Plan de gestion pour la
Zone spécialement protégée de l'Antarctique (ZSPA) n° 122
HAUTEURS ARRIVAL, PÉNINSULE HUT POINT, ÎLE DE ROSS

Introduction

La Zone spécialement protégée de l'Antarctique (ZSPA) des hauteurs Arrival se situe à proximité de l'extrémité sud-ouest de la péninsule Hut Point, sur l'île de Ross, aux coordonnées 77° 49' 41.2" de latitude sud et 166° 40' 2.8" de longitude est, et couvre une superficie d'environ 0,73 km^2. Le principal motif de désignation de la Zone est sa valeur en tant que site propice à l'étude de la haute atmosphère, car connaissant peu de perturbations électromagnétiques, ainsi que sa proximité du soutien logistique. La Zone est utilisée pour un certain nombre d'autres études scientifiques, notamment la surveillance des gaz présents à l'état de trace, les études aurorales et géomagnétiques et les études portant sur la qualité de l'air. À titre d'exemple, citons la longévité et la qualité des nombreuses données atmosphériques qui confèrent à la Zone sa haute valeur scientifique. Depuis sa désignation en 1975, de nombreux projets se sont déroulés dans la Zone ou à proximité de celle-ci, qui ont pu détériorer les conditions de faibles perturbations électromagnétiques des hauteurs Arrival. L'interférence générée par ces activités semble avoir un impact suffisamment faible sur les expériences scientifiques pour être acceptable, bien qu'un examen approfondi du niveau d'interférence soit actuellement en cours. La Zone est utilisée en permanence en raison de ses caractéristiques géographiques, de l'horizon dégagé bas, de la pureté de l'air, de sa proximité avec l'appui logistique et du coût élevé qu'entraînerait son déplacement. La Zone a été proposée par les États-Unis d'Amérique et adoptée par le biais de la Recommandation VIII-4 [1975, Site d'intérêt scientifique particulier (SISP) nº 2] ; la date d'expiration a été prorogée par les Recommandations X-6 (1979), XII-5 (1983), XIII-7 (1985), et XIV-4 (1987), la Résolution 3 (1996) et la Mesure 2 (2000). La Zone a été rebaptisée et renumérotée par la Décision 1 (2002); un plan de gestion révisé a été adopté par la Mesure 2 (2004) et de la Mesure 3 (2011). La dégradation des conditions de faibles perturbations électromagnétiques dans la Zone a été reconnue par la Recommandation XXIII-6 (1994) du SCAR.

La Zone se situe au sein de l'« Environnement S - Géologie de McMurdo - Terre Victoria du Sud », tel que défini dans l'Analyse des domaines environnementaux pour l'Antarctique (Résolution 3, 2008). D'après la classification des Régions de conservation biogéographiques de l'Antarctique (Résolution 6, 2012), la Zone se trouve dans la RCBA9 - Terre Victoria du Sud.

1. Description des valeurs à protéger

Une Zone des hauteurs Arrival a initialement été désignée dans la Recommandation VIII-4 (1975, SISP nº 2), à la suite d'une proposition émise pas les États-Unis d'Amérique fondée sur le fait qu'il s'agissait d'un « site naturel peu perturbé au niveau électromagnétique , offrant des conditions idéales pour l'installation d'instruments sensibles conçus pour capter des signaux extrêmement faibles dans le cadre de programmes d'étude de la haute atmosphère. » Par exemple, des enregistrements électromagnétiques ont été menés aux hauteurs Arrival dans le cadre d'études scientifiques de longue durée, qui ont permis d'obtenir des données d'excellente qualité en raison des caractéristiques uniques de la situation géographique du point de vue du champ géomagnétique, associées à des taux d'interférence électromagnétique relativement faibles. Les conditions de faibles perturbations électromagnétiques et la durée considérable de la collecte de données aux hauteurs Arrival rendent les données obtenues particulièrement précieuses d'un point de vue scientifique.

Au cours des dernières années, l'augmentation des opérations scientifiques et de soutien associées à la base Scott et à la station McMurdo a accentué les niveaux de bruits électromagnétiques générés localement aux hauteurs Arrival et il a été reconnu que les conditions de faibles perturbations électromagnétiques avaient été quelque peu dégradées par ces activités, comme l'identifie la Recommandation XXIII-6 (1994) du SCAR.

Les recherches scientifiques menées dans la Zone semblent se dérouler à un niveau d'interférence électromagnétique (IEM) suffisamment faible, provenant d'autres activités conduites aux alentours. Les buts et objectifs décrits dans le plan de gestion des hauteurs Arrival demeurent donc pertinents. Toutefois, de récentes visites de site et l'installation de nouveaux instruments ont indiqué la présence marquée de bruit très basse fréquence (TBF), dans une plage de 50 Hz à 12 kHz, émanant de sources situées en dehors de la Zone

(très probablement les éoliennes installées à environ 1 km de la Zone). Des preuves indiquent également une augmentation du bruit à TBF dans les fréquences situées entre 12 et 50 kHz, qui provient probablement de l'intérieur de la Zone, par exemple de la configuration et de la mise à la terre du réseau d'alimentation électrique, ainsi que de la prolifération d'éléments tels que des systèmes d'alimentation sans coupure (ASC). Les communautés scientifiques américaine et néo-zélandaise qui mènent des projets aux hauteurs Arrival, procèdent actuellement à une analyse détaillée des causes possibles de ces interférences électromagnétiques (IEM), dans le but d'émettre des recommandations pratiques visant en à atténuer les effets potentiels.

En dépit de ces observations, les caractéristiques géographiques initiales du site, comme sa situation élevée et sa vue dégagée, la morphologie du cratère volcanique, et la proximité immédiate du soutien logistique complet de la station Mc Murdo toute proche (américaine), à 1,5 km au sud, et de la base Scott (néo-zélandaise), située à 2,7 km au sud-est, constituent toujours des valeurs qui rendent la Zone précieuse pour les études sur la haute atmosphère et sur l'échantillonnage de la couche limite de l'air. En outre, il existe des contraintes scientifiques, financières et pratiques associées à toute proposition de déplacement de la Zone, ainsi que des installations qui s'y trouvent. L'option de gestion préférée à l'heure actuelle consiste donc à réduire autant que possible les sources d'IEM, et d'effectuer un suivi régulier de ces niveaux afin d'identifier et de faire face à toute menace significative posée aux valeurs du site.

Depuis sa première désignation, le site a servi à d'autres programmes scientifiques qui bénéficient des restrictions d'accès mises en place au sein de la Zone. La vue dégagée et l'isolement relatif des activités (p. ex. les mouvements de véhicules, les gaz d'échappement de moteurs) se sont plus révélés particulièrement utiles pour mesurer les gaz à effet de serre, les gaz à l'état de trace tels que l'ozone, pour les études sur les particules spectroscopiques et particulaires de l'air, les études sur la pollution, ainsi que les études aurorales et géomagnétiques. Il est important que ces valeurs soient protégées en conservant la vue dégagée et que les émissions de gaz anthropiques (en particulier les émissions gazeuses et d'aérosol à long terme provenant de sources comme les moteurs à combustion) soient réduites au minimum, et si possible évitées.

Par ailleurs, le statut protégé des hauteurs Arrival a également eu pour effet de limiter l'étendue et l'ampleur des perturbations physiques au sein de la Zone. Par conséquent, les caractéristiques des sols et du paysage sont bien moins perturbées que dans les zones environnantes de Hut Point, où la station s'est agrandie. En particulier, les polygones à coins sableux sont bien plus répandus qu'ailleurs aux alentours de Hut Point, puisqu'ils recouvrent une zone d'approximativement 0,5 km^2. La nature relativement intacte de l'environnement des hauteurs Arrival rend la Zone précieuse pour les études comparatives d'impact associées aux évolutions qu'a connues la station, et précieuse en tant que référence pour les modifications envisagées. Ces valeurs supplémentaires constituent également des raisons importantes qui ont commandé la protection spéciale des hauteurs Arrival.

La Zone continue de présenter une haute valeur scientifique grâce à un éventail de données atmosphériques de grande qualité sur le long terme qui ont été collectées sur ce site. Malgré le potentiel d'interférence reconnu émanant de sources locales et proches, les séries de données à long terme, l'accessibilité du site pour effectuer des observations tout au long de l'année, ses caractéristiques géographiques, et le coût élevé d'un transfert, justifient la protection continue et renforcée du site. La vulnérabilité de ces recherches aux perturbations causées par la pollution chimique et auditive, en particulier les interférences électromagnétiques, et aux changements potentiels qui pourraient troubler la vue dégagée ou la luminosité lors de l'utilisation des instruments est telle que cette zone requiert une protection spéciale constante.

