | 0. 200 | 0. 094 | 0. 024 | 0. 000 | 0. 000 | |
| 174 | -90. 12 | 3. 235 | 0. 537 | 0. 296 | 0. 153 | 0. 063 | 0. 014 | 0. 004 | 0. 000 | |
| 172 | -100. 72 | 3. 438 | 0. 476 | 0. 321 | 0. 154 | 0. 062 | 0. 034 | 0. 009 | 0. 000 | |
| 170 | -101. 61 | 2. 261 | 0. 522 | 0. 284 | 0. 140 | 0. 066 | 0. 032 | 0. 021 | 0. 009 | |
| 168 | -97. 72 | 2. 973 | 0. 351 | 0. 269 | 0. 177 | 0. 125 | 0. 058 | 0. 018 | 0. 000 | |
| MOYENNES--> | | | 3. 088 | 0. 465 | 0. 298 | 0. 163 | 0. 076 | 0. 033 | 0. 011 | 0. 004 |

TABLEAU 3.11 (suite)

PROBABILITE D'UN AFFAIBLISSEMENT DU SIGNAL DE "X" DB SOUS LA MOYENNE

Type de milieu: ouvert

Variations: lentes

Fichiers 1984

Separation: lineaire

Fichier Moyenne Ecart-type
(dB) (dB)

Probabilite -

| | | | 0. 0 | 0. 5*ET | 1. 0*ET | 1. 5*ET | 2. 0*ET | 2. 5*ET | 3. 0*ET |
|-----|----------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 166 | -106. 07 | 2. 601 | 0. 468 | 0. 294 | 0. 146 | 0. 084 | 0. 046 | 0. 000 | 0. 000 |
| 164 | -100. 63 | 3. 923 | 0. 406 | 0. 292 | 0. 178 | 0. 095 | 0. 047 | 0. 014 | 0. 005 |
| 162 | -96. 64 | 0. 909 | 0. 382 | 0. 244 | 0. 136 | 0. 089 | 0. 068 | 0. 040 | 0. 015 |
| 160 | -101. 25 | 3. 783 | 0. 520 | 0. 368 | 0. 159 | 0. 061 | 0. 020 | 0. 006 | 0. 000 |
| 158 | -94. 78 | 1. 647 | 0. 403 | 0. 236 | 0. 173 | 0. 124 | 0. 060 | 0. 012 | 0. 000 |
| 156 | -94. 88 | 2. 688 | 0. 427 | 0. 289 | 0. 179 | 0. 090 | 0. 042 | 0. 013 | 0. 004 |
| 154 | -98. 41 | 3. 386 | 0. 406 | 0. 282 | 0. 192 | 0. 128 | 0. 033 | 0. 000 | 0. 000 |
| 152 | -93. 51 | 1. 409 | 0. 411 | 0. 249 | 0. 158 | 0. 111 | 0. 063 | 0. 024 | 0. 006 |
| 150 | -93. 81 | 1. 672 | 0. 461 | 0. 306 | 0. 169 | 0. 082 | 0. 046 | 0. 000 | 0. 000 |
| 148 | -100. 43 | 2. 490 | 0. 434 | 0. 309 | 0. 171 | 0. 087 | 0. 050 | 0. 021 | 0. 000 |
| 146 | -110. 25 | 2. 642 | 0. 496 | 0. 285 | 0. 163 | 0. 088 | 0. 028 | 0. 000 | 0. 000 |
| 144 | -98. 78 | 2. 326 | 0. 468 | 0. 285 | 0. 160 | 0. 076 | 0. 041 | 0. 025 | 0. 005 |
| 142 | -93. 56 | 1. 806 | 0. 403 | 0. 298 | 0. 175 | 0. 116 | 0. 029 | 0. 011 | 0. 000 |
| 140 | -97. 69 | 4. 612 | 0. 379 | 0. 253 | 0. 146 | 0. 091 | 0. 054 | 0. 029 | 0. 018 |
| 138 | -102. 48 | 3. 099 | 0. 463 | 0. 281 | 0. 108 | 0. 082 | 0. 056 | 0. 027 | 0. 009 |
| 136 | -109. 68 | 2. 910 | 0. 433 | 0. 260 | 0. 164 | 0. 106 | 0. 038 | 0. 016 | 0. 007 |
| 134 | -113. 83 | 4. 011 | 0. 518 | 0. 285 | 0. 161 | 0. 098 | 0. 029 | 0. 000 | 0. 000 |
| 190 | -89. 40 | 2. 039 | 0. 411 | 0. 249 | 0. 161 | 0. 099 | 0. 060 | 0. 024 | 0. 000 |
| 192 | -97. 00 | 3. 165 | 0. 503 | 0. 310 | 0. 173 | 0. 076 | 0. 019 | 0. 008 | 0. 000 |
| 194 | -107. 29 | 2. 140 | 0. 491 | 0. 297 | 0. 186 | 0. 078 | 0. 021 | 0. 006 | 0. 000 |
| 196 | -107. 42 | 2. 361 | 0. 486 | 0. 371 | 0. 188 | 0. 039 | 0. 022 | 0. 000 | 0. 000 |
| 199 | -108. 99 | 1. 853 | 0. 451 | 0. 270 | 0. 155 | 0. 067 | 0. 032 | 0. 023 | 0. 015 |
| 201 | -113. 27 | 2. 094 | 0. 429 | 0. 265 | 0. 156 | 0. 090 | 0. 055 | 0. 019 | 0. 000 |
| 211 | -121. 46 | 2. 538 | 0. 454 | 0. 324 | 0. 191 | 0. 089 | 0. 028 | 0. 000 | 0. 000 |
| 221 | -105. 59 | 1. 949 | 0. 523 | 0. 323 | 0. 192 | 0. 052 | 0. 013 | 0. 007 | 0. 000 |
| 289 | -78. 86 | 3. 439 | 0. 461 | 0. 330 | 0. 182 | 0. 079 | 0. 024 | 0. 006 | 0. 000 |
| 287 | -77. 66 | 2. 491 | 0. 491 | 0. 318 | 0. 152 | 0. 074 | 0. 027 | 0. 011 | 0. 003 |
| 281 | -87. 24 | 3. 104 | 0. 393 | 0. 308 | 0. 210 | 0. 091 | 0. 035 | 0. 017 | 0. 000 |
| 253 | -115. 02 | 3. 540 | 0. 453 | 0. 242 | 0. 145 | 0. 090 | 0. 052 | 0. 011 | 0. 000 |
| 251 | -116. 01 | 3. 270 | 0. 565 | 0. 315 | 0. 147 | 0. 061 | 0. 014 | 0. 000 | 0. 000 |
| 243 | -116. 94 | 3. 260 | 0. 408 | 0. 322 | 0. 223 | 0. 108 | 0. 024 | 0. 002 | 0. 000 |
| 241 | -110. 11 | 0. 875 | 0. 469 | 0. 271 | 0. 175 | 0. 088 | 0. 044 | 0. 002 | 0. 000 |
| 302 | -67. 72 | 3. 477 | 0. 454 | 0. 252 | 0. 136 | 0. 071 | 0. 040 | 0. 031 | 0. 022 |
| 311 | -89. 53 | 3. 826 | 0. 484 | 0. 229 | 0. 136 | 0. 073 | 0. 037 | 0. 029 | 0. 022 |
| 313 | -85. 82 | 1. 430 | 0. 450 | 0. 314 | 0. 173 | 0. 097 | 0. 025 | 0. 000 | 0. 000 |
| 315 | -99. 74 | 3. 125 | 0. 458 | 0. 262 | 0. 146 | 0. 100 | 0. 040 | 0. 022 | 0. 000 |
| 321 | -102. 71 | 2. 264 | 0. 486 | 0. 254 | 0. 129 | 0. 069 | 0. 043 | 0. 032 | 0. 020 |
| 323 | -105. 30 | 7. 268 | 0. 445 | 0. 192 | 0. 084 | 0. 037 | 0. 029 | 0. 024 | 0. 019 |
| 325 | -109. 25 | 3. 593 | 0. 409 | 0. 275 | 0. 225 | 0. 104 | 0. 052 | 0. 000 | 0. 000 |
| 327 | -107. 93 | 2. 388 | 0. 428 | 0. 285 | 0. 152 | 0. 080 | 0. 057 | 0. 021 | 0. 002 |

MOYENNES--> 2. 785 0. 452 0. 285 0. 164 0. 086 0. 039 0. 013 0. 004

PROBABILITE D'UN AFFAIBLISSEMENT DU SIGNAL DE "X" DE SOUS LA MOYENNE

Type de milieu ouvert

Variations: lentes

Fichiers 1984

Separation linéaire

Fichier Moyenne Ecart-type (dB) (dB)

Probabilite

| | | | 0. 0 | 0. 5*ET | 1. 0*ET | 1. 5*ET | 2. 0*ET | 2. 5*ET | 3. 0*ET |
|-------------|----------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 329 | -109. 10 | 3. 061 | 0. 541 | 0. 311 | 0. 165 | 0. 030 | 0. 002 | 0. 000 | 0. 000 |
| 333 | -109. 75 | 3. 229 | 0. 413 | 0. 283 | 0. 205 | 0. 108 | 0. 047 | 0. 000 | 0. 000 |
| 352 | -116. 41 | 2. 340 | 0. 508 | 0. 346 | 0. 177 | 0. 082 | 0. 005 | 0. 000 | 0. 000 |
| 364 | -97. 78 | 2. 949 | 0. 527 | 0. 279 | 0. 139 | 0. 063 | 0. 011 | 0. 008 | 0. 006 |
| 366 | -109. 01 | 2. 306 | 0. 514 | 0. 340 | 0. 164 | 0. 056 | 0. 026 | 0. 010 | 0. 000 |
| 368 | -104. 69 | 2. 652 | 0. 476 | 0. 321 | 0. 188 | 0. 086 | 0. 020 | 0. 003 | 0. 000 |
| 370 | -116. 29 | 2. 312 | 0. 495 | 0. 279 | 0. 177 | 0. 070 | 0. 021 | 0. 011 | 0. 007 |
| 372 | -110. 81 | 3. 117 | 0. 430 | 0. 240 | 0. 154 | 0. 101 | 0. 058 | 0. 027 | 0. 000 |
| 374 | -108. 57 | 3. 361 | 0. 524 | 0. 326 | 0. 179 | 0. 055 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 382 | -109. 96 | 2. 071 | 0. 420 | 0. 256 | 0. 162 | 0. 100 | 0. 051 | 0. 010 | 0. 000 |
| MOYENNES--> | | 2. 740 | 0. 485 | 0. 298 | 0. 171 | 0. 075 | 0. 024 | 0. 007 | 0. 001 |

PROBABILITE D'UN AFFAIBLISSEMENT DU SIGNAL DE "X" DB SOUS LA MOYENNE

Type de milieu: suburbain

Variations: lentes

Fichiers 1984

Separation: lineaire

Fichier Moyenne Ecart-type
(dB) (dB)

Probabilite

| | | | 0. 0 | 0. 5*ET | 1. 0*ET | 1. 5*ET | 2. 0*ET | 2. 5*ET | 3. 0*ET |
|-------------|----------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 203 | -106. 61 | 2. 031 | 0. 495 | 0. 324 | 0. 161 | 0. 057 | 0. 020 | 0. 016 | 0. 011 |
| 217 | -115. 23 | 3. 192 | 0. 499 | 0. 294 | 0. 201 | 0. 065 | 0. 020 | 0. 000 | 0. 000 |
| 219 | -113. 66 | 2. 443 | 0. 448 | 0. 315 | 0. 154 | 0. 076 | 0. 042 | 0. 012 | 0. 000 |
| 223 | -117. 18 | 3. 047 | 0. 479 | 0. 331 | 0. 194 | 0. 052 | 0. 018 | 0. 010 | 0. 006 |
| 229 | -117. 35 | 3. 735 | 0. 494 | 0. 301 | 0. 173 | 0. 070 | 0. 029 | 0. 003 | 0. 000 |
| 231 | -116. 76 | 2. 248 | 0. 495 | 0. 297 | 0. 137 | 0. 068 | 0. 030 | 0. 007 | 0. 000 |
| 233 | -113. 98 | 2. 421 | 0. 447 | 0. 309 | 0. 133 | 0. 094 | 0. 055 | 0. 011 | 0. 000 |
| 285 | -85. 66 | 4. 044 | 0. 464 | 0. 309 | 0. 184 | 0. 085 | 0. 026 | 0. 000 | 0. 000 |
| 283 | -93. 80 | 3. 506 | 0. 423 | 0. 247 | 0. 176 | 0. 109 | 0. 051 | 0. 019 | 0. 000 |
| 278 | -98. 46 | 2. 402 | 0. 514 | 0. 314 | 0. 135 | 0. 073 | 0. 011 | 0. 000 | 0. 000 |
| 255 | -104. 89 | 1. 264 | 0. 478 | 0. 241 | 0. 174 | 0. 101 | 0. 044 | 0. 002 | 0. 000 |
| 249 | -118. 61 | 2. 280 | 0. 456 | 0. 294 | 0. 159 | 0. 082 | 0. 040 | 0. 010 | 0. 000 |
| 239 | -119. 40 | 1. 366 | 0. 464 | 0. 323 | 0. 185 | 0. 076 | 0. 017 | 0. 000 | 0. 000 |
| 299 | -68. 24 | 3. 450 | 0. 501 | 0. 295 | 0. 159 | 0. 073 | 0. 044 | 0. 016 | 0. 000 |
| 304 | -69. 92 | 1. 976 | 0. 474 | 0. 307 | 0. 174 | 0. 097 | 0. 039 | 0. 000 | 0. 000 |
| 307 | -83. 15 | 2. 876 | 0. 450 | 0. 333 | 0. 246 | 0. 088 | 0. 000 | 0. 000 | 0. 000 |
| 309 | -99. 73 | 2. 384 | 0. 532 | 0. 326 | 0. 206 | 0. 046 | 0. 006 | 0. 000 | 0. 000 |
| 317 | -99. 69 | 1. 643 | 0. 531 | 0. 344 | 0. 164 | 0. 072 | 0. 026 | 0. 000 | 0. 000 |
| 319 | -109. 19 | 3. 430 | 0. 474 | 0. 306 | 0. 154 | 0. 073 | 0. 029 | 0. 000 | 0. 000 |
| 331 | -114. 10 | 3. 193 | 0. 487 | 0. 298 | 0. 144 | 0. 081 | 0. 051 | 0. 000 | 0. 000 |
| 362 | -94. 55 | 2. 674 | 0. 499 | 0. 303 | 0. 169 | 0. 061 | 0. 023 | 0. 017 | 0. 008 |
| MOYENNES--> | | 2. 648 | 0. 481 | 0. 305 | 0. 171 | 0. 076 | 0. 030 | 0. 006 | 0. 001 |

PROBABILITE D'UN AFFAIBLISSEMENT DU SIGNAL DE "X" DB SOUS LA MOYENNE

Type de milieu: urbain non-dense

Variations: lentes

Fichiers 1984

Separation: lineaire

Fichier Moyenne Ecart-type
(dB) (dB)

Probabilite -

| | | | 0. 0 | 0. 5*ET | 1. 0*ET | 1. 5*ET | 2. 0*ET | 2. 5*ET | 3. 0*ET |
|-------------|----------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 205 | -104. 70 | 3. 831 | 0. 466 | 0. 302 | 0. 163 | 0. 118 | 0. 020 | 0. 000 | 0. 000 |
| 209 | -115. 10 | 2. 126 | 0. 510 | 0. 284 | 0. 176 | 0. 069 | 0. 024 | 0. 012 | 0. 000 |
| 273 | -101. 53 | 3. 286 | 0. 524 | 0. 365 | 0. 152 | 0. 056 | 0. 005 | 0. 000 | 0. 000 |
| 263 | -114. 37 | 2. 491 | 0. 500 | 0. 287 | 0. 157 | 0. 086 | 0. 028 | 0. 007 | 0. 000 |
| 261 | -105. 34 | 4. 265 | 0. 492 | 0. 300 | 0. 162 | 0. 070 | 0. 030 | 0. 012 | 0. 005 |
| 259 | -111. 77 | 3. 058 | 0. 469 | 0. 301 | 0. 161 | 0. 096 | 0. 033 | 0. 014 | 0. 000 |
| 257 | -109. 81 | 3. 869 | 0. 498 | 0. 337 | 0. 166 | 0. 089 | 0. 006 | 0. 000 | 0. 000 |
| Moyennes--> | | 3. 275 | 0. 494 | 0. 311 | 0. 162 | 0. 083 | 0. 021 | 0. 006 | 0. 001 |

PROBABILITE D'UN AFFAIBLISSEMENT DU SIGNAL DE "X" DB SOUS LA MOYENNE

Type de milieu: urbain dense

Variations: lentes

Fichiers 1984

Separation: linéaire

Fichier Moyenne Ecart-type
(dB) (dB)

Probabilite

| | | 0.0 | 0.5*ET | 1.0*ET | 1.5*ET | 2.0*ET | 2.5*ET | 3.0*ET |
|-------------|---------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 207 | -103.82 | 4.993 | 0.567 | 0.331 | 0.168 | 0.052 | 0.012 | 0.000 |
| 269 | -103.74 | 2.223 | 0.481 | 0.316 | 0.169 | 0.068 | 0.024 | 0.000 |
| 267 | -102.22 | 3.038 | 0.579 | 0.372 | 0.158 | 0.040 | 0.015 | 0.000 |
| 265 | -105.50 | 2.415 | 0.406 | 0.280 | 0.208 | 0.126 | 0.022 | 0.000 |
| MOYENNES--> | | 3.168 | 0.508 | 0.325 | 0.176 | 0.072 | 0.018 | 0.000 |

MOYENNES ET ECART-TYPES

Type de milieu: ouvert

Variations rapides

Fichiers 1984

Separation: linéaire

| Route | Distance (km) | Fichier | Obstruction | Rivière | Moyenne (dB) | Ecart-type (dB) |
|-------|------------------|---------|-------------|---------|-----------------|--------------------|
| 1 | 3 | 2 | 0 | non | -0.75 | 3.794 |
| 1 | 4 | 4 | 0 | non | -0.39 | 2.646 |
| 1 | 6 | 8 | 1 | non | -0.11 | 1.302 |
| 1 | 7 | 10 | 0 | non | -0.02 | 0.543 |
| 1 | 8 | 12 | 0 | non | -0.67 | 3.474 |
| 1 | 9 | 14 | 0 | non | -0.36 | 2.545 |
| 1 | 10 | 16 | 0 | non | -0.61 | 3.308 |
| 1 | 11 | 18 | 0 | non | -0.23 | 2.101 |
| 1 | 12 | 20 | 0 | non | -0.64 | 3.413 |
| 1 | 14 | 24 | 0 | non | -0.55 | 3.034 |
| 3 | 7 | 70 | 0 | oui | -0.24 | 2.126 |
| 3 | 8 | 72 | 0 | oui | -0.30 | 2.337 |
| 3 | 9 | 74 | 0 | oui | -0.29 | 2.327 |
| 3 | 10 | 76 | 0 | oui | -0.51 | 2.978 |
| 3 | 11 | 78 | 0 | oui | -0.43 | 2.941 |
| 3 | 12 | 80 | 0 | oui | -0.06 | 0.977 |
| 3 | 13 | 82 | 0 | oui | -0.20 | 1.955 |
| 3 | 14 | 85 | 0 | oui | -0.35 | 2.529 |
| 3 | 16 | 87 | 1 | oui | -0.79 | 4.011 |
| 3 | 17 | 89 | 2 | oui | -0.19 | 1.860 |
| 3 | 18 | 91 | 0 | oui | -0.08 | 1.022 |
| 3 | 19 | 93 | 0 | oui | -0.49 | 3.107 |
| 3 | 20 | 95 | 0 | oui | -0.17 | 1.749 |
| 3 | 21 | 97 | 0 | oui | -0.10 | 1.251 |
| 3 | 22 | 99 | 0 | oui | -0.06 | 0.929 |
| 3 | 23 | 101 | 1 | oui | -1.06 | 4.450 |
| 3 | 25 | 107 | 3 | oui | -0.80 | 3.849 |
| 3 | 26 | 109 | 2 | oui | -0.27 | 2.172 |
| 3 | 28 | 114 | 4 | oui | -0.70 | 3.626 |
| 3 | 29 | 116 | 4 | oui | -0.48 | 3.104 |
| 3 | 30 | 118 | 4 | oui | -0.23 | 2.029 |
| 3 | 31 | 120 | 0 | oui | -0.84 | 3.887 |
| 3 | 32 | 123 | 0 | oui | -0.67 | 3.553 |
| 4 | 4 | 180 | 0 | non | -0.29 | 2.210 |
| 4 | 5 | 178 | 0 | non | -0.06 | 1.044 |
| 4 | 6 | 176 | 0 | non | -0.21 | 1.925 |
| 4 | 7 | 174 | 0 | non | -0.61 | 3.476 |
| 4 | 8 | 172 | 0 | non | -0.53 | 3.220 |
| 4 | 9 | 170 | 0 | non | -0.28 | 2.291 |
| 4 | 10 | 168 | 0 | non | -0.17 | 1.753 |

