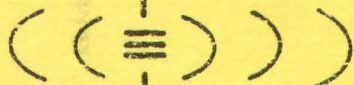


UNIVERSITÉ LAVAL

FACULTÉ DES SCIENCES ET DE GÉNIE
DÉPARTEMENT DE GÉNIE ÉLECTRIQUE



Laboratoire de Radiocommunications
et de Traitement du Signal

Rapport final

ETUDES DES PROBLEMES DE PROPAGATION ASSOCIES
AUX STATIONS EMETTRICES ET MOBILES TERRESTRES
EN MILIEU URBAIN

par

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

pour

Gouvernement du Canada
Ministère des Communications, Ottawa

sous

Contrat OST84-00022 du
Ministère des Approvisionnements et Services

Période du 25 avril 1984 au 31 mars 1985

Mars 1985

Rapport n° LR7S-85-8830

IC

655
895
885

Rec'd from DRL April '85

COMMUNICATIONS CANADA
CRC
APR 22 1985
LIBRARY - BIBLIOTHÈQUE

Industry Canada
Library - Queen
NOV 13 2013
Industrie Canada
Bibliothèque - Queen

UNIVERSITÉ LAVAL

FACULTÉ DES SCIENCES ET DE GÉNIE
DÉPARTEMENT DE GÉNIE ÉLECTRIQUE



Laboratoire de Radiocommunications
et de Traitement du Signal

Rapport final

ETUDES DES PROBLEMES DE PROPAGATION ASSOCIES
AUX STATIONS EMETTRICES ET MOBILES TERRESTRES
EN MILIEU URBAIN

par

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

pour

Gouvernement du Canada
Ministère des Communications, Ottawa

sous

Contrat OST84-00022 du
Ministère des Approvisionnements et Services

Période du 25 avril 1984 au 31 mars 1985

Mars 1985

Rapport n° LRKS-85-8830



P
91
C655
E895
1985

DD 4248510
DL 4873973

Rapport final

Etude des problèmes de propagation associés aux
stations émettrices et mobiles terrestres en
milieu urbain
(Phase VII)

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

Laboratoire de Radiocommunications et de
Traitement du Signal
Département de Génie électrique
Université Laval, Québec, Canada GLK 7P4

Pour: Ministère des Communications, Ottawa
Contrat OST84-00022 du Ministère des
Approvisionnements et Services

Durée: 25 avril 1984 au 31 mars 1985

Mars 1985

Rapport no LRTS-85-8830

Table des matières

	<u>Page</u>
Chapitre 1 INTRODUCTION	1
1.1 Introduction et rappel des travaux en cours	1
1.2 Plan du rapport	2
Chapitre 2 RESULTATS EXPERIMENTAUX	4
2.1 Introduction	4
2.2 Exploitation des résultats expérimentaux de l'été 1983 en vue de la prédiction des pertes de propagation	5
2.3 Mesures de propagation (été 1984)	8
2.4 Travaux de modélisation à venir	25
2.5 Conclusion	31
Chapitre 3 MESURES EXPERIMENTALES DE LA PERFORMANCES D'UN SYTEME DE TRANSMISSION NUMERIQUE	32
3.1 Introduction	32
3.2 Principe de fonctionnement du système de mesure	33
3.3 Système de télécommunication	34
3.4 Système d'acquisition de données	38
3.5 Conclusion	42
Chapitre 4 CONCLUSION	45
Bibliographie	47
Annexe A Position des points d'enregistrement, pertes, écart-type et variances moyennes des fichiers de données	A-1
Annexe B Diagramme temporel des signaux du système d'acquisition de données	B-1

Chapitre 1

INTRODUCTION

1.1 Introduction et rappel des travaux en cours

Ce rapport présente les résultats des travaux effectués dans le cadre du contrat OSU84-00022, accordé pour la période du 25 avril 1984 au 31 mars 1985. Ces travaux s'inscrivent dans la continuité des recherches précédentes menées par les auteurs de 1979 à 1984 [1-6], particulièrement comme une suite logique aux travaux réalisés en 83-84.

En effet, alors que les études réalisées de 1979 à 1983 étaient essentiellement de nature théorique et avaient comme objectif la modélisation et la simulation du canal radio-mobile à l'aide des résultats déjà disponibles, on entreprenait en 1983-84 des études expérimentales conjointes avec les membres du Centre de Recherches en Communications, en vue d'obtenir une base plus satisfaisante pour établir, calibrer et valider les modèles du canal. On visait en particulier l'application des résultats au canal radio-mobile numérique opérant à faible taux de transmission, c'est-à-dire à des taux de transmission où la performance des systèmes numériques peut être considérée comme étant essentiellement fonction du niveau du signal reçu.

Au cours de l'été 1983 et de l'été 1984, des mesures de propagation à 910 MHz ont été prises dans la région d'Ottawa grâce au support technique et aux installations du Centre de Recherches en Communications et grâce à la collaboration de plusieurs personnes de ce laboratoire. Pour les mesures prises au cours de l'été 1983, l'unité mobile a été utilisée pour obtenir des mesures de l'atténuation du signal et de la vitesse du véhicule, à une fréquence d'échantillonnage de 100 Hz, le long d'une cinquantaine de parcours longs de 400 à 4000 mètres, l'unité mobile se déplaçant à une vitesse de l'ordre de 30 km/h. Cette fréquence d'échantillonnage de 100 Hz est cependant apparue relativement faible dans l'optique de suivre les variations fines du niveau du signal reçu avec un véhicule se déplaçant à 30 km/h.

1.1 Introduction et rappel des travaux en cours (suite)

La distribution géographique des parcours et des mesures prises étant assez aléatoire, il fut résolu au cours de l'été 1984, de reprendre une campagne de mesure en procédant de façon beaucoup plus systématique et en réduisant la vitesse du véhicule à 10 km/h environ afin de pouvoir mieux mesurer les variations fines du niveau du signal reçu. Des mesures de propagation ont alors 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 du CRC.

Une troisième campagne de mesure des performances d'un système de télécommunication numérique dans un canal de transmission radio-mobile est prévue pour l'été 1985 à nouveau dans la région d'Ottawa. On enregistrera cette fois-ci simultanément l'amplitude instantanée du signal reçu par l'unité mobile, le niveau instantané du bruit présent dans le canal, la sortie d'un comparateur de séquences binaires pseudo-aléatoires et le déplacement du véhicule. Le taux d'échantillonnage sera porté à 10 kHz afin de pouvoir étudier un système numérique ayant un taux de transmission près des standards commerciaux (e.g. 9600 bits/s) et également, reproduire avec précision sur ordinateur les affaiblissements rapides engendrés par les réflexions multi-voies du signal transmis.

1.2 Plan du rapport

Ce rapport présente, au chapitre 2, une première utilisation faite des résultats des mesures de propagation de l'été 1983 en relation avec les travaux rapportés précédemment sur la prédiction des pertes de transmission dans le canal radio-mobile urbain. On y fait également, en référant à l'annexe A, une présentation sommaire des résultats expérimentaux recueillis à l'été 1984, et qui doivent maintenant être soumis à une analyse détaillée. Finalement, on expose les intentions et le plan de travail élaboré en vue de l'analyse détaillée de ces résultats expérimentaux et de leur utilisation dans le cadre de la modélisation du canal radio-mobile.

1.2 Plan du rapport (suite)

On expose au chapitre 3 le principe d'opération du système de mesure que l'on se propose d'utiliser pour la campagne de mesure de l'été 1985, de même qu'une description des composantes du système, soit le système de télécommunication et le système d'acquisition de données. Le chapitre 4 formule les conclusions pertinentes à cette étude et discute les objectifs immédiats dans la poursuite de nos travaux.

L'annexe A nous donne la position des points d'enregistrement, pertes, écarts-type et variances moyennes de fichiers de données et l'Annexe B présente les diagrammes temporels des signaux de commande ainsi que des signaux numérisés du système d'acquisition de données.

Chapitre 2

RESULTATS EXPERIMENTAUX

2.1 Introduction

Au cours de l'été 1983 et de l'été 1984, des mesures de propagation à 910 MHz ont été prises dans la région d'Ottawa en utilisant les moyens techniques du Centre de Recherches en Communications et avec la collaboration de plusieurs chercheurs. L'antenne de la station de base était située sur le toit d'un des édifices du CRC à une hauteur de 33.5 mètres au-dessus du sol, alors que l'antenne de l'unité mobile se trouvait, elle, à une hauteur de 3.8 mètres du sol.

Tel que nous l'avons mentionné en introduction, les résultats de 1983 comportaient uniquement des mesures de l'atténuation du signal et de la vitesse du véhicule. La fréquence d'échantillonnage était de 100 Hz et une cinquantaine de parcours longs de 400 à 4000 mètres ont été mesurés avec l'unité mobile dont la vitesse était de l'ordre de 30 km/h. C'est dans ces conditions bien connues et contrôlées que la fréquence d'échantillonnage utilisée (100 Hz) est apparue trop faible pour permettre de suivre les variations fines du niveau du signal reçu avec un véhicule se déplaçant à 30 km/h. Pour l'été 1984, prenant en compte l'expérience précédente, il fut décidé de procéder de façon beaucoup plus systématique pour le choix des lieux et des routes. Entre autres, la vitesse du véhicule a été réduite à 10 km/h environ afin de pouvoir mieux mesurer les variations fines du niveau du signal reçu. Des résultats pour 8 routes différentes d'une longueur variant de 15 à 30 kilomètres ont été obtenus.

Dans ce chapitre, une analyse préliminaire des résultats des mesures de l'été 1983 en relation avec des travaux rapportés précédemment sur la prédiction des pertes de transmission dans le canal radio-mobile urbain est présentée en première partie.

2.1 Introduction (suite)

Dans une deuxième partie, on présente un premier exposé des résultats expérimentaux provenant des mesures de l'été 1984.

Finalement, on expose en fin de chapitre, les intentions et un plan de travail en vue d'une analyse détaillée de ces résultats expérimentaux et de leur utilisation dans le cadre de la modélisation du canal radio-mobile.

La question de la modélisation et de la conception des équipements en vue de mesures de propagation à une fréquence d'échantillonnage de 10 kHz sera traitée au prochain chapitre.

2.2 Exploitation des résultats expérimentaux de l'été 1983 en vue de la prédiction des pertes de propagation

Le rapport final [3] de mars 1981 du contrat OSU80-00169 fait pour le compte du Ministère des Communications et portant sur l'étude des problèmes de propagation associés aux stations émettrices et mobiles terrestres en milieu urbain analysait, entre autres, un certain nombre de modèles statistiques disponibles dans la littérature en vue de la prédiction et du calcul des pertes de transmission.

On y faisait une analyse comparative des méthodes de prédiction des pertes de transmission [7-12], avec application au canal radio-mobile. Des comparaisons étaient faites pour le cas d'une région ouverte et d'un terrain plat, en proposant une méthode pour l'inclusion d'une estimation statistique des pertes par diffraction due au terrain dans les modèles de Edwards & Durkin [10], Blomquist & Ladell [11] et Allsebrook & Parsons [12]. En plus de tenir compte, tel que mentionné ci-dessus, des pertes dues aux irrégularités de terrain, on tenait compte aussi du type de milieu urbain. On concluait que le modèle proposé par Hata [7], basée sur les résultats expérimentaux de Okumura [8], de même que celui proposé par Allsebrook & Parsons [12] qui permet de tenir compte facilement de l'effet des édifices, sont les plus complets et on en recommandait leur utilisation avec l'inclusion, lorsque nécessaire, des pertes par diffraction dues au terrain.

2.2 Exploitation des résultats expérimentaux de l'été 1983 en vue de la prédiction des pertes de propagation (suite)

Les points expérimentaux indiqués à la figure 2.1 sont les pertes de propagation moyennes le long de chacun des parcours en fonction de la distance moyenne entre l'unité mobile et la station de base. On y superpose en lignes brisées les courbes de prédiction de Hata (HATA) pour milieux urbains (U), suburbains (S) et ouverts (O), celles de Allsebrook-Parsons (A-P) pour différentes valeurs du ratio (H/L) entre la hauteur moyenne H des édifices et la largeur moyenne L des rues mesurées en mètres, et une courbe de prédiction basée sur le modèle de Blomquist-Ladell (B-L).

Les symboles utilisés sur la figure 2.1 pour les points expérimentaux indiquent le type de milieu urbain; les cas où l'orientation des rues est presque exactement en ligne avec la station de base et les cas où il y avait clairement obstruction topographique.

Ces résultats expérimentaux sont très éloquents et tombent très bien à l'intérieur des zones de prédiction.

L'ensemble de ceci a déjà fait l'objet d'un article dont la publication est prévue prochainement [13].

Les résultats disponibles présentement permettent d'envisager de nombreux travaux additionnels dans cette direction, en vue de l'application à la prédiction des pertes de propagation. On envisage en particulier les points suivants:

- le traitement des résultats de l'été 1984,
- l'évaluation de la méthode proposée d'estimation statistique des pertes par diffraction due au terrain,
- l'étude détaillée des pertes par diffraction due au terrain.

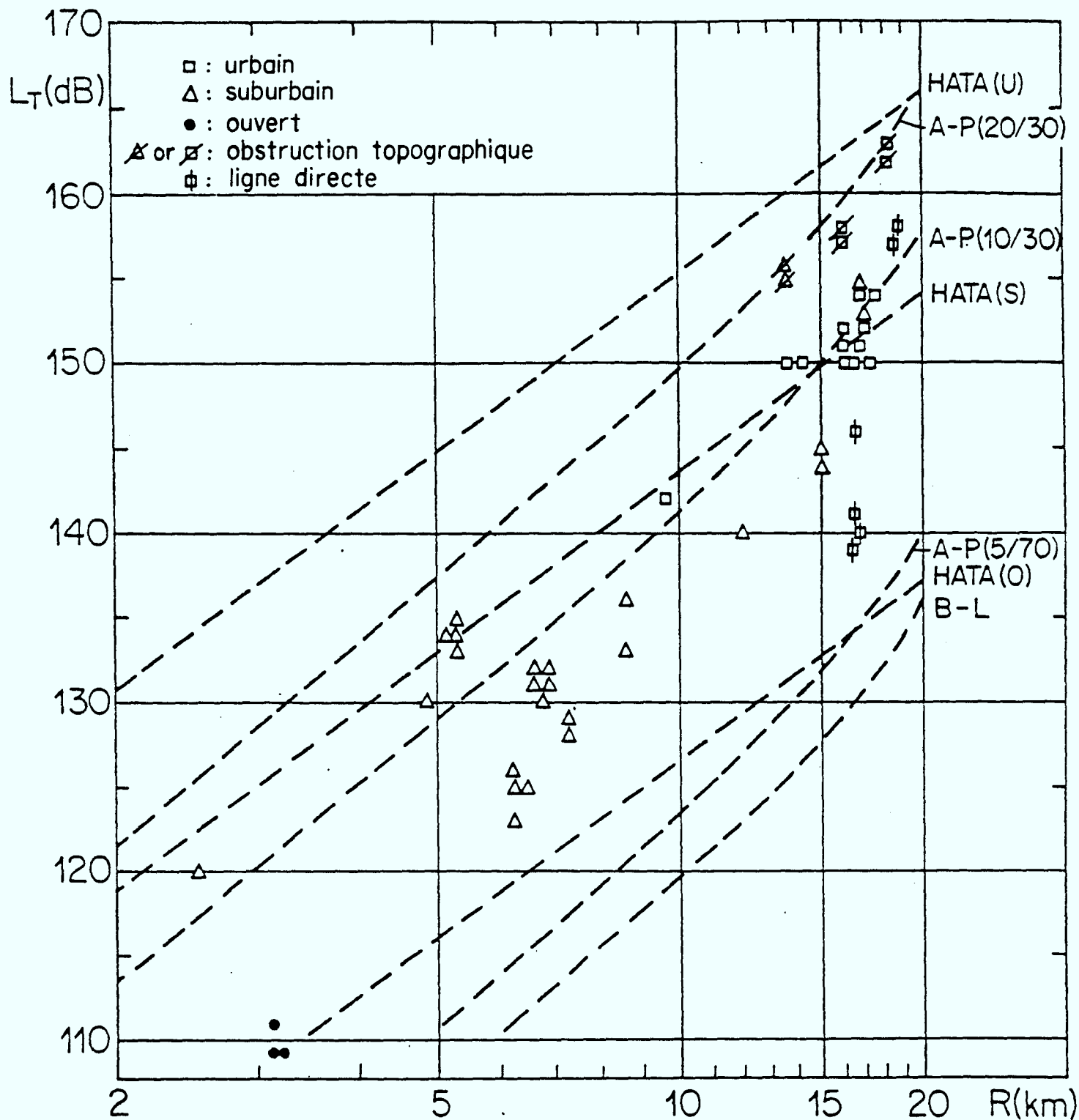


Figure 2.1 Mesures de pertes de propagation L_T (dB) en fonction de la distance à 910 MHz dans la région d'Ottawa, superposées aux courbes de prédiction de Hata (HATA), Allsebrook-Parsons (A-P) et Blomquist-Ladell (B-L).

2.3 Mesures de propagation (été 1984)

Tel que mentionné ci-dessus, des mesures de propagation ont été 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. A 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. Un total de 408 fichiers ont été ainsi enregistrés.

Les figures 2.2 et 2.3 présentent 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. La figure 2.4 présente un schéma du montage utilisé pour la calibration du système d'acquisition de données. Les aspects les plus importants de cette instrumentation ont déjà été décrits précédemment [6].

La figure 2.5 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. Seulement un traitement préliminaire a pu être réalisé à date, c'est-à-dire que pour chaque fichier, on a calculé les pertes moyennes (en dB) ainsi que l'écart type moyen (et la variance moyenne).

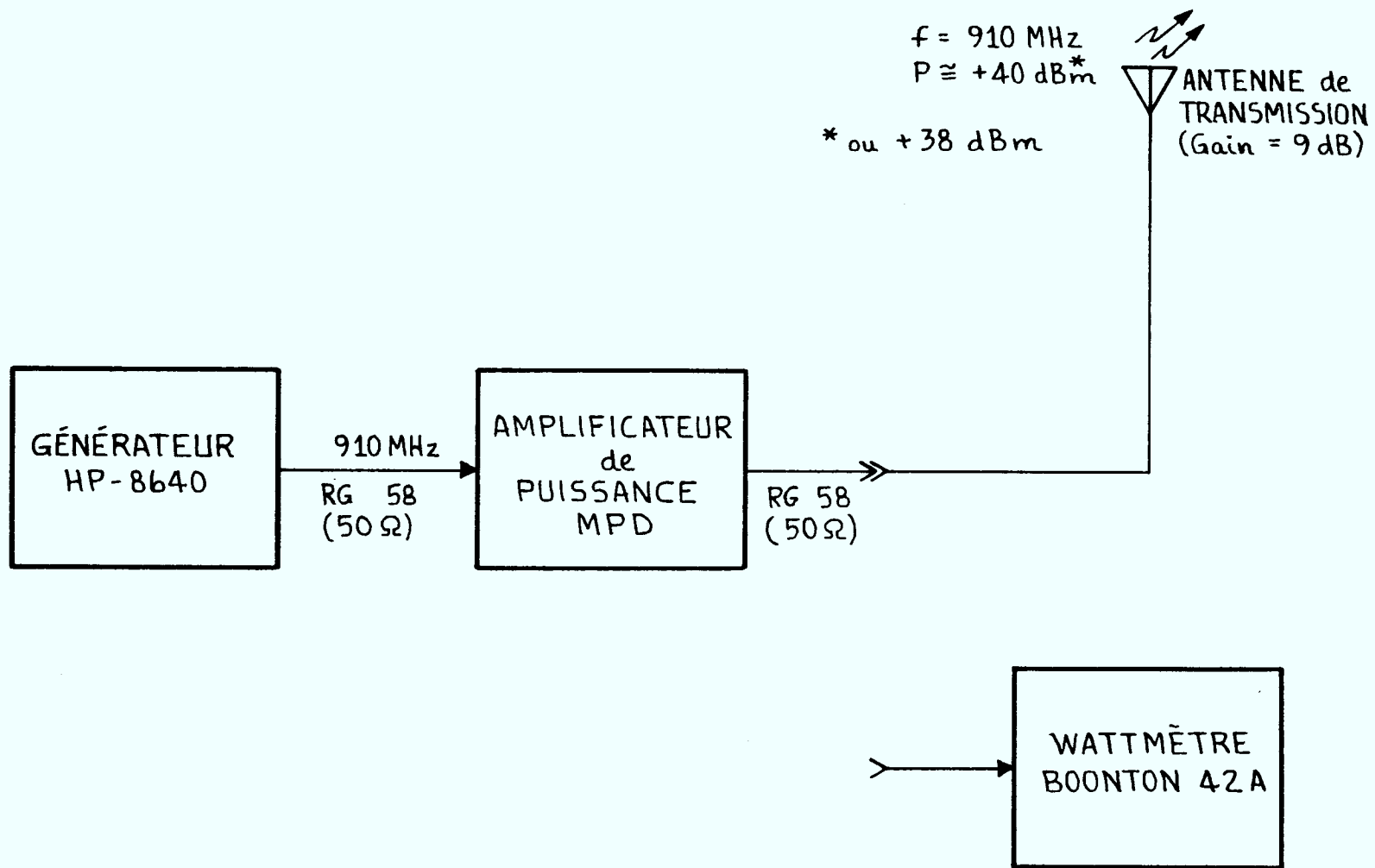


Figure 2.2: SCHÉMA DU TRANSMETTEUR (été 1984)

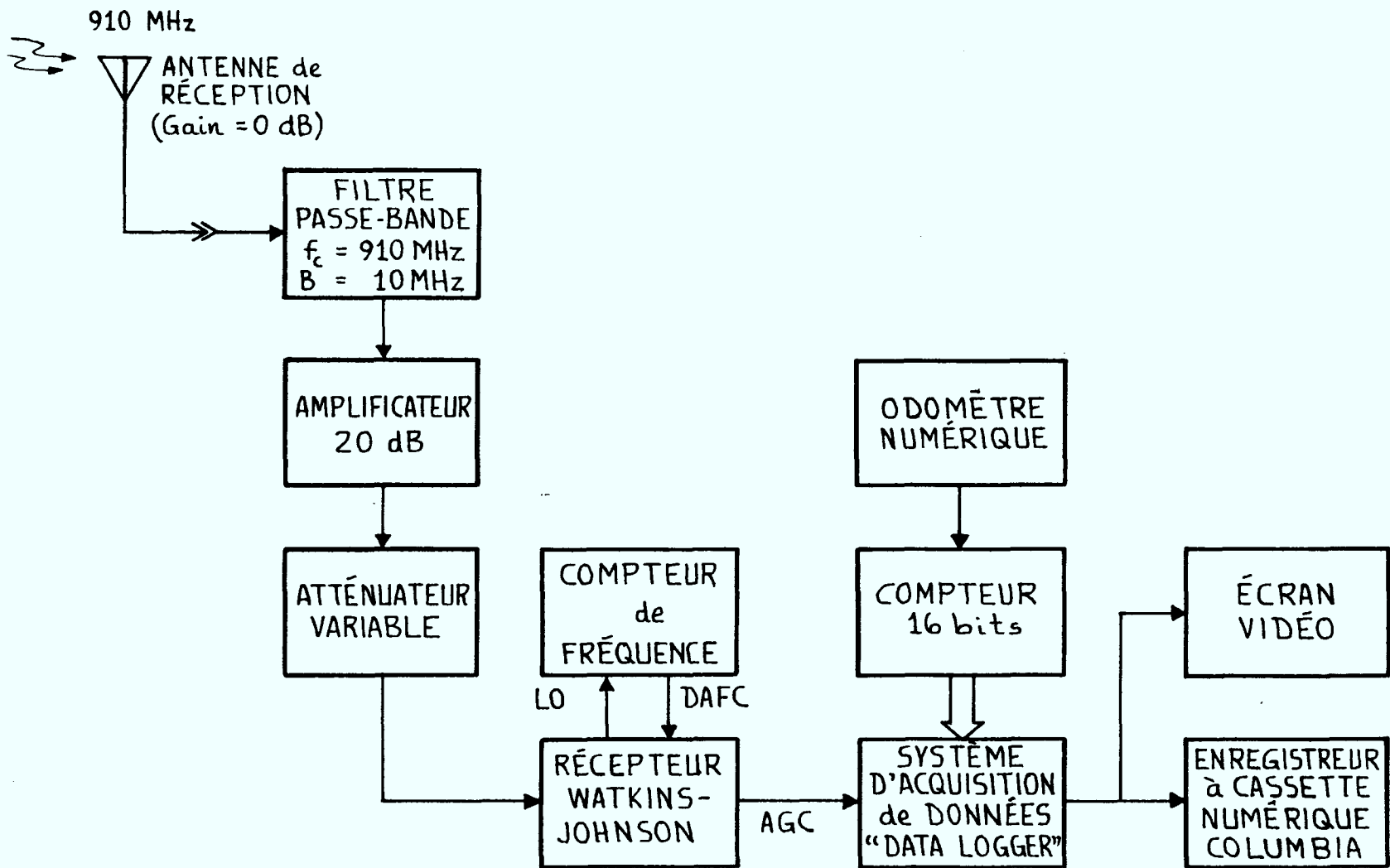


Figure 2.3: SCHÉMA DU SYSTÈME DE RÉCEPTION (été 1984)

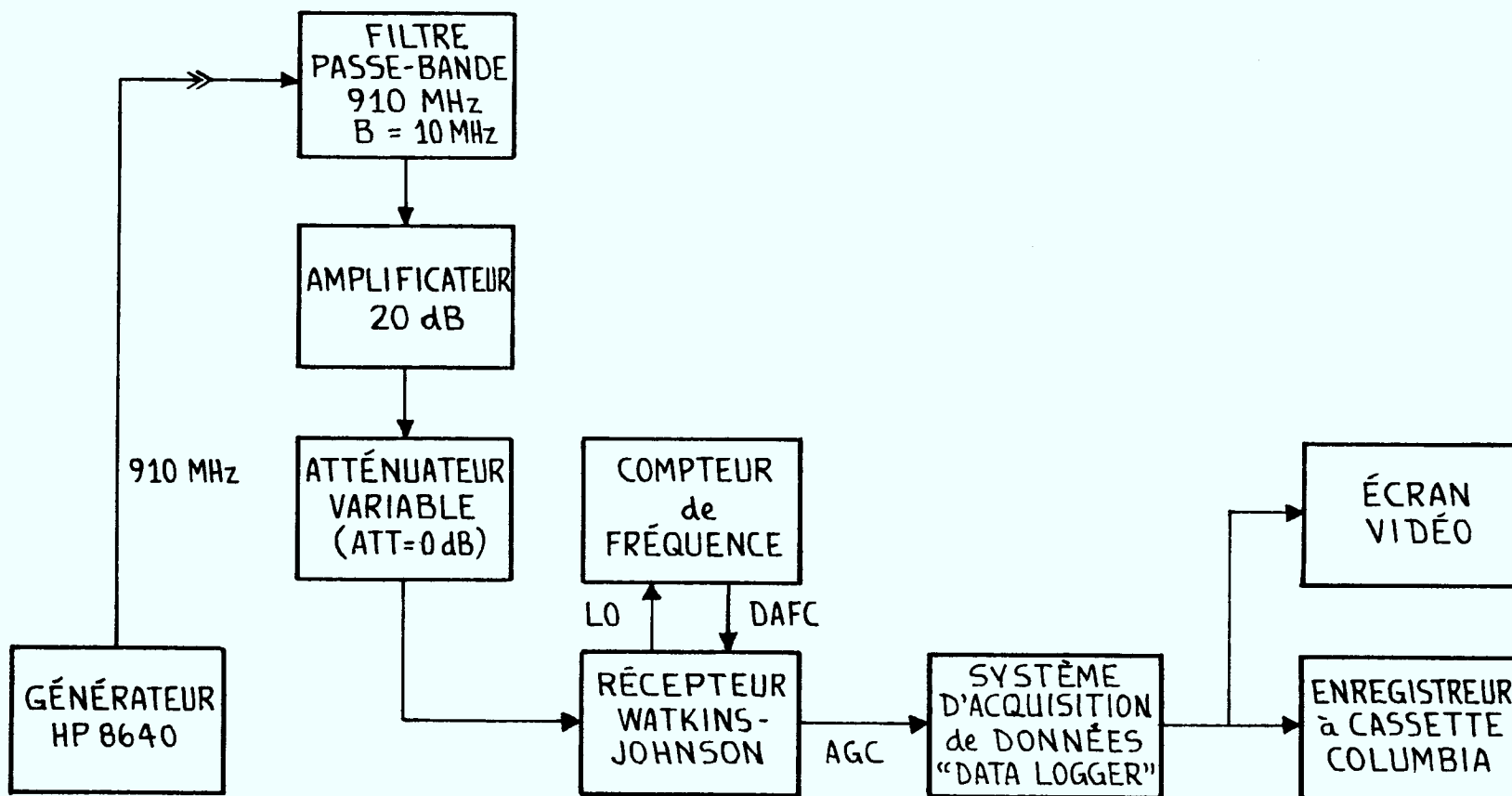


Figure 2.4

SCHÉMA DU MONTAGE UTILISÉ POUR LA CALIBRATION DU SYSTÈME D'ACQUISITION DE DONNÉES. (ÉTÉ 1984).

