


Fusées-sondes pour la recherche spatiale canadienne



James Gordon, CRC, Ottawa (Ontario)

David Knudsen, Université de Calgary (Alberta)

David McCabe, Magellan (Bristol), Ottawa (Ontario)

Atelier de l'ASC sur les plateformes suborbitales et les nanosatellites, ASC/St-Hubert, 14 avril 2010

James_CSA_Workshop_Rockets_eng.ppt



Aperçu de l'exposé

- Caractéristiques intéressantes des fusées-sondes.
- Des exemples en guise d'illustration.
- Considérations programmatiques au Canada.

Demain : Présentation par Kotelko sur les capacités de la fusée Magellan.

Caractéristiques des missions avec fusées-sondes

Éventail de disciplines : aéronomie, environnement spatial, astronomie, microgravité (observation **sur** l'atmosphère ou depuis l'ionosphère ou dans celle-ci).

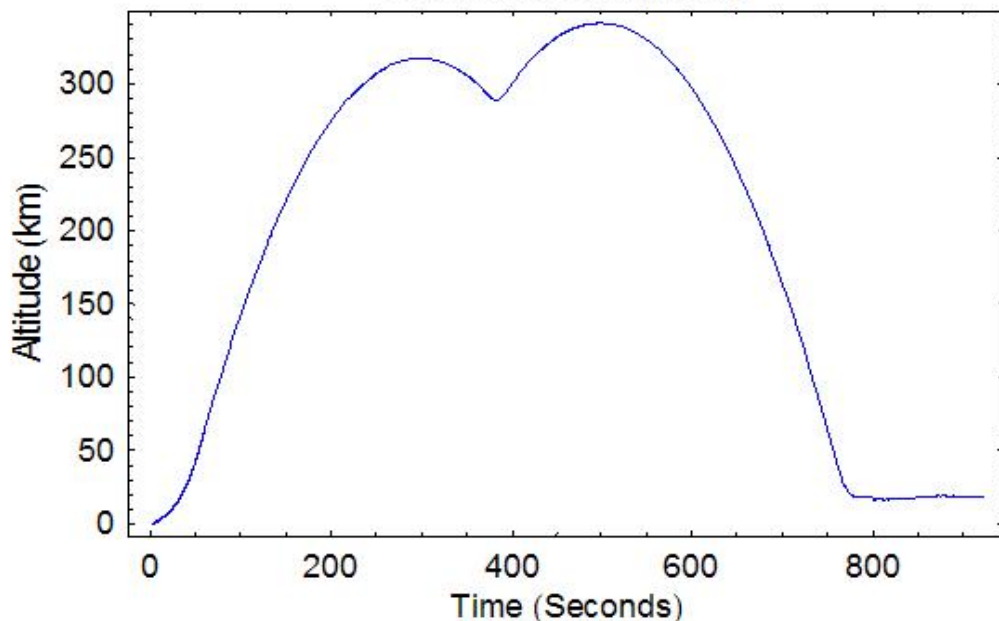
Délais d'exécution plus courts que les missions orbitales.

Objectifs scientifiques spécifiques et ciblés.

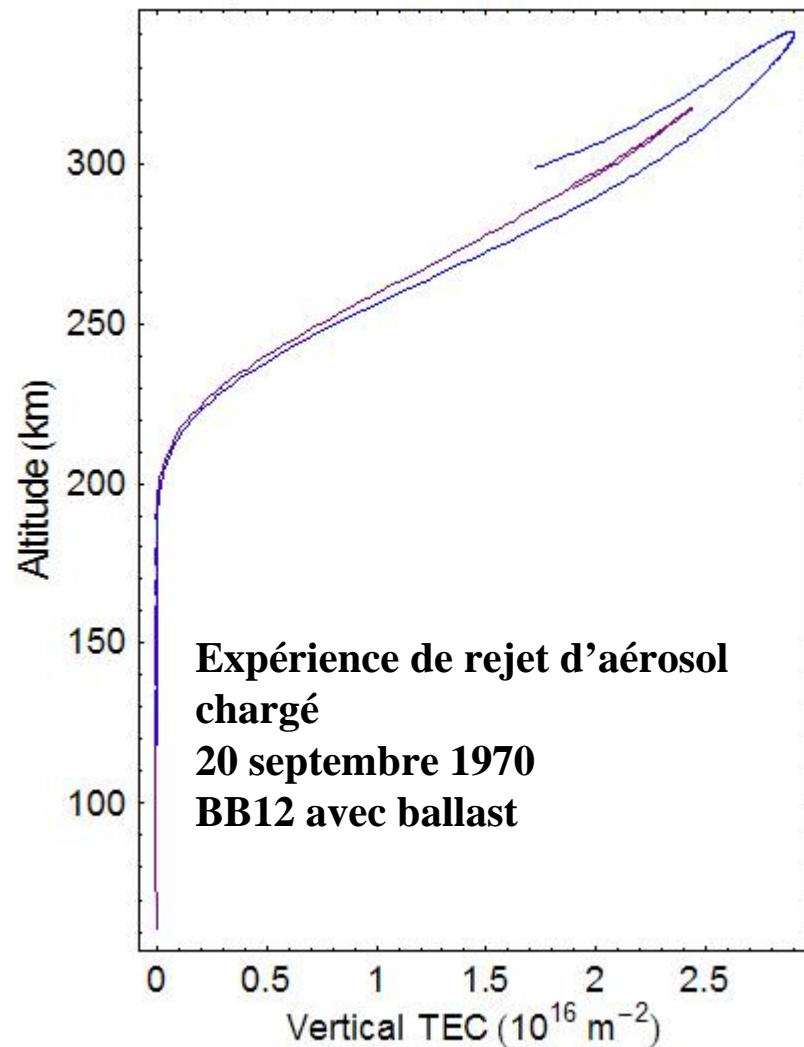
Trajectoires paraboliques, phases ascendante et descendante presque à la verticale, « vol stationnaire ». (CARE)

Mesure TEC par la fusée CARE I, par le récepteur de NWRA à Chesapeake (VA)

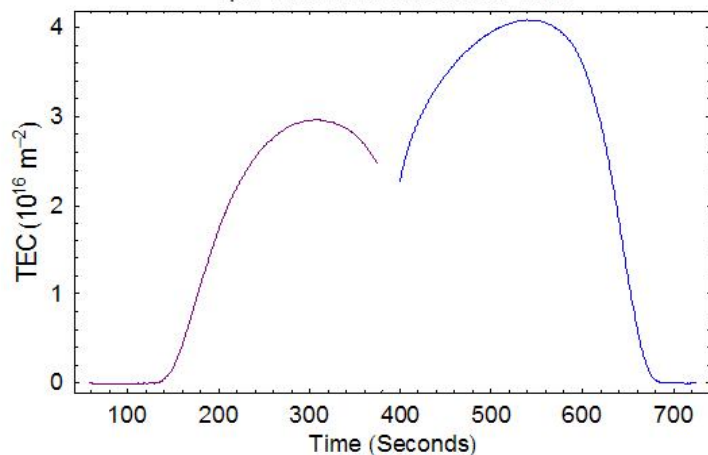
CARE Rocket Trajectory



Spin Corrected Differential Phase



Spin Corrected Differential Phase



Caractéristiques des missions avec fusées-sondes

Éventail de disciplines : aéronomie, environnement spatial, astronomie, microgravité (observation depuis l'atmosphère, et au-dessus de celle-ci).