Moyenne des amplitudes moyennes: -0.39 dB

Moyenne des ecart-types: 2.523 dB

MOYENNES ET ECART-TYPES

Type de milieu: ouvert

Variations: rapides

Fichiers 1984

Separation: lineaire

| Route | Distance (km) | Fichier | Obstruction | Riviere | Moyenne (dB) | Ecart-type (dB) |
|-------|------------------|---------|-------------|---------|-----------------|--------------------|
| 4 | 11 | 166 | 1 | non | -0.39 | 2.685 |
| 4 | 12 | 164 | 1 | non | -0.11 | 1.372 |
| 4 | 13 | 162 | 0 | non | -0.18 | 1.781 |
| 4 | 14 | 160 | 0 | non | -0.26 | 2.147 |
| 4 | 15 | 158 | 0 | non | -0.03 | 0.726 |
| 4 | 16 | 156 | 0 | non | -0.06 | 1.009 |
| 4 | 17 | 154 | 0 | non | -0.17 | 1.722 |
| 4 | 18 | 152 | 0 | non | -0.02 | 0.629 |
| 4 | 19 | 150 | 0 | non | -0.04 | 0.832 |
| 4 | 20 | 148 | 0 | non | -0.22 | 1.949 |
| 4 | 21 | 146 | 0 | non | -0.66 | 3.472 |
| 4 | 22 | 144 | 0 | non | -0.10 | 1.268 |
| 4 | 23 | 142 | 0 | non | -0.03 | 0.696 |
| 4 | 24 | 140 | 0 | non | -0.08 | 1.100 |
| 4 | 25 | 138 | 0 | non | -0.07 | 1.124 |
| 4 | 26 | 136 | 0 | non | -0.17 | 1.710 |
| 4 | 27 | 134 | 1 | non | -0.25 | 2.158 |
| 5 | 8 | 190 | 0 | oui | -0.90 | 4.072 |
| 5 | 9 | 192 | 0 | oui | -0.71 | 3.679 |
| 5 | 10 | 194 | 1 | oui | -0.79 | 3.862 |
| 5 | 11 | 196 | 1 | oui | -0.86 | 4.099 |
| 5 | 12 | 199 | 1 | oui | -1.11 | 4.619 |
| 5 | 13 | 201 | 1 | oui | -0.86 | 3.940 |
| 5 | 18 | 211 | 2 | oui | -0.42 | 2.630 |
| 5 | 22 | 221 | 4 | oui | -0.14 | 1.570 |
| 6 | 2 | 289 | 0 | non | -0.49 | 3.028 |
| 6 | 3 | 287 | 0 | non | -0.45 | 2.954 |
| 6 | 6 | 281 | 0 | non | -0.23 | 1.998 |
| 6 | 23 | 253 | 0 | oui | -0.28 | 2.234 |
| 6 | 24 | 251 | 0 | oui | -0.30 | 2.306 |
| 6 | 28 | 243 | 5 | oui | -0.07 | 1.089 |
| 6 | 29 | 241 | 6 | oui | -0.03 | 0.682 |
| 7 | 3 | 302 | 0 | non | -0.18 | 1.791 |
| 7 | 7 | 311 | 1 | non | -0.20 | 1.914 |
| 7 | 8 | 313 | 0 | non | -0.08 | 1.193 |
| 7 | 9 | 315 | 0 | non | -1.02 | 4.537 |
| 7 | 12 | 321 | 1 | non | -0.44 | 2.830 |
| 7 | 12 | 323 | 2 | non | -0.27 | 5.291 |
| 7 | 14 | 325 | 2 | non | -0.35 | 2.454 |
| 7 | 15 | 327 | 2 | non | -0.99 | 4.440 |

Moyenne des amplitudes moyennes: -0.35 dB

Moyenne des ecart-types: 2.340 dB

MOYENNES ET ECART-TYPES

Type de milieu: ouvert

Variations: rapides

Fichiers 1984

Separation: linéaire

| Route | Distance (km) | Fichier | Obstruction | Rivière | Moyenne (dB) | Ecart-type (dB) |
|-------|------------------|---------|-------------|---------|-----------------|--------------------|
| 7 | 16 | 329 | 3 | non | -0.68 | 3.437 |
| 7 | 18 | 333 | 2 | non | -0.49 | 2.852 |
| 7 | 27 | 352 | 2 | non | -0.14 | 1.459 |
| 8 | 9 | 364 | 0 | oui | -0.86 | 4.151 |
| 8 | 10 | 366 | 0 | oui | -1.09 | 4.583 |
| 8 | 11 | 368 | 0 | oui | -0.57 | 3.309 |
| 8 | 12 | 370 | 1 | oui | -0.68 | 3.459 |
| 8 | 13 | 372 | 2 | oui | -0.70 | 3.664 |
| 8 | 14 | 374 | 1 | oui | -0.62 | 3.414 |
| 8 | 18 | 382 | 9 | oui | -1.05 | 4.464 |

Moyenne des amplitudes moyennes: -0.69 dB

Moyenne des écart-types: 3.479 dB

MOYENNES ET ECART-TYPES

Type de milieu: suburbain

Variations: rapides

Fichiers 1984

Separation: linéaire

| Route | Distance (km) | Fichier | Obstruction | Rivière | Moyenne (dB) | Ecart-type (dB) |
|-------|------------------|---------|-------------|---------|-----------------|--------------------|
| 5 | 14 | 203 | 0 | oui | -0.92 | 4.114 |
| 5 | 20 | 217 | 4 | oui | -0.67 | 3.555 |
| 5 | 21 | 219 | 4 | oui | -0.61 | 3.332 |
| 5 | 23 | 223 | 1 | oui | -0.45 | 2.862 |
| 5 | 26 | 229 | 2 | oui | -0.38 | 2.497 |
| 5 | 27 | 231 | 2 | oui | -0.19 | 1.785 |
| 5 | 28 | 233 | 1 | oui | -0.15 | 1.595 |
| 6 | 4 | 285 | 0 | non | -0.24 | 2.064 |
| 6 | 5 | 283 | 0 | non | -0.38 | 2.676 |
| 6 | 7 | 278 | 0 | non | -0.86 | 4.010 |
| 6 | 22 | 255 | 0 | oui | -0.07 | 1.138 |
| 6 | 25 | 249 | 1 | oui | -0.36 | 2.450 |
| 6 | 30 | 239 | 6 | oui | -0.02 | 0.575 |
| 7 | 2 | 299 | 0 | non | -0.38 | 2.656 |
| 7 | 4 | 304 | 0 | non | -0.15 | 1.636 |
| 7 | 5 | 307 | 0 | non | -0.89 | 4.179 |
| 7 | 6 | 309 | 3 | non | -0.52 | 3.024 |
| 7 | 10 | 317 | 0 | non | -0.84 | 4.120 |
| 7 | 11 | 319 | 0 | non | -0.88 | 4.268 |
| 7 | 17 | 331 | 2 | non | -0.34 | 2.482 |
| 8 | 8 | 362 | 0 | oui | -0.91 | 4.263 |

Moyenne des amplitudes moyennes: -0.49 dB

Moyenne des écart-types: 2.823 dB

TABLEAU 3.12 (suite)

MOYENNES ET ECART-TYPES

| | | | | | Variations rapides | | |
|-------|------------------|---------|-------------|---------|----------------------|--------------------|--|
| | | | | | Separation: lineaire | | |
| Route | Distance (km) | Fichier | Obstruction | Riviere | Moyenne (dB) | Ecart-type (dB) | |
| 5 | 15 | 205 | 0 | oui | -0.60 | 3.384 | |
| 5 | 17 | 209 | 1 | oui | -0.77 | 3.728 | |
| 6 | 10 | 273 | 0 | oui | -0.75 | 3.770 | |
| 6 | 18 | 263 | 1 | oui | -0.67 | 3.511 | |
| 6 | 19 | 261 | 1 | oui | -0.43 | 2.911 | |
| 6 | 20 | 259 | 1 | oui | -0.42 | 2.736 | |
| 6 | 21 | 257 | 0 | oui | -0.40 | 2.667 | |

Moyenne des amplitudes moyennes: -0.58 dB

Moyenne des ecart-types: 3.244 dB

MOYENNES ET ECART-TYPES

Type de milieu: urbain dense

Variations: rapides

Fichiers 1984

Separation: linéaire

| Route | Distance (km) | Fichier | Obstruction | Rivière | Moyenne (dB) | Ecart-type (dB) |
|-------|------------------|---------|-------------|---------|-----------------|--------------------|
| 5 | 16 | 207 | 1 | oui | -0.80 | 4.066 |
| 6 | 15 | 269 | 0 | oui | -0.79 | 3.883 |
| 6 | 16 | 267 | 0 | oui | -0.69 | 3.592 |
| 6 | 17 | 265 | 0 | oui | -0.58 | 3.308 |

Moyenne des amplitudes moyennes: -0.72 dB

Moyenne des ecart-types: 3.712 dB

TAUX DE PASSAGE PAR UN NIVEAU ET LONGUEUR MOYENNE DES AFFAIBLISSEMENTS

Type de milieu: ouvert

Variations: rapides

Fichiers 1984

Separation: linéaire

| Fichier | Moyenne (dB) | Ecart-type (dB) | TPN (passages par mètre) | | | LMA (mètre) | | |
|---------|-----------------|--------------------|-----------------------------|-------|--------|----------------|-------|--------|
| | | | Moy-ET | Moy | Moy+ET | Moy-ET | Moy | Moy+ET |
| 2 | -0.75 | 3.794 | 1.232 | 1.605 | 0.886 | 0.127 | 0.268 | 0.971 |
| 4 | -0.39 | 2.646 | 0.973 | 2.064 | 0.924 | 0.121 | 0.209 | 0.957 |
| 8 | -0.11 | 1.302 | 0.577 | 1.913 | 0.638 | 0.150 | 0.228 | 1.431 |
| 10 | -0.02 | 0.543 | 1.677 | 2.988 | 1.789 | 0.091 | 0.166 | 0.473 |
| 12 | -0.67 | 3.474 | 2.178 | 3.323 | 1.738 | 0.074 | 0.139 | 0.486 |
| 14 | -0.36 | 2.545 | 1.033 | 2.574 | 0.999 | 0.118 | 0.159 | 0.898 |
| 16 | -0.61 | 3.388 | 1.869 | 2.967 | 1.519 | 0.081 | 0.149 | 0.567 |
| 18 | -0.23 | 2.101 | 0.691 | 2.039 | 0.762 | 0.131 | 0.203 | 1.194 |
| 20 | -0.64 | 3.413 | 1.553 | 2.314 | 1.282 | 0.101 | 0.200 | 0.654 |
| 24 | -0.55 | 3.034 | 1.259 | 2.230 | 1.329 | 0.136 | 0.220 | 0.631 |
| 70 | -0.24 | 2.126 | 1.151 | 2.221 | 0.932 | 0.111 | 0.201 | 0.951 |
| 72 | -0.30 | 2.337 | 1.229 | 2.341 | 1.112 | 0.116 | 0.187 | 0.789 |
| 74 | -0.29 | 2.327 | 0.565 | 1.808 | 0.772 | 0.167 | 0.220 | 1.192 |
| 76 | -0.51 | 2.978 | 1.375 | 2.440 | 1.154 | 0.101 | 0.180 | 0.770 |
| 78 | -0.43 | 2.941 | 1.465 | 2.798 | 1.509 | 0.090 | 0.166 | 0.566 |
| 80 | -0.06 | 0.977 | 1.634 | 2.831 | 1.746 | 0.089 | 0.179 | 0.482 |
| 82 | -0.20 | 1.955 | 1.235 | 2.589 | 1.115 | 0.088 | 0.171 | 0.804 |
| 85 | -0.35 | 2.529 | 1.356 | 2.835 | 1.325 | 0.089 | 0.162 | 0.655 |
| 87 | -0.79 | 4.011 | 1.913 | 3.015 | 1.430 | 0.076 | 0.144 | 0.603 |
| 89 | -0.19 | 1.860 | 2.346 | 4.253 | 2.136 | 0.059 | 0.109 | 0.401 |
| 91 | -0.08 | 1.022 | 1.241 | 2.897 | 0.972 | 0.069 | 0.155 | 0.940 |
| 93 | -0.49 | 3.107 | 2.736 | 4.252 | 1.548 | 0.052 | 0.096 | 0.573 |
| 95 | -0.17 | 1.749 | 1.569 | 3.519 | 1.363 | 0.074 | 0.122 | 0.662 |
| 97 | -0.10 | 1.251 | 1.468 | 2.816 | 1.441 | 0.089 | 0.164 | 0.603 |
| 99 | -0.06 | 0.929 | 1.244 | 2.159 | 1.298 | 0.119 | 0.224 | 0.651 |
| 101 | -1.06 | 4.450 | 1.526 | 2.159 | 1.079 | 0.102 | 0.204 | 0.782 |
| 107 | -0.80 | 3.849 | 1.441 | 2.083 | 1.269 | 0.118 | 0.222 | 0.661 |
| 109 | -0.27 | 2.172 | 1.204 | 2.340 | 0.966 | 0.110 | 0.188 | 0.909 |
| 114 | -0.70 | 3.626 | 1.017 | 1.551 | 0.999 | 0.156 | 0.279 | 0.859 |
| 116 | -0.48 | 3.104 | 0.772 | 1.664 | 0.799 | 0.175 | 0.251 | 1.109 |
| 118 | -0.23 | 2.029 | 1.252 | 2.711 | 1.164 | 0.107 | 0.168 | 0.755 |
| 120 | -0.84 | 3.887 | 1.716 | 2.299 | 1.358 | 0.101 | 0.200 | 0.615 |
| 123 | -0.67 | 3.553 | 0.943 | 1.554 | 0.956 | 0.153 | 0.278 | 0.906 |
| 180 | -0.29 | 2.210 | 1.201 | 2.331 | 1.095 | 0.105 | 0.193 | 0.800 |
| 178 | -0.06 | 1.044 | 1.264 | 2.172 | 1.164 | 0.104 | 0.206 | 0.741 |
| 176 | -0.21 | 1.925 | 1.235 | 2.470 | 1.186 | 0.108 | 0.188 | 0.732 |
| 174 | -0.61 | 3.476 | 1.196 | 1.881 | 0.845 | 0.120 | 0.229 | 1.043 |
| 172 | -0.53 | 3.220 | 1.420 | 2.259 | 1.033 | 0.097 | 0.186 | 0.846 |
| 170 | -0.28 | 2.291 | 1.062 | 1.929 | 0.899 | 0.129 | 0.232 | 0.971 |
| 168 | -0.17 | 1.753 | 1.119 | 2.191 | 0.879 | 0.108 | 0.200 | 1.016 |

Moyenne des TPN(Moy): 2.460 passages par mètre.

Moyenne des LMA(Moy): 0.191 mètres.

TABLEAU 3.13 (suite)

TAUX DE PASSAGE PAR UN NIVEAU ET LONGUEUR MOYENNE DES AFFAIBLISSEMENTS

Type de milieu: ouvert

Variations: rapides

Fichiers 1984

Separation: lineaire

| Fichier | Moyenne (dB) | Ecart-type (dB) | TPN (passages par metre) | | | LMA (metre) | | |
|---------|-----------------|--------------------|-----------------------------|-------|--------|----------------|-------|--------|
| | | | Moy-ET | Moy | Moy+ET | Moy-ET | Moy | Moy+ET |
| 166 | -0.39 | 2.685 | 2.096 | 3.214 | 1.636 | 0.072 | 0.138 | 0.525 |
| 164 | -0.11 | 1.372 | 1.298 | 2.696 | 0.959 | 0.103 | 0.174 | 0.925 |
| 162 | -0.18 | 1.781 | 2.349 | 3.438 | 1.917 | 0.071 | 0.133 | 0.436 |
| 160 | -0.26 | 2.147 | 1.126 | 2.599 | 1.018 | 0.105 | 0.171 | 0.867 |
| 158 | -0.03 | 0.726 | 1.675 | 3.260 | 1.573 | 0.077 | 0.144 | 0.557 |
| 156 | -0.06 | 1.009 | 1.396 | 3.008 | 1.274 | 0.080 | 0.156 | 0.702 |
| 154 | -0.17 | 1.722 | 1.962 | 3.901 | 1.475 | 0.063 | 0.110 | 0.606 |
| 152 | -0.02 | 0.629 | 1.156 | 2.179 | 1.216 | 0.114 | 0.220 | 0.704 |
| 150 | -0.04 | 0.832 | 1.685 | 3.096 | 1.607 | 0.076 | 0.156 | 0.538 |
| 148 | -0.22 | 1.949 | 1.613 | 3.225 | 1.265 | 0.080 | 0.140 | 0.698 |
| 146 | -0.66 | 3.472 | 2.050 | 3.124 | 1.701 | 0.083 | 0.141 | 0.496 |
| 144 | -0.10 | 1.268 | 1.873 | 3.173 | 1.579 | 0.076 | 0.148 | 0.550 |
| 142 | -0.03 | 0.696 | 1.040 | 2.416 | 1.040 | 0.124 | 0.198 | 0.832 |
| 140 | -0.08 | 1.100 | 1.109 | 2.500 | 0.916 | 0.093 | 0.179 | 0.977 |
| 138 | -0.07 | 1.124 | 1.821 | 3.415 | 1.856 | 0.069 | 0.137 | 0.467 |
| 136 | -0.17 | 1.710 | 1.766 | 3.350 | 1.539 | 0.078 | 0.139 | 0.565 |
| 134 | -0.25 | 2.158 | 1.491 | 2.588 | 1.331 | 0.104 | 0.180 | 0.649 |
| 190 | -0.90 | 4.072 | 1.481 | 2.387 | 1.317 | 0.091 | 0.193 | 0.644 |
| 192 | -0.71 | 3.679 | 1.886 | 2.640 | 1.282 | 0.081 | 0.156 | 0.680 |
| 194 | -0.79 | 3.862 | 2.065 | 2.920 | 1.578 | 0.079 | 0.152 | 0.539 |
| 196 | -0.86 | 4.099 | 1.613 | 2.513 | 1.206 | 0.096 | 0.170 | 0.716 |
| 199 | -1.11 | 4.619 | 1.801 | 2.449 | 1.295 | 0.098 | 0.171 | 0.655 |
| 201 | -0.86 | 3.940 | 2.239 | 2.874 | 1.604 | 0.081 | 0.162 | 0.517 |
| 211 | -0.42 | 2.630 | 0.986 | 1.817 | 1.207 | 0.160 | 0.285 | 0.687 |
| 221 | -0.14 | 1.570 | 1.227 | 2.560 | 1.372 | 0.119 | 0.179 | 0.619 |
| 289 | -0.49 | 3.028 | 1.394 | 2.316 | 1.109 | 0.102 | 0.187 | 0.783 |
| 287 | -0.45 | 2.954 | 0.892 | 1.912 | 0.866 | 0.142 | 0.219 | 1.021 |
| 281 | -0.23 | 1.998 | 1.699 | 2.944 | 1.670 | 0.084 | 0.165 | 0.510 |
| 253 | -0.28 | 2.234 | 1.100 | 1.847 | 1.149 | 0.142 | 0.249 | 0.738 |
| 251 | -0.30 | 2.306 | 1.586 | 2.926 | 1.684 | 0.101 | 0.164 | 0.505 |
| 243 | -0.07 | 1.089 | 1.109 | 2.227 | 1.090 | 0.128 | 0.213 | 0.800 |
| 241 | -0.03 | 0.682 | 1.536 | 2.702 | 1.640 | 0.099 | 0.184 | 0.520 |
| 302 | -0.18 | 1.791 | 1.925 | 3.765 | 1.481 | 0.064 | 0.120 | 0.595 |
| 311 | -0.20 | 1.914 | 0.937 | 2.198 | 0.840 | 0.121 | 0.188 | 1.084 |
| 313 | -0.08 | 1.193 | 2.366 | 3.909 | 2.160 | 0.067 | 0.119 | 0.393 |
| 315 | -1.02 | 4.537 | 1.662 | 2.524 | 1.047 | 0.088 | 0.165 | 0.828 |
| 321 | -0.44 | 2.830 | 1.904 | 2.775 | 1.484 | 0.072 | 0.167 | 0.582 |
| 323 | -0.27 | 5.291 | 0.522 | 1.622 | 0.137 | 0.185 | 0.278 | 6.949 |
| 325 | -0.35 | 2.454 | 1.545 | 2.890 | 1.482 | 0.079 | 0.159 | 0.591 |
| 327 | -0.99 | 4.440 | 2.196 | 3.010 | 1.523 | 0.073 | 0.141 | 0.565 |

Moyenne des TPN(Moy): 2.773 passages par metre.