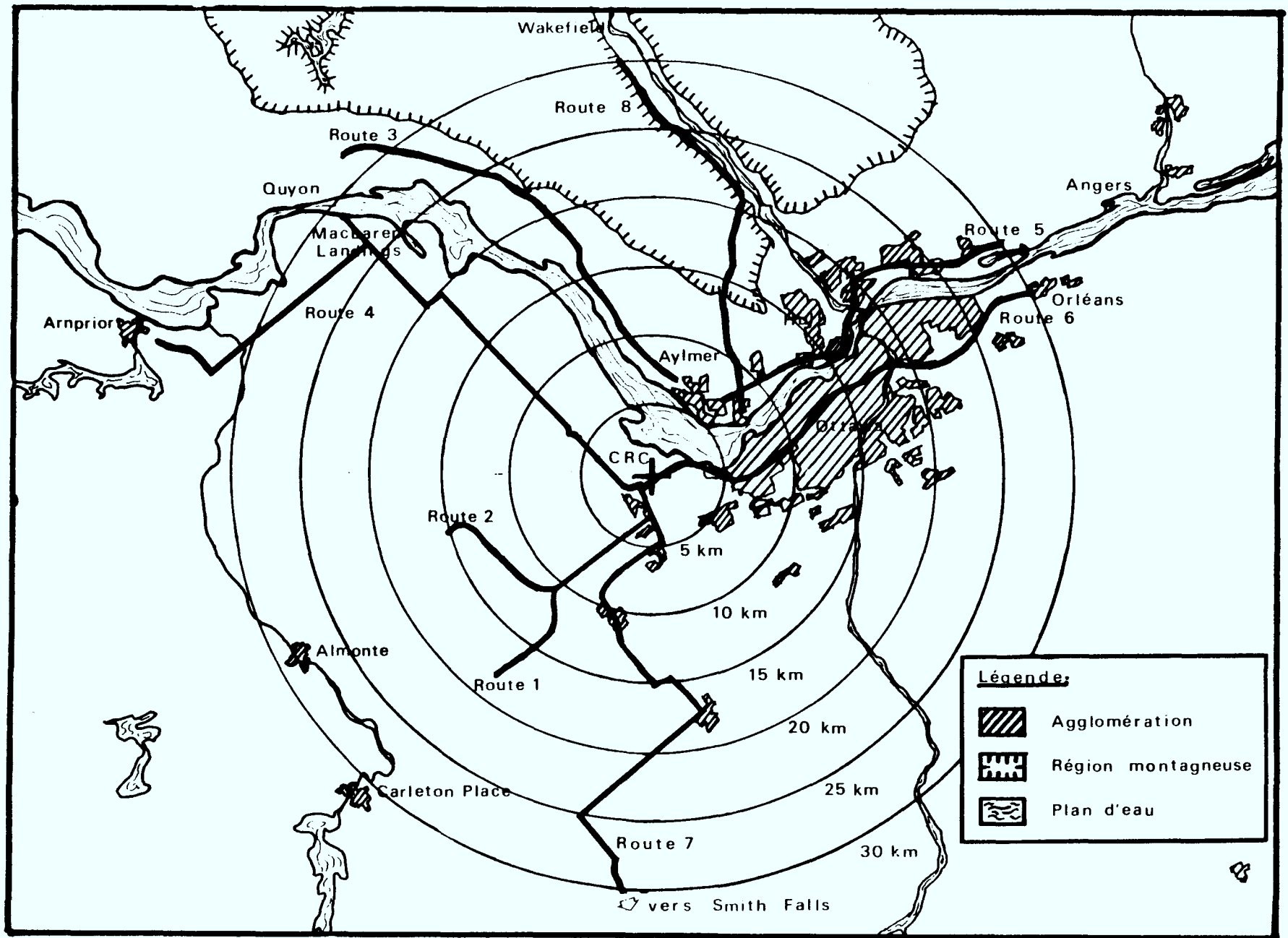


Figure 2.5: Vue générale de la région couverte par la campagne de mesures.

2.3 Mesures de propagation (été 1984) (suite)

Le type de résultats et de données actuellement disponibles est illustré dans les tableaux et les figures suivantes. Pour fins d'illustration, on a pris la route #3 de Aylmer à Quyon:

- le tableau 2.1 donne les coordonnées des lieux auxquels correspondent les divers fichiers de données: en principe, c'est-à-dire dans la mesure du possible, un fichier avec le véhicule immobilisé et un fichier avec le véhicule circulant à une vitesse d'environ 10 km/h ont été enregistrés à tous les kilomètres de distance de la station de base.
- le tableau 2.2 donne, pour les fichiers enregistrés avec le véhicule immobilisé, et pour les positions d'enregistrement, la distance en kilomètre à partir de la station de base, les pertes moyennes en dB sur l'ensemble du fichier, de même que l'écart type et la variance. La figure 2.6 présente un graphique des pertes moyennes de propagation en fonction de la distance.
- le tableau 2.3 est constitué de façon semblable au tableau 2.2, mais correspond aux fichiers enregistrés avec le véhicule en mouvement. Les pertes moyennes en fonction de la distance sont également présentées sous forme graphique à la figure 2.7.

Les relevés topographiques, obtenus grâce à la base de données du CRC [14], sont également disponibles pour fins d'analyse. Ainsi, les figures 2.8 (a et b), 2.9 (a et b) et 2.10 (a et b) représentent les profils topographiques entre la station centrale et les points situés sur cette route à 12.9, 13.9 et 15.9 kilomètres respectivement (fichiers AMOB81, AMOB83 et AMOB86). Les figures 2.8 a, 2.9 a et 2.10 a donnent les sorties obtenues de la base de données du CRC alors que les figures 2.8 b, 2.9 b et 2.10 b donnent le profil topographique entre les antennes de transmission et de réception. Pour ces parcours, les pertes moyennes avec le véhicule immobilisé étaient respectivement de 146, 126 et 147 dB, ce qui est tout à fait compatible avec les caractéristiques topographiques du parcours.

Route #3: Aylmer - Quyon

Coordonnées du transmetteur au CRC: 18, 430.70, 5021.60.

Distance en km	Zone	Longitude en km	Latitude en km
7	18	432.50	5028.15
8	18	430.95	5029.45
9	18	430.00	5030.40
10	18	429.05	5031.35
11	18	428.25	5032.20
12	18	427.80	5033.10
13	18	427.30	5034.00
14	18	426.60	5034.90
15	--	---.--	----.--
16	18	425.40	5036.60
17	18	425.50	5037.75
18	18	424.90	5038.60
19	18	424.15	5039.20
20	18	423.50	5040.00
21	18	422.90	5040.90
22	18	422.10	5041.60
23	18	420.80	5042.25
24	18	420.25	5043.05
25	18	418.65	5043.35
26	18	417.50	5043.80
27	18	415.95	5044.10
28	18	414.85	5044.50
29	18	413.60	5044.80
30	18	412.20	5045.00
31	18	410.80	5045.20
32	18	408.85	5044.80

Tableau 2.1: Coordonnées des lieux pour les divers fichiers de données.

Route #3: Aylmer - Quyon (7 à 32 km, immobile)

Direction: Est-Ouest Type de milieu: suburbain

Distance en km	Pertes en dB	Ecart-type	Variance	# Fichier FILExxx.DAT
5	-	-	-	-
6	-	-	-	-
7	122.47	0.248	0.062	69
8	136.53	0.644	0.414	71
9	121.55	0.414	0.172	73
10	136.51	1.164	1.354	75
11	133.61	0.326	0.106	77
12	134.13	0.209	0.044	79
13	145.97	0.661	0.437	81
14	126.05	0.490	0.240	83
15	-	-	-	-
16	147.43	1.490	2.221	86
17	144.63	0.445	0.198	88
18	146.26	1.008	1.016	90
19	153.44	2.992	8.954	92
20	147.07	1.391	1.934	94
21	141.59	0.778	0.605	96
22	136.99	0.376	0.141	98
23	150.45	1.279	1.635	100
24	162.64	5.297	28.055	102
24-bis	137.71	0.495	0.245	104
25	159.23	1.042	1.087	106
26	156.66	1.154	1.331	108
27	158.13	0.986	0.973	110
28	157.64	0.792	0.627	112
29	151.89	0.500	0.250	115
30	168.94	3.208	10.288	117
31	156.24	1.456	2.120	119
32	143.22	0.497	0.247	121

Ecart-type moyen: 1.128

Variance moyenne: 2.491

(*: fichiers singuliers)

Tableau 2.2: Fichiers enregistrés avec le véhicule immobilisé.

Route #3: Aylmer - Quyon (7 à 32 km, en mouvement)

Direction: Est-Ouest Type de milieu: suburbain

Distance en km	Pertes en dB	Ecart-type	Variance	# Fichier FILExxx.DAT
5	-	-	-	-
6	-	-	-	-
7	120.52	2.769	7.666	70
8	130.40	4.201	17.650	72
9	127.80	5.217	27.217	74
10	131.74	5.021	25.211	76
11	135.99	4.652	21.645	78
12	137.16	3.042	9.254	80
13	137.84	3.625	13.142	82
14	134.55	4.765	22.703	85
15	-	-	-	-
16	150.53	4.792	22.966	87
17	149.52	3.253	10.579	89
18	140.46	3.857	14.876	91
19	144.46	5.249	27.548	93
20	143.55	3.517	12.368	95
21	135.47	2.576	6.636	97
22	137.43	1.789	3.200	99
23	154.37	5.517	30.435	101
24	153.54	5.132	26.335	103
24-bis	144.94	4.960	24.600	105
25	161.98	4.694	22.034	107
26	153.88	3.206	10.275	109
27	157.15	4.701	22.103	111
28	160.39	4.621	21.351	114
29	155.92	5.654	31.964	116
30	154.64	4.591	21.077	118
31	159.54	4.704	22.131	120
32	152.51	4.877	23.787	123

Ecart-type moyen: 4.268

Variance moyenne: 19.183

Tableau 2.3: Fichiers enregistrés avec le véhicule en mouvement.

Route #3: Aylmer - Guyon (véhicule immobile)

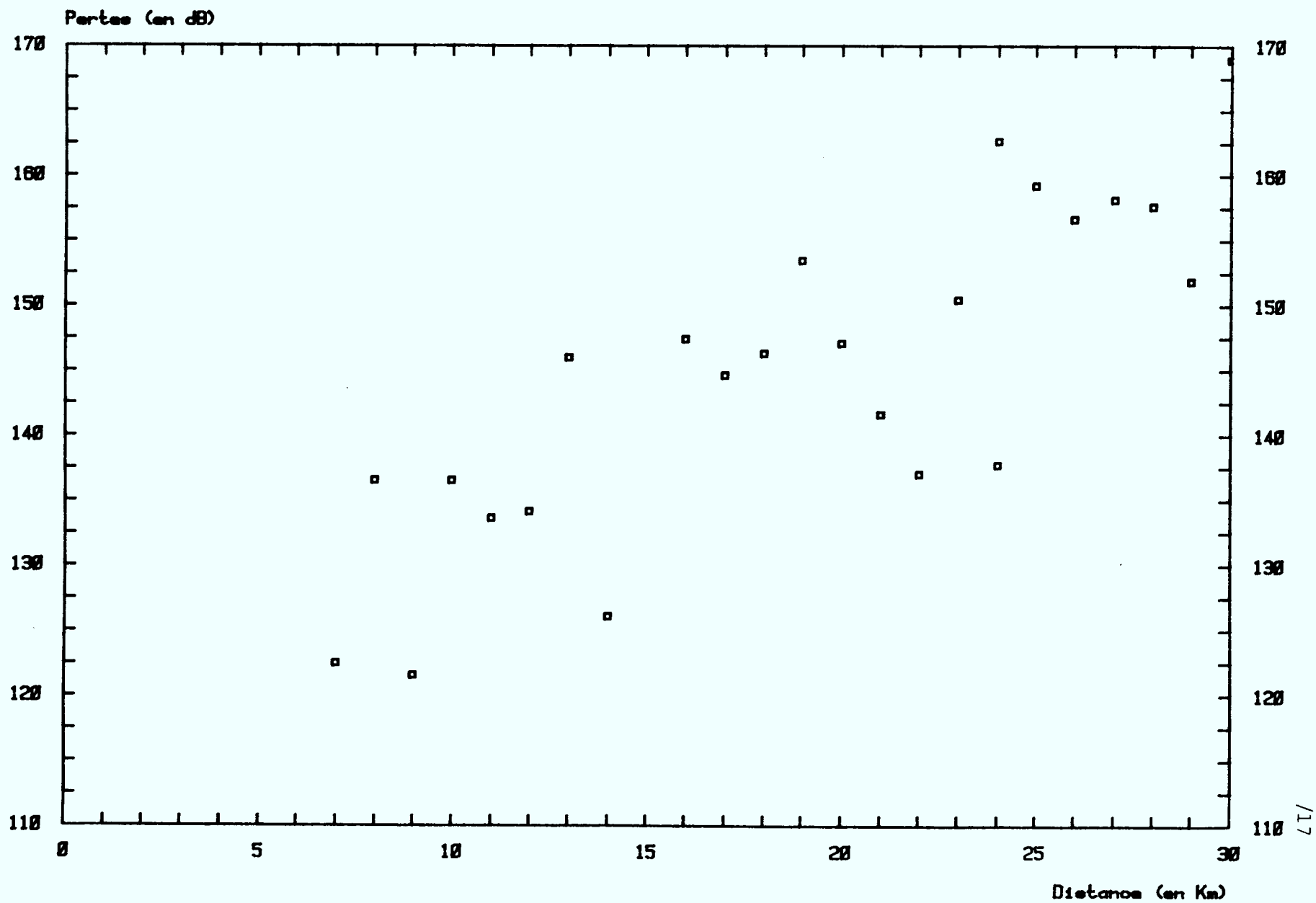


Figure 2.6: Pertes moyennes de propagation en fonction de la distance (véhicule immobilisé).

Route #3: Aylmer - Guyon (véhicule en mouvement)

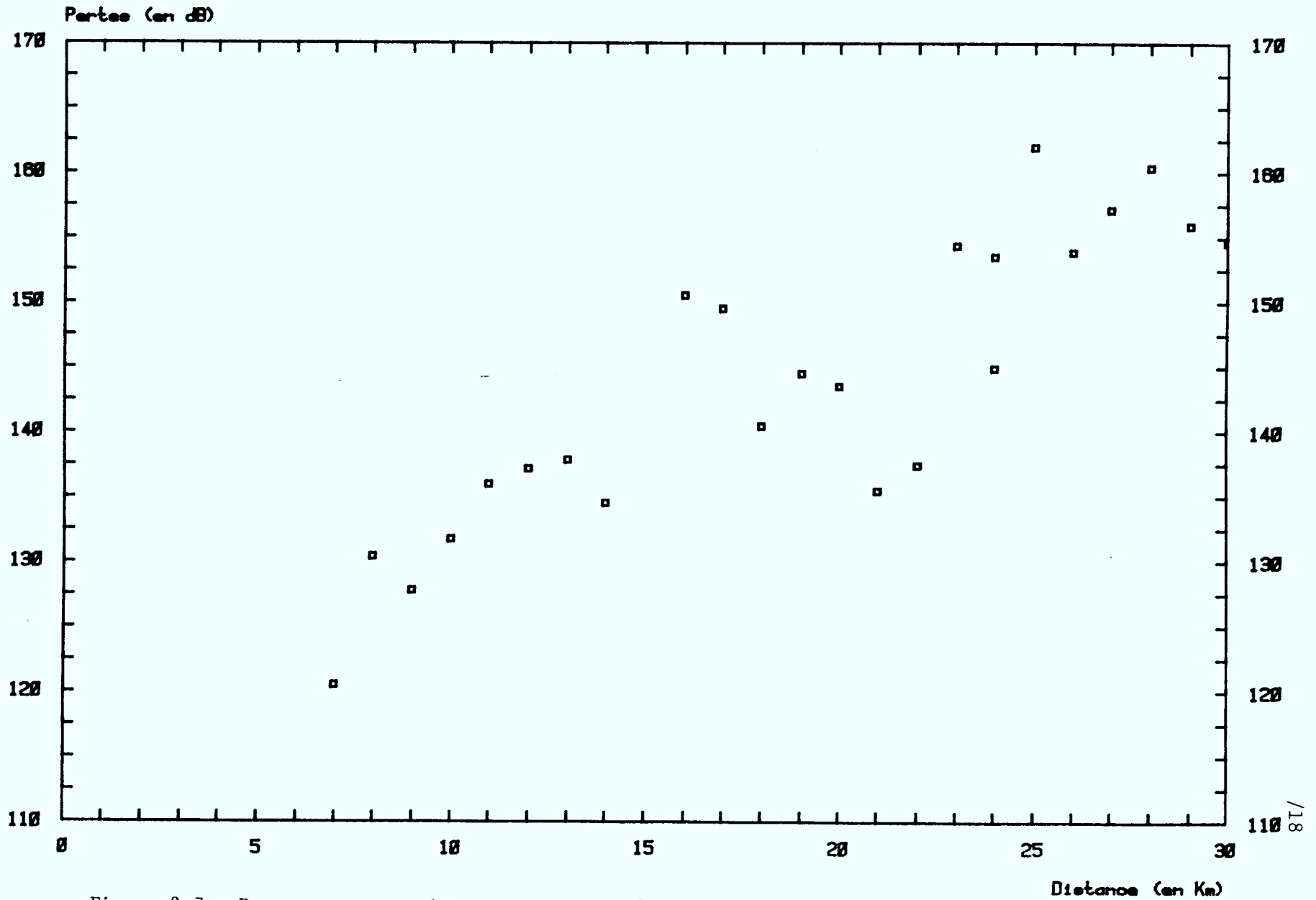


Figure 2.7: Pertes moyennes de propagation en fonction de la distance (véhicule en mouvement).

K FACTOR: 1.33333

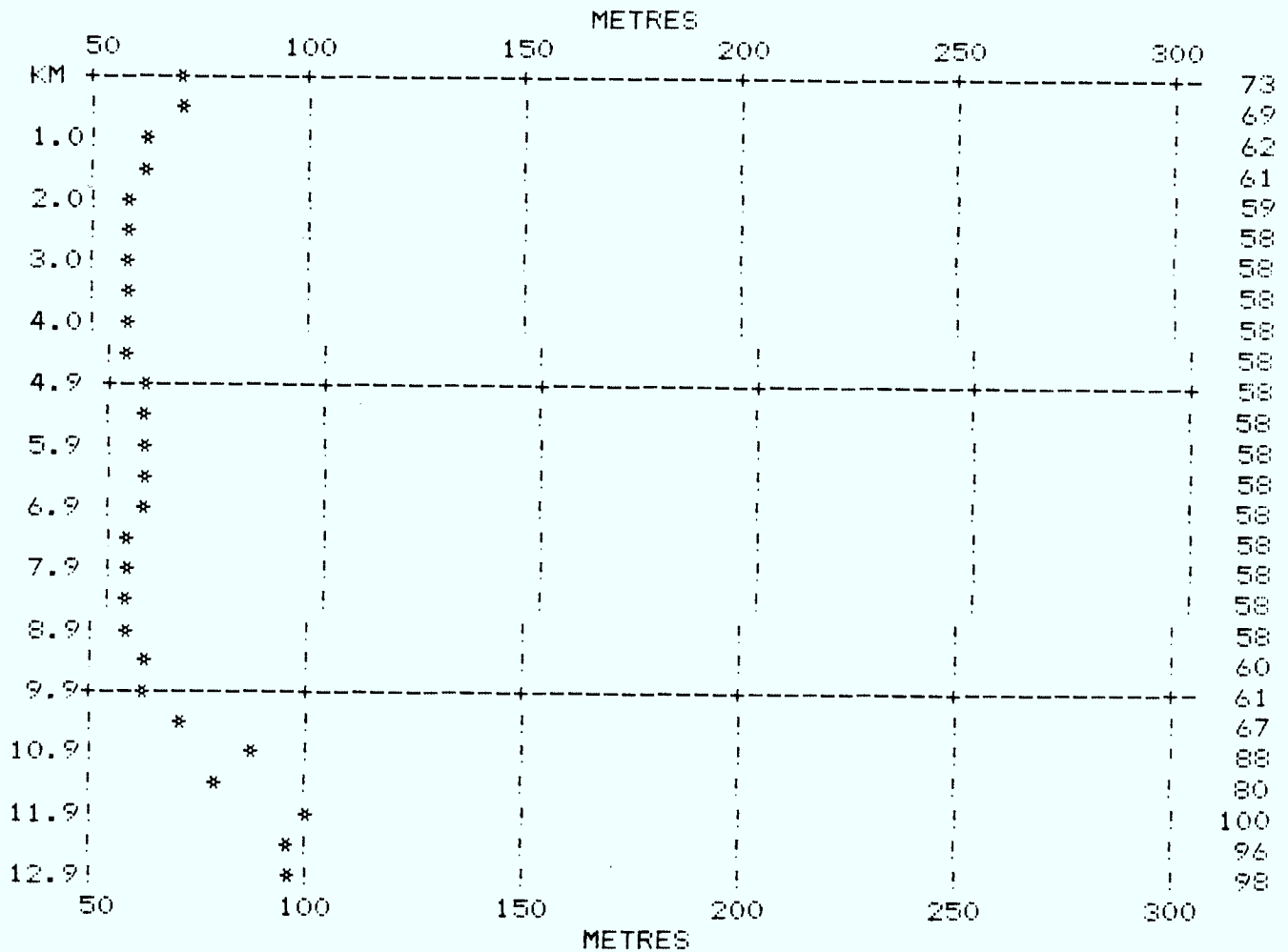
 TX: 45.346 N 75.885 W
 45 20' 47" 75 53' 5"

 RX: 45.458 N 75.930 W
 45 27' 28" 75 55' 47"

Figure 2.8 a: Profil topographique obtenu avec la base de données du CRC.

Topographie associée au fichier AMDB81

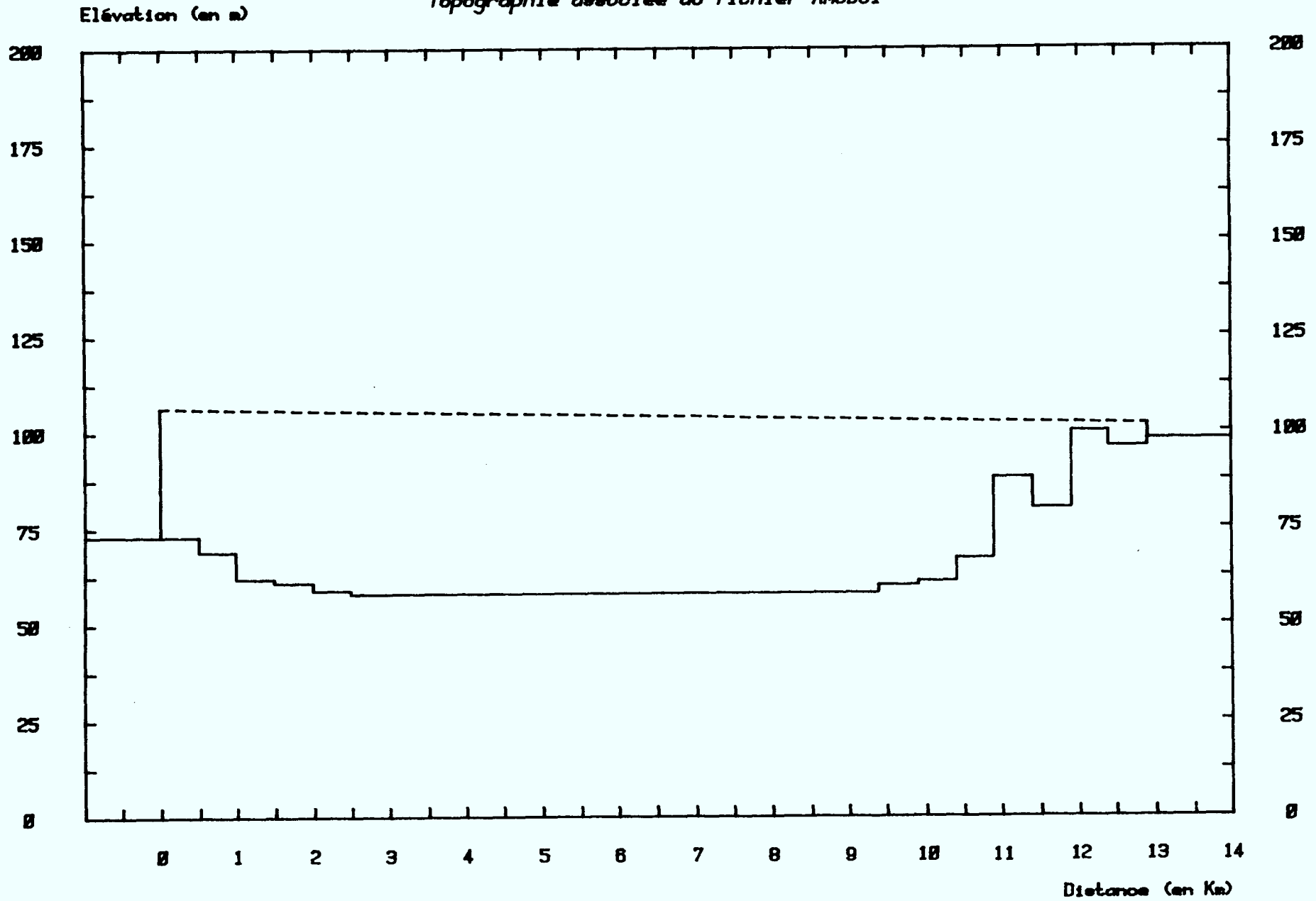
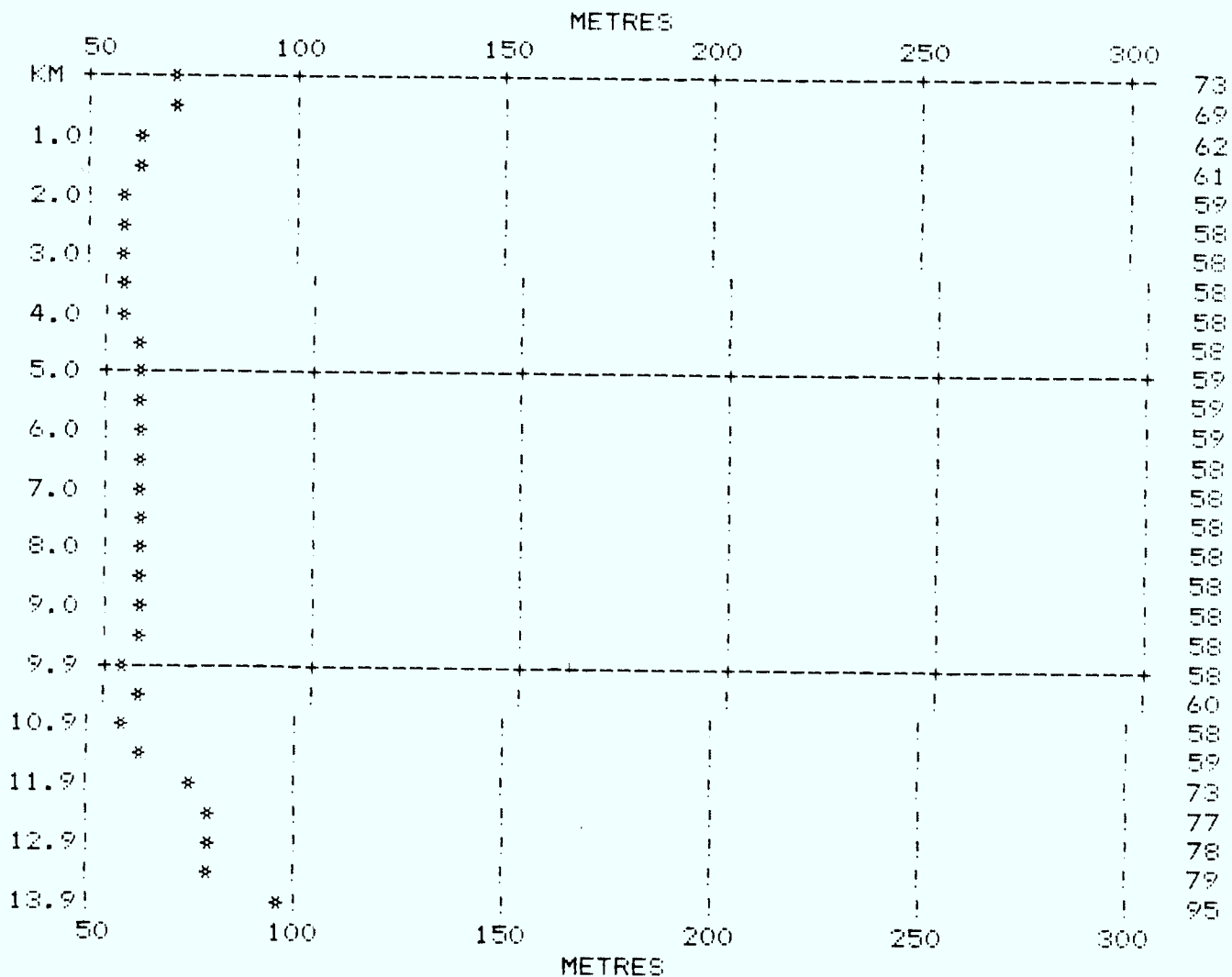


Figure 2.8 b: Profil topographique entre les antennes de transmission et de réception.

