

ALOUETTE I

LE

CANADA

DANS

LA

COURSE

SPATIALE

LKC
TL
796.5
.C2
A5214
1972
c.2

IC

Communications
Canada

Communications
Canada

Information Services
100 Metcalfe Street
Ottawa K1A 0C8
(613) 995-8185

Services d'information
100, rue Metcalfe
Ottawa K1A 0C8
(613) 995-8185

TL

796.5
-C2

ASF

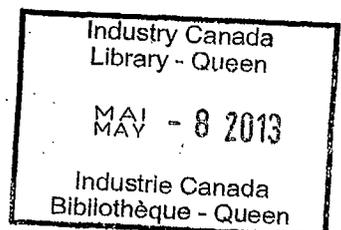
1972

S-Gen

ALOUETTE I

Voici l'histoire de l'expérience scientifique qui a permis au Canada d'entrer dans l'ère spatiale. Le satellite Alouette a été réalisé par un groupe de scientifiques et d'ingénieurs canadiens: les uns ont conçu les expériences et les autres, l'équipement. Opérationnel depuis dix ans, Alouette poursuit sa mission, et donne raison à ses constructeurs qui jamais ne doutèrent de leur succès et continuent d'écouter ses messages quotidiens dans leurs laboratoires du Centre de recherches sur les communications du ministère des Communications de la banlieue d'Ottawa.

Ce récit a été préparé par ces hommes à qui nous devons le premier satellite conçu et construit par un pays autre que l'Union soviétique et les Etats-Unis.



Tard dans la soirée du 28 septembre 1962, alors qu'une brise glaciale soufflait du Pacifique sur tout le sud de la Californie une fusée Thor-Agena quittait sa rampe de lancement et, dans un vomissement de flammes orangées et blanches, plaçait sur orbite le premier satellite artificiel de la Terre réalisé au Canada.

Appelé Alouette, en l'honneur de l'oiseau de la chanson, ce fut le premier satellite scientifique entièrement conçu et construit par un pays autre que les Etats-Unis ou la Russie. Son but: de permettre aux savants de mieux comprendre les phénomènes physiques de la haute atmosphère.

Une perturbation ionosphérique, plaie si fréquente des radiocommunications à grande distance, devait s'amorcer le jour même du lancement. Les premières données transmises par l'Alouette aux stations terriennes non seulement confirmèrent l'existence de cette perturbation, mais encore donnèrent aux savants des indications sur des phénomènes antérieurement ignorés qui lui étaient associés. Depuis lors, le volume important d'informations parvenues du satellite a fourni aux savants des renseignements complets sur une région de la haute atmosphère qui leur était à peu près inconnue.

Dès ses premières révolutions, l'Alouette fut l'objet d'éloges de la part des représentants de l'Administration nationale de l'aéronautique et de l'espace (NASA) des Etats-Unis: "L'Alouette est aussi complexe que n'importe quel satellite que les Etats-Unis ont lancé jusqu'ici, de dire John E. Jackson de la NASA. Le Canada nous a rapidement rejoints dans la technologie des satellites."

Conçu pour une vie utile d'au moins un an dans l'espace, l'engin maintenant dénommé Alouette I pour le distinguer du second satellite canadien, Alouette II, fonctionne toujours, record qui n'a encore été égalé par aucun autre satellite d'une complexité comparable. Qu'il se désagrègerait, pouvait être prévu avec précision, et l'avait été, avant son lancement.

L'Alouette I a été conçu et construit par le Centre de recherches sur les télécommunications de la défense* (CRTD) du Conseil de recherches pour la défense d'Ottawa. Il représente la contribution du Canada à un programme d'étude de l'ionosphère entrepris en commun avec les Etats-Unis. La NASA a fourni l'aide technique, les fusées lanceuses, les services de lancement et de poursuite ainsi que quelques installations d'essai en cours de construction.

* Devenu le Centre de recherches sur les communications du ministère des Communications.

Le satellite a accru le prestige du Canada dans les milieux scientifiques et techniques internationaux. Cependant, ce n'est pas dans un but de prestige que \$3 millions ont été consacrés à sa réalisation. Les savants canadiens désiraient en savoir davantage sur la haute atmosphère.

Cette curiosité tient à un certain nombre de raisons. Une plus grande sûreté des radiocommunications pourrait constituer l'un des premiers avantages pratiques d'une meilleure connaissance de l'ionosphère.

Le Canada occupe une situation géographique unique. Le pôle Nord magnétique se trouve à environ 1000 milles au nord de Winnipeg et une grande partie de notre territoire septentrional est située soit dans la zone aurorale, soit au nord de celle-ci. La population étant clairsemée dans cette vaste région peu accueillante, il va sans dire que la radio offre le seul moyen de communication logique et pratique. Les avions qui survolent cette région ont également besoin d'une transmission radioélectrique sûre pour la navigation et les communications.

Lorsque l'ionosphère est perturbée, les radiocommunications à haute fréquence sur de grandes distances sont difficiles, sinon impossibles. Or, l'ionosphère polaire est tout particulièrement sujette aux perturbations. En raison des conséquences sérieuses qui découlent de cet état de choses, le Conseil de recherches pour la défense étudie l'ionosphère depuis des années.

C'est Balfour Stewart qui, en 1882, a été le premier à penser qu'il existait peut-être une région conductrice de courants électriques à la limite extérieure de notre atmosphère. Apparemment, cette théorie ne fut reprise qu'en 1901 lorsque l'inventeur italien Guglielmo Marconi capta à Terre-Neuve un signal morse d'un émetteur situé à 1800 milles de là, en Angleterre. Cet événement ne fut pas sans susciter un vif intérêt, car les savants avaient jusque-là émis l'hypothèse que les ondes radioélectriques traversaient l'atmosphère presque en ligne droite, ne s'incurvant que légèrement sur de courtes distances selon la courbure de la terre, avant de s'éloigner dans l'espace ou d'être absorbées dans la haute atmosphère.

L'année suivante, en 1902, Arthur Kennelly aux Etats-Unis et Oliver Heaviside en Angleterre proposèrent indépendamment des théories démontrant la possibilité de telles communications à grande distance. Tout comme Stewart, trente ans plus tôt, ils pensaient que la haute atmosphère devait renfermer une couche conductrice capable de réfléchir les ondes radioélectriques vers la surface terrestre. Leurs idées amorcèrent une longue série de recherches théoriques et expérimentales. En 1926, on avait démontré qu'il existait dans l'ionosphère au moins deux couches capables de réfléchir les ondes radioélectriques et que l'ionosphère était constituée d'ions et d'électrons libres. (Un ion est un atome qui comprend un ou plusieurs électrons supplémentaires --ion négatif--, ou un atome auquel il manque des électrons --ion positif.)

On soupçonnait l'existence d'autres composants. C'est à Sir Robert Watson-watt, rendu célèbre par le radar, qu'on attribue la création du terme ionosphère.

Alors que ces premières recherches visaient surtout à établir pourquoi et comment les ondes radioélectriques étaient réfléchies, les savants actuels cherchent à connaître pourquoi, dans bien des cas, elles ne le sont pas. En effet, il devint bientôt évident que l'ionosphère n'est pas un auxiliaire sûr des télécommunications.

Les savants canadiens s'intéressent particulièrement à l'ionosphère aurorale où se manifestent des perturbations plus prononcées et plus fréquentes que partout ailleurs. De plus, ces perturbations sont souvent imprévisibles.

La pire des perturbations ionosphériques du point de vue des radiocommunications est peut-être "l'extinction polaire". Lorsque celle-ci se produit, l'ionosphère absorbe presque toutes les ondes radio à haute fréquence, et les communications entre les stations terrestres sont difficiles, sauf si l'on utilise de très basses fréquences et des techniques complexes qui habituellement ne sont pas à la portée des utilisateurs commerciaux.