Moyenne des LMA(Moy): 0.171 metres.

TAUX DE PASSAGE PAR UN NIVEAU ET LONGUEUR MOYENNE DES AFFAIBLISSEMENTS

Type de milieu: ouvert

Variations: rapides

Fichiers 1984

Separation: linéaire

| Fichier | Moyenne (dB) | Ecart-type (dB) | TPN (passages par metre) | | | - LMA (metre) | | |
|---------|-----------------|--------------------|-----------------------------|-------|--------|------------------|-------|--------|
| | | | Moy-ET | Moy | Moy+ET | Moy-ET | Moy | Moy+ET |
| 329 | -0.68 | 3.437 | 2.015 | 3.171 | 1.642 | 0.074 | 0.132 | 0.531 |
| 333 | -0.49 | 2.852 | 0.681 | 1.458 | 0.843 | 0.196 | 0.312 | 1.014 |
| 352 | -0.14 | 1.459 | 0.877 | 1.785 | 0.940 | 0.174 | 0.270 | 0.902 |
| 364 | -0.86 | 4.151 | 2.054 | 2.717 | 1.359 | 0.083 | 0.158 | 0.629 |
| 366 | -1.09 | 4.583 | 1.491 | 2.019 | 1.057 | 0.113 | 0.218 | 0.803 |
| 368 | -0.57 | 3.309 | 1.468 | 2.328 | 1.151 | 0.098 | 0.181 | 0.765 |
| 370 | -0.68 | 3.459 | 1.701 | 2.326 | 1.542 | 0.110 | 0.204 | 0.532 |
| 372 | -0.70 | 3.664 | 1.790 | 2.702 | 1.342 | 0.091 | 0.159 | 0.637 |
| 374 | -0.62 | 3.414 | 2.440 | 3.489 | 1.770 | 0.067 | 0.129 | 0.479 |
| 382 | -1.05 | 4.464 | 1.145 | 1.507 | 0.934 | 0.137 | 0.295 | 0.906 |

Moyenne des TPN(Moy): 2.350 passages par metre.

Moyenne des LMA(Moy): 0.206 metres.

TABLEAU 3.13 (suite)

TAUX DE PASSAGE PAR UN NIVEAU ET LONGUEUR MOYENNE DES AFFAIBLISSEMENTS

Type de milieu: suburbain

Variations: rapides

Fichiers 1984

Separation: linéaire

| Fichier | Moyenne (dB) | Ecart-type (dB) | TPN (passages par mètre) | | | LMA (mètre) | | |
|---------|-----------------|--------------------|-----------------------------|-------|--------|----------------|-------|--------|
| | | | Moy-ET | Moy | Moy+ET | Moy-ET | Moy | Moy+ET |
| 203 | -0.92 | 4.114 | 2.608 | 3.327 | 1.583 | 0.064 | 0.131 | 0.538 |
| 217 | -0.67 | 3.555 | 0.918 | 1.729 | 1.270 | 0.185 | 0.254 | 0.665 |
| 219 | -0.61 | 3.332 | 1.441 | 2.303 | 1.299 | 0.115 | 0.195 | 0.647 |
| 223 | -0.45 | 2.862 | 1.510 | 2.696 | 1.558 | 0.109 | 0.178 | 0.538 |
| 229 | -0.38 | 2.497 | 1.880 | 2.969 | 1.931 | 0.091 | 0.160 | 0.429 |
| 231 | -0.19 | 1.785 | 1.707 | 2.771 | 1.682 | 0.094 | 0.167 | 0.503 |
| 233 | -0.15 | 1.595 | 1.801 | 3.245 | 1.722 | 0.083 | 0.144 | 0.499 |
| 285 | -0.24 | 2.064 | 1.557 | 2.914 | 1.420 | 0.083 | 0.161 | 0.611 |
| 283 | -0.38 | 2.676 | 1.769 | 3.126 | 1.151 | 0.074 | 0.135 | 0.771 |
| 278 | -0.86 | 4.010 | 2.208 | 2.869 | 1.364 | 0.076 | 0.152 | 0.618 |
| 255 | -0.07 | 1.138 | 2.031 | 3.574 | 1.893 | 0.065 | 0.132 | 0.460 |
| 249 | -0.36 | 2.450 | 2.260 | 3.384 | 2.145 | 0.078 | 0.149 | 0.383 |
| 239 | -0.02 | 0.575 | 1.830 | 3.119 | 1.916 | 0.079 | 0.163 | 0.442 |
| 299 | -0.38 | 2.656 | 0.753 | 1.714 | 0.805 | 0.186 | 0.257 | 1.085 |
| 304 | -0.15 | 1.636 | 1.543 | 2.759 | 1.365 | 0.080 | 0.163 | 0.642 |
| 307 | -0.89 | 4.179 | 0.988 | 1.730 | 0.824 | 0.121 | 0.236 | 1.088 |
| 309 | -0.52 | 3.024 | 1.172 | 2.190 | 0.987 | 0.108 | 0.192 | 0.897 |
| 317 | -0.84 | 4.120 | 1.133 | 1.963 | 1.095 | 0.118 | 0.210 | 0.817 |
| 319 | -0.88 | 4.268 | 1.205 | 1.818 | 0.886 | 0.131 | 0.236 | 0.979 |
| 331 | -0.34 | 2.482 | 1.575 | 2.728 | 1.460 | 0.101 | 0.155 | 0.590 |
| 362 | -0.91 | 4.263 | 1.693 | 2.382 | 0.956 | 0.087 | 0.171 | 0.924 |

Moyenne des TPN(Moy): 2.634 passages par mètre.

Moyenne des LMA(Moy): 0.178 mètres.

TAUX DE PASSAGE PAR UN NIVEAU ET LONGUEUR MOYENNE DES AFFAIBLISSEMENTS

Type de milieu: urbain non-dense

Variations: rapides

Fichiers 1984

Separation: lineaire

| Fichier | Moyenne (dB) | Ecart-type (dB) | TPN (passages par metre) | | | LMA (metre) | | |
|---------|-----------------|--------------------|-----------------------------|-------|--------|----------------|-------|--------|
| | | | Moy-ET | Moy | Moy+ET | Moy-ET | Moy | Moy+ET |
| 205 | -0.60 | 3.384 | 2.320 | 3.518 | 1.712 | 0.065 | 0.119 | 0.510 |
| 209 | -0.77 | 3.728 | 2.085 | 2.889 | 1.658 | 0.088 | 0.159 | 0.499 |
| 273 | -0.75 | 3.770 | 1.711 | 2.450 | 1.170 | 0.092 | 0.175 | 0.738 |
| 263 | -0.67 | 3.511 | 2.031 | 3.182 | 1.804 | 0.085 | 0.147 | 0.462 |
| 261 | -0.43 | 2.911 | 1.952 | 2.964 | 1.472 | 0.077 | 0.150 | 0.587 |
| 259 | -0.42 | 2.736 | 1.245 | 2.667 | 1.257 | 0.115 | 0.166 | 0.694 |
| 257 | -0.40 | 2.667 | 1.743 | 2.877 | 1.475 | 0.088 | 0.157 | 0.586 |

Moyenne des TPN(Moy): 2.935 passages par metre.

Moyenne des LMA(Moy): 0.153 metres.

TAUX DE PASSAGE PAR UN NIVEAU ET LONGUEUR MOYENNE DES AFFAIBLISSEMENTS

Type de milieu: urbain dense

Variations rapides

Fichiers 1984

Séparation linéaire

| Fichier | Moyenne (dB) | Ecart-type (dB) | TPN (passages par mètre) | | | LMA (mètre) | | |
|---------|-----------------|--------------------|-----------------------------|-------|--------|----------------|-------|--------|
| | | | Moy-ET | Moy | Moy+ET | Moy-ET | Moy | Moy+ET |
| 207 | -0.80 | 4.066 | 1.824 | 2.600 | 1.222 | 0.085 | 0.158 | 0.721 |
| 269 | -0.79 | 3.883 | 2.550 | 3.253 | 1.860 | 0.067 | 0.139 | 0.447 |
| 267 | -0.69 | 3.592 | 3.745 | 4.656 | 2.337 | 0.047 | 0.094 | 0.364 |
| 265 | -0.58 | 3.308 | 2.968 | 4.204 | 2.040 | 0.054 | 0.104 | 0.420 |

Moyenne des TPN(Moy): 3.678 passages par mètre.

Moyenne des LMA(Moy): 0.124 mètres.

TABLEAU 3.14

PROBABILITE D'UN AFFAIBLISSEMENT DU SIGNAL DE "X" DE SOUS LA MOYENNE

Type de milieu: ouvert

Variations rapides

Fichiers 1984

Separation linéaire

Fichier Moyenne Ecart-type
(dB) (dB)

Probabilité

| | | | 0. 0 | 0. 5*ET | 1. 0*ET | 1. 5*ET | 2. 0*ET | 2. 5*ET | 3. 0*ET |
|-----|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 2 | -0. 75 | 3. 794 | 0. 430 | 0. 267 | 0. 157 | 0. 085 | 0. 041 | 0. 019 | 0. 007 |
| 4 | -0. 39 | 2. 646 | 0. 431 | 0. 226 | 0. 118 | 0. 069 | 0. 045 | 0. 029 | 0. 018 |
| 8 | -0. 11 | 1. 302 | 0. 436 | 0. 183 | 0. 087 | 0. 053 | 0. 034 | 0. 025 | 0. 018 |
| 10 | -0. 02 | 0. 543 | 0. 495 | 0. 299 | 0. 153 | 0. 071 | 0. 026 | 0. 006 | 0. 001 |
| 12 | -0. 67 | 3. 474 | 0. 461 | 0. 286 | 0. 161 | 0. 079 | 0. 034 | 0. 015 | 0. 005 |
| 14 | -0. 36 | 2. 545 | 0. 410 | 0. 212 | 0. 122 | 0. 073 | 0. 045 | 0. 028 | 0. 017 |
| 16 | -0. 61 | 3. 388 | 0. 442 | 0. 266 | 0. 152 | 0. 083 | 0. 044 | 0. 020 | 0. 008 |
| 18 | -0. 23 | 2. 101 | 0. 415 | 0. 186 | 0. 091 | 0. 052 | 0. 033 | 0. 023 | 0. 020 |
| 20 | -0. 64 | 3. 413 | 0. 464 | 0. 288 | 0. 157 | 0. 083 | 0. 036 | 0. 012 | 0. 003 |
| 24 | -0. 55 | 3. 034 | 0. 491 | 0. 311 | 0. 171 | 0. 076 | 0. 022 | 0. 003 | 0. 000 |
| 70 | -0. 24 | 2. 126 | 0. 447 | 0. 231 | 0. 127 | 0. 064 | 0. 032 | 0. 019 | 0. 014 |
| 72 | -0. 30 | 2. 337 | 0. 438 | 0. 250 | 0. 142 | 0. 076 | 0. 041 | 0. 021 | 0. 011 |
| 74 | -0. 29 | 2. 327 | 0. 398 | 0. 186 | 0. 094 | 0. 057 | 0. 036 | 0. 022 | 0. 016 |
| 76 | -0. 51 | 2. 978 | 0. 439 | 0. 257 | 0. 138 | 0. 077 | 0. 040 | 0. 021 | 0. 010 |
| 78 | -0. 43 | 2. 941 | 0. 466 | 0. 267 | 0. 132 | 0. 066 | 0. 035 | 0. 019 | 0. 012 |
| 80 | -0. 06 | 0. 977 | 0. 506 | 0. 296 | 0. 146 | 0. 057 | 0. 019 | 0. 008 | 0. 004 |
| 82 | -0. 20 | 1. 955 | 0. 444 | 0. 226 | 0. 109 | 0. 057 | 0. 038 | 0. 024 | 0. 018 |
| 85 | -0. 35 | 2. 529 | 0. 461 | 0. 252 | 0. 120 | 0. 063 | 0. 030 | 0. 021 | 0. 014 |
| 87 | -0. 79 | 4. 011 | 0. 435 | 0. 252 | 0. 145 | 0. 087 | 0. 050 | 0. 025 | 0. 010 |
| 89 | -0. 19 | 1. 860 | 0. 463 | 0. 257 | 0. 137 | 0. 072 | 0. 039 | 0. 018 | 0. 012 |
| 91 | -0. 08 | 1. 022 | 0. 448 | 0. 179 | 0. 086 | 0. 046 | 0. 029 | 0. 019 | 0. 014 |
| 93 | -0. 49 | 3. 107 | 0. 409 | 0. 236 | 0. 143 | 0. 084 | 0. 047 | 0. 025 | 0. 013 |
| 95 | -0. 17 | 1. 749 | 0. 429 | 0. 206 | 0. 116 | 0. 063 | 0. 040 | 0. 024 | 0. 015 |
| 97 | -0. 10 | 1. 251 | 0. 463 | 0. 267 | 0. 131 | 0. 064 | 0. 028 | 0. 013 | 0. 008 |
| 99 | -0. 06 | 0. 929 | 0. 483 | 0. 289 | 0. 148 | 0. 068 | 0. 030 | 0. 016 | 0. 006 |
| 101 | -1. 06 | 4. 450 | 0. 441 | 0. 268 | 0. 155 | 0. 090 | 0. 045 | 0. 021 | 0. 007 |
| 107 | -0. 80 | 3. 849 | 0. 463 | 0. 288 | 0. 170 | 0. 086 | 0. 036 | 0. 009 | 0. 002 |
| 109 | -0. 27 | 2. 172 | 0. 441 | 0. 250 | 0. 132 | 0. 071 | 0. 041 | 0. 023 | 0. 011 |
| 114 | -0. 70 | 3. 626 | 0. 433 | 0. 270 | 0. 159 | 0. 089 | 0. 046 | 0. 016 | 0. 004 |
| 116 | -0. 48 | 3. 104 | 0. 418 | 0. 240 | 0. 135 | 0. 084 | 0. 048 | 0. 027 | 0. 016 |
| 118 | -0. 23 | 2. 029 | 0. 456 | 0. 240 | 0. 134 | 0. 078 | 0. 045 | 0. 026 | 0. 011 |
| 120 | -0. 84 | 3. 887 | 0. 459 | 0. 298 | 0. 173 | 0. 091 | 0. 034 | 0. 008 | 0. 001 |
| 123 | -0. 67 | 3. 553 | 0. 432 | 0. 255 | 0. 144 | 0. 086 | 0. 048 | 0. 025 | 0. 012 |
| 180 | -0. 29 | 2. 210 | 0. 451 | 0. 255 | 0. 126 | 0. 062 | 0. 036 | 0. 023 | 0. 013 |
| 178 | -0. 06 | 1. 044 | 0. 447 | 0. 286 | 0. 132 | 0. 069 | 0. 035 | 0. 015 | 0. 010 |
| 176 | -0. 21 | 1. 925 | 0. 465 | 0. 265 | 0. 134 | 0. 066 | 0. 032 | 0. 019 | 0. 010 |
| 174 | -0. 61 | 3. 476 | 0. 432 | 0. 242 | 0. 143 | 0. 073 | 0. 045 | 0. 026 | 0. 015 |
| 172 | -0. 53 | 3. 220 | 0. 421 | 0. 250 | 0. 138 | 0. 076 | 0. 046 | 0. 024 | 0. 015 |
| 170 | -0. 28 | 2. 291 | 0. 448 | 0. 260 | 0. 137 | 0. 067 | 0. 036 | 0. 019 | 0. 013 |
| 168 | -0. 17 | 1. 753 | 0. 437 | 0. 243 | 0. 121 | 0. 057 | 0. 031 | 0. 018 | 0. 012 |

MOYENNES--> 2. 523 0. 446 0. 252 0. 135 0. 072 0. 037 0. 019 0. 011

PROBABILITE D'UN AFFAIBLISSEMENT DU SIGNAL DE "X" DE SOUS LA MOYENNE

Type de milieu: ouvert

Variations rapides

Fichiers 1984

Separation: linesite

Fichier Moyenne Ecart-type
(dB) (dB)

Probabilite

| | | | 0. 0 | 0. 5*ET | 1. 0*ET | 1. 5*ET | 2. 0*ET | 2. 5*ET | 3. 0*ET |
|-----|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 166 | -0. 39 | 2. 685 | 0. 444 | 0. 265 | 0. 151 | 0. 082 | 0. 040 | 0. 021 | 0. 009 |
| 164 | -0. 11 | 1. 372 | 0. 468 | 0. 257 | 0. 133 | 0. 068 | 0. 031 | 0. 016 | 0. 008 |
| 162 | -0. 18 | 1. 781 | 0. 458 | 0. 294 | 0. 166 | 0. 084 | 0. 041 | 0. 016 | 0. 005 |
| 160 | -0. 26 | 2. 147 | 0. 445 | 0. 229 | 0. 118 | 0. 074 | 0. 041 | 0. 023 | 0. 012 |
| 158 | -0. 03 | 0. 726 | 0. 468 | 0. 259 | 0. 129 | 0. 071 | 0. 036 | 0. 017 | 0. 007 |
| 156 | -0. 06 | 1. 009 | 0. 470 | 0. 230 | 0. 112 | 0. 057 | 0. 031 | 0. 017 | 0. 010 |
| 154 | -0. 17 | 1. 722 | 0. 428 | 0. 229 | 0. 124 | 0. 067 | 0. 042 | 0. 024 | 0. 015 |
| 152 | -0. 02 | 0. 629 | 0. 480 | 0. 284 | 0. 132 | 0. 067 | 0. 033 | 0. 016 | 0. 008 |
| 150 | -0. 04 | 0. 832 | 0. 482 | 0. 265 | 0. 128 | 0. 065 | 0. 037 | 0. 017 | 0. 011 |
| 148 | -0. 22 | 1. 949 | 0. 453 | 0. 248 | 0. 129 | 0. 068 | 0. 034 | 0. 021 | 0. 013 |
| 146 | -0. 66 | 3. 472 | 0. 441 | 0. 273 | 0. 171 | 0. 096 | 0. 042 | 0. 012 | 0. 001 |
| 144 | -0. 10 | 1. 268 | 0. 469 | 0. 278 | 0. 143 | 0. 067 | 0. 032 | 0. 015 | 0. 008 |
| 142 | -0. 03 | 0. 696 | 0. 478 | 0. 246 | 0. 129 | 0. 062 | 0. 036 | 0. 021 | 0. 012 |
| 140 | -0. 08 | 1. 100 | 0. 447 | 0. 214 | 0. 103 | 0. 056 | 0. 026 | 0. 021 | 0. 014 |
| 138 | -0. 07 | 1. 124 | 0. 467 | 0. 270 | 0. 126 | 0. 057 | 0. 027 | 0. 016 | 0. 011 |
| 136 | -0. 17 | 1. 710 | 0. 464 | 0. 257 | 0. 138 | 0. 074 | 0. 038 | 0. 019 | 0. 011 |
| 134 | -0. 25 | 2. 158 | 0. 465 | 0. 268 | 0. 155 | 0. 084 | 0. 036 | 0. 013 | 0. 005 |
| 130 | -0. 90 | 4. 072 | 0. 460 | 0. 261 | 0. 135 | 0. 076 | 0. 041 | 0. 023 | 0. 011 |
| 128 | -0. 71 | 3. 679 | 0. 412 | 0. 249 | 0. 153 | 0. 089 | 0. 047 | 0. 023 | 0. 013 |
| 126 | -0. 79 | 3. 862 | 0. 444 | 0. 270 | 0. 164 | 0. 086 | 0. 043 | 0. 016 | 0. 005 |
| 124 | -0. 86 | 4. 099 | 0. 425 | 0. 253 | 0. 155 | 0. 094 | 0. 049 | 0. 021 | 0. 010 |
| 122 | -1. 11 | 4. 619 | 0. 420 | 0. 276 | 0. 176 | 0. 100 | 0. 045 | 0. 013 | 0. 002 |
| 201 | -0. 86 | 3. 940 | 0. 466 | 0. 310 | 0. 182 | 0. 085 | 0. 024 | 0. 004 | 0. 002 |
| 211 | -0. 42 | 2. 630 | 0. 518 | 0. 320 | 0. 158 | 0. 069 | 0. 018 | 0. 000 | 0. 000 |
| 221 | -0. 14 | 1. 570 | 0. 458 | 0. 266 | 0. 146 | 0. 078 | 0. 038 | 0. 016 | 0. 008 |
| 289 | -0. 49 | 3. 028 | 0. 432 | 0. 245 | 0. 142 | 0. 081 | 0. 046 | 0. 024 | 0. 011 |
| 287 | -0. 45 | 2. 954 | 0. 419 | 0. 233 | 0. 126 | 0. 065 | 0. 040 | 0. 026 | 0. 019 |
| 281 | -0. 23 | 1. 998 | 0. 485 | 0. 297 | 0. 143 | 0. 065 | 0. 026 | 0. 012 | 0. 006 |
| 253 | -0. 28 | 2. 234 | 0. 459 | 0. 282 | 0. 156 | 0. 086 | 0. 036 | 0. 015 | 0. 005 |
| 251 | -0. 30 | 2. 306 | 0. 480 | 0. 285 | 0. 160 | 0. 078 | 0. 031 | 0. 012 | 0. 003 |
| 243 | -0. 07 | 1. 089 | 0. 475 | 0. 284 | 0. 142 | 0. 069 | 0. 028 | 0. 012 | 0. 007 |
| 241 | -0. 03 | 0. 682 | 0. 496 | 0. 290 | 0. 152 | 0. 074 | 0. 025 | 0. 012 | 0. 003 |
| 302 | -0. 18 | 1. 791 | 0. 452 | 0. 245 | 0. 123 | 0. 063 | 0. 039 | 0. 025 | 0. 014 |
| 311 | -0. 20 | 1. 914 | 0. 413 | 0. 212 | 0. 113 | 0. 058 | 0. 040 | 0. 032 | 0. 023 |
| 313 | -0. 08 | 1. 193 | 0. 464 | 0. 295 | 0. 158 | 0. 079 | 0. 030 | 0. 013 | 0. 004 |
| 315 | -1. 02 | 4. 537 | 0. 417 | 0. 244 | 0. 147 | 0. 084 | 0. 052 | 0. 031 | 0. 016 |
| 321 | -0. 44 | 2. 830 | 0. 463 | 0. 270 | 0. 137 | 0. 063 | 0. 032 | 0. 019 | 0. 012 |
| 323 | -0. 27 | 5. 291 | 0. 450 | 0. 184 | 0. 097 | 0. 056 | 0. 029 | 0. 014 | 0. 004 |
| 325 | -0. 35 | 2. 454 | 0. 459 | 0. 249 | 0. 122 | 0. 072 | 0. 042 | 0. 024 | 0. 016 |
| 327 | -0. 99 | 4. 440 | 0. 423 | 0. 248 | 0. 161 | 0. 097 | 0. 055 | 0. 024 | 0. 003 |

