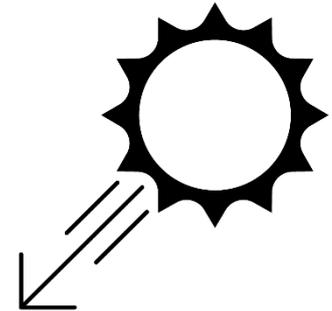




Tempête solaire



Le présent dossier fait partie
de l'analyse nationale des risques
« Catastrophes et situations d'urgence en
Suisse »

Définition

De temps en temps, des explosions et éruptions massives se produisent à la surface du Soleil, entraînant l'éjection de plasma à grande vitesse. Ces phénomènes dits d'éjections de masse coronale sont accompagnés d'un intense rayonnement et de l'émission de particules à haute énergie. Lorsque ce mélange de rayonnement et de particules atteint la Terre, on parle de tempête solaire. De manière générale, on peut distinguer trois phénomènes qui ne se produisent pas forcément simultanément :

- Un éclair de rayons X (*flare*) atteint la terre en moins de dix minutes et peut annoncer une tempête solaire. Dans l'atmosphère terrestre, le rayonnement n'est pas dangereux pour la santé mais peut perturber les communications radio sur la face éclairée par le soleil.
- Au bout d'une heure environ, des particules à haute énergie, en général des protons, atteignent la terre. Sur leur parcours, elles peuvent perturber le fonctionnement de satellites, voire les endommager.
- L'éjection de masse coronale elle-même (un nuage de plasma formé de particules chargées) atteint la Terre au bout d'un ou deux jours. Lorsqu'elle touche le champ magnétique terrestre, celui-ci s'affaiblit. Le changement, mesurable, est exprimé en nanoteslas (nT).

L'augmentation du flux de particules à proximité de la terre et l'interaction avec la magnétosphère terrestre entraînent le phénomène de tempête magnétique, qui induit des courants d'égalisation de grande force dans les conducteurs électriques à longue distance, par exemple dans les lignes électriques aériennes. Ceux-ci peuvent entraîner la défaillance des postes de transformation couplés et donc des pannes de courant. Ils peuvent également provoquer des interférences avec le trafic radio. Les zones proches des pôles sont particulièrement touchées. À ce moment, on peut voir des aurores boréales loin au sud.

novembre 2020





Exemples d'événements

Les exemples concrets aident à mieux comprendre la nature d'un type d'événement. Ils illustrent la manière dont il survient, son déroulement et ses conséquences.

Octobre/Novembre 2003 Entre le 19 octobre et 5 novembre 2003, 17 puissantes éruptions solaires sont observées. Elles donnent lieu à des orages magnétiques successifs et provoquent des perturbations considérables des communications radio. A Malmö, en Suède, la totalité du réseau régional tombe en panne. Au nord du Canada, des corridors aériens sont fermés au trafic des avions de ligne à cause de pannes des installations de surveillance aéronautique et de la défaillance temporaire des satellites et des systèmes de navigation aérienne. Des aurores boréales sont en outre observées jusque dans les régions tropicales.

13 mars 1989 Une tempête solaire entraîne une surcharge du réseau électrique au Québec, provoquant par la suite une panne de 9 heures dans la région de Montréal. Six millions de personnes sont touchées, avec des températures extérieures de -15°C . Les systèmes de contrôle du trafic, les aéroports et l'approvisionnement en chauffage tombent en panne. La perturbation du champ magnétique terrestre est de -589 nT . Les dommages s'élèvent à plusieurs centaines de millions de dollars américains.

Août 1859
Événement de Carrington Une série d'éruptions solaires se produisent vers la fin du mois d'août 1859. Sur terre, on peut observer de nombreuses aurores polaires jusque dans la zone équatoriale. De fortes perturbations sont constatées sur les télégraphes électriques. Selon les analyses statistiques, une telle tempête solaire ne se produit que tous les 500 ans. Aujourd'hui, une tempête solaire similaire affecterait gravement les réseaux d'électricité et de télécommunication dans le monde entier ainsi que les satellites. Les coûts d'un incident similaire sont estimés, pour les seuls États-Unis d'Amérique, à environ 600 à 2600 milliards de dollars américains.



Facteurs d'influence

Les facteurs suivants peuvent influencer sur la survenance, l'évolution et les conséquences d'un événement.