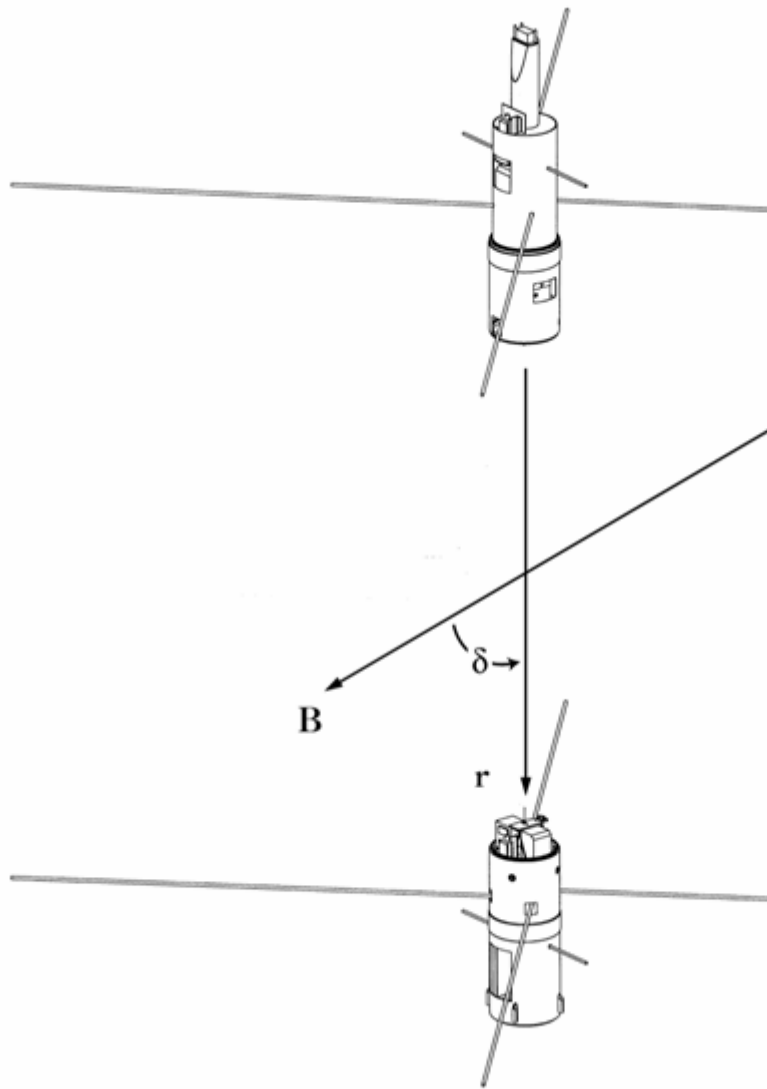
Délais d'exécution plus courts que les missions orbitales.

Objectifs scientifiques spécifiques et ciblés.

Trajectoires paraboliques, phases ascendante et descendante presque à la verticale, « vol stationnaire ». (CARE)

Bref séjour dans l'espace (5 à 20 minutes), mais fructueux si l'expérience est bien conçue. (OEDIPUS C)

OEDIPUS C juste après la séparation



Sous-charge utile avant :

Excitateur VLF-HF (HEX),
particules énergétiques et
autres instruments.

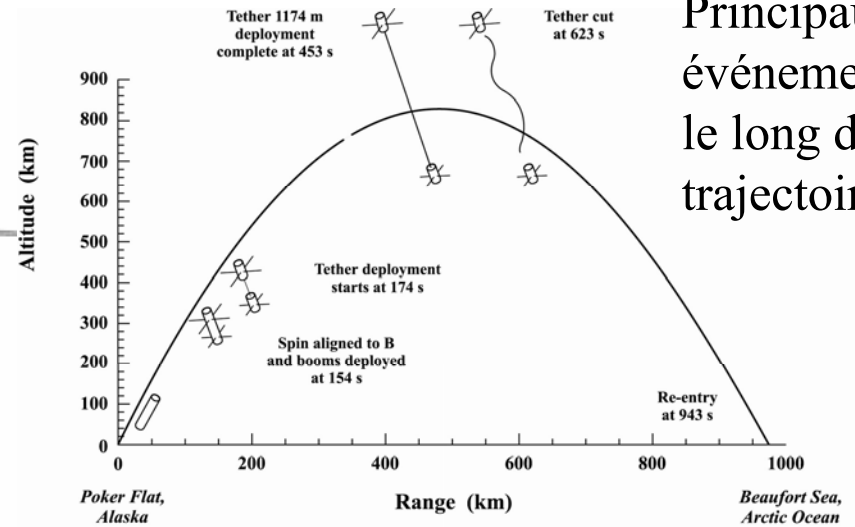
$$0.2^\circ < \delta < 5^\circ .$$

Sous-charge utile arrière :

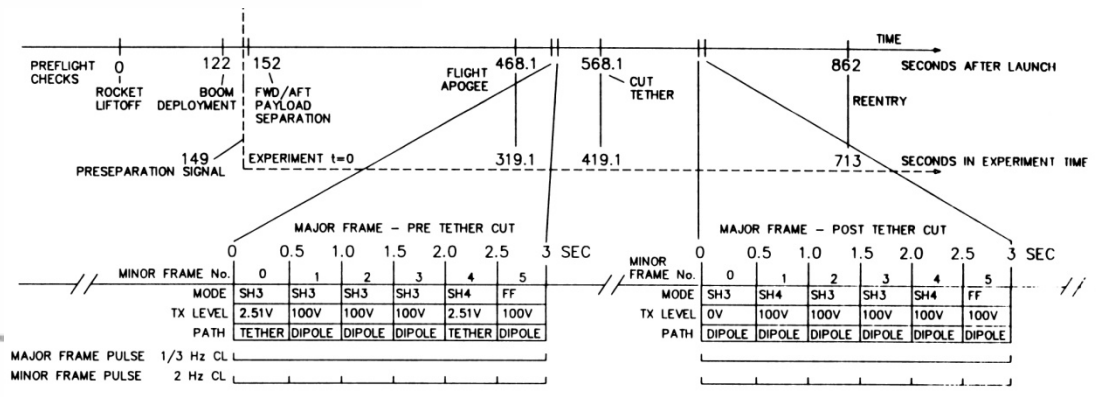
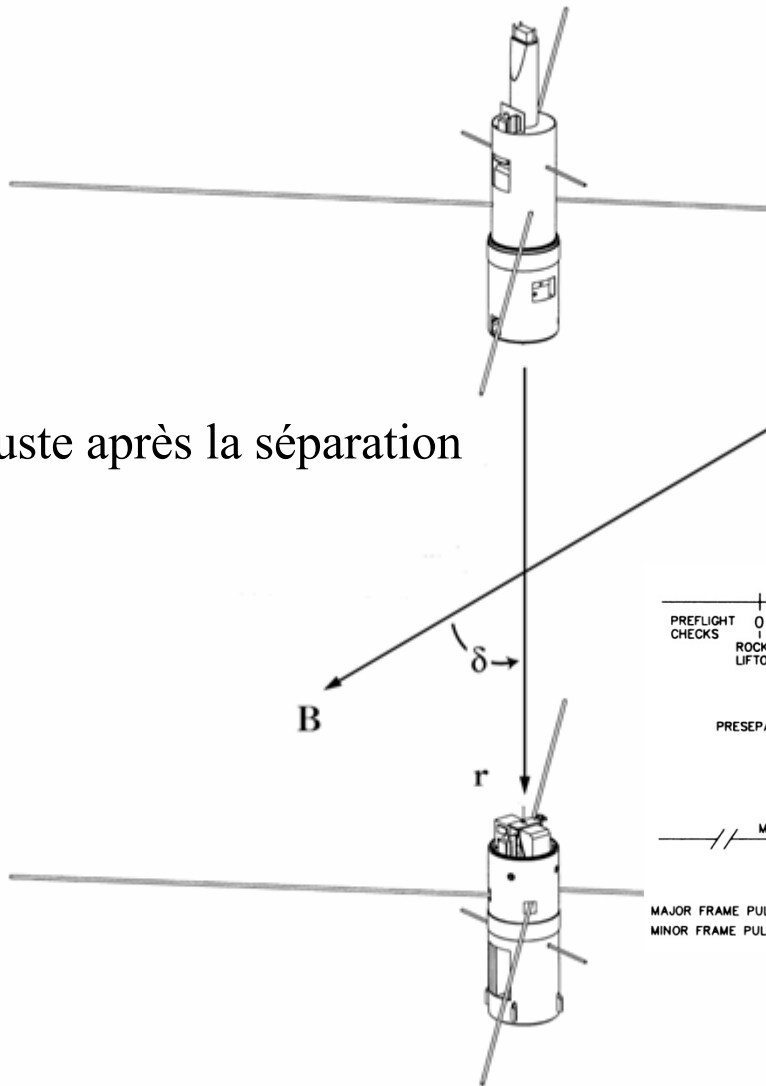
Récepteur VLF-HF (REX),
particules énergétiques et
autres instruments.

