

Centre de recherches sur les communications

*L'expérience de propagation dans le
passage du Nord-Ouest :
Rapport du programme de mesure 1983-1984*

*par
R.S. Butler*

RAPPORT CRC N° 1391

Ottawa, septembre 1985



TK
5102.5
C673f
#1391

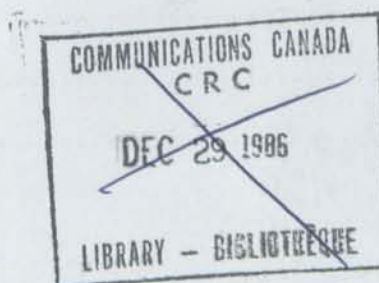
IC

*L'expérience de propagation dans le passage du Nord-Ouest :
Rapport du programme de mesure 1983-1984*

*par
R.S. Butler*



Section de la technologie des radars et des communications



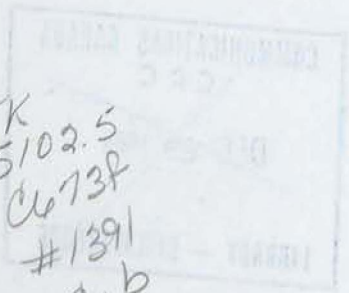
RAPPORT CRC N° 1391

OTTAWA, SEPTEMBRE 1985

AVERTISSEMENT

Ces renseignements sont fournis sous réserve que les droits de propriété et de brevets seront protégés.

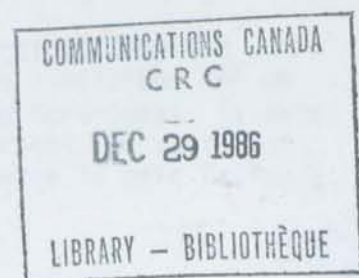
Faint, illegible text at the top of the page, possibly bleed-through from the reverse side.



TK
5102.5
C673P
#1391
C. b

TABLE DES MATIÈRES

	<u>Page</u>
RÉSUMÉ.....	1
1. INTRODUCTION.....	1
2. GÉOGRAPHIE ET CLIMAT.....	2
3. CARACTÉRISTIQUES DÉTAILLÉES DE L'EXPÉRIENCE.....	4
4. RÉDUCTION ET ANALYSE DES DONNÉES.....	6
4.1 Données sur les ondes décimétriques.....	8
4.1.1 Statistiques annuelles et saisonnières.....	8
4.1.2 Statistiques des mois les plus défavorables.....	13
4.1.3 Variations diurnes.....	14
4.2 Données sur les ondes métriques.....	14
4.2.1 Statistiques saisonnières.....	14
4.2.2 Statistiques des mois les plus défavorables.....	18
5. CONCLUSION.....	20
5.1 Récapitulation des résultats.....	20
5.2 Recommandations intérimaires.....	21
6. REMERCIEMENTS.....	22
7. RÉFÉRENCES.....	23



L'EXPÉRIENCE DE PROPAGATION DANS LE PASSAGE DU NORD-OUEST : RAPPORT DU PROGRAMME DE MESURE 1983-1984

par

R.S. Butler

RÉSUMÉ

Une expérience a été entreprise en 1982 pour étudier la propagation des ondes radio métriques et décimétriques dans les îles de l'Arctique canadien, à proximité de la latitude de 75°N. On a choisi cinq trajets dont les extrémités étaient élevées pour étudier la propagation des ondes décimétrique dans les liaisons point à point. Dans le cas des ondes métriques, on a choisi neuf trajets ayant chacun une extrémité proche du niveau de la mer et l'autre à diverses altitudes, afin d'étudier les liaisons entre les bateaux et la terre ferme. Les trajets avaient des longueurs variant de 60 à 100 km et étaient donc représentatifs des trajets que l'on utiliserait dans un système de transmission mobile permettant de couvrir l'ensemble du passage du Nord-Ouest.

Ce rapport concerne les mesures effectuées entre septembre 1983 et janvier 1985. Il présente et analyse les statistiques annuelles, saisonnières et des mois les plus défavorables. En conclusion, il établit que des communications par ondes métriques pourraient être offertes aux bateaux se trouvant dans le passage du Nord-Ouest à l'aide d'émetteurs de moyenne puissance (moins de 3 W par voie de conversation de 25 kHz) et d'émetteurs de très faible puissance (moins de 0,1 W par voie) pour les liaisons point à point par ondes décimétriques entre les stations à ondes métriques.

1. INTRODUCTION

La région du Canada située au nord du cercle arctique comprend un groupe important d'îles ayant une superficie d'environ 2 millions km² et s'étendant jusqu'à la latitude de 80°N. Le passage du Nord-Ouest, la voie maritime légendaire du Nord, qui relie l'Europe à l'Orient, de passe par cette archipel à proximité de la latitude de 74°N., entre la baie Baffin à l'est et la mer de Beaufort à l'ouest.

Dans cette région très peu peuplée, on utilise traditionnellement des liaisons radio HF, ainsi que des faisceaux hertziens transhorizons plus au sud, et, dernièrement, des liaisons à hyperfréquences réalisées au moyen de satellites géostationnaires. Toutefois, la possibilité d'un accroissement du trafic maritime par suite de l'exploitation des ressources naturelles a conduit à l'étude d'un système radio mobile utilisant des ondes métriques, et cela a exigé que l'on entreprenne une étude sur la propagation des ondes radioélectriques dans cette région arctique tout à fait particulière. On a utilisé une étude préliminaire (Dubinski, 1982) sur les emplacements terrestres qui permettraient d'obtenir une couverture optimale de l'ensemble du passage, pour se guider dans le choix des liaisons étudiées (ces liaisons sont identifiées en 5.2 ci-dessous). Les fréquences des ondes métriques expérimentales ont été choisies à l'intérieur de la bande de fréquences réservée aux stations mobiles maritimes, qui s'étale de 156 à 174 MHz, et les liaisons correspondantes entre des emplacements simulant un bateau et une station élevée avaient une longueur ne dépassant pas 95 km. De même on a étudié des liaisons par ondes décimétriques dans la bande 450 à 470 MHz sur des distances pouvant atteindre 100 km, entre des points élevés. Ces expériences sur les ondes métriques et décimétriques ont pour but d'étudier la gamme des longueurs de trajet nécessaire pour couvrir l'ensemble du passage du Nord-Ouest entre les longitudes de 80°0. et de 125°0. et de déterminer les paramètres d'un système de transmission à très haute fiabilité.

La phase initiale de l'expérience s'est déroulée en 1982, et les résultats obtenus ont été rapportés par Butler et al. (1984). Le programme de mesure s'est poursuivi tout au long de 1983 et de 1984. Les résultats obtenus durant cette période sont analysés dans le présent rapport.

2. GÉOGRAPHIE ET CLIMAT

La situation géographique de la zone expérimentale est indiquée à la figure 1. La figure 2 constitue une carte détaillée de la région, et les liaisons expérimentales y sont indiquées. Il y a trois installations indépendantes à proximité du Cap de Cockburn, soit Cockburn Peak, Cockburn Lake et Cockburn Flats, qui se trouvent à des altitudes différentes et sont situées presque le long de la même ligne que l'île de Lowther. Il y a également trois installations sur l'île de Lowther à des altitudes différentes, presque le long de la même ligne que le Cap de Cockburn, soit Lowther Beach, Lowther Terrace et Lowther Peak. Les six installations ne peuvent pas être indiquées séparément sur la figure 2 à cause de son échelle. Ces installations ainsi que les noms qui leur ont été donnés sont indiqués à la table 1 ainsi que la fréquence approximative qu'elles utilisent pour transmettre.

Table 1 Installation expérimentale

Nom de l'installation	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Fréquence (MHz)
Transfer Hill	75° 35,3' N.	105° 35,1' O.	140	451,0
Schomberg Peak	75° 33,7'	102° 41,1'	177	463,0
Cockburn Peak	75° 01,8'	100° 15,1'	156	453,0
Cockburn Lake	75° 01,6'	100° 10,0'	80	458,0
Cockburn Flats	75° 00,2'	100° 05,9'	11	164,0
Allison Inlet	74° 59,9'	99° 31,2'	16	164,4
Acland Acres	75° 00,0'	98° 51,0'	15	165,0
Lowther Beach	74° 33,4'	97° 36,0'	15	72,1
Lowther Terrace	74° 32,6'	97° 33,0'	100	72,6
Lowther Peak	74° 31,8'	97° 27,2'	183	468,0
Martyr Peak	74° 41,2'	95° 02,9'	174	165,3

Toute la zone illustrée à la figure 2 fait partie de la sous-région climatique Ic : île de Bathurst - île du Prince de Galles, selon la définition de Maxwell (1981). Le climat est du type désert arctique, avec une précipitation annuelle équivalente à moins de 15 cm d'eau, qui se présente surtout sous la forme de neige. La température quotidienne moyenne est +4° C en juillet et -33° C en janvier. Il y a du brouillard ou du brouillard de glace environ 15% du temps pendant les mois de juin à août et 10% du temps pendant les mois de décembre à février. Le ciel est couvert de nuages bas presque tout le temps durant l'année, avec des plafonds de moins de 300 mètres 28% du temps, pendant les mois de juin à août.

Les voies maritimes sont couvertes de glace pendant 9 à 12 mois, et c'est au nord de l'île de Byam Martin qu'elles sont le moins souvent ouvertes et le long de la côte sud des îles de Bathurst et de Cornwallis qu'elles le sont le plus souvent. La majorité de la glace de printemps a moins d'un an d'âge et elle a une épaisseur qui est généralement de deux mètres. La période principale pendant laquelle la voie est généralement ouverte est le mois d'août (Rae, 1951).

À la latitude de 75° N., la nuit d'hiver dure du 3 novembre au 9 février, et le jour d'été, du 1^{er} mai au 13 août. Les longueurs des journées varient de 0 à 24 heures, et vice-versa, les équinoxes de printemps et d'automne se trouvant au milieu de ces périodes. Durant l'hiver, il se produit des inversions thermiques généralisées 80% du temps, à cause du refroidissement par rayonnement de la surface, et même durant la période de juin à août, l'atmosphère reste principalement non convective au-dessus de la surface de glace et d'eau salée, qui est pratiquement isothermique, ce qui explique la présence d'inversions thermiques 40% du temps.

La moyenne mensuelle et les limites pour une probabilité de 95% de la réfractivité atmosphérique à Resolute sont représentées à la figure 3 au moyen de la bande hachurée. La ligne connectant les cercles blancs représente la composante de la réfractivité moyenne correspondant à l'air sec, ce qui fait que la composante correspondant à la vapeur d'eau est la différence entre cette ligne et la ligne reliant les points noirs, qui représente la moyenne. La diminution de la réfractivité et aussi de l'intervalle de réfractivité durant les mois de mai à septembre est caractéristique des îles arctiques et contraire à la tendance observée aux latitudes tempérées. Cette figure ainsi que la figure 4 ci-dessous ont été reproduites avec la permission de M. B. Segal de Segal et Barrington (1977).

Les distributions des probabilités saisonnières du gradient de réfractivité en basse atmosphère à Resolute sont illustrées à la figure 4 pour les 100 premiers mètres de l'atmosphère. Comme l'altitude de la station aérienne la plus haute est de 64 m, les gradients correspondent à des altitudes allant de 64 à 164 m. L'échelle de droite donne le facteur k_e , par lequel on multiplie le rayon réel de la terre. Le gradient de réfractivité correspondant est reporté sur l'échelle de gauche. Dans les régions tempérées, la valeur fictive du rayon de la terre est $4R/3$ (R est le rayon réel de la terre, soit 6 365 km). On voit que cette valeur est nettement plus petite que la médiane dans les régions étudiées, sauf en été. Cela signifie que les profils de trajets calculés en utilisant un rayon fictif de $4R/3$ (ils sont représentés plus loin) exagèrent la courbure de la terre pour les trajets radio. En hiver, la terre paraît encore plus plate pendant de longues périodes ($>25\%$ pour $k_e \geq 2$), et il n'est pas extrêmement rare qu'il y ait un véritable guidage (k_e négatif). Inversement, il est rare que k_e soit petit (<1), sauf peut-être pendant l'été, et il y a donc peu de chances que l'accroissement du rayon de la terre, c'est-à-dire le blocage des trajets radio par suite de l'augmentation de la courbure des rayons qui se réfléchissent à la surface, soit fréquent.

3. CARACTÉRISTIQUES DÉTAILLÉES DE L'EXPÉRIENCE

La figure 5 représente un schéma fonctionnel des signaux RF. Le niveau des signaux provenant de Transfer Hill a été mesuré à Schomberg Peak. Ce niveau a ensuite été inséré sous la forme d'un flot de données numériques sérielles modulées en fréquences à Schomberg Peak, et démodulées et reconstituées à Cockburn Peak, où le niveau reçu a été mesuré. Ces deux niveaux ont ensuite été introduits dans le flot de données numériques sérielles MF transmis par Cockburn Peak, et l'opération de reconstitution et de mesure était répétée au récepteur de Lowther Peak. Les niveaux reçus des transmissions provenant de Cockburn Lake, Cockburn Flats, Allison Inlet et Acland Acres ont aussi été mesurés à Lowther Peak. En outre les niveaux des transmissions de Cockburn Flats, Allison Inlet et Acland Acres ont été mesurés à Lowther Beach et à Lowther Terrace et ont été télémesurés à Lowther Peak. Les treize mesures précédentes étaient donc encodées dans la transmission de Lowther Peak à Martyr Peak. À Martyr Peak, le niveau de cette dernière transmission a été aussi mesuré, et toutes les quatorze mesures ont été transmises à Resolute au moyen d'une liaison télémétrique à courte distance.

Les antennes de toutes les installations à ondes décimétriques comprenaient quatre dipôles demi-onde colinéaires et avaient un gain de 10,7 dBi à deux exceptions près. L'antenne à ondes décimétriques de Lowther Peak recevant les signaux du Cap de Cockburn était une antenne parabolique cylindrique ayant un gain de 17,2 dBi. Après mai 1984, l'antenne à ondes décimétriques de Cockburn Peak était constituée de deux et non pas de quatre dipôles demi-onde colinéaires et avait un gain de 7,7 dBi. Toutes ces antennes étaient polarisées verticalement et étaient montées sur des tours de six mètres. Les centres de rayonnement des antennes colinéaires se trouvaient donc à sept mètres au-dessus du sol et celui de l'antenne parabolique cylindrique se trouvait à cinq mètres au-dessus du sol.

Les antennes à ondes métriques de toutes les installations étaient constituées de quatre dipôles demi-onde repliés et avaient un gain de 10,7 dBi, sauf celles des deux extrémités de la liaison téléométrique allant de Martyr Peak à Resolute, où on avait utilisé des dipôles simples. Toutes les antennes étaient polarisées verticalement et montées sur des tours de six mètres, ce qui faisait que leur centre de rayonnement se trouvait neuf mètres au-dessus du sol. Sur l'île de Lowther, les liaisons téléométriques de 72 MHz reliant Lowther Beach et Lowther Terrace à Lowther Peak utilisaient des dipôles demi-onde simples montés sur les côtés des antennes principales à ondes métriques environ huit mètres au-dessus du sol.

Les profils de tous les trajets de toutes les liaisons à ondes décimétriques sont illustrés à la figure 6 avec un rayon fictif de la terre de $4R/3$. La ligne de visibilité directe et le dégagement de 0,6 de la zone de Fresnel sont aussi illustrés. Les dégagements des trajets des ondes décimétriques s'étendent de presque une zone de Fresnel complète sur la liaison de Lowther Peak à Martyr Peak, à zéro sur la liaison de Cockburn Lake à Lowther Peak. Les profils des trajets des ondes métriques sont illustrés à la figure 7 avec un rayon fictif de la terre de $4R/3$. Cette fois-ci, les dégagements des trajets varient de pratiquement zéro entre Acland Acres et Lowther Peak à des valeurs négatives de plus en plus grandes atteignant presque -1 zone de Fresnel pour le trajet reliant Cockburn Flats à Lowther Beach, ces trajets descendant de plus en plus en dessous des horizons. Tous les trajets à toutes les fréquences étaient à plus de 90% au-dessus de la mer, et, à l'exception peut-être de Cockburn Flats, les blocages dus au relief étaient négligeables.

Les installations étant inaccessibles, tout l'équipement a été conçu pour fonctionner sans chauffage et sans personnel et pour consommer le moins d'énergie possible. L'énergie était fournie par des piles choisies en raison de leurs bonnes performances à des températures extrêmement basses. Les émetteurs utilisaient des oscillateurs à réglage par tension dans lesquels la phase suit, après la répartition des fréquences, la phase d'un oscillateur à cristal stable dans la bande de 2 à 3 MHz, et ils avaient des puissances nominales de sortie de 100 mW. Les récepteurs à conversion simple étaient dotés de dispositifs de syntonisation simples avec mélangeur et fonctionnaient sur des largeurs de bande de 12 kHz centrées sur la fréquence intermédiaire de 10,7 MHz. Des détecteurs de composantes déphasées étaient utilisés pour démoduler le flot des données représentant les niveaux des signaux mesurés à chaque installation.

Tous les niveaux des signaux étaient enregistrés dans le bâtiment du ministère des Transports à l'aéroport de Resolute à l'aide d'un enregistreur de données à cartouche, et deux cartouches étaient envoyées à Ottawa toutes les semaines en vue d'être analysées. L'intervalle d'échantillonnage était de 2,4 secondes, et les données étaient enregistrées sous forme de nombres binaires de 8 bits. Par suite de la non-linéarité des calibrations des divers récepteurs, la résolution des mesures variait d'environ 0,15 dB à 1,5 dB à l'intérieur de la gamme dynamique de l'équipement, qui était de 60 dB, et était généralement d'environ 0,3 dB.

Les périodes d'utilisation des divers trajets sont récapitulées à la table 2. L'indication principale que l'on peut tirer de cette table est qu'il est extrêmement difficile de mener à bien une expérience dans une des régions les plus désolées du monde. Des pannes ont été provoquées par l'écroulement d'une tour, le bris mécanique d'antennes et la destruction de câbles RF et de câbles d'alimentation par des ours polaires. En outre, certaines liaisons n'ont pas pu être mises en place en septembre 1983, car les hélicoptères ne pouvaient pas atteindre les emplacements par suite du mauvais temps. Entre le 22 avril 1984 et le 4 juin 1984, tout l'équipement électronique déjà installé a été déposé afin d'être modifié et recalibré. Bien que l'émetteur de Transfer Hill ait été installé en juin 1984, et que son signal ait été mesuré à Schomberg Peak immédiatement après, il a été impossible de recevoir aucune donnée valide provenant de cette liaison lorsque le système d'enregistrement à Resolute a été mis en service deux jours plus tard. La cause de cette panne n'a pas encore pu être déterminée. Les relevés ont pris fin le 7 janvier 1985 par suite de la perte de l'antenne émettant de Martyr Peak vers le ministère des Transports à Resolute.

L'absence presque complète de données sur les ondes métriques à Lowther Peak a été causée par une panne de l'antenne qui n'a pas pu être complètement comprise mais qui était probablement due à un défaut dans une ligne de transmission reliant le réseau de distribution aux quatre dipôles. On a constaté la présence de variations aléatoires dans les signaux reçus par rapport au niveau prévu, ainsi que de plusieurs niveaux bas instables. Ce phénomène rappelle jusqu'à un certain point celui de l'affaiblissement dû à la propagation par trajets multiples et il ne peut pas en être dissocié avec certitude. Pour cette raison, presque toutes les données sur les ondes métriques à Lowther Peak ont été rejetées. La période exceptionnelle de deux semaines en juillet 1984 a été introduite pour que l'on puisse faire des comparaisons avec d'autres liaisons, mais il est bien évident qu'elle est trop courte et ne peut donc pas avoir beaucoup de valeur pour établir des prédictions. Enfin, on considère maintenant que les données sur les ondes métriques transmises de Cockburn Flats et Acland Acres à Lowther Peak, collectées durant l'automne 1982 et rapportées par Butler et al. (1984), ont été complètement altérées pour les mêmes raisons, ce qui fait que toutes les conclusions établies dans ce rapport et concernant ces données doivent être rejetées.