MOYENNES---> 2. 340 0. 455 0. 261 0. 141 0. 074 0. 037 0. 018 0. 009

PROBABILITE D'UN AFFAIBLISSEMENT DU SIGNAL DE "X" DB SOUS LA MOYENNE

Type de milieu: ouvert

Variations rapides

Fichiers 1984

Separation: linéaire

Fichier Moyenne Ecart-type
(dB) (dB)

Probabilite -

| | | | 0. 0 | 0. 5*ET | 1. 0*ET | 1. 5*ET | 2. 0*ET | 2. 5*ET | 3. 0*ET |
|-------------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 329 | -0. 68 | 3. 437 | 0. 418 | 0. 250 | 0. 148 | 0. 087 | 0. 055 | 0. 031 | 0. 006 |
| 333 | -0. 49 | 2. 852 | 0. 455 | 0. 256 | 0. 134 | 0. 064 | 0. 036 | 0. 026 | 0. 018 |
| 352 | -0. 14 | 1. 459 | 0. 482 | 0. 288 | 0. 153 | 0. 082 | 0. 033 | 0. 010 | 0. 003 |
| 364 | -0. 86 | 4. 151 | 0. 429 | 0. 278 | 0. 171 | 0. 090 | 0. 042 | 0. 017 | 0. 005 |
| 366 | -1. 09 | 4. 583 | 0. 439 | 0. 287 | 0. 168 | 0. 089 | 0. 039 | 0. 015 | 0. 004 |
| 368 | -0. 57 | 3. 309 | 0. 422 | 0. 252 | 0. 144 | 0. 086 | 0. 051 | 0. 026 | 0. 012 |
| 370 | -0. 68 | 3. 459 | 0. 475 | 0. 324 | 0. 186 | 0. 076 | 0. 022 | 0. 005 | 0. 001 |
| 372 | -0. 70 | 3. 664 | 0. 429 | 0. 264 | 0. 163 | 0. 097 | 0. 048 | 0. 016 | 0. 004 |
| 374 | -0. 62 | 3. 414 | 0. 449 | 0. 280 | 0. 163 | 0. 089 | 0. 043 | 0. 014 | 0. 002 |
| 382 | -1. 05 | 4. 464 | 0. 444 | 0. 273 | 0. 157 | 0. 092 | 0. 051 | 0. 018 | 0. 003 |
| MOYENNES--> | | 3. 479 | 0. 444 | 0. 275 | 0. 159 | 0. 085 | 0. 042 | 0. 018 | 0. 006 |

PROBABILITE D'UN AFFAIBLISSEMENT DU SIGNAL DE "X" DB SOUS LA MOYENNE

Type de milieu: suburbain

Variations: rapides

Fichiers 1984

Separation: lineaire

Fichier Moyenne Ecart-type
(dB) (dB)

Probabilite

| | | | 0. 0 | 0. 5*ET | 1. 0*ET | 1. 5*ET | 2. 0*ET | 2. 5*ET | 3. 0*ET |
|-------------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 203 | -0. 92 | 4. 114 | 0. 436 | 0. 287 | 0. 167 | 0. 091 | 0. 038 | 0. 015 | 0. 003 |
| 217 | -0. 67 | 3. 555 | 0. 439 | 0. 277 | 0. 170 | 0. 089 | 0. 041 | 0. 018 | 0. 007 |
| 219 | -0. 61 | 3. 332 | 0. 449 | 0. 284 | 0. 166 | 0. 086 | 0. 040 | 0. 012 | 0. 002 |
| 223 | -0. 45 | 2. 862 | 0. 481 | 0. 304 | 0. 165 | 0. 083 | 0. 028 | 0. 004 | 0. 000 |
| 229 | -0. 38 | 2. 497 | 0. 476 | 0. 305 | 0. 171 | 0. 086 | 0. 029 | 0. 006 | 0. 000 |
| 231 | -0. 19 | 1. 785 | 0. 461 | 0. 294 | 0. 161 | 0. 080 | 0. 033 | 0. 010 | 0. 003 |
| 233 | -0. 15 | 1. 595 | 0. 466 | 0. 287 | 0. 150 | 0. 071 | 0. 032 | 0. 015 | 0. 005 |
| 285 | -0. 24 | 2. 064 | 0. 469 | 0. 262 | 0. 129 | 0. 061 | 0. 029 | 0. 016 | 0. 010 |
| 283 | -0. 38 | 2. 676 | 0. 421 | 0. 224 | 0. 131 | 0. 079 | 0. 050 | 0. 031 | 0. 017 |
| 278 | -0. 86 | 4. 010 | 0. 437 | 0. 279 | 0. 168 | 0. 090 | 0. 042 | 0. 015 | 0. 004 |
| 255 | -0. 07 | 1. 138 | 0. 470 | 0. 258 | 0. 132 | 0. 063 | 0. 034 | 0. 018 | 0. 010 |
| 249 | -0. 36 | 2. 450 | 0. 505 | 0. 335 | 0. 177 | 0. 062 | 0. 015 | 0. 004 | 0. 000 |
| 239 | -0. 02 | 0. 575 | 0. 507 | 0. 308 | 0. 144 | 0. 066 | 0. 030 | 0. 009 | 0. 003 |
| 299 | -0. 38 | 2. 656 | 0. 441 | 0. 241 | 0. 140 | 0. 087 | 0. 038 | 0. 017 | 0. 009 |
| 304 | -0. 15 | 1. 636 | 0. 451 | 0. 245 | 0. 124 | 0. 056 | 0. 026 | 0. 014 | 0. 009 |
| 307 | -0. 89 | 4. 179 | 0. 409 | 0. 225 | 0. 119 | 0. 070 | 0. 039 | 0. 028 | 0. 018 |
| 309 | -0. 52 | 3. 024 | 0. 420 | 0. 231 | 0. 126 | 0. 067 | 0. 036 | 0. 025 | 0. 018 |
| 317 | -0. 84 | 4. 120 | 0. 413 | 0. 246 | 0. 133 | 0. 078 | 0. 051 | 0. 033 | 0. 017 |
| 319 | -0. 88 | 4. 268 | 0. 430 | 0. 258 | 0. 158 | 0. 090 | 0. 043 | 0. 017 | 0. 009 |
| 331 | -0. 34 | 2. 482 | 0. 424 | 0. 263 | 0. 159 | 0. 091 | 0. 043 | 0. 018 | 0. 006 |
| 362 | -0. 91 | 4. 263 | 0. 407 | 0. 235 | 0. 148 | 0. 094 | 0. 050 | 0. 026 | 0. 013 |
| MOYENNES--> | | 2. 823 | 0. 448 | 0. 269 | 0. 149 | 0. 078 | 0. 036 | 0. 017 | 0. 008 |

PROBABILITE D'UN AFFAIBLISSEMENT DU SIGNAL DE "X" DE SOUS LA MOYENNE

Type de milieu: urbain dense

Variations: rapides

Fichiers 1984

Separation: linéaire

Fichier Moyenne Ecart-type (dB) (dB)

Probabilité

Chapitre 4

CONCLUSION

Le présent rapport représente un point culminant dans la collaboration qui s'est établie depuis plusieurs années entre le Laboratoire de propagation radioélectrique du CRC et des chercheurs du département de génie électrique de l'Université Laval. Ce rapport fait état d'une part, du traitement statistique important réalisé à partir des données de la campagne de mesure de l'été 1984, et d'autre part, de l'instrumentation sophistiquée qui a été développée en vue de la dernière campagne de mesure à l'automne 1985 de même que des résultats préliminaires sur les caractéristiques des séquences d'erreurs enregistrées à 10 kbits/s.

En ce qui concerne le traitement des données de la campagne de mesure de 1984, un ensemble de 90 fichiers correspondant à des milieux ouverts, 21 fichiers correspondant à des milieux suburbains, 7 fichiers de milieux urbains à faible densité et 4 fichiers de milieux urbains à densité moyenne a été traité.

En vue d'obtenir des résultats qu'il serait possible de généraliser, les données ont tout d'abord été transformées d'une échelle en fonction du temps à une échelle en fonction de la position, après avoir eu recours à des procédures de lissage qui permettaient d'adoucir l'information sur le déplacement et de filtrer les distorsions remarquées dans la rotation de l'odomètre.

Une méthode nouvelle a été développée et utilisée en vue de séparer, par un filtre passe-bas à phase linéaire avec une fréquence de coupure de $0.125 \text{ cycle}/\lambda$, la composante à variation lente et la composante à variation rapide.

L'analyse de résultats fait ressortir le fait que, les affaiblissements lents lorsque le niveau du signal reçu est exprimé en dB, suivent bien une loi normale. À partir des résultats obtenus à date, il ne semble pas y avoir de tendances ou de différences systématiques lorsqu'on change de type de milieu.

En ce qui concerne les affaiblissements rapides, on remarque, lorsqu'on passe d'un milieu ouvert à un milieu urbain, que la variance tend à augmenter de façon importante. Du côté du type de distribution, le canal se comporterait plutôt selon une loi de Rice que selon une loi de Rayleigh.

Ces travaux de modélisation statistique doivent être poursuivis. D'une part, la proportion des fichiers représentatifs de milieux urbains dans les données traitées était assez limitée. Il sera possible de corriger cette situation en traitant de la même façon les données prises en 1985, données qui ont surtout été prises en milieu urbain. Les données de la campagne de mesure de 1983 doivent également être traitées mais, dans ce cas, le taux d'échantillonnage n'était pas assez élevé en relation avec la vitesse de l'unité mobile pour permettre de suivre fidèlement le signal dans le temps et de séparer les composantes à variation lente et rapide: les comparaisons devront donc se limiter à celles qui peuvent se faire à partir des distributions globales du niveau du signal reçu.

Ce rapport contient également une description détaillée de l'appareillage de transmission, de réception et d'acquisition de signal développé et utilisé pour la campagne de mesure de 1985. Cet appareillage se distinguait de celui utilisé précédemment par le taux d'échantillonnage du niveau du signal reçu qui a été augmenté à 10 kHz au lieu de 100 Hz. L'appareillage permettait d'enregistrer comme précédemment le déplacement de l'unité mobile et, en plus, le niveau du bruit dans une bande adjacente; finalement, la porteuse était modulée en phase par une séquence binaire pseudo-aléatoire au taux de 10 kHz, ce qui permettait de mesurer des séquences d'erreurs.

Le traitement préliminaire réalisé à date sur ces séquences d'erreurs tente de faire ressortir les caractéristiques des salves d'erreurs. Pour

différents enregistrements de séquences d'erreurs, on peut montrer l'influence de codes algébriques simples et de l'entrelacement de bits. L'analyse ultérieure des résultats devrait permettre d'établir des correlations utiles entre les caractéristiques des séquences d'erreurs et les conditions de propagation.

De nombreux travaux restent à faire en vue de traiter les données de propagation résultant de la campagne de mesure de 1985. Tout d'abord, il faudra compléter le travail d'analyse des séquences d'erreurs et faire une modélisation statistique du canal radio-mobile numérique qu'on pourra relier aux mesures de niveau du signal reçu et de niveau de bruit. De plus, tel que déjà mentionné, il sera intéressant de compléter le travail de modélisation sur les propriétés statistiques des composantes à variation lente et à variation rapide du signal reçu.

Références

- [1] M. Lecours, J.Y. Chouinard, G.Y. Delisle, J. Roy, "Statistical modeling of a mobile radio channel", IEEE 1986 Veh. Technol. Conf., Dallas, May 1986.
- [2] G.Y. Delisle, JP. Lefevre, M. Lecours, J.Y. Chouinard, "Propagation loss prediction: A comparative study with application to the mobile radio channel", IEEE Trans. Veh. Technol., Vol VT-34, N° 2, May 1985, pp. 86-96.
- [3] J.Y. Chouinard, M. Lecours, G.Y. Delisle, "Applications of propagation measurement results to digital mobile radio systems performance studies", International Symposium on Antennas and Propagation, Kyoto, Japan, August 1985, pp. 565-568.
- [4] K. Feher, "Digital communications: satellite/earth station engineering", Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., pp. 134-142, 1983.
- [5] G.Y. Delisle, M. Lecours, J.Y. Chouinard, "Etude des problèmes de propagation associés aux stations émettrices et mobiles terrestres en milieu urbain", rapport final LRTS-84-8205, contrat OST83-0071, Ministère des communications, mars 1984.
- [6] W.C.Y. Lee, "Estimate of local average power of a mobile radio signal", IEEE Trans. Veh. Technol., Vol VT-34, N° 1, February 1985, pp. 22-27.
- [7] R.C. French, "Error rate predictions and measurements in the mobile radio data channel", IEEE Trans. Veh. Technol., Vol VT-27, N° 3, August 1978, pp. 110-116.

APPENDICE A

Publications récentes issues des présents travaux

STATISTICAL MODELING OF A MOBILE RADIO CHANNEL

M. Lecours, J.-Y. Chouinard, G.Y. Delisle, J. Roy

Electrical Engineering Department
Laval University,

ABSTRACT

In this paper, comprehensive propagation loss measurements taken in the Ottawa region during the summers of 1983, 1984 and 1985 in the 900 MHz frequency band are reported and discussed. A new approach used to separate by filtering the slow and rapid variations components, is defined and described in details. Significant statistical parameters for a mobile radio channel, such as the mean, the standard deviation of the signals, the level crossing rates and the fading distances are presented.

PROPAGATION MEASUREMENTS

An adequate knowledge of the transmission channel is required to establish relations between propagation conditions and communications systems performance, particularly for the optimization of communications systems design. This question is of particular interest in mobile radio, due to the rapid development of advanced mobile radio systems and also to the important demand for more performant mobile radio services.

Propagation loss measurements have been taken in the Ottawa region during the summers of 1983, 1984 and 1985 in the 900 MHz frequency band, through the technical support and facilities of the Communications Research Center (CRC), Ottawa, Canada. The Ottawa region offers a mixture of urban, suburban and open areas as well as flat open and hilly wooded country. The measurements were made with the base antenna located on top of one of the CRC buildings in a fairly open area some 17 kilometers from the city center, while the receiving antenna was located on top of a mobile unit at a height of 3.8 meters above ground level. The initial measurements made in 1983 and 1984 at a frequency of 910 MHz consisted of the received signal levels sampled at intervals of 10 ms and of simultaneous recordings of vehicle displacement; these measurements were enhanced in the summer of 1985 by increasing the sampling rate for the signal level measurements

from 100 Hz to 10 kHz, by adding a BPSK modulated 10 kHz pseudo random binary sequence on top of a 890 MHz carrier and by recording the noise level in an adjacent band.

The first series of measurements, in 1983, were taken over a set of 50 routes, 400 to 4000 meters long, with the vehicle moving at a mean speed of the order of 30 km/h in different areas which can be classified as urban, suburban and open. For the second series of measurements, in 1984, the vehicle speed was reduced to some 5 to 10 km/h in order to ensure adequate sampling of the nulls with the sampling rate available, and the region was systematically covered by recording 6000 data points at each kilometer along 8 routes extending radially in different directions from the base antenna, as shown in Fig. 1. In 1985, this data was complemented by a series of recordings mainly representative of urban areas.

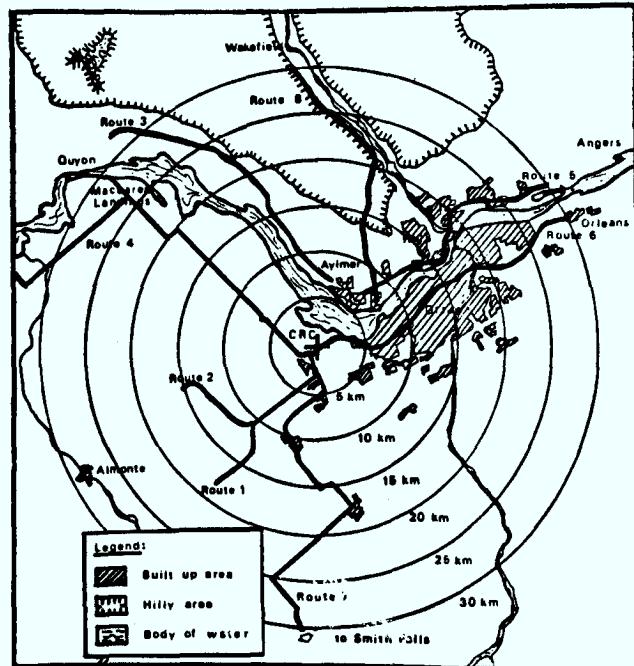


Figure 1 - Area covered by the 1984 measurement campaign

This work was financed by the Department of Communications, Ottawa, Canada and by a strategic grant from the Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada.

The experimental set-up used for the measurement campaigns of 1983 and of 1984 is illustrated on Fig. 2. A rubidium frequency standard generates a highly stable 5 MHz signal, which serves as reference for the frequency synthesizer producing the 70 MHz IF frequency. A frequency multiplier is used to generate a 840 MHz signal. It is mixed with the 70 MHz IF frequency to produce the 910 MHz RF carrier which is passed through a 45 MHz image rejection filter. Two amplification stages are used to obtain an output power of 10 watts and the unmodulated carrier is transmitted through an omnidirectional antenna having a gain of 9 dB.

This transmitting antenna is located on top of one of the CRC buildings at a height of 33.5 meters in a fairly open area some 17 km from the city center. In the direction of the city, the terrain elevation varies between 50 and 100 meters above sea level, so that in general, paths in this direction can be considered as unobstructed by topographical obstacles.

The receiving system illustrated on Fig. 2 uses an omnidirectional vertical monopole of unity gain located 3.8 meters over the ground level. The signal is filtered and amplified and a variable attenuator can be used to prevent saturation when in the vicinity of the transmitter. The receiver generates an automatic gain control (AGC) voltage, which is function of the received signal power and its dynamic range exceeds 70 dB.

The data acquisition system samples every 10 ms the ACC voltage, and records the output of a 7-bit A/D converter. The position of the mobile unit is indicated by a 16 bit counter linked to an odometer calibrated to generate a pulse at every 5 cm.

For the 1985 measurement campaign, the transmission-reception system and the data acquisition system have been modified as illustrated on Figs. 3, 4 and 5.

At the transmitter, a pseudo-random binary sequence is differentially encoded to eliminate the phase ambiguity inherent to BPSK modulation. To reduce the communication system bandwidth, a pulse shaper is used prior to the first mixer. The resultant 890 MHz carrier is then smoothly phase modulated by the shaped and differentially encoded digital stream. The PRBS transmission rate is fixed at 10 kbits/s. Finally, after being bandpass filtered to remove image frequencies, the signal is amplified and transmitted through an omnidirectional antenna.

On the receiving side, two receivers are used, one tuned to the carrier frequency and the other one slightly off-tuned for noise level measurements. After being down-converted to an IF frequency of 21.4 MHz, the received signal is demodulated and differentially decoded to produce an estimate of the original pseudo-random data. This new sequence is then compared with a replica of the original PRBS. A pseudo-random binary sequence detector then compares the original and received sequences to generate an error sequence.