K FACTOR: 1.33333

TX: 45.346 N 75.885 W
 45 20' 47" 75 53' 5"



RX: 45.466 N 75.939 W
 45 27' 57" 75 56' 20"

Figure 2.9 a: Profil topographique obtenu avec la base de données du CRC.

Topographie associée au fichier AMOB83

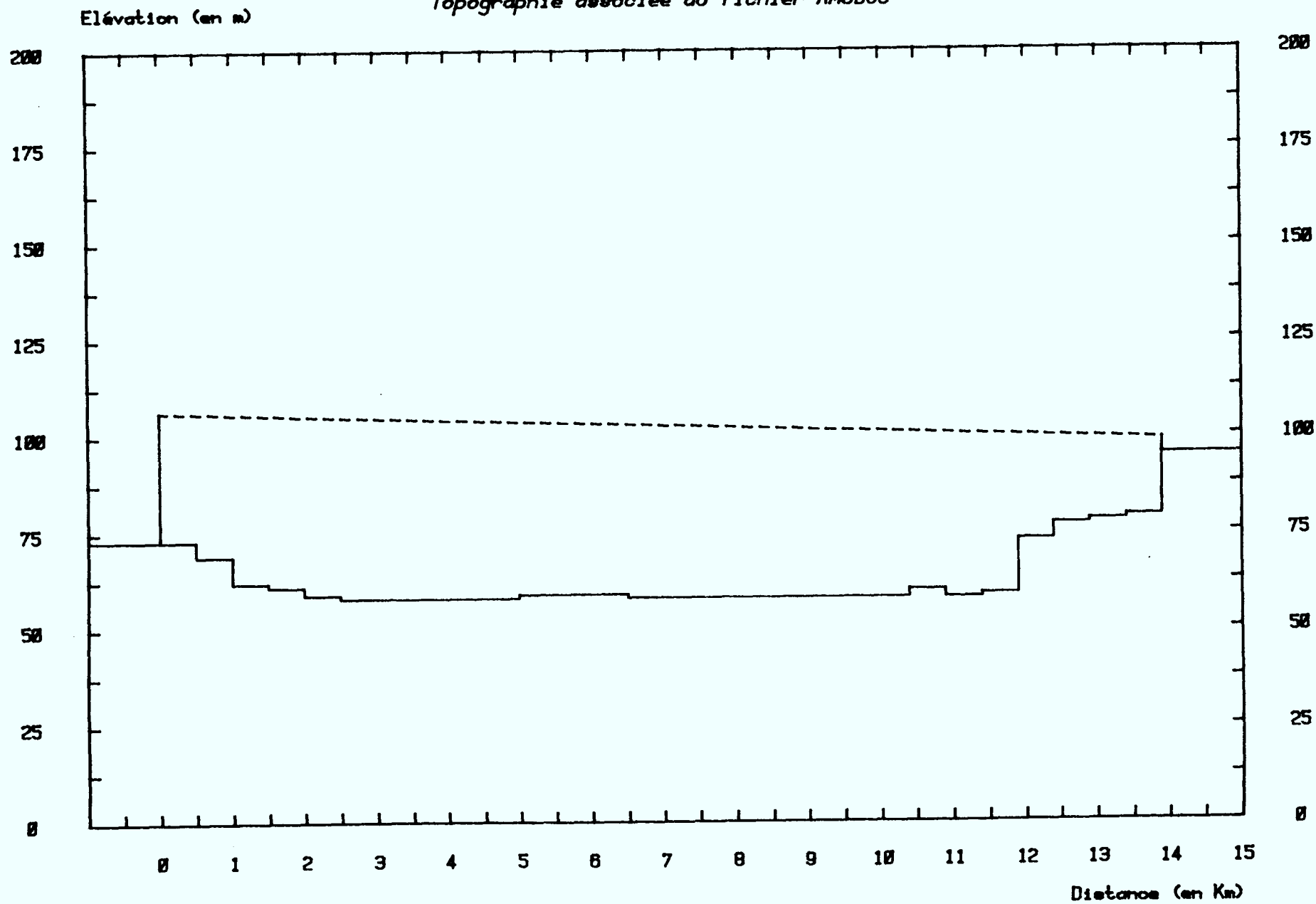
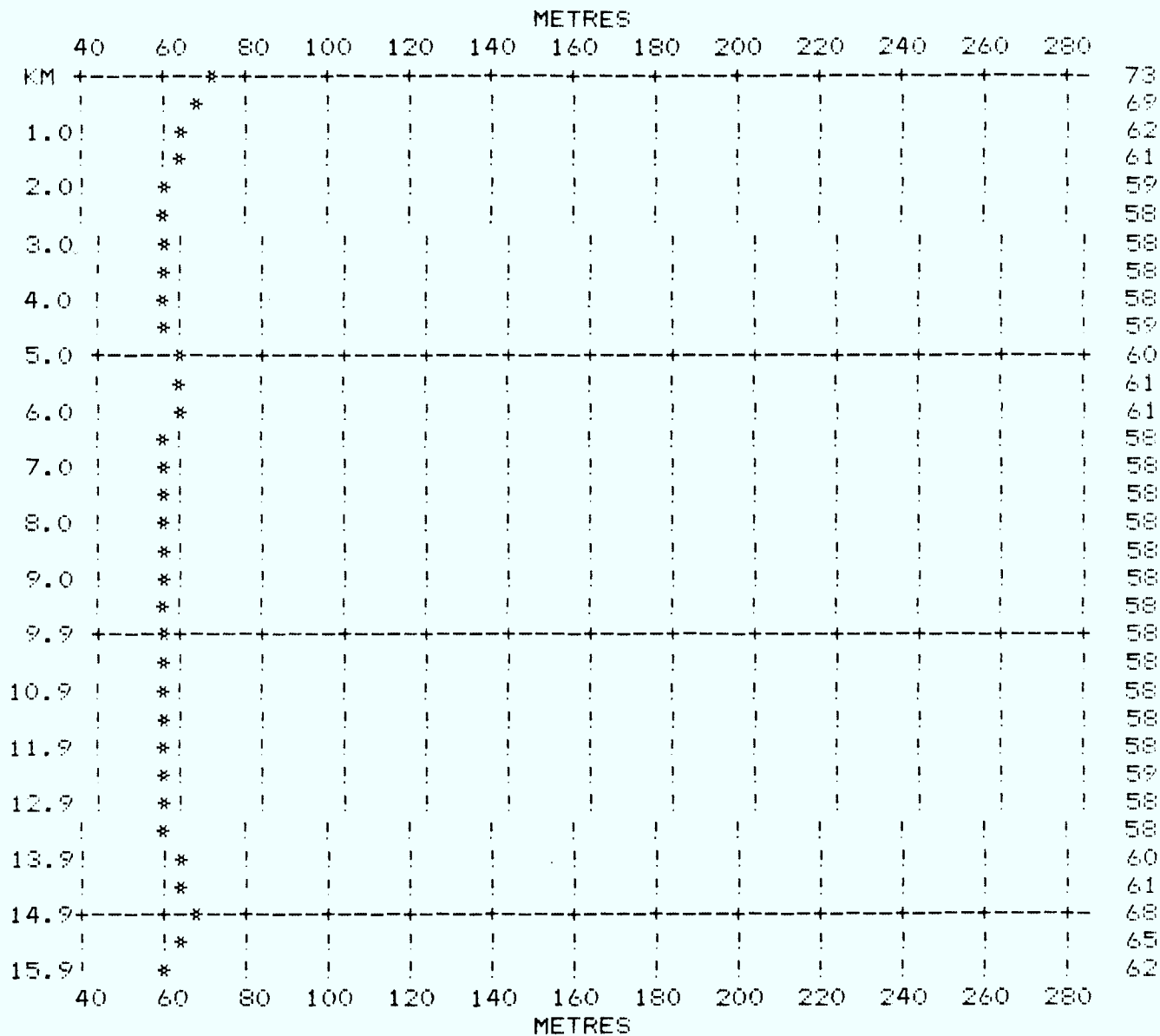


Figure 2.9 b: Profil topographique entre les antennes de transmission et de réception.

K FACTOR: 1.33333

TX: 45.346 N 75.885 W
 45 20' 47" 75 53' 5"



RX: 45.481 N 75.955 W
 45 28' 51" 75 57' 16"

Figure 2.10 a: Profil topographique obtenu avec la base de données du CRC.

Topographie associée au fichier AMO886

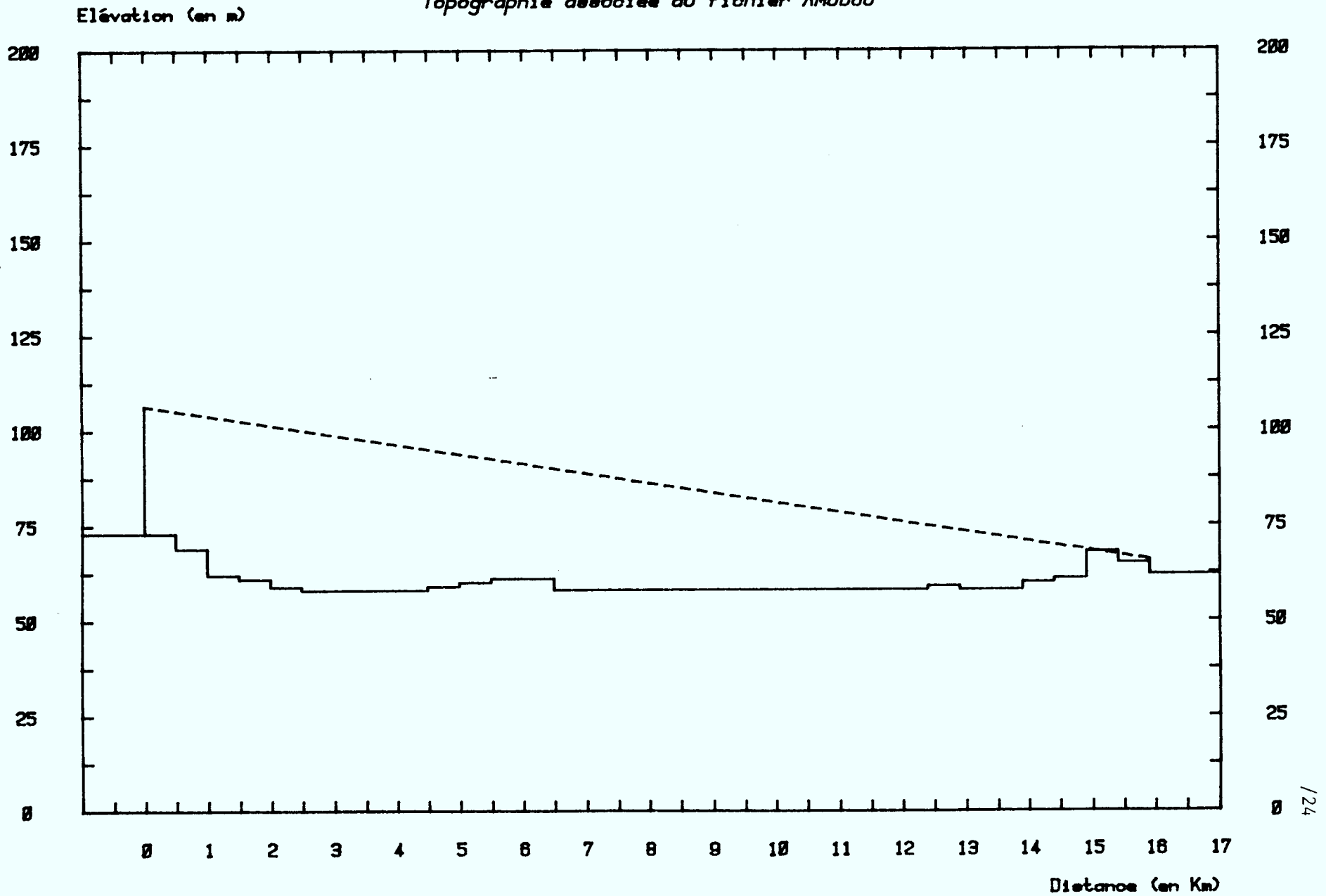


Figure 2.10 b: Profil topographique entre les antennes de transmission et de réception.

2.3 Mesures de propagation (été 1984) (suite)

On trouvera à l'Annexe A un ensemble de tableaux et de figures indiquant, pour les 8 routes suivies, la position des points d'enregistrement, de même que les pertes, écart-type et variances moyennes des fichiers.

2.4 Travaux de modélisation à venir

L'objectif des mesures de propagation qui ont été prises et de celles à venir est de parvenir à une modélisation du canal radio-mobile urbain. On trouvera ci-dessous un plan en vue de ces travaux de modélisation.

On reconnaît habituellement que le niveau du signal reçu dans un canal radio-mobile urbain pourra se décrire statistiquement:

- a) par un niveau local moyen qui fluctue en fonction de la topographie, de la grosseur moyenne des édifices, etc. Le niveau local moyen doit être calculé sur une distance qui sera grande par rapport à la distance entre les minima du taux d'onde stationnaire qui résulte de la présence des réflecteurs et on prend normalement des zones de l'ordre de 50 mètres de diamètre. On fait généralement l'hypothèse que ce niveau médian, dans un ensemble de petites zones, suit une loi log-normale.

- b) par des fluctuations rapides qui suivent une loi de Rayleigh ou, plus généralement de Rice. C'est la présence d'un réflecteur (obstacle naturel, édifice, etc.) qui donne naissance à un patron d'onde stationnaire dont les minima sont situés à une distance de $\lambda/2$ dans une direction donnée (λ : longueur d'onde de la porteuse); une antenne qui traverse ce champ d'onde stationnaire dans cette direction rencontrera donc un minimum tous les $\lambda/2$ de distance; si l'antenne traverse le champ obliquement, la distance entre les minima sera plus grande, de façon inversement proportionnelle au cosinus de l'angle de la traversée.

2.4 Travaux de modélisation à venir (suite)

Dans les faits, et on pourra se rapporter, pour les détails, aux figures 3.10 et 3.11, pages 43 à 58 du rapport présenté en 1984 par les signataires de ce rapport [6], on a affaire à un signal très aléatoire et une modélisation statistique complète du signal représente un défi important.

a) Prédiction des pertes moyennes de transmission:
Prédiction du niveau du signal local moyen

Un objectif du travail de modélisation sera donc la prédiction du niveau du signal local moyen. Ce niveau fluctue en particulier en fonction de la topographie, de la présence de zones d'édifices ou d'autres obstacles.

On a déjà discuté dans une section précédente de ce chapitre des travaux qui peuvent être entrepris en vue de compléter les études comparatives menées précédemment par les auteurs de ce rapport sur les modèles de prédiction des pertes à propagation, et particulièrement sur l'inclusion dans ces modèles d'une méthode statistique de calcul des pertes de diffraction dues au terrain [3, 13].

Les travaux à entreprendre devraient inclure:

- 1) le calcul du niveau local moyen sur des zones locales où les propriétés statistiques du signal sont stationnaires, et la détermination des dites zones par des procédures de segmentation à définir;
- 2) la détermination des paramètres statistiques (présumément la moyenne et la variance d'une distribution log-normale) permettant de modéliser le niveau local moyen en tenant compte:
 - de la distance par rapport au transmetteur,
 - des caractéristiques topographiques macroscopiques,
 - du type de région (ouvert, suburbain, urbain, urbain dense);

2.4 Travaux de modélisation à venir (suite)

- 3) Une étude détaillée de l'effet des caractéristiques topographiques sur le niveau moyen du signal reçu.

Alors qu'au point 2 ci-dessus, on essaiera de tenir compte des caractéristiques topographiques de façon statistique par l'inclusion d'un modèle statistique des pertes dues au terrain, du type proposé précédemment [3, 13], on envisage au point 3 une étude basée sur le profil détaillé du terrain.

Au niveau de la modélisation par rapport au type de milieu urbain, on pourra relier les résultats aux modélisations proposées par Hata [7], Allsebrook et Parsons [12], Kozono et Watanabe [15], Ott et Plitkins [16] et autres, précédemment étudiés par les auteurs de ce rapport.

On fait donc l'hypothèse que le niveau local moyen exprimé en dB ($\bar{s}_d = 20 \log \bar{s}$) est normalement distribué autour d'une valeur moyenne m_d , qu'on peut appeler "moyenne de zone" et égale à la moyenne de \bar{s}_d . Ainsi, la densité de probabilité du signal local moyen s'écrit:

$$P(\bar{s}_d) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(\bar{s}_d - m_d)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2.1)$$

Les travaux de Hata [7], Allsebrook et Parsons [12], Kozono et Watanabe [15] ont porté sur la prédiction et l'évaluation de la valeur moyenne m_d . σ représente la déviation standard de l'atténuation, et a été évaluée à un maximum de 10 dB par Ott et Plitkins [16] en milieu urbain, à 6 dB par French [17] à Londres, et à une valeur variant entre 8 et 12 dB par Jakes [18] pour les villes américaines et japonaises.

Ces données n'ont cependant jamais fait l'objet d'une évaluation systématique et l'objectif est maintenant d'entreprendre une telle étude.

2.4 Travaux de modélisation à venir (suite)

b) Modélisation du niveau instantané du canal par un modèle de Rice

Un canal de Rice est essentiellement formé d'un canal de Rayleigh, représentant la composante multivoie, auquel on additionne une composante directe dont on peut fixer le niveau en vue de varier le rapport multivoie/ligne-de-vue. On peut également tenir compte des caractéristiques de l'antenne de réception et de la fréquence Doppler introduite par le déplacement du véhicule.

On peut montrer que, pour un canal radio-mobile, lorsque le signal reçu au récepteur est fonction de plusieurs réflexions, la fonction de densité de probabilité de l'enveloppe du champ électrique suit une distribution de Rayleigh et est donnée par:

$$f_R(r) = \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2.2)$$

Si on ajoute également un signal en ligne de vue d'amplitude b , la fonction de densité de probabilité de l'enveloppe du champ électrique suit une distribution de Rice et est donnée par:

$$f_R(r) = \frac{r}{\sigma^2} \exp\left[-\frac{(r^2 + b^2)}{2\sigma^2}\right] I_0\left(\frac{rb}{\sigma^2}\right) \quad (2.3)$$

ou I_0 est une fonction de Bessel modifiée d'ordre 0.

Pour fin de modélisation du canal radio-mobile, le canal de Rayleigh ou de Rice peut être simulé numériquement, tel que rapporté précédemment par les auteurs [4, 19]. La simulation du canal de Rayleigh lui-même est obtenue par l'addition en quadrature de deux séquences aléatoires gaussiennes. Si ces séquences sont dans le domaine des fréquences, il est possible de les filtrer selon des caractéristiques qui tiennent compte des propriétés des antennes et la fréquence Doppler due au mouvement du véhicule; après une transformée de Fourier inverse qui donne une enveloppe dans le temps suivant une

2.4 Travaux de modélisation à venir (suite)

b) Modélisation du niveau instantané du canal par un modèle de Rice (suite)

distribution de Rayleigh, on peut faire l'addition d'une composante directe pour obtenir un signal avec distribution de Rice. Ce signal correspond à l'enveloppe du champ électrique à l'entrée du récepteur radio-mobile.

Les travaux de modélisation à entreprendre à ce niveau devront donc inclure:

- 1) le traitement des données de propagation enregistrées en vue de la modélisation de la fréquence Doppler,
- 2) la détermination des paramètres statistiques (présumément la variance de la loi de Rayleigh et le rapport composante ligne-de-vue à composante multivoie) permettant de modéliser le canal en fonction du type de région (ouvert, suburbain, urbain, urbain dense) ou de tout autre phénomène significatif.

Les travaux menés au point 1 devront déboucher sur des recommandations générales pour une modélisation de la variation de la fréquence Doppler, alors que les travaux menés au point 2 devront permettre une modélisation de l'enveloppe du champ électrique reçu au récepteur en fonction du type de région ou de tout autre phénomène significatif.

c) Modélisation du canal radio-mobile numérique

A partir des résultats précédents, il sera possible de réaliser une modélisation statistique des erreurs d'un système de communication radio-mobile numérique en milieu urbain. Au taux de transmission envisagé, la génération d'erreurs de transmission est essentiellement reliée au rapport signal-à-bruit. Pendant les affaiblissements profonds du niveau de l'enveloppe du signal, la probabilité d'erreur est importante et, par conséquent, les erreurs ont tendance à se former en groupements dénotés "salves".

2.4 Travaux de modélisation à venir (suite)

c) Modélisation du canal radio-mobile numérique (suite)

Tel que nous l'avons rapporté précédemment [4, 19], Aulin, en se basant sur des résultats expérimentaux, a réalisé une étude statistique de la distribution des erreurs dans un système de communication radio-mobile numérique en milieu urbain. Cette analyse statistique est basée sur l'étude de la longueur des intervalles libres d'erreurs entre salves successives et consiste essentiellement à déterminer la probabilité de transition d'un état à un autre après un nombre r d'erreurs. La probabilité de transition d'ordre r est définie comme étant la probabilité d'obtenir, étant donné l'état initial a_j , l'état final a_k après un nombre r d'erreurs:

$$P_{jk}^{(r)} = P(a_k/a_j)^{(r)} \quad (2.4)$$

Dans cette relation, r représente le nombre d'erreurs entre les intervalles libres d'erreur a_j et a_k , la classe a_j représente la longueur de l'intervalle initial libre, et la classe a_k l'intervalle final libre d'erreur. C'est à noter que la longueur des intervalles libres d'erreurs a_j et a_k peut être nulle.

Les auteurs de ce rapport ont précédemment utilisé ce type de modélisation pour étudier un canal radio-mobile simulé [4, 19]. Les travaux de modélisation à entreprendre maintenant consisteront à modéliser des séquences d'erreur dont les propriétés statistiques correspondront aux canaux radio-mobiles réels rencontrés. Il devra s'agir d'une modélisation globale, c'est-à-dire tenant compte:

2.4 Travaux de modélisation à venir (suite)

c) Modélisation du canal radio-mobile numérique (suite)

a) du niveau moyen du signal reçu en fonction:

- de la distance par rapport au transmetteur,
- des caractéristiques topographiques,
- du type de région (ouvert, urbain, etc.);

b) des variations rapides du signal (modèle de Rice) en fonction:

- de la variation de la fréquence Doppler,
- de la profondeur des affaiblissements et du rapport ligne-de-vue/multivoie selon la distance, les caractéristiques topographiques et le type de région.

2.5 Conclusion

Ce chapitre a été consacré à une description générale des mesures de propagation prises à l'été 1984, à une présentation des quelques résultats traités à date et à la présentation du plan des travaux à venir pour la modélisation du canal radio-mobile en milieu urbain.

Le chapitre suivant est consacré à une description des améliorations apportées au système de mesure en vue des mesures de propagation devant avoir lieu à l'été 1985. Ces améliorations sont principalement au niveau de la vitesse d'échantillonnage qui sera poussée à 10,000 Hz plutôt qu'à 100 Hz, ce qui permettra de modéliser une transmission numérique à un débit plus élevé et de bien mesurer les affaiblissements courts, et conséquemment de permettre des mesures significatives avec le véhicule se déplaçant à des vitesses plus importantes.

Chapitre 3

MESURES EXPERIMENTALES DE LA PERFORMANCE D'UN SYSTEME DE TRANSMISSION NUMERIQUE

3.1 Introduction

La transmission de l'information sous forme numérique constitue une alternative de plus en plus intéressante dans le domaine des télécommunications. Parmi les avantages de la transmission numérique, on peut citer notamment le multiplexage relativement aisé de signaux analogiques et numériques sur une seule voie de transmission ainsi que l'utilisation de techniques de codage de canal qui, par l'ajout de caractères de redondance, permettent de contrer les effets perturbateurs du canal de transmission.

En télécommunication radio-mobile, les conditions de propagation particulières qui prévalent dans ce type de canal affectent sévèrement la qualité de la liaison. La réflexion du faisceau émis par le transmetteur sur les obstacles avoisinants le récepteur mobile produit des affaiblissements importants de l'enveloppe du signal, ce qui conduit momentanément à un rapport signal-à-bruit très faible et, de ce fait, à une performance marginale d'un système de télécommunication radio-mobile.

L'enregistrement des paramètres de transmission d'un système de communication numérique, tels les niveaux du signal et du bruit, l'enregistrement de séquences d'erreurs, ainsi que l'analyse statistique des résultats dérivés des données expérimentales recueillies (e.g. le taux d'erreur en fonction du rapport signal-à-bruit), permettent l'étude des performances du canal.