Source de danger	<ul style="list-style-type: none"> – Intensité de la tempête solaire (intensité des rayons X et gamma ainsi que du rayonnement des particules solaires, affaiblissement maximum du champ magnétique terrestre) – Durée
------------------	--

Moment	<ul style="list-style-type: none"> – Position de la terre par rapport au soleil (jour/nuit, été/hiver) – Jour de la semaine, heure de la journée – Saison (vacances, climatisation, chauffage, éclairage)
--------	--

Localisation / étendue	<ul style="list-style-type: none"> – La tempête radiologique se limite à l'hémisphère tourné vers le soleil. – De manière générale, une tempête magnétique est un phénomène global et indépendant de la rotation de la terre. – Les effets sur la terre dépendent non seulement de l'intensité de l'incident, mais également du champ magnétique de la terre. Ils sont par conséquent nettement plus forts au niveau des pôles qu'à proximité de l'équateur.
------------------------	---

Déroulement	<ul style="list-style-type: none"> – Messages d'alarme des agences aéronautiques et de météo spatiale, propagation par les médias – Éventuelles défaillances du système électronique embarqué des satellites et des avions (p. ex. par des incidents dits « single event upsets SEU » ou « spacecraft charging ») – Impact sur les liaisons radio et éventuellement les systèmes GPS – Impact sur le réseau électrique – Endommagement d'éléments centraux de l'infrastructure électrique (p. ex. transformateurs) – Possibilités d'approvisionnement électrique de secours – Possibilités de remise en état temporaire des unités de production (centrales électriques) et du réseau électrique – Comportement des organisations concernées, des forces d'intervention et des autorités responsables – Réaction de la population
-------------	--



Intensité des scénarios

Selon les facteurs d'influence, différents événements peuvent se dérouler avec des intensités différentes. Les scénarios ci-après représentent un choix parmi de nombreuses possibilités et ne constituent pas une prévision. Ils permettent d'anticiper les conséquences potentielles d'un événement afin de pouvoir s'y préparer.

1 – Considérable

- L'éruption solaire entraîne une augmentation de l'intensité du rayonnement cosmique dans les régions de latitudes moyennes et hautes ainsi que des fronts d'ondes de choc, qui atteignent la terre en 24 heures.
 - Tempête géomagnétique avec une perturbation maximale globalement mesurée du champ magnétique terrestre de -750 nT.
 - La tempête solaire atteint la terre en novembre.
 - La durée de la phase de tempête est de 60 heures.
 - À de nombreux endroits, les infrastructures commandées électroniquement tombent en panne pendant plusieurs jours.
-

2 – Majeure

- L'éruption solaire entraîne à l'échelle globale une intensification du rayonnement cosmique et des ondes de choc qui atteignent la terre en 18 heures.
 - Des aurores boréales sont observées au-dessus de la Suisse.
 - Ouragan géomagnétique avec une perturbation maximale globalement mesurée du champ magnétique terrestre de -1600 nT.
 - La tempête solaire atteint la terre en décembre.
 - La durée de la phase de tempête est d'une semaine, après le déclenchement par trois éjections de masse coronale.
 - Un grand nombre d'infrastructures électroniques tombent temporairement en panne (infrastructures de communication, approvisionnement électrique).
-

3 – Extrême

- L'éruption solaire entraîne à l'échelle globale une intensification du rayonnement cosmique et des ondes de choc qui atteignent la terre en 18 heures.
- Des aurores boréales sont observées au-dessus de la Suisse.
- Ouragan géomagnétique avec une perturbation maximale globalement mesurée du champ magnétique terrestre de -2400 nT.
- La tempête solaire atteint la terre en janvier.
- La durée de la phase de tempête est de 10 jours, après le déclenchement par plusieurs éjections de masse coronale.
- Des infrastructures électroniques sont endommagées ou tombent en panne à grande échelle (communication, approvisionnement électrique).
- L'approvisionnement électrique peut être rétabli quelques jours après la fin de la tempête solaire. Différents services sont disponibles de manière limitée pendant un peu plus d'un mois, avant que les infrastructures endommagées ne soient entièrement réparées.



Scénario

Le scénario suivant est fondé sur le degré d'intensité majeur. Ce scénario est en principe possible en Suisse, bien que peu probable.