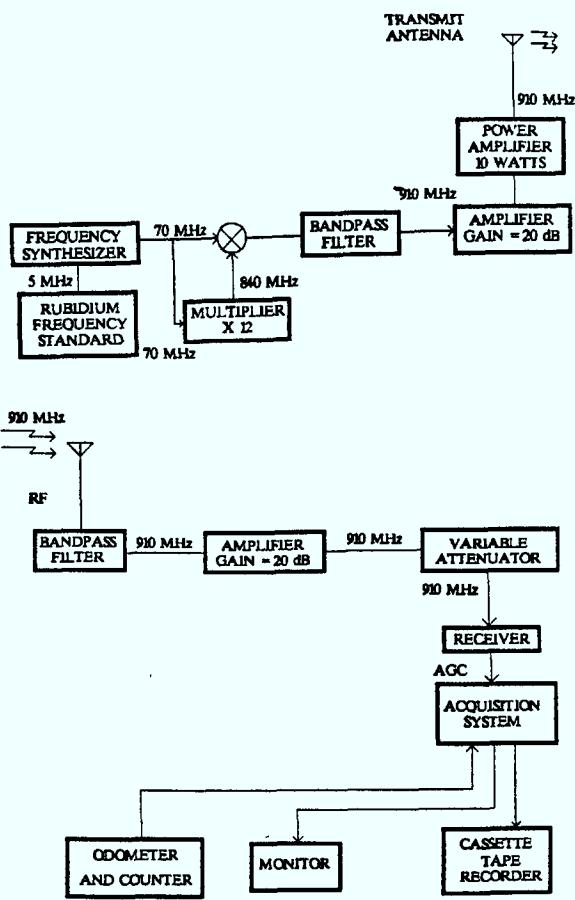


Figure 2 - CW transmitting and receiving equipment

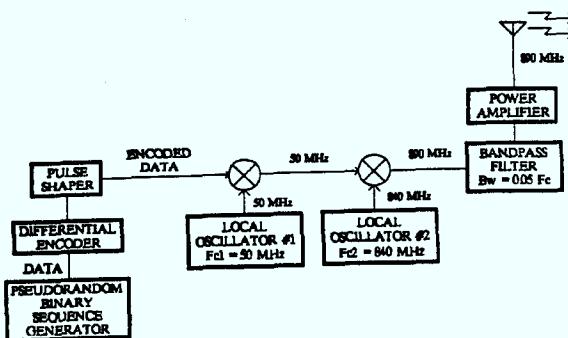


Figure 3 - DPSK transmitter

At the data acquisition level, the measured data is sampled at a rate of 10 kHz and encoded in the format of 24-bit words for each sample: the received power level of the carrier channel and of the noise channel are encoded with 7 bits each, 8 bits are used to encode the odometer information, one bit to indicate the absence or presence of an error

in the recovered binary sequence and the last bit (a framing bit) is set to 1. The data acquisition system uses a specialized micro-processor operating under the control of a micro-computer: under a data transfer request from the IBM-PC micro-computer, the AIM-65 micro-processor transfers the 24-bit words in real time in its RAM memory. Once the measurement has been completed, the micro-computer records all the data stored in the RAM of the micro-processor on a floppy disk for further processing.

DATA AND SIGNAL PROCESSING

The first series of measurements, in 1983, were taken over a set of 50 routes, 400 to 4000 meters long with the vehicle subject to normal traffic conditions, with speeds between 0 and 90 km/h, the average being of the 30 km/h. Some of the results have been used for comparative studies of propagation loss prediction methods [1]. The sampling rate for this data, however, is too low relative to the speed of the mobile unit to provide adequate description of signal level in function of time, but it can be used to study the characteristics of the fading probability density in different types of areas.

We have then concentrated on the analysis of the 1984 data for which, in order to obtain sufficient sampling resolution with a sampling rate of 100 samples per second, the speed of the vehicle was limited to something of the order of 10 km/h. For instance, for a wavelength of .33 meter corresponding to a frequency of 910 MHz, a vehicle moving at 6 km/h covers 1.67 meter per second: a sampling rate of 100 per second gives then 20 samples per wavelength; at double that speed, one would still obtain some 10 samples per wavelength. The sampling rate is then more than sufficient to follow the peaks and hollows of the fading, which are expected to appear at every wavelength.

Obviously, if the minima in the fading were extremely sharp and narrow, even 10 or 20 samples per wavelength might not be sufficient to follow them. Even if these events were rare, we would be dealing then with data slightly truncated or distorted by sampling. By plotting the data sample per sample in a number of instances, it was possible to check that the sampling rate was sufficient to follow the flattening in the bottom of the minima. This is obviously not an absolute guarantee that the sampling rate was sufficient in all instances, but it is at least an indication that, if there was undersampling, it must have occurred very seldom.

Converting data vs time into data vs position

To obtain information about the fading signal or the signal strength in function of time corresponds of course to the real situation in which a mobile unit operates. On the other hand, statistical modeling of signal strength in function of time is somewhat unsatisfactory unless driving conditions are controlled. Statistical modeling in function of position is appropriate in order to be able to generalize the results.

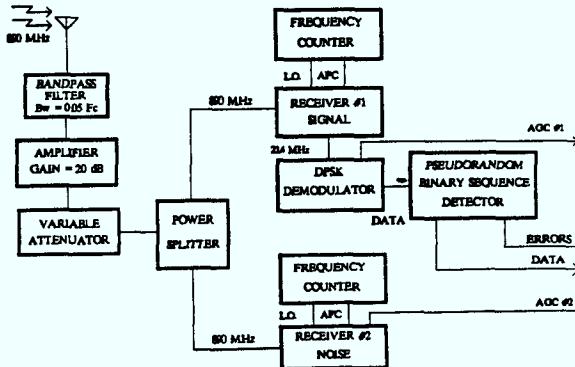


Figure 4 - Receiver system for data and noise

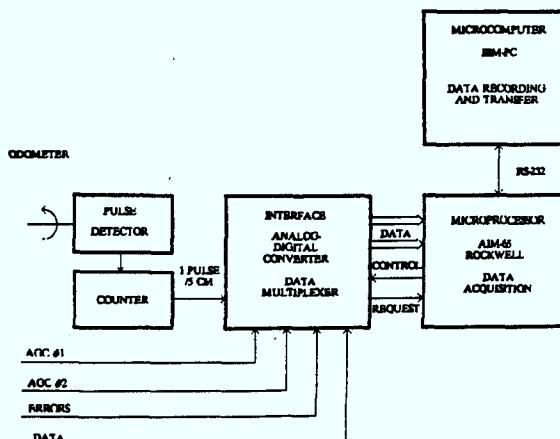


Figure 5 - Data acquisition system

As mentioned earlier, the data acquisition system was sampling every 10 ms the signal level as well as the output of a digital odometer, calibrated to generate a pulse for every 5 cm displacement. At the speeds considered here, the counter at the output of the odometer stayed at the same value for a few samples, was then incremented and stayed at that value for a number of samples until it was incremented again, and so on. Some smoothing or interpolation is then required for the displacement information.

In order to achieve this smoothing of the displacement information, the use of a digital filter appeared convenient. Moreover, the odometer cable and system being a mechanical device subject to torsion and friction, its rotation proved not to be smooth enough to be used directly to derive instantaneous vehicle speed information without some processing. As a matter of fact, even small irregularities in the rotation of the odometer will produce important fluctuations in the instantaneous speed estimates.

In order to filter the position information and smooth it at the same time, a low-pass Finite Impulse Response filter with a Hanning window was

adopted after a number of trials: the cut-off frequency was set to 0.3 Hz, the stop-band frequency to 0.6 Hz with an attenuation of 44 dB in the stop-band. This linear phase filter causes a fixed delay at all frequencies, which is essential in order to be able to convert the signal strength vs time recordings into signal strength vs position information without distortion. This filter, however, has a length of 1335 samples and causes a delay corresponding to 667 samples: therefore, for each file of 6000 samples, 5333 could be recuperated at the output of the filter.

Figure 6 shows, for a typical data file, the instantaneous amplitude in dBm in function of time, as well as the average speed of the mobile unit as computed from the position information processed in the way explained above. This data could then be converted into recordings of amplitude in function of position, as will be illustrated on Fig. 7.

Separation of slow and rapid variations

It is widely admitted that the signal received by a mobile unit can be considered as the superposition of a slowly varying signal described by a log-normal probability density, and of a rapidly varying signal with a Rayleigh probability density.

Methods have been proposed to estimate the "local mean" of the signal received by a mobile unit, and it has been shown [2] that good estimates of the "local mean" can be obtained with data corresponding to intervals 40 to 200 λ long.

An other approach has been explored in our work, namely, filtering in order to separate the slowly and the rapidly varying components of the signal. The principle is simple: the signal is low-pass filtered in order to obtain the slowly varying component, the rapidly varying component being the difference between the original signal and the slowly varying component.

The filtered signal, however, is now a function of position instead of time. One can then introduce the concept of a "position frequency" f_p (cycles/meter) instead of a "time frequency" f_t both of which are related as follows through the speed v_m (km/h) of the mobile unit:

$$f_p = \frac{3.6 f_t}{v_m}$$

The next step is to decide on a suitable cut-off frequency of the low-pass filter. How many cycles per meter would be a suitable value for the cut-off "position frequency" f_p ? The minima in the rapid variations appear in principle for every λ of length: at 910 MHz, the wavelength has a value of .33 meters and the fundamental "position frequency" of the rapid variations is then of the order of 3 cycles per meter. A value 5 to 10 times lower of .3 or .6 cycle per meter would appear to be a suitable choice for the cut-off frequency of the low-pass filter whose output is to be the slow variation signal: this, in turn, means that the shortest periodic movement included in the slow variations is of the order of one meter.

Since the rate of occurrence of the minima in the rapid variations is essentially related to wavelength, it was finally resolved to choose a cut-off frequency which could be conveniently expressed as a function of wavelength. Since .3 or .6 cycle per meter correspond at 910 MHz approximately to .1 or .2 cycle per λ , the cut-off frequency was finally chosen after a number of trials to be at a value of .125 cycle/ λ , with the thought that the same or a similar criterion would be applicable at other frequencies.

The stop-band frequency of the filter was selected to be 1.5 times the cut-off frequency, which

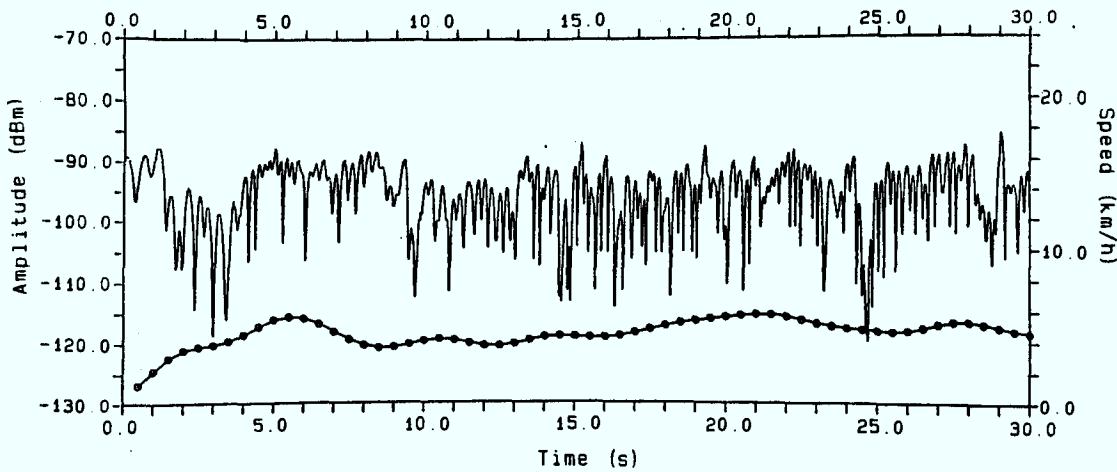


Figure 6 - Signal amplitude (dBm) and speed of the mobile unit (km/h) in function of time.

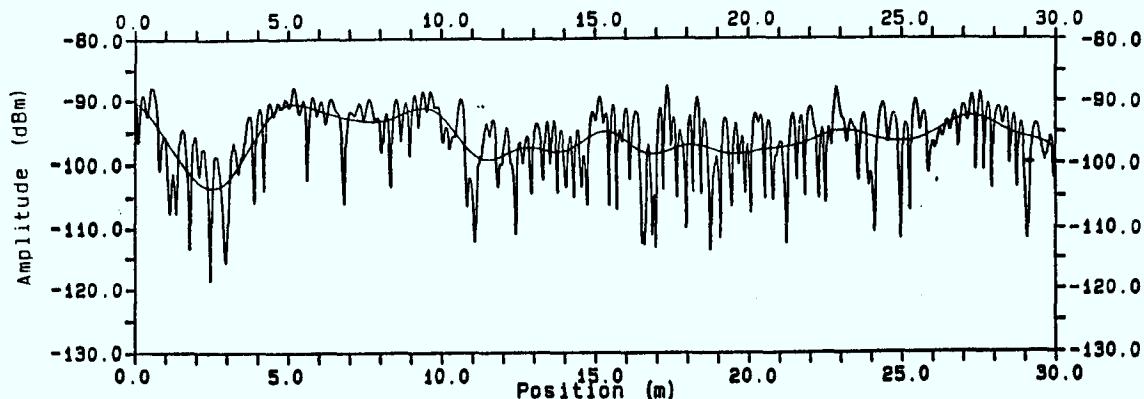


Figure 6 - Amplitude (dBm) of the signal and of its slow variation component in function of position (m).

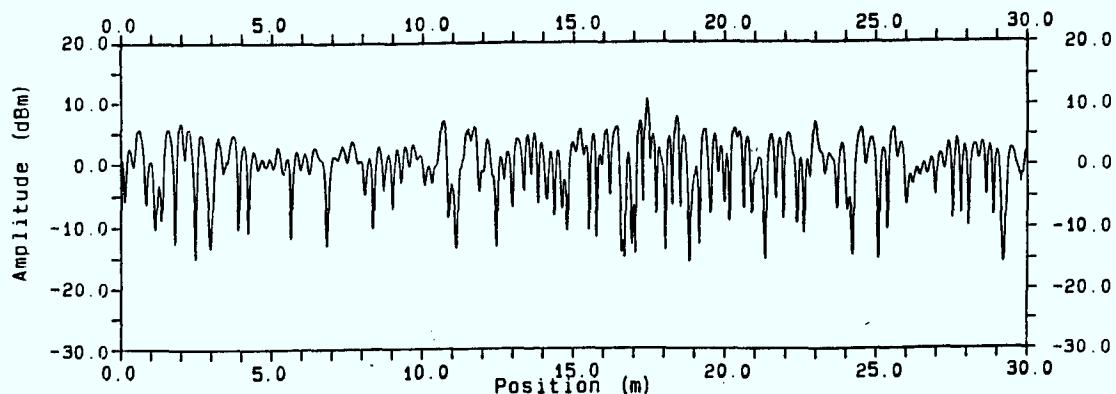


Figure 7 - Amplitude (dBm) of the rapid variation component in function of position (m).

corresponds to a frequency of .1875 cycle/ λ . With a linear phase filter of the same type as previously described, one obtains a filter of 1281 samples in length, hence with a delay of 640 samples (or 10.55 meters as can be estimated from the next paragraph).

Finally, the data samples which have been converted from a time scale to a position scale are not equally spaced any more and their periodicity must be restored prior to filtering. This can easily be done by a simple interpolation and, in the case of the available data, it was convenient to take an interval of $\lambda/20$ between samples.

RESULTS

Figure 7 shows a typical recording of instantaneous amplitude as a function of position. Superposed on the recording is the slow variation signal obtained at the output of the low-pass filter described above and which nicely follows the slow variations in the amplitude level. Its average value is very close to the average value of the instantaneous amplitude signal: in fact, for all the data analyzed, the average values were almost identical.

Figure 8 shows the rapid variation signal for the same recording: it is the difference between the instantaneous signal amplitude and the slow variation signal. It can be appreciated that its average value is very nearly zero dB, as was the case for all the processed data.

A complete statistical analysis of this data is very involved. A number of results are now available and will be summarized below.

As mentioned earlier, the 1984 propagation measurements whose processing is discussed consisted of files recorded every kilometer on 8 different routes, 15 to 30 km long, extending more or less radially in different directions from the base station. Some 200 files with the mobile unit in movement were then available. The data from all files has been plotted and, after rejection of those for which there was some irregularities on the data (for instance, missing position information, loss of synchronization, or signal saturation), a total of 122 files were selected for final analysis. Most of these files, 90, corresponded to open areas, with 21, 7 and 4 files corresponding to suburban, low-density urban and urban areas. The 1985 data, which is not processed yet, will supplement the urban area data.

The results of the analysis of the 1984 data, for the slow and rapid variation signals obtained in the manner described above, include computations of mean and standard deviation. They further include Level Crossing Rates and Average Fading Lengths for the mean level and for the mean level plus and minus the standard deviation. In addition, probabilities of fading under the mean for different fading values up to 3 times the standard deviation have been computed. Corresponding histograms are also available for each file.

These results are summarized in Tables 1 and 2. Table 1 gives values of different statistical parameters in different types of areas, and the results

Table 1

Standard Deviations, Mean Level Crossing Rates, and Mean Average Level Fading Lengths for Slow and Rapid Variations in Different Types of Areas.

| type of region | open | sub-urban | urban (low-density) | urban |
|------------------|-------|-----------|---------------------|-------|
| number of files | 90 | 21 | 7 | 4 |
| slow variations | | | | |
| σ | 3.03 | 2.79 | 3.40 | 3.23 |
| σ (min) | .92 | 1.29 | 2.10 | 2.53 |
| σ (max) | 5.68 | 4.17 | 4.29 | 5.04 |
| σ (l.d.) | 1.8 | | | |
| σ (u.d.) | 4.2 | | | |
| MLCR | .119 | .148 | .127 | .112 |
| MLCR (min) | .023 | .031 | .057 | .066 |
| MLCR (max) | .261 | .269 | .213 | .124 |
| MAFL | 5.30 | 3.61 | 4.82 | 5.07 |
| MAFL (min) | 1.735 | 1.91 | 2.38 | 2.97 |
| MAFL (max) | 16.63 | 6.62 | 8.18 | 8.37 |
| rapid variations | | | | |
| σ | 2.51 | 2.80 | 3.22 | 3.71 |
| σ (min) | .98 | 1.14 | 2.64 | 3.31 |
| σ (max) | 4.60 | 4.22 | 3.76 | 4.05 |
| σ (l.d.) | 1.24 | | | |
| σ (u.d.) | 4.05 | | | |
| MLCR | 2.60 | 2.63 | 2.94 | 3.68 |
| MLCR (min) | 1.33 | 1.53 | 2.42 | 2.66 |
| MLCR (max) | 4.33 | 3.52 | 3.52 | 4.66 |
| MAFL | .189 | .186 | .158 | .125 |
| MAFL (min) | .100 | .135 | .124 | .094 |
| MAFL (max) | .357 | .310 | .183 | .158 |

σ : standard deviation (dB); l.d.: lower decile;

u.d.: upper decile;

MLCR: Mean Level Crossing Rate (per meter)

MAFL: Mean Average Fading Length (meters)

for the rapid variations in Table 1 provide interesting indications as to the effect of the type of area: as one moves from an open to an urban area, the standard deviation of the rapid variations tends to increase, as well as the mean level crossing rates. From the results so far for the slow variation component, there is no indication of a systematic tendency or difference between types of region: the type of region does not appear so far to affect in a systematic way the standard deviation, the mean level crossing rates or the mean average fading lengths.

Table 2 summarizes the results for the probability of fading under the mean fading level, for the slow and for the rapid variation signals. These results give an indication as to the type of distribution which characterizes slow and rapid variation signals: the slow variation signal is clearly much more symmetrical around the mean value and more centered around this mean value. For the rapid variation component, while Table 1 indicated that the standard deviation tended to increase as one moved from an open to an urban area, Table 2 indicated that, with a normalized standard deviation, the tails of the distributions for different types of areas are very similar: the comparison with Rician probability densities for various ratios of Direct to Multipath component should be interesting.

Table 2

Probability of a fading X dB under the mean value for the slow and the rapid variations

| type of region | open | sub-urban | urban (low-density) | urban | |
|------------------|------|-----------|---------------------|-------|------|
| number of files | 90 | 21 | 7 | 4 | |
| slow variations | | | | | |
| $X =$ | | | | | |
| 0.0 | | .464 | .485 | .498 | .495 |
| 0.5 σ | | .296 | .310 | .318 | .323 |
| 1.0 σ | | .166 | .164 | .162 | .179 |
| 1.5 σ | | .081 | .076 | .077 | .069 |
| 2.0 σ | | .033 | .028 | .020 | .018 |
| 2.5 σ | | .010 | .005 | .002 | .002 |
| 3.0 σ | | .003 | .001 | .000 | .000 |
| rapid variations | | | | | |
| $X =$ | | | | | |
| 0.0 | | .464 | .463 | .458 | .439 |
| 0.5 σ | | .266 | .278 | .278 | .279 |
| 1.0 σ | | .141 | .149 | .161 | .167 |
| 1.5 σ | | .072 | .075 | .084 | .092 |
| 2.0 σ | | .035 | .034 | .038 | .041 |
| 2.5 σ | | .016 | .015 | .014 | .015 |
| 3.0 σ | | .008 | .006 | .004 | .004 |

FURTHER WORK

Further work is being undertaken in order to process the available data.