4. RÉDUCTION ET ANALYSE DES DONNÉES

On a établi les moyennes des niveaux de la commande automatique de gain pour chaque minute, puis on a calibré et reporté ces niveaux en fonction du temps sur des périodes d'une demi-journée afin qu'ils puissent être vérifiés

visuellement. Cette vérification a permis de détecter des pannes brèves occasionnelles et des erreurs d'enregistrement que l'on a éliminées des résultats finals. On a ensuite classé les données par niveau et l'on a établi des distributions statistiques pour chacun des mois durant lesquels les liaisons étaient en service. On a calculé les médianes et l'on a représenté graphiquement les distributions pour chaque mois (ou partie de mois) avec des échelles bilogarithmiques et semi-logarithmiques. On a produit et représenté graphiquement de la même façon les distributions saisonnières ainsi que certaines distributions d'ensemble.

Table 2 Périodes de fonctionnement des liaisons expérimentales

Nom	Début	Fin
Transfer Hill - Schomberg Peak	--	--
Schomberg Peak - Cockburn Peak	4 juin 1984	7 janv. 1985
Cockburn Peak - Lowther Peak	2 sept. 1983 4 juin 1984	10 nov. 1983 7 janv. 1985
Cockburn Lake - Lowther Peak	2 sept. 1983 3 août 1984	20 oct. 1983 7 janv. 1985
Lowther Peak - Martyr Peak	2 sept. 1983 4 juin 1984	22 avr. 1984 7 janv. 1985
Cockburn Flats - Lowther Beach	2 sept. 1983 4 juin 1984	21 nov. 1983 11 oct. 1984
Cockburn Flats - Lowther Terrace	2 sept. 1983 4 juin 1984	21 nov. 1983 7 janv. 1985
Cockburn Flats - Lowther Peak	(10 juill. 1984)	(25 juill. 1984)
Allison Inlet - Lowther Beach	2 sept. 1983 4 juin 1984	21 nov. 1983 8 oct. 1984
Allison Inlet - Lowther Terrace	2 sept. 1983 4 juin 1984	21 nov. 1983 7 janv. 1985
Allison Inlet - Lowther Peak	(10 juill. 1984)	(25 juill. 1984)
Acland Acres - Lowther Beach	2 sept. 1983	21 nov. 1983
Acland Acres - Lowther Terrace	2 sept. 1983 3 août 1984	21 nov. 1983 12 sept. 1984
Acland Acres - Lowther Peak	--	--

Comme les saisons des zones climatiques tempérées sont sans effet dans l'Arctique, le choix des périodes significatives servant à diviser les données exige une analyse qui se trouvait compliquée par le fait que les périodes de fonctionnement des liaisons n'étaient pas toutes les mêmes. Finalement on a choisi d'utiliser trois "saisons" : "l'été", soit les mois de mai à août, c'est-à-dire la période pendant laquelle il fait continuellement jour, "l'automne-hiver", soit les mois de septembre à décembre, c'est-à-dire la période de la nuit arctique et de l'arrivée des glaces, et "l'hiver-printemps", de janvier à avril, c'est-à-dire la période pendant laquelle les terres sont couvertes de neige et de glace et les inversions de température sont les plus étendues. On aurait pu faire d'autres choix si les données avaient été distribuées plus régulièrement tout au long de l'année. Toutefois, ces choix semblent être les plus logiques, car il n'y avait qu'une seule liaison en service entre janvier et avril et l'on ne disposait d'aucune donnée pour le mois de mai. En fait, on constatera ci-dessous que l'activité observée pour les liaisons se divise naturellement en ces trois "saisons". Chaque "saison" dure environ 10^7 secondes.

4.1 Données sur les ondes décimétriques

4.1.1 Statistiques annuelles et saisonnières

On a obtenu l'ensemble de données le plus long et le plus complet sur le trajet allant de Lowther Peak à Martyr Peak. Les valeurs médianes quotidiennes des niveaux des signaux reçus pour cette liaison sont illustrées à la figure 8. L'uniformité interne des données est excellente, car les mesures des hivers 1983-1984 et 1984-1985 correspondent à la moyenne mensuelle à moins de 1 dB près. Les jours durant lesquels le niveau médian des signaux diminue correspondent à un affaiblissement sur la liaison, et l'on a constaté que durant l'hiver il pouvait y avoir des périodes d'affaiblissements de trois ou quatre jours. Toutefois, en hiver, les signaux sont généralement élevés et stables, contrairement à l'été où il y a des affaiblissements la plupart des jours. La transition de l'été à l'automne-hiver au début de septembre 1984 a été tout particulièrement frappante, bien qu'il s'agisse peut-être d'une anomalie statistique, car, en septembre 1983, les affaiblissements n'avaient pas pris fin de façon aussi abrupte. Il est aussi bon de noter l'accroissement des affaiblissements en avril 1984, à l'approche de l'été. On a obtenu des résultats du même type sur toutes les liaisons à ondes décimétriques, bien que l'on ne disposait que d'ensembles de données moins importants.

La distribution des probabilités cumulatives annuelles des niveaux des signaux reçus sur le trajet de Lowther Peak à Martyr Peak en 1984 est illustrée à la figure 9. Les niveaux des signaux reçus se trouvant en dessous de la médiane correspondent de façon approximative à une courbe semi-logarithmique avec un écart maximal d'environ 2 dB, tandis que les niveaux se situant au-dessus de la moyenne ne se comportent pas du tout de la même façon. Une telle asymétrie est caractéristique de l'affaiblissement à long terme dans les climats maritimes tempérés (Rice et al., 1967; Whitteker 1985), si l'on se base sur une distribution des médianes horaires, mais l'asymétrie de la distribution est encore bien plus importante. Bien que la résolution temporelle de la distribution représentée à la figure 9 soit de quelques secondes, une distribution semblable établie à partir des valeurs

horaires médianes se comporte exactement de la même façon entre les fractions de temps allant de 1 à 99%, c'est-à-dire là où la validité statistique est la plus élevée. L'accroissement de l'asymétrie observée, et tout particulièrement l'absence relative de niveaux de signaux beaucoup plus élevés que la médiane, constituent donc peut-être la caractéristique principale du milieu maritime arctique.

Les distributions "saisonnnières" des niveaux des signaux reçus sur le trajet de Lowther Peak à Martyr Peak sont illustrées à la figure 10. Il est frappant de constater que toutes les mesures de niveau de signal supérieures à la médiane ont été effectuées durant les mois de septembre à avril, aussi bien en 1983 qu'en 1984, et qu'elles sont cohérentes, tandis qu'au cours de l'été 1984, la médiane et les niveaux qui la dépassent sont généralement plus faibles. La différence entre les niveaux de signaux affaiblis au cours de l'automne-hiver 1983 et de celui de 1984 est aussi extrêmement frappante, car elle dépasse 30 dB durant certains courts intervalles de temps. Enfin, il semble que des affaiblissements très importants - plus de 30 dB en dessous de la médiane annuelle - peuvent se produire pendant des intervalles de temps semblables durant toutes les saisons.

Dans le cas des autres trajets d'ondes décimétriques, la durée des observations est trop courte pour qu'il soit possible d'établir des statistiques annuelles. Toutefois, les distributions saisonnières des niveaux de signaux reçus sont représentées aux figures 11, 12 et 13 pour l'automne-hiver 1983, l'été 1984 et l'automne-hiver 1984, respectivement. Ces figures fournissent toutes des données pour le trajet Lowther Peak-Martyr Peak, ce qui permet de faire des comparaisons. On peut obtenir la durée exacte des relevés pour chaque courbe à partir de la table 2. Cette durée varie grandement et l'on doit donc être très prudent en comparant ces distributions.

Si l'on examine les divers trajets d'ondes décimétriques, les différences entre les distributions au cours des saisons d'automne-hiver de 1983 et de 1984 sont remarquablement importantes - elles dépassent 20 dB pour des portions moyennes du temps sur la plupart des trajets. Toutefois, on constate sur tous les trajets que l'affaiblissement était plus important au cours de l'été. Il semble que ce phénomène s'applique à tous les niveaux de signaux, y compris ceux se trouvant au-dessus de la médiane - en été, ces niveaux sont aussi inférieurs à ceux de l'automne-hiver.

La table 3 fournit les niveaux médians des signaux sur tous les trajets, pour divers intervalles de temps, en fonction des médianes à long terme calculées au moyen du programme CRC de prédiction de la propagation et des paramètres de la liaison. On a calculé la distance efficace figurant dans cette table au moyen de la formule fournie par Rice et al. (1967). On estime que cette distance fournit une meilleure corrélation empirique avec l'affaiblissement à long terme que la distance géographique. Le "supplément de longueur du trajet réfléchi" figurant dans la table est la différence entre la longueur du rayonnement direct et celle du rayonnement réfléchi par la mer pour un rayon de la terre fictif de $4R/3$. Dans les trois trajets pour lesquels le dégagement de la zone de Fresnel est petit, la perte de trajet prévue dépasse la perte d'espace libre des quantités indiquées dans la table, le rayon de la terre étant encore considéré comme étant égal à $4R/3$.

Dans la table 3, les médianes saisonnières ont tendance à dépasser les médianes prévues de plusieurs dB, sauf en été. Dans le cas des trois trajets les plus longs - ces trajets sont caractérisés par un important blocage de la zone de Fresnel - le dépassement de la médiane suit la même tendance que la perte de dépassement prévue par rapport à l'espace libre. On peut supposer que cela est dû en partie au fait que le rayon fictif est inférieur à la valeur de $4R/3$ utilisée dans la prévision, ainsi que l'indiquent les données de la figure 4. La liaison entre Lowther Peak et Martyr Peak fait exception à cette tendance, car elle n'est caractérisée par aucune perte de trajet supplémentaire avec un rayon fictif de $4R/3$. Comme l'aplatissement de la terre n'améliore pas le signal reçu sur cette liaison, au moins une partie de l'augmentation des médianes est le résultat d'un phénomène de guidage. Par conséquent, on peut prévoir que le guidage doit aussi contribuer à l'amélioration des médianes sur les autres trajets, car ceux-ci se ressemblent qualitativement du point de vue géométrique. Durant l'été, les différences observées sur tous les liens et les médianes prévues suivent aussi la tendance de la perte de supplément prévue par rapport à l'espace libre, mais elles peuvent être tout aussi bien négatives que positives. En fait, c'est sur le trajet dans lequel le blocage est le plus grand que l'on obtient relativement la médiane la plus grande, tandis que c'est sur celui dans lequel le trajet est le plus ouvert qu'on obtient la plus faible. Ceci peut s'expliquer par le fait que sur la liaison se trouvant le plus en dessous de l'horizon, il ne pourra y avoir des trajectoires de rayons multiples que si les conditions atmosphériques sont très inhabituelles, tandis que la propagation par trajets multiples, et donc aussi par réflexion, peut se produire plus facilement en visibilité directe.

Table 3

a) Paramètres des trajets d'ondes décimétriques

	Schomberg Peak Cockburn Peak	Cockburn Peak Lowther Peak	Cockburn Lake Lowther Peak	Lowther Peak Martyr Peak
Distance (km)	91,0	98,8	96,5	72,9
Distance efficace (km)	80,7	84,9	91,8	61,7
Supplément de longueur du trajet réfléchi (longueurs d'onde)	0,05	0,03	-	0,49
Supplément de perte prévu par rapport à l'espace libre (dB)	4,0	9,4	16,9	0,0
Médiane prévue (dBm)	-96,7	-94,5 (84) -91,5 (83)	-96,9	-83,6

b) Médianes observées - Médianes prédites (dB)

	Schomberg Peak Cockburn Peak	Cockburn Peak Lowther Peak	Cockburn Lake Lowther Peak	Lowther Peak Martyr Peak
Année 1984	-	-	-	5,0
Automne-hiver 1984	5,5	8,8	9,7	5,7
Été 1984	0,6	1,4	-	-4,0
Hiver-printemps 1984	-	-	-	6,4
Automne-hiver 1983	-	1,6	2,8	4,3

On peut trouver d'autres preuves de l'existence d'un guidage dans les figures 11, 12 et 13, car celles-ci indiquent des niveaux dépassant de beaucoup la médiane pendant des intervalles de temps importants. C'est ainsi qu'à la figure 11, on constate qu'au cours de l'automne-hiver 1983, 0,01% du temps le niveau dépasse la médiane saisonnière de 23 dB sur le trajet de Cockburn Lake à Lowther Peak (la probabilité que le niveau ne sera pas dépassé est donc de 99,99%). Étant donné que la médiane saisonnière se trouve elle-même 2,8 dB au-dessus de la valeur prédite et que la perte supplémentaire par rapport à l'espace libre est de 16,9 dB, les valeurs observées pendant 0,01% du temps dépassent les niveaux de propagation en espace libre d'environ 9 dB. On constate de tels suppléments sur tous les trajets et dans toutes les saisons.

La table 4 donne certaines statistiques sur l'amplitude de l'affaiblissement observé pour certains pourcentages du temps. L'observation la plus intéressante que l'on peut retirer de cette table concerne la différence importante qui existe entre les données des automnes-hivers de 1983 et de 1984 comparées aux différences entre les saisons. Durant toutes les saisons, le trajet de Lowther Peak à Martyr Peak est caractérisé par l'affaiblissement le plus faible. Il est toutefois aussi le siège d'affaiblissements importants. Il semble que l'été est la saison durant laquelle on observe les affaiblissements les plus importants. On constate aussi que des affaiblissements très importants (de plus de 40 dB) peuvent se produire durant certaines petites fractions du temps, sur certains trajets. On ne dispose d'aucune statistique saisonnière pour l'été 1984 sur le trajet de Cockburn Lake à Lowther Peak, qui n'a été en service que pendant le mois d'août de cette saison, mais en se basant sur les données disponibles, l'affaiblissement sur ce trajet à la limite de la visibilité directe ne sera pas plus important que sur des trajets dans lesquels le blocage des zones de Fresnel est relativement petit.

Table 4 Niveaux des signaux par rapport aux médianes prévues
pour des fractions de temps choisies
sur les trajets d'ondes décimétriques (dB)

	Automne-hiver 1983			Hiver-printemps 1984			Été 1984			Automne-hiver 1984		
	1%	0,1%	0,01%	1%	0,1%	0,01%	1%	0,1%	0,01%	1%	0,1%	0,01%
Schomberg Peak - Cockburn Peak	-	-	-	-	-	-	-32,6	<-37	-	-2,1	-3,2	-12,5
Cockburn Peak - Lowther Beach	-16,8	-20,1	-27,3	-	-	-	-25,2	-31,8	<-38	+2,2	-3,7	-15,7
Cockburn Lake - Lowther Peak	-16,4	-22,0	-25,5	-	-	-	-	-	-	+7,0	+2,3	-7,1
Lowther Peak - Martyr Peak	-6,9	-13,8	-24,9	-10,9	-21,5	-26,6	-16,5	-21,6	-25,2	+1,5	-0,3	-0,8

4.1.2 Statistiques des mois les plus défavorables

Le mois donnant le pire affaiblissement n'est pas déterminé uniquement en fonction de l'amplitude de l'affaiblissement, mais il dépend aussi dans une grande part de la durée des observations. Il est évident que les affaiblissements se produisent plus souvent en été. Toutefois, les affaiblissements les plus importants sur le trajet Lowther Peak-Martyr Peak, observés durant la présente expérience, se sont produits en octobre 1983, et, curieusement, on n'a constaté aucun affaiblissement en octobre 1984. Les distributions mensuelles pour octobre 1983 et août 1984 sont présentées à la figure 14. On a relevé un affaiblissement modéré d'environ 20 dB en dessous de la médiane annuelle pendant environ 1% du mois d'août mais seulement 0,1% du mois d'octobre. En outre, des affaiblissements importants de 40 dB se sont produits pendant 0,005% d'octobre, et il n'y en avait aucun en août.

Les statistiques du mois le plus défavorable sur les trajets d'ondes décimétriques Schomberg Peak-Cockburn Peak et Cockburn Peak-Lowther Peak sont données à la figure 15. Le mois le plus défavorable pour tous les niveaux de signaux a été juillet 1984 pour Schomberg Peak-Cockburn Peak et Cockburn Peak-Lowther Peak. Pour la liaison Cockburn Lake-Lowther Peak, le mois le plus défavorable a été septembre 1983 à tous les niveaux. Cette liaison n'était pas en service en juillet 1984, et il est donc possible qu'il y ait eu un mois plus défavorable pendant lequel les données n'ont pas été enregistrées. Toutefois, au cours de tous les mois pendant lesquels les trois liaisons ont été en service, l'ordre d'importance des affaiblissements a été le même qu'à la figure 15; autrement dit, l'affaiblissement était généralement plus important sur la liaison de Schomberg Peak, moyen sur la liaison de Cockburn Peak et plus faible sur la liaison de Cockburn Lake. Cela correspond exactement à l'ordre de dégagement des divers trajets, et il se peut que sur des trajets à visibilité presque directe, les conditions atmosphériques suffisamment extrêmes pour causer un affaiblissement important sont bien plus rares que sur les trajets dans lesquels le blocage des zones de Fresnel est moins important. Toutefois, le trajet Lowther Peak-Martyr Peak, qui a le dégagement le plus grand, ne suit pas cette tendance. En effet, la figure 14 indique que pour pratiquement toute la gamme de niveaux, la probabilité d'affaiblissement était la plus faible pour ce trajet. Un autre moyen d'expliquer la tendance suivie par l'affaiblissement est la situation géographique. Ainsi que nous l'avons déjà indiqué au chapitre 2, les zones recouvertes en partie de glace le long de l'extension est-ouest du canal de Parry sont très différentes, et cela peut expliquer la structure des couches atmosphériques inférieures. Comme les trajets de Cockburn Peak et Cockburn Lake à Lowther Peak sont presque les mêmes - ils diffèrent surtout par leur dégagement - les deux explications sont probablement valides, mais il est toutefois actuellement impossible de mesurer leur importance relative.

Certaines données concernant les affaiblissements des mois les plus défavorables sur les trajets d'ondes décimétriques ont été rassemblées à la table 5 afin que l'on puisse faire facilement des comparaisons entre les niveaux observés à une probabilité donnée par rapport à la médiane prévue à long terme. Un mois a une durée approximative de $2,6 \times 10^6$ secondes.

Table 5 Niveau des signaux décimétriques du mois le plus défavorable par rapport à la médiane prévue à long terme (dB)

Fraction du mois	Schomberg Peak Cockburn Peak	Cockburn Peak Lowther Peak	Cockburn Lake Lowther Peak	Lowther Peak Martyr Peak
50%	-5,1	-5,0	+2,5	-6,6
1%	-32,9	-27,3	-18,0	-18,0
0,1%	<-34	-32,1	-23,3	-22,8
0,01%	-	<-36	-25,6	-34,5

4.1.3 Variations diurnes

On a classé les données concernant le trajet Lowther Peak-Martyr Peak de chaque mois de 1984 en 24 groupes correspondant aux heures du jour, afin de détecter les variations diurnes au cours d'un même mois. Les résultats sont illustrés à la figure 16, dans laquelle chaque point reporté est la valeur médiane de toutes les mesures effectuées durant une heure du jour pour ce mois. La médiane annuelle est représentée au moyen d'une ligne droite dans tous les graphiques. L'absence de variations diurnes au cours des mois de janvier à mars et de septembre à décembre est très frappante. Au cours de chacun de ces mois, les valeurs observées sont constamment au-dessus de la moyenne annuelle, et la différence maximale, qui est de 2 dB, s'est produite en février. En avril, une réduction du signal d'environ 3 dB par rapport à la médiane mensuelle s'est produite entre minuit et 8 h du matin (heure locale). Ainsi que nous l'avons déjà indiqué au chapitre 2, la durée des jours passe de quatorze à vingt-quatre heures, et l'on a donc des cycles jours-nuits au cours du mois d'avril.

En juin, juillet et août, les variations diurnes des niveaux médians des signaux sont extrêmement prononcées (amplitude diurne de 4 à 6 dB), et le maximum se manifeste à environ 4 h du matin chaque mois. Le niveau atteint un minimum et il reste pratiquement constant chaque mois entre 10 h et 19 h - il est généralement situé 10 à 12 dB en dessous de la moyenne de la médiane annuelle. Tout au long de cette période, à l'exception des deux dernières semaines d'août, le soleil est continuellement au-dessus de l'horizon.