Situation initiale / phase préliminaire	On observe une augmentation de l'activité solaire pendant deux semaines. Le premier jour de l'incident, une éruption solaire inhabituelle avec une éjection de masse coronale (EMC) est détectée en direction de la terre. L'ESA informe la CENAL de l'éruption et celle-ci transmet l'information aux opérateurs d'infrastructures centrales (procédure en cours d'élaboration).
---	---

Phase de l'événement	<p>Dix minutes après la première éruption grave, la tempête radiologique (rayonnement ionisant) commence et entraîne une perturbation de la communication via et avec les satellites et les avions ainsi que des ondes radio courtes. Sur la face de la terre tournée vers le soleil, la transmission d'émissions radiodiffusées et télévisées est fortement altérée. Sur l'échelle NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, USA), ceci correspond à un « Blackout R5 Radio ». Le système GPS (y compris le GLONASS), la télévision par satellite et par câble, la téléphonie et les émissions de radio via satellite ainsi que la radiotéléphonie (y compris Polycom) et la téléphonie mobile en sont perturbés. Les systèmes de contrôle basés sur le GPS fonctionnent mal ou pas du tout. Les effets des tempêtes électromagnétiques sont au plus fort pendant la première heure. Ils diminuent ensuite lentement. Le réseau mondial de détecteurs de rayonnement cosmique enregistre une augmentation significative de l'intensité des rayons cosmiques due au rayonnement de particules solaires à haute énergie.</p>
----------------------	--

Le trafic aérien est fortement affecté pendant cette période. Beaucoup de vols doivent être reportés parce que les avions ne peuvent plus décoller pour des raisons de sécurité. Ceux qui sont dans l'air doivent continuer leur voler sans GPS, etc. Les couloirs aériens proches des pôles sont fermés et les itinéraires sont déviés.

Les scientifiques du Space Weather Segment de l'ESA (European Space Agency) constatent que le nuage de masse coronale éjectée par le soleil se déplace rapidement en direction de la terre. L'impact avec le champ magnétique terrestre (début d'une « tempête géomagnétique ») est attendu dans 20 heures. On s'attend à une tempête d'intensité G5 sur l'échelle NOAA.

Comme prévu, l'orage géomagnétique commence après environ 20 heures. De nombreux appareils électroniques tombent en panne. La tempête provoque dans les réseaux de distribution des courants induits qui endommagent les transformateurs à haute tension au Canada, en Europe du Nord et en Russie. Les infrastructures d'approvisionnement en courant électrique et de communication sont défailantes dans de nombreuses régions en Suisse.

Au cours des jours suivants, de nouvelles éjections de masse coronale tout aussi fortes se produisent environ tous les deux jours. Les effets des tempêtes radiologiques qui interviennent peu de temps après et des tempêtes géomagnétiques qui se produisent après environ 20 heures durent ainsi au total une semaine.



Phase de rétablissement Avec la cessation des tempêtes radiologiques et géomagnétiques, la situation revient à la normale. Il faut attendre environ une semaine avant que tout ne fonctionne de nouveau normalement.

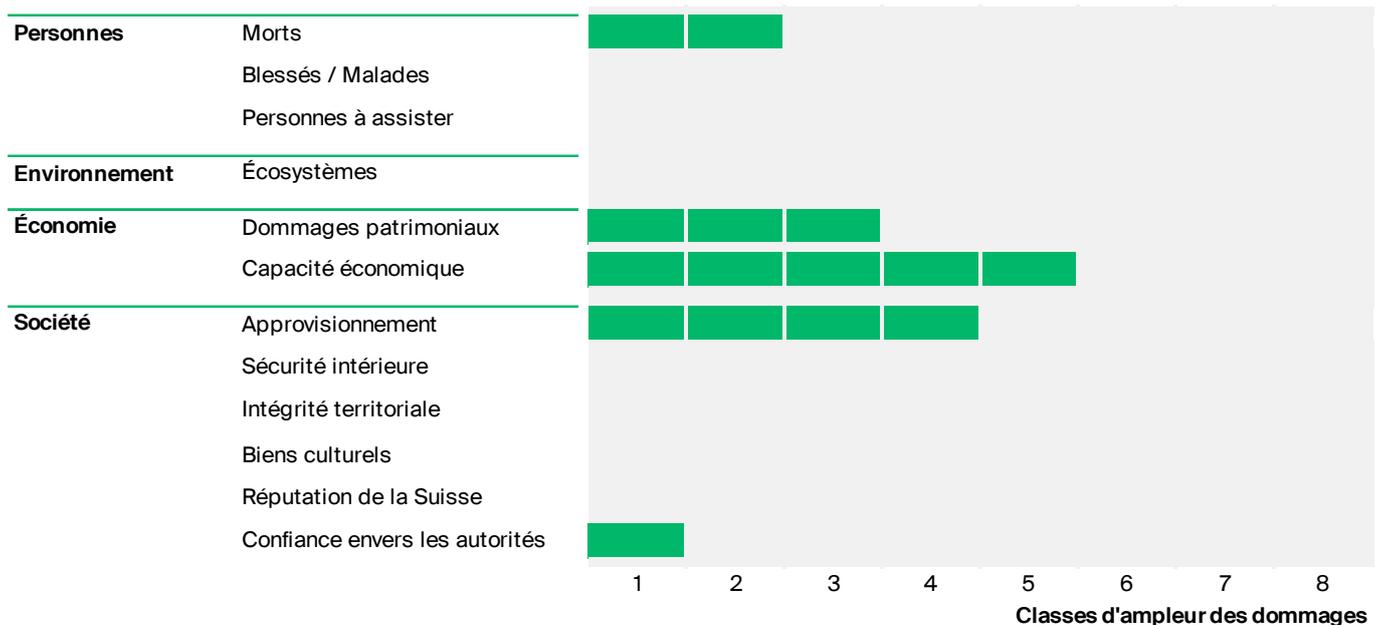
Déroulement dans le temps Les trois éjections de masse coronale et leurs conséquences s'étendent sur une période d'environ une semaine. Après une autre semaine, toutes les pénuries sont éliminées. Il faut toutefois attendre environ un mois avant que tous les systèmes ne retrouvent leur état normal.