Our data can be used to measure local area mean levels and fading probability densities. The values for local area mean levels can be used in conjunction with topographical information; they can also be related to the type of region, to the density of the urban area, street orientation and so on. The probability densities themselves can be compared with different probability densities, and in particular, to Rice probability densities for different Direct to Multipath component ratios.

The 1985 data, most of which consists of recordings in urban areas at a sampling rate of 10 kHz, can be used to supplement the body of data relative to urban areas in the 1984 data. In addition, it includes noise measurements in an adjacent band, as well as error rate information on a 10 kHz pseudo-random sequence BPSK modulated on the carrier: this data is being analyzed for error rate and error burst distribution and it is considered that it can provide a basis for digital mobile-radio channel modeling [3,4].

In the longer term, this data could hopefully also be used as an input to help modelize wideband mobile radio channels and undertake performance studies for high bit rates or even spread spectrum systems [5].

Acknowledgements

The authors wish to acknowledge the continuous and valuable support of the members of the Radio Propagation Laboratory of the Communication Research Center, Ottawa.

References

- [1] G.Y. DELISLE, J.P. LEFEVRE, M. LECOURS, J.-Y. CHOUINARD, "Propagation loss prediction: A comparative study with application to the mobile radio channel", IEEE Trans. Veh. Technol., Vol. VT-34, N° 2, May 1985, pp. 86-96.
- [2] W.C.Y. Lee, "Estimate of Local Average Power of a Mobile Radio Signal", IEEE Trans. Veh. Technol., Vol. VT-34, N° 1, February 1985, pp. 22-27
- [3] J.Y. CHOUINARD, M. GREGOIRE, M. LECOURS, G.Y. DELISLE, "Simulation d'un canal radio-mobile numérique", IEEE Int. Comm. and Energy Conference, Montréal, Québec, October 1984, pp. 229-234.
- [4] J.Y. CHOUINARD, M. LECOURS, G.Y. DELISLE, "Applications of propagation measurements results to digital mobile radio systems performance studies", International Symposium on Antennas and Propagation, Kyoto, Japon, August 1985, pp. 565-568.
- [5] NIYONIZEYE, G., LECOURS, M., HUYNH, H.T., "Mutual Interferences in a binary FH-FSK spread spectrum system for mobile radio", IEEE Trans. Veh. Technol., Vol. VT-34, N° 1, February 1985, pp. 28-34.

Propagation Loss Prediction: A Comparative Study with Application to the Mobile Radio Channel

GILLES Y. DELISLE, MEMBER, IEEE, JEAN-PAUL LEFÈVRE, MICHEL LECOURS, SENIOR MEMBER, IEEE,
AND JEAN-YVES CHOUINARD, STUDENT MEMBER, IEEE

Abstract—A number of statistical models are available in the literature for the prediction and the calculation of transmission loss, but the main differences between them as well as their usefulness in a particular situation is not easy to assess. In this article, the experimental results of Okumura, as seen through the empirical expression derived by Hata, are compared with the models of Egli, Edwards and Durkin, Blomquist and Ladell, and Allsebrook and Parsons. Comparisons are made for the case of an open region and flat terrain, first without and then with inclusion of a statistical estimation of diffraction losses due to terrain in the models of Blomquist and Ladell, Edwards and Durkin, and Allsebrook and Parsons. The study is also extended to cover the case of irregular terrain and urban areas. The method proposed by Hata, based on Okumura's results, and Allsebrook and Parsons' model, which provides an easy way to take into account the influence of buildings are the most complete and it is suggested to use them with the inclusion, as required, of an estimation of diffraction losses due to terrain. As a conclusion, experimental propagation loss measurements taken in the Ottawa region at 910 MHz are presented and are found to fall very nicely in the range predicted by the above-mentioned methods.

I. INTRODUCTION

THE PREDICTION of propagation loss is a central question in the planning of mobile radio services and a number of approaches and statistical models are available in the literature for the prediction and calculation of transmission loss in different conditions. In this paper, comparisons are made between the prediction methods of Okumura [1] and Hata [2], and those of Egli [3], Edwards and Durkin [4], Blomquist and Ladell [5], and Allsebrook and Parsons [6].

Section II of this article presents a brief description of these prediction models, and, in Section III, a direct comparison is made in the case of flat terrain, for an open region and an urban environment; the following section evaluates the effect of including in the models of Blomquist and Ladell, Edwards and Durkin, Allsebrook and Parsons, a statistical estimation of losses due to terrain. Section V is concerned with losses over irregular terrain, and results from measurements by Allsebrook and Parsons, and Blomquist and Ladell, are related to a terrain roughness factor through a simple statistical estimation technique. Finally, in Section VI, experimental propagation loss measurements taken in the Ottawa region at 910 MHz are

Manuscript received May 15, 1984; revised August 23, 1984. This work was supported by the Department of Communications, Ottawa.

G. Y. Delisle, M. Lecours, and J.-Y. Chouinard are with the Department of Electrical Engineering, Laval University, Quebec, Canada. Telephone (418) 656-2141.

J.-P. Lefèvre was with the Department of Electrical Engineering, Laval University, Quebec, Canada. He is now with CIT Alcatel, Centre de la Verrière, France.

related to the prediction methods of Hata and of Allsebrook and Parsons.

It is concluded that these last two methods (Hata and Allsebrook and Parsons) are indisputably the most complete models in themselves, and that they appear to give the most satisfactory results. However, provision must be made to add the estimation of diffraction losses due to irregular terrain as required.

The following terms are used to designate the different types of propagation losses and other parameters:

| | |
|-------------------|--|
| L_F | free space propagation loss (dB) |
| L_P or $L_{P'}$ | plane earth propagation loss (dB) |
| L_D | diffraction losses due to irregular terrain (dB) |
| L_B | propagation losses caused by buildings (dB) |
| L_T | total propagation loss (dB) |
| f_c | frequency (MHz) |
| R | distance between base and mobile station (km) |
| h_b, h_m | base, mobile station effective antenna height (m). |

II. MODELS DESCRIPTION

A number of statistical models are available in the literature for the prediction and the calculation of transmission loss, but the main differences between them as well as their usefulness in a particular situation is not easy to assess. It is important, for mobile radio path loss modeling, that the models specifically include the various parameters relevant to the particular environment, namely urban, suburban or open areas.

However, most propagation models have not been developed specifically for application to the mobile radio channel, but rather in a more general perspective. As a result, there is no absolutely complete model, and each one requires the insertion of one or more parameters in order to be fully applicable to the mobile radio channel. Nevertheless, these models can be used for comparison and they can be complemented by the addition of missing parameters.

A. The Okumura and Hata Prediction Models

In Okumura's prediction method, curves for basic median field strength are given in function of a number of parameters: operating frequency f_c , distance between the base and the mobile station R , antenna height h_b at the base and h_m at the mobile station, and four types of regions. Although its use implies reference to a number of graphs and curves, which is rather cumbersome, it has become classical for the sake of comparisons with other prediction methods. Recently, how-

TABLE I
EXPERIMENTAL FORMULA FOR PROPAGATION LOSS BY HATA [2]

| | |
|------------------|---|
| | $L_p = 69.55 + 26.16 \log_{10} f_c - 13.82 \log_{10} h_b - a(h_m)^*$ $+ (44.9 - 6.55 \log_{10} h_b) \log_{10} R \dots \dots \text{(dB)}$ |
| Urban Area | * Correction factor for the mobile station antenna height in function of the type of urban area: <u>medium-small city</u> $a(h_m) = (1.1 \log_{10} f_c - 0.7)h_m - (1.56 \log_{10} f_c - 0.8)$ <u>large city</u> $a(h_m) = 8.29(\log_{10} 1.54h_m)^2 - 1.1, f_c \leq 200 \text{ MHz}$ $a(h_m) = 3.2(\log_{10} 11.75h_m)^2 - 4.97, f_c \geq 400 \text{ MHz}$ |
| Suburban area | $L_{ps} = L_p \text{ (urban area)} - 2\{\log_{10}(f_c/28)^2\} - 5.4 \dots \dots \text{(dB)}$ |
| Open area | $L_{po} = L_p \text{ (urban area)} - 4.78 (\log_{10} f_c)^2$ $+ 18.33 \log_{10} f_c - 40.94 \dots \dots \text{(dB)}$ |

f_c : frequency (MHz);

h_b, h_m : base, mobile station effective antenna height(m);

R : distance between antennas (km).

ever, Hata [2] has considerably improved its practical value by deriving empirical analytical expressions corresponding to Okumura's original results; these expressions, which have been used for the present paper, have been summarized by Hata as in Table I.

The basic conditions underlying Okumura's prediction model can be summarized as follows:

- 1) propagation losses are computed between isotropic antennas;
- 2) smooth terrain is assumed and the additional losses due to obstacles are not taken into account;
- 3) the basic formulation for propagation losses is established for the urban environment and, for the other cases, a correction must be introduced.

B. Egli's Model

One of the best known statistical models for predicting propagation loss in the urban or rural environment is due to Egli [3]. As in the case of Okumura and Hata, it does not include diffraction losses caused by propagation over irregular terrain; however, Okumura implicitly takes into account the effects of buildings, which is not the case for Egli. An initial comparison between the two models can then be made for open (rural) areas where both models neglect diffraction losses.

According to Egli, propagation losses are expressed as

$$L_T = 20 \log_{10}(f_c) + 40 \log_{10}(R) - 20 \log_{10}(h_b) \\ + \begin{cases} 76.3 - 10 \log_{10}(h_m), & h_m \leq 10 \\ 85.9 - 20 \log_{10}(h_m), & h_m \geq 10 \end{cases} \text{ (dB).} \quad (1)$$

An initial comparison between the models of Hata and Egli can then be made for open regions where both models are applicable and neglect diffraction losses due to irregular terrain.

One point to note is that while Egli predicts the average signal strength will decrease with distance at the rate of 40 dB/decade, Hata uses a rate depending on the base station antenna effective height, i.e., $44.9 - 6.55 \log_{10} h_b$ dB/decade; a 30 m height leads to a loss a 35.2 dB/decade and 70 m to a calculated loss of 32.8 dB/decade. Such figures can be compared to values quoted by other researchers, for example to the 38.4 dB/decade quoted by Ott and Plitkins [7] for Philadelphia and to the 40 dB/decade estimated for the Bell System AMPS experiments [8].

C. The Edwards and Durkin Prediction Model

In the model of Edwards and Durkin, it is first established that the total propagation loss is between $(L_F + L_D)$ and $(L_P + L_D)$. The expression used for L_F is exact and classical (9)

TABLE II
EXPERIMENTAL FORMULA FOR PROPAGATION LOSS FOLLOWING
BLOMQUIST AND LADELL [5]

$$L_T = \begin{cases} L_F + (F_B^2 + L_D^2)^{\frac{1}{2}} & , F_B \leq 0 \\ L_F + (F_B^2 - L_D^2)^{\frac{1}{2}} & , F_B > 0, \leq |L_D| \\ L_F - (F_B^2 - L_D^2)^{\frac{1}{2}} & , F_B > 0, > |L_D| \end{cases}$$

where

$$L_F = 32.45 + 20 \log_{10}(f_c) + 20 \log_{10}(R) \quad (\text{dB})$$

for isotropic antennas

$$F_B = 10 \log_{10} \left| \left(\frac{4\pi h_b^2}{\lambda d} + \frac{\lambda \epsilon_b^2}{\pi d(\epsilon_b - 1)} \right) \left(\frac{4\pi h_m^2}{\lambda d} + \frac{\lambda \epsilon_m^2}{\pi d(\epsilon_m - 1)} \right) \right| + Y$$

$$Y = \begin{cases} -2.8x & , x < .53 \\ 6.7 + 10 \log_{10} x - 10.2x & , .53 \leq x < 2 \end{cases}$$

$$x = (2\pi/\lambda)^{1/3} (k_a)^{2/3} d$$

L_T : total loss (dB); L_F : free space loss (dB);
 F_B : propagation factor (dB); L_D : diffraction loss (dB);
 Y : correction factor (dB); f_c : frequency (MHz);
 R : distance between antennas (km); h_b, h_m : base, mobile
station effective antenna heights (m); λ : wavelength (m);
 d : distance between antennas (m) = 10DOR;
 a : earth radius (6.371×10^6 m);
 k : earth radius factor (4/3 for standard radio atmosphere);
 ϵ_b, ϵ_m : dielectric constants at the base and mobile stations
normally taken as 10 over dry terrain).

and is given by

$$L_F = K_1 + 20 \log_{10}(f_c) + 20 \log_{10}(R) \quad (\text{dB}). \quad (2)$$

K_1 having a value of 28.85 dB for half-wave dipoles and of 32.45 dB for isotropic antennas. For L_P , Edwards and Durkin use an empirical but well-known expression from Bullington [10]:

$$L_P = K_2 - 20 \log_{10}(h_m) - 20 \log_{10}(h_b) + 40 \log_{10}(R) \quad (\text{dB}). \quad (3)$$

K_2 having a value of 115.1 dB for transmission between two half-wave dipoles and a value of 118.7 dB in the case of isotropic antennas. It is shown that for most cases,

$$L_T = L_P + L_D \quad (4)$$

gives values which are near the experimental measurements and this last expression is retained.

D. The Blomquist and Ladell Prediction Model

Blomquist and Ladell consider the same types of losses, but combined differently. The total propagation loss, for the computation of which detailed formulas are presented in Table

II, is given by an expression of the following type:

$$L_T = L_F \pm (F_B^2 \pm L_D^2)^{1/2} \quad (\text{dB}) \quad (5)$$

where F_B is a correction term for earth curvature, the effect of the troposphere and, in general, any factor apart from diffraction over irregular terrain responsible for the difference between actual losses and basic free space losses; this term is normally negative, for which case the positive signs in (5) are retained, and the total loss L_T can then be thought of as corresponding to the following expression:

$$L_T = L_F + ((L_P' - L_F)^2 + L_D^2)^{1/2} \quad (\text{dB}). \quad (6)$$

One clearly sees that the computed total loss will never be lower than the one estimated for free space; moreover, when diffraction losses are equal to zero, this result is similar to the one of Edwards and Durkin and it would in fact be identical if the same formula was used to estimate L_P (Edwards and Durkin) and L_P' (Blomquist and Ladell).

E. The Allsebrook and Parsons Model

In a study subsequent to that of Blomquist and Ladell, Allsebrook and Parsons have used for computing losses a

model expressed by

$$L_T = L_F + ((L_P' - L_F)^2 + L_D^2)^{1/2} + L_B + \gamma \quad (\text{dB}) \quad (7)$$

in which one recognizes the Blomquist and Ladell model, plus two additional terms:

- L_B accounts for additional losses due to buildings in an urban environment and is approximated by

$$L_B = 20 \log_{10} \left\{ \frac{h_0 - h_m}{548 \sqrt{(d_2 \times 10^{-3}) f_c}} \right\} + 16 \quad (\text{dB}) \quad (8)$$

where h_0 is the average height of buildings in the neighborhood of the mobile station (in meters), and d_2 the average street width (in meters);

- γ , a VHF correction factor, for frequencies higher than 200 MHz.

III. DIRECT COMPARISONS

It is then possible to compare directly and without modifications the different transmission loss prediction models in the following conditions.

Comparisons in open region

- Hata
- Egli
- Edwards and Durkin, plane earth ($L_D = 0$)
- Blomquist and Ladell, plane earth ($L_D = 0$)

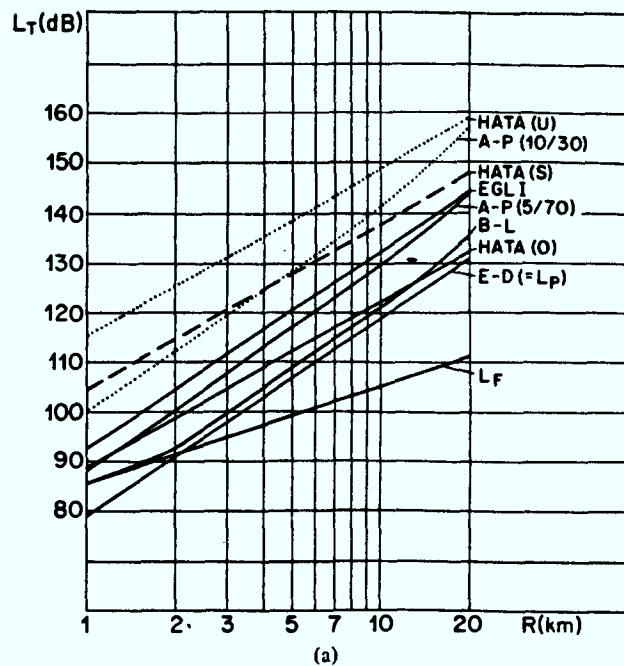
Comparisons in urban environment

- Hata
- Allsebrook and Parsons, plane earth ($L_D = 0$).

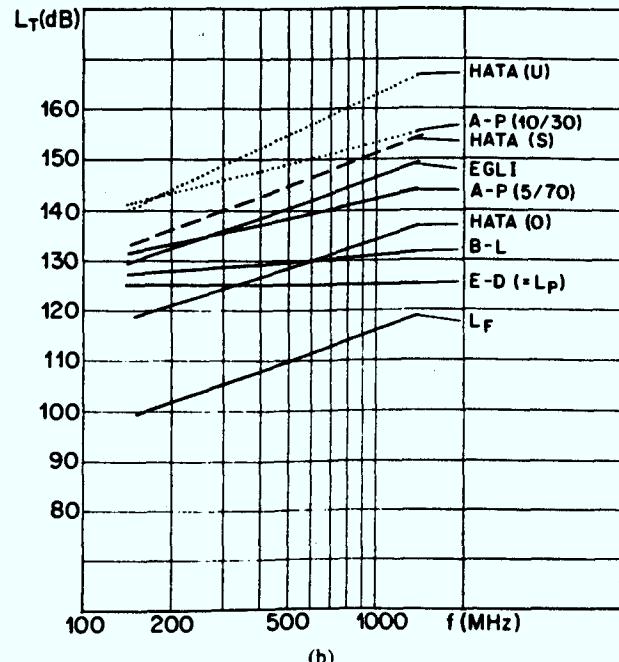
These cases are illustrated in Figs. 1(a) and 1(b) with curves showing average signal strength in function of distance and in function of frequency. The full lines correspond to the predictions in open region with the models from Egli, Hata, Blomquist and Ladell, and Edwards and Durkin: results for the last three models appear particularly comparable. It can also be noted that the losses, as computed with Hata's model, increase somewhat less with distance and that, in the model of Edwards and Durkin, losses are insensitive to frequency. Egli's prediction appears to correspond to a case intermediate between Hata's predictions for open and for suburban regions.

Hata's predictions for open, suburban and urban regions can be compared with those of Allsebrook and Parsons, which account for additional losses due to buildings in an urban environment: this prediction technique is however very sensitive to the height of buildings h_0 (in meters), the predicted level being directly proportional to $20 \log_{10} (h_0)$ — in dB; for the purpose of Figs. 1(a) and 1(b), the following two cases have been illustrated: an urban environment with buildings 10 m high and a 30 m effective street width, and a relatively open environment where these parameters are chosen equal to 5 and 70 m, respectively.

It should be noted, however, that the curves for Allsebrook and Parsons prediction model in Figs. 1(a) and 1(b), as well as the other results given in this paper in relation to this prediction method, do not include the UHF correction factor γ suggested by these authors: it appears, in fact, from Figs. 1(a) and 1(b) and from other results, that a UHF correction factor in this prediction model is warranted, but not necessarily one



(a)



(b)

Fig. 1. Total propagation loss L_T (dB) with diffraction losses over terrain L_D set to zero. (a) In function of distance R (km) at 450 MHz. (b) In function of frequency f (MHz) at 15 km. Symbols: L_F : free space loss; L_P : plane earth loss; E-D: Edwards and Durkin; B-L: Blomquist and Ladell; Egli: A-P(h_0/d_2): Allsebrook and Parsons (average height of buildings/effective street width); Hata (U: urban, S: suburban, O: open area). Variables: base station antenna height $h_b = 50$ m; mobile station antenna height $h_m = 2$ m; dielectric constants at the base and mobile stations $\epsilon_b, \epsilon_m = 10$.

as important as suggested, that is increasing from 0 to approximately 15 dB as the frequency goes from 200 to 500 MHz.