Ces variations diurnes observées sont très semblables à celles que l'on rencontre dans les régions maritimes tempérées (Whitaker, 1985). Toutefois, en été, elles sont caractérisées par des niveaux minimaux et maximaux encore plus en dessous de la médiane et par une amélioration constante du niveau des signaux en hiver. Les variations observées en avril, à la fin de l'hiver, semblent être tout à fait uniques.

4.2 Données sur les ondes métriques

4.2.1 Statistiques saisonnières

Les périodes de mesure des différents trajets d'ondes métriques, qui sont indiquées à la table 2, sont trop courtes pour que l'on puisse établir des statistiques annuelles. En fait, on ne dispose même pas de statistiques saisonnières pour certains des trajets. Il faut donc être très prudent

Torsqu'on effectue des comparaisons entre les données de ces trajets. Certains paramètres des trajets d'ondes métriques sont indiqués à la table 6. La "distance en dessous de l'horizon" est la différence entre la distance géographique et la somme des distances aux horizons géométriques pour un rayon de la terre de $4R/3$. Elle est négative si les extrémités du trajet sont en visibilité directe. La "distance efficace" et la "perte supplémentaire" ont la même signification que pour les trajets d'ondes décimétriques à la table 3. Pour tous les trajets à l'exception d'un, la distance géographique est supérieure ou proche de la somme des distances en dessous de l'horizon. Dans le cas extrême de Cockburn Flats à Lowther Beach, la différence est comparable à la distance, soit 55,1 km, à laquelle les champs réfléchis et diffusés sont égaux (Rice et al. 1967). Sur tous les trajets, la perte supplémentaire est assez importante.

Table 6 Paramètres des trajets d'ondes métriques

	Distance géographique (km)	Distance en dessous de l'horizon (km)	Distance efficace (km)	Perte supplémentaire (dB)	Moyenne prévue (dBm)
Cockburn Flats - Lowther Beach	88,4	48,6	121,2	42,1	-123,4
Allison Inlet - Lowther Beach	74,3	32,3	99,5	38,6	-111,6
Acland Acres - Lowther Beach	60,1	18,5	80,9	33,8	-105,0
Cockburn Flats - Lowther Terrace	90,6	27,3	99,5	32,8	-114,3
Allison Inlet - Lowther Terrace	76,4	10,9	82,4	27,9	-101,1
Acland Acres - Lowther Terrace	62,2	-2,9	67,3	21,9	-93,4
Cockburn Flats - Lowther Peak	93,8	16,0	91,8	27,9	-109,7
Allison Inlet - Lowther Peak	79,6	-0,4	76,6	23,8	-98,7
Acland Acres - Lowther Peak	65,2	-14,4	62,9	16,1	-88,0

Les distributions cumulatives des niveaux de signaux reçus sur les trajets vers Lowther Beach sont représentées aux figures 17, 18 et 19 pour l'automne-hiver 1983, l'été 1984 et l'automne-hiver 1984, respectivement. Par suite de la petitesse de la gamme dynamique, on dispose de peu d'informations sur les affaiblissements dans la liaison ayant pour origine Cockburn Flats. Par contre, à partir d'Allison Inlet, l'intervalle d'affaiblissement fournit des données correspondant à une probabilité d'un peu plus de 1%, mais ces données ne concernent qu'une seule saison. On a constaté une corrélation importante entre les résultats pour les trois saisons observées. En outre, les données pour l'été ne différaient pas de façon substantielle des données pour l'automne-hiver, ce qui est tout à fait contraire aux résultats que l'on avait obtenus sur les trajets d'ondes décimétriques.

Dans les figures 20, 21 et 22, les distributions cumulatives des niveaux de signaux reçus sur les trajets aboutissant à Lowther Terrace sont représentées pour l'automne-hiver 1983, l'été 1984 et l'automne-hiver 1984, respectivement. Cette fois-ci les gammes dynamiques sont bien plus importantes que sur les trajets aboutissant à Lowther Beach, mais tout comme dans le cas des données sur Lowther Beach, on n'a pu constater aucune dépendance saisonnière importante. En outre, ainsi que l'on pouvait s'y attendre en examinant les paramètres donnés à la table 6, il existe une corrélation élevée entre le trajet Cockburn Flats-Lowther Terrace et le trajet Allison Inlet-Lowther Beach. Cela montre que la distance en dessous de l'horizon, ou peut-être la distance efficace est un paramètre critique en ce qui concerne le comportement des affaiblissements sur un trajet, tandis que l'altitude des extrémités du trajet a une importance secondaire, sauf si elle a un effet sur la distance. Il est aussi important de remarquer que sur le trajet Acland Acres-Lowther Terrace, les distributions ont une forme différente des autres et rappellent celles des trajets d'ondes décimétriques. Il peut s'agir d'une différence significative due au fait qu'il s'agit d'un trajet en visibilité directe semblable à la liaison par ondes décimétriques Cockburn Lake-Lowther Peak, alors que les autres ne le sont pas. Toutefois l'échantillon de données est trop petit pour confirmer cette hypothèse.

Il n'existe aucun ensemble de données important pour les trajets aboutissant à Lowther Peak ainsi que nous l'avons déjà indiqué au chapitre 3. Toutefois, à la figure 23, les distributions pour une période de deux semaines en juillet 1984 sont représentées pour les trajets allant de Cockburn Flats et Allison Inlet à Lowther Peak et aussi à Lowther Terrace afin que l'on puisse effectuer des comparaisons. Il ne s'agit en aucun cas d'un échantillon de données représentatif; c'est tout simplement la suite de données continues la plus longue que l'on a considérée comme étant fiable. Au cours de cette très courte période de temps, il est évident qu'il n'y a aucune différence qualitative importante entre la distribution des signaux reçus à Lowther Terrace et celle de Lowther Peak. Les différences quantitatives sont de l'ordre de celles que l'on pouvait prévoir à partir des données de la table 6.

Les niveaux de signaux médians observés sur les trajets d'ondes métriques sont fournis à la table 7 pour chaque distribution saisonnière, en fonction des médianes prévues à long terme. La concordance est assez bonne pour toutes les saisons, et l'on peut remarquer que la moyenne des valeurs observées a tendance à être d'environ 3 dB en dessous de la valeur prévue. Toutefois l'ensemble de données n'est pas suffisant pour confirmer cette

conclusion. La concordance interne entre les diverses paires de trajets est aussi assez bonne, et l'on peut donc s'attendre que le programme de prévisions fournira des chiffres satisfaisants pour la conception d'un système. En ce qui concerne les données du milieu du mois de juillet sur les trajets aboutissant à Lowther Peak, le signal médian sur le trajet ayant pour origine Cockburn Flats diffère de -3,0 dB de celui qui avait été prévu, tandis que le signal médian sur le trajet ayant pour origine Allison Inlet est exactement le même que celui qui avait été prévu. Sur les trajets aboutissant à Lowther Terrace, les médianes relatives observées diffèrent actuellement de -0,1 dB et -2,2 dB de celles qui avaient été prédites pour Cockburn Flats et Allison Inlet, respectivement. Une fois encore, la concordance est excellente.

Table 7 Médianes observées pour les ondes métriques en fonction des valeurs prévues (dB)

	Automne-hiver 1983	Été 1984	Automne-hiver 1984
Cockburn Flats - Lowther Beach	-2,7	-0,5	-3,6
Allison Inlet - Lowther Beach	-5,3	-3,3	-5,1
Acland Acres - Lowther Beach	-3,4	-	-
Cockburn Flats - Lowther Terrace	-2,8	1,4	2,8
Allison Inlet - Lowther Terrace	-5,2	-1,7	-1,7
Acland Acres - Lowther Terrace	-1,0	-0,7	-0,6

On a observé des signaux bien supérieurs à la médiane pour des fractions importantes du temps sur tous les trajets. Par exemple, à la figure 17, durant la saison automne-hiver de 1983, sur les trajets aboutissant à Lowther Beach, pendant 0,01% du temps, les niveaux observés ont dépassé de 24,2, 19,3 et 16,5 dB respectivement les médianes prévues à long terme pour les trajets ayant pour origine Cockburn Flats, Allison Inlet et Acland Acres (ils ne les ont pas dépassés pendant 99,99% du temps). Ces accroissements importants ne correspondent qu'à seulement environ la moitié de la perte supplémentaire due à la diffraction sur ces trajets, ainsi que l'on peut le constater à la table 6. On a pu obtenir des résultats du même type pour tous les trajets durant toutes les saisons, à l'exception des trajets aboutissant à Lowther Peak. Pour ces derniers on n'a pu tirer aucune conclusion.

Les amplitudes des affaiblissements observés pendant certaines fractions de temps sont données à la table 8 en fonction de la médiane prévue. Par suite de la petitesse de la gamme dynamique, un grand nombre des entrées de ces tables ne sont pas significatives. On peut extrapoler les graphiques saisonniers présentés précédemment pour obtenir une estimation des amplitudes d'affaiblissement durant de plus petites fractions de temps, mais cela n'a pas été fait ici. Il semble que les différences entre une même saison au cours d'années différentes peuvent être plus importantes que les différences d'une saison à l'autre au cours d'une même année. L'absence relative d'affaiblissement durant l'automne-hiver 1984 a également été observée dans les liaisons à ondes décimétriques. Dans le cas des meilleurs ensembles d'observation, les amplitudes d'affaiblissement observées sont plus petites que sur les liaisons d'ondes décimétriques, et l'on a aussi constaté qu'il y avait peut-être moins de variations entre les trajets d'ondes métriques qu'entre les trajets d'ondes décimétriques, mais les données ne sont pas suffisantes pour confirmer cette conclusion. Les données concernant le trajet Acland Acres à Lowther Terrace pendant l'été 1984 ont été mises entre parenthèses pour attirer l'attention du lecteur sur la petitesse de l'intervalle de temps pendant lesquelles elles ont été relevées.

4.2.2 Statistiques des mois les plus défavorables

Les distributions cumulatives des niveaux de signaux observés sur chaque trajet d'ondes métriques durant le mois le plus défavorable de la période de mesure sont représentées à la figure 24. Encore une fois, la longueur des relevés diffère beaucoup d'un trajet à l'autre, et il faut être prudent lorsque l'on examine les résultats. Néanmoins, il existe beaucoup de similarité dans les distributions des signaux du mois le plus défavorable pour cinq des six trajets - ces trajets ne sont pas à visibilité directe. Seul le trajet Acland Acres à Lowther Terrace est à visibilité directe, et la distribution correspondante est assez différente des autres, comme c'était d'ailleurs le cas pour les distributions saisonnières présentées ci-dessus.

Le mois le plus défavorable était septembre 1983 sur les trajets Cockburn Flats à Lowther Terrace, Allison Inlet à Lowther Beach, Acland Acres à Lowther Beach et Acland Acres à Lowther Terrace. Toutefois, dans le cas de ce dernier trajet, on ne disposait d'aucune donnée de 1984 pour effectuer des comparaisons. Sur le trajet Cockburn Flats à Lowther Beach, le mois le plus défavorable a été octobre 1983, tandis que sur le trajet Allison Inlet à Lowther Terrace, c'était juillet 1984. En règle générale, les mois qui étaient les plus défavorables semblent être les mêmes pour les ondes métriques et décimétriques.

Certaines données concernant l'affaiblissement durant le mois le plus défavorable sur les trajets d'ondes métriques ont été rassemblées à la table 9. Les valeurs fournies sont égales au niveau observé à une probabilité donnée moins la médiane prévue à long terme. Contrairement à ce qui se passait sur les trajets d'ondes décimétriques (voir table 5), il existe de grandes similitudes entre ces données pour les divers trajets d'ondes métriques. En fait toutes les médianes des mois les plus défavorables sont situées de 3 à 5 dB en dessous des médianes prévues, et pendant 1% du mois tous les niveaux sont inférieurs de 16 à 20 dB. Cette grande uniformité est

Table 8 Niveaux des signaux comparés aux médianes prévues pour des fractions de temps choisies sur les trajets d'ondes métriques (dB)

	Automne-hiver 1983			Été 1984			Automne-hiver 1984		
	1%	0,1%	0,01%	1%	0,1%	0,01%	1%	0,1%	0,01%
Cockburn Flats - Lowther Beach	<-9	-	-	<-7	-	-	<-7	-	-
Allison Inlet - Lowther Beach	-17,6	<-21	-	-15,9	<-19	-	-17,7	<-19	-
Acland Acres - Lowther Beach	-17,8	-27,0	<-28	-	-	-	-	-	-
Cockburn Flats - Lowther Terrace	-15,3	<-18	-	-11,9	<-18	-	-8,1	-9,1	-11,0
Allison Inlet - Lowther Terrace	-13,5	-24,5	-31,1	-13,6	-23,7	<-29	-7,0	-14,2	-25,4
Acland Acres - Lowther Terrace	-17,5	-18,9	-19,8	(-4,6)	(-7,4)	(-14,6)	-	-	-

probablement due au fait que tous les trajets se trouvent situés dans une petite zone géographique et que, dans tous les cas, la propagation se fait essentiellement par diffraction.

Table 9 Niveau des signaux d'ondes métriques du mois le plus défavorable en fonction des médianes prévues à long terme

	Fraction du mois			
	50%	1%	0,1%	0,01%
Cockburn Flats - Lowther Beach	-5,6	<-7	-	-
Cockburn Flats - Lowther Terrace	-3,2	-16,7	<-17	-
Allison Inlet - Lowther Beach	-4,9	-18,4	<-19	-
Allison Inlet - Lowther Terrace	-2,5	-19,6	-27,2	<-29
Acland Acres - Lowther Beach	-3,7	-20,1	<-26	-
Acland Acres - Lowther Terrace	-2,0	-18,4	-19,4	-20,0

5. CONCLUSION

5.1 Récapitulation des résultats

La région centrale des îles arctiques canadiennes est caractérisée par une grande variabilité dans les conditions de propagation des ondes radio, tout aussi bien d'une saison à l'autre que d'une année à l'autre. En règle générale, la propagation est la plus stable en hiver durant la nuit arctique (toutefois, il peut y avoir des exceptions importantes à cette règle) et elle varie le plus durant la période où il fait continuellement jour - il y a alors une variation diurne significative des médianes des signaux sur les trajets d'ondes décimétriques les plus élevées. La forme de la distribution cumulative des niveaux de signaux sur le trajet élevé unique pour lequel on dispose de statistiques annuelles est presque asymétrique par rapport à la médiane et est de type semi-logarithmique pour les niveaux en dessous de la médiane. Les différences par rapport aux valeurs annuelles prévues pour les médianes saisonnières et du mois le plus défavorable sur les trajets élevés semblent dépendre du dégagement du trajet et de l'emplacement géographique, mais ces influences ne peuvent pas être établies de façon certaine à partir des mesures effectuées. Il se produit un guidage sur les trajets élevés : les signaux ont alors une amplitude supérieure au niveau correspondant à un trajet en visibilité directe, et cela durant toutes les saisons, mais surtout en hiver.

Sur les trajets d'ondes métriques sans visibilité directe, il existe une bonne concordance entre les observations et les prévisions théoriques pour les niveaux de signaux médians. Les variations d'année à année et de saison à saison sur ces trajets sont bien inférieures à celles des trajets élevés d'ondes décimétriques, et l'on ne constate aucune variation diurne. Bien que l'on ait observé des niveaux bien au-dessus de la moyenne sur tous les trajets sans visibilité inclinés, ces niveaux sont toujours inférieurs à ceux des trajets avec visibilité directe.

5.2 Recommandations intérimaires

Un rapport non publié (Dubinski, 1982) d'une étude préliminaire par le présent auteur sur la faisabilité d'un système de télécommunications mobile maritime dans le passage du Nord-Ouest concluait que la région la plus inaccessible aux transmissions par ondes métriques à partir de stations terrestres se trouve à proximité de la latitude de $74^{\circ} 20' N.$ et de la longitude $103^{\circ} 20' O.$, dans Viscount Melville Sound. À cet endroit, la perte prévue pour la médiane à 170 MHz serait d'environ 150 dB. À l'exception d'une petite région irrégulière à proximité de ce point, les pertes pour la médiane prévue dépassent rarement 140 dB pour les différents emplacements où l'on pourrait installer des émetteurs terrestres.

Les mesures présentées au paragraphe 4.2.1 montrent qu'une marge supplémentaire de 20 dB permettrait d'établir des communications pendant 99% du mois le plus défavorable. Il apparaît donc qu'un système conçu pour une perte en trajet de 170 dB aurait une telle fiabilité, même dans la partie la plus inaccessible de Viscount Melville Sound, et serait fiable à 99,9% pour le mois le plus défavorable presque partout ailleurs. Pour donner un ordre de grandeur, on pourrait utiliser un récepteur ayant un seuil de -120 dBm, équipé d'une antenne ayant un gain net total de 16 dBi sur le trajet bateau-terre. L'émetteur devrait avoir une puissance de +34 dBm ou 2,5 watts sur une voie simple.

Cette même étude concluait que, dans une chaîne terrestre allant de la Baie de Baffin au Golf d'Amundsen, sur la périphérie nord du passage, la perte la plus importante concernant la médiane serait de 135 dB sur la liaison de Cockburn Peak à Lowther Peak. Ces résultats indiquent que sur ce trajet de 99 km, on serait capable d'établir des communications pendant 99,9% du mois le plus défavorable en utilisant une marge de 32 dB par rapport à la perte prévue pour la médiane. Avec un récepteur ayant un seuil de -120 dB et un gain net total de +34 dBi, il faudrait, pour obtenir de tels résultats, utiliser une puissance de transmission de seulement +13 dBm ou 20 mW sur une voie simple. Si l'on désirait desservir complètement le passage en ajoutant un ensemble d'émetteurs du côté sud, la chaîne devrait comporter une liaison pour laquelle la perte en trajet prévue pour la médiane serait de 146 dB. La liaison de 96 km de Cockburn Lake à Lowther Peak, dans laquelle la perte en trajet prévue était de 142 dB, a été choisie pour simuler cette liaison de 99 km au sud. Si l'on se base sur les marges observées de 24 dB pour 0,1% du mois le plus défavorable, ainsi que sur les autres paramètres ci-dessus, la puissance nécessaire pour l'émetteur à voie simple serait de +16 dBm ou 40 mW. Sur toutes les autres liaisons de la chaîne, une telle configuration offrirait une fiabilité comparable ou plus élevée, correspondant dans de nombreux cas à plus de 99,9% du mois le plus défavorable.

Pour choisir les fréquences du système, on pourrait utiliser les niveaux reçus les plus élevés pour développer des critères d'interférence. Il semble que sur les trajets élevés dans lesquels le dégagement des zones de Fresnel est positif, un niveau dépassant de 9 dB la perte prévue en trajet à visibilité directe pourrait être utilisé pendant 0,01% d'une saison. Sur les trajets inclinés sans visibilité directe ou sur les longs trajets sans visibilité directe entre une paire de points à faible latitude, les niveaux maximaux observés, exprimés en décibels, pour 0,01% d'une saison, dépassent les médianes prévues à long terme d'environ la moitié de la perte prévue sur un trajet à visibilité directe.

Il est raisonnable de penser qu'un système possédant ces caractéristiques donnerait de bons résultats. Toutefois, pour en être véritablement sûr, il serait bon de prolonger le programme de mesure afin de se protéger contre les anomalies propres aux statistiques annuelles et aussi d'étendre physiquement ce programme pour s'assurer qu'il ne se produit aucune variation climatique significative.

6. REMERCIEMENTS

La conception de presque toute l'expérience et surtout du système d'enregistrement des données est due à John Strickland, dont le travail infatigable tout aussi bien sur le terrain qu'au laboratoire s'est révélé indispensable pour la conduite de ces expériences. Claude Bilodeau était responsable de la conception et de l'exécution de tous les équipements RF et il a été capable d'obtenir des résultats remarquables si l'on considère qu'il disposait de ressources minimales et que les délais étaient serrés.

Je tiens aussi à remercier Ray Bérubé, Roger Charron, Rachel Lessard, Doris Oxtou et surtout Keith Bedal pour leur apport considérable à ce projet, surtout sur le terrain.

La Direction des télécommunications et de l'électronique de la Garde côtière canadienne a suivi avec beaucoup d'intérêt l'expérience dans le passage du Nord-Ouest, a fourni des fonds pour des mesures supplémentaires et a assuré le support du système d'enregistrement des données à Resolute. Je désire aussi remercier A.K. Khan, le directeur général des systèmes de communications, et Dick Galvin, le directeur régional des télécommunications à Resolute, pour leur coopération inestimable.

L'expérience a reçu un appui sur le terrain dans le cadre du projet du plateau continental polaire du ministère de l'Énergie, des mines et des ressources. Les relations étroites et amicales qui se sont établies entre les diverses parties et le personnel du projet du plateau continental polaire qui travaillait sur le terrain ont aussi été grandement appréciées.

7. RÉFÉRENCES

- Butler, R.S., J.I. Strickland et C. Bilodeau, 1984, VHF and UHF propagation in the Canadian High Arctic, rapport CP-346 de la Conférence AGARD, Characteristics of the Lower Atmosphere Influencing Radio Propagation, pp. 2771-2778.
- Dubinski, J.J., 1982, The Development of an Arctic Telecommunications System, Mémorandum technique CRC DRL-82-05, Ottawa.
- Maxwell, J.I., 1981, Septembre, Climatic Regions of the Canadian Arctic Islands, Arctic, 34, 3, pp. 225-240.
- Rae, R.W., 1951, Climate of the Canadian Arctic Archipelago, Division météorologique, Ministère des transports Canada, Toronto.
- Rice, P.L., A.G. Longley, K.A. Norton et A.P. Barsis, 1967, Transmission Loss Predictions for Tropospheric Communications Circuits, note technique NBS 101, Washington, D.C.
- Segal, B. et R.E. Barrington, 1977, The Radio Climatology of Canada, Tropospheric Refractivity Atlas for Canada, rapport CRC 1315-E, Ottawa.
- Whitaker, J.H., 1985, Measurements of VHF/UHF Radio Propagation in a Maritime Temperate Climate, rapport CRC 1380, Ottawa.

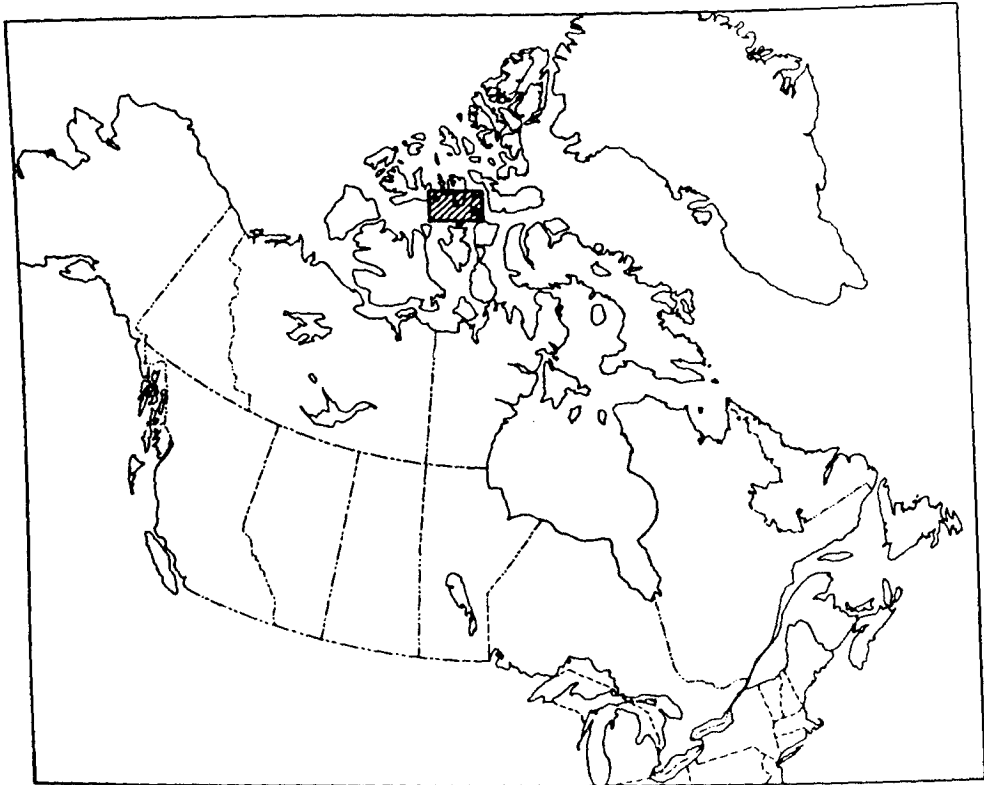


Figure 1 : Le Canada - la région de l'expérience dans les îles arctiques centrales.

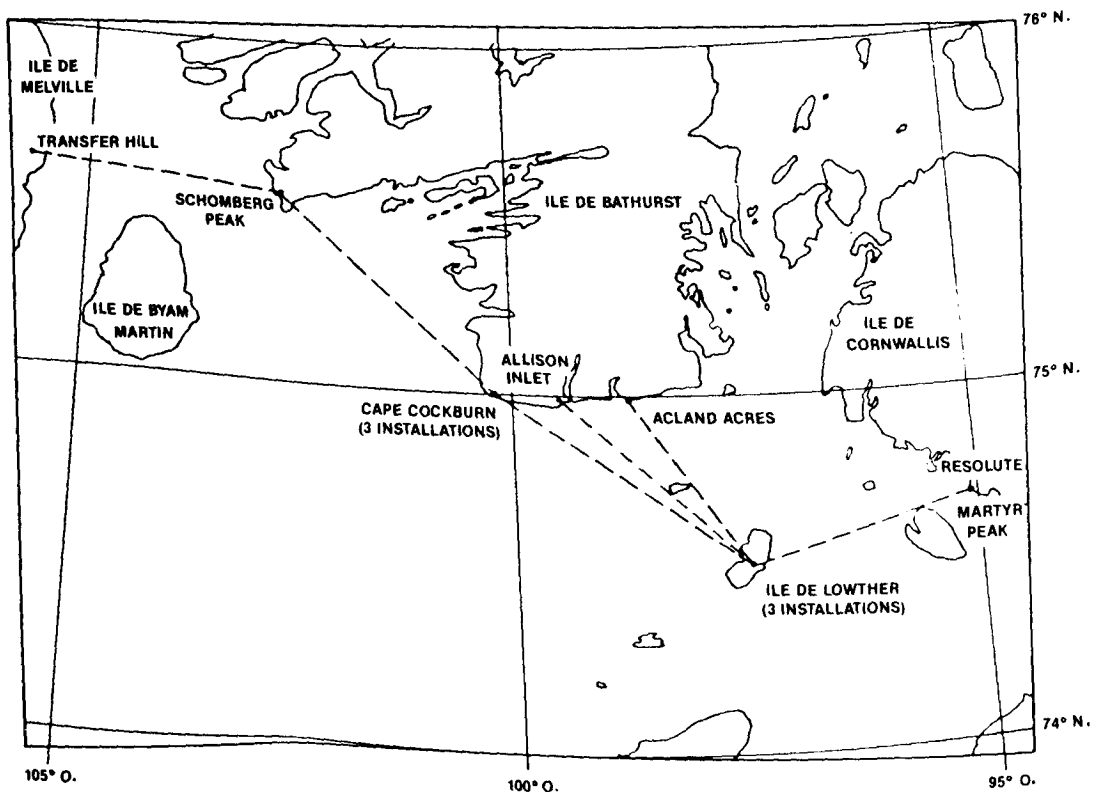


Figure 2 : La région expérimentale, l'emplacement des installations et les trajets de propagation.

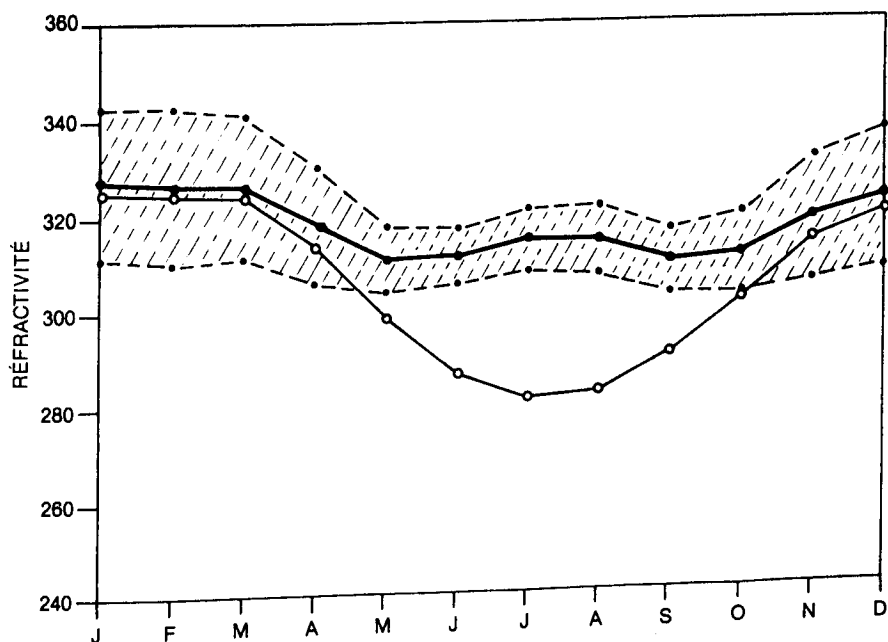


Figure 3 : Moyennes mensuelles (points) et limites pour une probabilité de 95% (bande hachurée) pour la réfractivité de surface, et moyennes mensuelles (cercles) de sa composante d'air sec à Resolute, Territoires du Nord-Ouest.

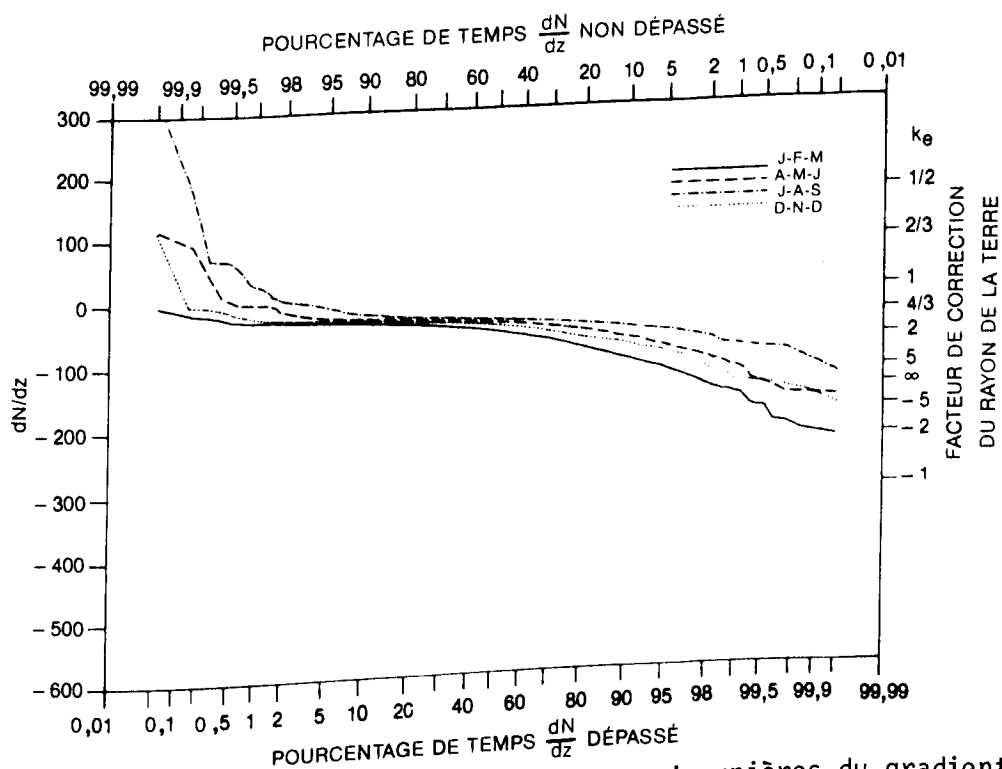


Figure 4 : Distributions des probabilités saisonnières du gradient de réfractivité terrestre à Resolute, Territoires de Nord-Ouest.

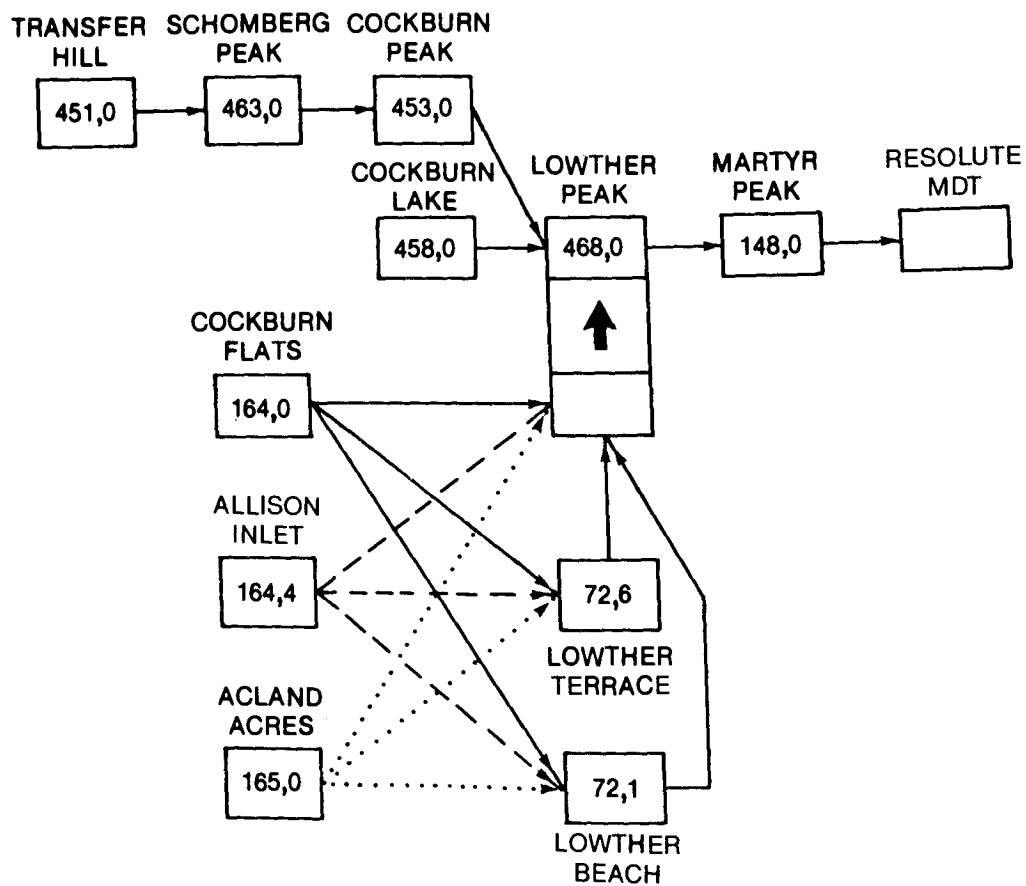


Figure 5 : Liaisons expérimentales de fréquence de transmission (en MHz) de chaque installation.

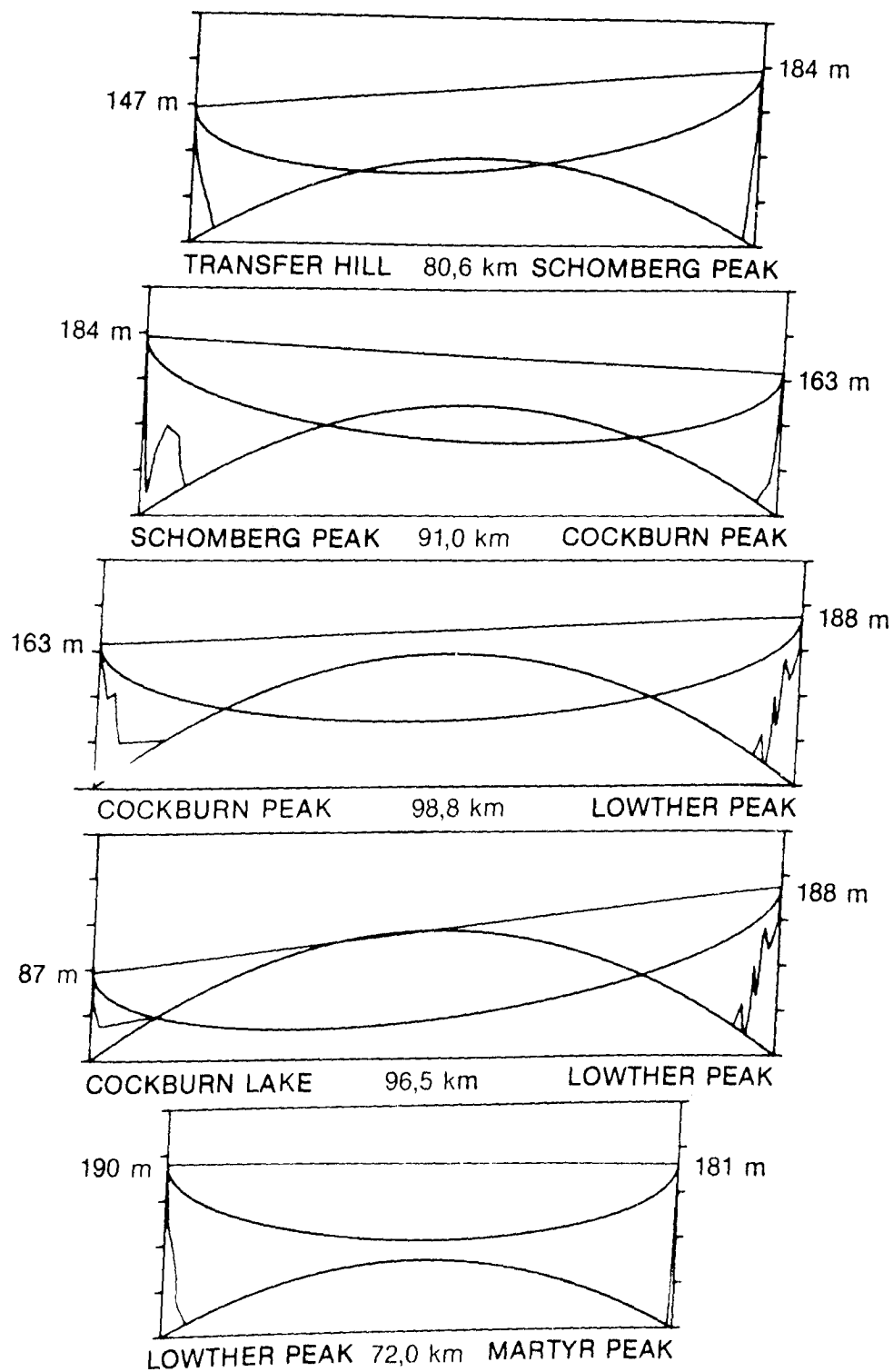


Figure 6 : Profils des trajets d'ondes décimétriques avec un rayon fictif de la terre de $4R/3$ et un dégagement de zone de Fresnel de 0,6.

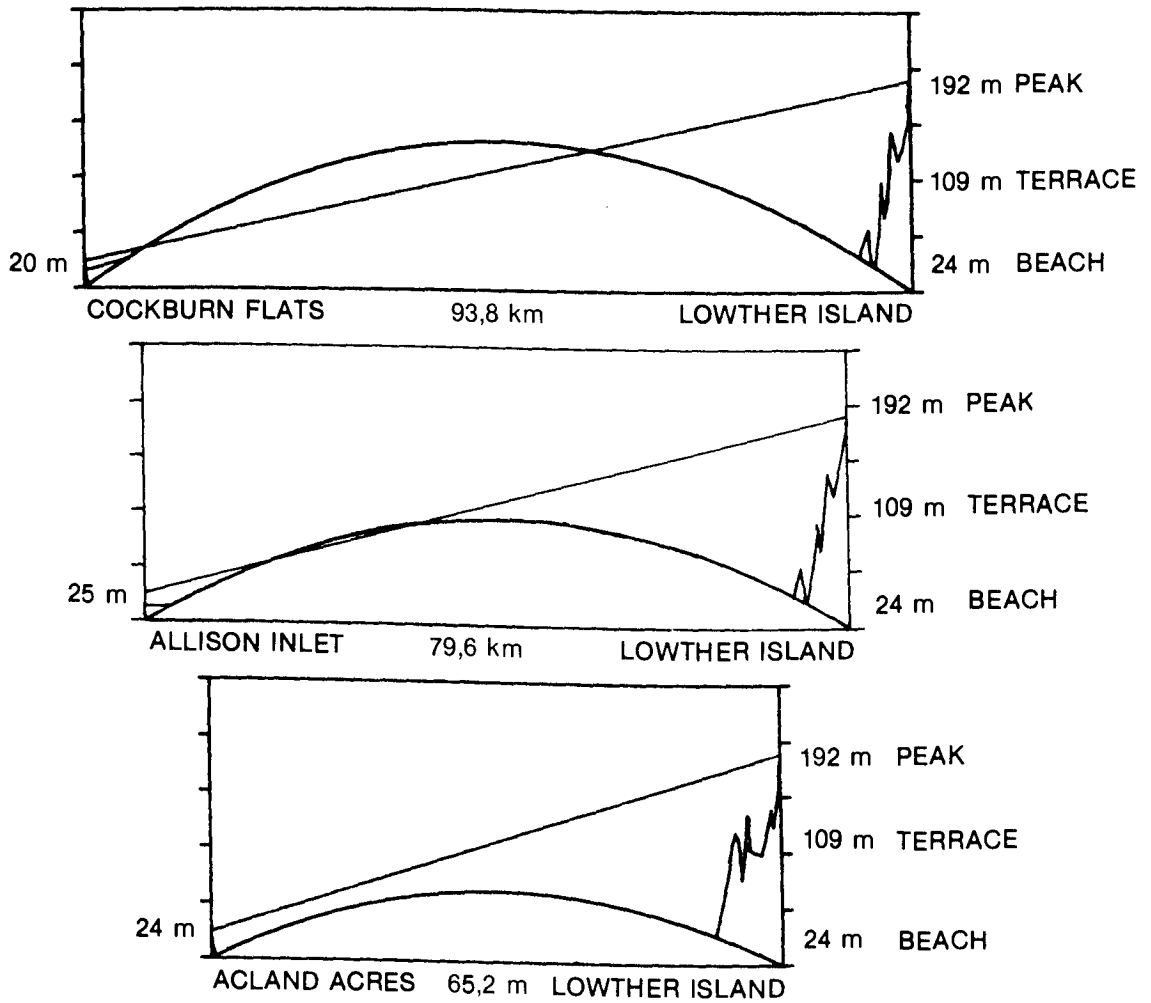


Figure 7 : Profils des trajets d'ondes métriques avec un rayon fictif de la terre de $4R/3$. Les lignes entre Lowther Terrace et Lowther Beach ont été omises pour clarifier le schéma.

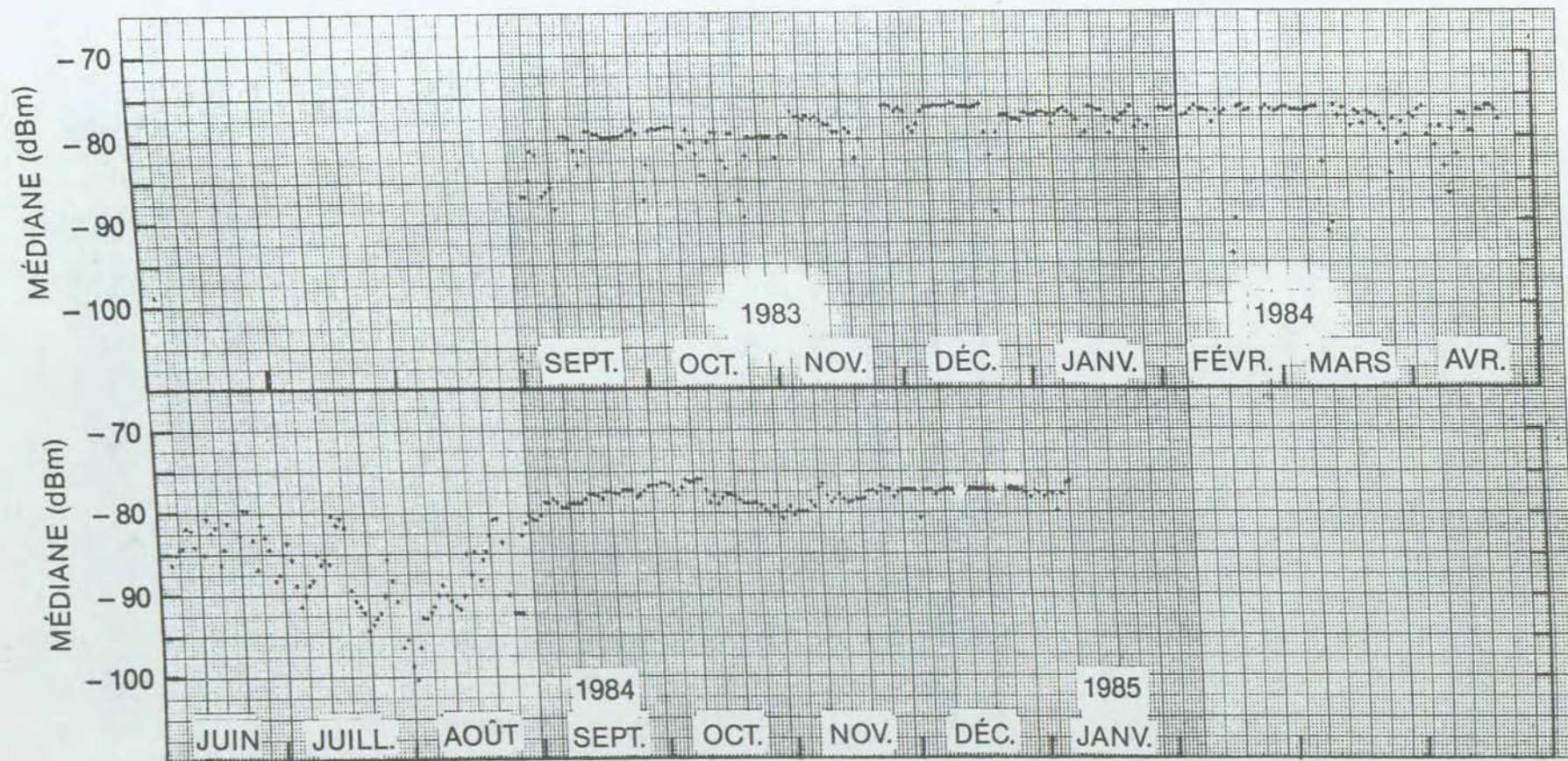


Figure 8 : Niveau des signaux médians quotidiens, Lowther Peak - Martyr Peak.

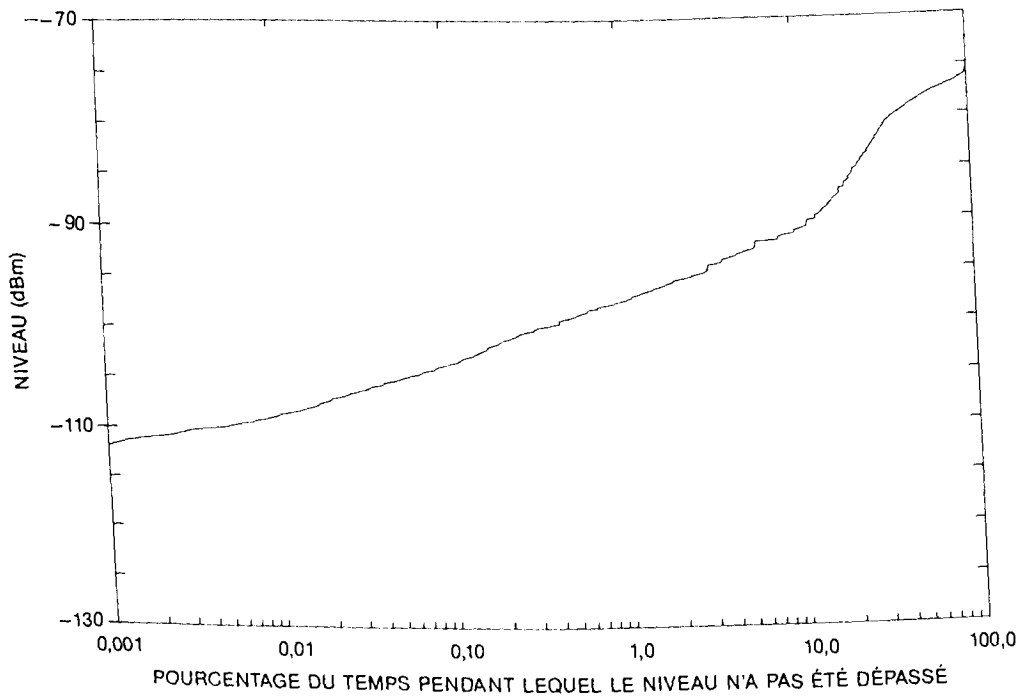
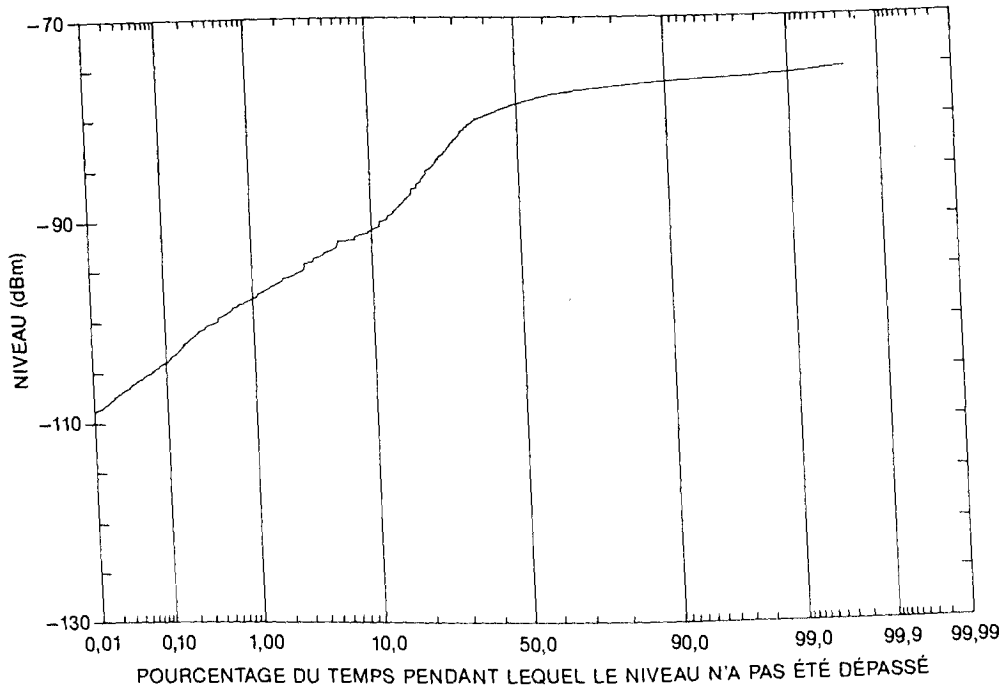


Figure 9 : Statistiques annuelles, Lowther Peak à Martyr Peak, 1984.
Haut : semi-logarithmique; bas : bilogarithmique.

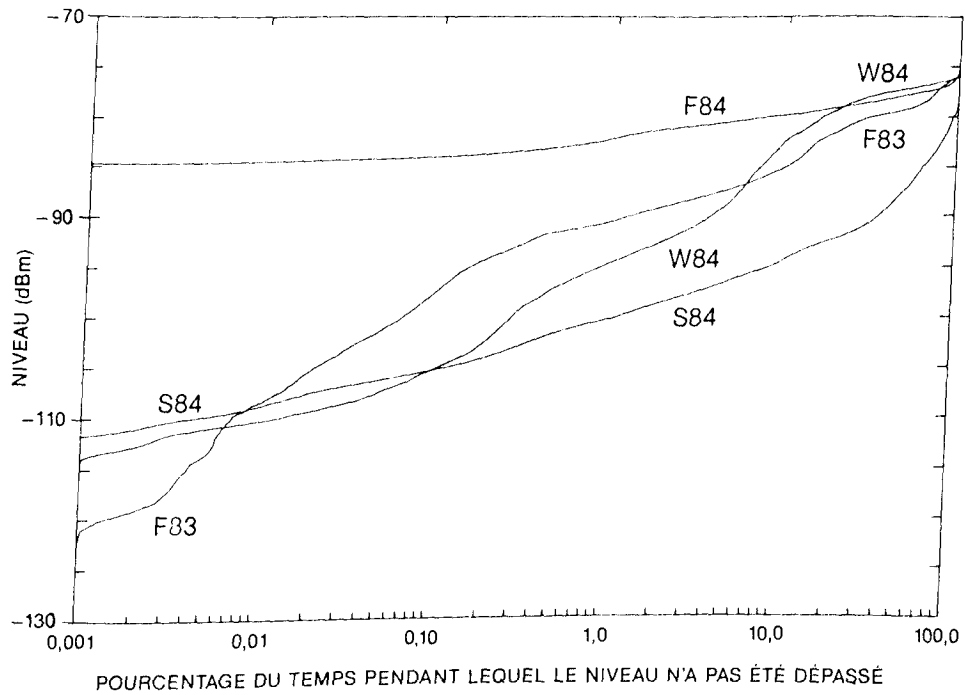
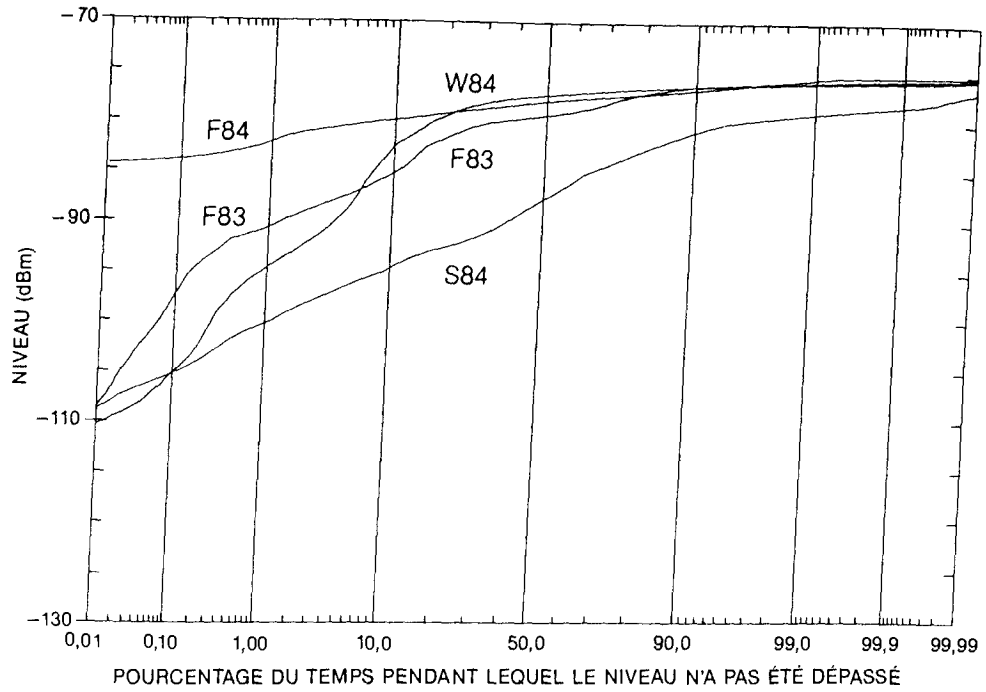


Figure 10 : Statistiques saisonnières, Lowther Peak à Martyr Peak.
 F83 : sept.-déc. 1983; W84 : janv.-avr. 1984;
 S84 : juin-août 1984; F84 : sept.-déc. 1984.
 Haut : semi-logarithmique; bas : bilogarithmique.

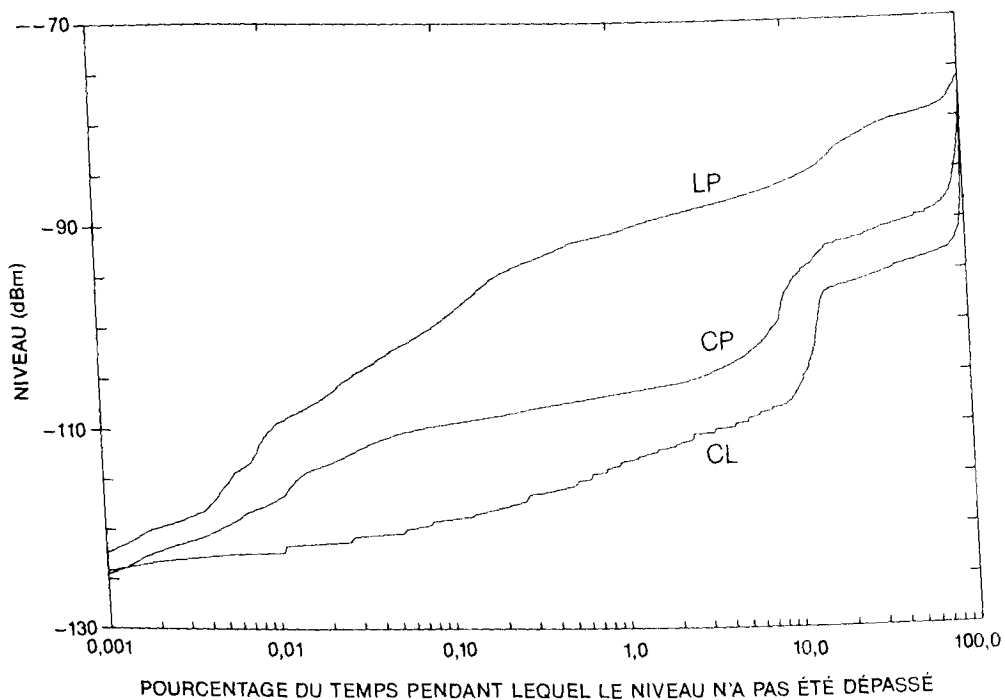
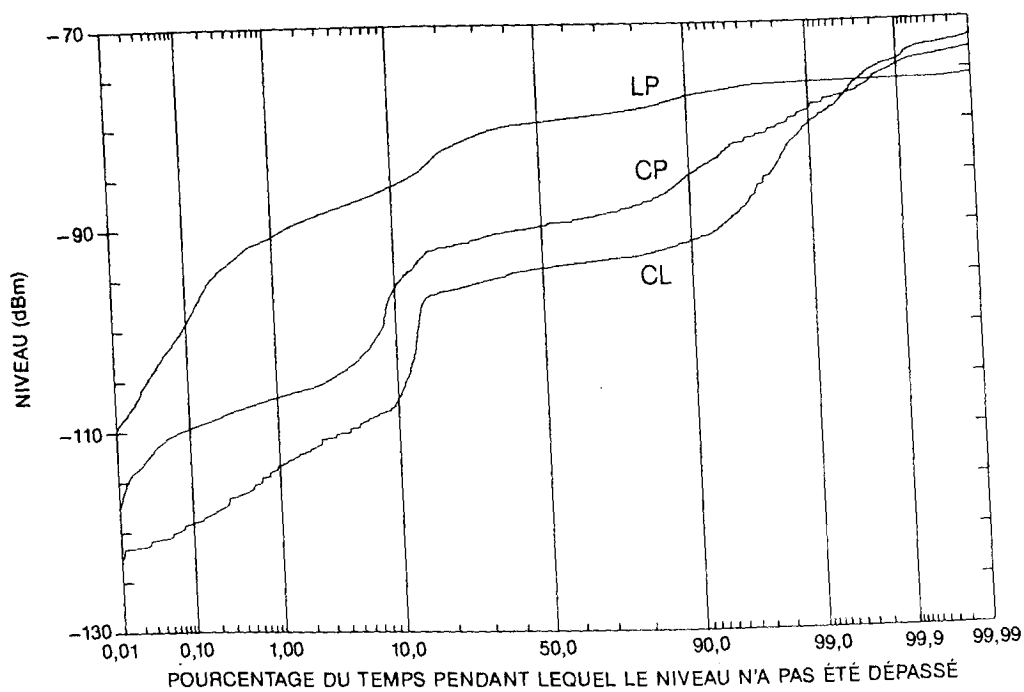


Figure 11 : Statistiques saisonnières sur les trajets d'ondes décimétriques, sept.-nov. 1983.
 LP : Lowther Peak - Martyr Peak; CP : Cockburn Peak - Lowther Peak; CL : Cockburn Lake - Lowther Peak.
 Haut : semi-logarithmique; bas : bilogarithmique.

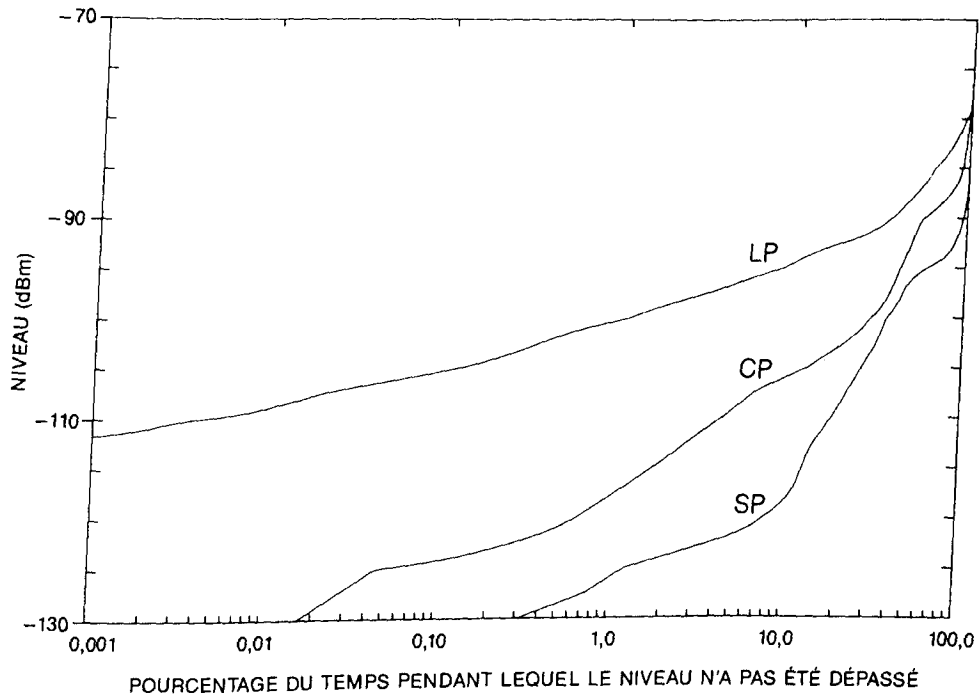
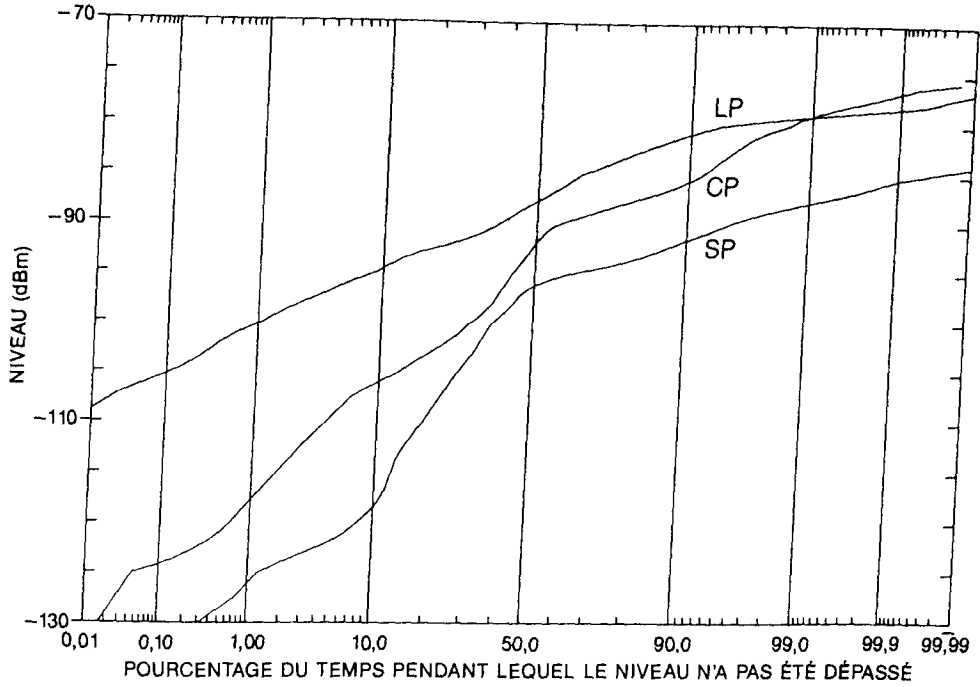


Figure 12 : Statistiques saisonnières sur les trajets d'ondes décimétriques, juin-août 1984.
 LP : Lowther Peak - Martyr Peak; CP : Cockburn Peak - Lowther Peak; SP : Schomberg Peak - Cockburn Peak.
 Haut : semi-logarithmique; bas : bilogarithmique.

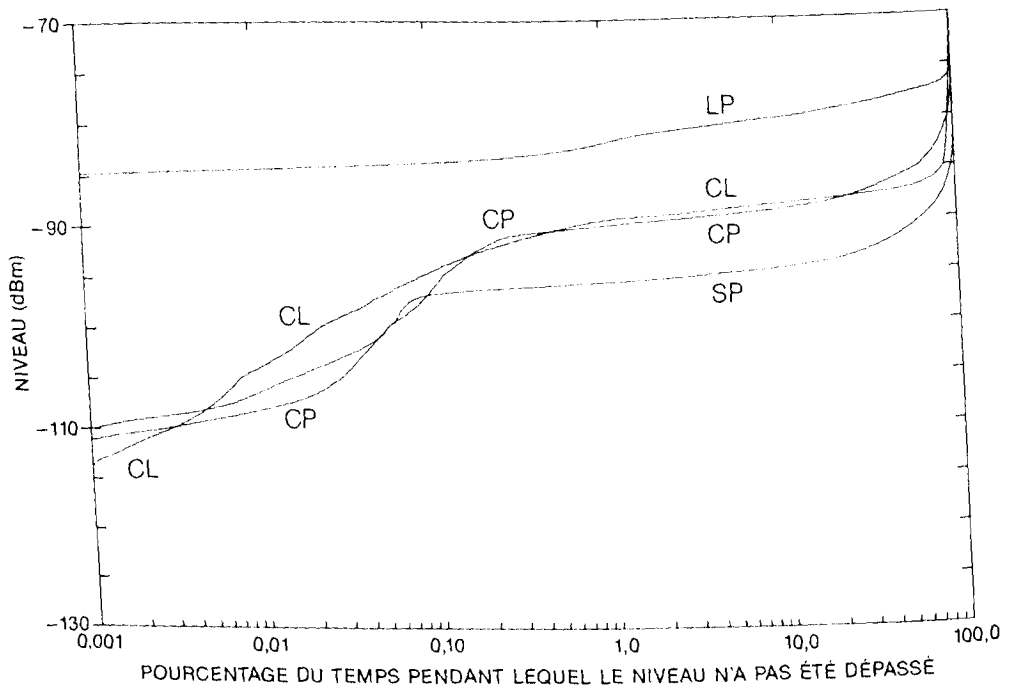
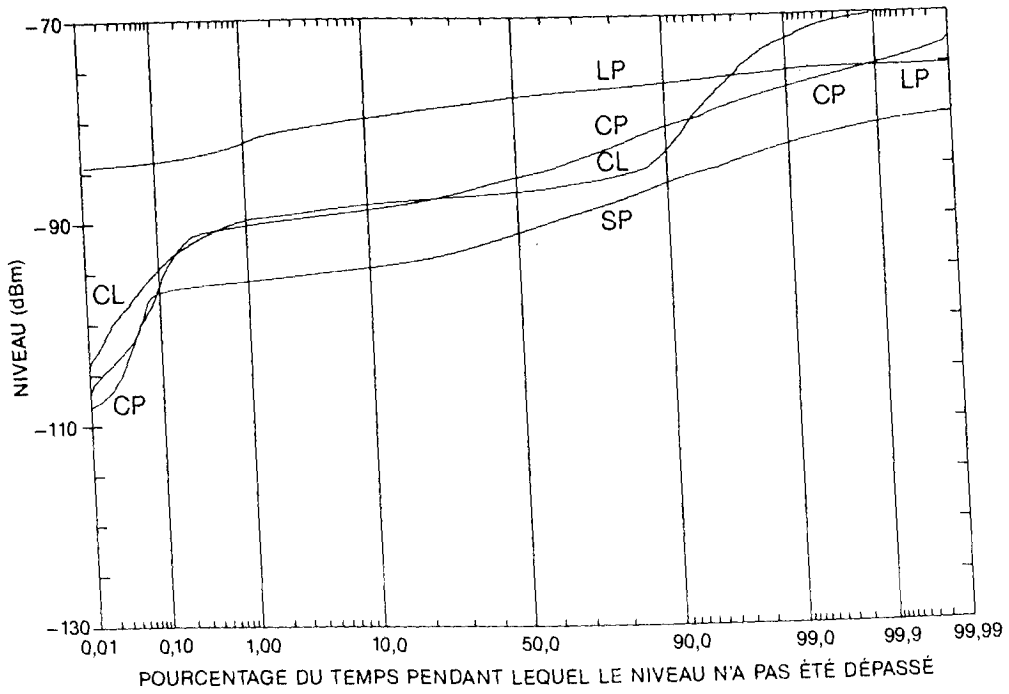


Figure 13 : Statistiques saisonnières sur les trajets d'ondes décimétriques, sept.-déc. 1984.
 LP : Lowther Peak - Martyr Peak; CP : Cockburn Peak - Lowther Peak; CL : Cockburn Lake - Lowther Peak; SP : Schomberg Peak - Cockburn Peak.
 Haut : semi-logarithmique; bas : bilogarithmique.

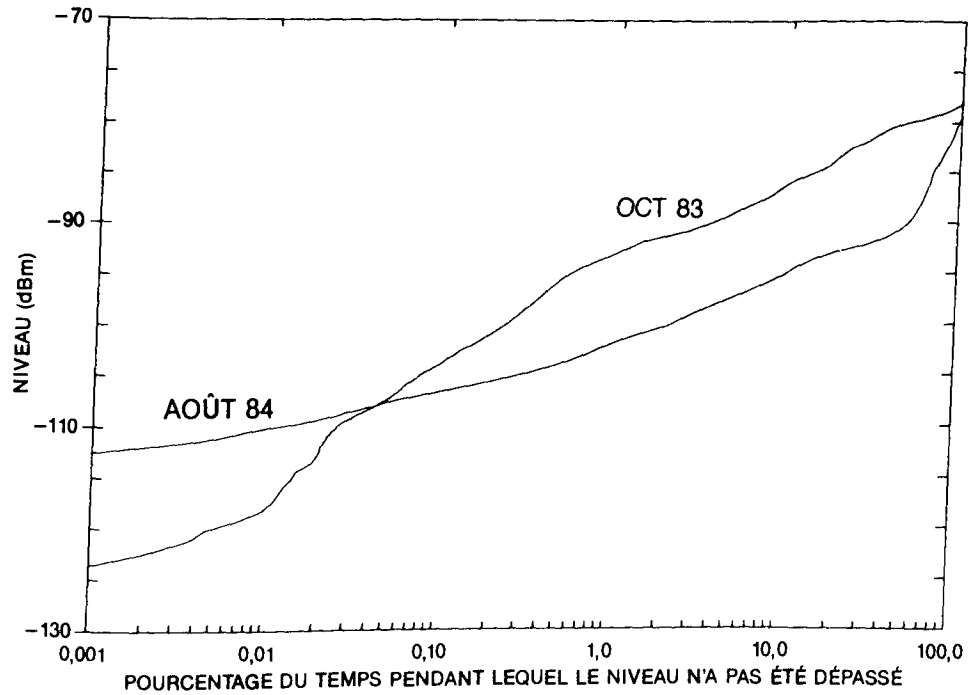
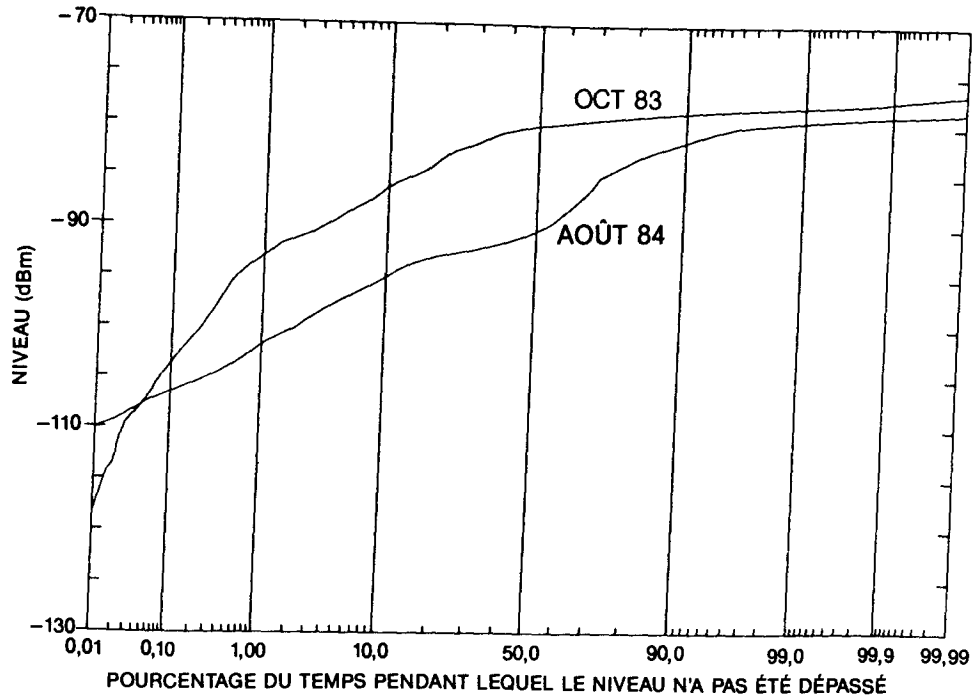


Figure 14 : Statistiques du mois le plus défavorable, Lowther Peak à Martyr Peak.

Haut : semi-logarithmique; bas : bilogarithmique.

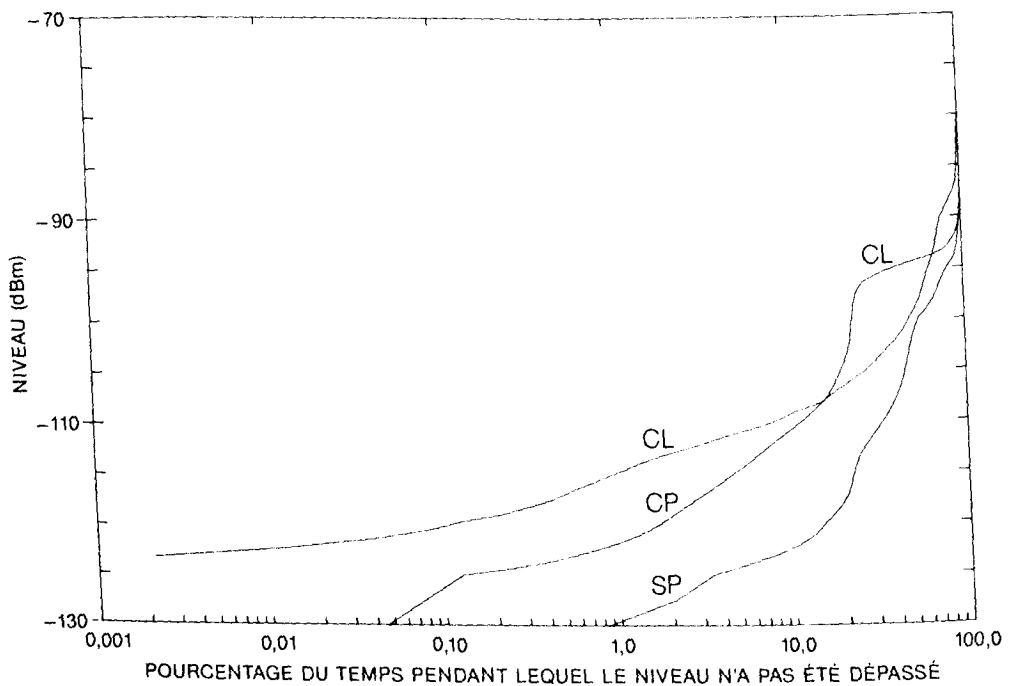
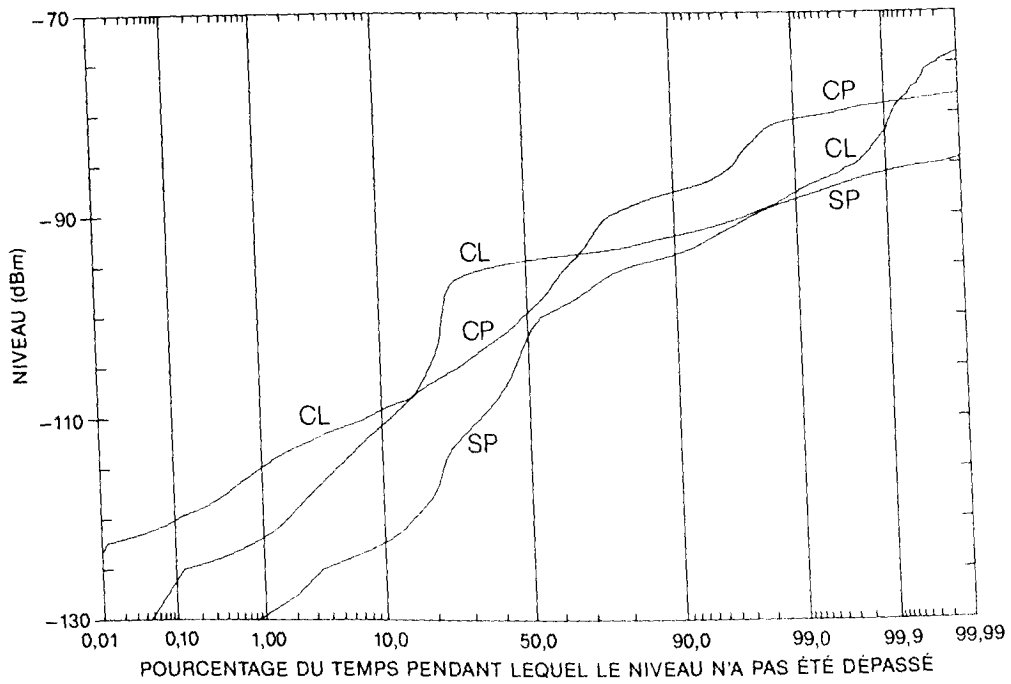


Figure 15 : Statistiques du mois le plus défavorable sur les trajets d'ondes décimétriques. CP : Cockburn Peak - Lowther Peak, juill. 1984; CL : Cockburn Lake - Lowther Peak, sept. 1983; SP : Schomberg Peak - Cockburn Peak, juill. 1984. Haut : semi-logarithmique; bas : bilogarithmique.