Extension dans l'espace La tempête solaire a un impact sur le monde entier, mais surtout les zones polaires.



Conséquences

Pour évaluer les conséquences d'un scénario, on l'examine à l'aune de douze indicateurs répartis dans quatre domaines. L'ampleur attendue du scénario décrit est représentée dans le diagramme et commentée dans le texte ci-après. Chaque classe d'ampleur supérieure correspond à une augmentation des dommages de facteur trois.



Personnes

Le rayonnement radiologique entraîne une grave détérioration des systèmes de communication (par ex. le GPS, la radio, les liaisons par satellite). Il en résulte des dysfonctionnements des systèmes de contrôle du trafic, ce qui donne lieu à des accidents.

Certains services d'intervention sont difficilement joignables en raison de la perturbation des systèmes radio.

Le fonctionnement des aéroports est réduit au traitement des avions en atterrissage. Des milliers de voyageurs sont bloqués à l'aéroport et doivent être pris en charge. Des situations similaires se produisent dans les gares.

Les tempêtes géomagnétiques provoquent des pannes de courant locales et temporaires. Dans les foyers touchés, des incendies sporadiques sont causés par des bougies.

Environnement

En raison de dysfonctionnements, par exemple dans les usines de traitement des eaux usées, des matières dangereuses et des eaux usées non traitées s'échappent dans la nature.



Économie

Des appareils contenus dans les satellites exploités et entretenus par l'industrie et les scientifiques suisses sont endommagés. Ils doivent être réparés ou remplacés après l'incident.

L'économie et les pouvoirs publics sont entravés dans leurs activités pendant plus d'une semaine en raison des défaillances des systèmes de communication, des pannes de courant et de leurs effets (p. ex. sur le trafic et l'approvisionnement). Des perturbations se produisent dans différents systèmes (p. ex. systèmes de fermeture, d'encaissement). Ceux-ci doivent alors être utilisés en mode de secours, ce qui restreint considérablement leur utilisation ou les rend totalement indisponibles. Les chaînes d'approvisionnement aussi sont affectées.

Les opérations de paiement électronique et les paiements par carte de crédit sont globalement et temporairement perturbés (impact sur les marchés boursiers).

Les défaillances des trafics aérien, ferroviaire, routier et maritime entraînent des dommages économiques.

Certaines entreprises peuvent recourir à un système d'alimentation en courant sans interruption (ASI) ainsi qu'à des générateurs de secours pour leur approvisionnement en énergie. Les systèmes informatiques, les centres de calcul (en particulier pour les opérations de paiement et infrastructures de communication) ainsi que les sièges des grandes banques peuvent ainsi continuer à fonctionner malgré les coupures de courant.

La totalité des coûts de maîtrise et des dommages patrimoniaux sont estimés à près de 270 millions de francs.

Les conséquences économiques s'élèvent à environ 1,5 milliard de francs.