IV. INCLUSION OF DIFFRACTION LOSSES DUE TO SMOOTH TERRAIN

Even if the models are used to predict propagation loss over smooth terrain, a more refined and complete comparison necessitates the estimation of diffraction losses due to terrain

L_D and its inclusion in those models which do not implicitly take these losses into account, notably those of Edwards and Durkin, Blomquist and Ladell, and Allsebrook and Parsons ((3), (5), and (7)).

When precise topographical data for estimating losses due to terrain is not available or is not practical to use, a statistical estimation of diffraction losses due to terrain is required. Following the work of Longley and Rice [11], such a statistical modeling can be made as described in Appendix I, and the estimated value L_D of diffraction losses due uniquely to terrain effects can then be introduced in those prediction models where it is required. For this statistical estimation, five input parameters need to be specified: operating frequency, path length, antenna heights at the base and the mobile station, and a parameter descriptive of the type of terrain Δh —which is related to the terrain fluctuations; Δh varies typically from 0 to 5 m over water, to between 150 to 700 for hilly terrain.

The following comparisons between the various prediction models are then possible.

Open region

- Hata
- Egli
- Edwards and Durkin (flat terrain, statistical estimation of L_D)
- Blomquist and Ladell (flat terrain, statistical estimation of L_D)
- Urban environment*
- Hata
- Allsebrook and Parsons (flat terrain, statistical estimation of L_D).

The curves of Figs. 2(a) and 2(b) illustrate the average loss predicted by the different models, in function of distance, and in function of frequency. For these curves, the terrain parameter Δh has been taken to be 15 m, which is a reasonable value for an open region.

It appears clearly, looking at Fig. 2(a) which illustrates losses in function of distance at 450 MHz that, with the introduction of this estimation of losses due to terrain, the prediction models of Egli, Edwards and Durkin, Blomquist and Ladell give results very close to each other and somewhere in between Hata's predictions for an open and a suburban region.

And, by adding, as has been proposed by Allsebrook and Parsons, to the Blomquist and Ladell prediction an estimation of losses due to buildings, one obtains curves which can be very close to those of Hata with choices of building heights and street widths corresponding to different suburban and urban environments (10 and 30 m, 5 and 70 m for the examples of Figs. 3 and 4). The curves for Allsebrook and Parsons do not include the UHF correction factor suggested by the authors, which would, at the frequency considered, introduce an extra loss of the order of 13 dB.

Fig. 2(b) shows a comparison in function of frequency: once again, it should be mentioned that the VHF correction factor suggested by Allsebrook and Parsons has not been included.

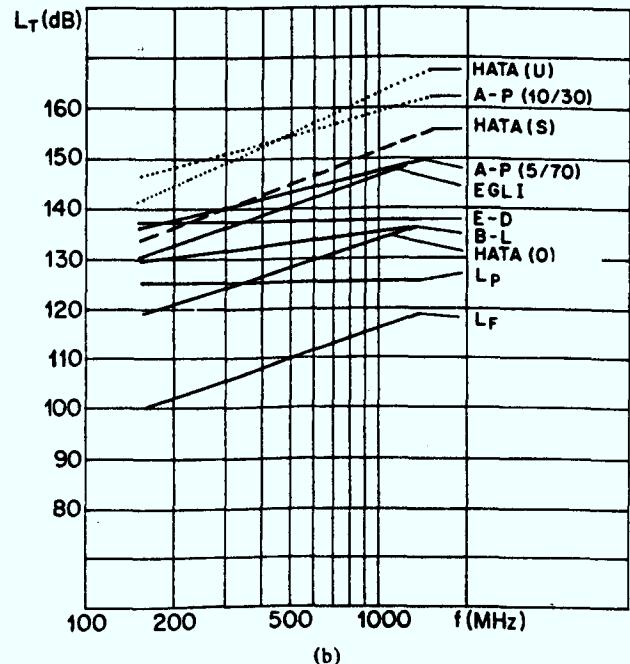
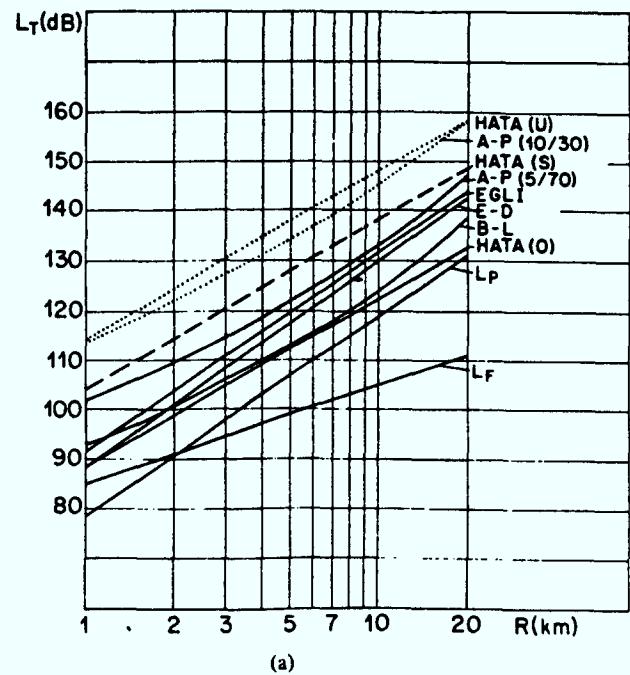


Fig. 2. Total propagation loss L_T (dB) including statistical estimation of diffraction loss L_D ($\Delta h = 15$). (a) In function of distance R (km) at 450 MHz. (b) In function of frequency f (MHz) at 15 km. Symbols and variables as in Fig. 1.

V. STATISTICAL ESTIMATION OF DIFFRACTION LOSSES OVER HILLY TERRAIN

Data published in the literature on diffraction losses over hilly terrain can be related to each other and to the results one obtains with a statistical estimation method of diffraction losses, such as the one outlined in Appendix I. An alternate approach to the computation of diffraction losses over hilly terrain using the effective antenna height as a parameter has been described by Lee [12].

Blomquist and Ladell [5] as well as Allsebrook and Parsons

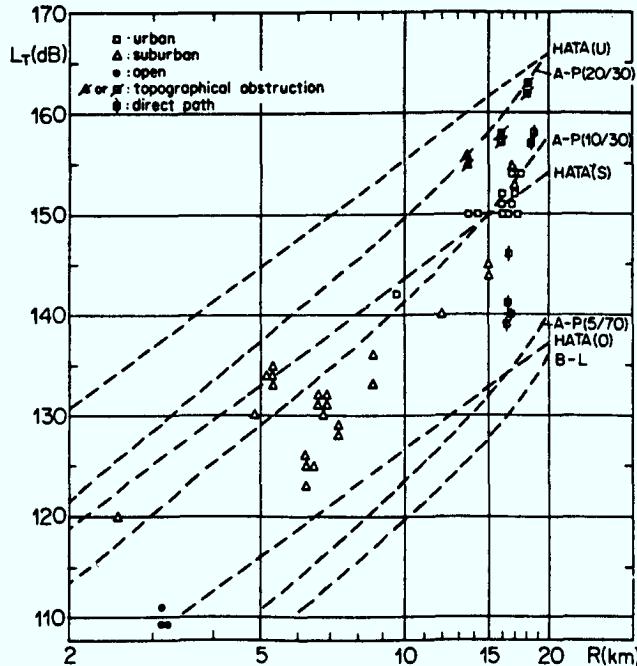


Fig. 3. Propagation loss measurements L_T , (dB) in function of distance at 910 MHz in Ottawa.

[6] have studied the contribution of diffraction losses due to terrain to the total propagation loss, the firsts in a rugged wooded area and the seconds in a hilly urban environment. Table III contains a direct transcription of the diffraction loss calculations for four profiles made by Allsebrook and Parsons by different methods (Bullington, Epstein-Peterson, Japanese Atlas, Deygout), while Table IV gives the order of magnitude of the diffraction loss which can be inferred from the figures published by Blomquist and Ladell, after subtraction of an approximate 15 dB loss for the effect of vegetation.

For comparison purposes, this data has been used in conjunction with the statistical estimation method outlined in Appendix I: from the knowledge of diffraction loss at a particular frequency, for a profile of a given length with given antenna heights, the terrain fluctuation parameter Δh can be determined; comparisons can then be made on the basis of this estimation of Δh and of the computation of diffraction loss at other frequencies for the same value of Δh . The results are given in Tables III and IV, the diffraction loss being fitted in Table IV to the value estimated at 167.2 MHz by the Japanese Atlas method—which Allsebrook and Parsons have found the most accurate and which they have used in their work.

Comparing these values of Δh with the profiles illustrated by Blomquist and Ladell [5] and by Allsebrook and Parsons [6] in their original articles, one sees that the profiles studied by Allsebrook and Parsons are in general smoother, which is quite consistent with the smaller values of Δh which are obtained; comparisons on a profile per profile basis also make sense. And the diffraction losses computed at other frequencies for the same Δh are also quite close to the original data.

As a last point, one can include in Hata's model the effect of diffraction loss over hilly terrain. A particular example is given in Table V for four of the profiles studied by Allsebrook and Parsons; the four columns A, B, C, D to the left

correspond to the results published by Allsebrook and Parsons for total propagation loss on these profiles (A: measured, B: Okumura prediction, C: Blomquist and Ladell prediction, D: Blomquist and Ladell prediction plus urban environment losses including the UHF correction factor approximately 13 dB at 441.02 MHz); the last three columns to the right correspond to:

- E: Blomquist and Ladell prediction with the statistical estimation of terrain diffraction loss as in Table IV, plus the urban environment loss estimated by Allsebrook and Parsons, but without the UHF correction factor of approximately 13 dB at 441.02 MHz.
- F: Hata's prediction for a dense urban environment, plus statistical estimation of terrain diffraction loss corresponding to $\Delta h > 15$.
- G: Hata's prediction for a suburban environment plus statistical estimation of terrain diffraction loss corresponding to $\Delta h > 15$.

It can be seen that the total propagation loss estimated in those last three columns (E, F, G) are reasonably close to the measured values (column A) and to the predictions of Allsebrook and Parsons (column D).

VI. MEASUREMENTS AT 900 MHz

Propagation loss measurements at a frequency of 910 MHz were taken in the course of summer 1983 in Ottawa through the technical support and facilities of the Communications Research Center (CRC). The base antenna was located on top of one of the CRC buildings, at a height of 33.5 m over ground level; the receiving antenna was located on top of a mobile van at a height of 3.8 m over ground level.

CRC is located near the Ottawa river in an open area some 17 km from the city center. On the Ottawa side of the river, the terrain is smooth, the CRC site and the center of Ottawa being more or less at the same elevation with a depression of the order of 10 m in between; a number of paths passed over the river and the orientation for some of the streets in the center of town was such that they were in line with the base station and that a kind of channeling effect [12] could be expected. The metropolitan area has a population of the order of 700 000, three quarter of which are on the Ottawa side of the river. Measurements were also taken in the center of Hull, across the river which is some 500 to 1000 m large in that area: on some of those paths, the tail of the Gatineau hills was causing some obstruction to the line of sight.

The mobile unit took signal attenuation and vehicle speed measurements at 910 MHz with a sampling rate of 10 ms with the vehicle traveling at about 30 km/h along some 50 routes, 400 to 4000 m long, in different areas which could be classified as urban, suburban or open. The data points on Fig. 3 illustrate the gross results for the mean losses on each route in function of the mean distance between transmitter and receiver, with an indication of the type of urban area; the cases where the street orientation was almost exactly in line with the base station and those cases where there was evidence of some topographical obstruction are identified as such on the figure.

These results can be compared to the predictions with Hata's and Allsebrook and Parsons' methods for urban,

TABLE III
DIFFRACTION LOSS OVER RUGGED TERRAIN: ESTIMATION OF TERRAIN
FLUCTUATION PARAMETER Δh BY FITTING DIFFRACTION LOSS TO
BLOMQVIST AND LADELL DATA [5]

| figure [ref.5] | distance R (km) | frequency f_c (MHz) | Diffraction loss L_D (dB) | | Δh |
|-------------------|--------------------|--------------------------|-----------------------------|----------------------|------------|
| | | | Blomqvist- Ladell | statistical model | |
| 6 | 5.2 | 90 | 25 | 26.2 | 375 |
| | | 300 | 35 | 35 | |
| | | 900 | 44 | 44.9 | |
| 7 | 10 | 60 | 25 | 24.9 | 400 |
| | | 300 | 35 | 36.9 | |
| 8 | 14 | 50 | 25 | 25.1 | 430 |
| | | 100 | 29.5 | 29.6 | |
| | | 200 | 35 | 35.1 | |
| 9 | 16 | 70 | 15 | 18.7 | 210 |
| | | 100 | 17 | 19.7 | |
| | | 400 | 26 | 26.1 | |
| | | 800 | 30 | 30.2 | |

$h_b = h_m = 10$ meters.

TABLE IV
DIFFRACTION LOSS OVER HILLY TERRAIN: ESTIMATION OF TERRAIN
FLUCTUATION PARAMETER Δh BY FITTING DIFFRACTION LOSS TO
ALLSEBROOK AND PARSONS DATA [6]

| profile [ref.6] | distance R (km) | Diffraction loss L_D (dB) | | | | | Δh |
|--------------------|--------------------|-----------------------------|----------------------|-------------------|---------|----------------------|------------|
| | | Bullington | Epstein- Peterson | Japanese Atlas | Deygout | Statistical model | |
| a | 6.0 | 20.5 | 27.0 | 28.4 | 30.8 | 28.3 | 300 |
| | | 23.4 | 31.5 | 33.0 | 35.5 | 33.2 | |
| | | 27.6 | 39.0 | 40.7 | 43.3 | 41.3 | |
| e | 5.5 | 13.7 | 23.7 | 25.4 | 24.5 | 23.7 | 235 |
| | | 16.0 | 25.6 | 27.8 | 26.6 | 27.6 | |
| | | 19.9 | 29.3 | 32.2 | 29.9 | 34.8 | |
| f | 8.0 | 12.7 | 22.7 | 24.5 | 25.1 | 23.1 | 225 |
| | | 14.9 | 24.4 | 26.8 | 27.5 | 26.9 | |
| | | 18.7 | 27.8 | 30.9 | 31.9 | 33.8 | |
| g | 9.6 | 17.4 | 20.7 | 22.3 | 25.8 | 22.5 | 215 |
| | | 20.0 | 23.7 | 25.8 | 29.7 | 26.1 | |
| | | 24.1 | 29.6 | 32.5 | 36.2 | 32.8 | |

$h_b = 50$ m, $h_m = 2$ m; the three lines in each row correspond to 85.075, 167.2 and 441.025 MHz.

TABLE V
TOTAL PROPAGATION LOSS L_T (dB) IN A HILLY URBAN ENVIRONMENT

| | A | B | C | D | E | F | G |
|----------------------|---|---------|---------------------|--|--|--|-------|
| profiles [ref. 6] | Allsebrook-Parsons data [6] measured | Okumura | Blomquist Ladell | Blomquist Ladell + urban correction | Blomquist Ladell + stat. est. of L_D + urban correction (without γ) | Hata Urban(2) Suburban(3) + stat. est. of L_D | |
| a | 135.5 | 130.6 | 122.7 | 133 | 135.3 | 139.1 | 133.2 |
| | 145.2 | 137.4 | 130.5 | 145 | 146 | 151.7 | 145.1 |
| | 148.7 | 147.8 | 143.7 | 177* | 163.5 | 171 | 162.5 |
| e | 136.8 | 123.2 | 117.9 | 23.2 | 126.7 | 133.3 | 127.4 |
| | 142.2 | 129.2 | 124.5 | 136 | 136.2 | 144.9 | 138.3 |
| | 150 | 139.5 | 136.4 | 163* | 152.3 | 163.2 | 155 |
| f | 141.3 | 130 | 123.1 | 134 | 133.8 | 138 | 132.1 |
| | 143 | 136 | 129.1 | 142 | 142.7 | 149 | 142.8 |
| | -- | 146.2 | 139.9 | 169* | 157.7 | 167 | 159.1 |
| g | 136 | 139.5 | 125.6 | 137.6 | 139.5 | 140 | 134.1 |
| | 148 | 145.4 | 131.2 | 146.5 | 148.1 | 151.1 | 144.5 |
| | -- | 155.6 | 141.2 | 175.7* | 162.3 | 168.8 | 160.5 |

columns A, B, C, D: Allsebrook & Parsons data [6]

column E: inclusion of statistical estimation of diffraction loss due to terrain (table IV) and of urban correction factor (without the VHF correction γ) in the Blomquist & Ladell model

columns F, G: inclusion of statistical estimation of diffraction loss due to terrain for $\Delta h > 15$ in Hata model's for urban and suburban environments.

The three lines in each row correspond to 85.875, 167.2 and 441.02 MHz;

* indicates inclusion of a UHF correction factor γ (approximately 13 dB at 441.02 MHz).

suburban and open regions. In the Allsebrook and Parsons model, an estimation of diffraction losses over smooth terrain, as discussed in Section IV and in Appendix I has not been included; as for the VHF correction factor γ , it is given a nil value, as previously in this paper: such a correction factor could indeed be warranted in order to render this model comparable to Hata's, although not as large as the one (13 dB) originally proposed.

As far as the experimental data points are concerned, the results of Fig. 3 speak for themselves and fall very nicely in the expected range, considering the size and character of this metropolitan area.

VII. CONCLUSION

A number of statistical models are available in the literature for the prediction and calculation of transmission loss, and it is often difficult to assess the real differences between these models or to determine in which conditions they have to be used.

The comparative study presented in this paper shows

general agreement between the predictions offered by the various methods under scrutiny (Hata-Okumura, Egli, Edwards and Durkin, Blomquist and Ladell, Allsebrook and Parsons), provided one compares them in the conditions where they are applicable or provided one corrects them for specific conditions—such as losses over hilly terrain or due to buildings or vegetation.

Two rather complete and easy to use models are the one by Hata, who has derived analytical expressions corresponding to Okumura's original results, and the model of Allsebrook and Parsons.

One of the interesting aspects in the prediction model of Allsebrook and Parsons is that it can be easily and continuously adjusted to take into account the influence of buildings and the effect of terrain; however, the inclusion, at frequencies over 200 MHz, of a UHF correction factor of the order of 13 dB, as suggested by the authors, is open to question.

Hata's prediction model is very simple to use and program, but it gives a limited choice between four types of environment (from open to dense urban), instead of being more continu-

ously adjustable as is the case with the model of Allsebrook and Parsons. Hata does not take into account the losses over hilly terrain but, as has been shown, this can easily be added to the model.

Finally, there are indications from available data that diffraction losses over terrain can be accounted for by a simple statistical modeling in function of frequency, path length, antenna heights and a terrain fluctuation parameter. Other results pertaining to this subject can be found in [13].

APPENDIX I STATISTICAL ESTIMATION OF DIFFRACTION LOSSES

The various approaches used to estimate the diffraction losses over different types of terrain vary widely in complexity depending upon the information available to make the required computations. As such, if a topographic data base is available for the terrain over which the proposed system is to be implemented, a refined estimate of the expected losses can be obtained [14]. This is normally not the case and the use of a prediction model is then required. The purpose of this Appendix is to summarize the application of the Longley and Rice model [11] to the statistical estimation of diffraction loss over terrain.

The model, apart from mandatory parameters such as operating frequency f_c (MHz), transmitter-receiver distance R (km), transmitting and receiving antenna heights h_M (m) and h_B (m), calls for a parameter Δh (m) which is a "roughness indication factor" related in a statistical sense to the true heights of obstacles and to a function $\Delta h(R)$ which varies with path distance R . This function $\Delta h(R)$ is called the interdecile range of terrain heights above and below a straight line fitted to elevations above sea level or, otherwise stated, it is the difference in height (m) exceeded by 10 percent and 90 percent of the terrain along a given transmission path. For long enough path lengths, the asymptotic behavior of $\Delta h(R)$ is very close to Δh , while the difference tends to become important at short distances.

The relation between $\Delta h(R)$ and Δh is given by

$$\Delta h(R) = \Delta h[1 - 0.8 \exp(-0.02R)]. \quad (9)$$

The model also requires knowledge of classical parameters such as those depicted in Fig. 4:

- d_{LB} distance of the base station from the radio horizon
- d_{LM} distance of the mobile station from the radio horizon
- θ_{eB} horizon elevation as seen by the base station antenna
- θ_{eM} horizon elevation as seen by the mobile station antenna
- θ_e angular distance for a nonoptical path
- h_B height above ground level of the base station antenna
- h_M height above ground level of the mobile station antenna.