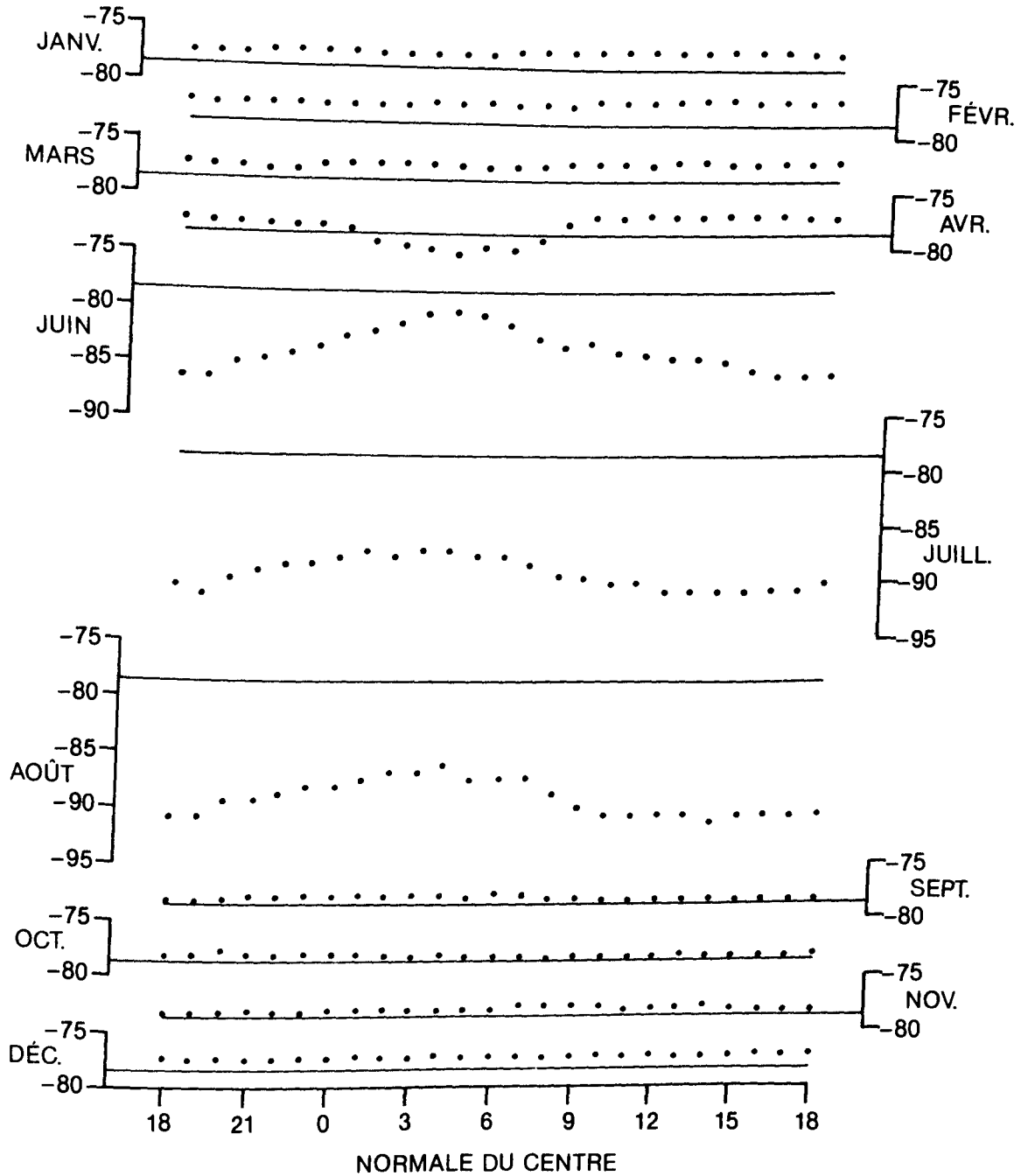


Figure 16 : Variations diurnes du niveau médian des signaux, Lowther Peak - Martyr Peak, 1984.

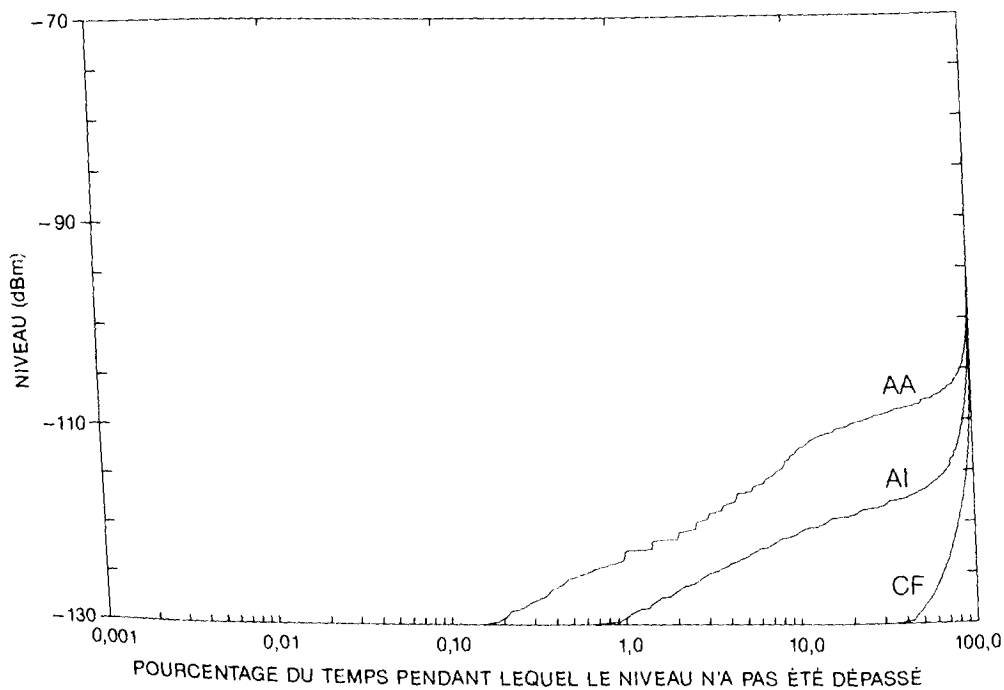
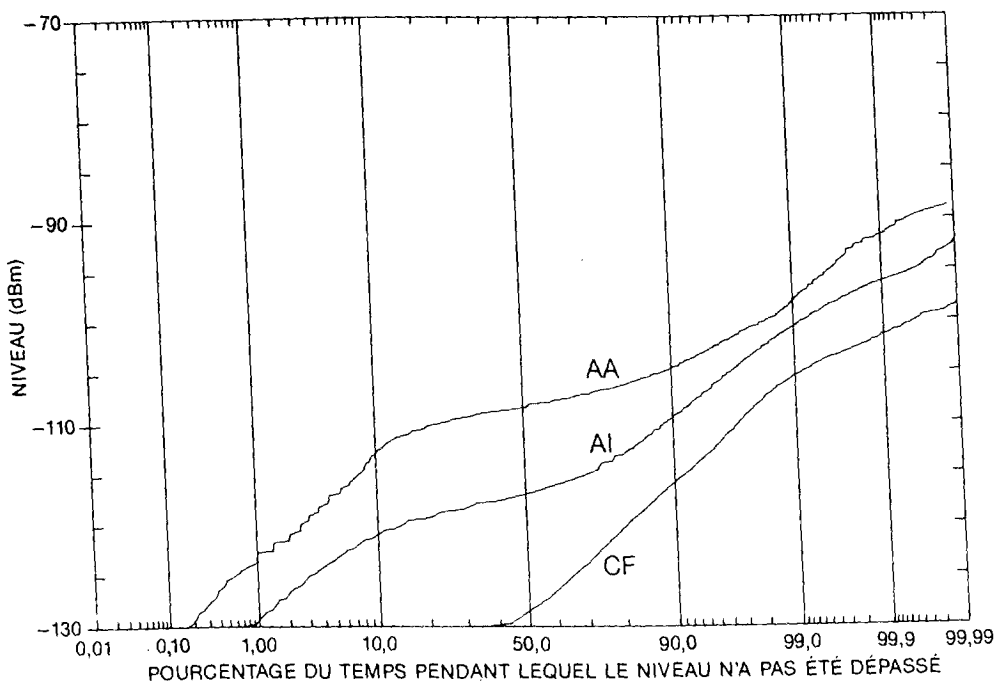


Figure 17 : Statistiques saisonnières sur les trajets d'ondes métriques aboutissant à Lowther Beach, sept.-nov. 1983.
 AA : Acland Acres; AI : Allison Inlet; CF : Cockburn Flats.
 Haut : semi-logarithmique; bas : bilogarithmique.

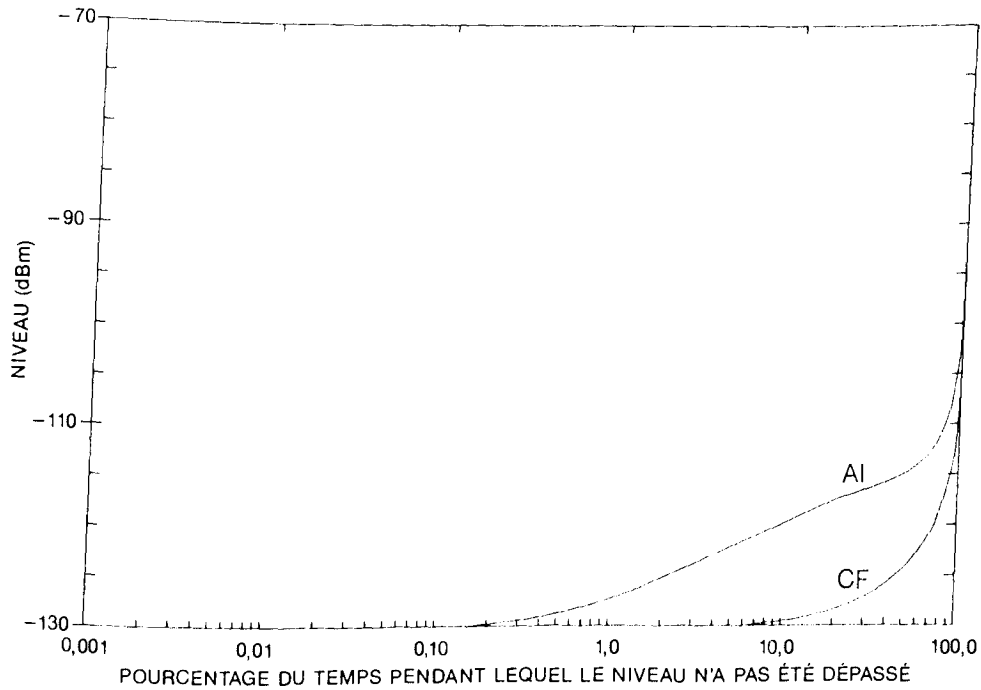
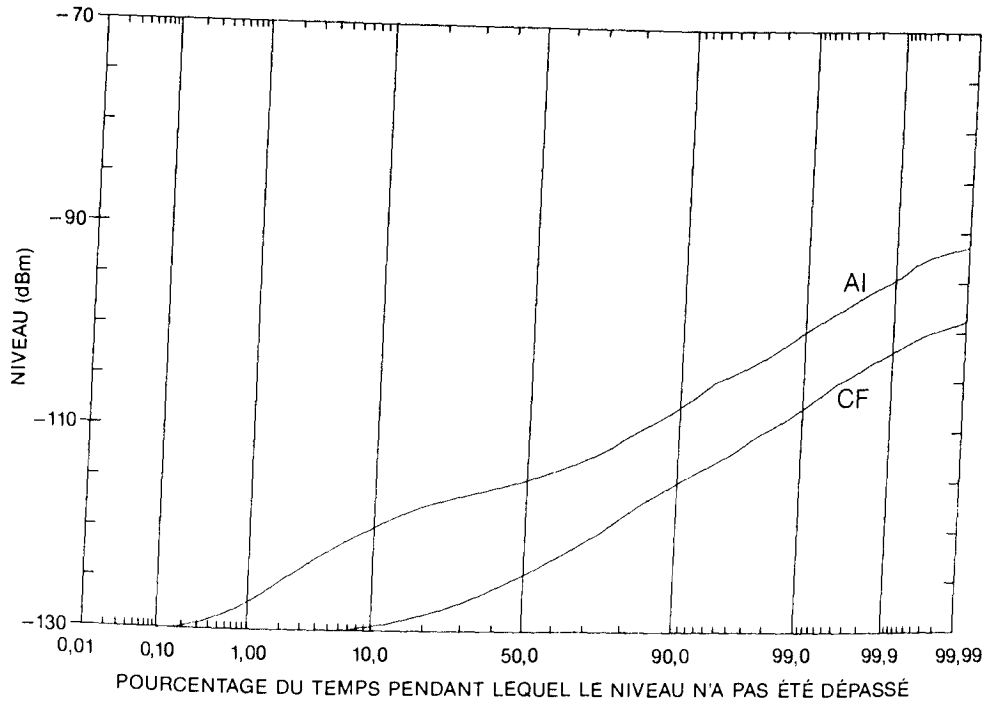


Figure 18 : Statistiques saisonnières sur les trajets d'ondes métriques aboutissant à Lowther Beach, juin-août 1984. AI : Allison Inlet; CF : Cockburn Flats.
Haut : semi-logarithmique; bas : bilogarithmique.

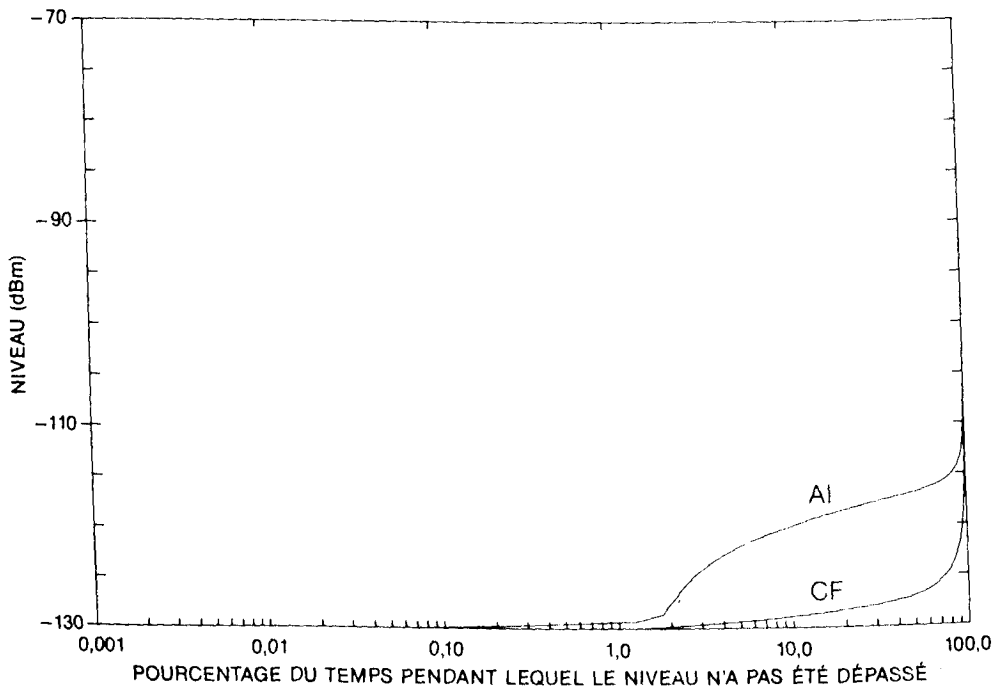
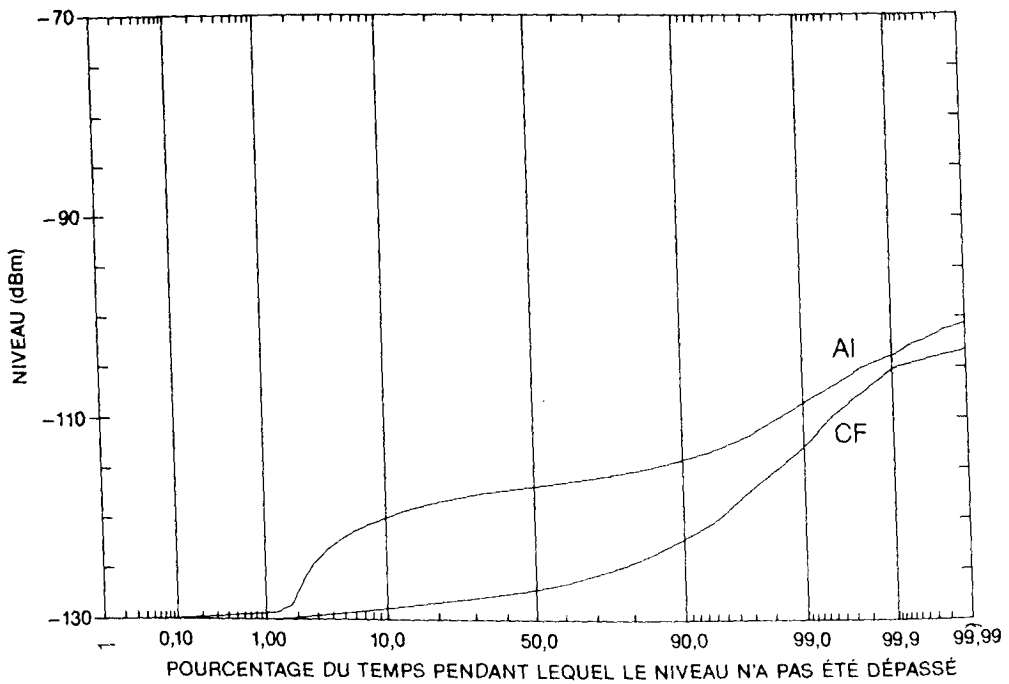


Figure 19 : Statistiques saisonnières sur les trajets d'ondes métriques aboutissant à Lowther Beach, sept.-oct. 1984.
 AI : Allison Inlet; CF : Cockburn Flats.
 Haut : semi-logarithmique; bas : bilogarithmique.

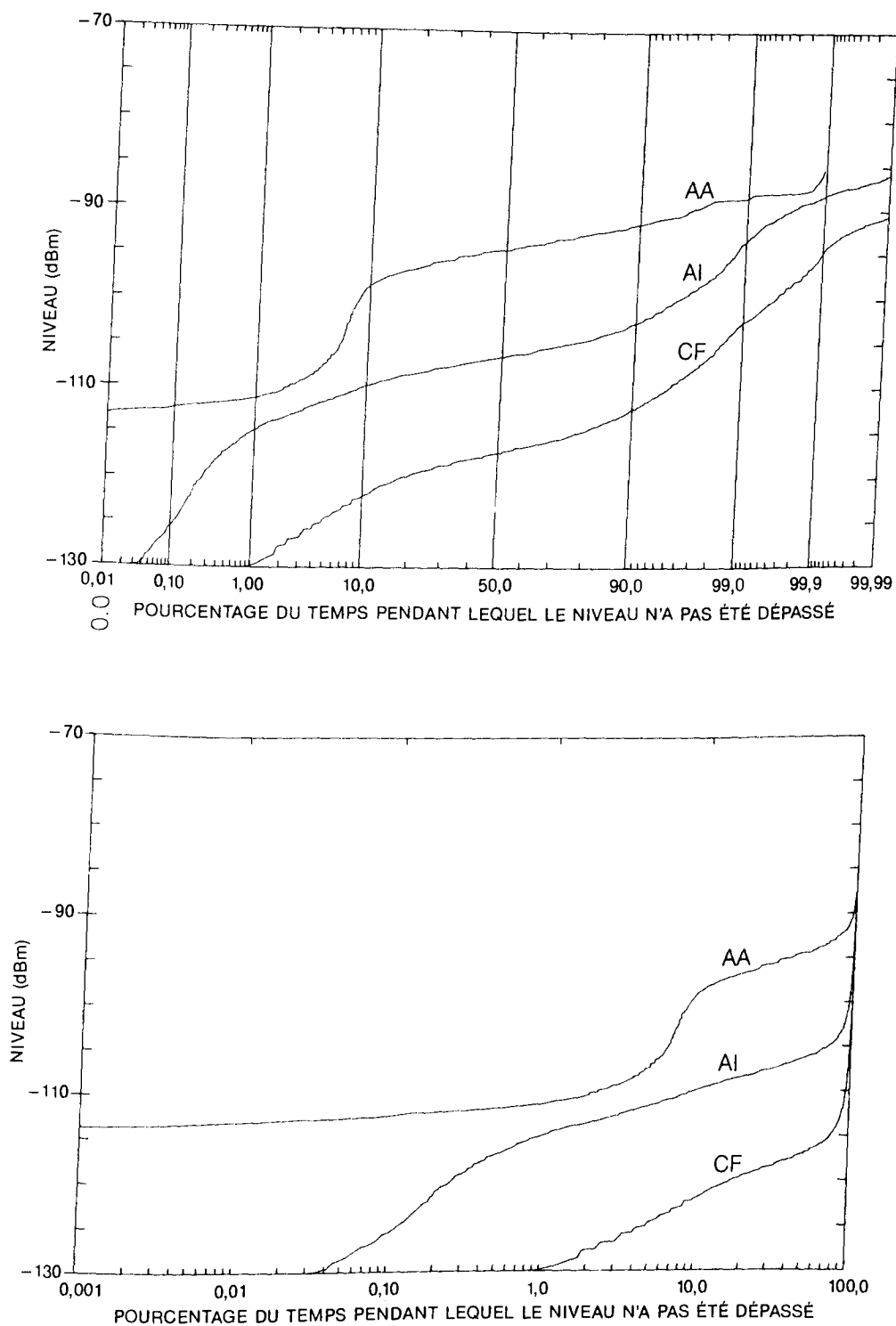


Figure 20 : Statistiques saisonnières sur les trajets d'ondes métriques aboutissant à Lowther Terrace, sept.-nov. 1983. AA : Acland Acres; AI : Allison Inlet; CF : Cockburn Flats. Haut : semi-logarithmique; bas : bilogarithmique.