Les expériences par fusées munies d'instruments et d'autre nature ont démontré que l'extinction polaire est due à un accroissement anormal de l'ionisation causé par les particules solaires. Cet accroissement a pour effet d'entraîner la cessation complète de la transmission aux hautes fréquences des ondes réfléchies.

Certaines perturbations ionosphériques provoquent une interruption soudaine des communications en raison des évanouissements brusques et simultanés qui se produisent dans tout l'hémisphère éclairé. Elles durent de dix minutes à une heure. Par contre, les extinctions polaires, dont l'intensité est plus graduelle au début et au déclin, sont de bien plus longue durée; parfois elles persistent sans interruption pendant plusieurs jours consécutifs durant le jour.

L'orage ionosphérique est un autre type de perturbation plus intense dans les zones aurorales. Il se caractérise par une instabilité générale des conditions ionosphériques, par une diminution de la densité maximale d'ionisation et par une augmentation de l'absorption des ondes radioélectriques. Au cours de ces périodes, les canaux de fréquences utilisables pour les communications sont moins nombreux qu'en temps normal et l'intensité de signal est soumise à de rapides fluctuations. Un orage ionosphérique est généralement accompagné d'un orage magnétique ou d'une période de fluctuations inhabituelles de l'intensité du magnétisme terrestre.

On sait depuis longtemps que le soleil joue un grand rôle dans le comportement de l'ionosphère et qu'il se produit des variations au passage du jour à la nuit et de la nuit au jour. Les perturbations sont également associées à l'activité du soleil, par exemple, les taches solaires.

Longtemps a subsisté la conception erronée que l'espace qui entoure l'atmosphère terrestre était vide. Les savants savaient naturellement que cette conception était fautive, mais ce n'est qu'au cours des dernières années qu'ils ont été en mesure d'explorer cette partie du milieu terrestre. Ils ont découvert qu'un flux continu de particules solaires--électrons et protons--souffle sur l'atmosphère terrestre et réagit avec elle.

Il existe un certain nombre de théories qui tentent d'expliquer ce phénomène, mais aucune d'entre elles n'est encore universellement admise. Chaque théorie, fondée sur des faits connus, sert de point de départ pour les expériences. Les nouvelles données acquises peuvent soit concorder avec la théorie, soit s'y opposer. Celle-ci se trouve renforcée ou infirmée selon le cas.

L'une des théories veut que le flux des particules qui souffle sur la terre vienne de la couronne solaire. La couronne, visible sur les photographies prises au cours d'une éclipse, consiste en un gaz ionisé de protons (noyaux d'hydrogène) et d'électrons, très raréfié, au-dessus de la surface gazeuse du soleil.

D'après cette théorie, ce gaz ionisé se déplace très lentement de la base de la couronne vers l'extérieur, soit de quelques mètres par seconde. Mais au fur et à mesure qu'il s'éloigne, il est remplacé par une plus forte quantité de gaz venant d'en dessous et il accélère de vitesse. En cinq jours environ le gaz coronal peut parcourir un million de kilomètres (environ 630,000 milles) à partir du soleil. Les mesures effectuées au moyen de satellites et de sondes spatiales montrent que ces particules se déplacent à une vitesse de quelque 400 kilomètres (260 milles) à la seconde lorsqu'elles passent près de la terre. Ce flux se nomme "vent solaire".

Ce vent ionisé, qui comprend des noyaux d'hydrogène (protons), de l'hélium (particules alpha) et une cinquantaine d'électrons libres par centimètre cube, possède un champ magnétique et souffle parfois en "rafales". Il est particulièrement turbulent au cours de l'activité des taches solaires. Lorsque les particules chargées de ce vent solaire atteignent le champ magnétique (magnétosphère) qui entoure la terre, il se crée une onde de choc et le vent solaire se scinde pour s'écouler autour de la cavité à protection magnétique qui renferme la terre.

Bien que le champ magnétique de la terre protège l'atmosphère terrestre en l'empêchant d'être atteinte directement par la plupart des particules solaires, celles-ci pénètrent en petit nombre dans la haute atmosphère. La façon exacte dont se produit ce phénomène demeure toujours l'objet de spéculations et de recherches scientifiques. Une des théories veut que les particules contournent la terre, puis pénètrent en suivant les lignes de force magnétiques dans le sillage de la magnétosphère. C'est ce qui expliquerait la concentration aux latitudes plus élevées de particules qui provoquent des perturbations telles que les aurores.

Il existe suffisamment de preuves pour conclure à l'existence d'une forte corrélation entre l'activité solaire et le comportement de l'ionosphère. L'Alouette aide à confirmer ces preuves d'une manière beaucoup plus efficace que ne pouvaient le faire antérieurement les appareils de mesure au sol.

Les savants ont étudié l'ionosphère pendant des années en émettant des ondes radioélectriques à l'aide de stations terrestres et en captant dans des stations proches ou éloignées les ondes réfléchies par l'ionosphère. En comparant les signaux émis et réfléchis, ils ont pu déduire de nombreux faits au sujet de l'ionosphère.

L'ionisation ne croît pas uniformément avec l'altitude. Il existe à certaines altitudes des augmentations prononcées de la densité des électrons et des ions, qu'on appelle couches. Celles-ci se modifient suivant l'heure du jour, la position par rapport aux pôles géomagnétiques, l'activité des taches solaires et d'autres facteurs.

La plus basse couche de concentration, la couche D, se présente de jour à une hauteur approximative de 60 à 90 kilomètres (35 à 55 milles). Sa teneur en électrons est relativement faible et, jusqu'à récemment, on pensait que cette couche était due à la photo-ionisation de quelque composant de l'atmosphère, tel le bioxyde d'azote, par le rayonnement solaire qui pouvait pénétrer à ce niveau. Toutefois, des expériences effectuées dernièrement à l'aide de fusées montrent que les réactions dans la région D sont beaucoup plus complexes.

Les fréquences de la bande de radiodiffusion comptent parmi celles qui sont affectées par la couche D. La réception de stations éloignées est généralement bien meilleure la nuit, mais parfois elle brouille les postes locaux.

Dans la couche de concentration suivante, la couche E, la densité électronique varie considérablement durant le jour selon la quantité de rayonnement solaire. Lorsque l'obscurité progresse, les électrons se recombinaient rapidement avec des ions positifs et réduisent la densité d'ionisation à une valeur bien inférieure à celle qui existe de jour. Les ondes radio de la bande de radiodiffusion comptent parmi celles qui sont réfléchies par la couche E.