OEDIPUS C

Principaux événements le long de la trajectoire



Juste après la séparation



Cycle de travail de trois secondes

Caractéristiques des missions avec fusées-sondes

Éventail de disciplines : aéronomie, environnement spatial, astronomie, microgravité (observation depuis l'atmosphère, et au-dessus de celle-ci).

Délais d'exécution plus courts que les missions orbitales.

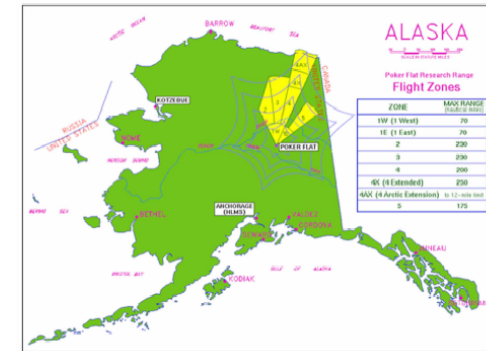
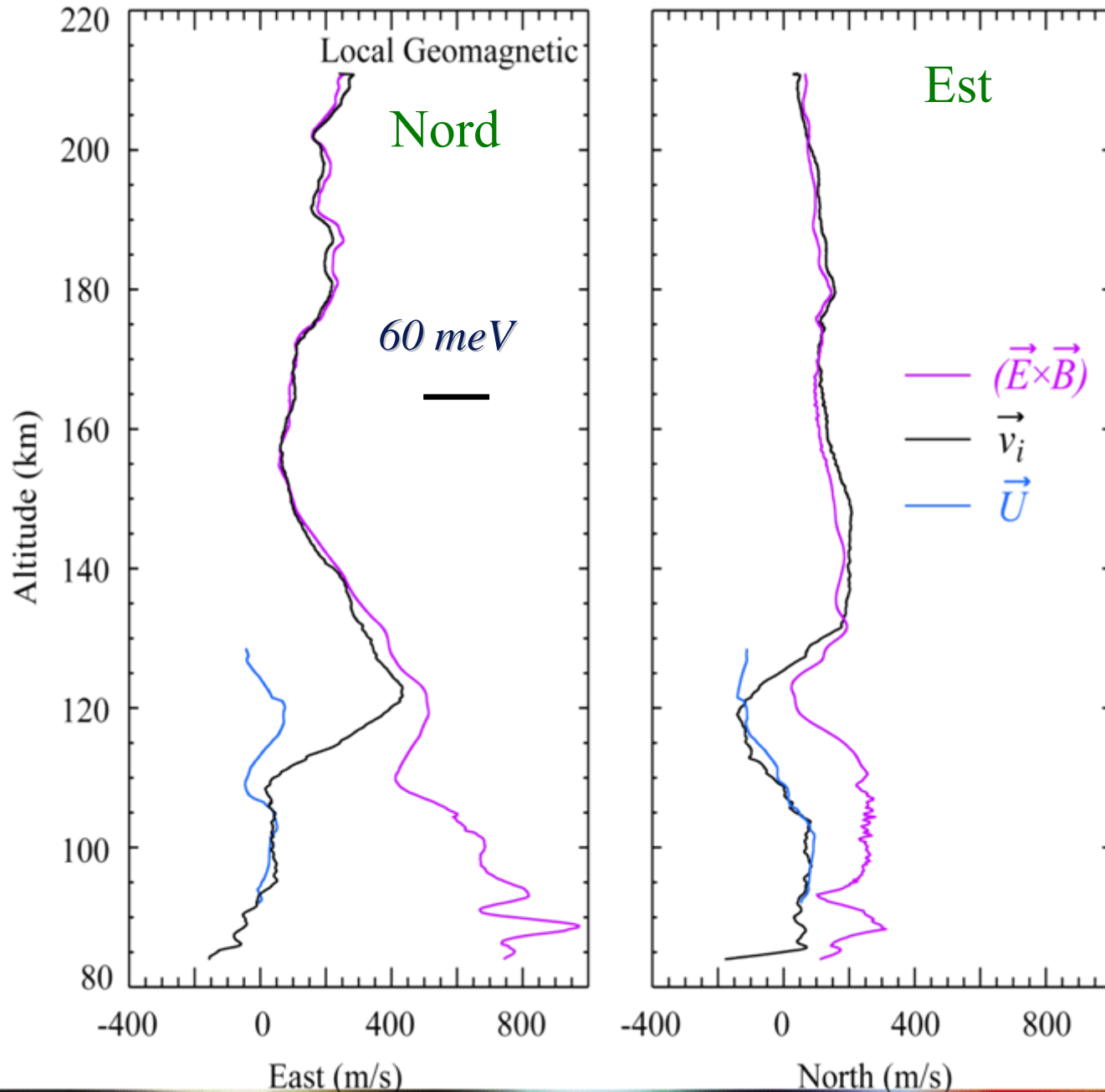
Objectifs scientifiques spécifiques et ciblés.

Trajectoires paraboliques, phases ascendante et descendante presque à la verticale, « vol stationnaire ». (CARE)

Bref séjour dans l'espace (5 à 20 minutes), mais fructueux si l'expérience est bien conçue. (OEDIPUS C)

Seule façon d'accéder à des régions importantes de l'espace : de la mésosphère à la basse ionosphère. (Joule II)

JOULE-II Descente Janvier 2007



Sangalli et autres, JGR, 2009

Caractéristiques des missions avec fusées-sondes

Éventail de disciplines : aéronomie, environnement spatial, astronomie, microgravité (observation depuis l'atmosphère, et au-dessus de celle-ci).

Délais d'exécution plus courts que les missions orbitales.

Objectifs scientifiques spécifiques et ciblés.

Trajectoires paraboliques, phases ascendante et descendante presque à la verticale, « vol stationnaire ». (CARE)

Bref séjour dans l'espace (5 à 20 minutes), mais fructueux si l'expérience est bien conçue. (OEDIPUS C)

Seule façon d'accéder à des régions importantes de l'espace : de la mésosphère à la basse ionosphère. (Joule II)