Société

Pendant environ une semaine, les pénuries et interruptions d'approvisionnement dans divers domaines se répètent pour une partie de la population. Ceci concerne par exemple l'approvisionnement en services d'information et de communication, mais aussi l'alimentation en courant. Il en résulte également des restrictions dans les transports publics et privés. Dans les hôpitaux, des opérations critiques sont renvoyées pour des raisons de sécurité, car il est difficile de savoir s'il faut d'attendre à des problèmes cardiaques aigus en raison du rayonnement électromagnétique.

Les émissions télévisées et de radio transmises via satellite sont régulièrement perturbées. En revanche, les programmes de la SSR via les réseaux câblés peuvent être reçus en continu.

La transmission de données météorologiques et géographiques collectées par les satellites est perturbée ou défaillante pendant la tempête solaire. Les satellites et/ou les instruments défectueux ne peuvent plus fournir de données et doivent être remplacés. Ceci peut prendre des mois à des années.

Les services d'intervention sont considérablement affectés par la défaillance des moyens informatiques. L'information de la population sur les raisons des défaillances et les recommandations de comportement par les autorités compétentes est limitée en raison de la défaillance partielle des canaux d'information.

Pendant l'incident, la police et les sapeurs-pompiers reçoivent les appels de personnes inquiètes des phénomènes d'aurores boréales, des pannes inhabituelles et du manque d'informations sur la durée des défaillances.