2. Buts et objectifs

La gestion aux hauteurs Arrival vise à :

- prévenir toute détérioration ou tout risque de détérioration des valeurs de la Zone en empêchant toute perturbation anthropique inutile de ladite Zone ;
- permettre la recherche scientifique dans la Zone, notamment celle consacrée à l'atmosphère, tout en veillant à ne pas utiliser la Zone à des fins incompatibles avec le présent plan de gestion et à ne pas installer de matériel non surveillé susceptible de porter préjudice aux recherches menées dans la Zone ;

- réduire au minimum la génération possible d'interférences excessives dues au bruit électromagnétique à l'intérieur de la Zone en réglementant le type, la quantité et l'utilisation des équipements qui peuvent être installés et utilisés dans la Zone ;
- éviter la dégradation du champ de vision sur l'horizon et l'ombre que les installations peuvent porter sur les instruments qui utilisent les géométries de visée liées au soleil et au ciel ;
- éviter/atténuer autant que faire se peut les émissions gazeuses et d'aérosols anthropiques provenant entre autres des moteurs à combustion interne dans l'atmosphère de la Zone ;
- encourager la prise en compte des valeurs de la Zone dans la gestion des activités environnantes et des utilisations du terrain, en particulier pour le suivi des niveaux, et encourager également à réduire au minimum les sources de rayonnement électromagnétique susceptibles de compromettre les valeurs de la Zone ;
- permettre un accès pour l'entretien, la modernisation et la gestion des équipements scientifiques et de communication situés à l'intérieur de la Zone ;
- permettre, à des fins de gestion, des visites à l'appui des buts et objectifs du plan de gestion ; et
- permettre, à des fins pédagogiques et de sensibilisation, des visites liées aux études scientifiques menées dans la Zone et qui ne peuvent être effectuées ailleurs.

3. Activités de gestion

Les activités de gestion suivantes devront être entreprises en vue de protéger les valeurs de la Zone :

- des panneaux indiquant l'emplacement et les démarcations de la Zone avec des indications claires concernant les restrictions d'accès seront placés à des lieux appropriés, aux limites de la Zone afin d'éviter toute entrée inopportune. Les panneaux devront comporter l'instruction de ne pas effectuer de transmissions radio et d'éteindre les phares des véhicules à l'intérieur de la Zone, à moins que cela ne soit nécessaire en cas d'urgence.
- Des panneaux indiquant l'emplacement de la Zone (établissant les restrictions spéciales qui s'appliquent) seront mis en évidence, et un exemplaire de ce plan de gestion sera mis à disposition, dans les principales installations de recherche dans la Zone, ainsi qu'à la station McMurdo et à la base Scott.
- Les bornes, les panneaux et autres structures mis en place dans la Zone à des fins scientifiques ou de gestion devront être solidement fixés, maintenus en bon état et retirés lorsqu'ils ne seront plus nécessaires ;
- Des visites seront organisées en fonction des besoins (au moins une fois tous les 5 ans) afin de déterminer si la Zone répond toujours aux objectifs pour lesquels elle a été désignée et de s'assurer que les mesures de gestion et d'entretien sont adéquates;
- Des études portant sur le bruit électromagnétique seront entreprises dans la Zone sur une base bisannuelle, afin de détecter les défauts des équipements et de contrôler les niveaux d'interférence pouvant compromettre les valeurs de la Zone de manière inacceptable, afin d'en identifier et d'en atténuer les sources.
- Les activités potentiellement perturbatrices prévues en dehors de la Zone mais proche de celle-ci, comme les explosions, les forages ou encore l'utilisation de transmetteurs ou d'autres équipements ayant le potentiel de provoquer des interférences dans la Zone, devront être signalées à l'avance aux représentants des autorités nationales concernées opérant dans la région. Cela permettra de coordonner les activités et/ou d'entreprendre des actions d'atténuation afin d'éviter ou de réduire au minimum les perturbations des programmes scientifiques.
- Les programmes antarctiques nationaux à l'œuvre dans la région nommeront un coordinateur d'activités qui sera chargé de mener les consultations inter-programmes relatives à l'ensemble des activités menées dans la Zone. Les coordinateurs d'activités tiendront un registre des visites de la Zone effectuées par leurs programmes, en prenant note du nombre d'employés, du moment et de la durée de la visite, ainsi que des activités et des moyens utilisés pour se rendre dans la Zone. Les coordinateurs partageront ces informations afin de créer un registre consolidé de l'ensemble des visites effectuées annuellement dans la Zone.

- Les programmes antarctiques nationaux qui opèrent dans la région se consulteront afin de garantir que les conditions reprises dans ce plan de gestion soient mises en œuvre, et prendront les mesures appropriées afin de déterminer les cas où ces conditions ne sont pas respectées, et les faire respecter le cas échéant.

4. Durée de la désignation

La Zone est désignée pour une période indéterminée.

5. Cartes

Carte 1 : ZSPA nº 122 Hauteurs Arrival - Aperçu régional comprenant la péninsule Hut Point, les stations proches (station américaine McMurdo ; base néo-zélandaise Scott), les installations (SuperDARN, récepteurs satellites et éoliennes) et les routes (routes et pistes d'excursion). Projection conique conforme de Lambert : Parallèles d'échelle conservée : 1er 77° 40′ S ; 2e 78° 00′ S ; méridien central : 166° 45′ E; latitude d'origine : 77° 50′ S ; sphéroïde WGS84; système géodésique du détroit de McMurdo. Sources des données : Topographie : courbes de niveau (intervalle de 10 m) dérivés de l'orthophotographie numérique et du MAN issu d'imagerie aérienne (novembre 1993) ; étendue de glace pérenne numérisée à partir d'une image satellite Quickbird orthorectifiée (15 octobre 2005) (Imagery © 2005 Digital Globe, fourni à travers le programme d'imagerie commercial de la NGA) ; infrastructure : Données CAO de disposition de la station USAP (février 2009 / mars. 2011), étude sur le terrain de l'ERA (novembre 2009) et de l'USAP (janvier 2011) ; étude sur le terrain du PGC sur les pistes d'excursion (janvier 09 / janvier 2011).

Encart 1 : Emplacement de l'île de Ross dans la mer de Ross. ***Encart 2 :*** Emplacement de la Carte 1 sur l'île de Ross et principales caractéristiques topographiques.

Carte 2 : Hauteurs Arrival, ZSPA nº 122 carte topographique montrant les délimitations de la zone protégée, les installations présentes sur le site, les installations voisines (SuperDARN, récepteurs satellites) et les voies de communication (routes d'accès et pistes d'excursion). Détails des projections et sources des données identiques à la carte 1.

6. Description de la Zone

6(i) Coordonnées géographiques, bornage et caractéristiques du milieu naturel

Limites et coordonnées

Hauteurs Arrival (77° 49′ 41.2" de latitude sud, 166° 40′ 2.8" de longitude est; superficie : 0,73 km^2) forme une petite chaîne de basses collines située à proximité de l'extrémité sud-est de la péninsule Hut Point, sur l'île de Ross. La péninsule Hut Point est composée d'une série de cratères volcaniques qui s'étend à partir du mont Erebus. Deux de ces cratères, à savoir le First Crater et le Second Crater, correspondent respectivement aux limites méridionale et septentrionale de la Zone. La Zone est majoritairement libre de glaces et les altitudes varient de 150 m à maximum 280 m, au niveau du deuxième cratère. Les hauteurs Arrival sont situées à environ 1,5 km au nord de la station McMurdo, et à 2,7 km au nord-ouest de la base Scott. La Zone dispose d'une vue largement dégagée, et est isolée des activités menées à la station McMurdo et à la base Scott, la majeure partie de la station McMurdo étant cachée à la vue.