Au cours de cette campagne de mesures, on prévoit effectuer plusieurs séries de mesures expérimentales en milieu urbain de densité moyenne (i.e. dans le centre-ville d'Ottawa), en milieu suburbain (e.g. Kanata, Aylmer, etc.) et, enfin, en milieu ouvert.

3.1 Introduction (suite)

Une campagne de mesure de divers paramètres reliés à la performance d'un système de télécommunication numérique dans un canal de transmission radio-mobile est prévue pour l'été 1985 dans la région d'Ottawa. Dans ce chapitre, on expose, en premier lieu, le principe d'opération du système de mesures que l'on se propose d'utiliser lors de cette série de mesures expérimentales. Une description détaillée des composantes du système fait l'objet de la seconde ainsi que de la troisième partie du présent chapitre.

3.2 Principe de fonctionnement du système de mesures

Pour chacun des enregistrements, on relève simultanément l'amplitude de l'enveloppe du signal à la réception, le niveau du bruit dans une bande de fréquences voisine de la plage utilisée pour le signal numérique, la séquence d'erreur binaire engendrée par le canal ainsi que le déplacement de l'unité mobile par rapport à sa position d'origine. Le taux de transmission du système de télécommunication envisagé est fixé à 10 kbits/s, ce qui représente un débit d'information suffisant pour permettre la transmission de la voix, à l'aide de techniques de compression de largeur de bande telles la prédiction linéaire et la quantification vectorielle, ainsi que de signaux de nature purement numérique (e.g. signaux de commande, données numériques, etc.). Ce taux d'échantillonnage permet également de suivre avec précision les variations rapides de l'enveloppe du signal reçu en fonction du temps et de la position du véhicule.

Le système de mesure est constitué de trois composantes à savoir; un transmetteur, un récepteur et un système d'acquisition de données. Le principe d'opération du système de mesure consiste essentiellement à transmettre une séquence binaire pseudo-aléatoire (modulée par saut de phase) à travers le canal de propagation radio-mobile et à comparer, à la réception, la séquence reçue à la séquence originale. Le système d'acquisition enregistre la séquence d'erreur binaire obtenue par la comparaison de la séquence contaminée par le canal et de la séquence originale émise par le transmetteur. Au même moment, le système d'acquisition de données enregistre deux signaux

3.2 Principe de fonctionnement du système de mesures (suite)

analogiques correspondants aux niveaux respectifs du signal et du bruit présents dans le canal (ou plus exactement à une fréquence très voisine). De plus, à chacun des instants d'échantillonnage, le système relève et emmagasine la position du mobile à l'aide d'un odomètre électronique. Les données ainsi recueillies sont inscrites sur des disques souples pour être traitées ultérieurement.

Le système de télécommunication, proprement dit, est décrit à la prochaine section. On expose également le principe de fonctionnement détaillé du système d'acquisition de données.

3.3 Système de télécommunication

La conception, la réalisation et la mise au point du système de télécommunication radio-mobile est effectuée conjointement avec le Centre de Recherches en Communication (CRC) du Ministère fédéral des Communications à Ottawa. Il est important de noter que le matériel requis pour ce système de communication est fourni par le CRC.

Le principe d'opération du système de télécommunication consiste à transmettre dans le canal radio-mobile une séquence numérique pseudo-aléatoire et à détecter, à la réception, les erreurs de transmission introduites par le dit canal. A la séquence d'erreur ainsi produite, on associe des échantillons du rapport signal-à-bruit. Les données recueillies seront analysées, par la suite, au Laboratoire de Radiocommunications et de Traitement du Signal à l'Université Laval.

A la figure 3.1, on représente le schéma du transmetteur. Une séquence binaire pseudo-aléatoire, asservie temporellement à un étalon de fréquence passif, est encodée à l'aide d'un codeur différentiel. Cette séquence module ensuite une sous-porteuse de 70 MHz. Le signal de fréquence intermédiaire (IF) est multiplié à une porteuse de 840 MHz pour donner un signal de fréquence radio (RF) de 910 MHz. Le signal est, par la suite, filtré et

3.3 Système de télécommunication (suite)

amplifié à une puissance de 10 watts. L'émission du signal à travers le canal se fait à l'aide d'une antenne omnidirectionnelle, placée à une hauteur de 33,5 m sur le toit du CRC, dont le gain est de 9 dB.

Le système de réception est situé à l'intérieur de l'unité mobile. Le schéma général du récepteur et du système d'acquisition de données est illustré à la figure 3.2. Le signal transmis par la station fixe est reçu par une antenne omnidirectionnelle de gain unitaire localisée sur le toit du véhicule, soit 3,8 m au dessus du sol. Ce signal est filtré et amplifié avec un gain de 20 dB afin d'en faciliter la détection. Un atténuateur variable permet de réduire le niveau du signal lorsqu'il y a risque de saturation des composantes du système. Un diviseur de puissance ("power splitter") distribue le signal à deux récepteurs-mélangeurs utilisés respectivement pour l'acquisition du signal ainsi que du bruit dans une plage de fréquence voisine de celle du signal (ce dernier est syntonisé à quelques dizaines de kilohertz en deçà de la fréquence du signal, c'est-à-dire 910 MHz). Il est à noter que chacun des récepteurs-mélangeurs opère avec la même largeur de bande, à savoir 10 kHz. La tension de commande de gain de chaque récepteur est échantillonnée par le système d'acquisition de données: cette tension a une correspondance biunivoque avec la puissance reçue par le récepteur-mélangeur. Le signal de fréquence intermédiaire, produit par le récepteur-mélangeur dédié au signal, est ensuite démodulé dans la bande de base du système. Un décodeur différentiel permet de reconstituer la séquence numérique transmise par la station fixe. Cette séquence, contaminée par les erreurs de transmission, est alors comparée à une séquence identique à celle générée au transmetteur afin de produire la séquence d'erreur qui sera, par la suite, mise en mémoire par le système d'enregistrement. Le signal d'horloge nécessaire au système de réception ainsi qu'au système d'acquisition de données, est dérivé d'un synthétiseur de fréquence asservi à un second étalon de fréquence passif.

SECTION TRANSMETTEUR

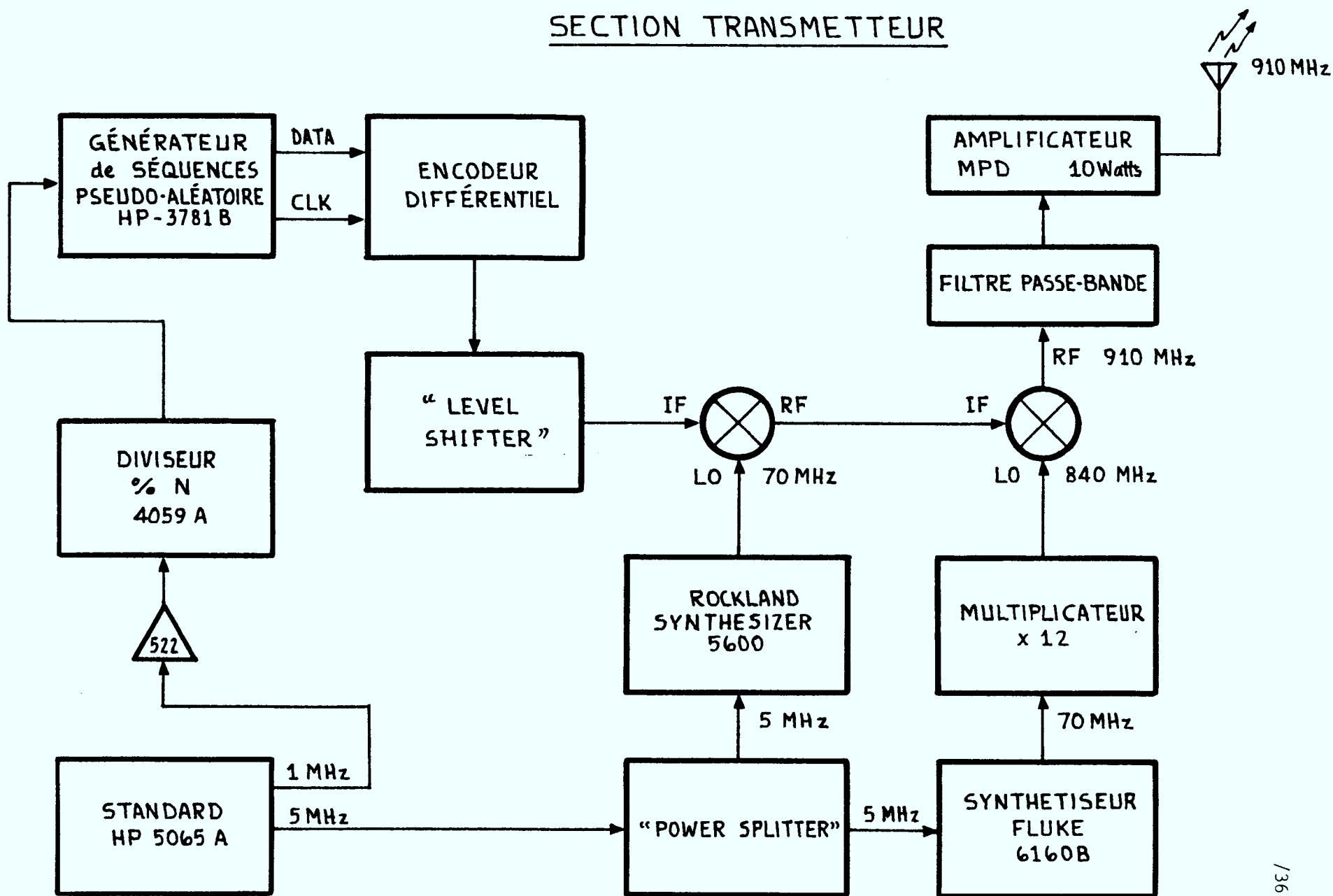


Figure 3.1: Schéma du transmetteur utilisé.

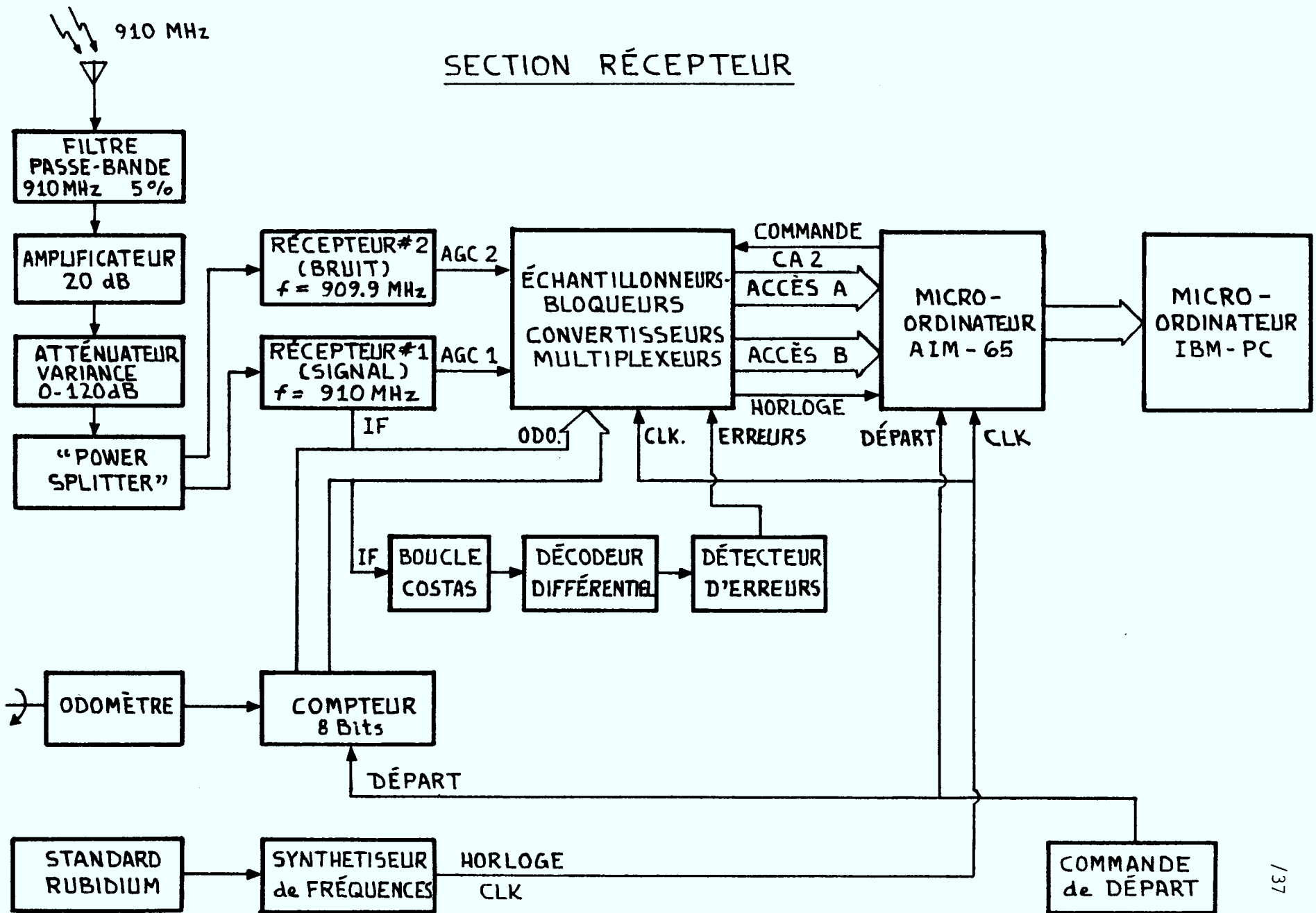


Figure 3.2: Schéma du récepteur et du système d'acquisition des données.

3.3 Système de télécommunication (suite)

La position du véhicule est déterminée à l'aide d'un odomètre électronique relié à un compteur de 8 bits. L'odomètre produit une impulsion à tous les cinq centimètres parcourus par l'unité mobile. A nouveau, l'information obtenue est échantillonnée puis enregistrée pour traitement ultérieur.

3.4 Système d'acquisition de données

Les données recueillies au cours de la campagne de mesure sont emmagasinées sur disques souples. Le plan général, présenté à la figure 3.3, indique les principales composantes du système d'acquisition et d'enregistrement de données expérimentales. Un circuit d'interface échantillonne les paramètres du canal, soit les niveaux du signal et du bruit, la séquence d'erreur et la position du véhicule, puis emmagasine ces données préalablement numérisées dans la mémoire vive (RAM) d'un premier micro-ordinateur. Une fois l'enregistrement complété, les données contenues dans la mémoire vive sont transférées sur disque souple à l'aide d'un second micro-ordinateur.

Les tensions de commande de gain automatique (CGA), correspondant aux niveaux respectifs du signal et du bruit, sont échantillonnées simultanément, quantifiées puis codées sous forme binaire par le circuit d'interface, tel qu'illustré à la figure 3.4. Le taux d'échantillonnage est fixé à 10,000 prélèvements par seconde, ce qui revient à dire que les échantillons sont espacés de 100 microsecondes. Tel que mentionné précédemment, ce taux permet de suivre avec exactitude l'évolution de l'enveloppe du signal. Chacune des deux tensions analogiques est quantifiée sur 128 niveaux puis codée avec des mots binaires de 7 bits de longueur. Le circuit d'interface échantillonne également un bit de la séquence d'erreur ainsi que les 8 bits provenant du compteur de l'odomètre (figure 3.5). L'interface ajoute aux 23 bits relatifs à ces données expérimentales, un bit de cadrage (ou "frame bit"). Il est à noter que l'échantillonnage simultané des signaux de mesure est asservi à l'étalon de fréquence passif localisé dans l'unité mobile et ce, afin de faciliter la synchronisation du système d'acquisition. Un diagramme temporel détaillé est illustré à l'appendice B.

SCHEMA DU SYSTEME D'ACQUISITION DE DONNEES

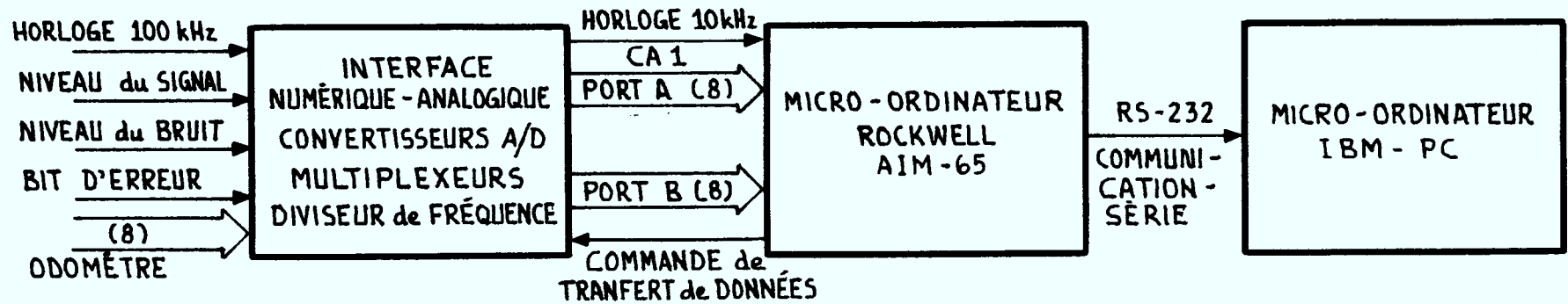


Figure 3.3: Composantes du système d'acquisition et d'enregistrement de données expérimentales.

SECTION CONVERTISSEURS-MULTIPLEXEUR

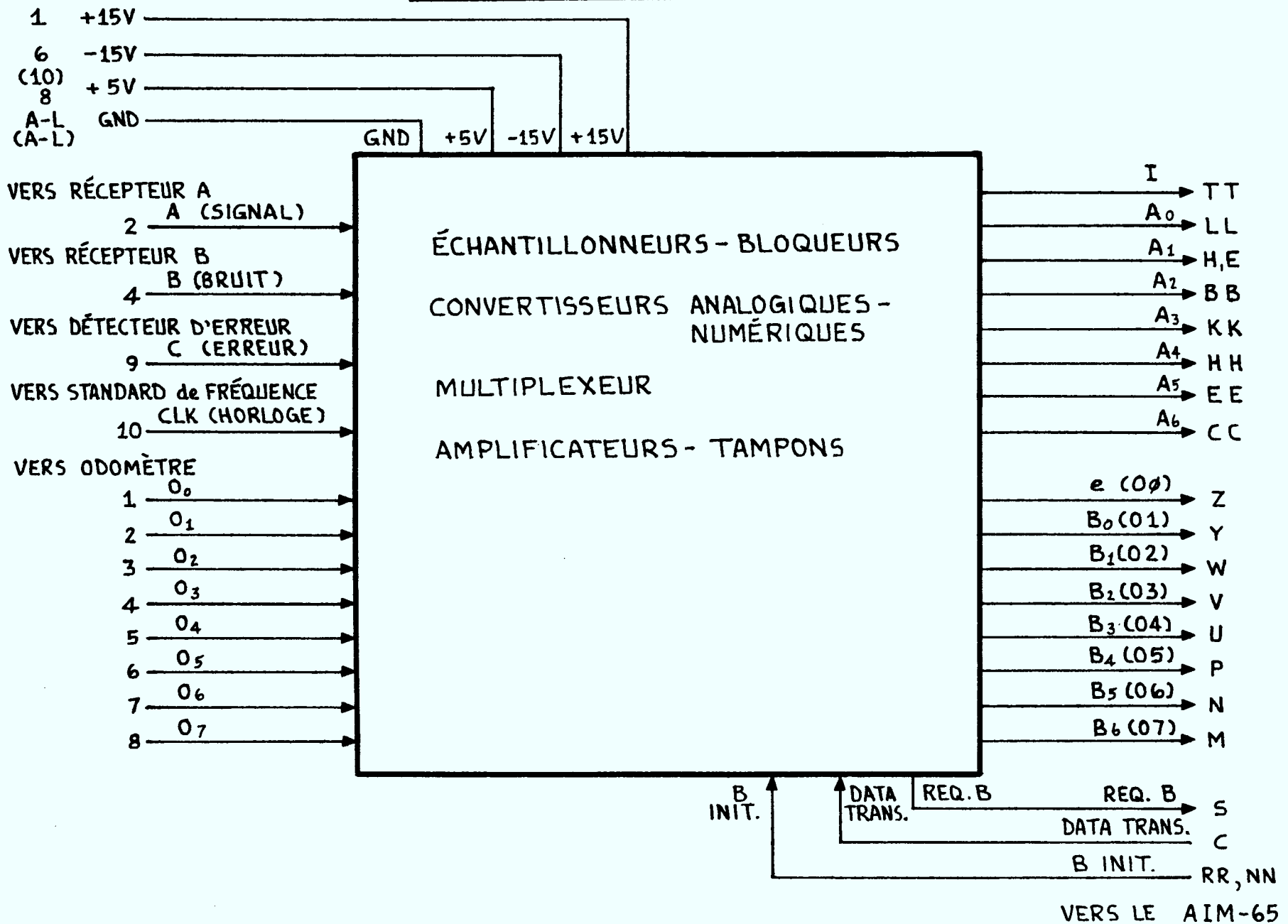


Figure 3.4: Schéma du circuit d'interface.

SECTION ODOMÈTRE

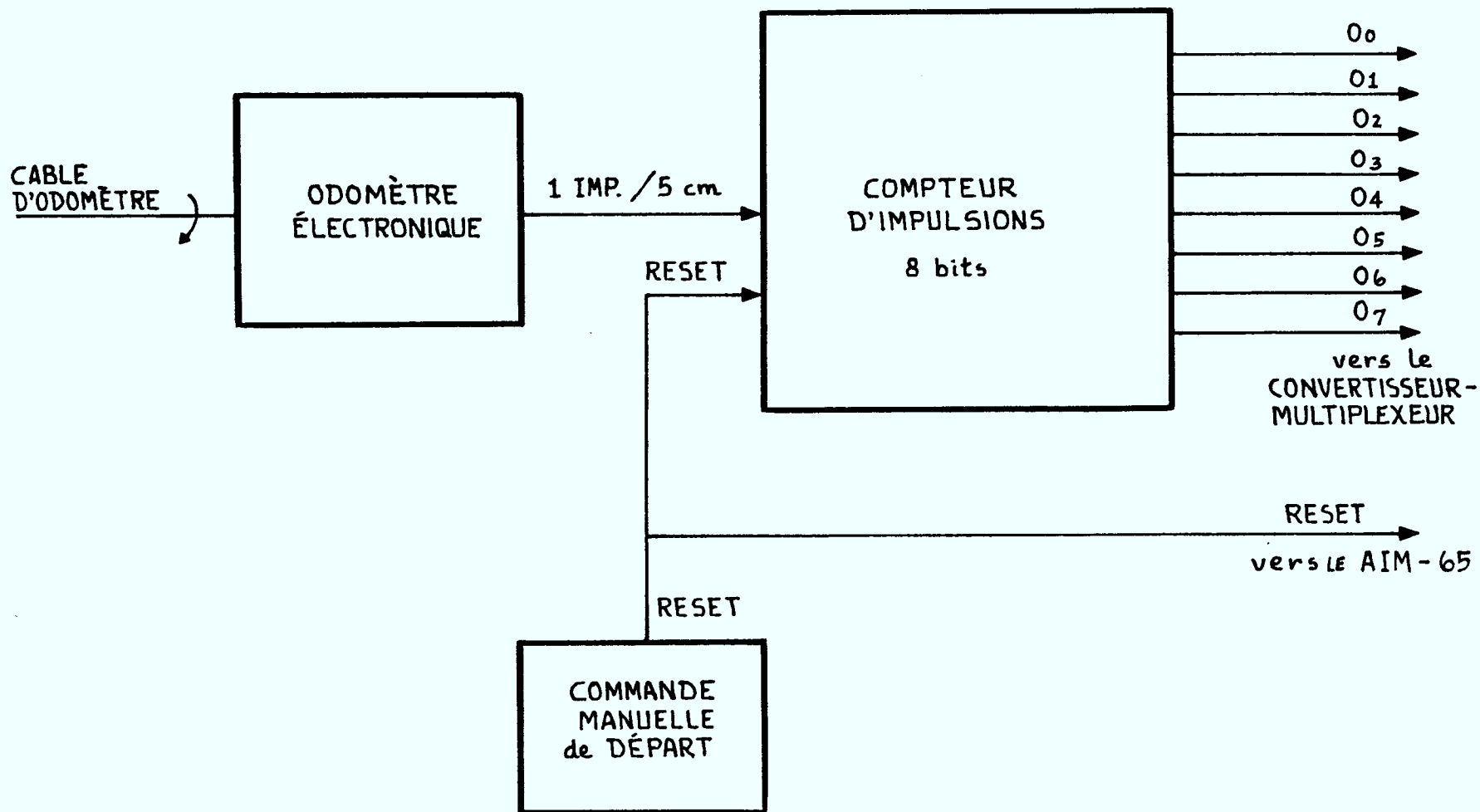


Figure 3.5: Schéma du compteur de l'odomètre.

3.4 Système d'acquisition de données (suite)

Le premier micro-ordinateur (i.e. AIM-65 de Rockwell) fait l'acquisition des 24 bits de données par le biais d'un accès parallèle de 16 bits. L'information ainsi recueillie est ensuite emmagasinée séquentiellement dans la mémoire vive du micro-ordinateur. La durée de l'enregistrement étant d'une seconde, l'espace mémoire requis pour emmagasiner les données expérimentales (c'est-à-dire 10,000 échantillons multiplié par 24 bits/échantillon) est de 30,000 octets. L'organigramme du programme utilisé est présenté à la figure 3.6. Une fois l'enregistrement des données complété, ces dernières sont transférées par voie de communication série au second micro-ordinateur (i.e. IBM-PC) pour être, par la suite, inscrites sur un disque souple. A la figure 3.7, on a indiqué le format d'enregistrement des données expérimentales.

3.5 Conclusion

On compte recueillir, à l'aide du système de mesure proposé dans ce chapitre, quelques centaines d'enregistrements des paramètres du canal de transmission radio-mobile, et ce, dans des régions de différentes densités. On envisage également effectuer ces mesures à diverses vitesses de déplacement du véhicule. Certaines données supplémentaires seront enregistrées, à savoir la date et l'heure du début de la mesure, le type de milieu, l'environnement immédiat de l'unité de réception mobile et la position de cette dernière en coordonnées UTM.

Les fichiers de données expérimentales feront l'objet d'un premier traitement afin d'établir la relation existant entre la séquence d'erreur et le rapport signal-à-bruit. La variation de l'enveloppe du signal reçu sera représentée en fonction du temps et de la distance parcourue par le mobile. Par la suite, une analyse statistique approfondie (e.g. distribution des niveaux du signal et du bruit, distribution des erreurs, distribution de la longueur des salves d'erreur, matrices de probabilité de transition d'un état à un autre, etc.) des paramètres de transmission, évalués à partir des mesures expérimentales permettra de mieux cerner les caractéristiques du canal de propagation radio-mobile et de prédire les effets du dit canal sur la qualité d'une liaison numérique.

