

CARMEN – Liste des satellites embarquant CARMEN

Détails des différents satellites embarquant CARMEN et objectifs associés

Carmen-1 : à bord du satellite SAC-D lancé le 11 juin 2010

Carmen-2 : à bord du satellite Jason-2 lancé le 20 juin 2008

Carmen-3 : à bord du satellite Jason-3 lancé le 17 janvier 2016

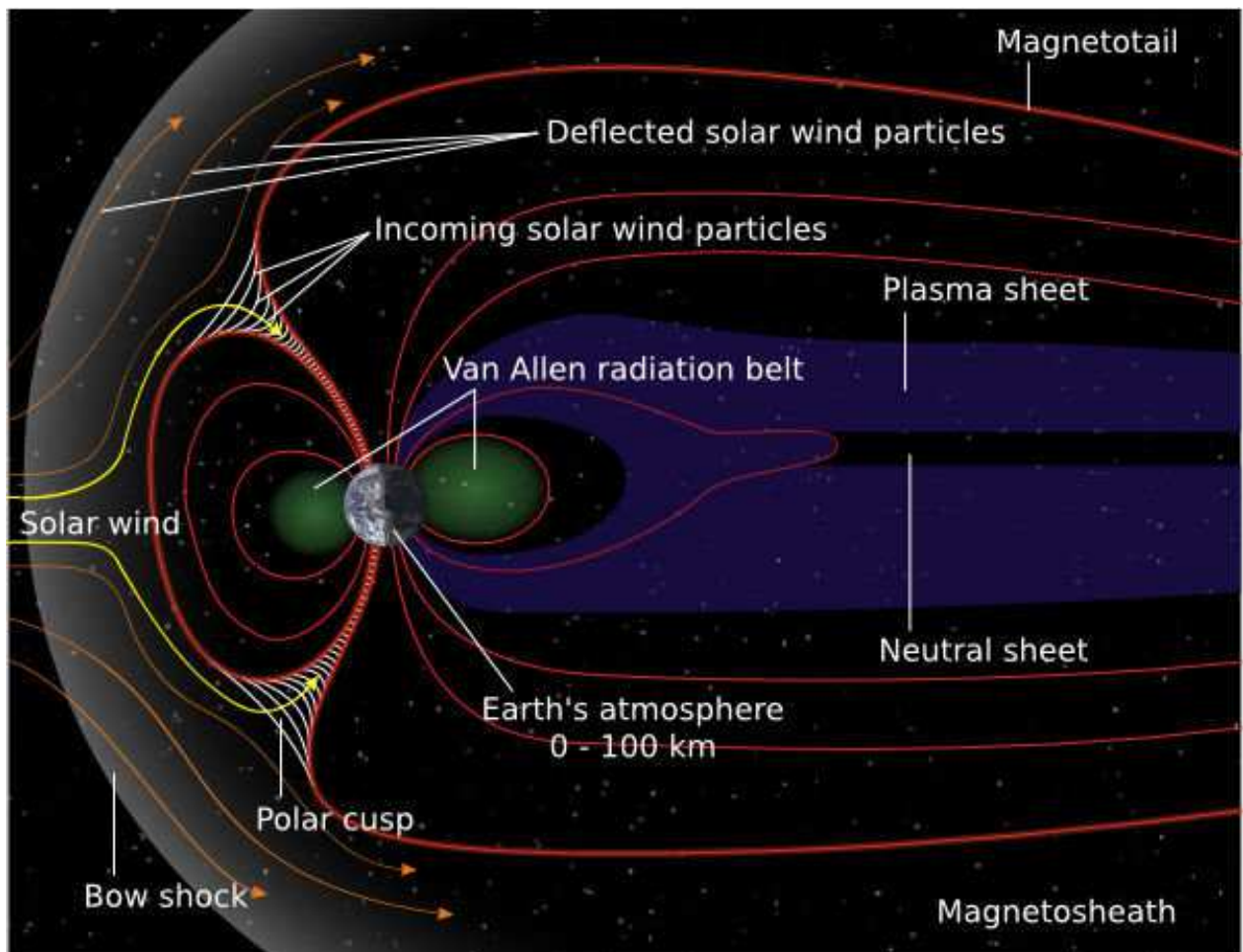
Carmen-4 : à bord du satellite E7C (Eutelsat) lancé le 5 juin 2017