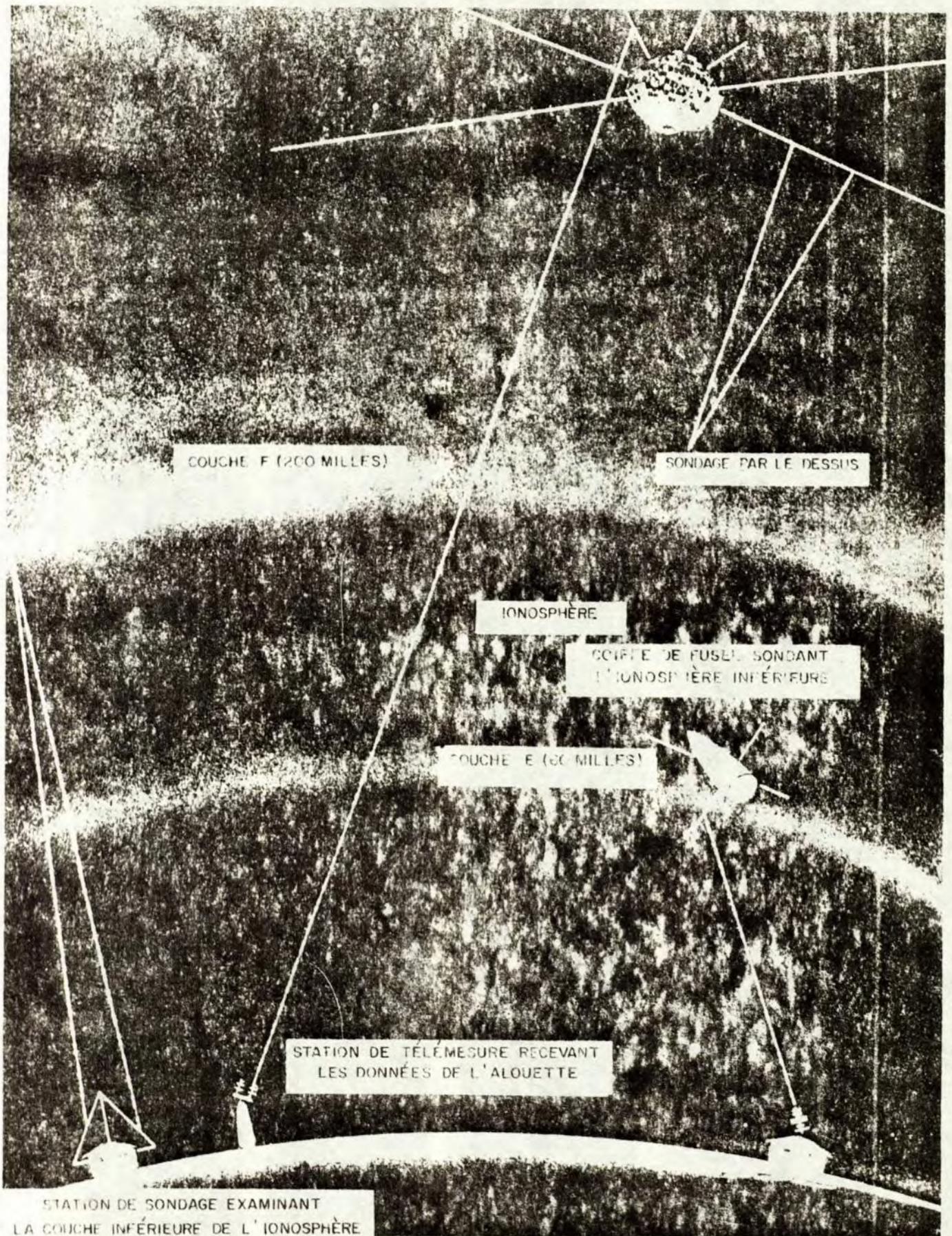
La couche F de densité maximale se trouve à une hauteur de 200 à 300 kilomètres (130 à 190 milles). Durant le jour, au cours des mois d'été, elle se fractionne en deux couches, F₁ et F₂. On suppose que les deux sont dues à l'ionisation d'azote ou d'oxygène atomique sous l'action du rayonnement ultraviolet de courtes longueurs d'onde émanant du soleil.

L'étude de l'ionosphère au-delà de la couche F₂ maximale a été plus difficile qu'en deçà. Si on augmente la fréquence des signaux de sondage au-delà d'une fréquence critique pour F₂, il y a peu ou point d'échos en retour. Cependant, pendant de nombreuses années, les savants ont désiré effectuer des recherches au-dessus de la couche F₂. C'est le côté le plus proche de la source de radiations ionisantes et ils se rendaient compte que de nouveaux renseignements pourraient conduire à une meilleure compréhension de la façon dont les cycles des taches solaires, le champ magnétique terrestre et d'autres conditions naturelles, affectent l'ionisation. Cette compréhension pourrait à son tour apporter des avantages tels qu'une grande sûreté des communications à grande distance.

Pour étendre leurs recherches au-delà de F₂, les savants commencèrent à envoyer des appareils à des altitudes élevées dès qu'ils disposèrent de fusées appropriées. Cependant, cette méthode comporte des limitations dues à la courte durée des sondages, restreint l'activité à quelques installations de lancement et entraîne des frais relativement élevés. En dépit de ces inconvénients, il s'est fait des recherches précieuses à l'aide de fusées et ce travail se poursuit.

La réalisation de satellites de la Terre et d'installations de lancement offrait un puissant moyen d'étude de la région au-delà de F₂. Pour la première fois, il devenait possible de sonder synoptiquement l'ionosphère par le dessus.

Les données recueillies par un satellite tel que l'Alouette I sont uniques en ce que chaque sondage mesure certains des paramètres du milieu ionosphérique dans une vaste gamme de profondeurs sous le satellite (700 kilomètres pour l'Alouette I). Les sondages sont effectués à des intervalles d'un degré de latitude environ sur la trajectoire du satellite. De la sorte, on obtient sur les variations spatiales du milieu qui entoure la terre en altitude, une mine de renseignements qu'aucune autre expérience ne saurait fournir.



Il avait été possible de réaliser un certain degré de sondage par le dessus de l'ionosphère, au moyen de fusées. Toutefois, ce n'est que depuis l'avènement des satellites et de leurs installations de lancement qu'il a été possible d'obtenir des renseignements complets sur la partie supérieure de l'ionosphère.

Les scientifiques affectés au programme canadien de satellites ont, dès le début, fait preuve d'initiative. Avant la tenue d'une conférence, en novembre 1958, l'Académie nationale des sciences (NAS) des Etats-Unis avait invité les groupes intéressés à soumettre des projets de sondeurs ionosphériques par le dessus (satellites renfermant un équipement analogue à celui des ionosondes mentionnées plus haut). Le Canada et les Etats-Unis présentèrent un certain nombre de propositions qui furent étudiées, notamment celle du Centre de recherches sur les télécommunications de la défense.

Les savants et les ingénieurs de ce centre avaient estimé que leur projet serait mieux accueilli s'il était d'une conception très avancée. En fait, il s'agissait d'un projet de "deuxième génération" utilisant un sondeur pouvant balayer une gamme de fréquences. Aucune des autres propositions ne comportait cette possibilité nouvelle.

En l'occurrence, toutes les propositions soumises par l'intermédiaire de la NAS aboutirent à une impasse. Cependant, alors que se déroulaient ces négociations, l'agent de liaison du Conseil de recherches pour la défense, à Washington, découvrait que l'Administration nationale de l'aéronautique et de l'espace (NASA), nouvellement créée, avait reçu un mandat s'étendant à des programmes étrangers de l'espace et qu'elle serait peut-être disposée à étudier une proposition du genre de celle que le CRTD venait de présenter à la NAS.

Le CRTD, qui avait élaboré avec soin son projet pour la NAS, était en mesure de présenter rapidement à la NASA un plan bien défini. Et il s'en suivit un accord sur un programme de sondage par le dessus.

Aux termes de l'entente initiale, le Canada se chargeait de concevoir et de construire le satellite, alors que la NASA fournissait les connaissances techniques selon les besoins, certaines installations d'essai, les fusées lanceuses, les installations de lancement et de poursuite, ainsi que huit stations de télémétrie pour recueillir les données du satellite. Et le Conseil de recherches pour la défense, qui avait consacré environ \$3 millions au programme Alouette I, confiait au CRTD la responsabilité de sa part du travail.

