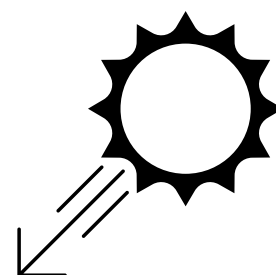




Tempête solaire



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 particules à haute énergie et de rayons électromagnétiques. Ces éruptions surviennent souvent pendant les phases de forte activité solaire. Les rayonnements et particules générés lors de ces événements se déplacent dans l'espace et peuvent même atteindre la Terre; les phénomènes qui s'ensuivent sont appelés « tempêtes solaires ». Les tempêtes s'accompagnent généralement de trois phénomènes qui peuvent interagir ou non :

– Éruptions solaires

Un éclair de rayons X se déplace à la vitesse de la lumière et atteint la Terre après environ 8 minutes. Vu depuis la Terre, cet éclair constitue le premier signe annonciateur d'une tempête solaire imminente. Le rayonnement n'est pas dangereux pour la santé dans l'atmosphère terrestre, mais il peut perturber les communications radio.

– Tempêtes de particules à haute énergie

Des particules à haute énergie (ou un rayonnement de particules) sont projetées à grande vitesse dans l'espace et atteignent la Terre après environ une heure. Lors de leur trajet vers la Terre, elles peuvent perturber le fonctionnement des satellites, voire les endommager.

– Éjection de masse coronale (EMC, ou coronal mass éjection, CME, en anglais)

Un nuage de plasma formé de particules chargées, telles que des électrons, des protons et des noyaux atomiques lourds, atteint la Terre au bout d'un à deux jours. Le champ magnétique terrestre est considérablement affaibli lorsque le nuage atteint la Terre (tempête géomagnétique).

La perturbation du champ magnétique terrestre (Disturbance Storm Time Index ou DST Index en anglais) est mesurée en nanoteslas (nT). Une tempête géomagnétique peut entraîner des tensions élevées dans les conducteurs électriques à longue distance, par exemple dans les lignes électriques aériennes, ou induire des courants forts susceptibles de détruire des transformateurs et ainsi de provoquer des coupures de courant. Ces effets surviennent principalement à des latitudes élevées, mais les aurores boréales sont visibles jusqu'à des latitudes relativement basses. Les tempêtes solaires peuvent perturber la précision des systèmes de navigation et la communication par satellite et provoquer une augmentation spontanée de la résistance de l'air pour les satellites à basse altitude, les ralentissant ainsi fortement ou les faisant dévier de leur trajectoire.

Février 2026



Contenu

Exemples d'événements	3
Facteurs d'influence	4
Intensité des scénarios	5
Scénario	6
Conséquences	8
Risque	11
Bases juridiques	12
Informations complémentaires	13

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.

Mai 2024

Les tempêtes de mai 2024 sont une série de violentes tempêtes solaires accompagnées d'éruptions solaires extrêmes et d'EMC qui se produisent du 10 au 13 mai 2024 au cours du cycle solaire 25. La tempête géomagnétique qui frappe la Terre dans la foulée est la plus forte depuis mars 1989 et produit des aurores boréales à des latitudes bien plus basses que d'habitude. Bien que des irrégularités soient signalées sur le réseau électrique américain, elles n'ont pas de conséquences significatives pour la population. La tempête perturbe toutefois les systèmes de communications à ondes courtes et altère légèrement la précision des systèmes GNSS. Certains satellites sont également affectés pendant une courte période. La perturbation maximale du champ magnétique terrestre (indice DST) est de -412 nT.

Octobre/Novembre 2003

Entre le 19 octobre et le 5 novembre 2003, 17 puissantes éruptions solaires sont observées. Elles donnent lieu à des tempêtes géomagnétiques qui se chevauchent et provoquent des perturbations considérables des communications radio. À Malmö, en Suède, la totalité du réseau régional tombe en panne. Dans le 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. La perturbation maximale du champ magnétique terrestre (indice DST) est de -422 nT (le 20 novembre).

13 mars 1989

Une tempête solaire entraîne une surcharge du réseau électrique au Québec, provoquant une panne de neuf heures dans la région de Montréal. Six millions de personnes sont touchées, par des températures de -15 °C. Les systèmes de contrôle du trafic, les aéroports et les réseaux de chauffage ne fonctionnent plus. Les dommages s'élèvent à plusieurs centaines de millions de dollars américains. La perturbation maximale du champ magnétique terrestre (indice DST) est de -589 nT.

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 boréales jusque dans la zone équatoriale. De fortes perturbations sont constatées sur les télégraphes électriques. Aujourd'hui, une tempête solaire similaire affecterait gravement les réseaux d'électricité et de télécommunication du monde entier ainsi que les satellites. Les coûts d'un incident comparable sont estimés, pour les seuls États-Unis d'Amérique, à environ 0,6 à 2,6 milliards de dollars. Les estimations quant à l'ampleur de la perturbation maximale du champ magnétique terrestre (indice DST) divergent : les études la placent entre -850 et -1750 nT.