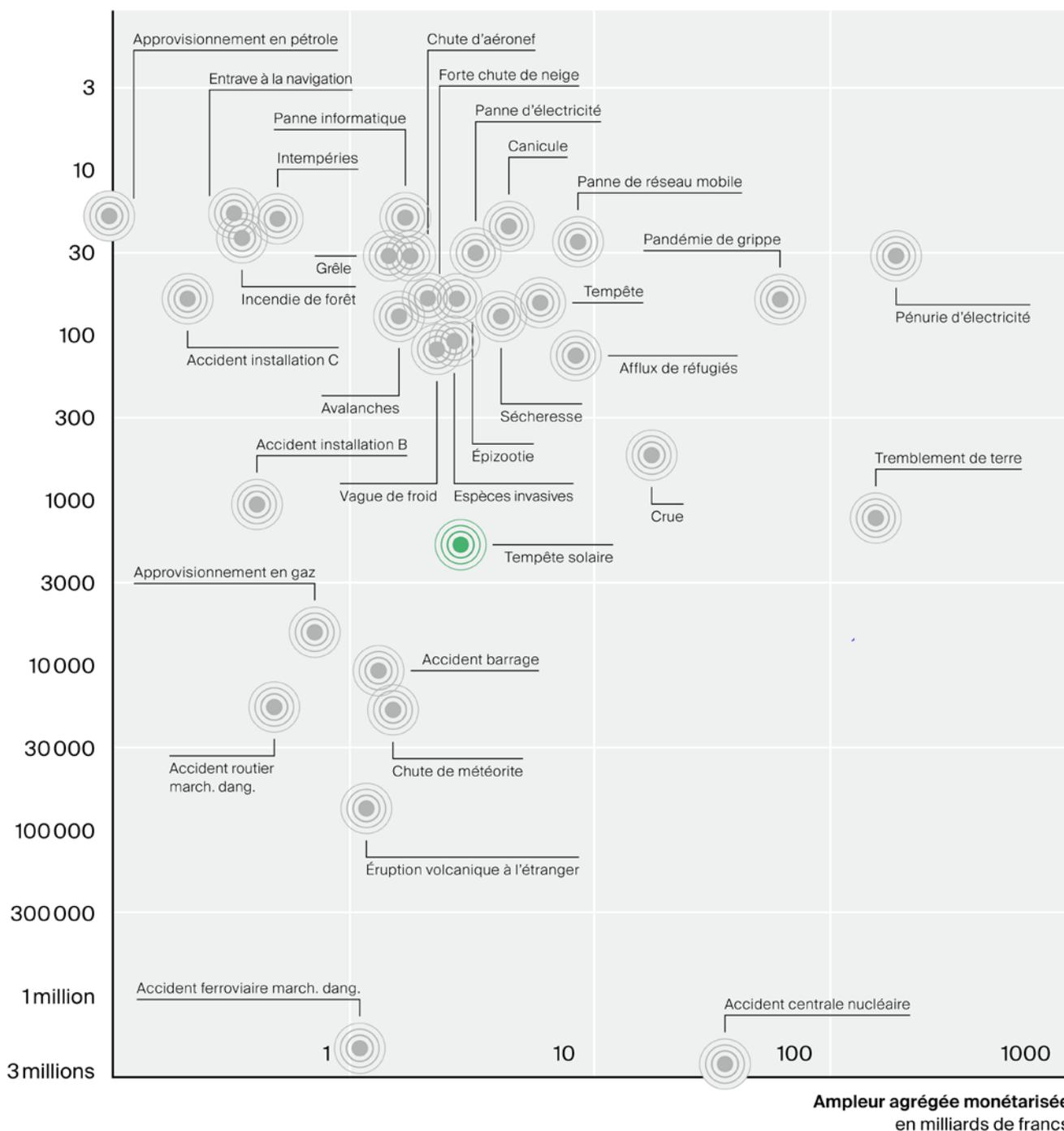


Risque

Le risque lié au scénario décrit est comparé aux risques des autres scénarios analysés dans une matrice des risques (voir ci-dessous). La probabilité d'occurrence y est saisie comme une fréquence (une fois tous les x ans) sur l'axe des y (échelle logarithmique) et l'ampleur des dommages est agrégée et monétarisée en CHF sur l'axe des x (échelle logarithmique également). Le produit de la probabilité d'occurrence et de l'ampleur des dommages représente le risque lié à un scénario. Plus un scénario se situe en haut à droite de la matrice, plus le risque est élevé.

Fréquence

Une fois tous les x ans





Bases juridiques

Constitution – Articles 89 (Politique énergétique) et 91 (Transport d'énergie) de la Constitution fédérale de la Confédération suisse du 18 avril 1999 ; RS 101.

Lois – Loi du 20 décembre 2019 sur la protection de la population et sur la protection civile (LPPCi) ; RS 520.1

– Loi du 30 septembre 2016 sur l'énergie (LEne) ; RS 730.0.0

– Loi du 24 juin 1902 sur les installations électriques (LIE) ; RS 734.0.

– Loi du 23 mars 2007 sur l'approvisionnement en électricité (LApEI) ; RS 734.7.

Ordonnances – Ordonnance du 2 mars 2018 sur l'État-major fédéral Protection de la population (OEMFP) ; RS 520.17.

– Ordonnance du 7 décembre 1998 sur l'énergie (OEne) ; RS 730.01.

– Ordonnance du 30 mars 1994 sur les lignes électriques (OLEI) ; RS 734.31.

– Ordonnance du 14 mars 2008 sur l'approvisionnement en électricité (OApEI) ; RS 734.71.



Informations complémentaires

Au sujet du danger de tempête solaire

- Carrington, R. C. (1859): Description of a singular appearance seen in the Sun on September 1, 1859. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 20 / 1.
- Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN) (2012) : Considérations relatives aux effets électromagnétiques sur les infrastructures en raison d'éruptions solaires. IFSN, Berne.
- Hanslmeier, Arnold (2011): Kosmische Katastrophen. Verlag Vehling, Graz.
- Lang, K. R. (2000): The Sun from Space. Springer.
- Lloyd's (2013): Solar Storm Risk to the North American Electric Grid. AER.
- National Research Council of the National Academics (2008): Severe Space Weather Events. Understanding Societal and Economic Impacts. The National Academic Press, Washington DC (USA).
- Office fédéral de l'énergie (OFEN) (2012) : Perturbations géomagnétiques dans le réseau de transport suisse. OFEN, Berne.
- Riswadkar, A. V / Dobbins, B. (2010): Solar Storms: Protecting Your Operations Against the Sun's 'Dark Side'. Zurich Services Corporation.
- Viljanen, A. / Pirjola, R. (2014): Geomagnetically induced currents in Europe. Modelled occurrence in a continent-wide power grid. Journal of Space Weather and Space Climate, Vol. 4.

Au sujet de l'analyse nationale des risques

- Office fédéral de la protection de la population (OFPP) (2020) : À quels risques la Suisse est-elle exposée ? Catastrophes et situations d'urgence en Suisse 2020. OFPP, Berne.
- Office fédéral de la protection de la population (OFPP) (2020) : Méthode d'analyse nationale des risques. Catastrophes et situations d'urgence en Suisse 2020. Version 2.0. OFPP, Berne.
- Office fédéral de la protection de la population (OFPP) (2020) : Rapport sur l'analyse nationale des risques. Catastrophes et situations d'urgence en Suisse 2020. OFPP, Berne.
- Office fédéral de la protection de la population (OFPP) (2019) : Liste des dangers. Catastrophes et situations d'urgence en Suisse. 2e édition. OFPP, Berne.