The base and mobile station horizon distances in metric units, are given by well-known expression:

$$d_{LSB} = \sqrt{17h_{eB}}, \quad d_{LSM} = \sqrt{17h_{eM}} \quad (10)$$

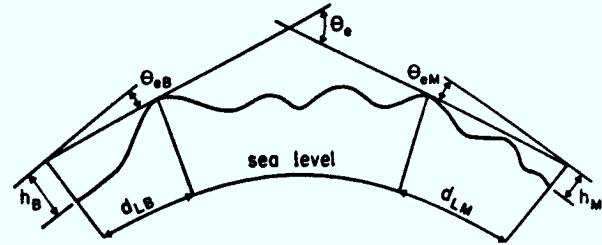


Fig. 4. Geometry of a nonoptical radio path and the associated parameters.

where h_{eB} and h_{eM} are the effective heights (m) of the base and mobile station antennas. The sum of d_{LSB} and d_{LSM} gives the horizon distances, namely

$$d_{LS} = d_{LSB} + d_{LSM}. \quad (11)$$

The Longley and Rice approach calls for statistical estimates of the previously introduced parameters. These expressions are

$$\begin{aligned} d_{LB} &= d_{LSB} \exp(-0.07 \sqrt{\Delta h/h_e}) \\ d_{LM} &= d_{LSM} \exp(-0.07 \sqrt{\Delta h/h_e}) \end{aligned} \quad (12)$$

where

$$h_e = \begin{cases} h_{eB}, h_{eM}, & \text{if } h_{eB}, h_{eM} \geq 5m \\ 5(m), & \text{in other cases.} \end{cases}$$

The total distance between the antennas and their respective horizon is then given by

$$d_L = d_{LB} + d_{LM}. \quad (13)$$

Similarly

$$\theta_{eB} = \frac{0.0005}{d_{LB}} \left[1.3 \left(\frac{d_{LSB}}{d_{LB}} - 1 \right) \Delta h - 4h_{eB} \right] \quad (\text{rad}). \quad (14)$$

The estimate of θ_{eM} is obtained simply by replacing the subscript B by M in (14).

For any path i over the horizon, the angular distance θ_i is given by

$$\theta_i = \max \left\{ \theta_{eB} + \theta_{eM}, -\frac{d_L}{8495} \right\} + \frac{d_i}{8495} \quad (\text{rad}) \quad (15)$$

where d_i is the length of the transmission path, in kilometers.

The application of this technique to compute the diffraction losses due to terrain is possible if the distances, d_1 and d_2 , from two ideal obstacles (knife-edge) are determined and expressed in terms of the already known horizon distances. The distances d_1 and d_2 from the base station to the first and to the second obstacle are given by

$$d_1 = \begin{cases} d_{LS}, & \text{if } d_1' \leq d_{LS} \\ d_1', & \text{if } d_1' > d_{LS} \end{cases} \quad (16)$$

with $d_1' = d_L + 0.5(72165000/f_c)^{1/3}$ (km)

and

$$d_2 = d_1 + (72165000/f_c)^{1/3} \quad (\text{km}). \quad (17)$$

The corresponding diffraction loss terms A_{k1} and A_{k2} for these two distances d_1 and d_2 are computed using intermediate variables $v_{B,i}$ and $v_{M,i}$ defined as

$$v_{B,i} = 1.2915\theta_i \sqrt{f_c d_{LB}(d_i - d_L)/(d_i - d_{LM})}$$

$$v_{M,i} = 1.2915\theta_i \sqrt{f_c d_{LM}(d_i - d_L)/(d_i - d_{LB})}. \quad (18)$$

Depending upon the values of the intermediate variables, the diffraction losses A_{k1} and A_{k2} are then computed according to the rules set by the following:

$$A(v) = 6.02 + 9, 11v - 1.27v^2 \quad 0 \leq v \leq 2.4$$

$$A(v) = 12.953 + 20 \log(v) \quad v > 2.4. \quad (19)$$

It results that the diffraction losses estimates A_{k1} and A_{k2} are accordingly determined by

$$A_{k1} = A(v_{B,1}) + A(v_{M,1}) \quad (\text{dB})$$

$$A_{k2} = A(v_{B,2}) + A(v_{M,2}) \quad (\text{dB}). \quad (20)$$

Finally, with a straight line passing through these two points, the path attenuation caused by diffraction at any distance from the transmitter, and in particular at the distance R corresponding to the position of the mobile station, can be determined. Explicitly, the applicable expressions are:

$$L_D = m_d \times R + A_0 \quad (\text{dB}) \quad (21)$$

where

$$m_d = \frac{A_{k2} - A_{k1}}{d_2 - d_1} \quad (22)$$

and

$$A_0 = A_{f0} + A_{k2} - m_d \times d_2. \quad (23)$$

It should be noted that in (23), a clutter factor A_{f0} is introduced [11] as a function of the profile ruggedness. It is estimated as

$$A_{f0} = \min(A_{f0}', 15) \quad (\text{dB}) \quad (24)$$

where

$$A_{f0}' = 5 \log_{10} [1 + 10^{-5} \times h_M h_B f_c \sigma(d_{LS})] \quad (\text{dB}). \quad (25)$$

In the above, the ruggedness function $\sigma(d)$ is defined as

$$\sigma(d) = 0.78h(d) \exp \{-0.5[\Delta h(d)]^{1/4}\} \quad (\text{m}). \quad (26)$$

This model gives a reasonably accurate prediction of diffraction losses and is not restricted to short paths.

ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to express their thanks for the support and suggestions of Dr. J. H. Whitteker and the staff from the Communications Research Center, Ottawa.

REFERENCES

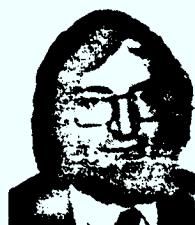
- [1] Y. Okumura, E. Ohmori, T. Kawano, and K. Fukuda, "Field strength and its variability in VHF and UHF land-mobile radio-service," *Rev. Elec. Commun. Lab.*, vol. 16, no. 9-10, Sept.-Oct. 1968.
- [2] M. Hata, "Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. VT-29, no. 3, pp. 317-325, Aug. 1980.
- [3] J. J. Egli, "Radio propagation above 40 Mc over irregular terrain," *Proc. IRE*, vol. 45, no. 10, pp. 1383-1391, Oct. 1957.
- [4] R. E. Edwards and J. Durkin, "Computer prediction of field strength in the planning of radio systems," *Proc. Inst. Elec. Eng.*, vol. 116, no. 9, pp. 1493-1500, Sept. 1969.
- [5] A. Blomquist and L. Ladell, "Prediction and calculation of transmission loss in different types of terrain," NATO AGARD Conf. Pub. CP 144, Res. Inst. Nat. Defense. Dept. 3, S-10450, Stockholm 80, Sweden, pp. 32/1-32/17, 1974.
- [6] K. Allsebrook and J. D. Parsons, "Mobile radio propagation in British cities at frequencies in the VHF and UHF bands," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. VT-26, no. 4, pp. 313-323, Nov. 1977.
- [7] G. D. Ott and A. Plitkins, "Urban path-loss characteristics at 820 MHz," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. VT-27, no. 4, pp. 189-197, Nov. 1978.
- [8] V. H. MacDonald, "The cellular concept," *Bell Syst. Tech. J.*, vol. 58, no. 1, pp. 15-42, Jan. 1979.
- [9] P. F. Panter, *Communication Systems Design*. New York: McGraw-Hill, 1972.
- [10] K. Bullington, "Radio propagation for vehicular communications," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. VT-26, no. 4, pp. 295-308, Nov. 1977.
- [11] A. G. Longley and P. L. Rice, "Prediction of tropospheric radio transmission loss over irregular terrain—A computer method," ESSA Tech. Rep., ERL79-ITS67, 1968.
- [12] W. C. Lee, *Mobile Communications Engineering*. New York: McGraw-Hill, 1982.
- [13] G. Y. Delisle, M. Lecours, J. P. Lefevre, and E. Bossé, "Etude des problèmes de propagation associés aux stations émettrices et mobiles terrestres en milieu urbain," Rapport final, Ministère des communications, Ottawa, Contract OSU80-00169, Mar. 1981.
- [14] J. H. Whitteker, "The CRC topographic data base," CRC Rep. 1353, Department of Communications, Ottawa, Canada, February 1982.
- [15] W. C. Jakes, Ed., *Microwave Mobile Communications*. New York: Wiley, 1974.



Gilles Y. Delisle (S'71-M'73) was born in Quebec, PQ, Canada, on December 2, 1945. He received the B.A.Sc., M.Sc., and D.Sc. degrees in electrical engineering from Laval University, PQ, Quebec, in 1966, 1969, and 1973, respectively.

From 1966 to 1968 he worked for Bell Canada as an Engineer in the Transmission group, and for Davie Co. in the General Engineering Division. In 1973, he was appointed to the Faculty of Laval University where he is now a Professor of Electrical Engineering. He has been Chairman of the Department from 1977 to 1983. His research activities are in the area of electromagnetic engineering applied to radar technology, wave propagation theory used in the characterization of the mobile radio channel, and noise modeling in urban areas.

Dr. Delisle is a senior member of the Order of Engineers of the Province of Quebec and a member of the Board of Examiners of the Society, URSI (Commissions B and C), and ACFAS (Association Canadienne Française pour l'Avancement des Sciences). He is also a consultant to telecommunications equipment manufacturers.



Jean-Paul Lefèvre received the engineering degree from l'Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers in Paris in 1974 and the M.Sc. degree in electrical engineering from Laval University, Canada.

He worked thereafter as a research engineer in Laval University on projects related to mobile-radio propagation and signal processing. He is now with CIT Alcatel, Centre de la Verrière in France.



Michel Lecours (S'62-M'67-SM'84) received an engineering degree from l'Ecole Polytechnique of the University of Montreal in 1963, and a Ph.D. in electronics and communication in 1967 from the Imperial College of Science and Technology, University of London, England, where he was an Athlone scholar. Since 1967, he has been on the faculty of Laval University, Canada. From 1975 to 1977, he was head of the Electrical Engineering Department and then Vice-Dean of the Faculty of Science and Engineering until 1985. He has also worked for Bell Canada and, in 1971-1972, in transmission systems engineering at Bell-Northern Research in Ottawa under the ASEE-Ford Foundation Resident Fellow program. His research activities are in the fields of communication systems and signal processing. He is currently involved in projects on the mobile radio channel modelization.

Dr. Lecours is a Registered Professional Engineer in the Province of Quebec and is a member of the Canadian Electrical Engineering Society.



Jean-Yves Chouinard (S'83) received the B.Sc. and M.Sc. degrees in electrical engineering from Laval University, Canada, in 1979 and 1984, respectively. He is currently pursuing a Ph.D. degree in electrical engineering at Laval University.

In 1979, he joined Northern Telecom in Montreal, Canada, to work on the implementation of the DRS-8 long-haul high capacity Digital radio system.

APPLICATIONS OF PROPAGATION MEASUREMENT RESULTS
TO DIGITAL MOBILE-RADIO SYSTEMS PERFORMANCE STUDIES

Jean-Yves Chouinard, Michel Lecours, Gilles Y. Delisle
Electrical engineering department,
Université Laval, Québec, Canada

I. Introduction

An adequate knowledge of the transmission channel is required in order to establish relations between propagation conditions and communication systems performance. This question is presently of particular interest due to the rapid development of digital mobile radio systems and the need to predict their performance in given environments without having to perform extensive measurements.

This paper presents work carried out concurrently on propagation measurements for a 910-MHz mobile radio channel in the Ottawa region, and on the simulation of the mobile radio channel. The objectives are to relate signal strength measurements to a Rice modelization of the channel and to the performance of a digital mobile radio transmission system for different coding and bit interleaving schemes. This paper describes the type of results available at this time as far as the propagation measurements and the methods used for the digital mobile-radio systems performance predictions and measurements are concerned.

II. Channel modelization and performance studies

In the course of this study, the interest has been centered on the modelization of a digital mobile-radio system where the transmission rate would be relatively low - of the order of 1200 kbits/s; for such a rate, the impulse response of the channel has a negligible influence and the channel can be characterized essentially as a function of signal strength.

The changes in Signal to Noise ratio have a direct influence on the transmission error probability. For a channel with stable propagation conditions, the different modulation techniques (coherent and noncoherent FSK, CPSK, DC-PSK and so on) may offer significant differences in performance. In a mobile radio channel, however, propagation conditions are an overwhelming limiting factor. In this work, the error probability associated with non-coherent FSK has been taken as a reference.

Performance studies can be carried out using direct signal strength measurements. Or the signal strength measurements can be used to validate a statistical model; an interesting candidate for such a model is the Rice channel in which the received signal is considered to be the sum of a direct component

Note: This work was realized through the financial support of the Department of Communications, Canada, and the Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada.

corresponding to line-of-sight transmission and of a Rayleigh component representing multipath transmission. In the case of a dense urban area, one can suppose that the envelope of the received signal will be constituted essentially of signals reflected by obstacles; in the case of a suburban or an open area, one will admit a significant line-of-sight component.

Performance studies are made on the basis of digital error sequences [1]. One can obtain such error sequences directly from experiments, as has been done by Aulin [2], who has also made a statistical study of the sequences transition error probabilities. Figure 1 illustrates transmission error probability curves obtained by simulation of a Rician channel. All curves relate to a 1200 bits/s non-coherent binary FSK transmission on a 800 MHz channel with a 90 km/s vehicle speed; those in full line give the bit error probability for different line-of-sight to multipath (L/M) power ratios; those in dashed lines relate to word error probabilities for a line-of-sight to multipath ratio of -60 dB, for a simple (3,1,1) repetition code and different depths D of bit interleaving.

This model has also been tried with a selection of BCH codes. The results show that it is interesting to use such block codes when their properties are such that transmission with near zero error rate is possible; otherwise, since each error affects a whole block instead of a single bit, the advantage of coding is lost very rapidly. Bit interleaving permits to maximize the benefit of coding by breaking error bursts and spreading errors over longer intervals. The depth of bit interleaving is of course the determining factor and must be longer than the durations of the fadings and error bursts; the performance achieved also depends on the transmission rate, the operating frequency and the speed of the vehicle.

All these factors must be related to actual propagation conditions on real channels, which leads to the next section of this paper.

III. Channel measurements

Propagation loss measurements at a frequency of 910 MHz were taken in the course of summer 1984 in the Ottawa region, Canada, through the technical support and facilities of the Communications Research Center (CRC). Some earlier measurements taken in 1983 have already been reported by the authors in a paper dealing with propagation loss prediction methods [3]. For all these measurements, the base antenna was located on top of one of the CRC buildings, at a height of 33.5 meters above ground level; the receiving antenna was located on top of a mobile unit at a height of 3.8 meters above ground level.

During the summer of 1984, experimental propagation measurements have been taken over 9 different paths, 15 to 30 km long, extending radially in different directions from the CRC site. The CRC buildings are located near the Ottawa river in an open area some 17 kilometers away from the city center. On the Ottawa side of the river, the terrain is rather smooth, the CRC site and the center of Ottawa being more or less at the same elevation with a depression of the order of 10 meters in between; the other side of the river is

characterized by hilly and rugged terrain. Signal strength and vehicle speed measurements have been taken at 910 MHz with a sampling rate of 100 Hz. At each kilometer along the 9 paths mentioned above, 6000 data samples were recorded with the vehicle traveling at reduced speed and immobilized. As an illustration, figure 2 gives the mean propagation losses measured at each kilometer along two of these paths, with the vehicle in movement: one of the paths crosses flat urban and suburban areas, while the other can be classified as hilly suburban. A more elaborate report and interpretation of these and other experimental results will be given at the conference.

IV. Conclusion

All the recorded data is now being processed with the view, first of all, of using it to validate and calibrate the Rice channel modelization described above. From this, digital radio-mobile systems performance studies are being conducted as outlined, with a view of generating widely valid and comprehensive digital systems performance prediction techniques.

Finally, in parallel with these studies, a new data acquisition system is under development, to be used for the next measurements in the course of summer 1985. Instantaneous signal and noise levels will be recorded with a sampling rate of 10 kHz, as well as error sequences resulting from the comparison of transmitted and received PRBS sequences.

In the longer term, it would be of great interest to undertake digital mobile radio system performance studies for higher bit rates, including eventually spread spectrum systems [4].

References:

1. J.Y. Chouinard, M. Grégoire, M. Lecours, G.Y. Delisle, "Simulation d'un canal de Transmission radio-mobile numérique", IEEE Int. Comm. and Energy Conference, Montréal, oct. 1984, pp. 229-234.
2. T. Aubin, "Characteristics of a digital mobile radio channel", IEEE. Trans. Veh. Technol., vol. VT-30, no 2, pp. 54-61, may 1981.
3. G.Y. Delisle, J.P. Lefevre, M. Lecours, J.Y. Chouinard, "Propagation loss prediction: a comparative study with application to the mobile radio channel", accepted for publication, IEEE Trans. Veh. Technol., 1985.
4. G. Niyonizeye, M. Lecours, H.T. Huynh, "Mutual Interferences in a binary FH-FSK spread spectrum system for mobile radio", accepted for publication, IEEE Trans. Veh. Technol. 1985.

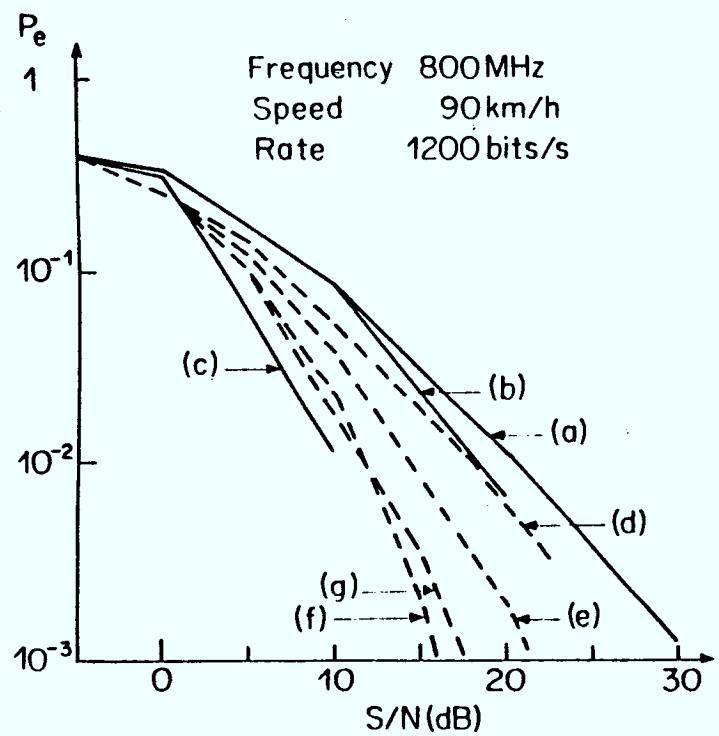


Figure 1. Error Probability Predictions for non-coherent FSK

a,b,c: bit error probability for Line-of-sight to Multipath ratios L/M of -60 (a), -20 (b), 0dB (c)

d,e,f,g: Word error probability for a (3,1,1) repetition code for L/M = -60 dB and for bit interleaving depths D of 1 (d), 4 (e), 16 (f), 80 (g)

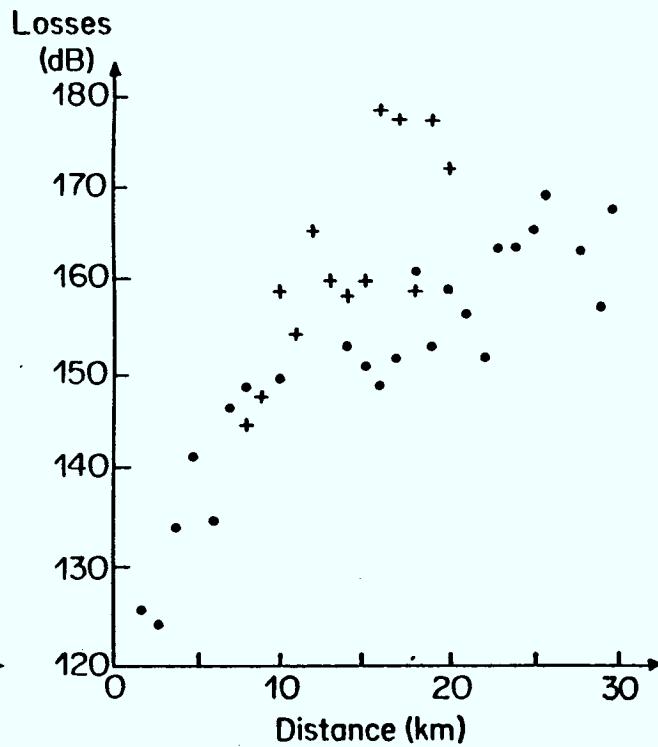


Figure 2. Mean propagation losses measured at 910 MHz

· flat urban and suburban area

+ suburban hilly area

MESURES EXPERIMENTALES DES CONDITIONS DE PROPAGATION...

P
91
C654
M48
1986

DATE DUE
DATE DE RETOUR

LOWE-MARTIN No. 1137

CRC LIBRARY/BIBLIOTHEQUE CRC
P91.C654 M48 1996

INDUSTRY CANADA / INDUSTRIE CANADA



212308