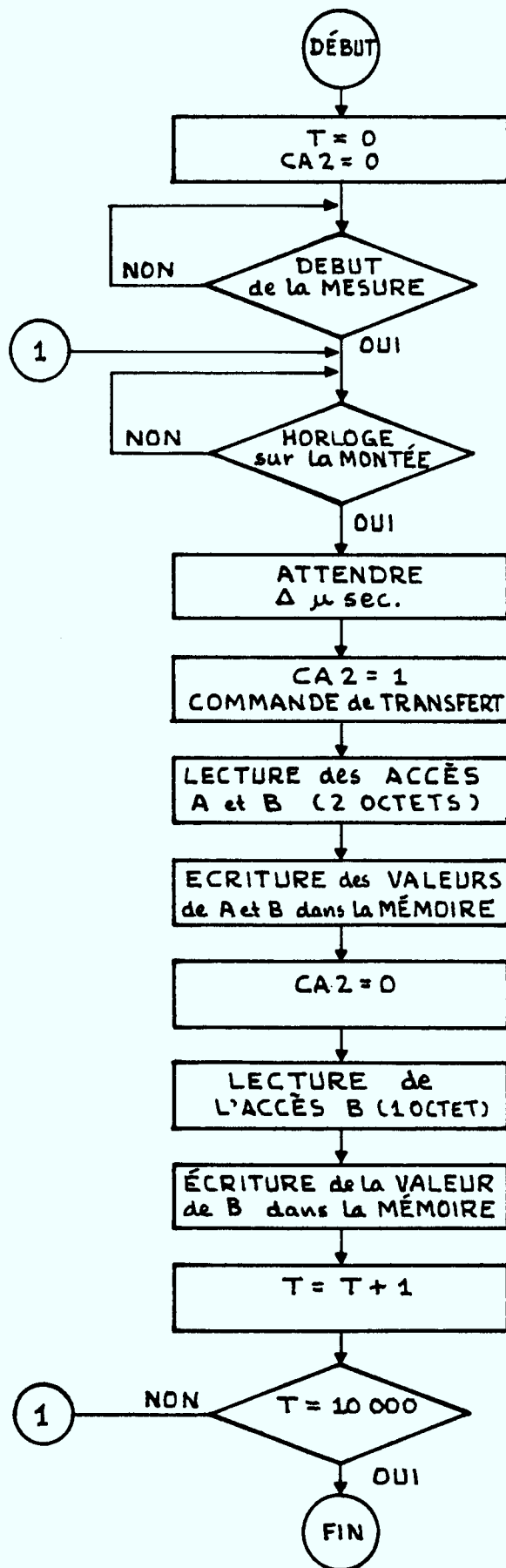


Figure 3.6

ORGANIGRAMME DU PROGRAMME D'ACQUISITION DE DONNÉES (AIM-65)

Chapitre 4

4.1 Conclusion

Nous avons présenté dans ce rapport les résultats des travaux effectués de avril 1984 à mars 1985 relatifs à l'étude des problèmes de propagation associés aux stations émettrices et mobiles terrestres en milieu urbain.

Ces travaux s'inscrivent naturellement dans la ligne des études de modélisation du canal radio-mobile urbain entreprises depuis déjà plusieurs années par les auteurs. Au cours de cette période des travaux théoriques et de simulation ont été effectués et ont conduit à l'été 1983 et à l'été 1984 à des campagnes de mesures des conditions de propagation dans le canal radio-mobile.

Les mesures recueillies en 1983 et 1984, et qui ont commencées à être analysées sur ordinateur, représentent un ensemble imposant d'information sur les caractéristiques du canal radio-mobile en milieu urbain. Ces mesures, prises à 910 MHz, du niveau d'atténuation du signal et de la vitesse du véhicule pour des vitesses de l'ordre de 30 km/h en 1983 et de 10 km/h en 1984 permettront une étude exhaustive des caractéristiques de propagation en milieu urbain.

Le présent rapport fait d'ailleurs état du plan de travail qui a été arrêté pour l'analyse statistique détaillée de ces résultats. Ce plan de travail comprend essentiellement trois parties, soit:

- a) la prédiction des pertes moyennes de transmission dans des zones locales,
- b) la modélisation du niveau instantané par un modèle de Rice,
- c) la modélisation du canal radio-mobile numérique en fonction du niveau moyen du signal reçu et des variations rapides du signal.

4.1 Conclusion (suite)

Ce rapport présente aussi le système de télécommunication disponible de même que le système d'acquisition de données qu'on envisage d'utiliser à l'été 1985 pour une nouvelle campagne de mesure. Une des caractéristiques nouvelles de ces mesures sera surtout un taux d'échantillonnage porté à 10 kHz afin de pouvoir appliquer les résultats à des systèmes ayant des taux de transmission de cet ordre de grandeur. De même, en plus du niveau du signal reçu et de la vitesse du véhicule, on enregistrera également le niveau du bruit présent dans le canal (i.e.: dans une bande de fréquence très voisine) et la sortie d'un comparateur indiquant les différences entre des séquences binaires pseudo-aléatoires transmises et reçues.

On peut déjà affirmer que l'ensemble de ces mesures et des analyses statistiques constituera une contribution majeure aux connaissances sur le canal radio-mobile analogique et numérique en milieu urbain.

Bibliographie

- [1] G.Y. DELISLE, M. LECOURS, "Etude des problèmes de propagation associés aux stations émettrices et mobiles terrestres en milieu urbain", Rapport final LT-79-8229, Contrat OSU78-00243, Ministère des Communications, Ottawa, mars 1979.
- [2] G.Y. DELISLE, M. LECOURS, J.-P. LEFEVRE, "Etude des problèmes de propagation associés aux stations émettrices terrestres en milieu urbain", Rapport final LT-80-8223, Contrat OSU79-00219, Ministère des Communications, Ottawa, mars 1980.
- [3] G.Y. DELISLE, M. LECOURS, J.-P. LEFEVRE, E. BOSSE, "Etude des problèmes de propagation associés aux stations émettrices terrestres en milieu urbain", Rapport final LT-81-8280, Contrat OSU80-00169, Ministère des Communications, Ottawa, mars 1981.
- [4] G.Y. DELISLE, M. LECOURS, G. GONTHIER, J.-Y. CHOUINARD, "Etude des problèmes de propagation associés aux stations émettrices terrestres en milieu urbain", Rapport final LT-82-8214, Contrat OSU81-00145, Ministère des Communications, Ottawa, mars 1982.
- [5] G.Y. DELISLE, M. LECOURS, J.-Y. CHOUINARD, M. GREGOIRE, "Etude des problèmes de propagation associés aux stations émettrices et mobiles terrestres en milieu urbain", Rapport final LRTS-83-8816, Contrat OSU82-00210, Ministère des Communications, Ottawa, mars 1983.
- [6] 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 OST83-00071, Ministère des Communications, mars 1984.
- [7] M. HATA, "Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-29, no 3, pp. 317-325, August 1980.

Bibliographie (suite)

- [8] Y. Okumura, E. Ohmori, T. Kawano, K. Fukuda, "Field strength and its variability in VHF and UHF land-mobile radio-service", Rev. Elec. Commun. Lab., vol. 16, nos 9-10, sept.-oct. 1968.
- [9] J.J. EGLI, "Radio propagation above 40 Mc over irregular terrain", Proc. IRE, vol. 45, no. 10, pp. 1383-1391, oct. 1957.
- [10] R.E. EDWARDS, J. DURKIN, "Computer prediction of field strength in the planning of radio systems", Proc. IEE, vol. 116, no. 9, pp. 1493-1500, sept. 1969.
- [11] A. BLOMQUIST, L. LADELL, "Prediction and calculation of transmission loss in different types of terrain", NATO AGARD Conf. Publ. CP 144, Research Institute of National Defense, Dept. 3, S-10450, Stockholm 80, Sweden, pp. 32/1-32/17, 1974.
- [12] K. ALLSEBROOK, 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.
- [13] G.Y. DELISLE, J.-P. LEFEVRE, M. LECOURS, J.-Y. CHOUINARD, "Propagation loss prediction: a comparative study with application to the mobile radio channel", accepté pour publication, IEEE Trans. Veh. Technol., 1985.
- [14] J.H. WHITTEKER, "The CRC topographic data base", CRC Report no. 1353, Department of Communications, Ottawa, Canada, February 1982.
- [15] S. KOZONO, K. WATANABE, "Influence of environmental buildings on UHF land mobile radio propagation", IEEE Trans. Commun., Vol. COM-25, no. 10, pp. 1133-1143, October 1977.

Bibliographie (suite)

- [16] G.D. OTT, A. PLITKINS, "Urban path-loss characteristics at 820 MHz", IEEE Trans. Veh. Technol., Vol. VT-27, no. 4, pp. 189-197, Nov. 1978.

- [17] R.C. FRENCH, "Error rate predictions and measurements in the mobile radio channel", IEEE Trans. Veh. Technol., Vol. VT-27, no. 3, pp. 110-116, August 1978.

- [18] W.C. JAKES, Ed., "Microwave mobile communications", John Wiley and Sons, New York, N.Y., 1974.

- [19] J.-Y. CHOUINARD, "Simulation d'un canal de transmission radio-mobile numérique", Thèse de maîtrise, Université Laval, septembre 1983.

- [20] T. AULIN, "Characteristics of a digital mobile radio channel", IEEE Trans. Veh. Technol., Vol. VT-30, no. 2, pp. 45-53, mai 1981.

Annexe A

Position des points d'enregistrement, pertes, écart-type
et variances moyennes des fichiers de données:

- Route #1 CRC - Carleton Place
- Route #2 CRC - Almonte
- Route #3 Aylmer-Quyon
- Route #4 CRC - MacLaren Landings
- Route #5 Aylmer-Angers
- Route #6 CRC - Orléans
- Route #7 CRC - Smith Falls
- Route #8 Aylmer - Wakefield

Route #1: CRC - Carleton Place

Coordonnées du transmetteur au CRC: 18, 430.70, 5021.60.

Distance en km	Zone	Longitude en km	Latitude en km
3	18	430.30	5018.60
4	18	429.35	5017.80
5	18	428.50	5017.15
6	18	427.55	5016.60
7	18	426.70	5016.00
8	18	425.90	5015.30
9	18	425.10	5014.65
10	18	424.30	5013.95
11	18	423.55	5013.35
12	18	423.75	5011.90
13	18	423.75	5010.70
14	18	423.05	5009.90
15	18	422.30	5009.20
16	18	421.50	5008.50
17	18	420.70	5007.80
18	18	419.90	5007.15

Route #1: CRC - Carleton Place (3 à 18 km, immobile)

Direction: Est-Ouest Type de milieu: ouvert

Distance en km	Pertes en dB	Ecart-type	Variance	# Fichier FILExxx.DAT
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
4	140.89	1.255	1.575	3
5	143.57	0.880	0.775	5
6	140.51	0.629	0.396	7
7	135.72	0.386	0.149	9
8	148.65	2.394	5.733	11
9	149.67	1.871	3.501	13
10	142.48	1.815	3.293	15
11	140.12	0.227	0.051	17
12	153.37	1.622	2.629	19
13	162.57	2.070	4.285	21
14	*173.51	2.745	7.533	*23
15	*176.00	0.000	0.000	*25
16	*176.00	0.000	0.000	*27
17	*176.00	0.000	0.000	*29
18	*176.00	0.000	0.000	*31
19	-	-	-	-
20	-	-	-	-
21	-	-	-	-
22	-	-	-	-
23	-	-	-	-
24	-	-	-	-
25	-	-	-	-
26	-	-	-	-
27	-	-	-	-
28	-	-	-	-
29	-	-	-	-
30	-	-	-	-

Ecart-type moyen: 1.315

Variance moyenne: 2.239

(*: fichiers singuliers)

Route #1: CRC - Carleton Place (3 - 18 km, en mouvement)

Direction: Est-Ouest Type de milieu: ouvert

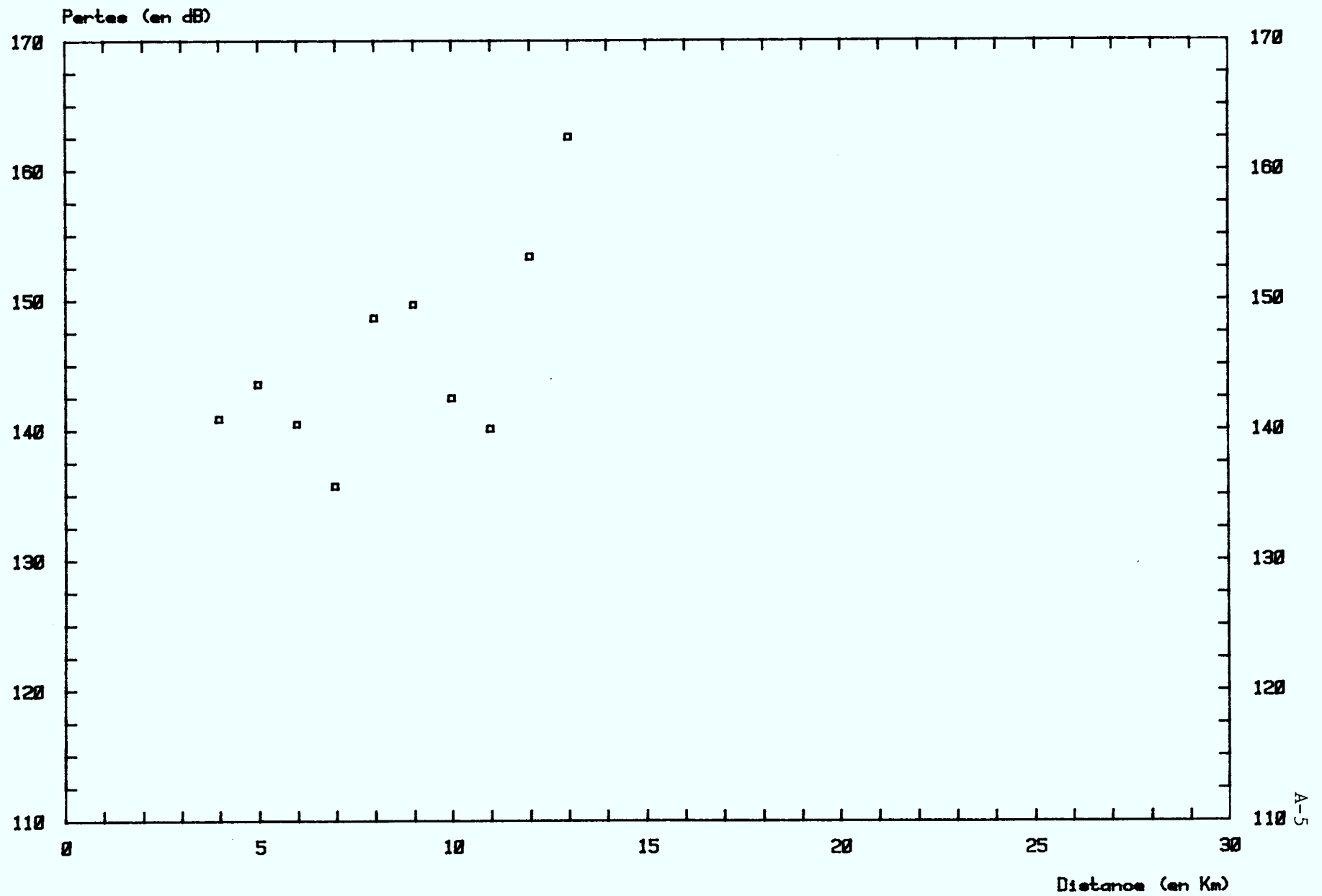
Distance en km	Pertes en dB	Ecart-type	Variance	# Fichier FILExxx.DAT
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	126.38	4.670	21.810	2
4	137.02	5.132	26.334	4
5	141.68	5.672	32.169	6
6	136.13	5.736	32.901	8
7	135.48	1.207	1.458	10
8	153.27	4.443	19.743	12
9	147.08	4.910	24.106	14
10	147.94	5.206	27.101	16
11	149.55	6.378	40.683	18
12	158.56	4.812	23.154	20
13	161.75	5.542	30.712	22
14	164.21	4.242	17.997	24
15	*176.00	0.000	0.000	*26
16	*176.00	0.000	0.000	*28
17	*176.00	0.000	0.000	*30
18	*176.00	0.000	0.000	*32
19	-	-	-	-
20	-	-	-	-
21	-	-	-	-
22	-	-	-	-
23	-	-	-	-
24	-	-	-	-
25	-	-	-	-
26	-	-	-	-
27	-	-	-	-
28	-	-	-	-
29	-	-	-	-
30	-	-	-	-

Ecart-type moyen: 4.829

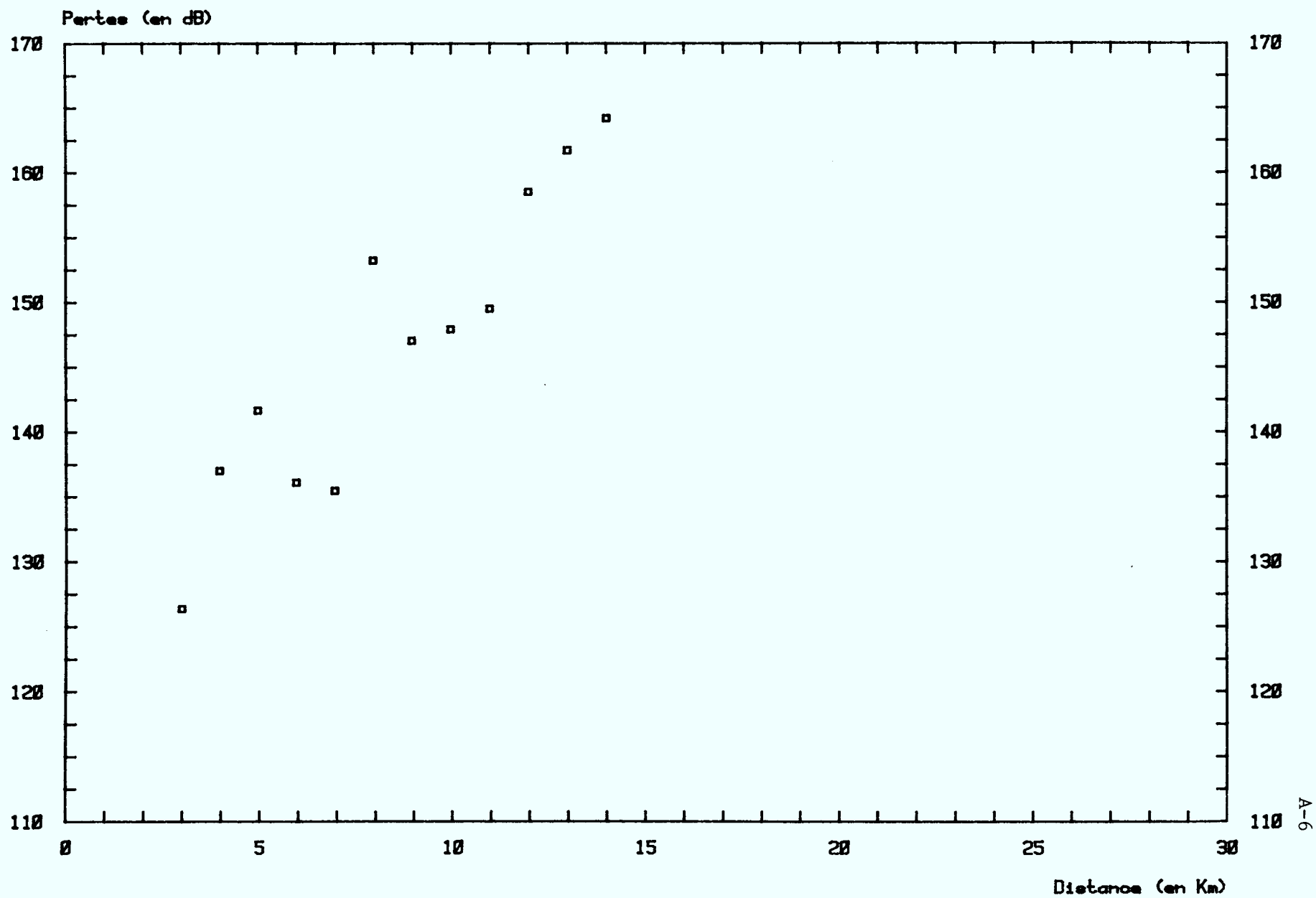
Variance moyenne: 24.847

(*: fichiers singuliers)

Route #1: CRC - Carleton Place (vehicule immobile)



Route #1: CRC - Carleton Place (vehicule en mouvement)



Route #2: CRC - Almonte

Coordonnées du transmetteur au CRC: 18, 430.70, 5021.60.

Distance en km	Zone	Longitude en km	Latitude en km
1	18	429.95	5020.85
2	18	428.85	5020.70
3	18	427.70	5021.70
4	18	426.80	5022.70
5	18	426.10	5023.50
6	18	425.45	5024.25
7	18	424.50	5024.60
8	18	423.00	5023.25
9	18	421.80	5022.15
10	18	420.70	5021.20
11	18	419.80	5020.40
12	18	418.90	5019.60
13	18	418.05	5018.85
13.6	18	417.50	5018.40
14	18	417.15	5018.20
15	18	416.10	5018.35

Route #2: CRC - Almonte (1 à 15 km, immobile)

Direction: Ouest-Est Type de milieu: ouvert

Distance en km	Pertes en dB	Ecart-type	Variance	# Fichier FILExxx.DAT
1	*106.05	0.530	0.281	*63
2	*107.40	0.224	0.050	*61
3	112.47	0.298	0.089	59
4	140.12	1.276	1.628	57
5	124.53	0.476	0.227	55
6	130.62	0.613	0.376	53
7	138.64	1.623	2.635	51
8	150.02	1.298	1.684	49
9	157.73	2.042	4.169	47
10	168.05	3.006	9.037	45
11	165.58	0.970	0.941	43
12	150.93	0.532	0.283	41
13	150.60	0.608	0.369	39
13.6	157.19	1.266	1.603	33
14	164.79	3.281	10.762	35
15	*176.00	0.000	0.000	*37
16	-	-	-	-
17	-	-	-	-
18	-	-	-	-
19	-	-	-	-
20	-	-	-	-
21	-	-	-	-
22	-	-	-	-
23	-	-	-	-
24	-	-	-	-
25	-	-	-	-
26	-	-	-	-
27	-	-	-	-
28	-	-	-	-
29 et 30	-	-	-	-

Ecart-type moyen: 1.330

Variance moyenne: 2.600

(*: fichiers singuliers)

Route #2: CRC - Almonte (1 à 15 km, en mouvement)

Direction: Ouest-Est Type de milieu: ouvert

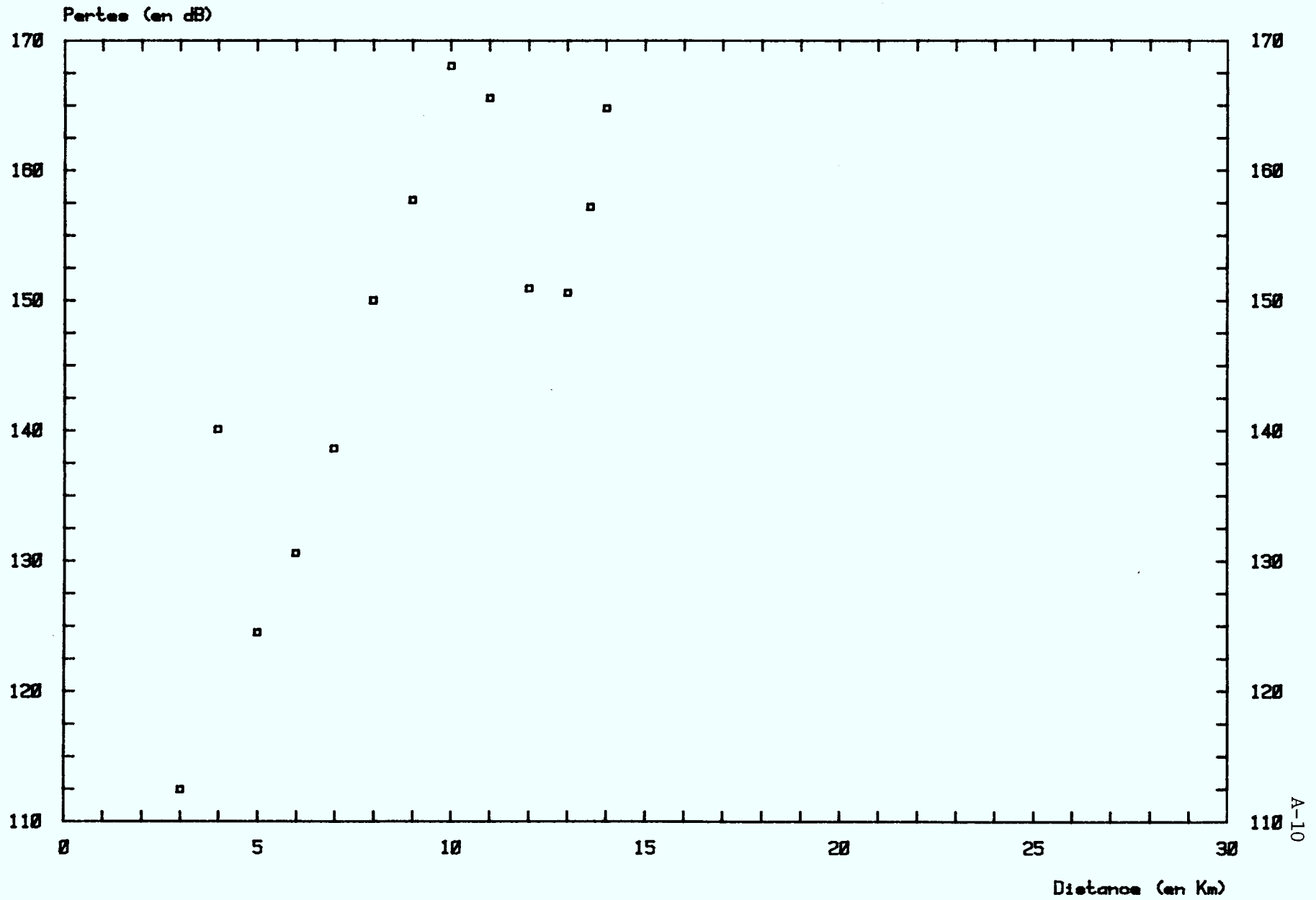
Distance en km	Pertes en dB	Ecart-type	Variance	# Fichier FILExxx.DAT
1	*105.78	2.674	7.152	*64
2	*109.41	2.970	8.819	*62
3	112.80	1.790	3.203	60
4	133.82	4.984	24.836	58
5	126.31	2.983	8.899	56
6	123.59	5.866	34.407	54
7	141.19	4.543	20.640	52
8	141.74	4.491	20.167	50
9	163.96	4.243	18.001	48
10	166.07	3.882	15.072	46
11	165.55	4.475	20.026	44
12	148.30	1.757	3.087	42
13	154.02	3.034	9.206	40
13.6	156.65	2.899	8.405	34
14	165.87	3.957	15.656	36
15	*174.10	2.101	4.413	*38
16	-	-	-	-
17	-	-	-	-
18	-	-	-	-
19	-	-	-	-
20	-	-	-	-
21	-	-	-	-
22	-	-	-	-
23	-	-	-	-
24	-	-	-	-
25	-	-	-	-
26	-	-	-	-
27	-	-	-	-
28	-	-	-	-
29 et 30	-	-	-	-

Ecart-type moyen: 3.762

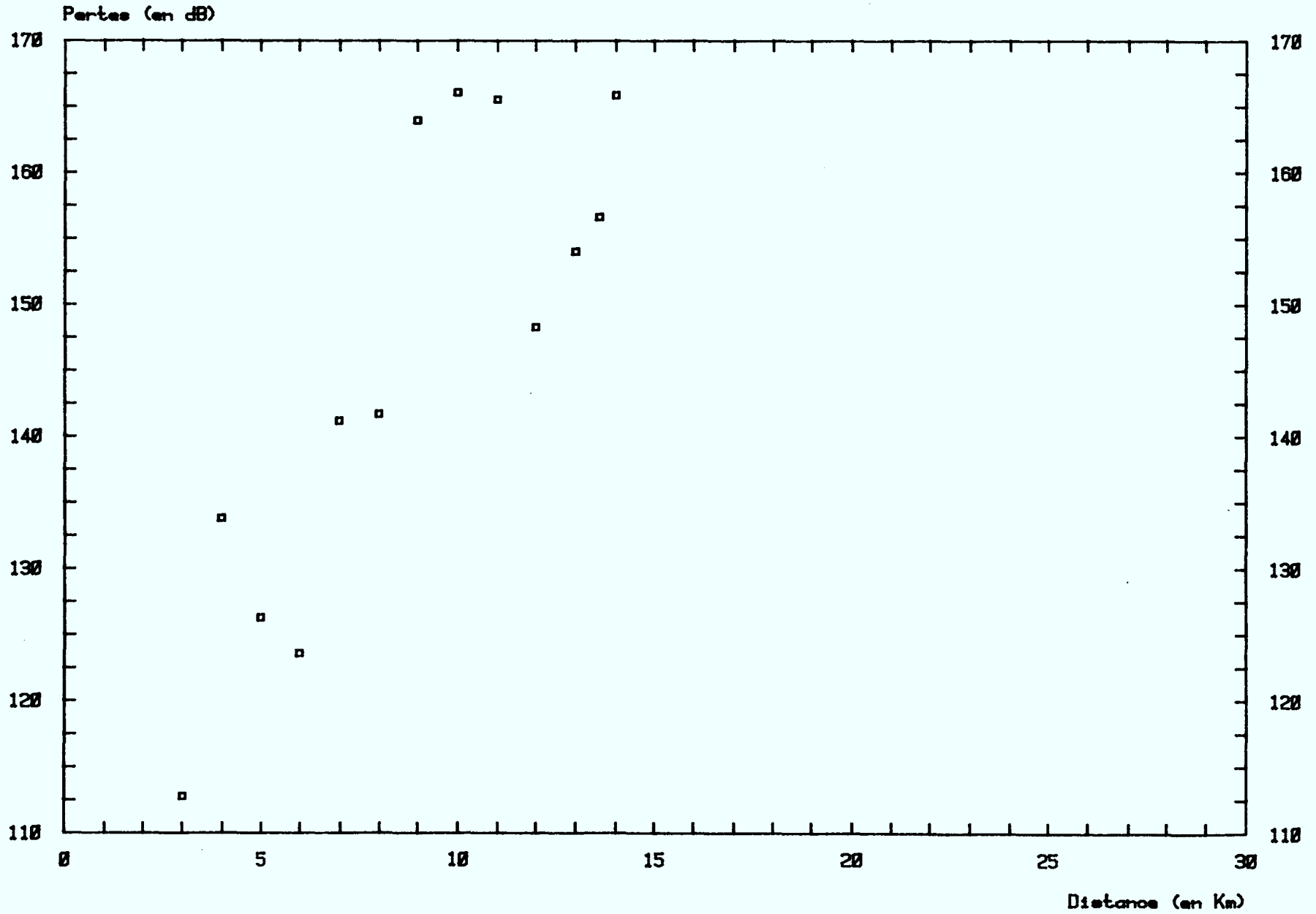
Variance moyenne: 15.508

(*: fichiers singuliers)

Route #2: CRC - Almonte (vehicule immobile)



Route #2: CRC - Almonte (vehicule en mouvement)



Route #3: Aylmer - Quyon

Coordonnées du transmetteur au CRC: 18, 430.70, 5021.60.