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 éruptions solaires, de la tempête de particules et de l'éjection de masse coronale) – Intensité de la tempête géomagnétique (perturbation de la magnétosphère de la Terre) – Durée de la tempête solaire
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, besoins en énergie [climatisation, chauffage, éclairage])
Localisation / Étendue	<ul style="list-style-type: none"> – Tempête radiologique : se limite à la face éclairée de la Terre – Tempête géomagnétique : phénomène global et indépendant du positionnement du point considéré par rapport au soleil – Latitude géographique / champ magnétique de la Terre : conséquences nettement plus marquées au niveau des pôles qu'à proximité de l'équateur
Déroulement	<ul style="list-style-type: none"> – Temps de préalerte (messages d'alarme des agences aéronautiques et de météo spatiale, diffusion par les médias) – Type, intensité et durée des perturbations des différentes infrastructures <ul style="list-style-type: none"> – Communications radio à ondes courtes et liaisons radio (panne des communications radio) – Systèmes électroniques embarqués dans les satellites et les avions (p. ex. incidents dits « single event upset » (SEU) ou « spacecraft charging ») – Changements spontanés de trajectoire des satellites volant à basse altitude – Systèmes mondiaux de navigation par satellite (GNSS comme p. ex. les systèmes GPS) – Réseau électrique – Éléments centraux de l'infrastructure électrique (p. ex. transformateurs) – Préparation et réaction des exploitants d'infrastructures concernés, des organisations et des autorités compétentes (p. ex. coupure préventive, alimentation électrique de secours, remise en état temporaire des infrastructures électriques, telles que centrales électriques, transformateurs, réseaux) – Préparation et disponibilité opérationnelle des forces d'intervention – Comportement des organisations concernées et des autorités compétentes – Réaction de la population et de la classe politique

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

- Une éruption solaire entraîne une augmentation de l'intensité du rayonnement cosmique dans les régions de latitudes hautes et moyennes ainsi que des fronts d'ondes de choc, qui atteignent la Terre en 24 heures
- Des aurores boréales au-dessus du nord de l'Allemagne sont visibles depuis la Suisse
- Une tempête géomagnétique avec une perturbation maximale globale mesurée du champ magnétique terrestre de -750 nT se produit
- La tempête solaire atteint la Terre en novembre
- La durée de la phase de tempête est de 60 heures
- Les systèmes de communication à ondes courtes sont perturbés, tout comme, dans une moindre mesure, les systèmes de localisation (p. ex. GPS)

2 – Majeure

- Une 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 peuvent être observées au-dessus de la Suisse
- Un ouragan géomagnétique avec une perturbation maximale globale mesurée du champ magnétique terrestre de -1600 nT se produit
- 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 certain nombre d'infrastructures électroniques tombent en panne (infrastructures de communication, approvisionnement électrique, etc.) pendant quelques jours

3 – Extrême

- Une 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 peuvent être observées au-dessus de la Suisse
 - Un ouragan géomagnétique avec une perturbation maximale globale mesurée du champ magnétique terrestre de -2400 nT se produit
 - 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
 - Un grand nombre d'infrastructures électroniques sont endommagées ou tombent en panne (infrastructures de communication, approvisionnement électrique, etc.) pendant plusieurs jours
-

Scénario

Le scénario suivant est fondé sur le degré d'intensité majeur.

Situation initiale / Phase préliminaire

On observe pendant deux semaines une augmentation de l'activité solaire. Le premier jour de l'événement, la détection d'un rayonnement X annonce une éruption solaire inhabituelle avec une éjection de masse coronale (EMC) en direction de la Terre, phénomène confirmé par une observation au télescope. Après l'annonce à la CENAL de l'éruption par le National Weather Service Space Weather Prediction Center (SWPC, USA) et la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, USA), l'information est transmise aux opérateurs d'infrastructures enregistrés.

Phase de l'événement

Huit minutes après la première éruption majeure, les rayons X atteignent la Terre, ce qui entraîne une forte perturbation de la transmission des ondes radio courtes sur la face de la planète tournée vers le soleil. Sur l'échelle NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, USA), cela correspond à un « Blackout Radio de niveau R5 ». La communication avec et via les satellites, les avions et les systèmes maritimes, mais aussi par ondes radio courtes, est perturbée. Les systèmes GPS (GPS, GLONASS, Galileo et Beidou), la télévision par satellite et par câble, la téléphonie et les émissions de radio via satellite ainsi que la radiocommunication (y compris Polycom) et la téléphonie mobile sont eux aussi perturbés. Les systèmes de gestion et de contrôle basés sur le GPS fonctionnent mal voire pas du tout.