D'après les normes nord-américaines, l'Alouette I est considéré comme un satellite scientifique relativement gros. Il pèse 320 livres, son corps presque sphérique a un diamètre de 42 pouces et une hauteur de 32 pouces. Il gravite autour de la terre sur une orbite quasi circulaire et quasi circumpolaire à une altitude moyenne de 1000 kilomètres (600 milles) et il accomplit chaque révolution en 105.5 minutes.

On a choisi une telle orbite afin que le satellite puisse effectuer des sondages ionosphériques de jour, de nuit ainsi qu'au crépuscule. Le satellite se trouve parfois exposé à la lumière du soleil sur toute son orbite; à d'autres moments il se trouve dans l'ombre de la terre, du côté nuit, sur 40 p. 100 de son orbite. En fait, le plan orbital tourne, par rapport à l'axe terre-soleil, de telle sorte que l'orbite parcourt un cycle allant du plein soleil à 60 p. 100 d'ensoleillement et de nouveau au plein soleil. La durée du cycle est de trois mois.

A mesure que la terre tourne, chacune des révolutions successives de l'Alouette semble se déplacer de 25 degrés environ vers l'ouest. En un peu plus de 12 heures, il apparaît au-dessus de l'horizon de chaque océan et de chaque continent du monde.

On surveille avec intérêt cette apparition périodique en une douzaine d'endroits du monde. A ces points sont situées les stations de poursuite du réseau global qui commandent à l'Alouette ce qu'il doit faire et quand il doit le faire. Elles recueillent ensuite le fruit du travail de l'Alouette: des données sur l'ionosphère.

Lorsque le satellite monte au-dessus de l'horizon, une station de poursuite met en route son émetteur-récepteur de télémesure pour établir le contact. Elle le fait parfois dès que le satellite arrive en visibilité directe, quoiqu'il soit encore distant d'environ 3500 kilomètres (2,200 milles). En règle générale, cependant, les stations communiquent avec le satellite lorsqu'il arrive à moins de 2,200 kilomètres environ (1,400 milles), soit quelque 15 degrés au-dessus de l'horizon.

Alors que l'antenne orientable de la station terrienne suit le satellite qui traverse le ciel, un émetteur de télécommande à très hautes fréquences (VHF) lui transmet un message codé qui se compose d'une combinaison de sept tonalités audibles. On lui donne ainsi l'ordre de mettre en route son sondeur, d'indiquer l'état de ses batteries ou d'effectuer quelque autre expérience prévue. Dès que le satellite se met à effectuer des sondages ionosphériques, il en renvoie les résultats à la station terrienne par son émetteur de télémesure au fur et à mesure qu'il les obtient. De même, il peut mesurer les bruits radio-électriques d'origine cosmique, les signaux de très basse fréquence ou la présence de particules énergétiques.

S'il faut dire au satellite quand il doit commencer à travailler, il n'est pas nécessaire de lui dire de cesser. Il le fait automatiquement lorsqu'une horloge à bord a laissé s'écouler dix minutes. Il s'éloigne alors au delà de l'horizon vers sa prochaine mission.

Des scientifiques d'Ottawa prévoient avec soin chaque mission. Toutes les semaines, ils envoient le programme des activités prévues pour Alouette 1 à toutes les stations de poursuite du réseau mondial. Ils indiquent le lieu où le satellite se trouvera à un moment donné (on connaît les révolutions avec une grande précision) ainsi que les expériences qu'il effectuera à chaque passage. Ils donnent également des détails sur l'état de l'appareillage électronique de bord.

Les savants et les ingénieurs canadiens qui ont construit l'Alouette 1, ou le S-27, comme on l'a d'abord appelé, ont, au tout début, voulu confier au satellite un rôle bien déterminé: la mesure de l'état de l'ionosphère juste au-dessous du satellite à mesure qu'il gravitait autour de la terre. La proposition initiale soumise à la NASA ne mentionnait que cette expérience. Mais alors que le projet avançait, ses auteurs lui ajoutèrent trois expériences complémentaires qui représentaient certains raffinements de la tâche prévue pour l'engin spatial, mais n'apportaient aucune modification importante aux plans initiaux.

D'abord, une conception appropriée du récepteur du sondeur offrait la possibilité de mesurer les bruits cosmiques. Ensuite, l'incorporation d'un récepteur à très basses fréquences permettait "d'écouter" les bruits radioélectriques dans la gamme de fréquences allant de 1 à 10 kHz. Enfin, le Conseil national de recherches proposait une expérience pour la mesure des particules cosmiques primaires comme les électrons, les protons et les particules alpha, à l'extérieur des zones les plus denses de l'atmosphère terrestre. Par la suite, le CNR concevait et construisait l'équipement nécessaire à cette expérience.

Les objectifs scientifiques de ces expériences étaient très ambitieux. Aussi en est-il résulté un système complexe.

En fait, voici la mission qu'on confia aux ingénieurs canadiens: construire un laboratoire électronique miniature qu'on puisse lancer dans la haute atmosphère terrestre au sommet d'une fusée et qui effectue quatre genres différents de mesures scientifiques complexes dans un milieu plein de risques inconnus; le construire de façon qu'il fonctionne pendant au moins un an et, de plus, faire vite.

Il fallait à tout prix éviter un échec catastrophique qui eût mis fin aux expériences: un système complexe d'une extrême fiabilité devrait être créé.

Les ingénieurs de l'Alouette obéirent donc à tout moment à cet important principe: si vous croyez que le système n'est pas sûr, modifiez-le. C'est exactement ce qu'ils firent, résolus à laisser au hasard aussi peu de choses que possible. Les essais, repris fréquemment, même quelques jours avant le lancement, nécessitèrent même le remplacement de pièces après que l'engin spatial eût été soumis à des épreuves de vol simulé.

Ce "jeu serré", que les créateurs de l'Alouette appelèrent "conception prudente", empêcha, à de nombreux points de vue, que l'engin ne connût une fin prématurée. Il ne s'ensuit pas que l'Alouette I n'était pas lors de son lancement un appareil très perfectionné. Dans sa construction intervenaient de nombreux composants issus des techniques les plus évoluées.

Rappelons que l'Alouette I présentait alors une innovation dans la conception des engins spatiaux: son antenne était la plus longue connue à l'époque. Son succès fut tel qu'on l'a utilisée depuis sur de nombreux satellites des États-Unis. Il s'agit d'une antenne comprenant deux éléments déployables et mesurant 150 pieds de bout en bout. Une seconde paire de dipôles, mesurant 75 pieds au total, était placée perpendiculairement à la première.

Les exigences de l'expérience, qui comportait l'utilisation d'un sondeur ionosphérique, avaient dicté la longueur de ces antennes. Mais comment mettre sur orbite une telle structure. Lancer un satellite muni d'aussi longues tiges partant des côtés de l'engin était manifestement impossible. Même au repos ces tiges s'effondreraient sous leur poids. Comment alors pourraient-elles résister à l'accélération et au frottement de l'air?

Une invention d'un ingénieur du Conseil national de recherches, restée sans suite pendant 20 ans, apportait la solution au problème. Le satellite serait lancé antennes repliées à l'intérieur et celles-ci ne seraient déployées qu'après la satellisation.

Le principe est analogue à celui du ruban à mesurer en acier. Le ruban, légèrement concave, est enroulé sur une bobine à l'intérieur d'un petit boîtier. Lorsqu'on le sort, il est semi-rigide. Dans le cas de l'antenne de l'engin spatial, le ruban est fait d'acier pré-formé ayant subi un traitement thermique spécial. Il mesure environ 0.004 pouce d'épaisseur sur 4 pouces de largeur et est enroulé à plat sur un cylindre, à l'intérieur de l'engin. Pour le déployer, on le pousse à travers un orifice circulaire d'où il sort sous forme tubulaire, les bords se recouvrant. On obtient donc un tube continu, semi-rigide, d'un peu moins d'un pouce de diamètre.