La pointe sud-est de la Zone est définie par Trig T510 nº 2, dont le centre se trouve à 77° 50′ 08.4" de latitude sud, 166° 40′ 16.4" de longitude est, et à une altitude de 157,3 m. Le Trig T510 nº 2 a remplacé, et se situe à 0,7 m, de l'ancienne balise de délimitation (T510), qui n'existe plus. La balise T510nº 2 de remplacement est une tige de fer (peinte en orange) plantée dans le sol à environ 7,3 m à l'ouest de la route permettant l'accès aux hauteurs Arrival, et est entourée d'un petit cercle de rochers. La limite de la Zone s'étend depuis la Trig T510 nº 2 en ligne droite sur 656,0 m en direction du nord-ouest et passe par-dessus le First Crater jusqu'à un point situé à 77° 49′53.8" de latitude sud, 166° 39′ 03.9" de longitude est, à une altitude de 150 m. La limite suit donc la courbe de niveau de 150 m vers le nord sur 1186 m jusqu'à un point situé à 77° 49′ 18.6" de latitude sud, 166° 39′ 56.1" de longitude est à l'ouest de la couronne nord du Second Crater. La limite s'étend donc sur 398 m à l'est du Second Crater et autour de la couronne du cratère jusqu'à une balise de relevé hydrographique américaine (un disque de laiton estampillé) qui est installée près du niveau du sol à 77° 49′ 23.4" de latitude sud, 166° 40′ 59.0" de longitude est et à une altitude de 282 m, marquant la limite nord-est de

la Zone. La limite s'étend donc entre la balise de relevé hydrographique américaine vers le sud sur 1 423 m en ligne droite, directement jusqu'à Trig T510 n° 2.

Géologie, géomorphologie et sols

La péninsule Hut Point s'étend sur 20 km et se compose d'une ligne de cratères qui s'étend vers le sud à partir des flancs du mont Erebus (Kyle, 1981). Les roches basaltiques de la péninsule Hut Point font partie de la province volcanique d'Erebus et les principaux types de roches sont les laves de basanite alcaline et les pyroclastites, avec de petites quantités de phonolite et quelques affleurements de laves intermédiaires (Kyle 1981). Les données aéromagnétiques et les modèles magnétiques indiquent que les roches volcaniques magnétiques composant le sous-sol de la péninsule Hut Point sont susceptibles d'être d'une épaisseur de <2 km (Behrendt *et al*., 1996) et les études de datation suggèrent que la majorité des roches basaltiques ont moins de ~750 000 ans (Tauxe *et al*., 2004).

Les sols des hauteurs Arrival se composent principalement de scories volcaniques, déposées à la suite des éruptions du mont Erebus, avec des particules dont la taille oscille entre limons et blocs rocheux. L'épaisseur des dépôts de surface varie de quelques centimètres à des dizaines de mètres, avec du pergélisol sous la couche active (Stefano, 1992). Le matériau en surface à hauteurs Arrival inclut également des coulées de magma issues du mont Erebus, qui ont été érodées et retravaillées au fil du temps. Les polygones à coins sableux recouvrent une superficie d'environ 0,5 km^2 aux hauteurs Arrival et, puisque les perturbations physiques ont été limitées grâce à la protection de la Zone, ils sont bien plus étendus qu'ailleurs dans la région du sud de la péninsule Hut Point (Klein *et al*., 2004).

Climat

Les hauteurs Arrival sont exposées à des vents violents et fréquents, et les conditions sont généralement plus froides et venteuses qu'à la station McMurdo et à la base Scott, situées non loin (Mazzera *et al.*, 2001). Entre février 1999 et avril 2009, la température maximale enregistrée dans la Zone fut de 7,1º C (30 décembre 2001) et la température minimale, de -49,8º C (21 juillet 2004). Au cours de cette période, décembre fut le mois le plus chaud, avec des températures ambiantes moyennes de -5,1º C, et août le mois le plus froid, avec une moyenne de -28,8ºC (données recueillies auprès de l'Institut National de Recherche sur l'Eau et l'Atmosphère (NIWA) de Nouvelle-Zélande, http://www.niwa.cri.nz, 21 mai 2009).

La vitesse moyenne annuelle du vent enregistrée aux hauteurs Arrival entre 1999 et 2009 était de 6,96 m/s, juin et septembre étant les mois les plus venteux (données recueillies auprès de l'Institut National de Recherche sur l'Eau et l'Atmosphère (NIWA) de Nouvelle-Zélande, http://www.niwa.cri.nz, 21 mai 2009). La rafale la plus violente enregistrée aux hauteurs Arrival entre 1999 et 2011 avait une vitesse de 51 m/s (~184 km/h), le 16 mai 2004. La direction du vent dominant aux hauteurs Arrival est le nord-est, car les masses d'air du sud sont déviées par la topographie environnante (Sinclair 1988). La péninsule Hut Point se trouve à la confluence de trois différentes masses d'air, prédisposant la Zone à la rapide formation de fortes intempéries (Monaghan et al., 2005).

Recherche scientifique

De nombreuses études scientifiques à long terme sont menées aux hauteurs Arrival, la majorité des recherches se concentrant sur l'atmosphère et la magnétosphère terrestres. Les zones de recherche présentent des fréquences radio extrêmement faibles et très faibles, des événements auroraux, des tempêtes géomagnétiques, des phénomènes météorologiques et des variations des niveaux de gaz présents à l'état de trace, particulièrement de l'ozone, des précurseurs de l'ozone, des substances menaçant l'ozone, des produits de combustion de biomasse et des gaz à effet de serre. La Zone est facilement accessible et bénéficie du soutien logistique de la station McMurdo et de la base Scott situées à proximité, ce qui permet de faciliter les recherches dans la Zone.

Les données à extrêmement basse fréquence et très basse fréquence (EBF/TBF) sont continuellement recueillies aux hauteurs Arrival depuis l'été austral de 1984-1985 (Fraser-Smith et al., 1991). Les données sur le bruit EBF/TBF sont exceptionnelles, à la fois pour leur quantité et pour leur continuité en Antarctique. Elles ont été enregistrées en parallèle avec les données EBF/TBF à l'université de Stanford, permettant de comparer des chronogrammes polaires et de latitude moyenne. La faiblesse des interférences électromagnétiques et la

position reculée des hauteurs Arrival permettent aux chercheurs de mesurer les spectres de bruit de fond à EBF/TBF et les signaux faibles à EBF, comme les résonances de Schumann, qui sont associées aux changements de la magnétosphère et de l'ionosphère (Füllekrug & Fraser-Smith 1996). Les données EBF/TBF et de résonance de Schumann recueillies dans la Zone ont été étudiées relativement aux fluctuations des taches solaires, aux événements de précipitations de particules solaires et aux phénomènes météorologiques à l'échelle planétaire (Anyamba *et al*., 2000 ; Schlegel & Füllekrug 1999 ; Fraser-Smith & Turtle 1993). En outre, les données EBF ont été utilisées en tant que variable substitutive de l'activité mondiale des éclairs nuage-sol et de l'activité orageuse (Füllekrug *et al*., 1999) et les données TBF fournissent des informations sur les réseaux mondiaux qui surveillent l'activité des éclairs et des conditions dans l'ionosphère (Clilverd *et al*., 2009 ; Rodger *et al*., 2009). Les données électromagnétiques de haute qualité issues des hauteurs Arrival ont permis de déterminer une limite supérieure pour la masse propre des photons de ~10^{-52} kg (Füllerkrug, 2004) en fonction de la détection des mesures de la hauteur de réflexion ionosphérique infime mondiale (Füllerkrug *et al*., 2002) et elles ont également établi un lien essentiel entre les éclairs aux latitudes moyennes et tropicales et les variations de température de surface dans les climats modérés et tropicaux (Füllerkrug & Fraser-Smith, 1997). De récentes recherches ont élaboré des technologies de mesure innovantes avec une sensibilité en µV/m sur la large plage de fréquences allant de ~4 Hz à ~400 kHz (Füllerkrug, 2010), qui possèdent un potentiel scientifique prometteur exigeant des conditions d'inactivité électromagnétique similaires à celles des hauteurs Arrival.

La localisation méridionale des hauteurs Arrival entraîne plusieurs semaines d'obscurité totale au cours de l'hiver austral, permettant d'observer les événements auroraux de faible intensité et les émissions diurnes (Wright *et al*., 1998). Les données enregistrées aux hauteurs Arrival ont été utilisées pour suivre le mouvement des arcs de la calotte polaire, une forme d'aurore polaire, et les résultats ont été associés aux conditions de vent solaire et du champ magnétique interplanétaire. Les observations aurorales effectuées aux hauteurs Arrival par les chercheurs de l'université de Washington ont été utilisées pour calculer la vitesse et la température des vents de haute altitude en analysant l'effet Doppler des émissions de lumière aurorale. Outre les recherches aurorales, les données optiques recueillies dans la Zone ont été utilisées pour observer la réponse de la thermosphère aux tempêtes géomagnétiques (Hernandez & Roble, 2003) et un radar à moyenne fréquence a permis de mesurer les vitesses des vents dans la moyenne atmosphère (70 à 100 km) (McDonald *et al*., 2007).