Distance	Zone	Longitude	Latitude
en km		en km	en km
7	18	432.50	5028.15
8	18	430.95	5029.45
9	18	430.00	5030.40
10	18	429.05	5031.35
11	18	428.25	5032.20
12	18	427.80	5033.10
13	18	427.30	5034.00
14	18	426.60	5034.90
15	--	---.--	----.--
16	18	425.40	5036.60
17	18	425.50	5037.75
18	18	424.90	5038.60
19	18	424.15	5039.20
20	18	423.50	5040.00
21	18	422.90	5040.90
22	18	422.10	5041.60
23	18	420.80	5042.25
24	18	420.25	5043.05
25	18	418.65	5043.35
26	18	417.50	5043.80
27	18	415.95	5044.10
28	18	414.85	5044.50
29	18	413.60	5044.80
30	18	412.20	5045.00
31	18	410.80	5045.20
32	18	408.85	5044.80

Route #3: Aylmer - Quyon (7 à 32 km, immobile)

Direction: Est-Ouest Type de milieu: suburbain

Distance en km	Pertes en dB	Ecart-type	Variance	# Fichier FILExxx.DAT
5	-	-	-	-
6	-	-	-	-
7	122.47	0.248	0.062	69
8	136.53	0.644	0.414	71
9	121.55	0.414	0.172	73
10	136.51	1.164	1.354	75
11	133.61	0.326	0.106	77
12	134.13	0.209	0.044	79
13	145.97	0.661	0.437	81
14	126.05	0.490	0.240	83
15	-	-	-	-
16	147.43	1.490	2.221	86
17	144.63	0.445	0.198	88
18	146.26	1.008	1.016	90
19	153.44	2.992	8.954	92
20	147.07	1.391	1.934	94
21	141.59	0.778	0.605	96
22	136.99	0.376	0.141	98
23	150.45	1.279	1.635	100
24	162.64	5.297	28.055	102
24-bis	137.71	0.495	0.245	104
25	159.23	1.042	1.087	106
26	156.66	1.154	1.331	108
27	158.13	0.986	0.973	110
28	157.64	0.792	0.627	112
29	151.89	0.500	0.250	115
30	168.94	3.208	10.288	117
31	156.24	1.456	2.120	119
32	143.22	0.497	0.247	121

Ecart-type moyen: 1.128

Variance moyenne: 2.491

(*: fichiers singuliers)

Route #3: Aylmer - Quyon (7 à 32 km, en mouvement)

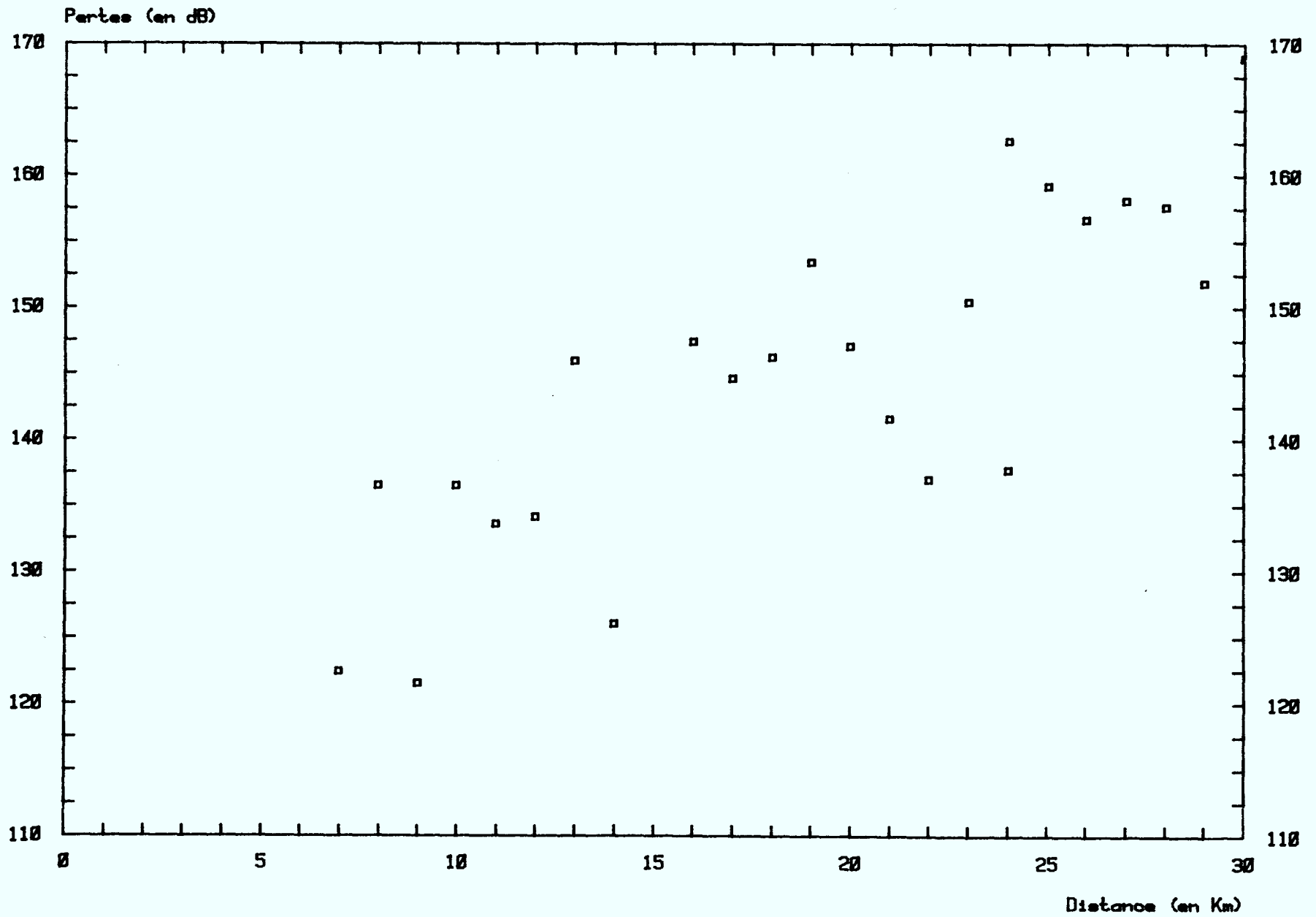
Direction: Est-Ouest Type de milieu: suburbain

Distance en km	Pertes en dB	Ecart-type	Variance	# Fichier FILExxx.DAT
5	-	-	-	-
6	-	-	-	-
7	120.52	2.769	7.666	70
8	130.40	4.201	17.650	72
9	127.80	5.217	27.217	74
10	131.74	5.021	25.211	76
11	135.99	4.652	21.645	78
12	137.16	3.042	9.254	80
13	137.84	3.625	13.142	82
14	134.55	4.765	22.703	85
15	-	-	-	-
16	150.53	4.792	22.966	87
17	149.52	3.253	10.579	89
18	140.46	3.857	14.876	91
19	144.46	5.249	27.548	93
20	143.55	3.517	12.368	95
21	135.47	2.576	6.636	97
22	137.43	1.789	3.200	99
23	154.37	5.517	30.435	101
24	153.54	5.132	26.335	103
24-bis	144.94	4.960	24.600	105
25	161.98	4.694	22.034	107
26	153.88	3.206	10.275	109
27	157.15	4.701	22.103	111
28	160.39	4.621	21.351	114
29	155.92	5.654	31.964	116
30	154.64	4.591	21.077	118
31	159.54	4.704	22.131	120
32	152.51	4.877	23.787	123

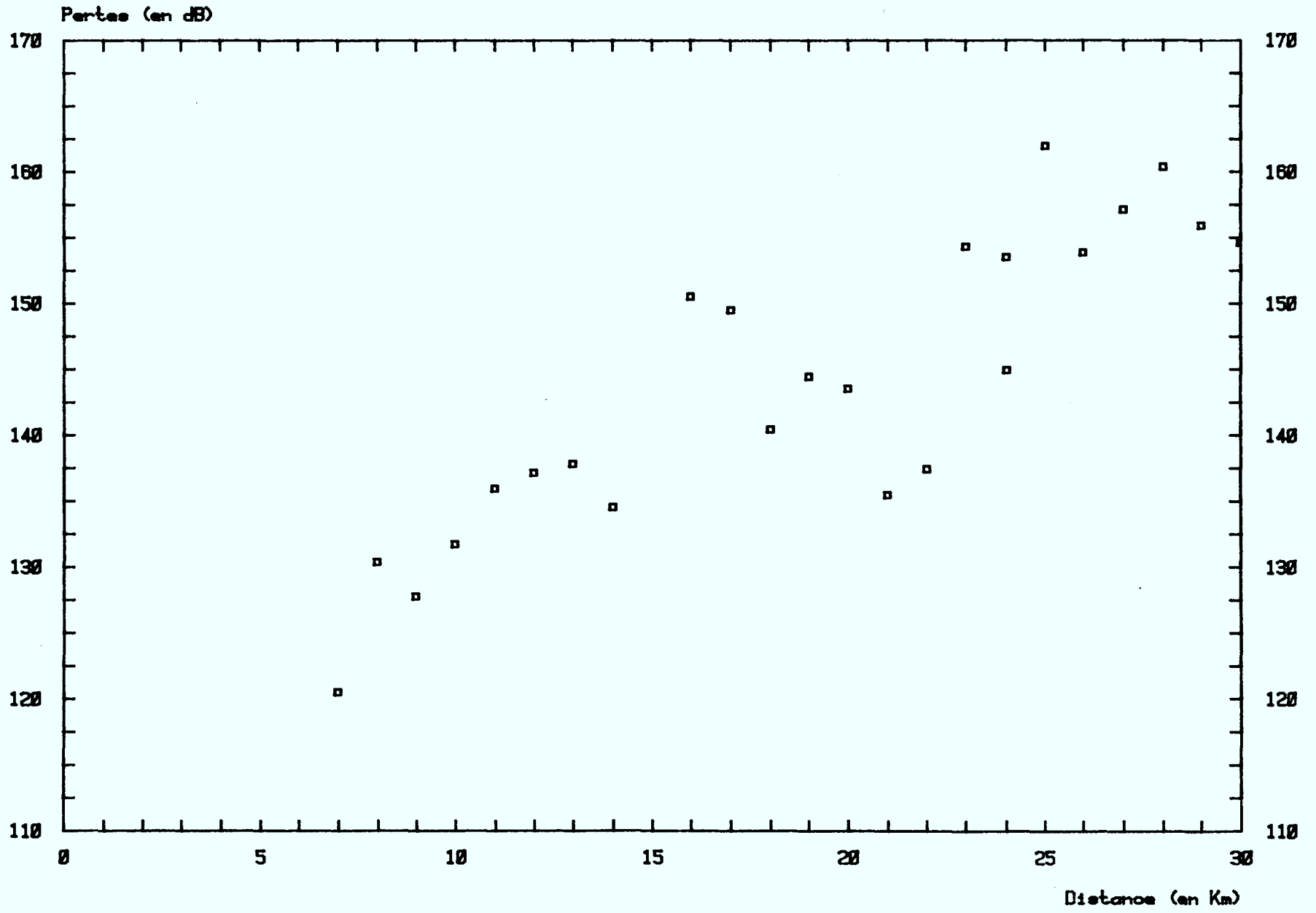
Ecart-type moyen: 4.268

Variance moyenne: 19.183

Route #3: Aylmer - Guyon (vehicule immobile)



Route #3: Aylmer - Doyon (vehicule en mouvement)



Route #4: CRC - MacLaren Landings

Coordonnées du transmetteur au CRC: 18, 430.70, 5021.60.

Distance en km	Zone	Longitude en km	Latitude en km
4	18	426.80	5022.70
5	18	426.10	5023.50
6	18	425.45	5024.25
7	18	424.75	5025.00
8	18	424.00	5025.75
9	18	423.30	5026.50
10	18	422.50	5027.30
11	18	421.90	5028.00
12	18	421.20	5028.90
13	18	420.50	5029.70
14	18	419.80	5030.40
15	18	419.10	5031.20
16	18	418.40	5031.90
17	18	417.75	5032.65
18	18	417.10	5033.30
19	18	416.40	5034.05
20	18	414.85	5033.75
21	18	414.15	5034.50
22	18	413.50	5035.25
23	18	412.80	5036.00
24	18	412.20	5036.75
25	18	411.50	5037.50
26	18	410.80	5038.25
27	18	410.05	5038.90
28	18	409.40	5039.60
29	18	408.80	5040.40
31.75	18	399.70	5028.85
35	18	396.80	5030.75

Route #4: CRC - MacLaren Landings (4 à 35 km, immobile)

Direction: Ouest-Est Type de milieu: ouvert

Distance en km	Pertes en dB	Ecart-type	Variance	# Fichier FILExxx.DAT
4	134.30	0.418	0.175	179
5	126.34	0.111	0.012	177
6	130.37	0.482	0.233	175
7	137.15	0.590	0.348	173
8	147.92	1.063	1.131	171
>9	149.11	0.802	0.643	169
10	143.50	0.115	0.013	167
11	151.69	0.514	0.264	165
12	143.66	0.378	0.143	163
13	144.22	0.498	0.248	161
14	152.55	0.512	0.262	159
15	139.47	0.129	0.017	157
16	147.95	0.715	0.511	155
17	143.56	0.252	0.064	153
18	146.06	0.586	0.344	151
19	140.04	0.349	0.122	149
20	155.68	0.860	0.739	147
21	163.58	2.199	4.837	145
22	143.04	0.450	0.202	143
23	141.32	0.095	0.009	141
24	142.72	0.310	0.096	139
25	157.82	0.864	0.746	137
26	156.70	1.082	1.172	135
27	163.16	1.074	1.153	133
28	*174.54	1.207	1.457	*131
29	162.01	0.607	0.369	128
31.75	*175.33	0.599	0.358	*126
35	*175.91	0.246	0.060	*124

Ecart-type moyen: 0.602

Variance moyenne: 0.554

(*: fichiers singuliers)

Route #4: CRC - MacLaren Landings (4 à 35 km, en mouvement)

Direction: Ouest-Est Type de milieu: ouvert

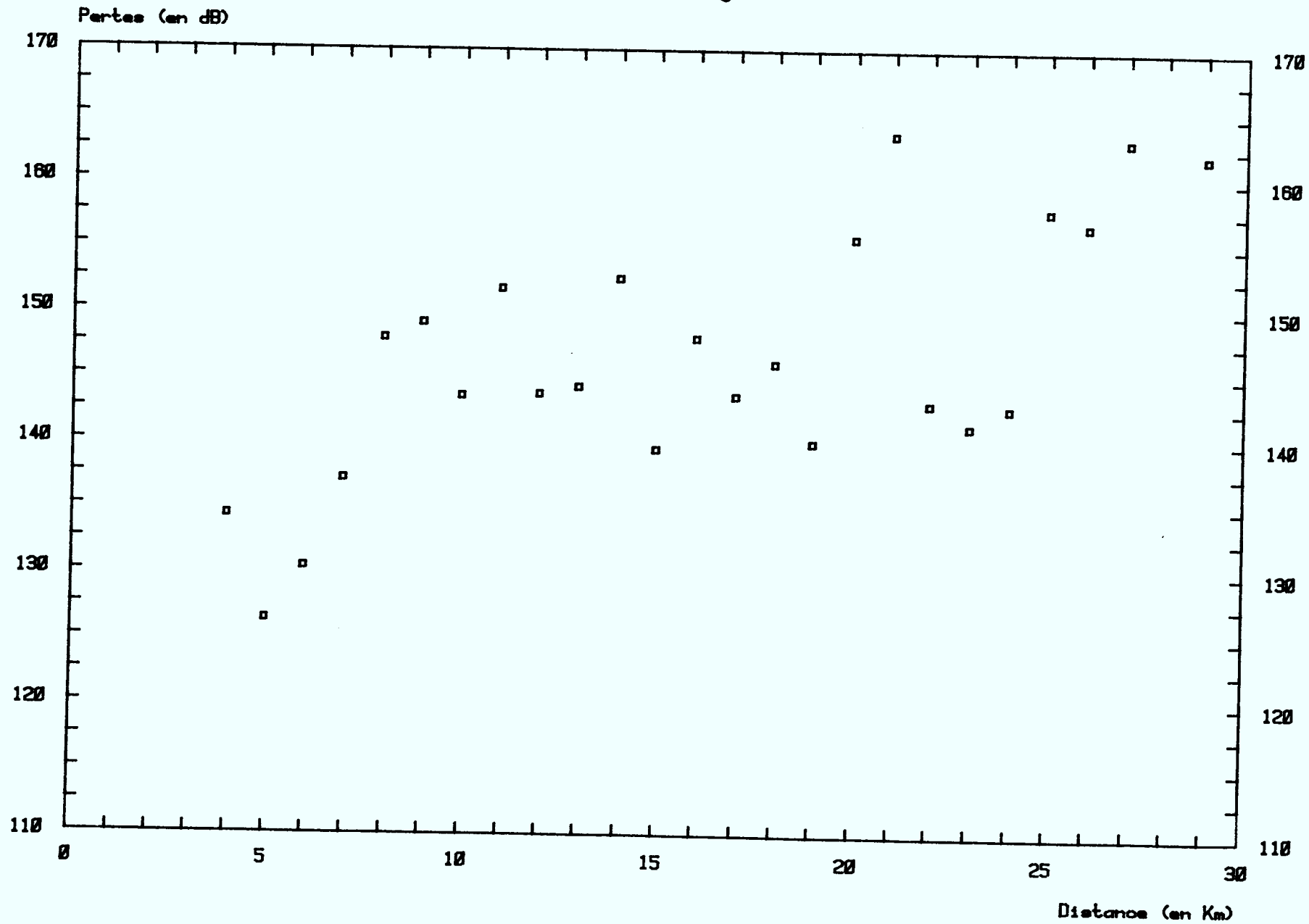
Distance en km	Pertes en dB	Ecart-type	Variance	# Fichier FILExxx.DAT
4	134.84	4.356	18.974	180
5	123.09	3.731	13.919	178
6	128.88	4.674	21.846	176
7	137.37	4.835	23.374	174
8	148.47	5.027	25.273	172
9	148.36	3.324	11.049	170
10	143.92	3.418	11.684	168
11	152.67	4.028	16.223	166
12	148.77	5.173	26.758	164
13	143.82	1.981	3.925	162
14	148.94	4.487	20.135	160
15	141.67	1.710	2.924	158
16	142.03	2.867	8.217	156
17	145.29	3.696	13.662	154
18	140.78	1.506	2.268	152
19	141.24	2.168	4.700	150
20	147.76	3.116	9.707	148
21	158.04	4.600	21.156	146
22	146.29	2.933	8.605	144
23	140.60	1.821	3.316	142
24	145.06	4.400	19.356	140
25	149.61	3.599	12.954	138
26	156.83	3.428	11.753	136
27	160.19	4.885	23.864	134
28	*175.89	0.423	0.179	*132
29	*170.36	3.433	11.786	*130
31.75	*175.34	1.259	1.584	*127
35	*175.01	1.444	2.086	*125

Ecart-type moyen: 3.573

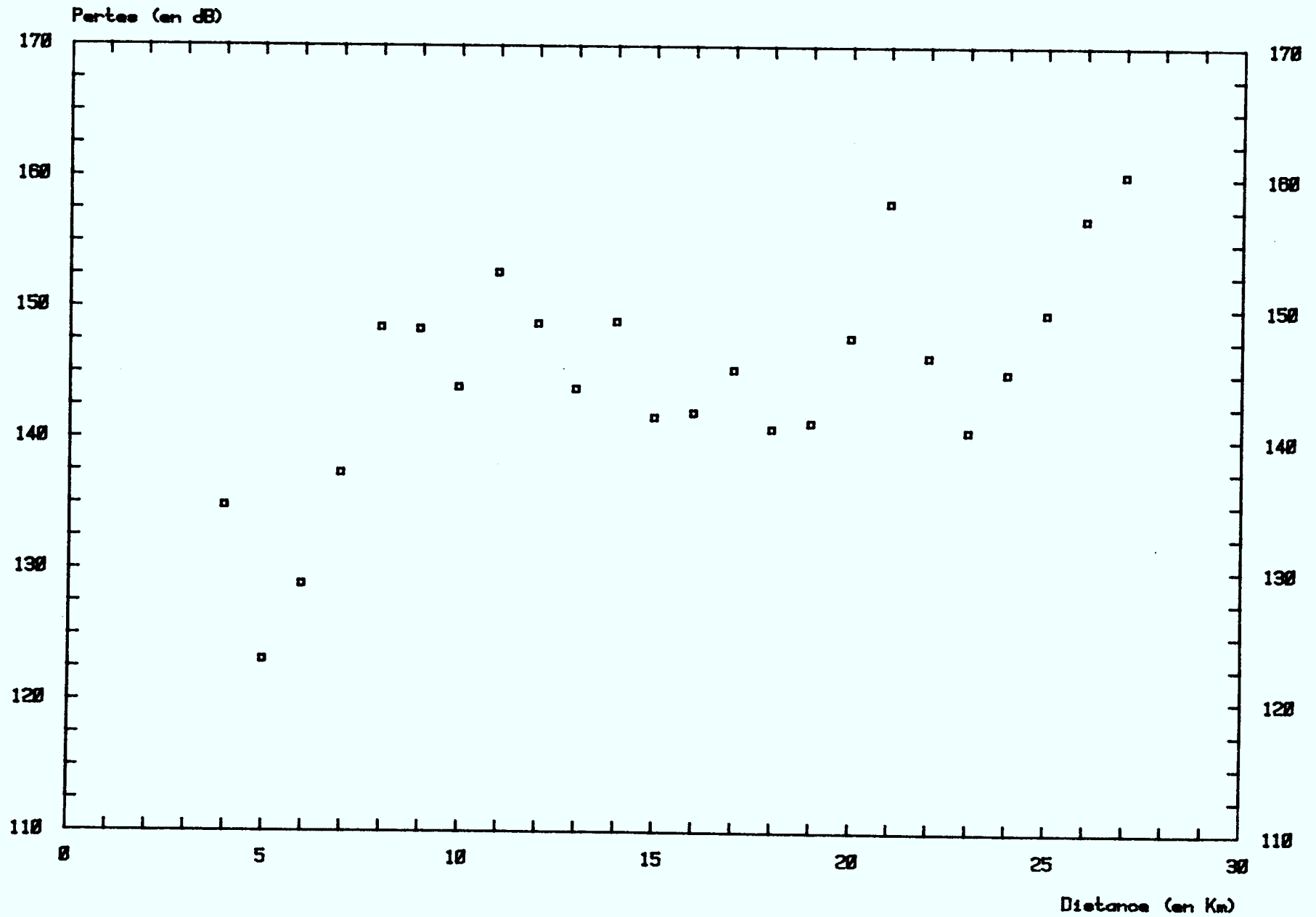
Variance moyenne: 13.985

(*: fichiers singuliers)

Route #4: CRC - MacLaren Landings (vehicule immobile)



Route #4: CRC - MacLaren Landings (vehicule en mouvement)



Route #5: Aylmer - Angers

Coordonnées du transmetteur au CRC: 18, 430.70, 5021.60.