Carmen-5 : à bord du satellite Hotbird 13G (Eutelsat) lancé le 5 juin 2017

Carmen-6 : à bord du satellite Hotbird 13F (Eutelsat) lancé le 5 juin 2017

Principe de mesure

Diverses altitudes et inclinaisons d'orbite permettent une cartographie des flux à diverses positions dans les ceintures de radiations et fournissent des points d'entrée pour la vérification de modèles et de simulations par ordinateur.



Légende : Ceintures de radiation autour de la Terre, vent solaire et champ magnétique terrestre. © NASA.

Les missions avec une inclinaison forte permettent de croiser toutes les lignes du champ magnétique. Alors que l'intensité du flux varie le long des lignes du champ, les variations de flux ($\Delta F/F$) peuvent être considérées comme identiques le long d'une même ligne de champ (au premier ordre)

Une représentation couramment utilisée est de représenter les flux mesurés dans un graphique (L, temps) où « L » est le paramètre dit de Mc Illwain, nombre de rayons terrestres auquel une ligne de champ coupe l'équateur magnétique. Cette représentation permet de visualiser la dynamique de toute

la zone des ceintures de radiations.

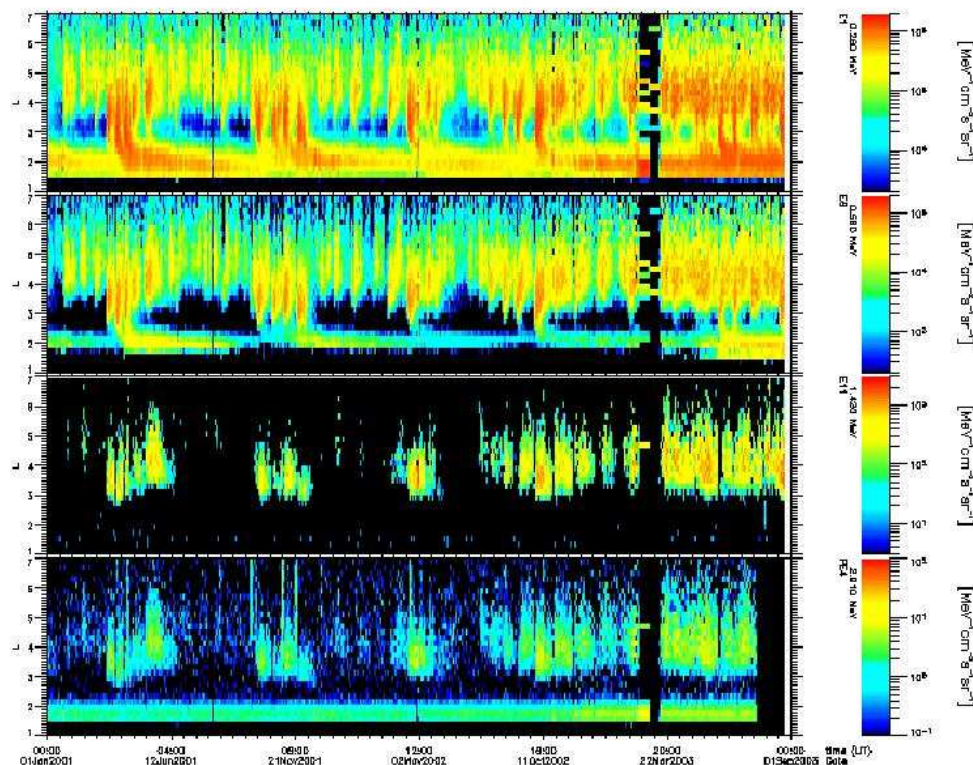


Figure 12 : Survey plot for electrons measured on board SAC-C (715 km- 98 deg.)

Légende : Mesures de flux d'électrons par ICARE-NG à bord du satellite SAC-C. © ONERA.

Les ceintures de radiations de la Terre sont des structures dynamiques. Les variations de flux sont liées aux injections de particules durant les éruptions solaires et le transport des particules dans la magnétosphère associée aux orages magnétiques.

Les missions ayant des dates diverses par rapport au cycle solaire permettent d'étudier la modulation des flux sur le cycle solaire de 11 ans ainsi que l'observation des effets des événements solaires sur la dynamique des flux (éruptions, orages magnétiques). Les événements solaires ont lieu principalement pendant le maximum solaire mais peuvent aussi survenir occasionnellement pendant le minimum solaire. Des événements de haute intensité peuvent apparaître sur la branche descendante du cycle solaire (maximum vers minimum solaire).

Les détecteurs de particules utilisés sont des détecteurs à barrière de surface en silicium complètement désertés (diodes polarisées en inverse).

Lors de leur passage au travers du détecteur, les particules ionisantes créent une impulsion de courant dont l'intégrale est proportionnelle à l'énergie déposée par la particule dans la diode. Cette impulsion est intégrée par un préamplificateur de charge, puis amplifiée, mise en forme et convertie à l'aide d'un convertisseur analogique/numérique en canaux de dépôt d'énergie.

On crée donc, sur une durée d'accumulation programmable, un histogramme représentant le nombre de coups mesurés par canal de dépôt d'énergie. Les diodes utilisées sont d'épaisseurs diverses ($\sim 500 \mu\text{m}$), utilisées en détection simple ou en coïncidence, et les chaînes d'acquisition sont réglées de façon à pouvoir distinguer électrons et protons de moyenne et haute énergie

Les têtes de détection sont orientées dans la même direction que le Module EXPERIENCE. Elles sont situées à l'extérieur de l'instrument et peuvent être enlevées ou changées facilement.

CARMEN-1 : à bord du satellite SAC-D lancé le 11 juin 2010

Dans le cadre d'une coopération franco-argentine, l'instrument CARMEN a été embarqué, en tant que passager technologique, sur le satellite SAC-D (Satellite de Aplicaciones Cientificas-D) pour une mission de 5 ans et pour un lancement prévu initialement en juillet 2009 (LEO 657 km, 96°). Il s'agit de la première mission CARMEN décidée formellement par le CNES le 14/12/2004.

Le satellite SAC-D est dédié à l'observation de la circulation océanique, des variations climatiques et de l'environnement. Réalisé dans le cadre d'une coopération États-Unis-Argentine-Italie-France (NASA-CONAE-ASI-CNES), cette mission est basée sur l'utilisation d'une plate-forme de type SAOCOM et embarque pour la partie opérationnelle, l'instrument de la NASA AQUARIUS. La plateforme est réalisée par l'INVAP sous maîtrise d'œuvre de la CONAE. Le satellite SAC-D est finalement lancé en juin 2010. L'orbite retenue est pratiquement celle de son prédécesseur SAC-C.

Pour la mission CARMEN-1, le CNES assure le rôle de maître d'œuvre instrument et a confié respectivement la réalisation du modèle de vol de

l'instrument ICARE-NG à la société EREMS et celle des capteurs SODAD à la société STEEL Électronique.



Légende : Satellite SAC-D en cours de préparation dans un bâtiment du Spaceport Systems International dédié à la préparation des charges utiles, à la base de l'Air Force de Vandenberg, USA. © NASA/VAFB.

Objectifs de la mission

L'instrument CARMEN-1 a des objectifs de mission qui lui sont propres ainsi que des objectifs en lien avec le satellite qui l'emporte à son bord :

- Objectifs scientifiques : permettre la mesure des flux de particules chargées et les effets de ces flux de particules sur les composants électroniques qu'il embarque et permettre le comptage et la datation des impacts de micro-débris et micro-météorites
- Objectifs associés à SAC-D : caractériser l'environnement radiatif local, aider à l'identification des anomalies dont pourraient être l'objet les équipements en vol en particulier dans l'Anomalie de l'Atlantique Sud (SAA) et interfacer auprès du satellite les trois détecteurs SODAD.

CARMEN-2 : à bord du satellite Jason-2 lancé le 20 juin 2008

Le projet [Jason-2](#) répond à la demande des programmes internationaux d'étude et d'observation des océans et du climat visant à la mise en place d'un système mondial d'observation des océans à l'échelle de la planète. En effet, depuis 1992 et les missions Topex/Poseidon et [Jason-1](#), l'altimétrie, c'est-à-dire la mesure précise de la topographie de surface, s'est imposée comme un outil indispensable pour l'étude des océans à l'échelle du globe.



Légende : Simulation de Jason-2 en orbite terrestre. © CNES/NASA.

Jason-2 fait l'objet d'une coopération entre le CNES, EUMETSAT, la NASA et la NOAA. Le satellite Jason-2, qui utilise une plate-forme [Proteus](#), embarque une charge utile principale composée d'un radar altimètre Poseidon-3 fourni par le CNES, un radiomètre micro-ondes AMR fourni par la NASA/JPL, et d'un triple système d'orbitographie précise : l'instrument [DORIS](#) (CNES), un récepteur GPS et un réflecteur laser LRA (NASA).

Le retrait de l'instrument WSOA (Wide Swath Ocean Altimeter), au printemps 2005, comme contribution NASA à la charge utile Jason-2 a libéré des ressources et permis l'emport de 3 passagers technologiques, dont [T2L2](#) et CARMEN-2 du CNES ainsi que LPT (Light Particle Telescope) de la JAXA. Autour de ces deux derniers instruments dédiés à la mesure de l'environnement radiatif, le CNES et la JAXA coopère au sein d'un JRE (Join Radiation Experiment).

CARMEN-2 est le nom donné à l'architecture CARMEN intégrée à bord du satellite Jason-2 (MEO 1336 km, 66°). Dans cette mission prévue initialement pour 5 ans, CARMEN-2 est composé uniquement de l'instrument ICARE-NG.

Le CNES assure le rôle de maître d'œuvre instrument et a confié la réalisation du modèle de vol de l'instrument ICARE-NG à la société EREMS.

Du fait de la décision tardive de CARMEN-2 par rapport au développement du satellite, le développement de l'instrument a été mené dans un cadre calendaire très contraint. Le modèle de vol a été livré et intégré sur la charge utile [Jason-2](#) en mars 2007.

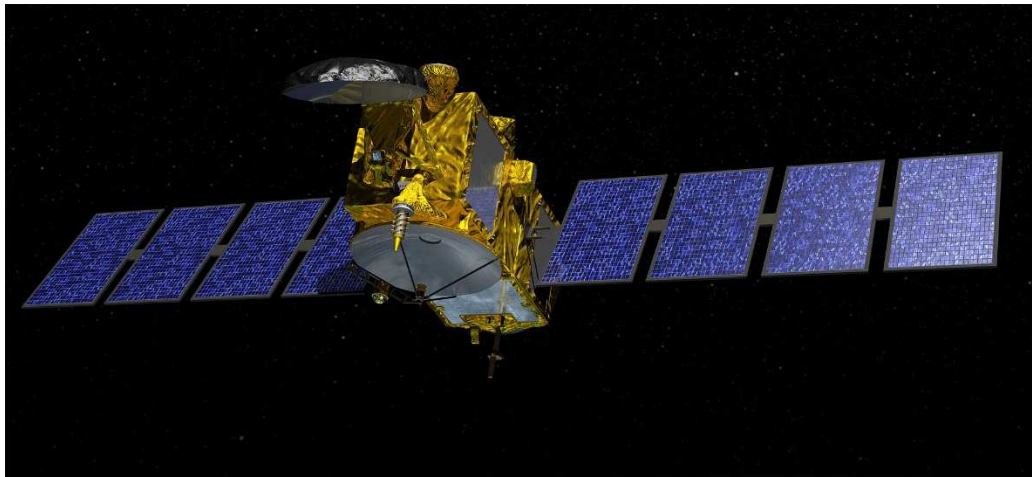
Objectifs de la mission

L'instrument CARMEN-2 a des objectifs de mission qui lui sont propres ainsi que des objectifs en lien avec le satellite qui l'emporte à son bord :

- Objectifs scientifiques : permettre la mesure des flux de particules chargées et les effets de ces flux de particules sur les composants électroniques qu'il embarque.
- Objectifs associés à Jason-2 : caractériser l'environnement radiatif local et aider à l'évaluation des effets radiatifs sur le satellite, en particulier dans l'Anomalie de l'Atlantique Sud (SAA) et participer à la calibration croisée des données avec l'instrument LPT dans le cadre du JRE (Join Radiation Experiment).

CARMEN-3 : à bord du satellite Jason-3 lancé du 17 janvier 2016

Dans le cadre du projet [Jason-3](#), il a été décidé de reconduire les expériences de radiation du JRE (Join Radiation Experiment) mené sur [Jason-2](#), à savoir CARMEN-2 et LPT (Light Particle Telescope) de la JAXA. C'est la mission CARMEN-3.



Légende : Simulation du satellite Jason-3. © NASA/JPL-Caltech.

Initialement, Cette mission devait correspondre à l'emport d'un instrument ICARE-NG identique à celui à bord de Jason-2. Cependant, un capteur additionnel supplémentaire, AMBRE, capable de détecter des ions et des électrons de plus faibles énergies, est emporté également.

Finalement, CARMEN-3 est le nom donné à l'architecture intégrée à bord du satellite Jason-3 (MEO 1336 km, 66°). Dans cette mission prévue pour 5 ans, CARMEN-3 est composé de l'instrument ICARE-NG et du capteur AMBRE. L'instrument ICARE-NG de CARMEN-3 est fortement récurrent de celui de CARMEN-2 excepté les interfaces avec AMBRE.

Le satellite [Jason-3](#) assure la continuité de service opérationnel de la mission d'altimétrie entamée avec TOPEX-POSEIDON et poursuivie avec [Jason-1 et 2](#). C'est un satellite dédié à l'observation de la circulation océanique. Son principal objectif scientifique est d'observer la topographie dynamique des océans grâce à l'altimétrie spatiale. Cette mission réalisée dans le cadre d'une coopération à quatre partenaires Europe – Etats-Unis (CNES-EUMETSAT-NASA-NOAA) est de type mini satellite basée sur l'utilisation d'une plate-forme [PROTEUS](#) qui embarquera, pour la partie opérationnelle, 3 instruments principaux : un radiomètre du JPL (Jet Propulsion Laboratory), le système de positionnement [DORIS](#) et l'altimètre nadir POSEIDON3, tous les deux du CNES.

Dans le cadre de la mission CARMEN-3, le CNES assure le rôle de maître d'œuvre instrument et a confié la réalisation du modèle de vol de des instruments ICARE-NG et AMBRE à la société EREMS.

Objectifs de la mission

L'instrument CARMEN-3 a des objectifs de mission qui lui sont propres ainsi que des objectifs en lien avec le satellite qui l'emporte à son bord :

- Objectifs scientifiques ICARE-NG : permettre la mesure des flux de particules chargées et les effets de ces flux de particules sur les composants électroniques qu'il embarque.
- Objectifs scientifiques AMBRE : permettre la mesure des flux de particules chargées basses énergies responsables des phénomènes de décharge électrostatique.
- Objectifs associés à Jason-2 : caractériser l'environnement radiatif local et aider à l'évaluation des potentielles dérives dues aux radiations dont pourraient être l'objet les équipements en particulier dans l'Anomalie de l'Atlantique Sud (SAA).