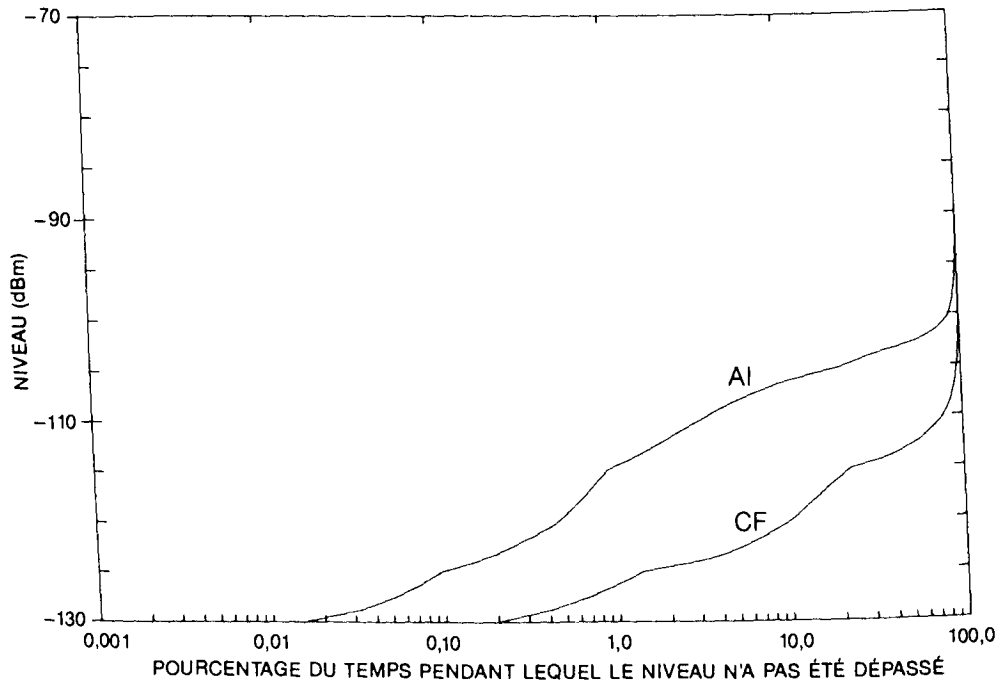
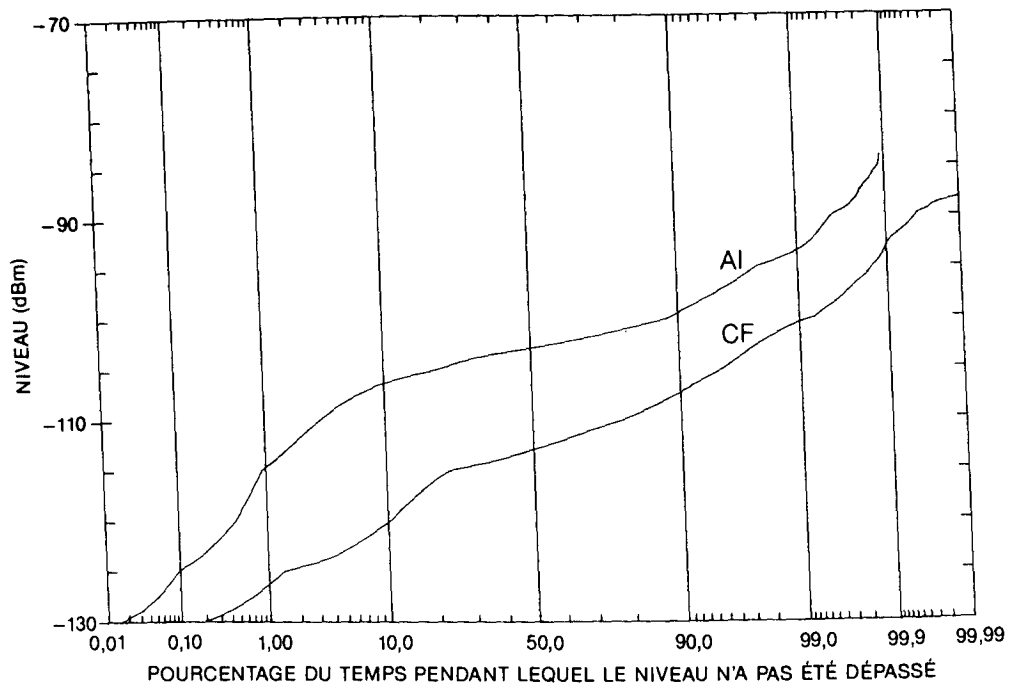


Figure 21 : Statistiques saisonnières sur les trajets d'ondes métriques aboutissant à Lowther Terrace, juin-août 1984.
 AI : Allison Inlet; CF : Cockburn Flats.
 Haut : semi-logarithmique; bas : bilogarithmique.

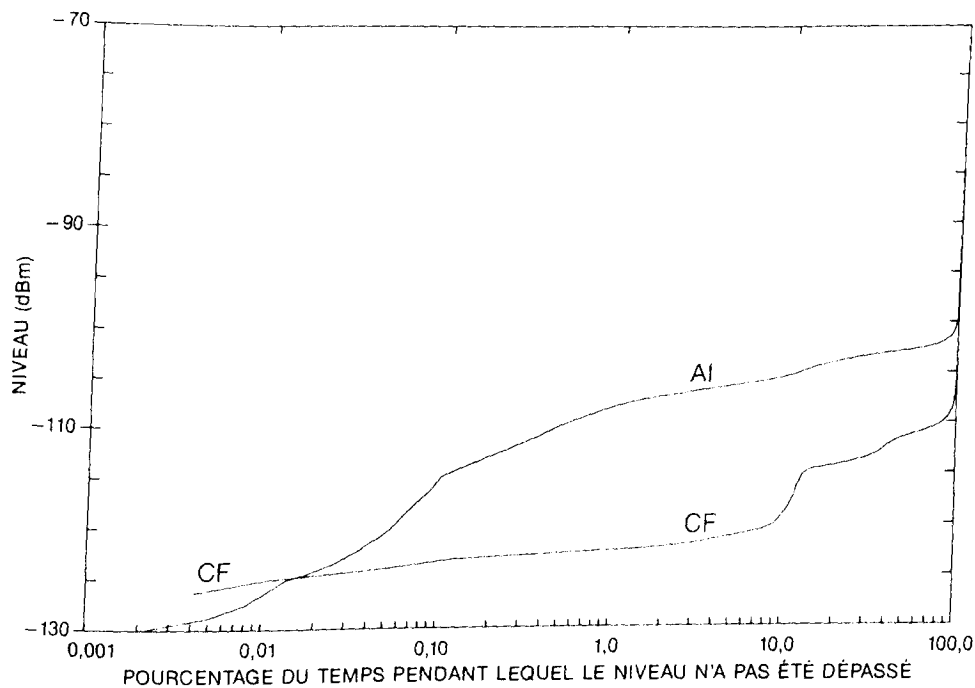
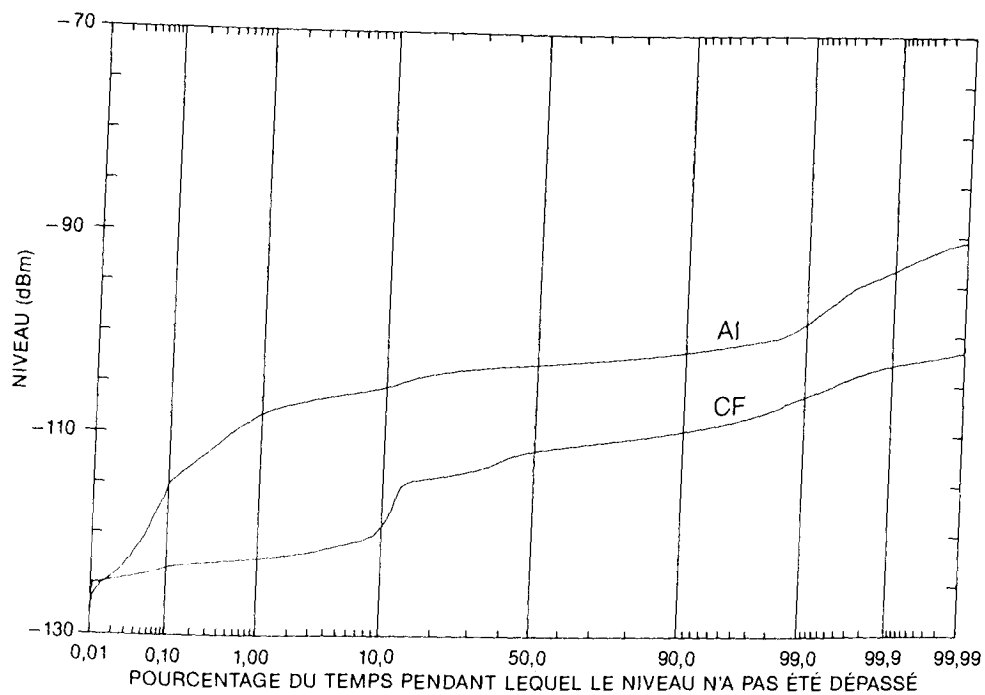


Figure 22 : Statistiques saisonnières sur les trajets d'ondes métriques aboutissant à Lowther Terrace, sept.-déc. 1984.
 AI : Allison Inlet; CF : Cockburn Flats.
 Haut : semi-logarithmique; bas : bilogarithmique.

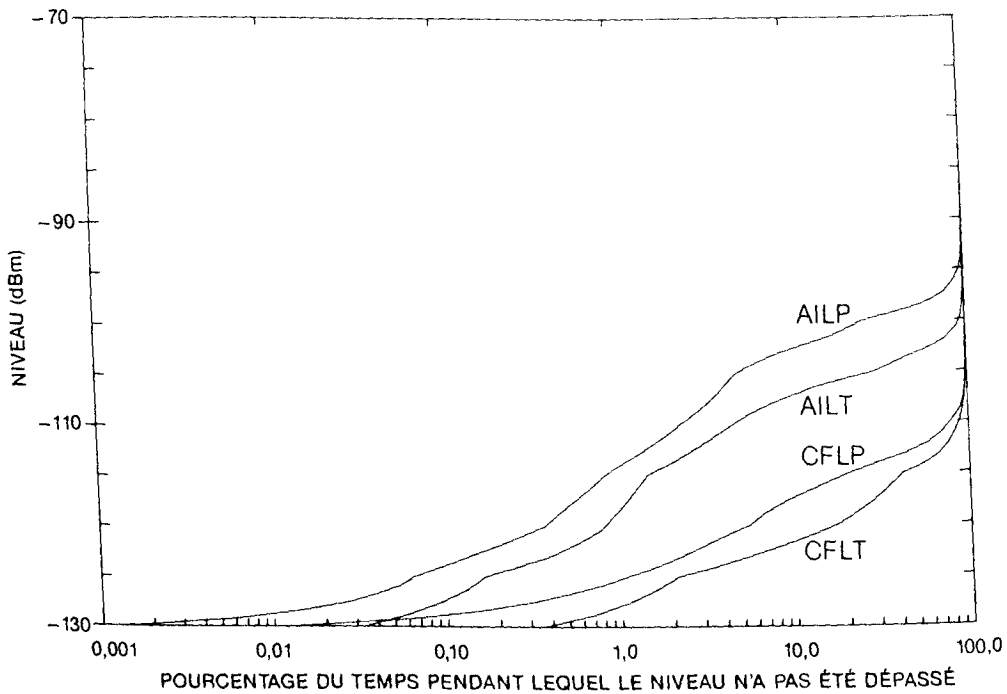
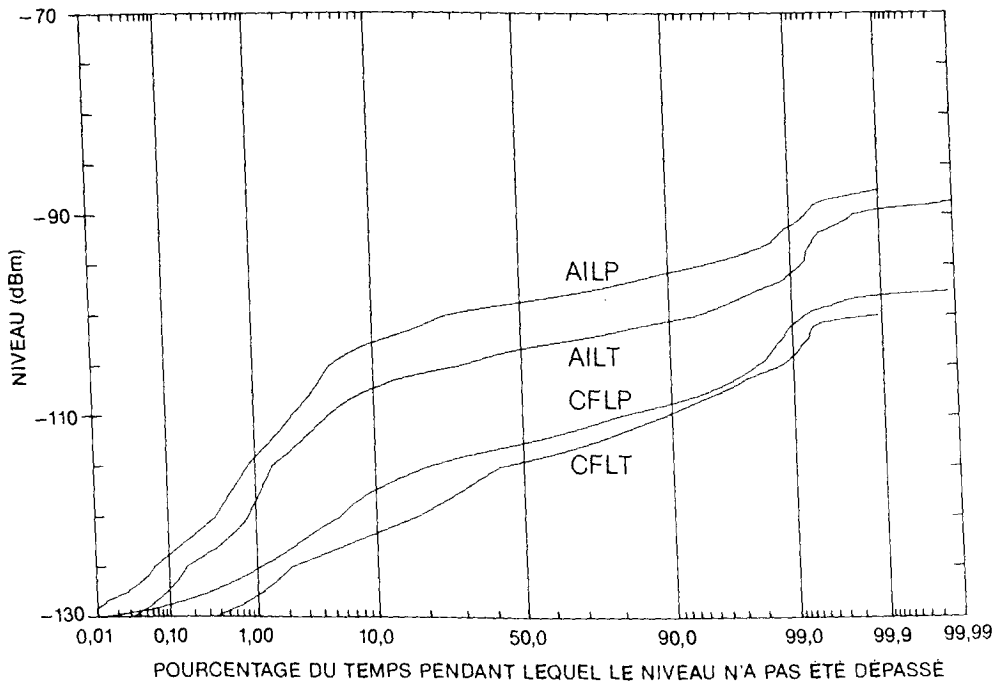


Figure 23 : Comparaison des statistiques sur les trajets d'ondes métriques aboutissant à Lowther Peak et à Lowther Terrace, mi-juillet 1984. AI : Allison Inlet; CF : Cockburn Flats; LT : Lowther Terrace; LP : Lowther Peak.
Haut : semi-logarithmique ; bas : bilogarithmique.

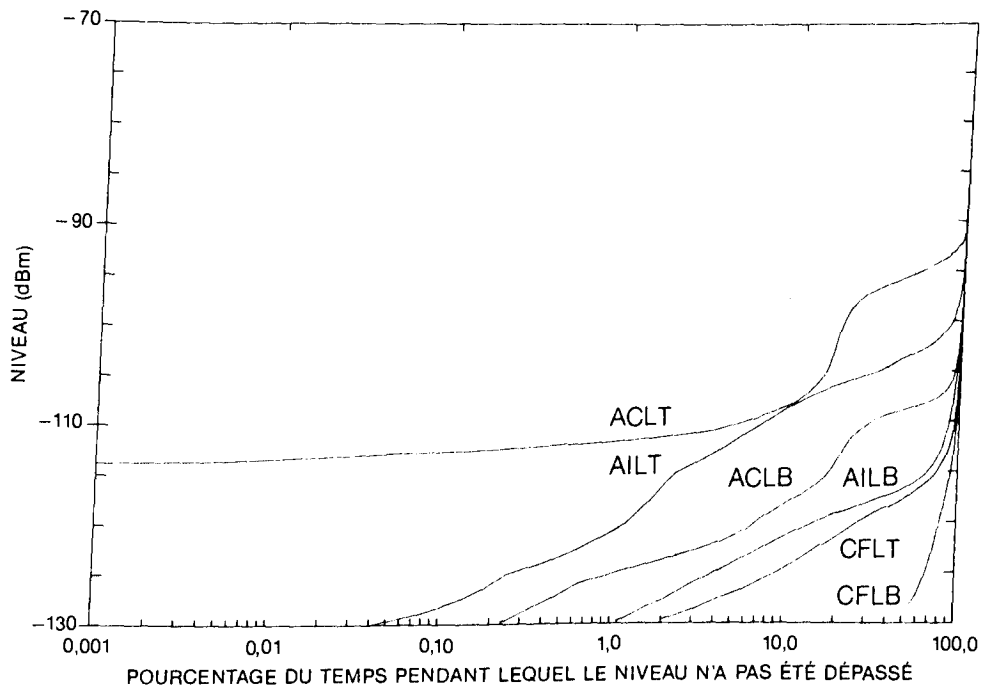
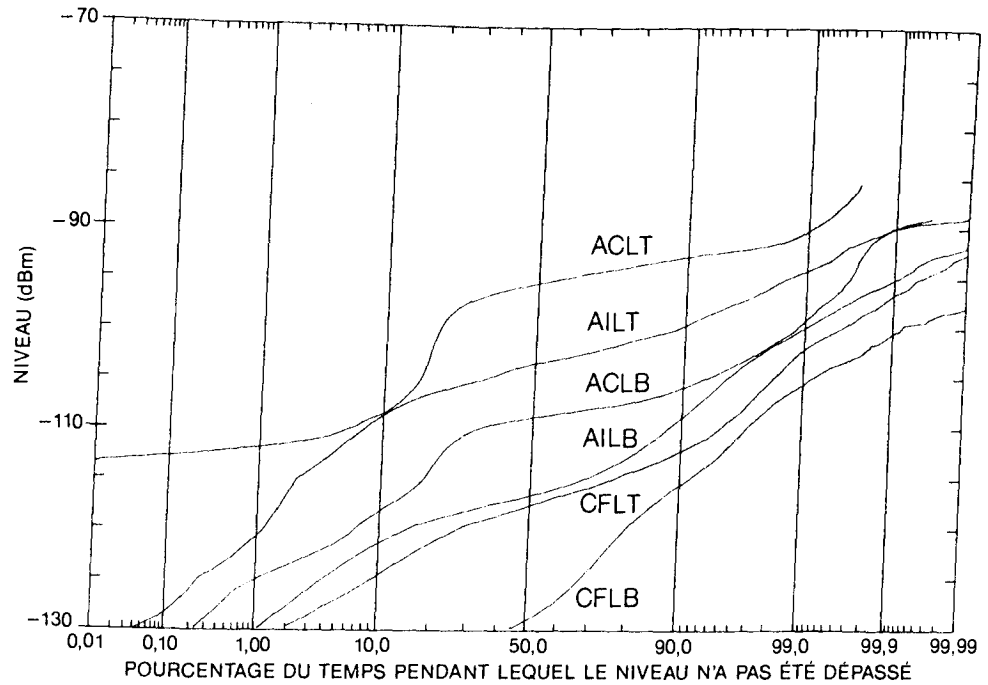


Figure 24 : Statistiques du mois le plus défavorable sur les trajets d'ondes métriques. AC : Acland Acres; AI : Allison Inlet; CF : Cockburn Flats; LT : Lowther Terrace; LB : Lowther Beach. Haut : semi-logarithmique; bas : bilogarithmique.

BUTLER, R.S.
 L'expérience de propagation...

TK
 5102.5
 C673F
 #1391

DATE DUE

NATCO N-34

CRC LIBRARY/BIBLIOTHEQUE CRC
 TK5102.5 C673F #1391 c. b

INDUSTRY CANADA / INDUSTRIE CANADA



209092