C'est une société canadienne qui a mis au point ce dispositif et qui a collaboré avec le CRTC dans son application au satellite. Une antenne de char d'assaut, déployée à l'aide d'une manivelle, était à l'origine du dispositif. La réalisation d'un système entièrement automatique qui résisterait à des conditions extrêmes et dont dépendrait une grande partie du succès de la mission de l'engin nécessita beaucoup de travail tant des ingénieurs du gouvernement que de leurs homologues de l'industrie.

Le mécanisme de déploiement utilisé pour l'Alouette était de conception simple, mais il devait offrir toute garantie de sécurité. Dès que l'engin se séparerait de la fusée, un microrupteur actionnerait un moteur électrique couplé à la bobine d'enroulement. L'antenne sortirait au complet, sous forme de tube, à raison de deux pouces environ par seconde.

Ce type particulier présente deux avantages énormes: 1^o il est léger, l'ensemble comprenant 75 pieds de tube enroulé à l'intérieur, pèse au plus dix livres; 2^o il occupe peu d'espace à l'intérieur de l'engin spatial. Les éléments sont également très solides, ce qui est d'extrême importance lors du déploiement alors que le satellite accomplit 122 révolutions par minute. Dans ces conditions, le déploiement oblige à modifier le moment d'inertie du corps en rotation et une force considérable agit sur les éléments.

L'essai au sol fut difficile. En raison de la gravitation, inexistante en orbite, il fallut recourir à un système complexe de câbles et de poulies pour supporter les tubes lors du déploiement.

Il ne restait plus qu'à Dame fortunée d'être bien lunée. On avait posté dans l'Océan indien un navire de poursuite qui était chargé de contrôler le déploiement des antennes mais, au moment critique, des ennuis d'équipement et de fonctionnement surgirent à bord. Les Canadiens furent donc tenus en haleine jusqu'à l'arrivée d'un message de la station de poursuite de Johannesburg (Afrique du Sud), annonçant que les antennes commençaient à se déployer. On s'assura ultérieurement que le déploiement avait été complet.

Le groupe générateur, partiellement situé sur l'enveloppe extérieure de l'Alouette, comprend 6,480 piles solaires, minces feuilles de silicium (environ 1/2 pouce sur 1 pouce) qui transforment les rayons solaires en énergie électrique et chargent les batteries à l'intérieur du satellite. Ces piles sont réparties sur presque toute la surface extérieure.

Pour fournir un courant de charge suffisant, il faut que le même nombre de piles environ soit éclairé, quelle que soit l'orientation du satellite par rapport au soleil. C'est pourquoi on a donné une forme aussi sphérique que possible à l'Alouette. L'aire de la surface et, par suite, les

dimensions de l'Alouette, ont également été déterminées par les besoins en énergie de l'équipement électronique. Pour pouvoir porter le nombre de piles nécessaire, il fallait à l'engin une surface extérieure de 2,000 pouces carrés. Le quart seulement de cette surface totale est éclairée du côté du soleil, de sorte que le nombre de piles solaires chargeant effectivement les batteries n'est que d'environ 1,620.

La forme quasi sphérique de l'Alouette était souhaitable à un autre point de vue, celui de la régulation de la température. La plupart des composants électroniques sont sensibles aux variations de température et leurs caractéristiques de fonctionnement peuvent varier considérablement sous l'effet de grands écarts de température. Les piles solaires sont plus efficaces à froid. Pour chaque degré d'élévation de la température, elles peuvent perdre $\frac{1}{2}$ p. 100 de leur efficacité de charge. Elles doivent donc être suffisamment exposées à la lumière solaire pour remplir leur fonction. L'exposition ne doit pas cependant en provoquer le surchauffement.

Le problème était partiellement résolu du fait que l'Alouette était conçu de façon à avoir une faible rotation de stabilisation, soit environ deux tours par minute. Ceci devait éviter en même temps le risque de "points chauds" sur la face extérieure, par suite d'une surexposition d'un côté quelconque à la lumière directe du soleil. On pouvait répartir judicieusement les températures sur l'enveloppe extérieure.

On a eu recours à un autre moyen de régulation des températures du revêtement en couvrant les piles de pièces de verre minces comme du papier, et pouvant agir comme isolants thermiques tout en laissant passer la lumière. Ces pièces de verre pouvaient également protéger les piles solaires contre les effets des micrométéorites et les formes nuisibles du rayonnement. Garnies d'une couche spéciale non réfléchissante et à sélection spectrale, elles laissaient passer la lumière ultraviolette utilisée pour la transformation en électricité et filtraient les rayons infrarouges, cause de l'effet calorifique.

Les pièces de verre fixées sur les piles solaires par une colle à base d'époxyde, de même que la rotation du satellite, visaient à maintenir les températures des piles dans une gamme de -20° à $+50^{\circ}\text{C}$. Car on savait que la température des piles solaires pouvait monter par moments à 75°C . Cette gamme était trop large pour l'équipement intérieur. La plupart des composants électroniques sont normalement conçus pour supporter une température voisine de la température ambiante. Il était donc souhaitable d'isoler de l'extérieur l'équipement intérieur.

Les pièces de verre, les piles solaires et le revêtement en aluminium firent partie de l'isolation. De plus, la face interne de l'enveloppe fut garnie de mylar aluminisé, avec interposition de papier en fibre de verre (appelé couverture kropschot). Les relevés de température effectués automatiquement à l'intérieur du satellite et retransmis à la terre ont indiqué que les températures de l'équipement sont restées voisines de celles qu'on avait prévues, soit entre 4° et 30°C .

Les ingénieurs affectés au projet ont consacré temps et énergie à la conception thermique du satellite, car la température influe sur presque tous les composants. Le mode de régulation de la température qu'ils adoptèrent porte le nom de régulation passive par opposition à régulation active. Ce dernier mode fait appel à des ailettes actionnées automatiquement, à des stores et à des commutateurs thermiques qui règlent la quantité de chaleur qui circule entre l'enveloppe extérieure et l'équipement intérieur. Bien que la régulation active soit plus efficace, elle peut même maintenir la température de l'enveloppe extérieure à moins de 40°C, les constructeurs de l'Alouette la rejetèrent en raison de sa fiabilité douteuse. La conception d'ensemble du satellite se prêtait à une tolérance de variations de température plus prononcées.

Les considérations de température ont même déterminé l'heure du lancement de l'Alouette I. Le lancement s'est effectué dans l'ordre suivant: après le décollage et une montée verticale, une manoeuvre en roulis, suivie d'une manoeuvre en tangage et en lacet, ont amené sur la trajectoire désirée la fusée Thor-Agena portant le satellite, le véhicule poursuivant sa route jusqu'à ce qu'il ait atteint la vitesse requise. Puis le moteur Thor s'est arrêté et le véhicule a continué son vol sans propulsion pendant une demi-minute. A ce moment, de petites charges explosives ont séparé l'Agena et le satellite du Thor. Le moteur Agena a été mis à feu et pendant ses deux minutes et demie de combustion, le revêtement protecteur de l'engin spatial a été éjecté. Le véhicule et l'engin spatial se trouvaient alors sur une trajectoire elliptique qui devait les amener à l'altitude orbitale définitive. Une deuxième mise à feu de la fusée Agena, qui a duré trois ou quatre secondes, a placé le véhicule sur son orbite définitive. Après le deuxième arrêt du moteur, on a donné à l'engin une rotation d'environ 122 tours par minute et il s'est séparé de l'Agena, à l'aide d'un mécanisme à ressort, une heure environ après le décollage.