Distance en km	Zone	Longitude en km	Latitude en km
7	18	434.80	5027.00
8	18	436.15	5027.20
9	18	437.10	5027.60
10	18	438.10	5028.15
11	18	439.00	5028.55
12	18	439.90	5029.05
13	18	440.70	5029.60
14	18	441.80	5029.90
15	18	442.90	5030.10
16	18	444.10	5030.20
17	18	444.30	5031.70
18	18	444.50	5033.10
19	18	445.20	5033.80
20	18	445.15	5035.30
21	18	445.75	5036.10
22	18	446.80	5036.45
23	18	447.85	5036.80
24	18	449.20	5036.70
25	18	450.40	5036.80
26	18	451.85	5036.55
27	18	452.80	5037.00
28	18	453.70	5037.50
29	18	454.60	5037.80
30	18	455.50	5038.40

Route #5: Aylmer - Angers (7 à 30 km, immobile)

Direction: Ouest-Est Type de milieu: suburbain

Distance en km	Pertes en dB	Ecart-type	Variance	# Fichier FILExxx.DAT
5	-	-	-	-
6	-	-	-	-
7	124.40	0.635	0.404	184
7-bis	124.18	0.259	0.067	185
8	138.28	2.405	5.782	188
8-bis	134.84	2.124	4.510	189
9	144.25	1.962	3.848	191
10	162.32	3.844	14.778	193
11	157.74	2.386	5.691	195
12	154.56	2.913	8.486	197
13	165.53	2.433	5.917	200
14	153.50	2.541	6.455	202
15	152.78	1.464	2.143	204
16	143.51	0.289	0.083	206
17	163.25	0.977	0.954	208
18	*172.77	2.503	6.267	*210
19	167.17	1.484	2.204	212
<20	161.53	0.739	0.546	214
20	*175.97	0.221	0.049	*216
21	164.61	1.620	2.624	218
22	152.71	0.885	0.783	220
23	163.09	1.120	1.254	222
24	*175.00	1.296	1.680	*224
25	*173.68	1.677	2.811	*226
26	164.35	1.177	1.385	228
27	*175.49	1.116	1.246	*230
28	157.10	0.647	0.419	232
29	*174.94	1.545	2.387	*234
30	*174.51	1.378	1.899	*236

Ecart-type moyen: 1.595

Variance moyenne: 3.417

(*: fichiers singuliers)

Route #5: Aylmer - Angers (7 à 30 km, en mouvement)

Direction: Ouest-Est Type de milieu: suburbain

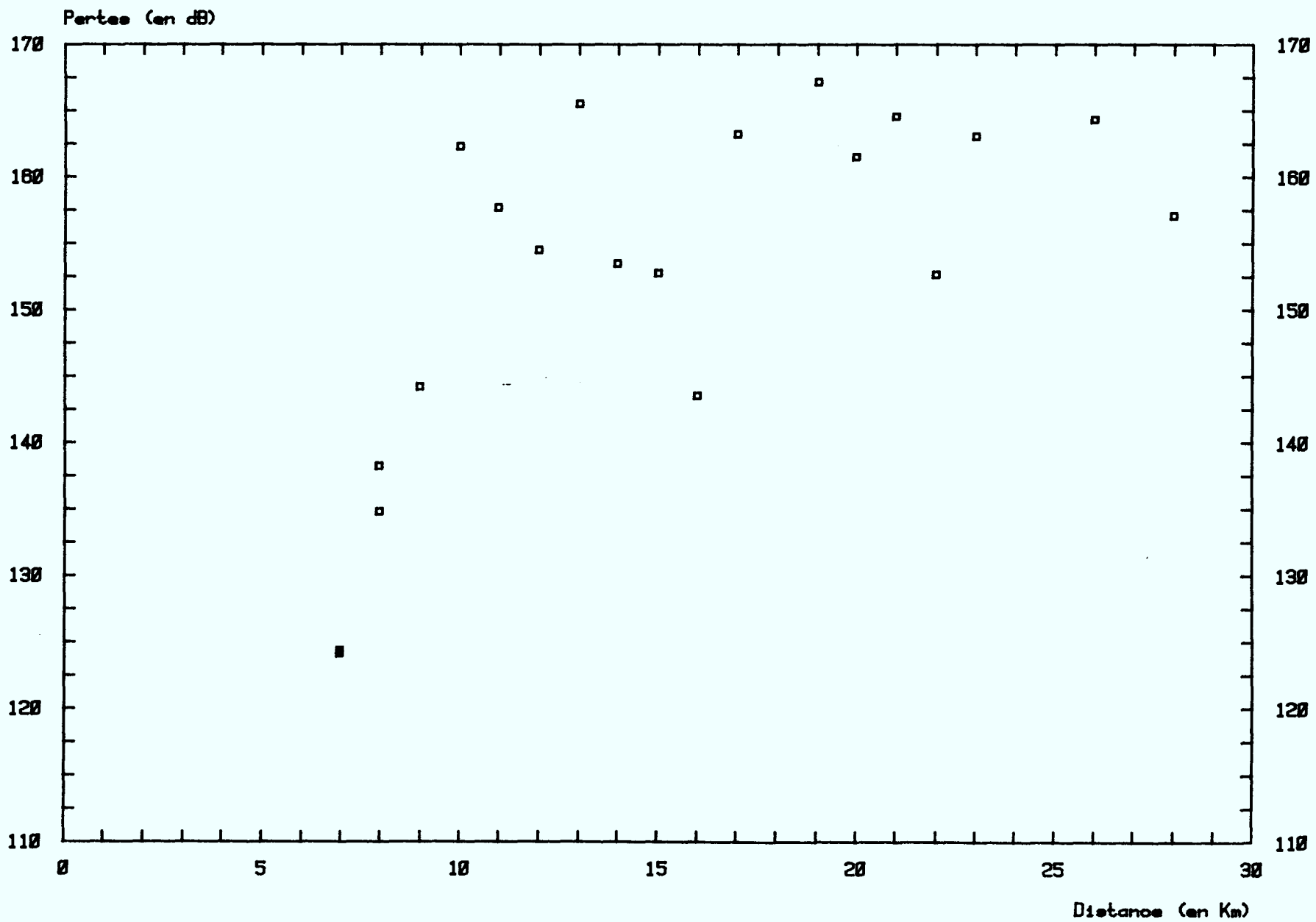
Distance en km	Pertes en dB	Ecart-type	Variance	# Fichier FILExxx.DAT
5	-	-	-	-
6	-	-	-	-
7	*erreur			*186
8	137.81	4.865	23.666	190
9	144.78	5.150	26.522	192
10	154.93	4.577	20.953	194
11	155.54	4.912	24.126	196
12	157.06	5.050	25.501	199
13	161.44	4.607	21.226	201
14	154.23	4.771	22.767	203
15	152.14	5.340	28.511	205
16	150.37	6.733	45.335	207
17	162.89	4.329	18.738	209
18	169.02	3.626	13.146	211
19	167.95	4.364	19.043	213
<20	165.92	4.155	17.267	215
20	162.65	4.877	23.790	217
21	161.14	4.179	17.466	219
22	152.87	2.512	6.308	221
23	164.75	4.161	17.316	223
24	*173.06	3.305	10.924	*225
25	*170.89	3.462	11.987	*227
26	163.75	4.838	23.410	229
27	163.54	3.068	9.413	231
28	160.40	3.121	9.741	233
29	*173.94	2.000	4.001	*235
30	*174.61	1.662	2.761	*237

Ecart-type moyen: 4.462

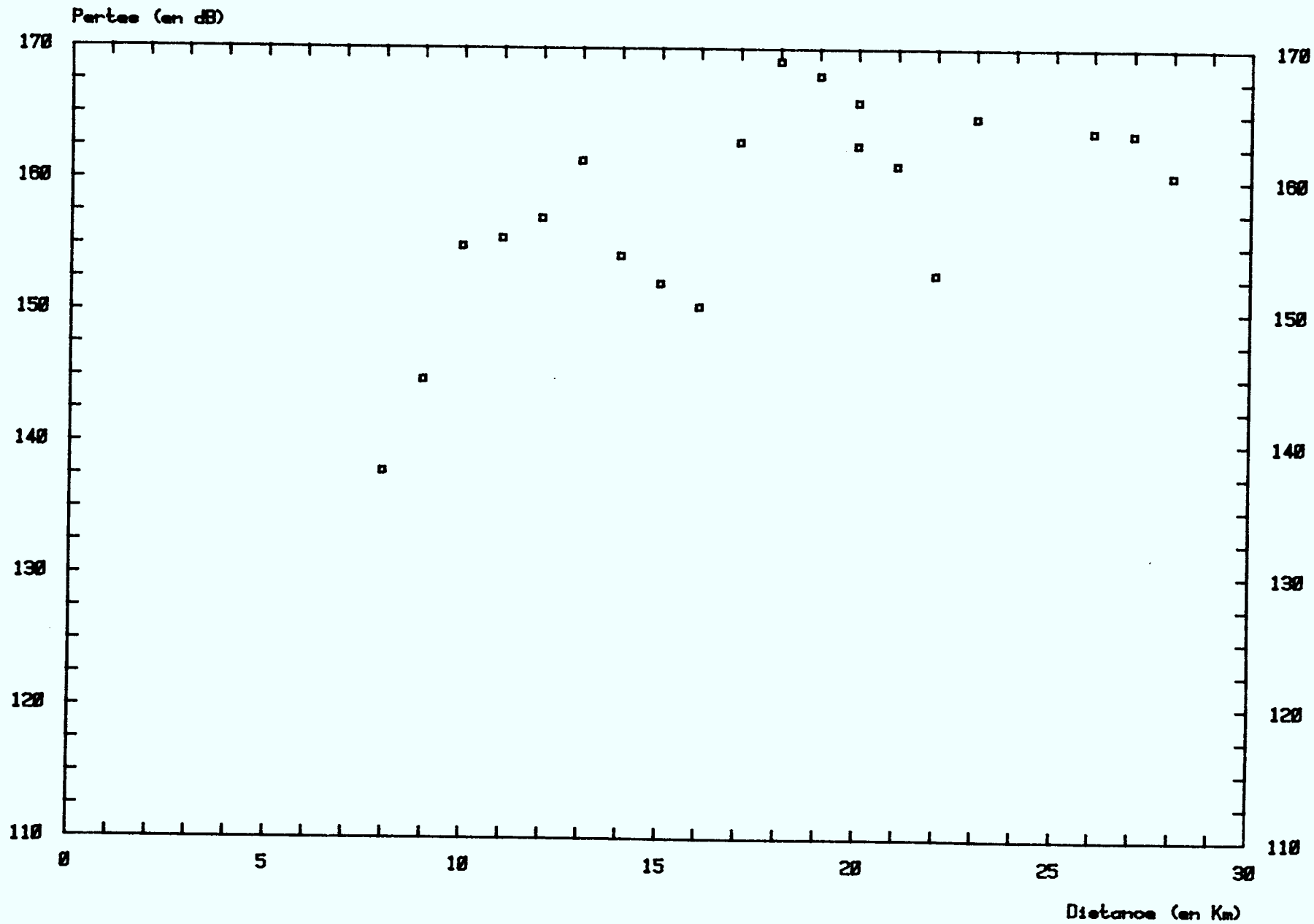
Variance moyenne: 20.712

(*: fichiers singuliers)

Route #5: Aylmer - Angers (vehicule immobile)



Route #5: Aylmer - Angers (vehicule en mouvement)



Route #6: CRC - Orléans

Coordonnées du transmetteur au CRC: 18, 430.70, 5021.60.

Distance en km	Zone	Longitude en km	Latitude en km
1	18	431.60	5021.85
2	18	432.50	5022.40
3	18	433.50	5022.40
4	18	434.60	5022.20
5	18	435.60	5021.80
6	18	436.50	5021.40
7	18	437.50	5021.50
8	18	438.50	5022.20
9	18	439.40	5022.90
10	18	440.40	5023.60
11	--	----.---	----.---
12	--	----.---	----.---
13	--	----.---	----.---
14	18	443.35	5027.30
15	18	444.20	5027.70
16	18	445.30	5028.00
17	18	446.20	5028.60
18	18	447.05	5029.05
19	18	448.00	5029.30
20	18	449.05	5029.50
21	18	450.05	5029.65
22	18	451.05	5029.80
23	18	451.90	5030.40
24	18	452.80	5031.00
25	18	453.50	5031.60
26	18	454.15	5032.65
27	18	454.80	5033.65
28	18	455.70	5034.10
29	18	456.50	5034.60
30	18	457.40	5035.10

Route #6: CRC - Orléans (1 à 30 km, immobile)

Direction: Est-Ouest Type de milieu: urbain

Distance en km	Pertes en dB	Ecart-type	Variance	# Fichier FILExxx.DAT
1	*104.76	0.587	0.345	*290
2	122.52	0.647	0.418	288
3	127.46	0.916	0.839	286
4	128.43	0.443	0.196	284
5	137.02	0.636	0.405	282
6	127.32	0.101	0.010	279
7	150.93	2.284	5.219	277
8	139.25	0.579	0.335	275
9	158.14	4.182	17.492	274
10	154.50	4.533	20.545	272
11	-	-	-	-
12	-	-	-	-
13	-	-	-	-
14	157.24	2.679	7.176	270
15	155.27	1.567	2.454	268
16	167.19	4.271	18.243	266
17	151.35	0.687	0.471	264
18	*173.35	2.990	8.942	*262
19	153.52	0.530	0.281	260
20	154.40	0.809	0.655	258
21	154.04	0.887	0.786	256
22	151.70	0.457	0.209	254
23	168.16	1.461	2.136	252
24	*175.56	1.382	1.909	*250
25	162.66	0.921	0.849	248
26	*170.37	1.289	1.661	*246
27	164.63	0.754	0.568	244
28	163.43	0.719	0.517	242
29	157.61	0.614	0.378	240
30	164.62	0.532	0.283	238

Ecart-type moyen: 1.357

Variance moyenne: 3.498

(*: fichiers singuliers)

Route #6: CRC - Orléans (1 à 30 km, en mouvement)

Direction: Est-Ouest Type de milieu: urbain

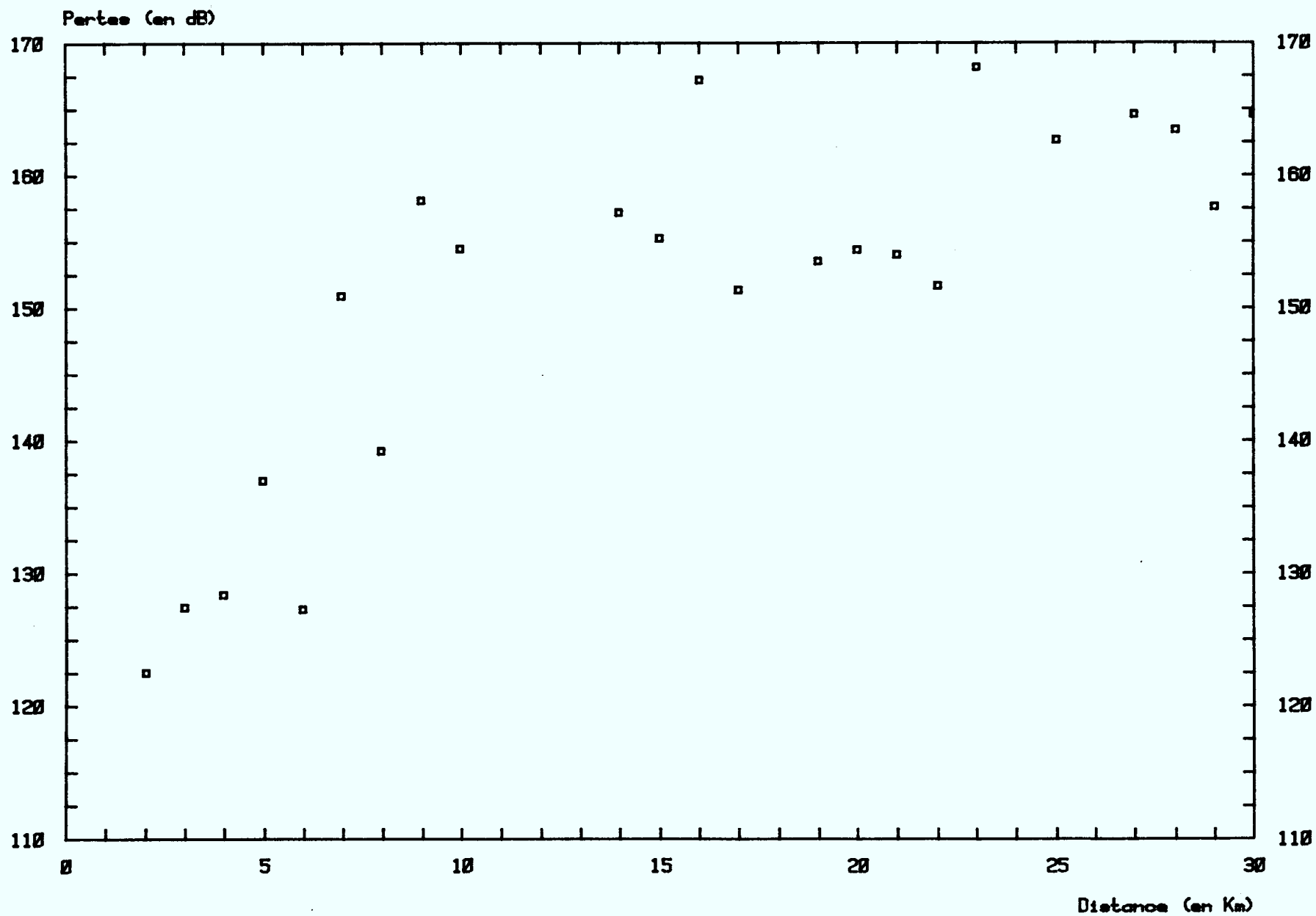
Distance	Pertes	Ecart-type	Variance	# Fichier
en km	en dB			FILExxx.DAT
1	*107.02	3.71	13.74	*291
2	126.65	4.64	21.51	289
3	124.31	4.16	17.32	287
4	134.07	5.13	26.36	285
5	141.52	4.77	22.75	283
6	134.61	3.82	14.56	281
6-bis	*127.45	0.316	0.100	*280
7	146.15	4.75	22.53	278
8	148.94	10.28	105.57	276
9	-	-	-	-
10	148.68	5.20	27.04	273
11	-	-	-	-
12 et 13	-	-	-	-
14	153.66	4.43	19.63	271
15	151.63	4.58	20.99	269
16	149.05	4.84	23.47	267
17	152.34	4.39	19.24	265
18	161.82	4.45	19.81	263
19	153.42	5.23	27.30	261
20	158.43	4.21	17.75	259
21	156.51	4.71	22.18	257
22	152.11	1.69	2.86	255
23	163.40	4.77	22.77	253
24	163.21	4.02	16.19	251
25	165.18	4.24	17.97	249
26	169.38	3.81	14.53	247
27	*171.87	3.52	12.36	*245
28	163.77	3.22	10.36	243
29	157.49	1.31	1.73	241
30	167.00	1.97	3.88	239

Ecart-type moyen: 4.647

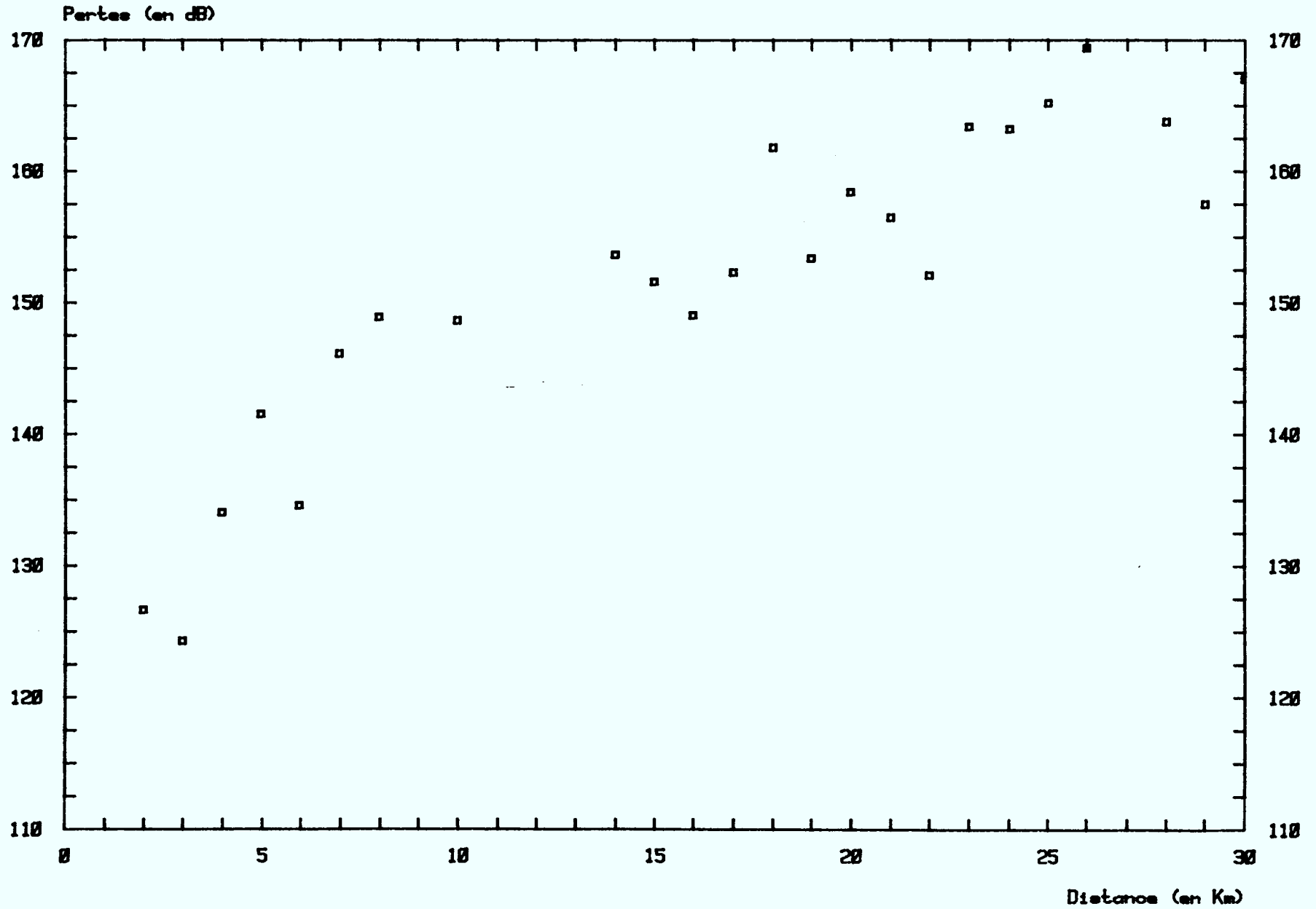
Variance moyenne: 21.595

(*: fichiers singuliers)

Route #6: CRC - Orleans (vehicule immobile)



Route #6: CRC - Orleans (vehicule en mouvement)



Route #7: CRC - Smith Falls

Coordonnées du transmetteur au CRC: 18, 430.70, 5021.60.

Distance en km	Zone	Longitude en km	Latitude en km
1	18	430.00	5020.80
2	18	430.20	5019.70
3	18	430.50	5018.60
4	18	430.90	5017.60
5	18	430.70	5016.60
6	18	429.80	5015.80
7	18	428.90	5015.00
8	18	428.00	5014.20
9	18	427.10	5013.45
10	18	427.40	5012.20
11	18	428.40	5010.90
12	18	428.30	5010.00
13	18	429.20	5008.80
14	18	430.10	5007.70
15	18	432.50	5006.85
16	18	433.30	5005.90
17	18	434.00	5005.10
18	18	433.20	5003.90
19	18	431.90	5002.70
20	18	430.80	5001.70
21	18	429.65	5000.75
22	18	428.55	4999.90
23	18	427.50	4998.95
24	18	426.50	4998.10
25	18	425.60	4997.30
26	18	426.70	4996.00
27	18	427.50	4995.00
28	18	428.10	4993.80
29	18	428.40	4992.80
30	18	428.70	4991.80

Route #7: CRC - Smith Falls (1 à 30 km, immobile)

Direction: Nord-Sud Type de milieu: ouvert

Distance en km	Pertes en dB	Ecart-type	Variance	# Fichier FILExxx.DAT
1	*105.34	0.591	0.349	*296
2	117.13	0.834	0.696	298
3	115.85	0.428	0.183	300
4	115.83	0.658	0.433	303
5	130.72	0.497	0.247	305
6	143.69	0.315	0.099	308
7	137.70	0.305	0.093	310
8	136.35	0.594	0.353	312
9	149.46	2.237	5.004	314
10	146.50	0.767	0.589	316
11	154.29	0.765	0.585	318
12	155.71	1.213	1.471	320
13	154.78	1.255	1.575	322
14	154.13	0.443	0.197	324
15	157.56	3.232	10.443	326
16	157.35	0.584	0.342	328
17	162.33	0.773	0.597	330
18	154.70	0.572	0.327	332
19	*177.44	1.126	1.267	*334
20	*178.00	0.000	0.000	*336
21	*178.00	0.000	0.000	*338
22	167.95	0.630	0.397	340
23	*177.86	0.388	0.150	*342
24	*170.86	0.494	0.244	*344
25	*170.57	0.664	0.441	*346
26	*178.00	0.000	0.000	*348
27	*170.07	0.776	0.602	*350
28	*175.26	1.370	1.876	*353
29	*178.00	0.000	0.000	*355
30	*178.00	0.000	0.000	*357

Ecart-type moyen: 0.895

Variance moyenne: 1.313

(*: fichiers singuliers)

Route #7: CRC - Smith Falls (1 à 30 km, en mouvement)

Direction: Nord-Sud Type de milieu: ouvert

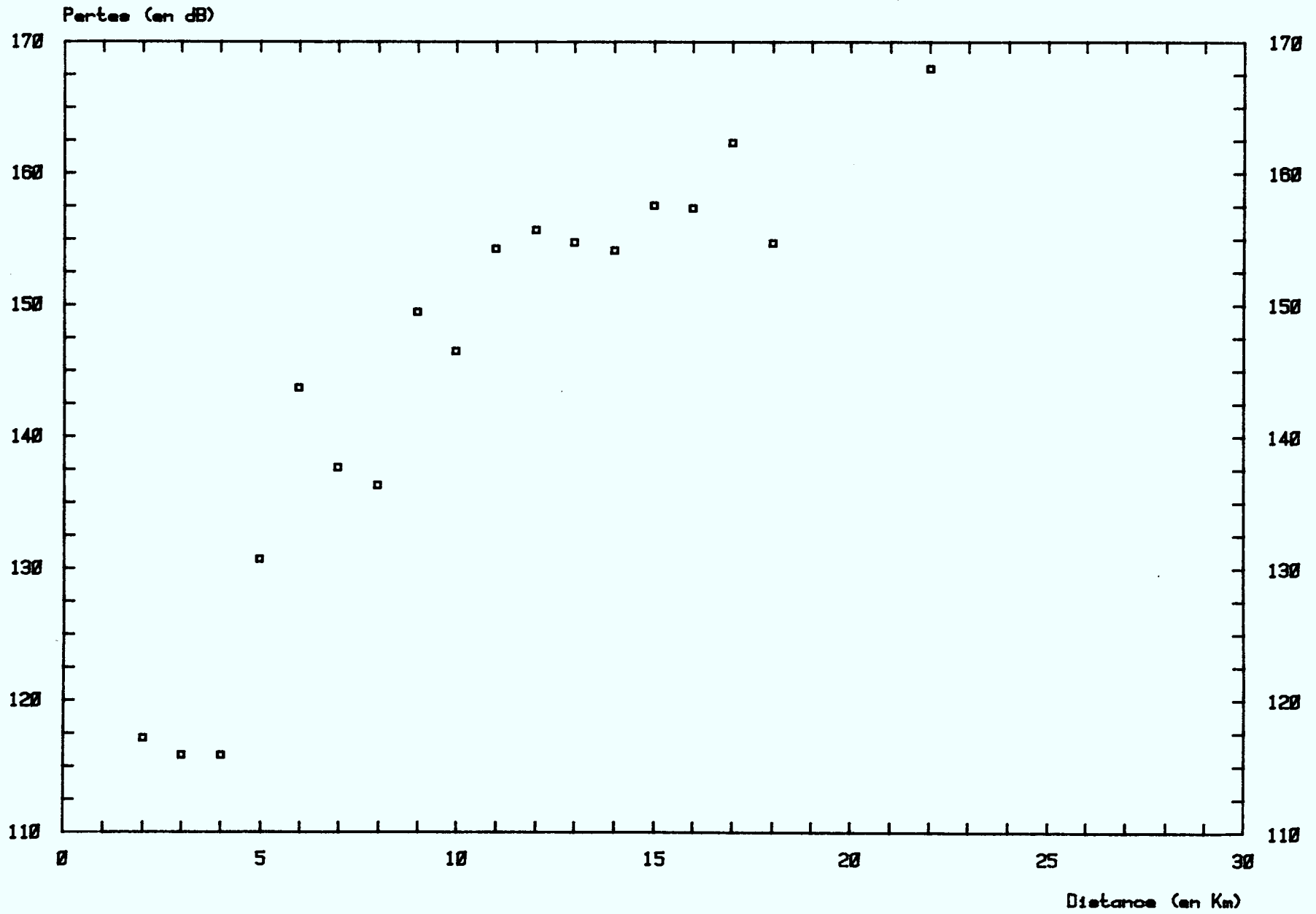
Distance en km	Pertes en dB	Ecart-type	Variance	# Fichier FILExxx.DAT
1	*106.95	2.959	8.755	*297
2	118.63	4.715	22.231	299
3	115.67	3.884	15.086	302
4	118.38	2.739	7.500	304
5	132.69	4.839	23.414	307
6	150.59	4.989	24.889	309
7	140.26	5.372	28.863	311
8	134.70	2.049	4.197	313
9	149.68	5.642	31.838	315
10	149.57	4.864	23.659	317
11	159.34	5.443	29.621	319
12	150.74	3.858	14.884	321
13	154.64	6.213	38.603	323
14	158.64	4.755	22.610	325
15	158.64	5.383	28.982	327
16	160.10	5.174	26.775	329
17	164.46	4.500	20.253	331
18	158.34	4.046	16.371	333
19	168.19	4.801	23.046	335
20	*178.00	0.000	0.000	*337
21	*176.70	2.067	4.273	*339
22	*172.43	4.035	16.282	*341
23	*173.07	3.214	10.328	*343
24	*171.65	2.912	8.478	*345
25	*171.35	3.516	12.364	*347
26	*178.00	0.000	0.000	*349
27	165.58	2.846	8.098	352
28	*177.12	1.936	3.749	*354
29	*177.98	0.185	0.034	*356
30	*178.00	0.000	0.000	*358