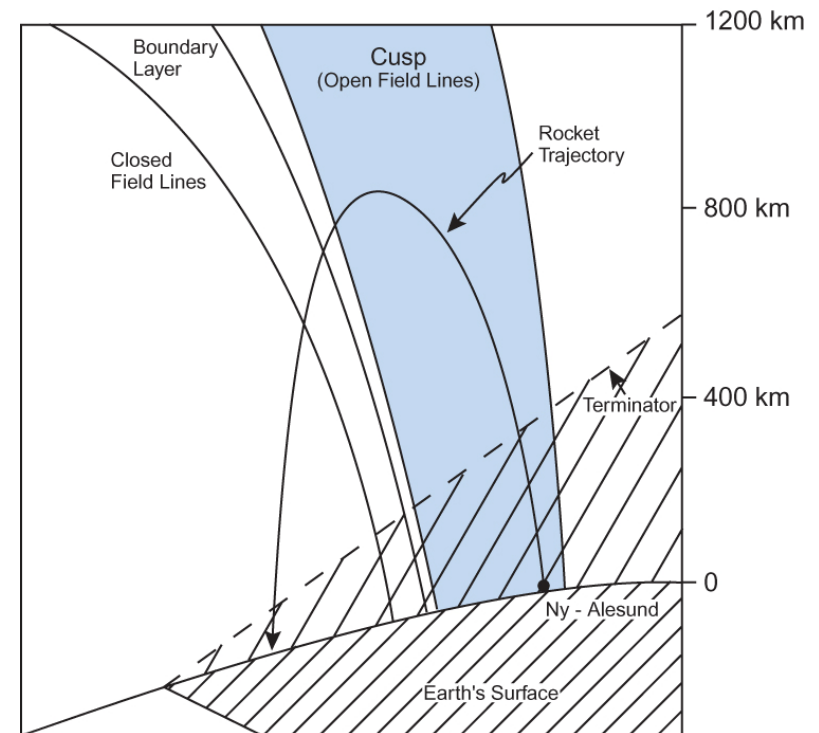
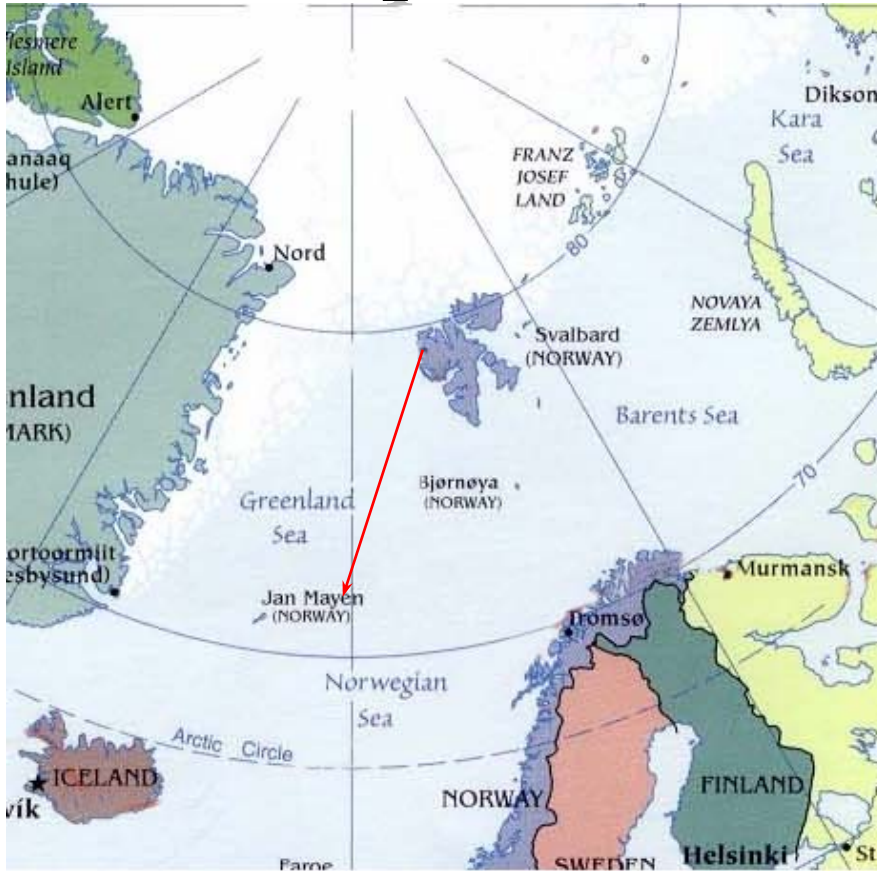
Missions sur la microgravité : Plusieurs minutes en chute libre, sans interférence, sans bruit.

Caractéristiques des missions avec fusées-sondes (suite)

- Observation optique des sources astronomiques, solaires et planétaires aux longueurs d'onde absorbées par la basse atmosphère. (GEMINI, ACTIVE)
- Capacité de lancer des charges utiles relativement importante (~ 500 kg) avec des lanceurs peu coûteux. (CSAR, GEMINI)
- Capacité d'utiliser le croissant de la Terre comme disque occultant pour observer des sources astronomiques près du Soleil.
- Possibilité de viser des objectifs géophysiques spécifiques comme les aurores, l'électrojet équatorial, les nuages noctiluents, le vent polaire. (CUSP)

Fusée Cusp : Cause et effet du vent polaire

14 décembre 2002

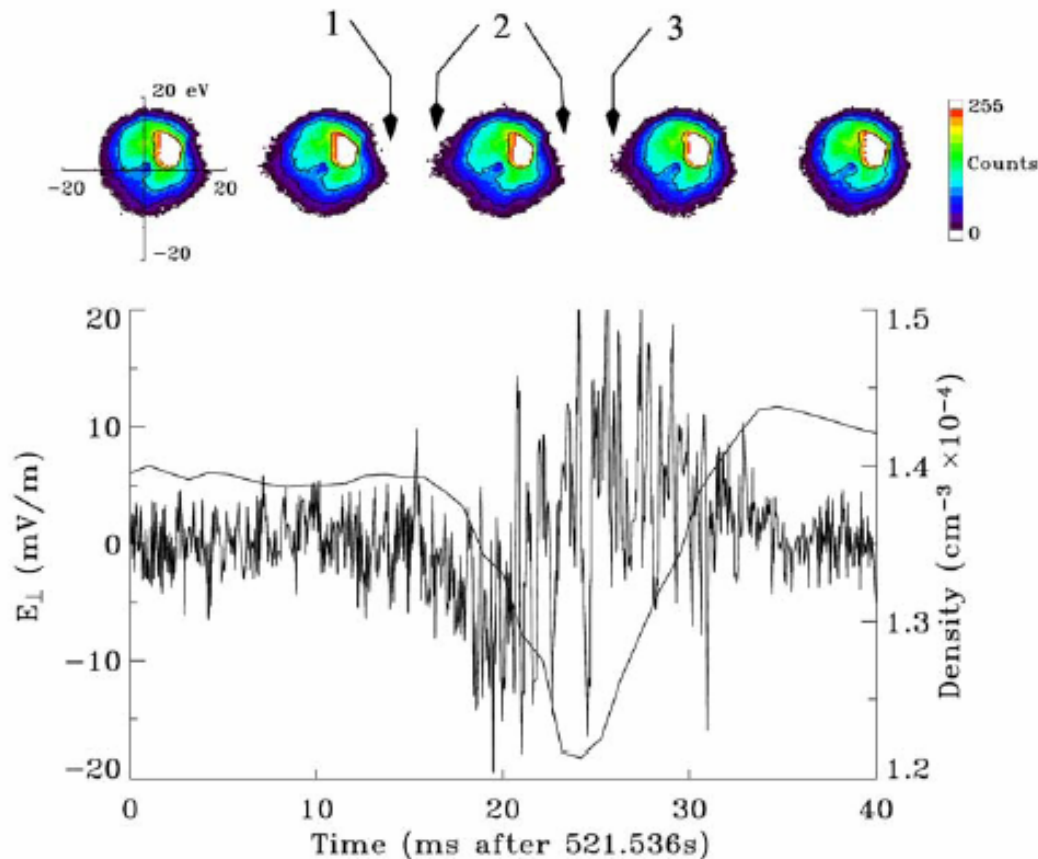


Caractéristiques des missions avec fusées-sondes (suite)

- Observation optique des sources astronomiques, solaires et planétaires aux longueurs d'onde absorbées par la basse atmosphère. (GEMINI, ACTIVE)
- Capacité de lancer des charges utiles relativement importante (~ 500 kg) avec des lanceurs peu coûteux. (CSAR, GEMINI)
- Capacité d'utiliser le croissant de la Terre comme disque occultant pour observer des sources astronomiques près du Soleil.
- Possibilité de viser des objectifs géophysiques spécifiques comme les aurores, l'électrojet équatorial, les nuages noctilucents, le vent polaire. (CUSP)
- Accès aux sites géophysiques distants et aux objets astronomiques visibles depuis l'hémisphère sud. (Études d'éclipse, 1970; aurore diurne à Cape Parry, 1974)
- **Vitesse du véhicule lente par rapport au milieu ambiant, plus lent que les satellites en orbite, permettant une meilleure résolution des structures. (GEODESIC)**