Les constructeurs de l'Alouette ont fait en sorte que la plupart des opérations de la première heure s'effectuent dans l'obscurité. On s'était rendu compte qu'au cours des 48 minutes de vol non propulsé, après le premier arrêt du moteur Agena, l'engin spatial serait entièrement exposé, mais que n'étant pas encore entré en rotation, la chaleur solaire ne serait pas répartie sur l'enveloppe. C'est pour cette raison qu'on a choisi une heure de lancement qui a permis au satellite d'être dans l'ombre de la terre au cours de sa montée.

On ne pouvait toutefois éviter un certain échauffement des piles solaires au cours de la montée. Lors de l'éjection du revêtement protecteur, le véhicule n'aurait atteint qu'une altitude approximative de 180 kilomètres (100 milles). A cette altitude, le véhicule, portant l'engin spatial à l'avant, pouvait parcourir, avait-on calculé, 27,000 pieds par seconde, vitesse suffisant à provoquer un certain échauffement aérodynamique, même si l'atmosphère est très raréfiée à cette altitude. Comme on savait peu de choses sur la densité et la composition réelles de l'atmosphère à cette altitude, les ingénieurs ne purent donc qu'établir une approximation de la quantité de chaleur qui en résulterait. Le panneau solaire de l'engin qui

faisait face à l'avant pourrait, semblait-il, atteindre une température d'environ 70°C par suite de l'échauffement aérodynamique. Ils n'ont jamais pu s'assurer si cela s'était effectivement produit, car à ce stade l'engin spatial était hors de portée de toute station de télémessure et tout contrôle des températures de l'enveloppe était impossible.

Un autre élément a contribué à déterminer l'heure du lancement: le désir des savants d'obtenir un aussi grand nombre de sondages que possible lors des premières révolutions, au cas où l'équipement électronique tomberait en panne au début. Toute l'énergie disponible serait alors nécessaire. Par la suite, il fallait aussi que l'éclaircissement des piles solaires soit suffisant pour maintenir la charge des batteries. En même temps, les ingénieurs ne voulaient pas risquer de trop exposer l'engin spatial au soleil au tout début, au moins pas avant d'avoir la certitude absolue que le système passif de régulation de la température fonctionnerait. C'est pourquoi on décida de lancer le satellite à un moment où il recevrait d'abord un peu d'ombre, soit environ 30 p. 100 pendant les quelques premières révolutions et progressivement plus de soleil au cours des révolutions suivantes.

La fenêtre de lancement choisie (période durant laquelle le lancement est possible eu égard aux objectifs visés) allait de 11h30 du soir à 1h30 du matin, heure avancée du Pacifique, dans la nuit du 28 au 29 septembre.

La température ne constituait que l'un des nombreux problèmes auxquels étaient en butte les ingénieurs. D'une manière générale, ils devaient réaliser un ensemble qui résisterait aux contraintes du lancement et à l'espace inhospitalier, tout en protégeant l'équipement électronique. Chacune de ces considérations a influé sur la construction définitive.

En dépit du recours aux meilleures techniques de conception, un élément important d'approximation subsistait. Les constructeurs de l'Alouette en étaient pleinement conscients, et c'est ce qui explique dans une grande mesure la façon dont ils ont abordé leur tâche.

Ainsi, lorsque le premier modèle de la structure a été soumis aux essais de vibration, il vibrait trop à certaines fréquences. On a donc dû le renforcer au moyen d'entretoises.

Les matériaux de construction qu'on croyait relativement à l'abri des radiations à l'époque comprenaient le micarta, l'époxyde au polyuréthane, le téflon, le mylar aluminisé, le papier en fibre de verre sans colle, la peinture au FeO à base d'époxyde et la peinture au TiO₂ à base de polyuréthane. Certains de ces matériaux étaient assez complexes. Il y en avait cependant un qui l'était vraiment peu: le papier d'emballage commercial brun.

Pour faire face à l'état voisin du vide de l'espace, il faut éviter l'emploi de matériaux à pressions partielles très élevées qui se subliment facilement. C'est pourquoi la structure de l'Alouette fut conçue entièrement en aluminium avec attaches en acier et en acier inoxydable. On n'utilisa la graisse et l'huile que dans les roulements à billes étanches des mécanismes de déploiement des antennes. Ceux-ci ne devaient fonctionner qu'une seule fois, pour déployer les antennes, et ce qui leur arrivait par la suite importait peu.

L'état voisin du vide ne pourrait en fait, croyait-on, que faire plus de bien que de mal à l'aluminium utilisé pour l'Alouette. Les surfaces d'aluminium sont normalement couvertes d'une fine couche d'oxyde qui se forme à l'exposition de ce métal à l'air. Ces oxydes exercent un effet de coin dans les minuscules fissures entre les grains de la surface, ce qui provoque des tensions superficielles très concentrées. Dans un vide élevé, les oxydes s'évaporent. Les ingénieurs étaient donc d'avis que, dans l'espace, la résistance à la fatigue de l'aluminium s'améliorerait probablement avec le temps.

Le système électronique de l'engin spatial fut réalisé en éléments distincts, enrobés de mousse de polyuréthane dans des boîtes d'aluminium. Ce procédé lui assurait de la rigidité et en amortissait les vibrations.

L'emplacement des boîtes à l'intérieur de l'engin a dans une large mesure été déterminé par tâtonnements. On a constaté que c'était le moyen le plus pratique de trouver des compromis entre des considérations telles que la facilité d'accès, l'équilibrage et le brouillage électronique.

Les ingénieurs n'ont pas cherché à obtenir le maximum d'efficacité en fait d'emballage et de poids. La facilité de démontage et le remplacement des pièces pour les essais ont constitué un critère important dans la conception de l'emballage. Ils ont utilisé tout l'espace disponible, déterminé par la surface extérieure nécessaire aux piles solaires, plutôt que par l'espace nécessaire aux boîtes d'équipement électronique à l'intérieur.

Une miniaturisation poussée des éléments électroniques ne s'imposait pas du point de vue de l'emballage. Elle était cependant souhaitable au point de vue électronique. Les microéléments électroniques offrent généralement l'avantage d'une grande fiabilité et d'une faible consommation d'énergie. Les systèmes électroniques, entièrement transistorisés, présentaient donc la fiabilité et l'efficacité des dispositifs à semi-conducteurs, bien supérieures à celles des tubes. Il ne fut pas facile de trouver des transistors appropriés. L'émetteur du sondeur de l'Alouette devait produire des impulsions d'ondes radio assez fortes. Les calculs réservaient une faible marge aux effets d'absorption dans l'ionosphère. L'autre solution, qui consistait à utiliser des tubes à vide, aurait assuré une plus grande puissance, mais aurait entraîné une plus grande consommation d'énergie, imposé un poids plus élevé et nécessité plus d'espace. On a opté pour l'émetteur à semi-conducteurs, plus fiable et plus efficace, en se rappelant que l'absorption ionosphérique ne pourrait influencer sur les sondages que dans les pires conditions. En fait, certains essais effectués à l'aide de fusées ont démontré que le dispositif à semi-conducteur garantirait une marge suffisante dans des conditions défavorables. Les ingénieurs ont néanmoins été obligés de chercher passablement pour trouver des transistors qui accompliraient la tâche en toute sécurité; le choix n'était pas très vaste, car ils avaient presque atteint les limites imposées par la technique des transistors à cette époque.

La complexité des systèmes électroniques de l'Alouette est partiellement due au désir d'éviter les défaillances. On a eu recours dans une large mesure à la redondance des composants électroniques, c'est-à-dire à l'incorporation de pièces de rechange qui entrent en jeu en cas de panne des organes principaux. La complexité s'est également manifestée dans la construction des systèmes électroniques; la nécessité de construire des circuits individuels enfermés dans des boîtes distinctes a posé aux ingénieurs le problème des interconnexions sûres.

Mais construire le satellite Alouette était compliqué dès le départ, tout simplement à cause de la nature de sa tâche. Le sondeur ionosphérique était le système le plus complexe. Sa fonction consiste à mettre en marche et à arrêter alternativement son émetteur et son récepteur, successivement et très rapidement, pour émettre et capter de courtes impulsions d'ondes radio.

Chaque émission ne dure que 0.0001 seconde. Puis 0.0001 seconde après l'arrêt de l'émetteur, le récepteur s'allume et attend que l'impulsion voyage dans l'ionosphère, soit réfléchi et revienne. Le récepteur fonctionne chaque fois pendant un peu moins de 0.016 seconde. Lorsqu'il s'arrête, l'émetteur se remet en route. Le processus total se répète 62 fois par seconde. L'intervalle de réception est suffisamment long pour que l'impulsion parcoure plus de 2,500 kilomètres (1,600 milles). Quoique la surface réfléchissante se trouve toujours dans cette limite, les signaux peuvent ne pas prendre un trajet en ligne directe et aller beaucoup plus loin. A l'autre extrême, le sondeur ne peut détecter de couches réfléchissantes plus proches que 35 kilomètres (22 milles).

La fréquence de l'impulsion d'ondes radio émise va de 0.5 à 12 MHz. L'émetteur et le récepteur "balayent" cet intervalle en 12 secondes environ toutes les 18 secondes.

Il a fallu incorporer des circuits passablement complexes à l'équipement électronique pour qu'il puisse remplir ce rôle. Il devait être en mesure de "marcher" avec précision et de transformer son émission de telle sorte qu'elle puisse être transmise par radio à la terre.

L'équipement nécessaire aux autres expériences était bien moins compliqué. L'expérience sur le bruit cosmique voulait essentiellement mesurer l'intensité des signaux de "fond" captés par le sondeur. Certains de ces signaux se présentent de façon sporadique et semblent être associés à l'activité solaire. Outre le bruit solaire, il existe des émissions continues de bruits provenant de la Galaxie dans son ensemble. Le récepteur à très basses fréquences est un autre appareil relativement simple qui mesure les signaux radio naturels de fréquences comprises entre 400 et 10,000 Hz. L'expérience sur les particules comprenait six détecteurs de particules assez courants, entre autres de compteurs Geiger, qui mesuraient les intensités des électrons, des protons, des particules alpha et des particules plus lourdes. C'est le Conseil national de recherches qui a fourni cet équipement.

Les longues antennes du sondeur ne sont pas les seules saillies de la coque de l'engin spatial. Il y a également quatre antennes courtes sur le dessus du satellite, orientées à 45 degrés vers le haut dans quatre directions différentes. C'est par leur intermédiaire que fonctionne le système de télémesure de l'engin.

Le rôle du système de télémesure, qui consiste à renvoyer à la terre les données découlant des expériences et les données sur l'entretien, était considéré comme si important que deux émetteurs séparés avaient été installés. Grâce à cette redondance, un émetteur serait disponible si l'autre venait à tomber en panne, mais en réalité les deux ont été utilisés.

En raison des limites imposées par les règlements internationaux des radiocommunications à la quantité de données pouvant être transmises à la fois, un émetteur aurait à peine suffi. En utilisant les deux, on a accru la capacité totale d'émission d'environ 50 p. 100. En outre, la vitesse des bandes d'enregistrement des stations terriennes pouvait être plus faible que si un seul émetteur était employé. Ce point avait une certaine importance en raison des frais élevés qu'entraînait l'approvisionnement en bandes de 13 stations terriennes.

L'un de ces émetteurs n'a été construit que quelques mois avant le lancement. A l'origine, l'achat d'un tel appareil ne semblait pas présenter de difficultés, car plusieurs fabricants le vendaient. On s'est vite rendu compte que "la publicité avait devancé la technique". Les émetteurs qui étaient sur le marché n'étaient pas assez bons. Un fabricant canadien, pressenti au dernier moment, lança un programme d'urgence et présenta juste à temps un émetteur qui dépassait même les prétentions de la publicité antérieure des concurrents.

Outre les données des expériences, les émetteurs de télémesure devaient transmettre ce qu'il est convenu d'appeler les données sur l'entretien, c'est-à-dire des renseignements sur la situation à l'intérieur du satellite, par exemple la tension des batteries, les courants de charge solaire et les températures.

D'une manière ou d'une autre, il fallait choisir ces données dans l'engin spatial avant de pouvoir les transmettre. Le GrFD mit au point un dispositif électronique spécial, appelé commutateur, qui prend rapidement des échantillons dans tout le satellite. Ce commutateur permet à l'Alouette de prendre sa propre température en onze endroits différents, de vérifier ses sept batteries, de mesurer les tensions en huit endroits au moins et d'effectuer plusieurs autres mesures, 29 au total, le tout en moins de deux secondes. Les ingénieurs au sol ont besoin de tous ces renseignements pour pouvoir repérer les dérangements et être en mesure d'indiquer au satellite ce qu'il doit faire.

Cette possibilité de télécommande était tout particulièrement importante. En principe, elle était nécessaire parce que le fonctionnement de tous les appareils expérimentaux nécessitait au moins deux fois autant de puissance que ne pouvaient en fournir les piles solaires au cours de 60 p. 100 d'une révolution autour du soleil. Il fallait donc pouvoir mettre en route et arrêter à distance les appareils d'expérimentation afin d'éviter une consommation excessive de courant. Les opérateurs du satellite Alouette voulaient également être en mesure de mettre en marche l'équipement de réserve, en cas de besoin, et de pouvoir, à leur gré, faire fonctionner le satellite alors que l'un quelconque ou la totalité des appareils expérimentaux seraient en marche ou arrêtés.

C'est le système de télécommande conçu pour le satellite qui a rendu tout cela possible. Les messages de télécommande furent codés sous la forme d'une succession de tonalités que recevait un récepteur spécial à bord du satellite. Ce récepteur pouvait trier les 40 différents ordres possibles, par exemple mettre en route et arrêter divers appareils expérimentaux, commuter des batteries ou mettre en action des éléments de réserve.

Si le défaut pour un signal de télécommande de déclencher une certaine fonction pouvait avoir des conséquences graves, le fait de ne pas arrêter un dispositif représentait un péril peut-être plus grand, car une forte consommation de courant pouvait s'ensuivre. Pour l'éviter, on incorpora un circuit de coupure automatique capable de couper toutes les sources d'alimentation dix minutes après leur entrée en action. On incorpora également au récepteur de télécommande des circuits spéciaux pour empêcher les signaux parasites de porter atteinte au satellite.

Le récepteur de télécommande fut l'un des deux systèmes du satellite conçus pour fonctionner sans interruption. L'autre est un émetteur de faible puissance qui émet un signal continu à l'aide d'une petite antenne, placée au sommet de l'engin, qui sert de radiophare de poursuite. Tous deux exigeaient une alimentation en énergie très sûre, car le satellite devait constamment rester à l'écoute pour pouvoir recevoir des ordres, et il aurait pu se perdre sans ce radiophare. Cette situation pouvait être tout particulièrement critique juste après le lancement, alors qu'on n'avait pas encore calculé l'orbite et que les stations terriennes avaient besoin d'un signal du satellite pour orienter leurs antennes. Le système de télécommande et le radiophare de poursuite furent branchés sur la même source de courant que les autres systèmes du satellite: six batteries rechargeables au cadmium-nickel. Toutefois, ils pouvaient toujours choisir automatiquement la batterie dont la tension était la plus haute.

Les autres systèmes électriques du satellite devaient être reliés à la source d'alimentation par télécommande. La disposition était telle qu'ils pouvaient s'alimenter à n'importe laquelle des quatre batteries et que chacune de celles-ci était alimentée par un réseau autonome de piles solaires. Deux autres batteries, gardées en réserve, pouvaient par télécommande entrer en action et remplacer n'importe laquelle des autres. Une septième batterie était réservée exclusivement au système de déploiement des antennes; elle devait également avoir une grande fiabilité. On la laissa se décharger lorsqu'elle eût accompli sa tâche.

Le principal facteur qui limiterait le fonctionnement du satellite serait, croyait-on, l'affaiblissement graduel des courants de charge provenant des piles solaires. Après les cinq premières années, leur comportement se rapproche sensiblement des prévisions. On s'attendait que la plus grande partie de cet affaiblissement interviendrait au cours des quelques premiers mois. C'est d'ailleurs ce qui s'est produit. Ensuite, les piles solaires ont continué à perdre de leur efficacité, mais l'allure de l'affaiblissement s'est progressivement ralentie et, après quelques années, il est devenu faible au point de ne plus exercer d'effets appréciables à court terme. On en a conclu que les piles solaires pourraient continuer à fonctionner pendant longtemps et qu'elles dureraient probablement plus longtemps que les autres composants.

L'affaiblissement des piles solaires est dû aux radiations. La création d'une ceinture de radiation artificielle par le Starfish Event, essai d'une bombe à hydrogène par les Etats-Unis au-dessus du Pacifique en juillet 1962, constitua un facteur imprévu qui affecta le fonctionnement des piles solaires. Elle provoqua une chute des courants de charge de l'Alouette, voisine des prévisions les plus pessimistes. Les constructeurs du satellite avaient fait preuve d'une extrême prudence dans le calcul des cotes de courant initiales, et c'est ce qui sauva le satellite.

Pendant un moment, un caprice du comportement de l'Alouette donna l'impression que sa durée de vie utile cesserait peu après son cinquième anniversaire. L'allure du ralentissement de la rotation du satellite était bien supérieure à celle qui avait été prévue. Avant sa séparation de la fusée, on l'avait fait tourner, et il s'était séparé en faisant 120 tours par minute. Le déploiement des antennes ralentissait la rotation à 1.4 tour par minute, ce qui était inférieur de deux tours par minute environ à la vitesse de rotation prévue. A l'époque, on avait calculé que la demi-vie de la rotation serait de six ans. En d'autres termes, au bout de six années, le satellite tournerait à la moitié de sa vitesse initiale, soit 0.7 tour par minute. Or, le satellite était déjà à cette vitesse au bout d'environ un an et demi. On croit qu'au bout de cinq ans l'Alouette a cessé de tourner, mais certaines données indiquent qu'il oscillait, à peu près comme un pendule de torsion. La perte d'une voie de télémétrie, due au mauvais fonctionnement d'un transistor, a empêché la lecture du détecteur d'attitude, de sorte que les spécialistes canadiens ne peuvent se prononcer de façon catégorique.

On crut aussi tout d'abord que ce mouvement d'oscillation finirait par cesser et que le satellite serait "capté" par la gravité. En l'occurrence, la plus longue antenne du sondeur pointerait vers la terre, ce qui pouvait entraîner la perte de nombreuses données de sondage. Par la suite, il devint évident que le mouvement d'oscillation se maintenait au lieu de diminuer.

L'arrêt de la rotation a conduit le Centre de recherches sur les télécommunications de la défense à entreprendre une étude importante sur le comportement des corps non rigides en orbite. Les savants et les ingénieurs soupçonnent les longues antennes d'être les coupables. Ils croient que, au lieu de se déployer en ligne droite, elles se sont repliées légèrement du fait de leur échauffement du côté du soleil. Ils ont étudié les conséquences compliquées que ce comportement aurait sur le mouvement du satellite dans l'espace et ils ont mis de l'avant une théorie qui correspond aux observations du comportement du satellite. Le mouvement d'oscillation du satellite est entretenu par le même mécanisme qui d'abord ralentit le mouvement de rotation.

Lors de la conception de l'Alouette, on s'est rendu compte qu'une défaillance catastrophique pourrait survenir n'importe quand, par exemple lorsqu'un météorite de belle taille défoncerait la coque. L'utilité du satellite pourrait également être sérieusement compromise par le claquage d'un composant quelconque, ce qu'on ne saurait prévoir. Quelques défaillances de moindre importance se sont en fait produites à la fin de la cinquième année, bien qu'elles n'aient pas eu d'effet appréciable sur l'utilité générale de l'engin spatial. Il y eut, par exemple, la défaillance d'un transistor due, croit-on, à des dommages causés par les radiations. Un des détecteurs de particules a cessé de fonctionner au bout d'un an; il avait cependant été conçu pour fonctionner pendant une année.

Même si le satellite eut cessé de fonctionner au bout d'un an, les savants pensent qu'ils en auraient eu plus que pour leur argent. L'analyse et l'interprétation des données recueillies par l'Alouette, disent-ils, a beaucoup ajouté à nos connaissances sur l'ionisation de la haute atmosphère. Grâce à lui, on a fait des progrès notables dans la compréhension des processus physiques qui affectent le comportement de l'atmosphère.

On ne savait presque rien de la haute atmosphère au-dessus d'environ 300 kilomètres (200 milles) lors du lancement de l'Alouette I. Il devint évident, peu après le lancement, que même les hypothèses très simplifiées qui avaient antérieurement cours sur la physique intéressant cette région étaient dans une large mesure inexactes.

La découverte d'une bande de bruits radioélectriques de très basse fréquence qui se présente à des époques particulières sur une grande partie de la terre a révélé beaucoup de choses sur la composition et la température de la haute atmosphère. Certains enregistrements montrent de façon saisissante comment les ondes radio à haute fréquence sont "guidées" par le champ magnétique terrestre. Les ondes radio peuvent suivre les lignes du champ magnétique pendant près de 10,000 kilomètres (6,000 milles) et faire jusqu'à quatre trajets entre les hémisphères nord et sud avant de revenir à la terre.

L'Alouette a été le premier engin spatial à détecter certaines "crêtes" d'ionisation bien définies au-dessus de l'équateur magnétique. Alignées, semble-t-il, sur le champ magnétique, elles forment un dôme au-dessus de l'équateur. On a découvert des plaques ou bancs d'ionisation dense dans les régions polaires et à l'équateur. Un étrange "creux", manque d'ionisation, existe à une altitude d'environ 150 kilomètres (150 milles) sous des latitudes voisines de celle d'Ottawa. L'emplacement de ce creux, comme bien d'autres phénomènes de l'ionosphère, semble dépendre d'événements qui se produiraient sur le soleil. L'Alouette a mesuré des sursauts d'énergie électromagnétique avant leur origine sur cet astre. Auparavant, on n'avait mesuré aucun effet de la couronne solaire aussi près de la source.

Le fonctionnement continu de l'Alouette I depuis 1962 a fourni un ensemble de données qui couvre, avec les mêmes appareils de mesure, plus de la moitié d'un cycle solaire (en passant par le minimum et en allant presque jusqu'au maximum de l'activité solaire). Ces données ont pour la première fois permis de faire des études sur les variations à long terme dans la haute atmosphère ionisée au fur et à mesure que le soleil devient plus actif. De plus, l'existence d'une quantité considérable de données s'étendant largement sur un cycle solaire complet permet de confirmer et de mieux comprendre certaines découvertes de l'Alouette I et des autres satellites lancés par la suite.