Ecart-type moyen: 4.650

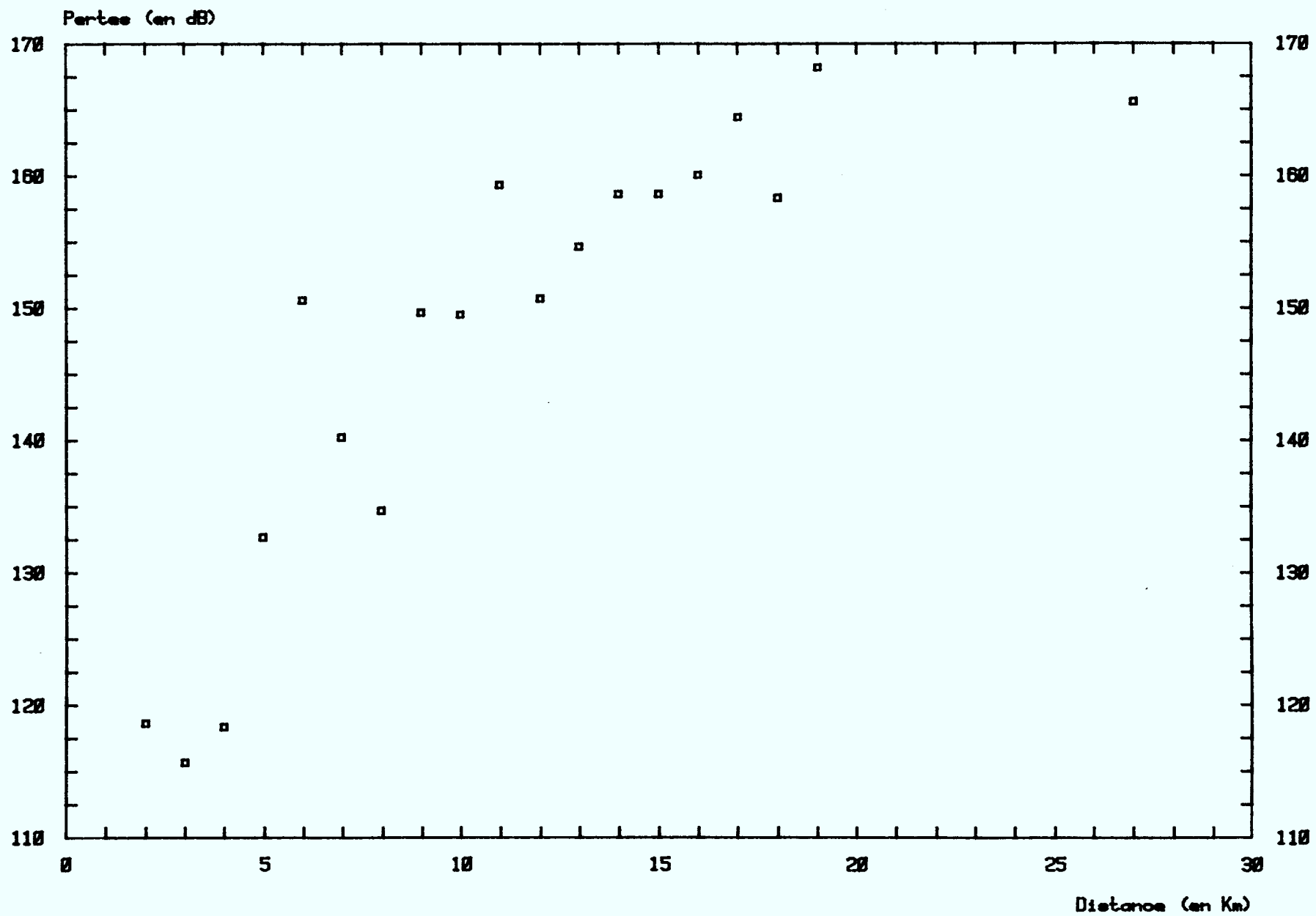
Variance moyenne: 21.627

(*: fichiers singuliers)

Route #7: CRC - Smith Falls (vehicule immobile)



Route #7: CRC - Smith Falls (vehicule en mouvement)



Route #8: Aylmer - Wakefield

Coordonnées du transmetteur au CRC: 18, 430.70, 5021.60.

Distance en km	Zone	Longitude en km	Latitude en km
8	18	436.90	5026.30
9	18	436.70	5028.00
10	18	436.60	5029.50
11	18	436.00	5031.10
12	18	435.80	5032.20
13	18	435.70	5033.40
14	18	435.60	5034.50
15	18	435.80	5035.50
16	18	436.30	5036.50
17	18	436.40	5037.60
18	18	436.50	5038.80
19	18	436.60	5039.70
20	18	436.80	5040.60
21	18	437.20	5041.60
22	18	436.60	5042.70
23	18	435.90	5043.90
24	18	434.70	5045.20
25	18	433.20	5046.30
26	18	431.50	5047.40
27	18	430.60	5048.40
28	18	430.00	5049.40
29	18	429.30	5050.30
30	18	428.70	5051.30

Route #8: Aylmer - Wakefield (8 à 30 km, immobile)

Direction: Sud-Nord Type de milieu: suburbain (obstruction)

Distance en km	Pertes en dB	Ecart-type	Variance	# Fichier FILExxx.DAT
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
4	-	-	-	-
5	-	-	-	-
6	-	-	-	-
7	-	-	-	-
8	139.61	0.492	0.242	361
9	147.36	4.948	24.481	363
10	162.40	2.900	8.407	365
11	149.32	0.702	0.493	367
12	166.10	2.178	4.743	369
13	158.10	2.648	7.013	371
14	152.02	0.621	0.385	373
15	157.10	0.640	0.410	375
16	*178.00	0.000	0.000	*377
17	168.67	0.638	0.407	379
18	160.43	0.323	0.105	381
19	*178.00	0.000	0.000	*383
20	*170.08	0.501	0.251	*385
21	*178.00	0.000	0.000	*387
22	*178.00	0.000	0.000	*389
23	*178.00	0.000	0.000	*391
24	*178.00	0.000	0.000	*393
25	*178.00	0.000	0.000	*395
26	*178.00	0.000	0.000	*397
27	*178.00	0.000	0.000	*399
28	*178.00	0.000	0.000	*401
29	*178.00	0.000	0.000	*403
30	*178.00	0.000	0.000	*405

Ecart-type moyen: 1.609

Variance moyenne: 4.669

(*: fichiers singuliers)

Route #8: Aylmer - Wakefield (8 à 30 km, en mouvement)

Direction: Sud-Nord Type de milieu: suburbain (obstruction)

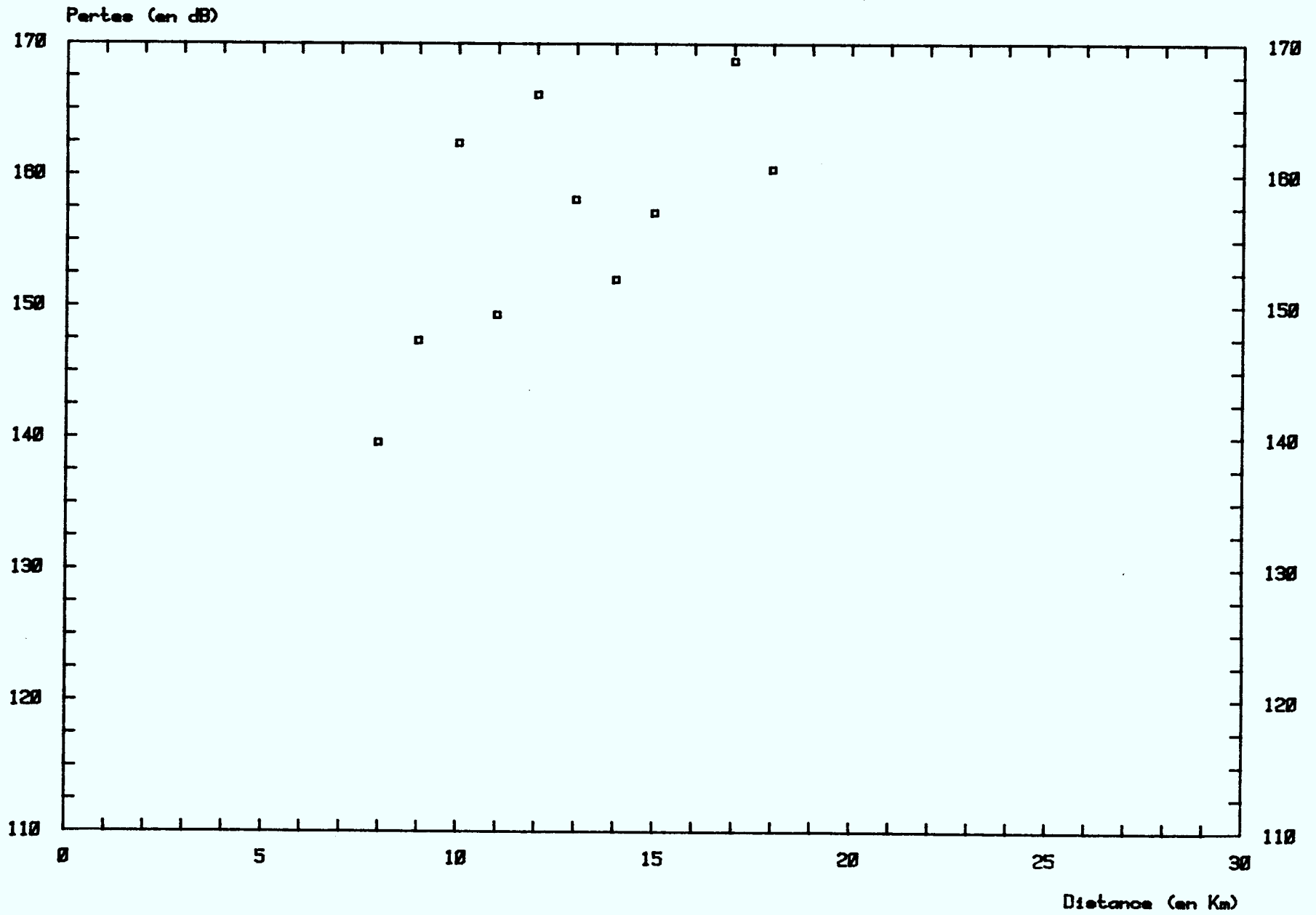
Distance en km	Pertes en dB	Ecart-type	Variance	# Fichier FILExxx.DAT
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
4	-	-	-	-
5	-	-	-	-
6	-	-	-	-
7	-	-	-	-
8	144.06	5.192	26.952	362
9	147.23	5.211	27.153	364
10	159.01	5.161	26.639	366
11	154.11	4.572	20.905	368
12	165.62	4.378	19.167	370
13	160.82	4.915	24.159	372
14	158.36	4.891	23.921	374
15	160.32	5.473	29.957	376
16	*177.96	0.270	0.073	*378
17	*176.49	2.317	5.368	*380
18	159.76	5.032	25.325	382
19	*177.99	0.084	0.007	*384
20	*172.40	3.616	13.077	*386
21	*178.00	0.000	0.000	*388
22	*178.00	0.000	0.000	*390
23	*178.00	0.000	0.000	*392
24	*178.00	0.000	0.000	*394
25	*178.00	0.000	0.000	*396
26	*178.00	0.000	0.000	*398
27	*178.00	0.000	0.000	*400
28	*178.00	0.000	0.000	*402
29	*178.00	0.000	0.000	*404
30	*178.00	0.000	0.000	*406

Ecart-type moyen: 4.991

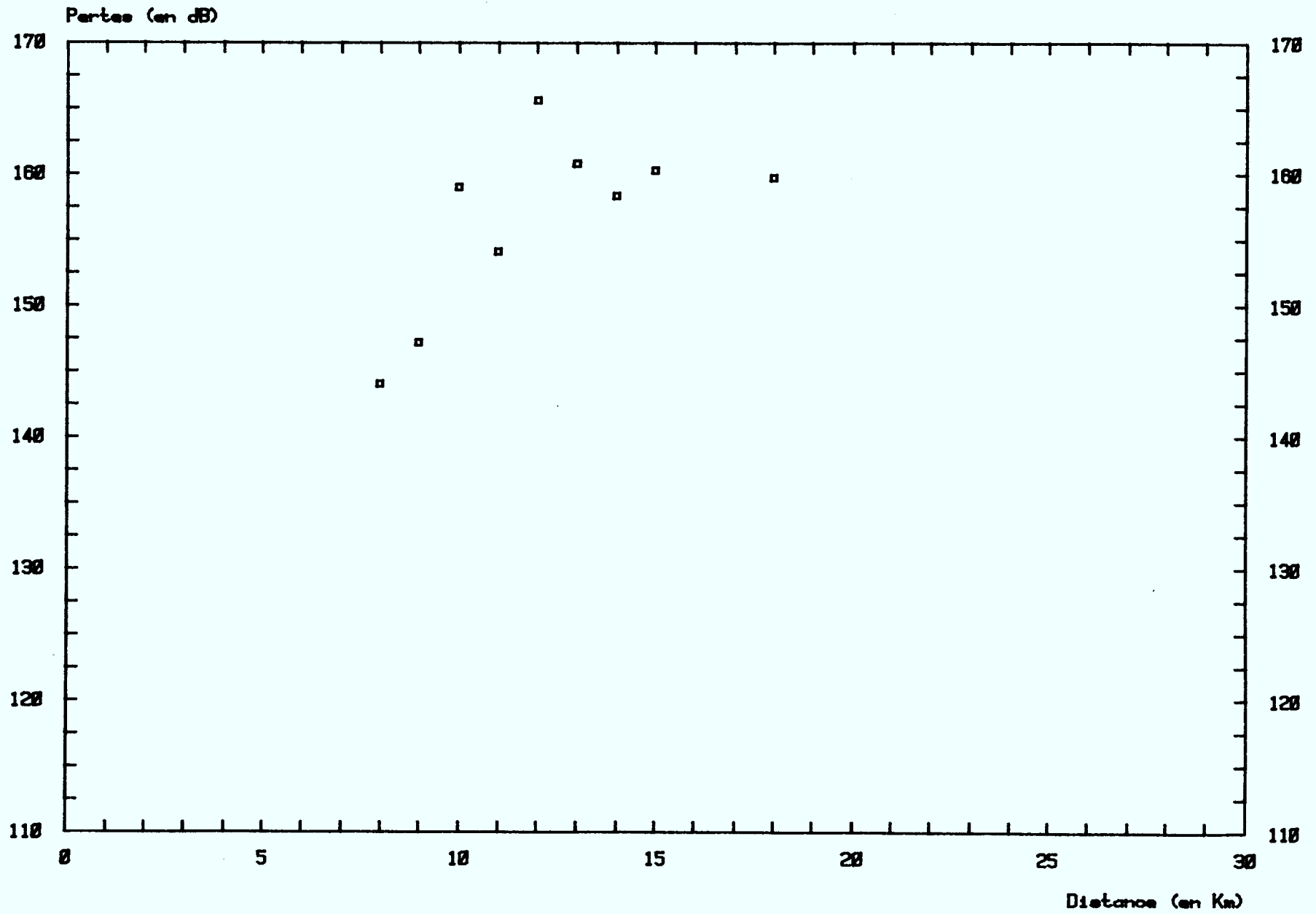
Variance moyenne: 24.909

(*: fichiers singuliers)

Route #8: Aylmer - Wakefield (vehicule immobile)



Route #8: Aylmer - Wakefield (vehicule en mouvement)



Annexe B

Diagramme temporel des signaux du
système d'acquisition de données

Diagramme temporel des signaux de commande
ainsi que des signaux numérisés.

Signaux de commande:

$\overline{CA1}$:	Horloge.
CA2:	Premier transfert de données (i.e. niveau du signal, bit d'identification, niveau du bruit et bit d'erreur).
$\overline{CA2}$:	Deuxième transfert de données (soit la position du véhicule).

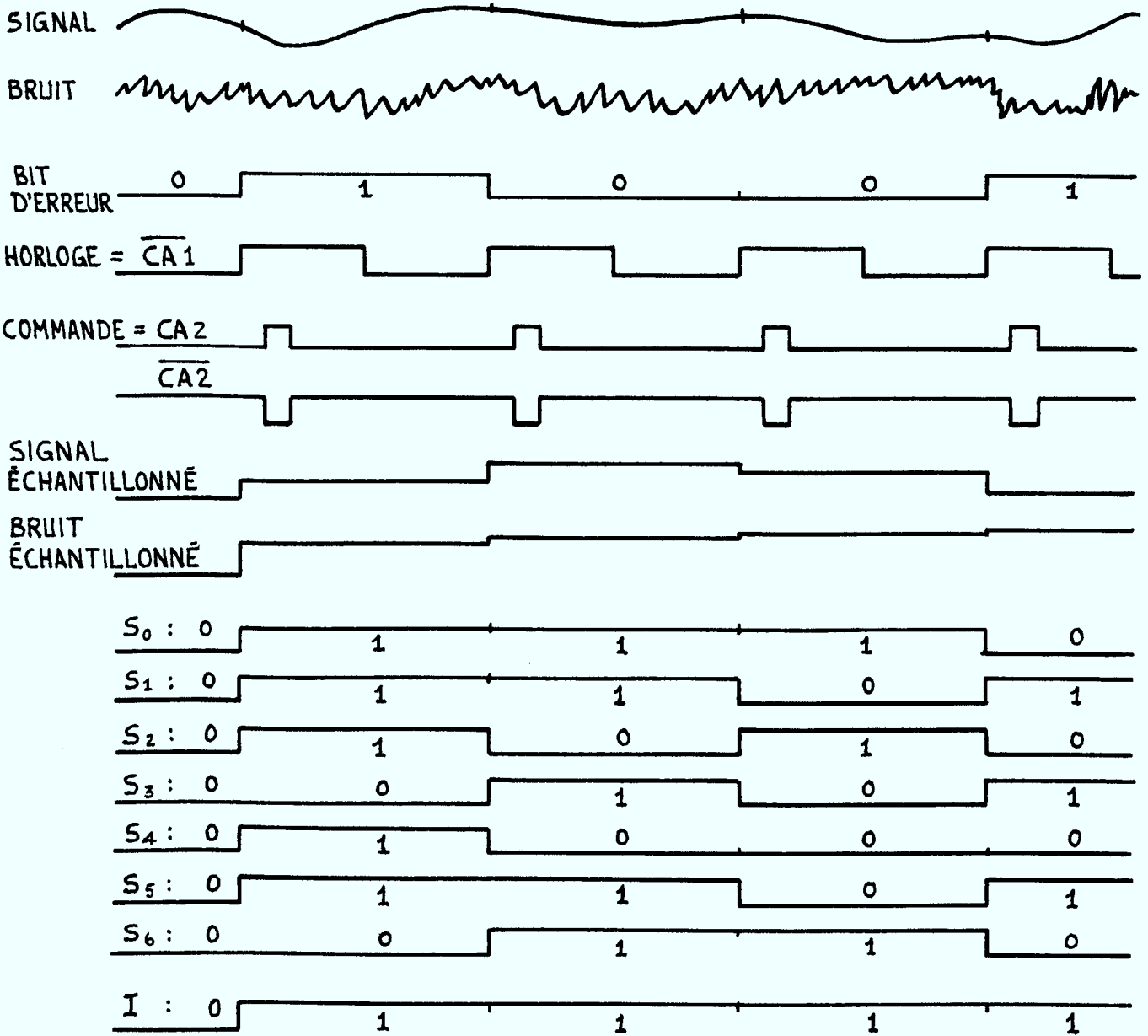
Signaux échantillonnés:

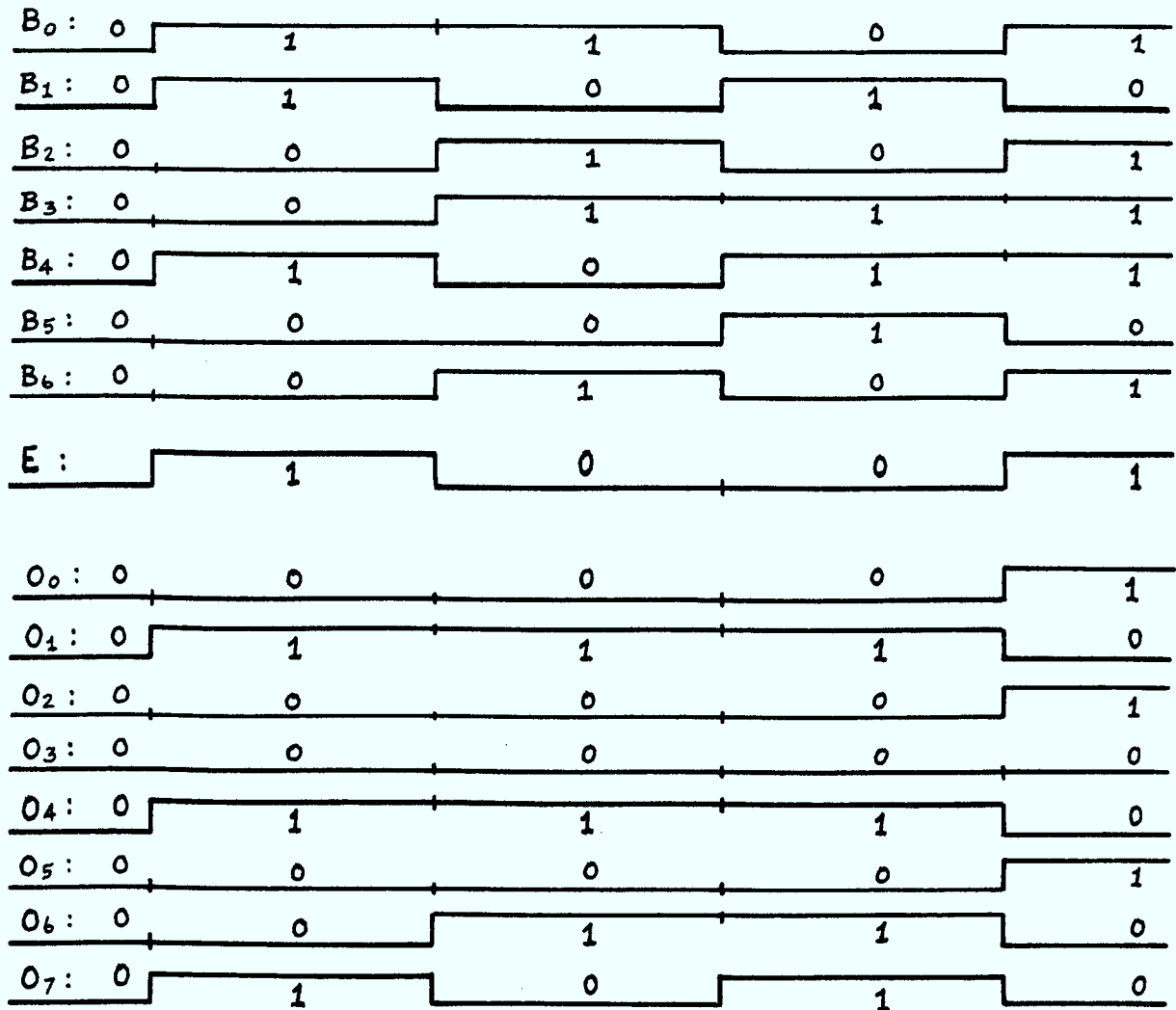
S0 à S6:	Niveau du signal (numérisé).
I:	Bit de cadrage ("frame bit").
B0 à B6:	Niveau du bruit (numérisé).
E:	Bit de la séquence d'erreur.
O0 à O7:	Odomètre (8 bits).

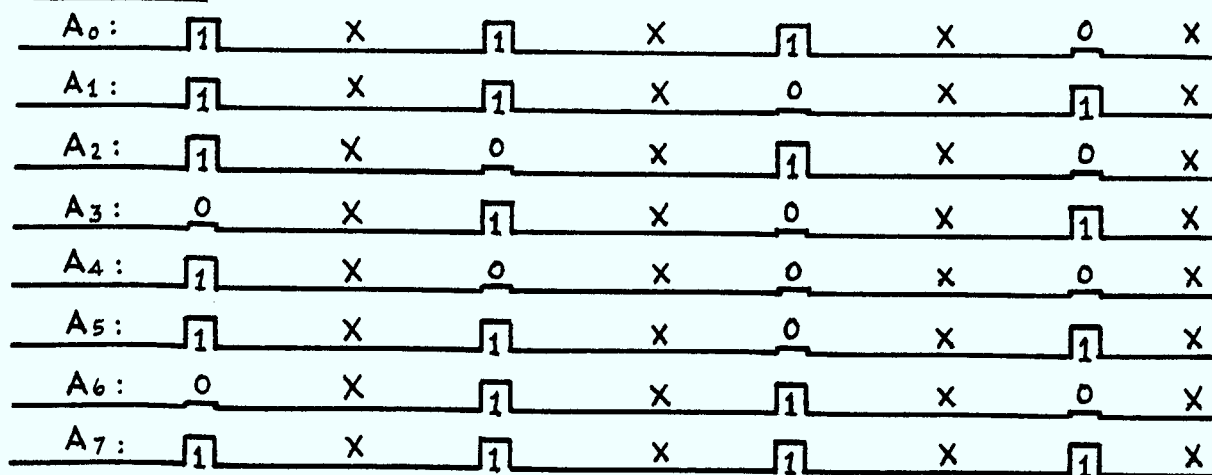
Accès parallèles au micro-ordinateur AIM-65:

A0 à A7:	Accès parallèle A (8 bits) utilisé pour le transfert du niveau du signal et du bit de cadrage.
B0 à B7:	Accès parallèle B (8 bits) utilisé pour le transfert du niveau du bruit et de la séquence d'erreur, puis pour le transfert de la position du mobile.

DIAGRAMME TEMPOREL





PORT A:PORT B: