

Energy release in solar flares

Doctoral Thesis

Author(s):

Saint-Hilaire, Pascal

Publication date:

2005

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004911694>

Rights / license:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)

Diss. ETH No. 15824

Energy release in solar flares

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
ZÜRICH

for the degree of
Doctor of Sciences

presented by

PASCAL SAINT-HILAIRE

Dipl. Phys.

born March 9, 1972
citizen of Sigriswil (BE)

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. Arnold O. Benz, examiner
PD Dr. Manuel Güdel and Prof. Dr. Jan O. Stenflo,
co-examiner

2005

Abstract

Solar flares have been happening for a long time, and, when the Sun was young, were probably much stronger than today's. But only in the last few decades have they been observed in the whole electromagnetic spectrum. Current solar observatories, both space-born and ground-based, provide a (sometime overwhelming) wealth of data at high spectral, temporal, and spatial resolutions. The aim of this thesis is a better interpretation and understanding of solar flares, mainly by studying their signatures in parts of the electromagnetic spectrum where they are the most spectacular: X-ray, ultraviolet, and radio. Of course, only a portion of the overall problem has been tackled. The emphasis is mostly on X-ray observations, as they seem to provide the most direct and quantitatively usable particle acceleration signatures.

The introductory section of this thesis starts with a cursory glance at the electromagnetic spectra of the quiet, active and flaring Sun. Then, relevant emission mechanisms are briefly discussed, in particular bremsstrahlung. The introduction is concluded with a description of the current standard solar flare model.

The other chapters of this work are derived from submitted or published articles in refereed journals.

In Chapter 2¹, temporal and spatial correlations in solar flares of hard X-rays, radio decimetric continuum emission, ejecta and CMEs were examined. The focus was on three well-observed, medium-sized flares. The main findings were that (1) major hard X-ray flares are often associated with ejecta seen in soft X-rays and extreme ultraviolet. (2) These ejecta seem to start before any hard X-ray or decimetric radio emission, suggesting a driven reconnection model. (3) Particularly at high frequencies, decimetric radio continuum occurring nearly simultaneously with the first

¹Based on Saint-Hilaire & Benz (2003)

hard X-ray peak are located close to the hard X-ray source, and may be a good indicator of the main acceleration region.

With the launch of the RHESSI X-ray satellite (see e.g. Appendix C), a data center was set up to deal with the large amount and the complexity of the incoming data: This is discussed in Chapter 3². This data center automatically generates a catalogue of images, lightcurves and other data products for each flare observed by RHESSI. This catalogue is browsable on-line, thereby greatly increasing the speed at which scientists find data sets of interest. Although this other feature has not been as extensively used, scientists also have the possibility to create simple data products and add them to the database.

In Chapter 4³, a first attempt to combine RHESSI and data from other observatories is made to obtain the energy partition of a solar flare. The kinetic energy in non-thermal electrons, the thermal energy in the heated plasma, and the kinetic energy in bulk motion all seem to lie within the same order of magnitude. Rough imaging spectroscopy has also been done: The thermal source was initially found to be spatially stable, then to slowly drift outwards.

In Chapter 5⁴, flare X-ray emission have been theoretically examined in great details, in order to provide the best possible estimates of flare particle energies, as well as to compare them with energies derived from secondary thermal emission. The electromagnetic signature of accelerated particles is about 10^5 times less powerful than that of the thermal emission, but is a direct signature of the accelerated electrons. While possible sources of errors are potentially still large, the study of several medium-sized, well-observed RHESSI flares shows that both the kinetic energy in accelerated electrons and the energy in the hot plasma are similar, and that caution should be used when measuring this last quantity.

This thesis concludes with a summary and an outlook on future work.

²Based on Saint-Hilaire & al. (2002)

³Based on Saint-Hilaire & Benz (2002)

⁴Based on Saint-Hilaire & Benz (2005)

Resumé

Les éruptions solaires ont toujours été présentes, et étaient probablement bien plus fortes au début de la vie de notre Soleil. Cependant, leur observation dans tout le spectre électromagnétique n'existent que depuis quelques décennies. Les observatoires solaires, spatiaux ou terrestres, fournissent des données à haute résolution spectrale, temporelle, et spatiale (parfois en quantité phénoménale). Le but de cette thèse est une meilleure compréhension et interprétation des éruptions solaires, en se basant principalement sur leurs signatures dans le spectre électromagnétique où ils sont le plus spectaculaires: les rayons X, les ultraviolets, et les ondes radio. Bien sûr, seulement une partie du problème n'a pu être examiné: l'emphase a été placée sur les observations dans les rayons X, puisqu'ils semblent être la signature la plus directe (et la plus utilisable quantitativement) d'accélération de particules.

Le chapitre introductoire de cette thèse commence par un bref aperçu des spectres électromagnétiques produit par le Soleil, durant ses extrema d'activités et durant ses éruptions. Puis, les principaux mécanismes d'émissions électromagnétiques sont brièvement discutés, en particulier le rayonnement de freinage ('bremsstrahlung'). L'introduction est conclue par une description de l'actuel modèle standard d'éruption.

Les autres chapitres de cette dissertation sont dérivés d'articles soumis ou déjà publiés dans des journaux scientifiques arbitrés.

Dans le chapitre 2, les corrélations temporelles et spatiales entre rayons X durs, continus d'émission radio decimétrique, éjection coronale de masse et autres éjections lors d'éruptions solaires ont été examinées. L'emphase a été placée sur trois éruptions bien observées de moyenne intensités. Les conclusions principales sont que (1) les éruptions avec émission intense de rayons X durs sont généralement associées avec des éjections observées dans les rayons X mous et l'ultraviolet. (2) Ces éjections semblent commencer avant toute émission de rayons X durs ou

radio décimétrique, ce qui suggère un modèle de reconnexion magnétique forcé (“driven magnetic reconnection”). (3) Particulièrement à hautes fréquences, les continuums radio décimétriques simultanés au premier pic de rayons X durs sont localisés très proches de la source de rayons X durs, et pourraient bien indiquer l'emplacement de la région d'accélération.

Avec le lancement du satellite RHESSI (voir appendice C), un centre de données a été mis en place pour faire face à la grande quantité et la complexité des données: ceci est discuté au chapitre 3. Ce centre de données génère automatiquement un catalogue d'images, courbes de lumières et autres données pour chaque éruption solaire observée par RHESSI. Ce catalogue peut être examiné en ligne, permettant aux scientifiques de trouver beaucoup plus rapidement d'intérêt particulier. Bien que cette capacité n'ait pas été exploitée intensivement, les scientifiques ont également la possibilité de créer des données secondaires simples, et de les incorporer à la base de données.

Au chapitre 4, un premier essai de combinaison de données entre RHESSI et d'autres observatoires a été effectué, afin de déterminer le budget énergétique d'une éruption solaire. L'énergie cinétique des électrons accélérés (non-thermiques), l'énergie thermique du plasma surchauffé, et l'énergie cinétique des mouvements de masses semblent tous être du même ordre de grandeur. L'imagerie spectroscopique indique que la source thermique est initialement spatialement stable, puis dérive lentement vers l'extérieur.

Au chapitre 5, l'émission de rayons X par éruptions solaires a été étudiée en détails, afin de pouvoir dériver avec la plus grande exactitude l'énergie des particules, et de les comparer à l'énergie thermique irradiée. La signature électromagnétique directe de ces particules est environ 10^5 fois plus faible que l'émission thermique secondaire. Bien que les sources d'erreurs sont potentiellement toujours importantes, l'étude de plusieurs éruptions de taille moyenne observées par RHESSI montrent que l'énergie cinétique des électrons non-thermiques est similaire à l'énergie thermique irradiée par le plasma surchauffé, quoique cette dernière quantité doit être mesurée avec soin.

Cette thèse se conclut par un aperçu des possibles extensions de ce travail.