Structures solitaires hybrides inférieures (LHSS) dans l'ionosphère supérieure

- Signatures des LHSS
 - Raréfaction de la densité
 - Bruit IAT et/ou VLF large bande
- Fusée GEODESIC, 980 km (Burchill 2004)
- Distribution des ions peu énergétiques
 - Résolution de 11 ms/13 m
 - $T \sim 0,2$ eV (ions O^+ percutés)
 - Ions chauffés à plusieurs eV
- Cavité de densité observée
 - Raréfaction de $\sim 15\%$
 - Durée : ~ 10 ms



Caractéristiques des missions avec fusées-sondes (suite)

- Observation optique des sources astronomiques, solaires et planétaires aux longueurs d'onde absorbées par la basse atmosphère. (GEMINI, ACTIVE)
- Capacité de lancer des charges utiles relativement importante (~ 500 kg) avec des lanceurs peu coûteux. (CSAR, GEMINI)
- Capacité d'utiliser le croissant de la Terre comme disque occultant pour observer des sources astronomiques près du Soleil.
- Possibilité de viser des objectifs géophysiques spécifiques comme les aurores, l'électrojet équatorial, les nuages noctiluents, le vent polaire. (CUSP)
- Accès aux sites géophysiques distants et aux objets astronomiques visibles depuis l'hémisphère sud. (études d'éclipse, 1970; aurore diurne à Cape Parry, 1974)
- Vitesse du véhicule lente par rapport au milieu ambiant, plus lent que les satellites en orbite, permettant une meilleure résolution des structures. (GEODESIC)
- Capacité de lancer des fusées simultanément sur des trajectoires différentes, par exemple, avec des apogées ou des azimuts de vol différents, ou une série de fusées le long d'une même trajectoire mais dans des conditions qui changent avec le temps (études d'éclipse, 1970).

Études des éclipses avec des fusées à des moments différents et avec une réflexion radio partielle

Changement en A_X/A_0 à mesure que l'ombre de la lune se déplace le long de la trajectoire

628 J. S. BELROSE, D. B. ROSS and A. G. McNAMARA

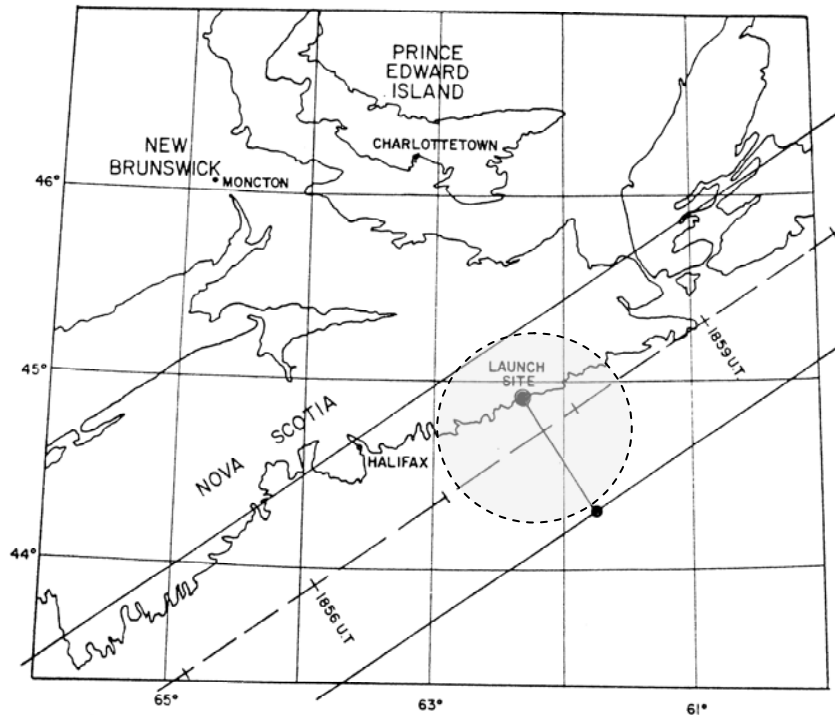
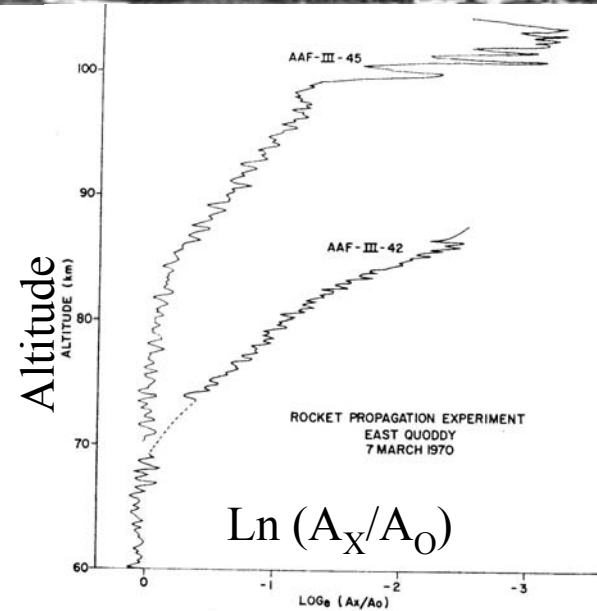
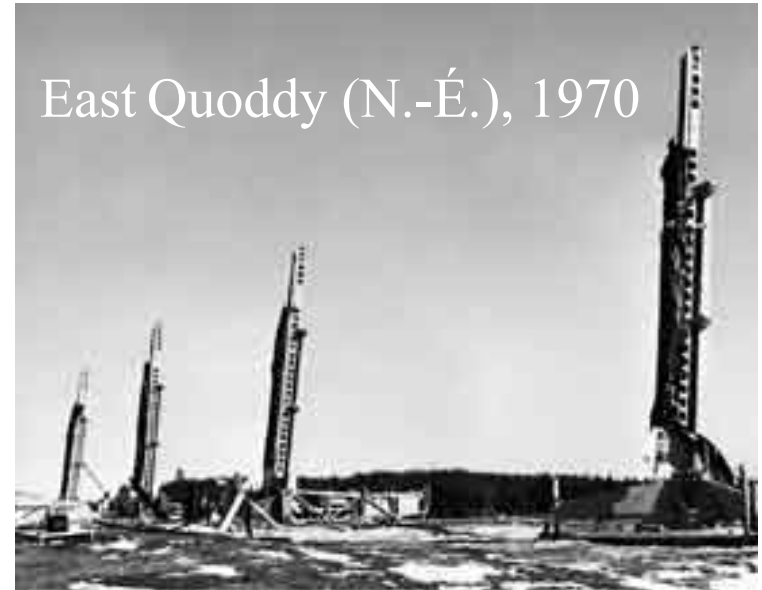


