

# Impacts des tempêtes géomagnétiques sur les infrastructures

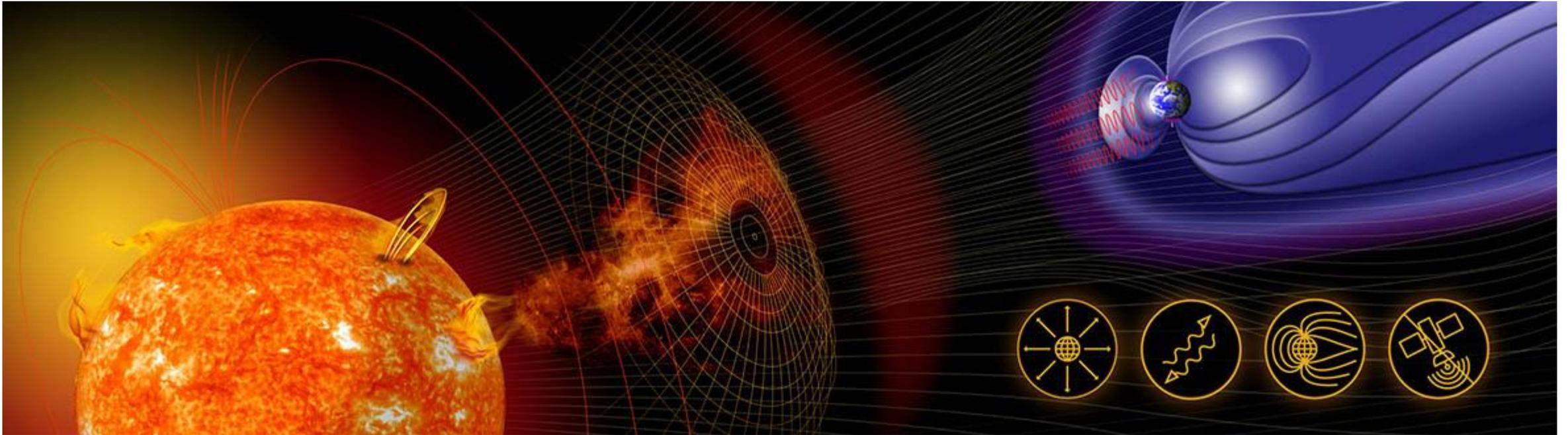
Denis Gilbert, physicien

[www.denisgilbert.com](http://www.denisgilbert.com)

Présenté au Club d'astronomie de Rimouski

2018-06-08

# Étudier la **météorologie spatiale** à l'aide de données satellitaires - Agence spatiale Canadienne



Source: <http://www.asc-csa.gc.ca/fra/sciences/meteorologie-spatiale-donnees-satellites.asp>

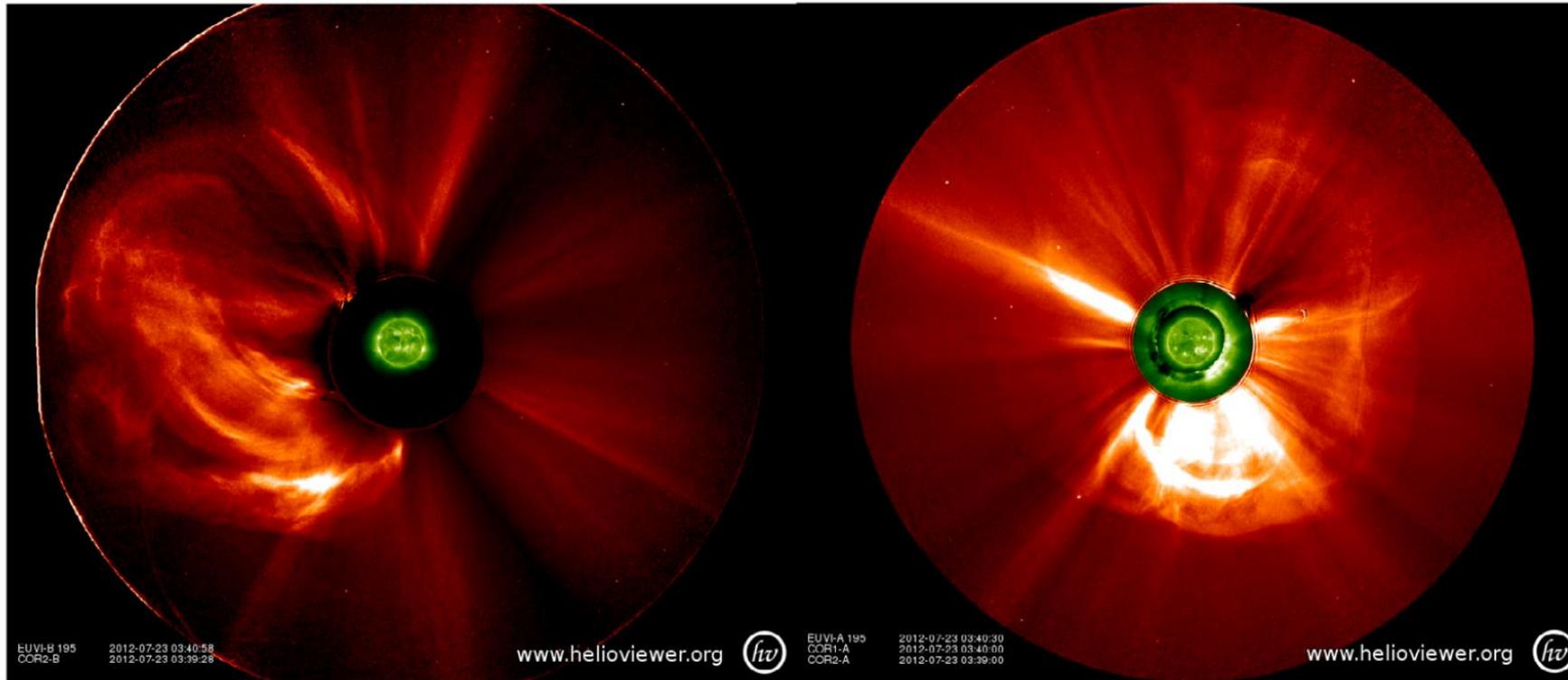
Voir aussi: <http://www.asc-csa.gc.ca/fra/sciences/initiative-observatoire-geospatial-canadien.asp>

# Lignes de télégraphes – Événement de Carrington en 1859

- Plus violente tempête solaire enregistrée ayant frappé la Terre
- Communications par télégraphes fortement perturbées
- Étincelles et même incendies
- Brûlures importantes subies par les opérateurs de télégraphes
- Aurores « boréales » vues en zone tropicale
- En 2012, une éjection de masse coronale d'amplitude similaire a raté de peu la Terre

# Juillet 2012: événement similaire à Carrington 1859 aurait frappé la Terre s'il était survenu une semaine plus tôt...

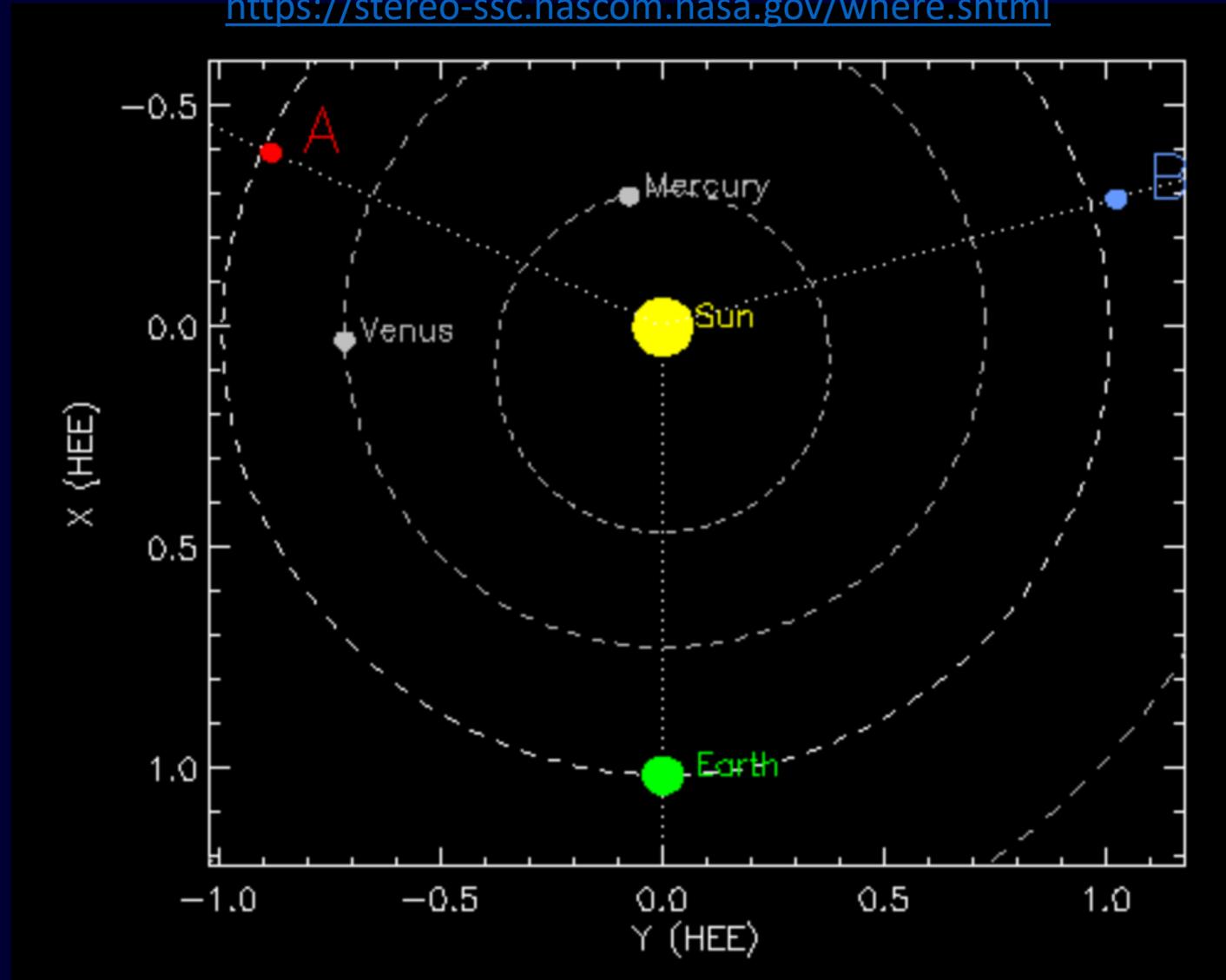
BAKER ET AL.: DEFINING EXTREME SPACE WEATHER SCENARIOS  
SPACE WEATHER, VOL. 11, 585–591



**Figure 1.** A nested set of images taken by STEREO-A (right) and B (left) spacecraft at ~0340 UT on 23 July 2012. The STEREO-A spacecraft was located at  $121^\circ$  ahead of Earth in its orbit and STEREO-B was located at  $-115^\circ$  behind Earth. The outer two concentric rings of the image present coronagraph data showing a large, powerful CME event in progress. Images from Helioviewer [Müller *et al.*, 2009].

## Positions of STEREO A and B for 8-Jun-2018 18:00 UT

<https://stereo-ssc.nascom.nasa.gov/where.shtml>



This figure plots the current positions of the STEREO Ahead (red) and Behind (blue) spacecraft relative to the Sun (yellow) and Earth (green). The dotted lines show the angular displacement from the Sun. Units are in A.U.

# Rails de chemin de fer en Russie et Suède

- Problèmes avec les systèmes de signalisation et blocage des trains russes et suédois en haute latitude (58°N à 64°N)
- **Faux** signaux lumineux de circulation
- Le voltage aux relais diminuait graduellement en 30 secondes, passant de 25V à 9 V. Le faux signal de rail occupé durait pendant 1 minute
- La durée de ces problèmes coïncidait parfaitement avec la durée des périodes plus intenses de tempêtes géomagnétiques

# Pipelines

- Corrosion accélérée par tempêtes géomagnétiques, en raison d'une différence de voltage entre le sol et le pipeline
- Les systèmes électroniques de contrôle de la corrosion sont également affectés

# Câbles de télécommunications

- Sérieux problème à l'époque où nous utilisions des fils de cuivre pour les câbles transocéaniques.
- Problème réduit avec la fibre optique (en verre), mais pas complètement éliminé car il faut encore des câbles métalliques pour apporter de l'électricité jusqu'aux stations de répétition de signaux optiques.

# Satellites artificiels

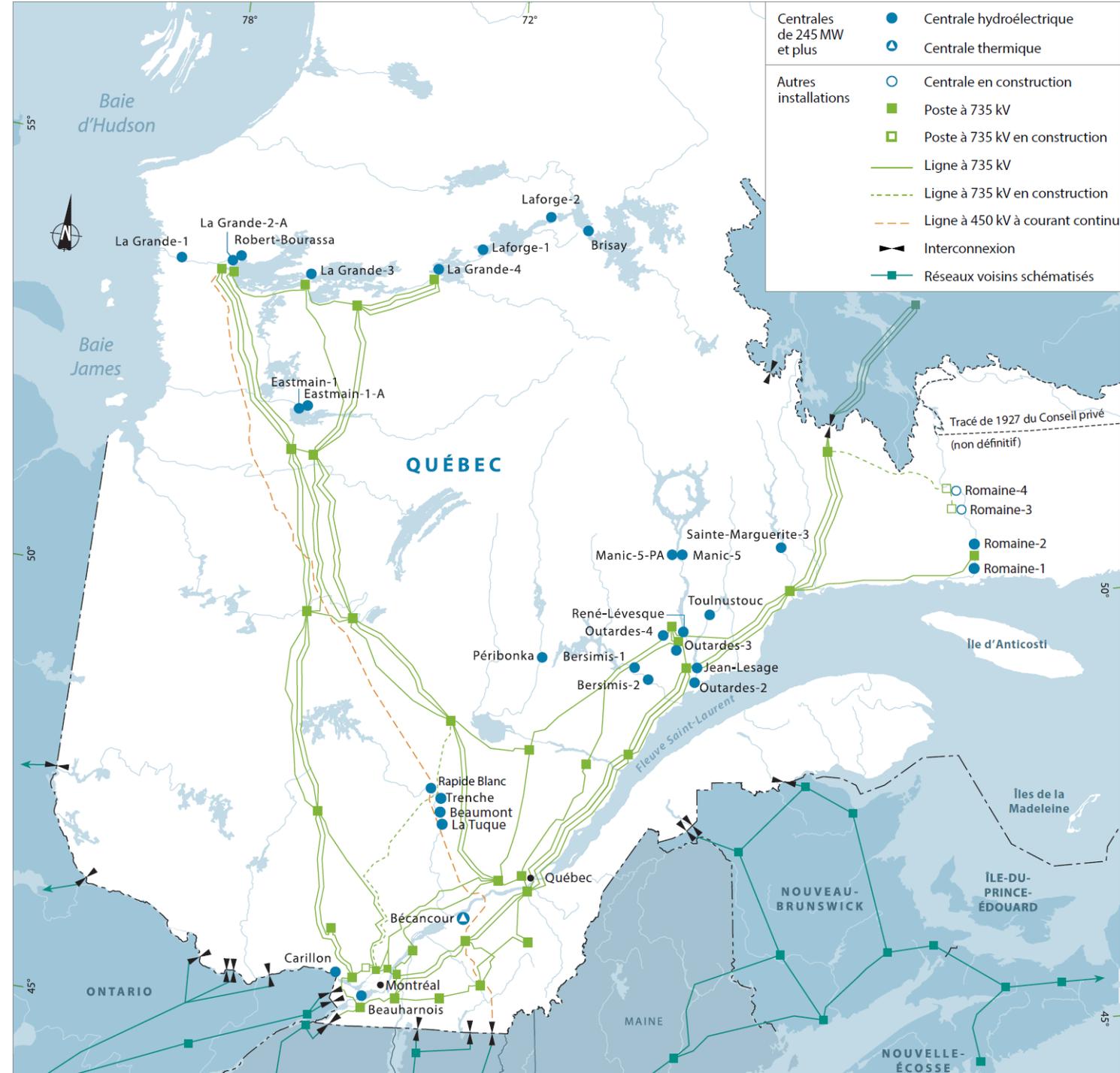
- Systèmes de positionnement ont des comportements erratiques lors de fortes tempêtes géomagnétiques
  - GPS (États-Unis)
  - GLONASS (Russie)
  - BEIDOU (Chine)
  - GALILEO (Europe)
- Station spatiale internationale
  - Obligation pour les astronautes de se mettre à l'abri dans un compartiment leur offrant une meilleure protection lors de tempêtes géomagnétiques

# Systemes de transmission d'électricité

- Lignes de transmission à longue distance sont faites de conducteurs électriques
- Les changements rapides du champ magnétique causés par les tempêtes magnétiques peuvent causer de forts **courant continu** dans des réseaux conçus pour transporter du **courant alternatif**
- Mot-clé pour recherche sur Internet:
  - *GIC = Geomagnetically induced currents*

# Réseau électrique de Hydro-Québec

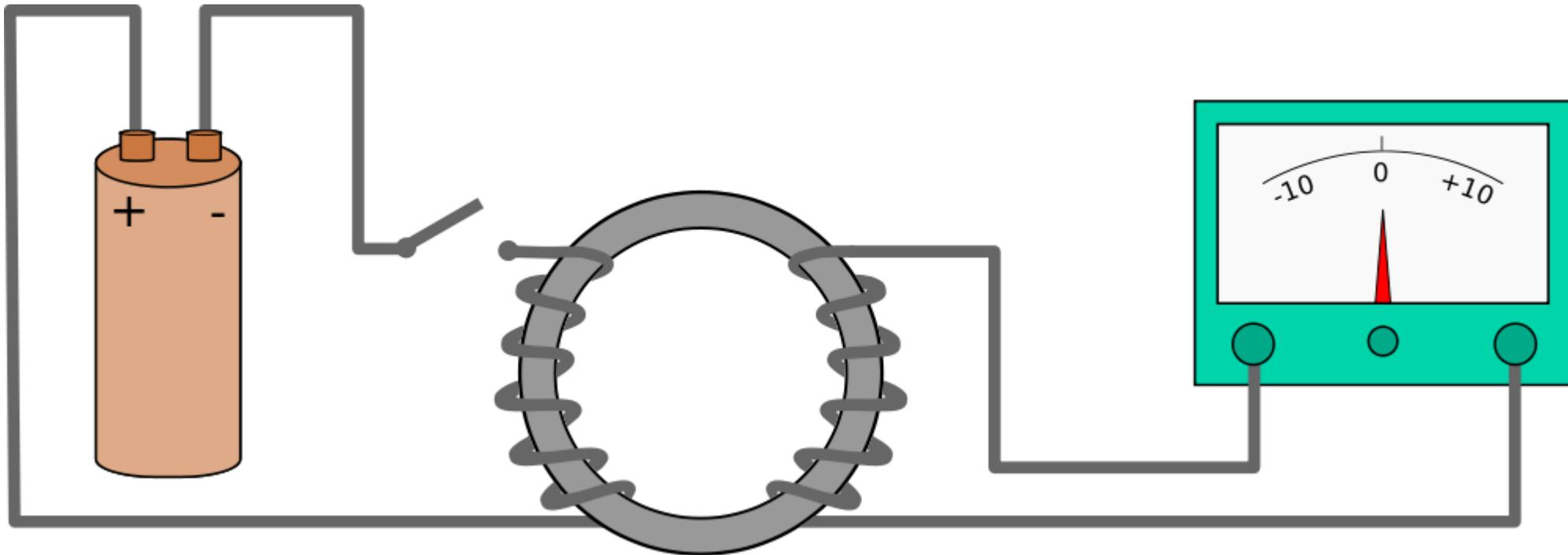
HYDRO-QUÉBEC // RAPPORT ANNUEL 2012, p.121  
grands équipements



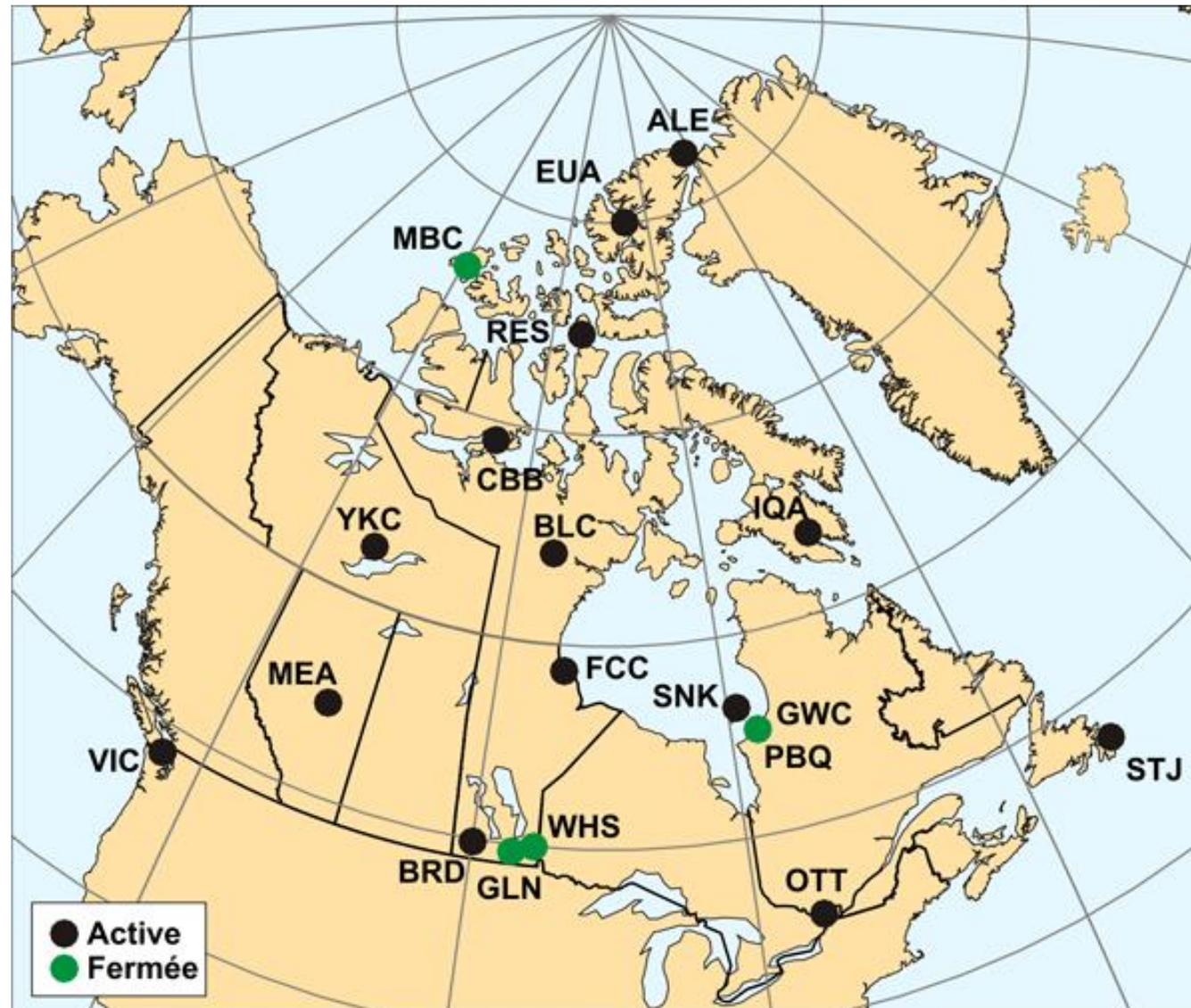
# Expérience de Michael Faraday en 1831

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi_B}{dt},$$

$$\Phi_B = \iint_{\Sigma(t)} \mathbf{B}(\mathbf{r}, t) \cdot d\mathbf{A}$$



# Observatoires du champ magnétique au Canada



<http://www.geomag.nrcan.gc.ca/obs/default-fr.php>

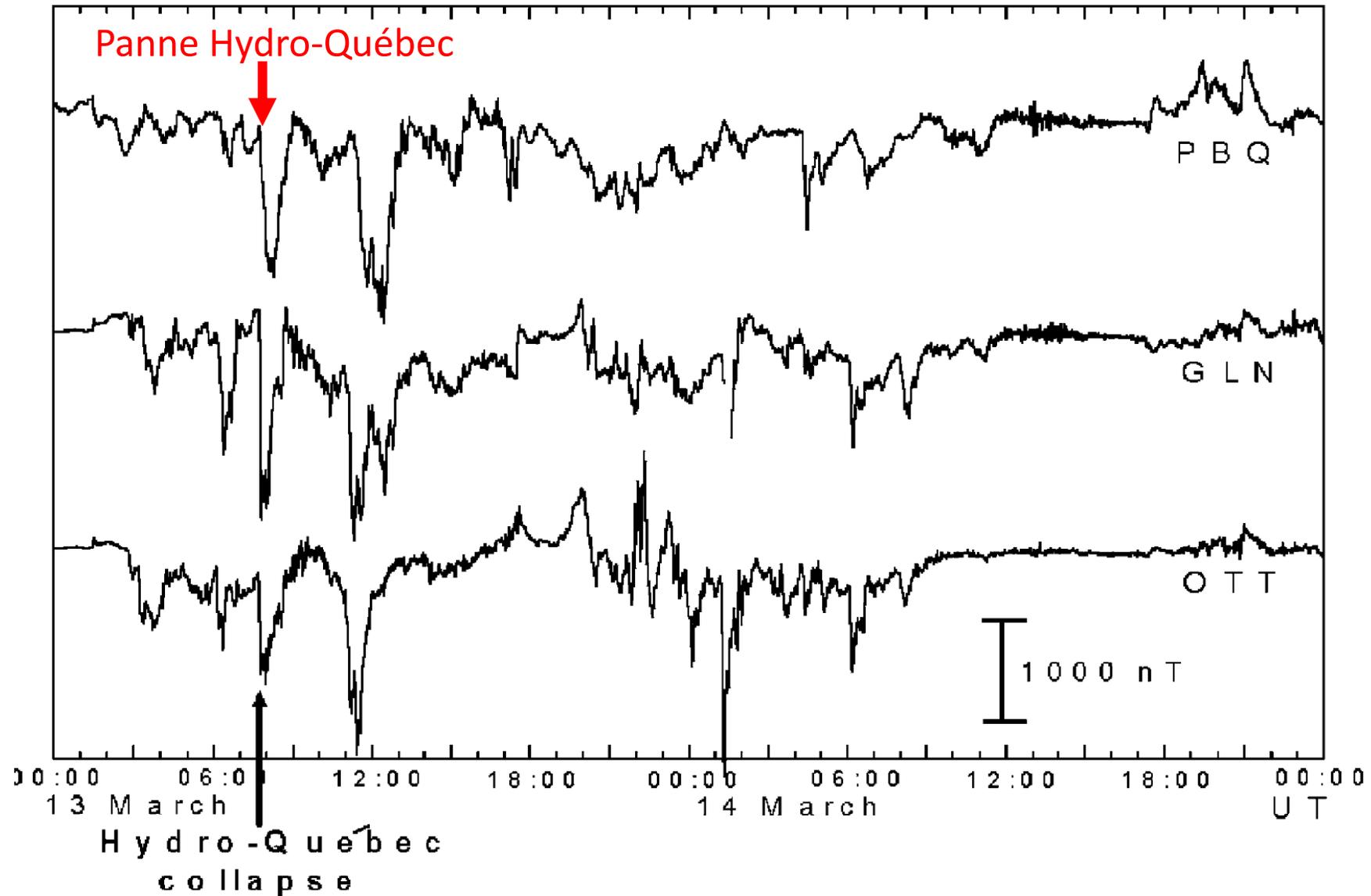


Fig. 1. Variations in earth's geomagnetic field  $B_x$  during storm on March 13–14, 1989 (Courtesy of GSC).

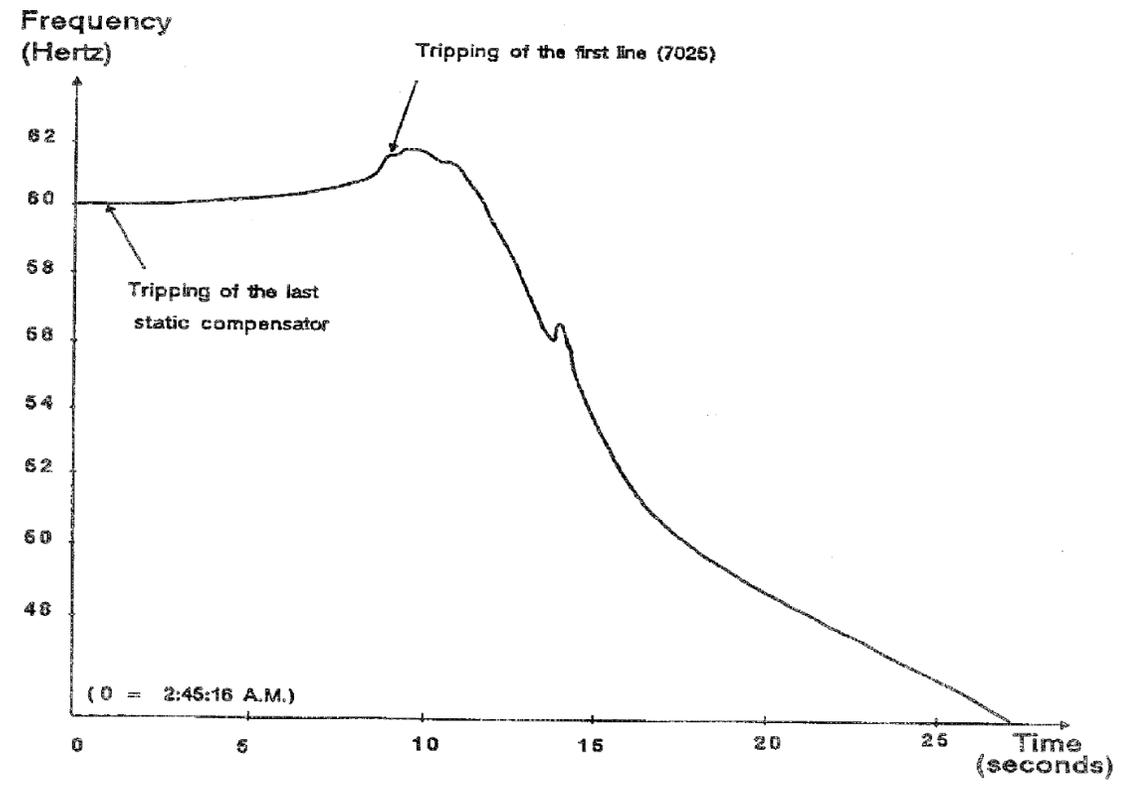
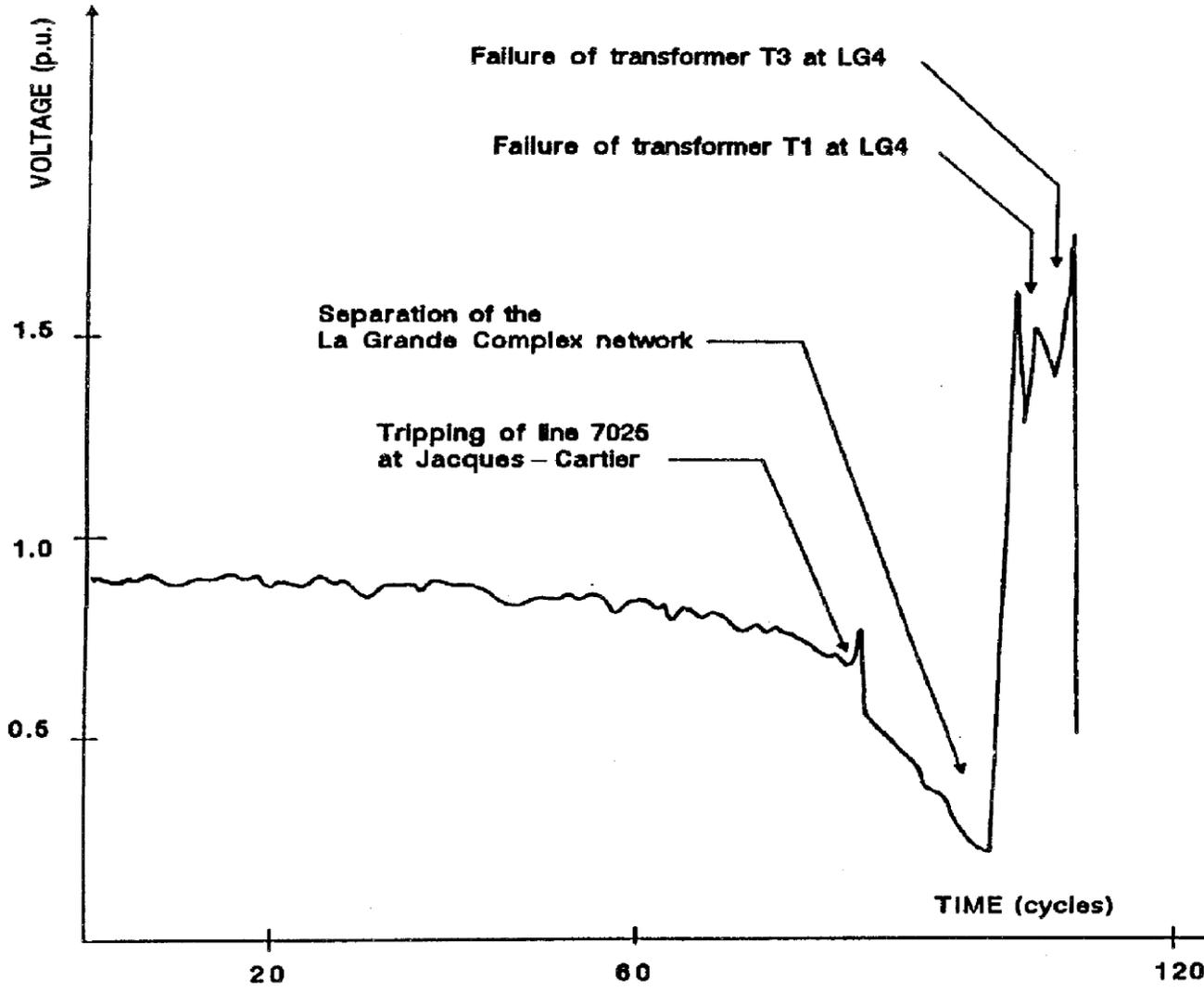
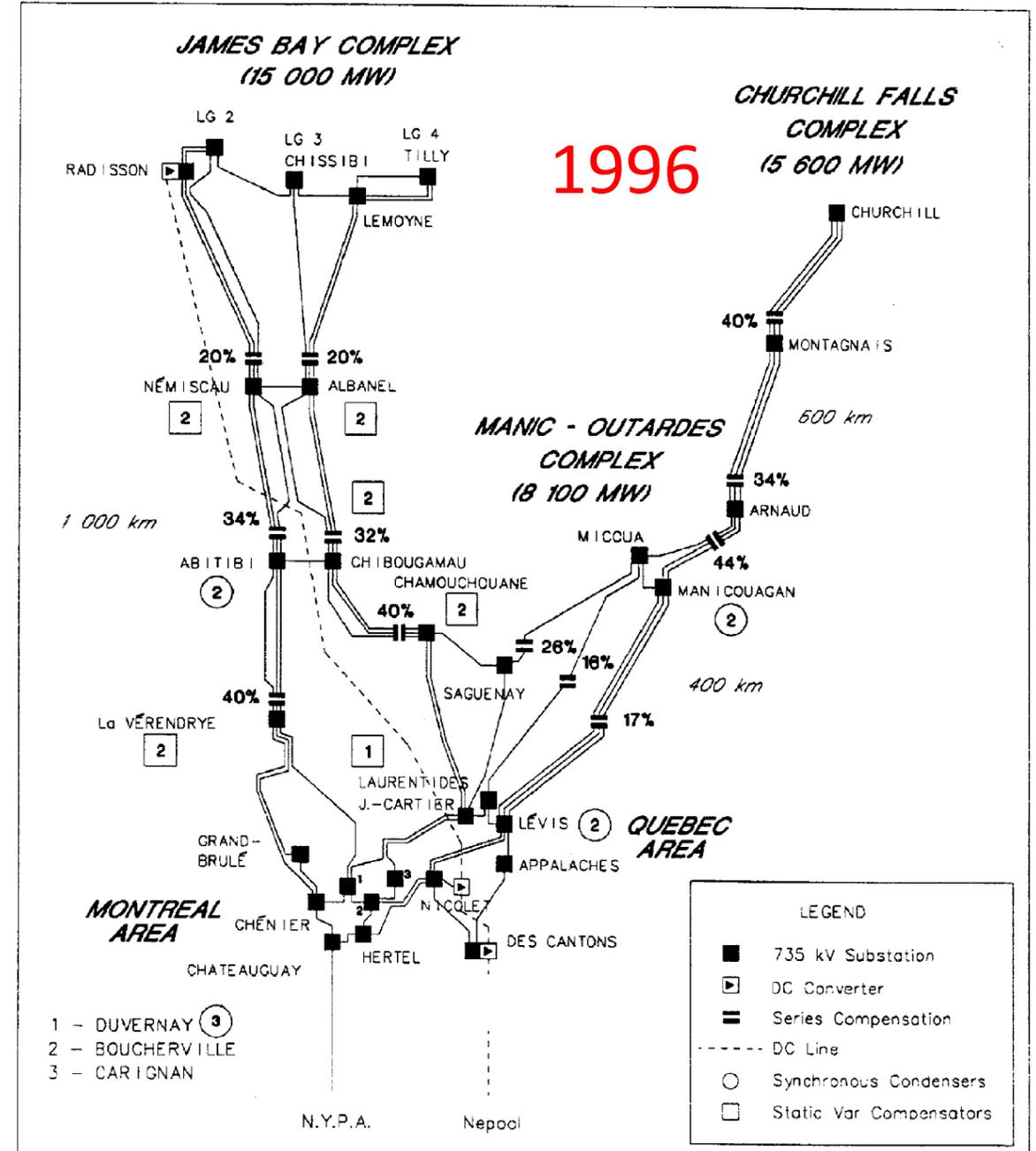
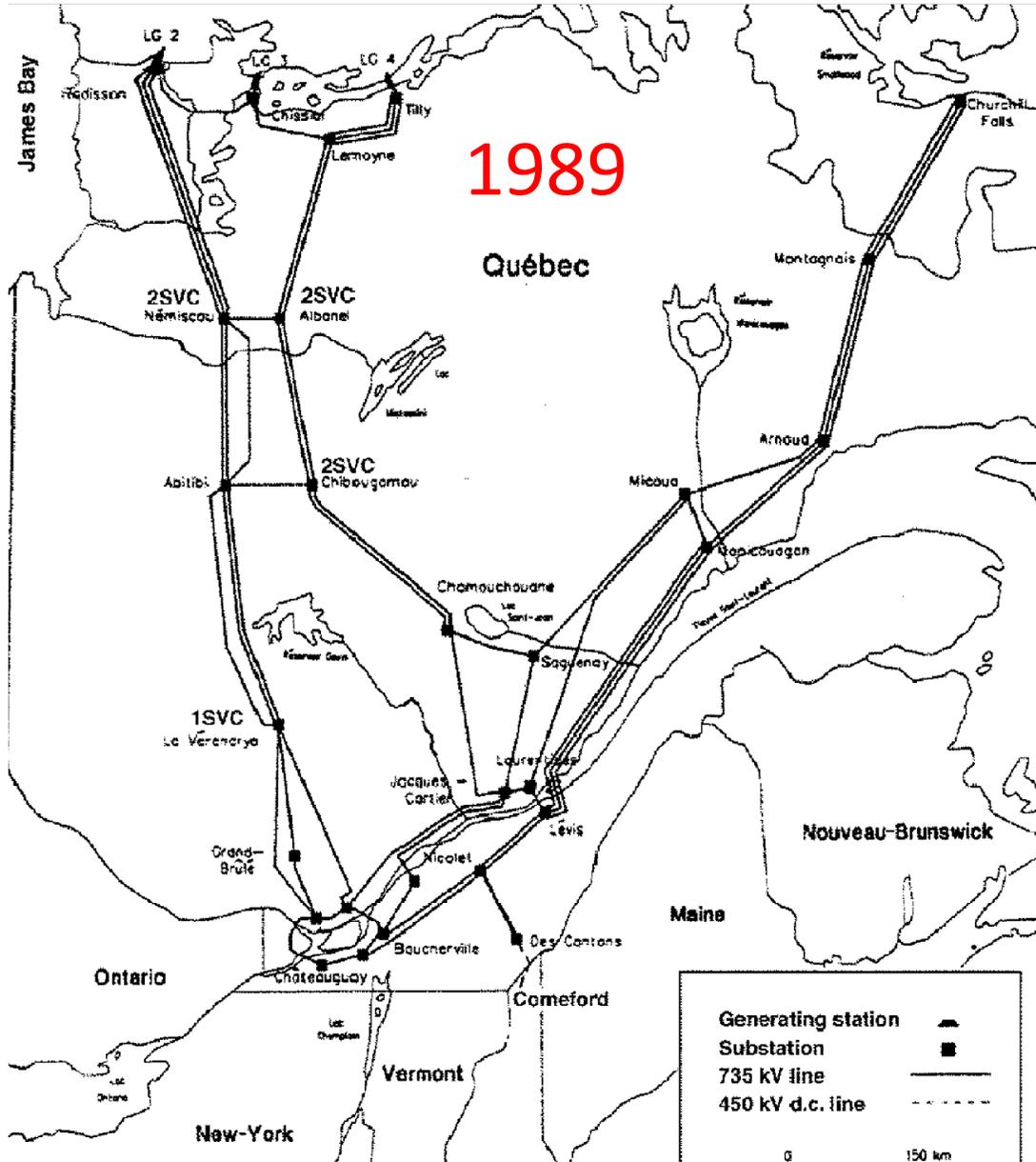


Fig. 3. Frequency at Boucherville substation at 2:45:16 EST.

# Séquence des événements de mars 1989

- 10 mars 1989, éjection de masse coronale
- 50 heures plus tard, début de la tempête magnétique
- Durée de la tempête: 30 heures
- 13 mars 1989 à 02h45 HNE, panne générale du réseau d'Hydro-Québec



# Correctifs mis en place par Hydro-Québec

- Recalibrage des équipements de protection et augmentation du seuil de déclenchement. Cette tactique a été efficace puisque des orages magnétiques très intenses qui se sont produits après ceux de 1989 n'ont causé aucun problème.
- Mise en place d'un système d'alerte en temps réel qui mesure les perturbations sur le réseau électrique pendant l'orage magnétique.
- Modification des procédures d'exploitation du réseau. En cas de perturbations, Hydro-Québec réduit le transit sur les lignes de transport et les interconnexions à courant continu, et arrête toutes les manœuvres importantes.
- Installation d'équipement de compensation série sur les lignes de transport d'électricité pour accroître la stabilité du réseau. Cette mesure s'est avérée fort utile pour atténuer l'impact des orages magnétiques.

# Centre canadien de météo spatiale

Le Centre canadien de météo spatiale (CCMS) d'Ottawa est administré par [Ressources naturelles Canada \(RNCCan\)](#). Il constitue un Centre régional d'avertissement (CRA) de l'[International Space Environment Service \(ISES\)](#) et fait partie de l'[Organisation météorologique mondiale \(OMM\)](#).



Le Laboratoire Géomagnétique de Ressources naturelles Canada et le siège du gouvernement du Canada pour le Service de surveillance géomagnétique et le Centre canadien de météo spatiale.

<http://www.spaceweather.gc.ca/info-gen/abt-fr.php>

# Météo Spatiale Canada

<http://www.spaceweather.gc.ca/index-fr.php>

## Activité Géomagnétique

	Conditions Actuelles	Prévision de 24 heures	Prévision de 24 à 48 heures
Polaire			
Aurorale			
Sub-aurorale			

### Conditions Actuelles

à **2018-06-08 18:15 TU**

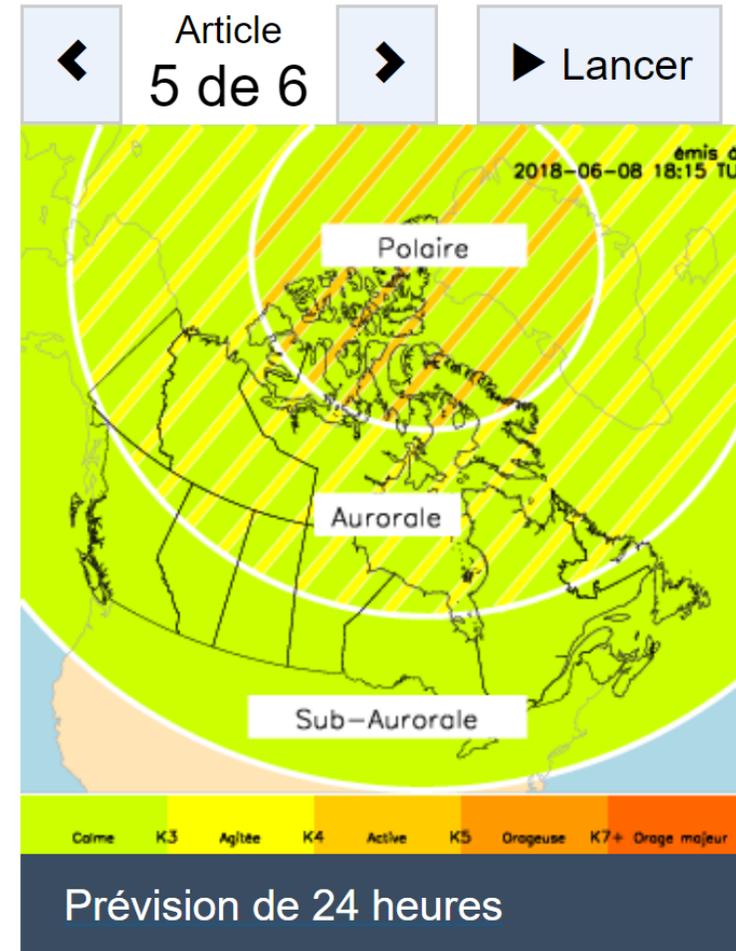
- Polaire: agitées
- Aurorale: calme
- Sub-aurorale: calme

### Prévision de 24 heures

- Polaire: calme + période actives
- Aurorale: calme + période agitées
- Sub-aurorale: calme

[Effets possibles](#)

## Rapport et Prévision



# Environnement de satellite géostationnaire

	Conditions Actuelles	Prévision Jour 1	Prévision Jour 2
<b>GEOS</b>			

## Effets possibles

### Conditions Actuelles

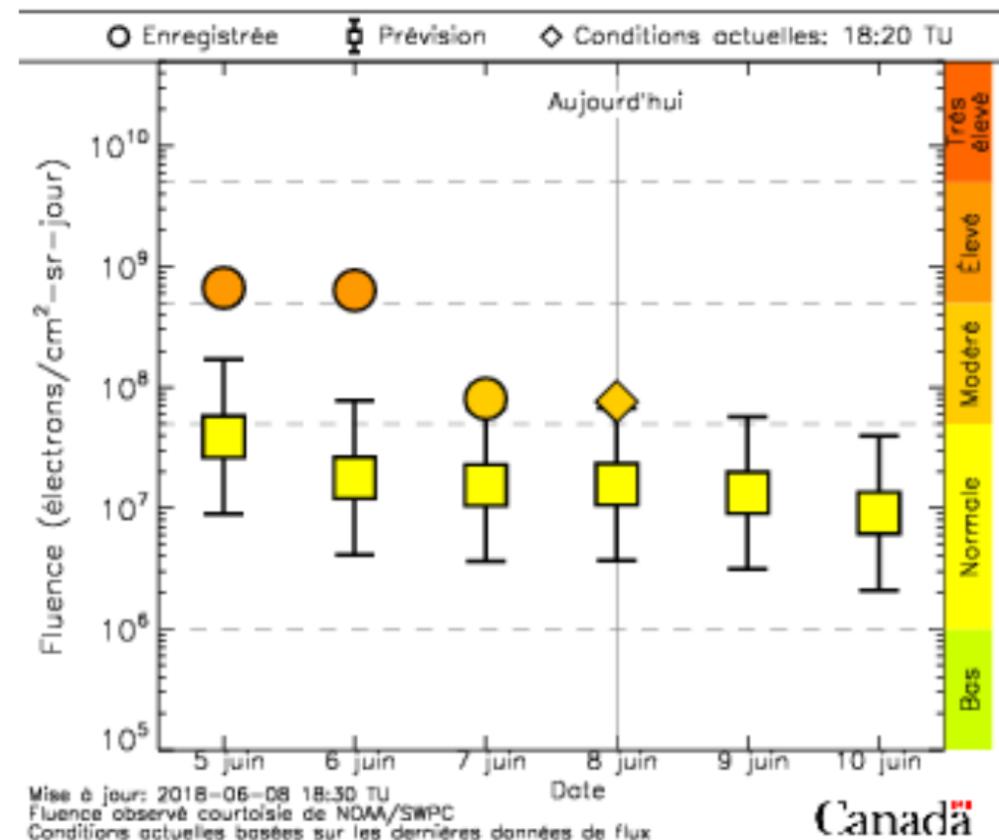
à **2018-06-08 18:20 TU**

- Fluence des électrons énergétiques à orbite géostationnaire: modéré

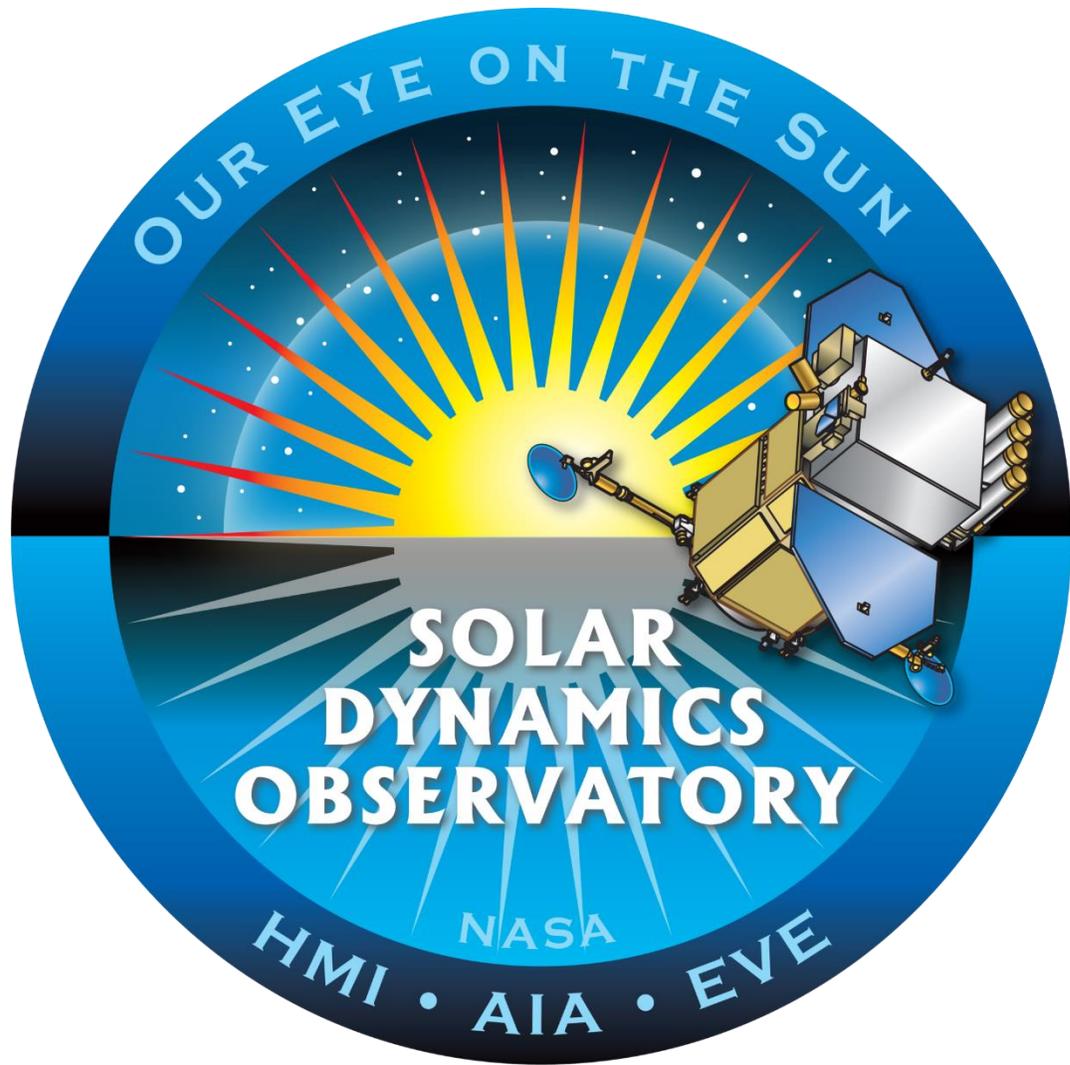
### Prévision Jour 1

- Fluence des électrons énergétiques à orbite géostationnaire: normale

# Fluence des électrons énergétiques



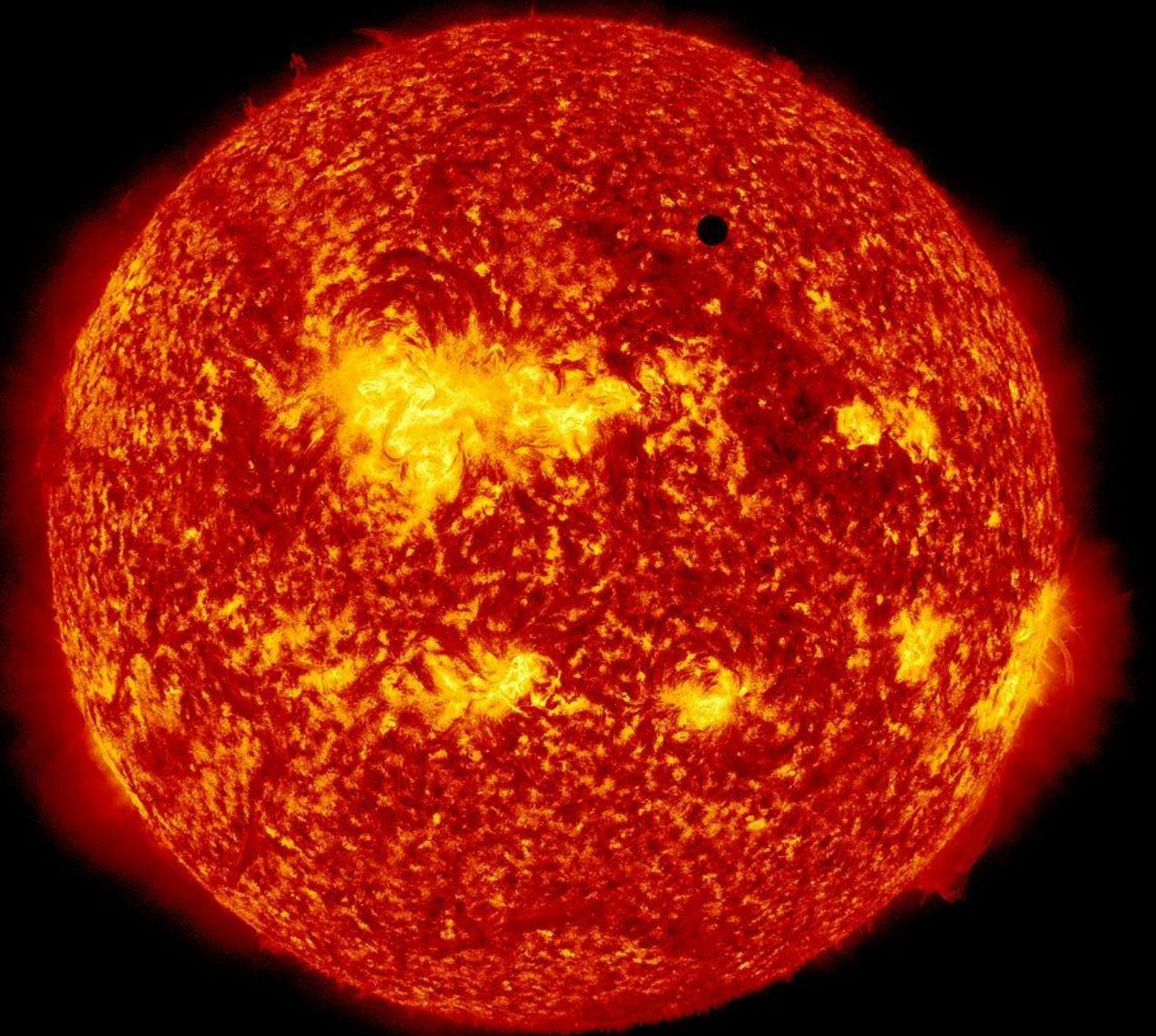
<http://www.spaceweather.gc.ca/index-fr.php>



<https://sdo.gsfc.nasa.gov/>

Transit de Vénus en 2012

<https://www.flickr.com/photos/24662369@N07/7158542827>



# Vivre avec une étoile

<https://lws.gsfc.nasa.gov/>



- Notre société technologique dépend d'infrastructures qui sont vulnérables aux fortes tempêtes géomagnétiques
- La météorologie spatiale vise à mieux informer les différents intervenants face aux périls liés aux éjections de masse coronale
- Préparation et vigilance sont des éléments clés favorisant une meilleure résilience de nos infrastructures.