Une palette de types de gaz présents à l'état de trace est mesurée aux hauteurs Arrival, notamment l'ozone, le brome, le méthane, les oxydes d'azote, le chlorure d'hydrogène et le monoxyde de carbone, avec des enregistrements remontant jusqu'en 1982 (Zeng *et al*., 2012, Koelhepp *et al.*, 2012). Les hauteurs Arrival constituent un site clé du réseau de détection des changements stratosphériques (NDACC) et du réseau de Veille de l'atmosphère globale (VAG), avec des données utilisées pour observer les changements dans la stratosphère et la troposphère, notamment l'évolution à long terme de la couche d'ozone, les concentrations de gaz à effet de serre dans l'hémisphère sud ou encore les modifications de la composition générale de l'atmosphère. Les mesures effectuées aux hauteurs Arrival sont essentielles pour les comparaisons entre l'hémisphère sud et l'Antarctique par satellite (Vigouroux *et al*., 2007) et la validation des modèles de chimie atmosphérique (Risi *et al*., 2012). Les hauteurs Arrival constituent l'une des stations de référence en Antarctique pour les études comparatives de mesures surface-air (Levin *et al*., 2012).

Les niveaux d'ozone sont enregistrés aux hauteurs Arrival depuis 1988 et servent à surveiller les variations saisonnières et à long terme de l'ozone (Oltmans *et al*., 2008; Nichol *et al*., 1991), ainsi qu'à estimer la perte en ozone dans l'Antarctique (Kuttippurath *et al*., 2010). Au-delà des tendances à long terme, des événements de réduction soudaine et substantielle de l'ozone ont été enregistrés au printemps à hauteurs Arrival, qui se déroulent sur une période de quelques heures. On suppose qu'ils proviennent de l'émission de composés bromiques du sel marin (Riedel *et al*., 2006 ; Hay *et al*., 2007). Les niveaux de brome troposphérique sont continuellement enregistrés depuis 1995 dans la Zone et ont été étudiés relativement à la réduction de l'ozone, au réchauffement stratosphérique et aux modifications du vortex polaire, ainsi que pour valider les mesures par satellites (Schofield *et al*., 2006). Les données sur l'oxyde d'azote (NO_2) recueillies à hauteurs Arrival ont également été utilisées pour étudier les variations des niveaux d'ozone et les résultats indiquent des variations substantielles de NO_2 à des échelles de temps journalières à interannuelles, résultant potentiellement de modifications de la circulation atmosphérique, de la température et du forçage chimique (Struthers *et al.*, 2004, Wood *et al.*, 2004). Par ailleurs, la spectroscopie par transformée de Fourier au sol a été utilisée à

hauteurs Arrival pour surveiller les niveaux de sulfure de carbonyle dans l'atmosphère et pour enregistrer les flux de HCl depuis le mont Erebus (Kremser *et al*., 2015 ; Keys *et al*., 1998).

Végétation

Les lichens aux hauteurs Arrival ont été étudiés en 1957 par C.W. Dodge and G.E. Baker, avec parmi les espèces répertoriées : *Buellia alboradians, B. frigida, B. grisea, B. pernigra, Caloplaca citrine, Candelariella flava, Lecanora expectans, L. fuscobrunnea, Lecidella siplei, Parmelia griseola, P. leucoblephara* et *Physcia caesia.* Les espèces de mousses observées aux hauteurs Arrival incluent *Sarconeurum glaciale* et *Syntrichia sarconeurum* (base de données sur les plantes du BAS, 2009), avec *S. glaciale* observée dans les canaux de drainage et les pistes de véhicules désaffectées (Skotnicki *et al*., 1999).

Activités humaines et leur impact

Les installations de hauteurs Arrival sont utilisées toute l'année par le personnel de la station McMurdo (américaine) et de la base Scott (néo-zélandaise). Outre les deux bâtiments de laboratoires, de nombreux parcs de radars, d'antennes, des équipements de communications et des instruments scientifiques sont répartis sur l'ensemble de la Zone, avec les câblages associés.

Les instruments scientifiques utilisés pour les recherches sur l'atmosphère dans la Zone sont sensibles au bruit et aux interférences électromagnétiques, avec des sources de bruit locales potentielles que représentent notamment les transmissions radio TBF, les lignes électriques, les systèmes d'émission de véhicules ainsi que les équipements de laboratoire. Les sources de bruit générées en dehors de la Zone qui peuvent également affecter les conditions électromagnétiques aux hauteurs Arrival incluent les communications radio, les systèmes de diffusion de divertissements, les navires, les aéronefs, les transmissions radio satellite ou encore les radars de surveillance d'aéronefs. Un rapport de visite du site datant de 2006 suggérait que les faibles niveaux d'interférences étaient à l'époque acceptable, malgré les activités menées à la station McMurdo et à la base Scott. Afin de fournir un certain degré de protection contre les transmissions radio locales et les bruits de la station, une partie des antennes TBF aux hauteurs Arrival sont placées à l'intérieur du Second Crater.

Il est présumé que les accès non autorisés dans la Zone, à la fois par véhicule et à pied, sont préjudiciables aux câblages et aux instruments scientifiques, bien que l'étendue des dommages et l'impact sur les résultats scientifiques soient inconnus. Un appareil photo a été installé au bâtiment de l'USAP au début de l'année 2010 pour surveiller le trafic pénétrant dans la Zone par la route qui mène aux laboratoires.

Les installations récentes dans la Zone et à proximité incluent un FE-Boltzmann LiDAR dans le laboratoire de recherche néo-zélandais des hauteurs Arrival en 2010, le parc d'antennes Super Dual Auroral RADAR Network (SuperDARN) (2009-2010) et deux récepteurs de station terrienne de communications par satellite (Carte 2). Le réseau d'antennes SuperDARN transmet à des fréquences basses (8 à 20 MHz), la transmission principale étant orientée vers le sud-est de la Zone. Son emplacement a été sélectionné en partie pour réduire au minimum les interférences avec les expériences menées aux hauteurs Arrival. Deux récepteurs de station terrienne de communications par satellite (Joint Polar Satellite System (JPSS) et MG2) se trouvent à proximité. L'un des récepteurs est capable de transmettre (plage de fréquences de 2025 à 2120 Hz) et des mesures ont été prises afin de garantir que les irradiations dans la Zone sont minimes.

Trois éoliennes ont été bâties à environ 1,5 km à l'est de la Zone et à proximité de Crater Hill au cours de l'été austral 2009-2010 (carte 1). Les émissions d'IEM depuis les éoliennes doivent être conformes aux normes en vigueur pour les appareils et équipements électriques. Toutefois, des IEM provenant des nouvelles éoliennes ont été détectées dans des jeux de données de fréquence très basse aux hauteurs Arrival, les sources potentielles d'IEM incluant les transformateurs des éoliennes, les générateurs et les lignes électriques. Les interférences à TBF sont suffisantes pour rendre les hauteurs Arrival inadéquates pour les études scientifiques mesurant les impulsions radio des éclairs (p. ex. l'expérience AARDVARK). Une antenne a dès lors été installée à la base Scott, où les TBF sont bien moindres.

La surveillance de la qualité de l'air est régulière aux hauteurs Arrival depuis 1992 et des études récentes suggèrent que la qualité de l'air s'est détériorée, probablement en raison des émissions provenant de la station McMurdo ou de la base Scott (Mazzera *et al.*, 2001), par exemple en raison de constructions et de l'utilisation de véhicules. Des études ont révélé que les échantillons prélevés pour mesurer la qualité de l'air contenaient

des concentrations plus importantes d'espèces dérivées de la pollution (EC, SO_2, Pb, Zn) et d'aérosols PM_{10} (particules aux diamètres aérodynamiques inférieurs à 10 μm) que d'autres sites côtiers et de l'Antarctique.

6(ii) Accès à la Zone

L'accès à la Zone peut se faire par voie terrestre à l'aide d'un véhicule ou à pied. La route d'accès à la Zone passe par le sud-est et se poursuit jusqu'aux laboratoires de recherche. Plusieurs pistes pour les véhicules existent dans la Zone, entre la station terrienne de communications par satellite dans le First Crater et le pied du Second Crater. L'accès à pied peut se faire depuis la route d'accès.

L'accès par voie aérienne et le survol de la Zone sont interdits, sauf lorsqu'ils sont dûment autorisés par un permis, auquel cas l'autorité compétente soutenant les programmes de recherches dans la Zone doit être en être préalablement informée.

6(iii) Emplacement des structures à l'intérieur et aux alentours de la Zone

Les programmes néo-zélandais et américains possèdent des installations de recherche et d'hébergement dans la Zone. La Nouvelle-Zélande a ouvert un nouveau laboratoire de recherche aux hauteurs Arrival le 20 janvier 2007, en remplacement d'un ancien bâtiment qui a été retiré de la Zone. Les États-Unis utilisent un laboratoire dans la Zone. Un ensemble de réseaux de radars et d'antennes conçus pour répondre aux besoins scientifiques se trouve à travers la Zone (carte 2) et une nouvelle antenne TBF a été installée aux hauteurs Arrival en décembre 2008. Une station terrienne de communications par satellite (SES) est située à quelques mètres à l'intérieur de la limite de la Zone sur le First Crater (carte 2).

Le réseau d'antennes SuperDARN se trouve à environ 270 m au S-O de la Zone, tandis que deux récepteurs de station terrienne de communications par satellite sont installés à environ 150 m au S-O de la Zone (carte 2).

6(iv) Emplacement d'autres zones protégées à proximité directe de la Zone

Les zones protégées les plus proches des hauteurs Arrival se trouvent sur l'île Ross : La cabane « Discovery », pointe Hut (ZSPA n° 158) est la plus proche, à 1,3 km au sud-ouest; le Cap Evans (ZSPA n° 155) est à 22 km au nord, la baie Backdoor (ZSPA n° 157) est à 32 km au nord ; le Cap Royds (ZSPA n° 121) est à 35 km au N-N-O ;les zones géothermiques de haute altitude de la région de la mer de Ross (ZSPA n° 175) proches du sommet du mont Erebus, sontà 40 km au nord ; la baie Lewis (ZSPA n° 156), le site du crash de l'aéronef de passagers DC-10 en 1979 est à 50 km au N-E ; New College Valley (ZSPA n° 116) est à 65 km au nord, à Cap Bird; et le Cap Crozier (ZSPA n° 124) est à 70 km au NE. L'île Northwest White (ZSPA n° 137) est à 35 km au sud à travers la falaise de glace Ross. La Zone spécialement gérée de l'Antarctique n° 2, Vallées sèches de McMurdo, se trouve à environ 50 km à l'ouest de la Zone.

6(v) Aires spéciales à l'intérieur de la Zone

Aucune

7. Critères de délivrance des permis d'accès

7(i) Critères généraux

L'accès à la Zone est interdit sauf si un permis a été délivré par une autorité nationale compétente. Les critères de délivrance d'un permis pour entrer dans la Zone sont les suivants :

- il est délivré uniquement pour des études scientifiques de l'atmosphère et de la magnétosphère ou pour d'autres objectifs scientifiques qui ne peuvent pas être poursuivis ailleurs ; ou
- il est délivré pour l'utilisation, la gestion et l'entretien des installations de soutien scientifique (y compris les opérations de sécurité), à la condition que les mouvements à l'intérieur de la Zone se limitent à ceux nécessaires pour accéder à ces installations ; ou
- il est délivré pour des activités pédagogiques ou de sensibilisation publique qu'il n'est pas possible de réaliser ailleurs et qui sont associées aux études scientifiques menées dans la Zone, à la condition que les visiteurs soient accompagnés par du personnel autorisé responsable des installations visitées ; ou

- il est délivré pour des besoins de gestion essentiels correspondant aux objectifs du plan, comme l'inspection ou le contrôle ;
- les actions autorisées ne porteront pas atteinte aux valeurs écologiques ou scientifiques de la Zone ;
- toutes les activités de gestion entreprises le seront à l'appui des objectifs du plan de gestion ;
- les activités autorisées le sont en conformité avec le plan de gestion ;
- le permis ou une copie de celui-ci sera emporté à l'intérieur de la Zone ;
- un rapport de visite devra être soumis à l'autorité ou aux autorités nommées dans le permis ;
- les permis seront délivrés pour une durée donnée.

7(ii) Accès à la Zone et déplacements à l'intérieur ou au-dessus de celle-ci

L'accès à la Zone peut se faire à l'aide d'un véhicule ou à pied. L'atterrissage d'un aéronef au sein de la Zone ou le survol de la Zone est interdit, sauf autorisation spéciale par un permis. Un avis écrit préalable doit être remis à l'autorité ou aux autorités compétentes qui soutiennent les recherches scientifiques menées dans la Zone au moment de l'activité en aéronef proposée. L'emplacement et la durée de l'activité en aéronef doivent être coordonnés selon les besoins afin d'éviter ou de réduire au minimum la perturbation des programmes scientifiques.

Le trafic véhiculé et pédestre doit être maintenu à un minimum correspondant aux objectifs des activités autorisées et tous les efforts raisonnables seront mis en œuvre pour réduire au minimum les impacts potentiels sur les recherches scientifiques : le personnel accédant à la Zone par véhicule devra par exemple coordonner les déplacements de manière à ce que l'utilisation des véhicules soit maintenue à un minimum.

Les véhicules devront rester sur les pistes prévues à cet effet et telles qu'indiquées sur la carte 2, sauf autorisation spéciale par un permis. Les piétons doivent également suivre les pistes établies dans la mesure du possible. Il faut veiller à éviter les câbles et les autres instruments lors d'un déplacement autour de la Zone, car ils sont susceptibles d'être endommagés par le trafic à pied et motorisé. Pendant les heures d'obscurité, les phares de véhicules doivent être éteints à l'approche des installations afin d'éviter d'endommager les instruments photosensibles au sein de la Zone.

7(iii) Activités pouvant être menées dans la Zone

- les recherches scientifiques qui ne compromettront pas les valeurs scientifiques de la Zone et ne perturberont pas les activités de recherche en cours ;
- les activités de gestion essentielles, notamment l'installation de nouvelles installations pour soutenir les recherches scientifiques ;
- les activités à caractère pédagogique (telles que les rapports documentaires, photographiques, audio ou écrits), la production de ressources ou de services pédagogiques qu'il n'est pas possible de réaliser ailleurs ;
- l'utilisation de radios manuelles et des radios des véhicules par des visiteurs qui pénètrent dans la Zone est autorisée ; toutefois, leur utilisation doit être minimale et devra se limiter aux communications pour des besoins scientifiques, de gestion ou de sécurité ;
- les études du bruit électromagnétique permettant de s'assurer que les recherches scientifiques ne sont pas grandement menacées.

7(iv) Installation, modification ou retrait de structures

- Aucune structure ne peut être installée dans la Zone sauf autorisation stipulée dans le permis.
- Toutes les structures, tout le matériel scientifique et tous les repères installés dans la Zone doivent être autorisés par un permis et clairement identifiés par pays, nom du principal chercheur et année d'installation. Le retrait de ces structures, équipements ou balises à l'expiration du permis relève de la responsabilité de l'autorité qui a délivré le permis original, et constitue l'une des conditions de ce permis.
- L'installation (y compris la sélection du site), l'entretien, la modification ou le retrait de structures devront être entrepris de façon à réduire au minimum la perturbation de l'environnement, et les installations ne

doivent pas porter atteinte aux valeurs de la Zone, en particulier aux conditions de faible activité électromagnétique et de vue dégagée. Les installations doivent avoir été fabriquées avec des matériaux qui présentent un risque minimum de pollution environnementale de la Zone. Le délai pour le retrait des équipements devra être spécifié dans le permis.

- Aucun nouvel équipement de transmission radioélectrique (RF) autre que des émetteurs-transmetteurs de faible puissance pour les communications locales essentielles ne peut être installé dans la Zone. Le rayonnement électromagnétique produit par l'équipement introduit dans la Zone ne devra avoir aucun effet indésirable notable sur les études en cours, sauf autorisation spéciale. Des précautions doivent être prises pour s'assurer que l'équipement électrique utilisé dans la Zone est correctement blindé afin de maintenir le bruit électromagnétique à un minimum.
- L'installation ou la modification de structures ou d'équipements dans la Zone sera soumise à une évaluation des impacts probables des installations ou modifications proposées sur les valeurs de la Zone, conformément aux procédures nationales. Au-delà de toutes les autres procédures pouvant être exigées par les autorités compétentes, les responsables des équipes de recherche devront soumettre les détails des propositions et l'évaluation sur les impacts qui les accompagne au coordinateur de l'activité de leur programme national, qui échangera les documents reçus avec d'autres coordinateurs d'activités pour la Zone. Les coordinateurs d'activités évalueront les propositions en consultation avec les responsables des programmes nationaux et les responsables des équipes de recherche concernés, en tenant compte des impacts potentiels sur les valeurs scientifiques ou sur l'environnement naturel de la Zone. Les coordinateurs d'activités devront s'accorder et émettre des recommandations à leur programme national au plus tard 60 jours après réception d'une proposition (de continuer selon la proposition, de continuer avec des révisions, de faire des essais pour une nouvelle évaluation ou de ne pas continuer). Les programmes nationaux devront être chargés d'informer les responsables des équipes de recherche s'ils peuvent ou non poursuivre selon leurs propositions, et dans quelles conditions.
- La planification, l'installation ou la modification des structures ou des équipements proches et se trouvant en dehors de la Zone, et qui émettent des rayonnements électromagnétiques, obstruent la vue ou émettent des gaz dans l'atmosphère doivent tenir compte de leurs effets potentiels sur les valeurs de la Zone.
- Le retrait de structures, d'équipements ou de balises pour lesquels le permis a expiré est du ressort de l'autorité qui a délivré le permis d'origine, et il sera l'un des critères régissant la délivrance du permis.

7(v) Emplacement de camps de base

Il est interdit de camper dans la Zone. Les visites de nuit sont autorisées dans les bâtiments équipés à cette fin.

7(vi) Restrictions concernant les matériaux et organismes pouvant être introduits dans la Zone

- Les émissions anthropiques de gaz ou d'aérosols dans l'atmosphère et provenant de sources telles que des moteurs à combustion interne doivent être réduites au minimum, et évitées dans la mesure du possible. Des émissions de gaz ou d'aérosols anthropiques à long terme ou permanentes à l'intérieur de la Zone compromettraient les expériences scientifiques et sont dès lors interdites.

7(vii) Prélèvement de végétaux et capture d'animaux ou perturbations nuisibles à la faune et la flore

La collecte ou la perturbation néfaste de la flore ou de la faune indigène est interdite, sauf dans le cadre d'un permis délivré par l'autorité nationale compétente spécifiquement à cette fin en vertu de l'Article 3 de l'Annexe II du Protocole.

7(viii) Collecte ou retrait de matériaux qui n'ont pas été apportés dans la Zone par le détenteur du permis

- Les matériaux seront prélevés ou retirés de la Zone conformément au permis et doivent se limiter au strict minimum requis aux fins scientifiques ou de gestion.
- Les matériaux d'origine humaine susceptibles de mettre en péril les valeurs de la Zone, n'ayant pas été introduits dans celle-ci par le détenteur du permis ou n'ayant pas été autrement autorisés, peuvent être retirés de n'importe quelle partie de la Zone, sauf si l'impact de leur retrait risque d'être plus important qu'en laissant ces matériaux *in situ* : Si tel est le cas, l'autorité compétente doit en être notifiée.

- L'autorité nationale compétente devra être notifiée de tous les objets enlevés de la Zone qui n'ont pas été introduits par le détenteur du permis.

7(ix) Élimination des déchets

Tous les déchets, y compris les déchets humains, seront enlevés de la Zone.

7(x) Mesures nécessaires pour continuer de répondre aux objectifs du plan de gestion

1) Des permis peuvent être délivrés pour entrer dans la Zone afin de mener des activités de suivi scientifique et d'inspection du site pouvant impliquer le prélèvement des données à des fins d'analyse ou de révision, ou à des fins de protection.
2) Tous les sites spécifiques dont le suivi sera de longue durée seront correctement balisés.
3) Les bandes électromagnétiques d'intérêt scientifique particulier et qui garantissent une protection spéciale contre les interférences doivent être identifiées par les Parties actives dans la Zone. Dans la mesure du possible, la génération de bruit électromagnétique doit se limiter aux fréquences hors de ces bandes.
4) Il est interdit de générer délibérément du bruit électromagnétique dans la Zone, sauf dans les bandes fréquence et aux niveaux de puissance convenus, ou conformément à un permis.

7(xi) Rapports de visite

- Les Parties doivent s'assurer que le principal détenteur de chaque permis délivré soumet à l'autorité compétente un rapport décrivant les activités menées dans cette Zone. Ces rapports doivent inclure, le cas échéant, les informations identifiées dans le formulaire de rapport de visite contenu dans le Guide pour l'élaboration des plans de gestion des Zones spécialement protégées de l'Antarctique.
- Les Parties devront tenir à jour des archives de ces activités et, dans l'échange annuel d'information, fournir une description sommaire des activités réalisées par des personnes subordonnées à leur juridiction, description qui devra donner suffisamment de détails pour permettre une évaluation de l'efficacité du plan de gestion. Les Parties doivent, dans la mesure du possible, déposer les originaux ou les copies de ces rapports originaux dans un dossier auquel le public pourra avoir accès, et ce afin de conserver un dossier d'utilisation qui sera utilisé lors de la révision du plan de gestion et pour l'organisation de l'utilisation scientifique de la Zone.
- L'autorité compétente devra être notifiée de toutes les activités entreprises et des mesures prises ainsi que de tous les matériaux introduits et non retirés, qui ne figurent pas dans le permis délivré. Tous les déversements devront être signalés à l'autorité compétente.

8. Documentation complémentaire

Anyamba, E., Williams, E., Susskind, J., Fraser-Smith, A. & Fullerkrug, M. 2000. The Manifestation of the Madden-Julian Oscillation in Global Deep Convection and in the Schumann Resonance Intensity. *American Meteorology Society* **57**(8): 1029–44.

Behrendt, J. C., Saltus, R., Damaske, D., McCafferty, A., Finn, C., Blankenship, D.D. & Bell, R.E. 1996. Patterns of Late Cenozoic volcanic tectonic activity in the West Antarctic rift system revealed by aeromagnetic surveys. *Tectonics* **15**: 660–76.

Clilverd, M.A., Rodger, C.J., Thomson, N.R., Brundell, J.B., Ulich, Th., Lichtenberger, J., Cobbett, N., Collier, A.B., Menk, F.W., Seppl, A., Verronen, P.T., & Turunen, E. 2009. Remote sensing space weather events: the AARDDVARK network. *Space Weather* **7** (S04001). DOI: 10.1029/2008SW000412.

Connor, B.J., Bodeker, G., Johnston, P.V., Kreher, K., Liley, J.B., Matthews, W.A., McKenzie, R.L., Struthers, H. & Wood, S.W. 2005. Overview of long-term stratospheric measurements at Lauder, New Zealand, and Arrival Heights, Antartica. *American Geophysical Union, Spring Meeting 2005.*

Deutscher, N.M., Jones, N.B., Griffith, D.W.T., Wood, S.W. and Murcray, F.J. 2006. Atmospheric carbonyl sulfide (OCS) variation from 1992-2004 by ground-based solar FTIR spectrometry. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions* **6**: 1619–36.

Fraser-Smith, A.C., McGill, P.R., Bernardi, A., Helliwell, R.A. & Ladd, M.E. 1991. Global Measurements of Low-Frequency Radio Noise *in* Environmental and Space Electromagnetics (Ed. H. Kikuchi). Springer-Verlad, Tokyo.

Fraser-Smith, A.C. & Turtle, J.P.1993. ELF/VLF Radio Noise Measurements at High Latitudes during Solar Particle Events. Paper presented at the 51st AGARD-EPP Specialists meeting on *ELF/VLF/LF Radio Propagation and Systems Aspects.* Brussels, Belgium; 28 Sep – 2 Oct, 1992.

M. Füllekrug, M. 2004. Probing the speed of light with radio waves at extremely low frequencies. *Physical Review Letters* **93**(4), 043901: 1-3.

Füllekrug, M. 2010. Wideband digital low-frequency radio receiver. *Measurement Science and Technology*, **21**, 015901: 1-9. doi:10.1088/0957-0233/21/1/015901.

Füllekrug , M. & Fraser-Smith, A.C.1996. Further evidence for a global correlation of the Earth-ionosphere cavity resonances. *General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics No. 21, Boulder, Colorado, USA.*

Füllekrug, M. & Fraser-Smith, A.C. 1997. Global lightning and climate variability inferred from ELF magnetic field variations. *Geophysical Research Letters* **24**(19): 2411.

Füllekrug, M., Fraser-Smith, A.C., Bering, E.A. & Few, A.A. 1999. On the hourly contribution of global cloud-to-ground lightning activity to the atmospheric electric field in the Antarctic during December 1992. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* **61**: 745-50.

Füllekrug, M., Fraser-Smith, A.C. & Schlegel, K. 2002. Global ionospheric D-layer height monitoring. *Europhysics Letters* **59**(4): 626.

Hay, T., Kreher, K., Riedel, K., Johnston, P., Thomas, A. & McDonald, A. 2007. Investigation of Bromine Explosion Events in McMurdo Sound, Antarctica. *Geophysical Research Abstracts.* Vol. 7.

Hernandez, G. & Roble, R.G. 2003. Simultaneous thermospheric observations during the geomagnetic storm of April 2002 from South Pole and Arrival Heights, Antarctica. *Geophysical Research Letters* **30** (10): 1511.

Keys, J.G., Wood, S.W., Jones, N.B. & Murcray, F.J. 1998. Spectral Measurements of HCl in the Plume of the Antarctic Volcano Mount Erebus. *Geophysical Research Letters* **25** (13): 2421–24.

Klein, A.G., Kennicutt, M.C., Wolff, G.A., Sweet, S.T., Gielstra, D.A. & Bloxom, T. 2004. Disruption of Sand-Wedge Polygons at McMurdo Station Antarctica: An Indication of Physical Disturbance. *61st Eastern Snow Conference*, Portland, Maine, USA.

Kohlhepp, R., Ruhnke, R., Chipperfield, M.P., De Mazière, M., Notholt, J., & 46 others 2012. Observed and simulated time evolution of HCl, ClONO2, and HF total column abundances, *Atmospheric Chemistry & Physics* **12**: 3527-56.

Kremser, S., Jones, N.B., Palm, M., Lejeune, B., Wang, Y., Smale, D. & Deutscher, N.M. 2015. Positive trends in Southern Hemisphere carbonyl sulfide, *Geophysical Research Letters* **42**: 9473–80.

Kyle, P. 1981. Mineralogy and Geochemistry of a Basanite to Phonolite Sequence at Hut Point Peninsula, Antarctica, based on Core from Dry Valley Drilling Project Drillholes 1,2 and 3. *Journal of Petrology.* **22** (4): 451 – 500.

Kuttippurath, J., Goutail, F., Pommereau, J.-P., Lefèvre, F., Roscoe, H.K., Pazmiño A., Feng, W., Chipperfield, M.P., & Godin-Beekmann, S. 2010. Estimation of Antarctic ozone loss from ground-based total column measurements. *Atmospheric Chemistry and Physics* **10**: 6569–81.

Levin, C., Veidt, C., Vaughn, B.H., Brailsford, G., Bromley, T., Heinz, R., Lowe, D., Miller, J.B., Poß, C.& White, J.W.C. 2012 No inter-hemispheric δ13CH4 trend observed. *Nature* **486:** E3–E4.

Mazzera, D. M., Lowenthal, D. H., Chow, J, C. & Watson, J. G. 2001. Sources of PM_{10} and sulfate aerosol at McMurdo station, Antarctica. *Chemosphere* **45**: 347–56.

McDonald, A.J., Baumgaertner, A.J.G., Fraser, G.J., George, S.E. & Marsh, S. 2007. Empirical Mode Decomposition of the atmospheric wave field. *Annals of Geophysics* **25**: 375–84.

Monaghan, A.J. & Bromwich, D.H. 2005. The Climate of the McMurdo, Antarctica, Region as Represented by One Year Forecasts from the Antarctic Mesoscale Prediction System. *Journal of Climate.* 18, pp. 1174–89.

Nichol, S.E., Coulmann, S. & Clarkson, T.S. 1991. Relationship of springtime ozone depletion at Arrival Heights, Antarctica, to the 70 HPA temperatures. *Geophysical Research Letters* **18** (10): 1865–68.

Oltmans, S.J., Johnson, B.J. & Helmig, D. 2008. Episodes of high surface-ozone amounts at South Pole during summer and their impact on the long-term surface-ozone variation. *Atmospheric Environment* **42**: 2804–16.

Riedel, K., Kreher, K., Nichol, S. & Oltmans, S.J. 2006. Air mass origin during tropospheric ozone depletion events at Arrival Heights, Antarctica. *Geophysical Research Abstracts* **8**.

Risi, C., Noone, D., Worden, J., Frankenberg, C., Stiller, G., & 25 others 2012. Process-evaluation of tropospheric humidity simulated by general circulation models using water vapor isotopologues: 1. Comparison between models and observations. *Journal of Geophysical Research* **117**: D05303 .

Rodger, C. J., Brundell, J.B., Holzworth, R.H. & Lay, E.H. 2009. Growing detection efficiency of the World Wide Lightning Location Network. American Institute of Physics Conference Proceedings **1118**: 15-20. DOI:10.1063/1.3137706.

Schlegel, K. & Fullekrug, M. 1999. Schumann resonance parameter changes during high-energy particle precipitation. *Journal of Geophysical Research* **104** (A5): 10111-18.

Schofield, R., Johnston, P.V., Thomas, A., Kreher, K., Connor, B.J., Wood, S., Shooter, D., Chipperfield, M.P., Richter, A., von Glasow, R. & Rodgers, C.D. 2006. Tropospheric and stratospheric BrO columns over Arrival Heights, Antarctica, 2002. *Journal of Geophysical Research* **111**: 1–14.

Sinclair, M.R. 1988. Local topographic influence on low-level wind at Scott Base, Antarctica. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics.* **31**: 237–45.

Skotnicki, M.L., Ninham, J.A. & Selkirk P.M. 1999. Genetic diversity and dispersal of the moss *Sarconeurum glaciale* on Ross Island, East Antarctica. *Molecular Ecology* **8**: 753-62.

Stefano, J.E. 1992. Application of Ground-Penetrating Radar at McMurdo Station, Antarctica. Presented at the Hazardous Materials Control Research Institute federal environment restoration conference, Vienna, USA, 15-17 April 1992.

Struthers, H., Kreher, K., Austin, J., Schofield, R., Bodeker, G., Johnston, P., Shiona, H. & Thomas, A. 2004. Past and future simulations of NO_2 from a coupled chemistry-climate model in comparison with observations. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions* **4**: 4545–79.

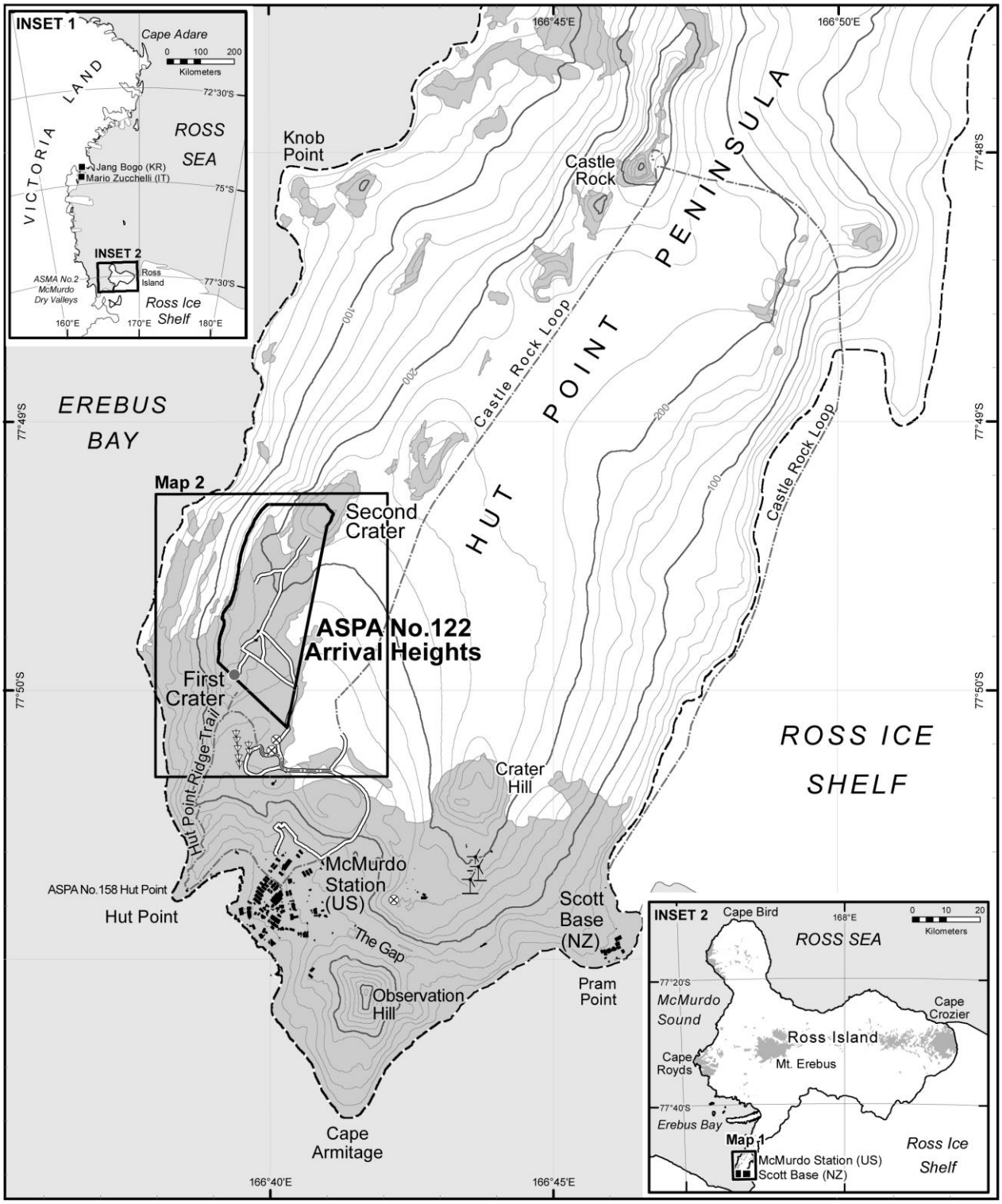
Tauxe, L., Gans, P.B. & Mankinen, E.A. 2004. Paleomagnetic and 40Ar/39Ar ages from Matuyama/Brunhes aged volcanics near McMurdo Sound, Antarctica. *Geochemical Geophysical Geosystems* **5** (10): 1029.

Vigouroux, C., De Mazière, M., Errera, Q., Chabrillat, S., Mahieu, E., Duchatelet, P., Wood, S., Smale, D., Mikuteit, S., Blumenstock, T., Hase, F., & Jones, N. 2007. Comparisons between ground-based FTIR and MIPAS N2O and HNO3 profiles before and after assimilation in BASCOE. *Atmospheric Chemistry & Physics* **7:** 377-96. .

Wood, S.W., Batchelor, R.L., Goldman, A., Rinsland, C.P., Connor, B.J., Murcray, F.J., Stephan, T.M. & Heuff, D.N. 2004. Ground-based nitric acid measurements at Arrival Heights, Antarctica, using solar and lunar Fourier transform infrared observations. *Journal of Geophysical Research* **109**: D18307.

Wright, I.M., Fraser, B.J., & Menk F.W. 1998. Observations of polar cap arc drift motion from Scott Base S-RAMP Proceedings of the AIP Congress, Perth, September 1998.

Zeng, G., Wood, S.W., Morgenstern, O., Jones, N.B., Robinson, J., & Smale, D. 2012. Trends and variations in CO, C2H6, and HCN in the Southern Hemisphere point to the declining anthropogenic emissions of CO and C2H6,



Map 1: ASPA No. 122 - Arrival Heights - Regional overview

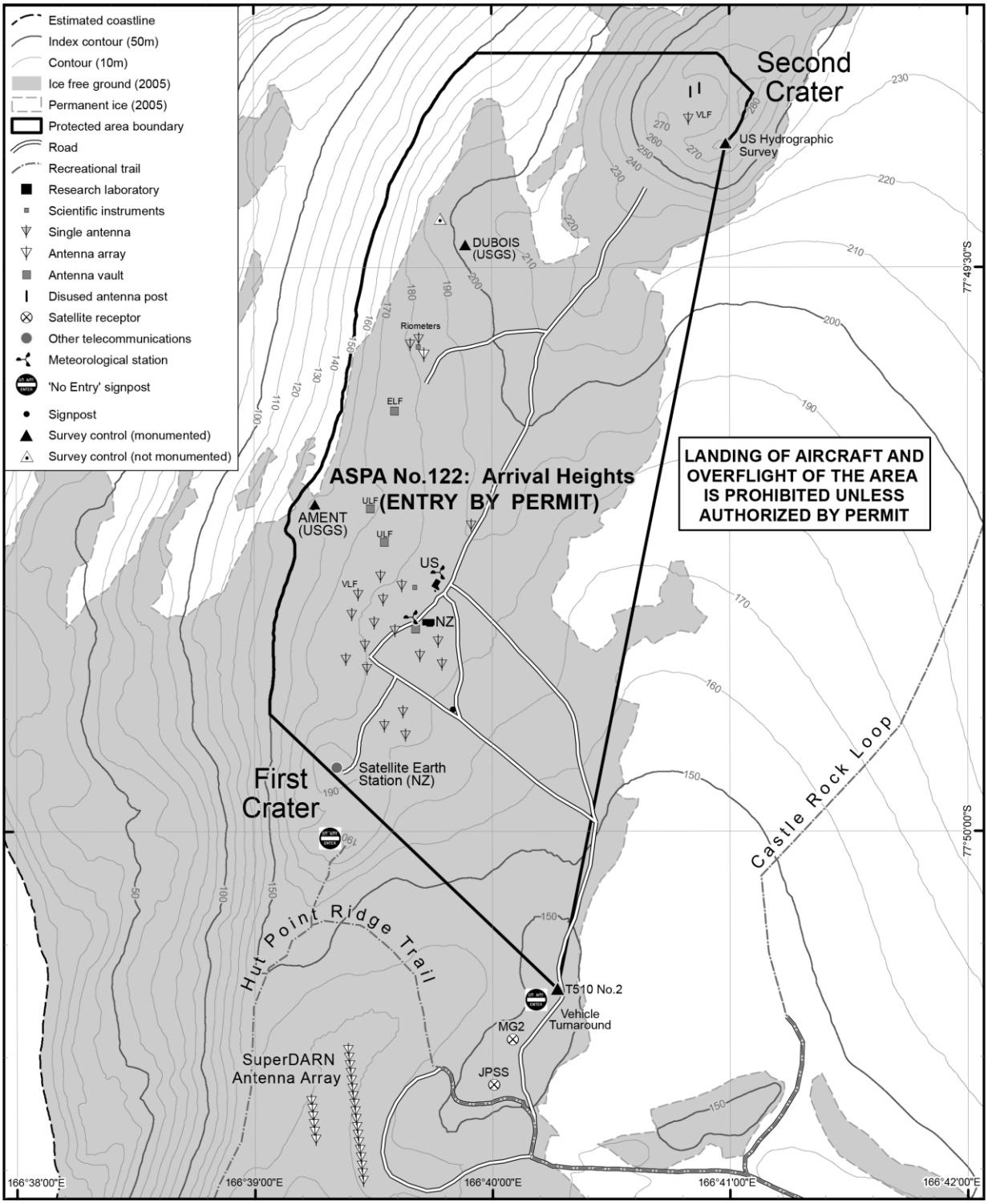
0 0.5 1 Kilometers

N

22 Mar 2016 (Map ID: 10069.001.04)
United States Antarctic Program
Environmental Research & Assessment

Estimated coastline
Index contour (100m)
Contour (20m)
Ice free ground (2005)
Permanent ice (2005)
Ocean
Protected area boundary
Road
Recreational trail
Buildings
SuperDARN antenna array
Satellite receiver
Satellite Earth Station
Wind turbine

Projection: Lambert Conic Conformal
Spheroid and horizontal datum: WGS84
Data sources: Contours: Derived from 2m DEM, contour interval 20m; Buildings: RPSC survey (Feb 09); Features: Derived from USAP (Feb 2009) & ERA (Nov 2009) field surveys; Recreational trails: PGC field survey 2009; Permanent ice extent: Digitised from Quickbird orthophoto (15 Oct 05) (Imagery © 2005 Digital Globe; NGA Commercial Imagery Program); ASPA boundary based on Management Plan (2016).



Map 2: ASPA No. 122 - Arrival Heights - Boundary & topography

11 Mar 2016 (Map ID: 10069.002.03)
United States Antarctic Program
Environmental Research & Assessment

Caution:
Overground cables are present throughout Arrival Heights and are not shown on this map. Care should be taken to avoid disturbing these cables.

N
0 100 200
Meters

Projection: Lambert Conic Conformal
Data sources: Contours: Derived from 2m DEM, contour interval 10m; Features: Derived from USAP (Feb 2009) & ERA (Nov 2009) field surveys; Recreational trails: PGC field survey 2009; Permanent ice digitised from orthorectified Quickbird image (15 Oct 05) (Imagery © Digital Globe; NGA Commercial Imagery Program); ASPA boundary based on Management Plan (2016).