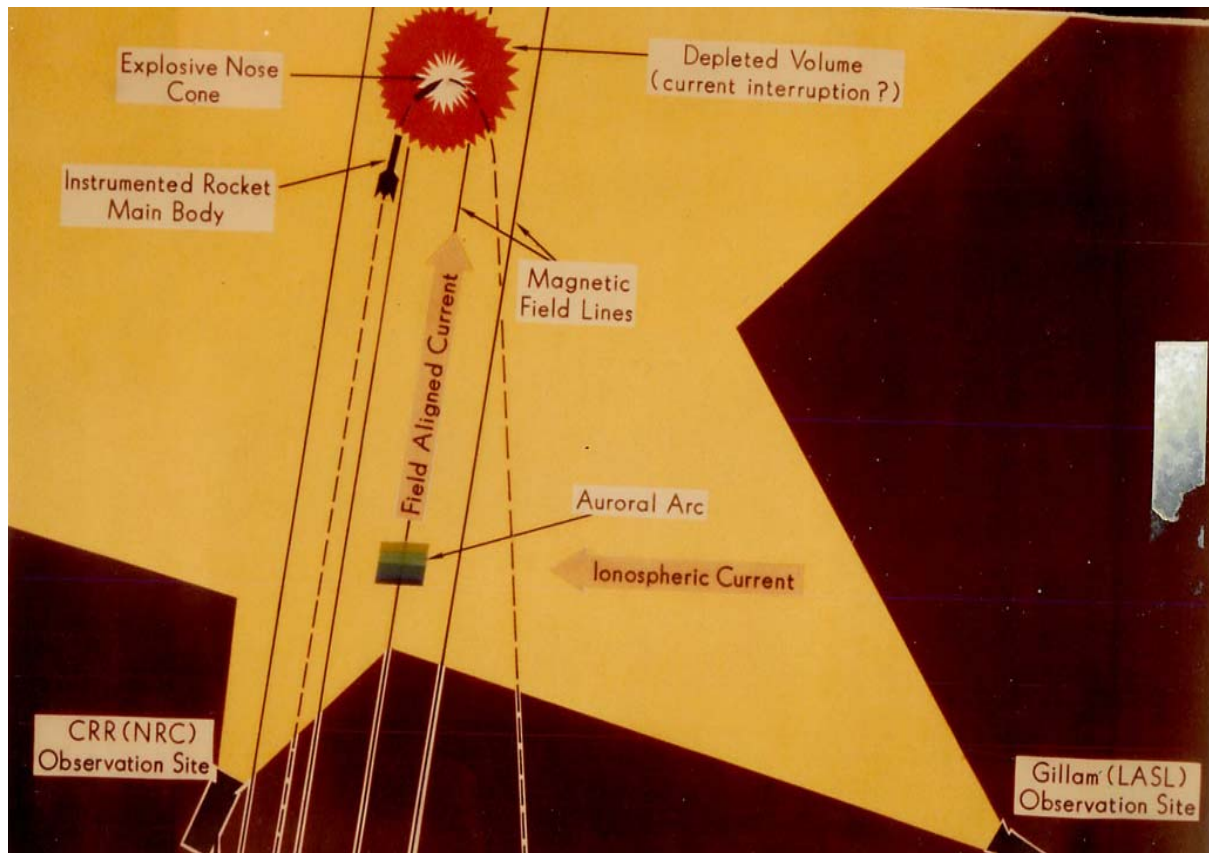
Fig. 1. Map showing the location of the launch site at East Quoddy and the path of totality at 100 km for the eclipse of 7 March 1970. The rocket launch and impact points are marked.



Caractéristiques des missions avec fusées-sondes (suite)

- Observation optique des sources astronomiques, solaires et planétaires aux longueurs d'onde absorbées par la basse atmosphère. (GEMINI, ACTIVE)
- Capacité de lancer des charges utiles relativement importante (~ 500 kg) avec des lanceurs peu coûteux. (CSAR, GEMINI)
- Capacité d'utiliser le croissant de la Terre comme disque occultant pour observer des sources astronomiques près du Soleil.
- Possibilité de viser des objectifs géophysiques spécifiques comme les aurores, l'électrojet équatorial, les nuages noctilucents, le vent polaire. (CUSP)
- Accès aux sites géophysiques distants et aux objets astronomiques visibles depuis l'hémisphère sud. (études d'éclipse, 1970; aurore diurne à Cape Parry, 1974)
- Vitesse du véhicule lente par rapport au milieu ambiant, plus lent que les satellites en orbite, permettant une meilleure résolution des structures. (GEODESIC)
- Capacité de lancer des fusées simultanément sur des trajectoires différentes, par exemple, avec des apogées ou des azimuts de vol différents (études d'éclipse, 1970).
- Sous-charges en vol libre à partir d'un seul lancement et à intervalles réduits. (Edipe)
- **Exploitation des possibilités des expériences actives (Waterhole, CARE, OEDIPUS) .**

Projet Waterhole, 981-1984 : le concept...



Projet 1981-1984 Waterhole : le concept ...

Injecter de la vapeur d'eau dans la région F au-dessus de l'aurore

$H_2O + CO_2 + \text{ions}$ – recombinaison dissociative pour produire un trou ionique : « trou d'eau »

Réduire la conductivité ionosphérique et perturber le système de courant de l'aurore et...

Projet Waterhole, 1981-1984 : la science...

JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 86, NO. A7, PAGES 5601-5613, JULY 1, 1981

Observations of Particle Precipitation, Electric Field, and Optical Morphology of an Artificially Perturbed Auroral Arc: Project Waterhole

A. W. YAU, B. A. WHALEN, AND F. CREUTZBERG

Herzberg Institute of Astrophysics, National Research Council of Canada

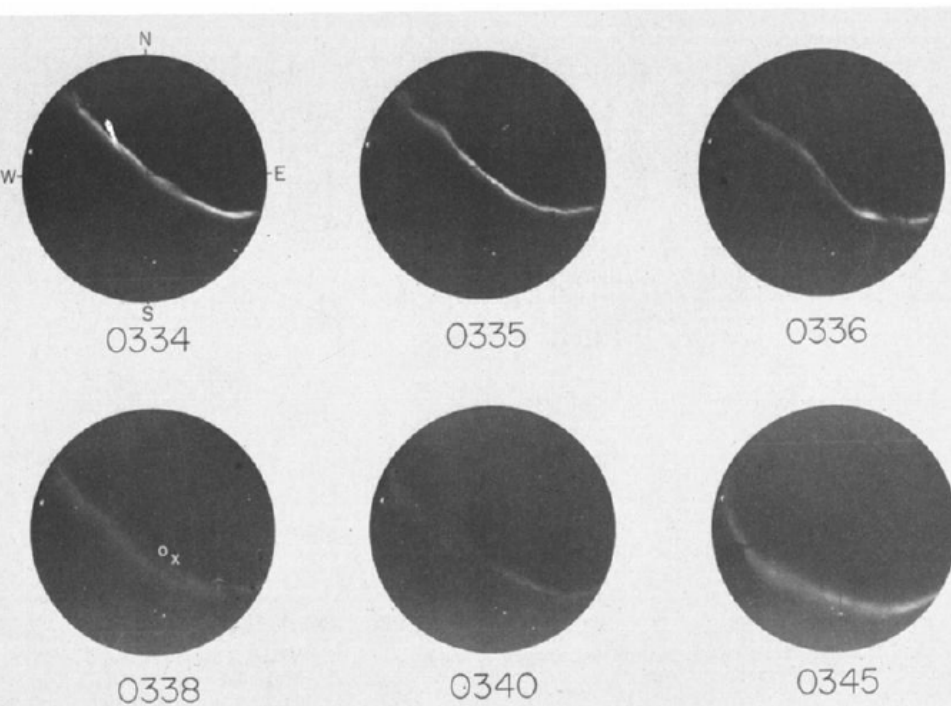


Fig. 11. ASC images of the auroral arc from 0334 to 0345. All frames were taken with 3-s exposure. Visibility threshold of images is about 15 kR. The cross and the circle in the frame at 0338 denote the release point and its projection at 100 km, respectively.