CARMEN-4 : à bord du satellite Eutelsat E7C lancé le 20 Juin 2019

CARMEN-4 est le nom de mission donné à l'architecture CARMEN intégrée à bord du satellite de télécommunications géostationnaire E7C d'Eutelsat. Cette mission a vu le jour suite à une demande d'Eutelsat de caractériser la phase de mise à poste par propulsion électrique (EOR : electric orbit raising) qui conduit à traverser pendant plusieurs mois toute la zone des ceintures de radiations dont les zones de plus fort flux. L'instrument continue bien sûr de fonctionner en orbite géostationnaire. Dans cette mission, CARMEN-4 est composé uniquement de l'instrument ICARE-NG.

Le CNES assure le rôle de maître d'œuvre instrument et a confié la réalisation du modèle de vol de l'instrument ICARE-NG à la société EREMS

Objectifs de la mission

L'instrument CARMEN-4 a des objectifs de mission qui lui sont propres ainsi que des objectifs en lien avec le satellite qui l'emporte à son bord :

- Objectifs scientifiques : permettre la mesure des flux de particules chargées et les effets de ces flux de particules sur les composants électroniques qu'il embarque, en particulier pendant la phase de mise à

poste, puis en orbite géostationnaire. Il s'agit de la première mission CARMEN en orbite GEO. Les mesures sur la phase EOR sont une première mondiale.

- Objectifs associés au satellite hôte à E7C : caractériser l'environnement radiatif local et aider à l'identification des anomalies dont pourraient être l'objet les équipements en vol.



Légende : Affiche pour le lancement du satellite Eutelsat E7C © Eutelsat, CNES



Légende : Illustration du satellite Eutelsat 7C, Crédits : SSL (Space Systems Loral)

CARMEN-5 et -6 : à bord des satellites Eutelsat Hotbird 13F lancé le 15 Octobre 2022 et Eutelsat Hotbird 13G lancé le 3 Novembre 2022

CARMEN-5 et -6 est le nom de mission donné à l'architecture CARMEN intégrée à bord des satellites de télécommunications géostationnaires Hotbird 13F et 13G d'Eutelsat. Ces missions emportent des instruments jumeaux dont l'un des détecteurs a été optimisé pour la mesure des protons dans la gamme 1 à 10 MeV responsables de la dégradation des générateurs solaires dont la population était mal connue en orbite de transfert. Les instruments continuent de fonctionner en orbite géostationnaire.

Dans ces mission, CARMEN-5 et -6 sont composés uniquement de l'instrument ICARE-NG² équipé du nouveau détecteur.

Ces deux missions s'inscrivent dans le cadre d'un accord CNES/ESA/Eutelsat/Airbus (qui construit les satellites) et se situent, pour la phase géostationnaire, dans le volet météorologie de l'espace du programme S2P (space safety program) de l'ESA. L'un des modèles (-5) a été approvisionné par le CNES, l'autre (-6), via la contribution française au programme S2P.

Le CNES assure le rôle de maître d'œuvre instrument et a confié la réalisation des deux modèles de vol de l'instrument ICARE-NG² à la société EREMS

Objectifs de la mission

Les instrument CARMEN-5 et -6 ont des objectifs de mission qui leur sont propres ainsi que des objectifs en lien avec les satellites qui l'emporte à son bord, et cette fois, en orbite géostationnaire, un objectif de météorologie de l'espace.

- Objectifs scientifiques : permettre la mesure des flux de particules chargées et les effets de ces flux de particules sur les composants électroniques qu'il embarque, en particulier pendant la phase de mise à poste, puis en orbite géostationnaire. Il s'agit de la première mission CARMEN en orbite GEO. Les mesures sur la phase EOR sont une première mondiale.
- Objectifs associés au satellite hôte à E7C : caractériser l'environnement radiatif local et aider à l'identification des anomalies dont pourraient être l'objet les équipements en vol.
- Un objectif de météorologie de l'espace opérationnelle avec une mesure en temps semi-réel (5 minutes) des flux en GEO



Légende : Illustration des satellites Hot Bird 13F et G © Airbus