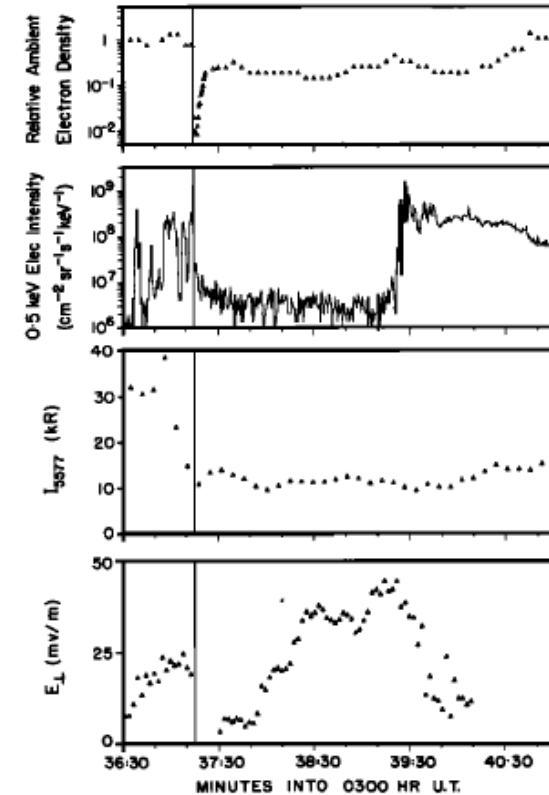


Fig. 13. Summary plot of in situ particle and field, and ground-based photometric measurements. (From top to bottom) Relative

Raréfaction ionosphérique ⇒
 Perturbation du courant auroral ⇒
 Amenuisement de l'aurore

Validation de nouveaux instruments et développement de nouvelles technologies

- Banc d'essai peu coûteux pour de nouveaux instruments et techniques scientifiques.
- Technologie innovante « prototypée » pour les tâches spatiales.

Fusée-sonde		Satellite	
Mission	Instrument	Mission	Instrument
GEODESIC, Joule, Cusp	SII, SEI	Swarm	EFI
		C/e-POP	SEI
ACTIVE S-520	TPA	Planet-B	TPA
	GPS	C/e-POP	GAP
	TSA	C/e-POP	IRM
	POSSEX	ODIN	OSIRIS

Éducation, formation, renforcement des capacités

Exemples : Étudiants recevant une formation aux différentes étapes d'une mission avec fusée-sonde, sous la direction de M. Knudsen :

S. Franchuk – OEDIPUS C

J. Burchill – GEODESIC (maintenant à l'U. de Calgary)

B. Bock

L. Sangalli – Joule II (maintenant au CMR)

B. Archer – Joule II

R. Kabirzadeh – GEODESIC

Accès peu coûteux à l'espace

Coûts de développement de charges utiles canadiennes.

Besoins limités en télémétrie et repérage.

Gestion de projet et construction des charges utiles dans un endroit central.

Banalisation des fusées, des charges utiles et des sous-systèmes utilisés plusieurs fois.

Le coût des charges utiles peut être étalé sur plusieurs missions.

La conception à faible risque est acceptable.

Coûts des projets de l'ASC pour les charges utiles scientifiques canadiennes mises au point chez Bristol

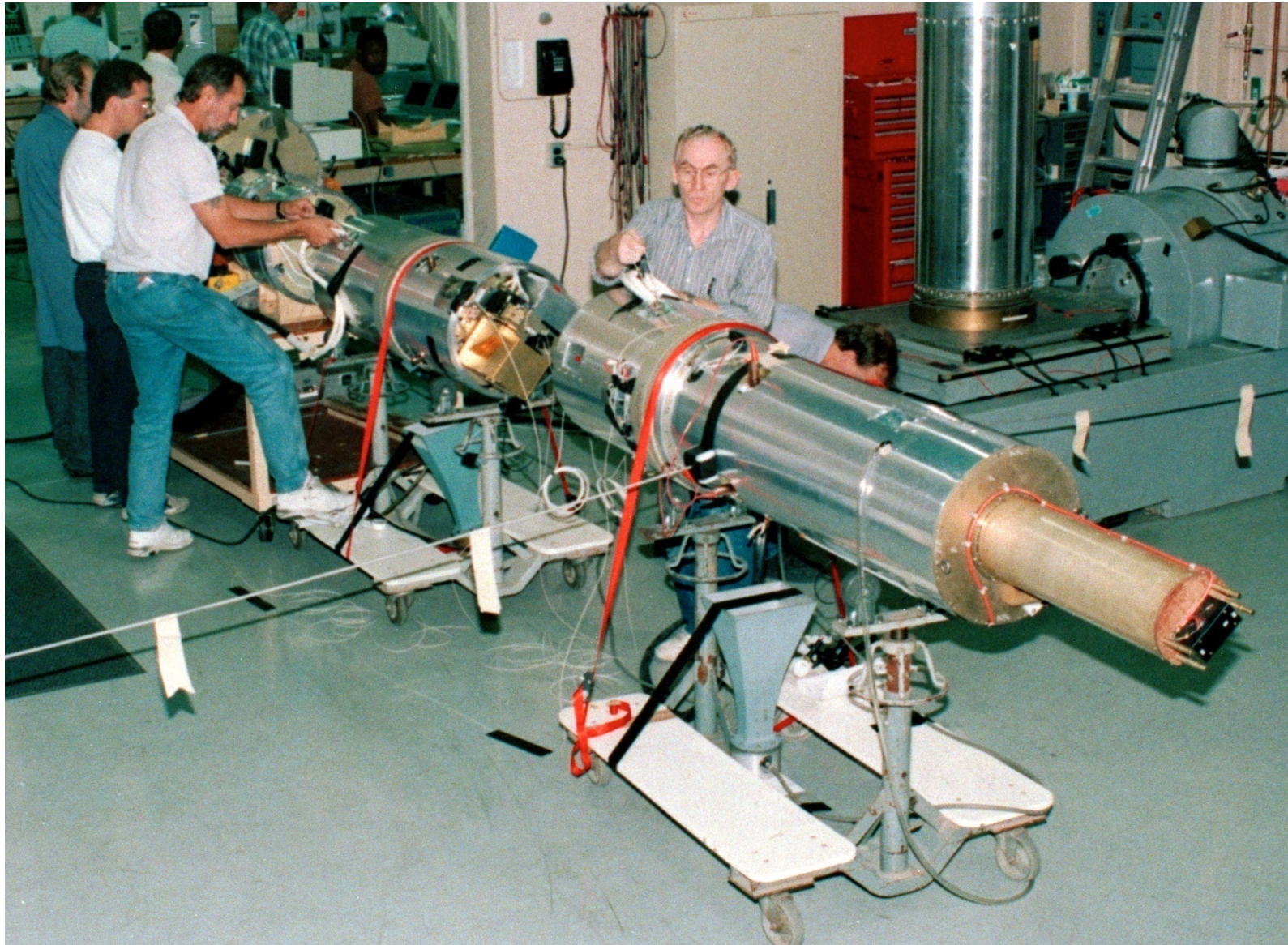
• OEDIPUS A	3 M\$	1989
• CSAR-1		1992
• GEMINI	6 M\$	1994
• CSAR-2	4 M\$	1994
• OEDIPUS C	7 M\$	1995
• ACTIVE		1998
• GEODESIC	4 M\$	2000

IPC actuel / IPC de 1995 = 116/88 = 1,31

Considérations programmatiques au Canada

- Les sept dernières charges utiles étaient sophistiquées et coûteuses.
 - Amélioration des instruments pour des lancements pour d'autres pays?
 - Meilleure synergie pour des missions ciblées?
 - Les étudiants peuvent-ils participer de manière significative?
 - Quelles sont les normes d'AP/AQ pour les charges utiles de plusieurs M\$?
- Quelle capacité l'ASC veut-elle construire?
- La dernière charge utile lancée par Bristol a été GEODESIC en 2000
 - Magellan entend préserver son expertise en fusées

Double charge OEDIPUS-C à l'essai aux installations de BAL en 1995



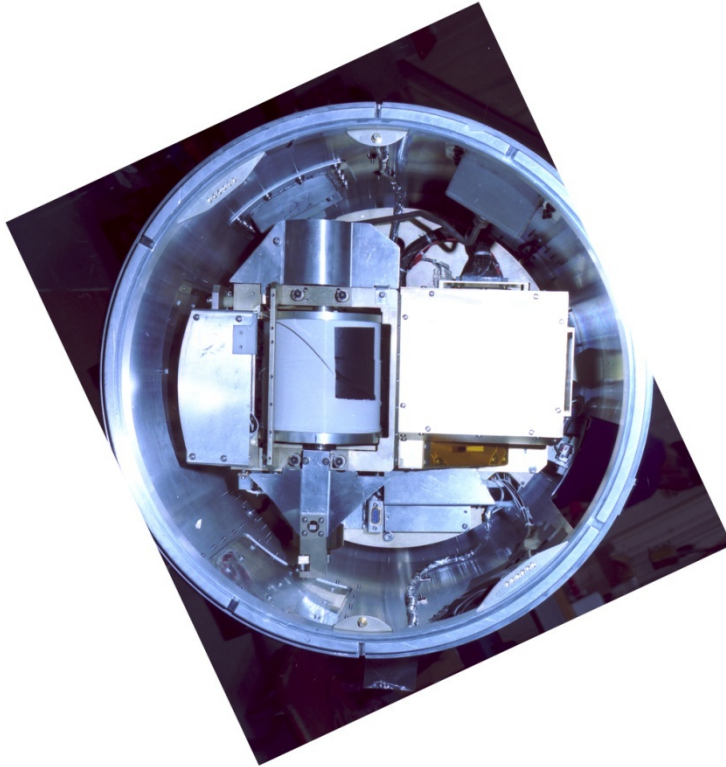
Principaux points

- 1) Les fusées-sondes continuent d'être une plate-forme utile pour une riche variété d'expériences uniques.
- 2) La communauté a besoin de comprendre les impératifs programmatiques du budget de l'ASC de 2010.
- 3) La communauté doit réfléchir au personnel requis pour ce genre de science.

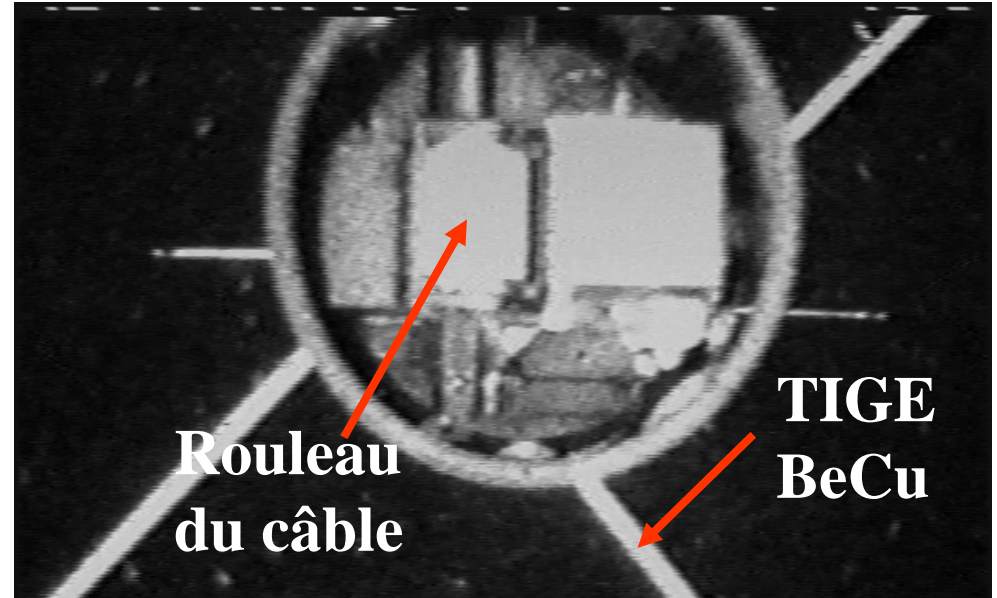




Sous-charge utile avant d'OEDIPUS-C, vue arrière

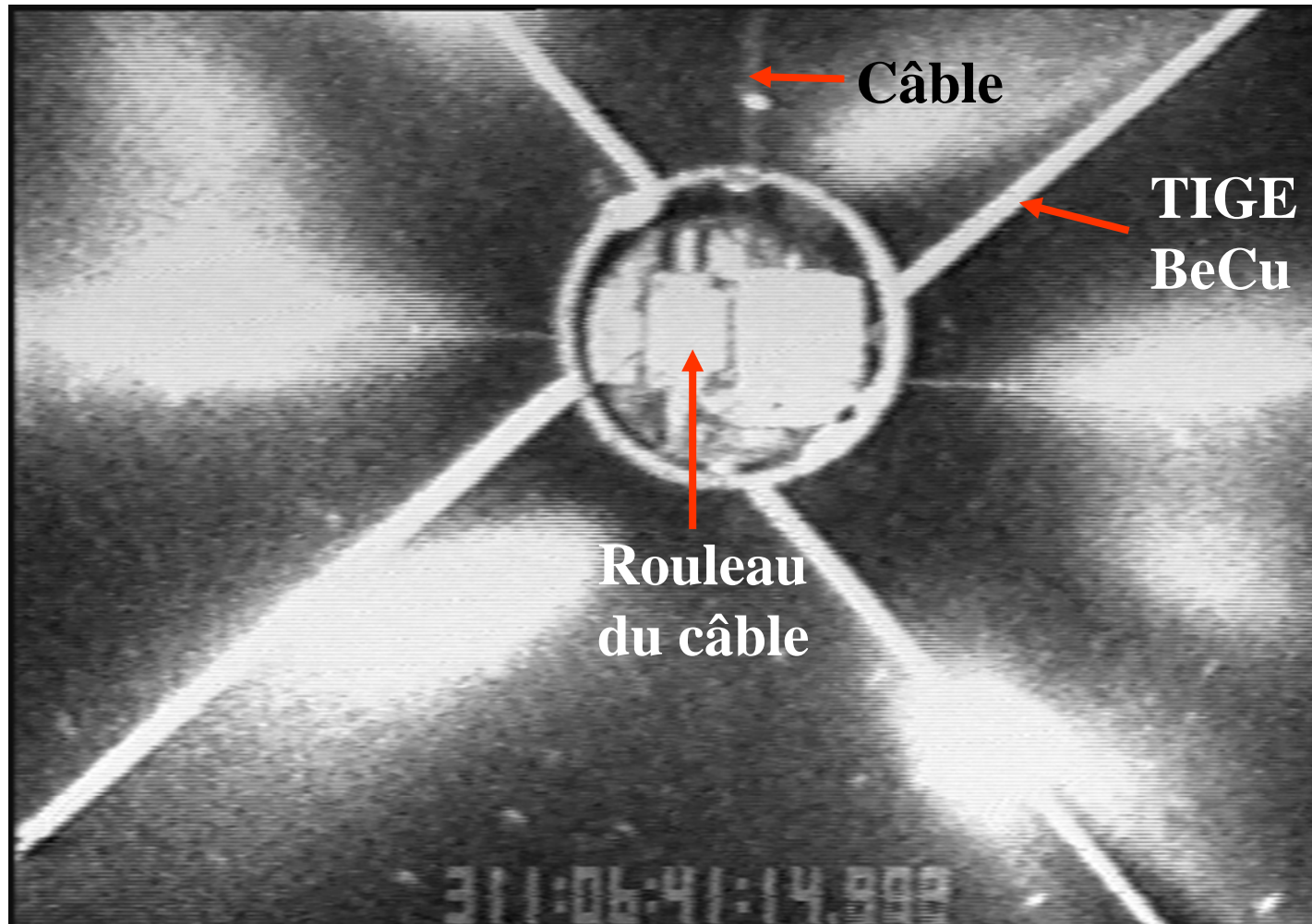


Sur le banc



Film du vol, +1 s après la séparation

Film de la mission OEDIPUS-C, +3 s



La luminosité est due à l'impact des électrons sur les atomes d'Ar provenant du propulseur sur la sous-charge utile avant.

Premières 30 secondes après la séparation d'OEDIPUS-C

**174 seconds after launch:
The payload separates and
the movie begins.**