Environ une heure après l'observation du premier rayon X, 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. Les effets de la tempête de particules sont au plus fort pendant la première heure, mais s'atténuent par la suite. Cette tempête est classée au niveau S5 sur l'échelle NOAA dédiée aux tempêtes de rayonnement solaire (Solar Radiation Storms Scale).

Le rayonnement de particules entrave encore davantage les communications à ondes radio courtes près des pôles. De plus, plusieurs satellites sont touchés par des particules, ce qui peut nuire à leur bon fonctionnement, voire les mettre temporairement hors service. Les particules éblouissent les viseurs d'étoiles et perturbent ainsi l'orientation des satellites. En outre, les couloirs aériens proches des pôles sont fermés à titre préventif et les vols sont détournés afin de protéger les passagers contre les doses de rayonnement accrues dans ces zones. De nombreux vols sont annulés ou reportés, car les avions ne peuvent plus décoller pour des raisons de sécurité. Ceux qui sont déjà en l'air doivent continuer leur course sans GPS et autres instruments.

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 annoncé dans 20 heures. On s'attend à une tempête d'intensité G5 sur l'échelle NOAA.

Comme prévu, la tempête 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 des transformateurs à haute tension au Canada, en Europe du Nord et en Russie, et qui sont même détectés dans le réseau électrique suisse. Les infrastructures d'approvisionnement en courant électrique et de communication sont défectueuses dans de nombreuses régions de Suisse.

Par la suite, de nouvelles éjections de masse coronale tout aussi fortes se produisent environ tous les deux jours. Les effets des tempêtes de particules survenant peu de temps après et des tempêtes géomagnétiques se produisant au bout d'une vingtaine d'heures se font sentir pendant environ une semaine.

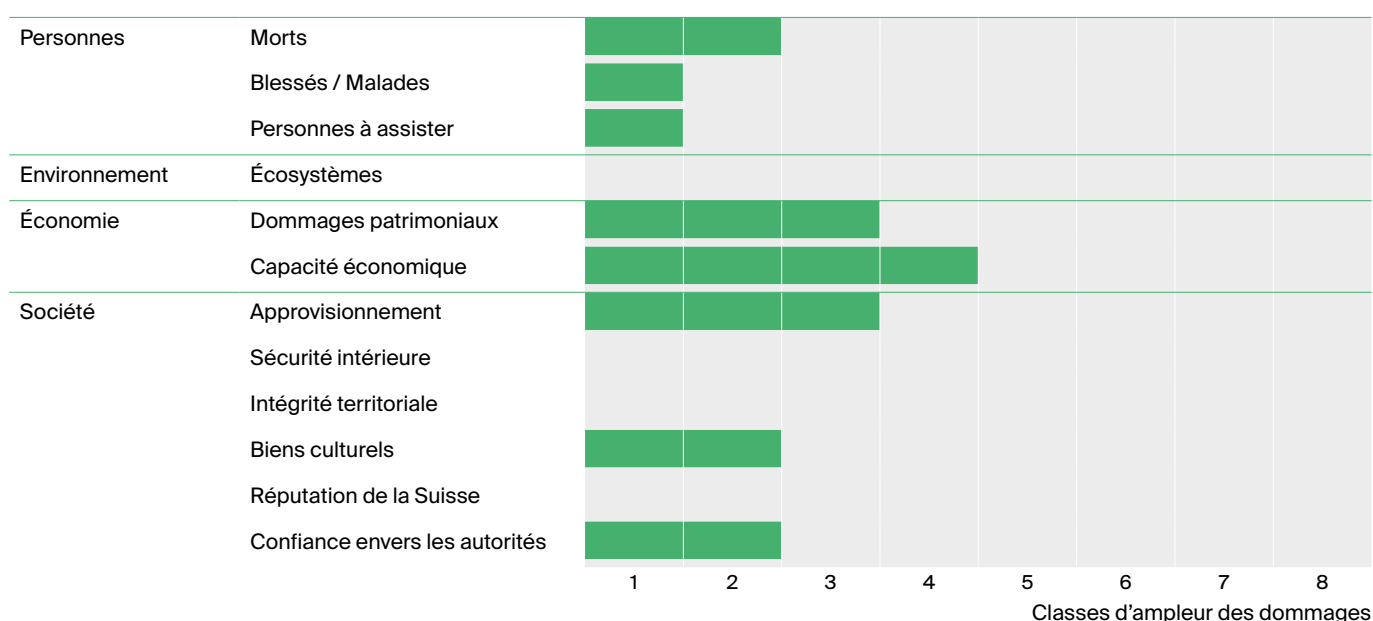
Phase de rétablissement	Avec l'arrêt des tempêtes radiologiques et géomagnétiques, la situation revient à la normale. Il faut attendre environ une semaine avant que tout fonctionne de nouveau normalement.
--------------------------------	--

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 retrouvent leur état normal.
----------------------------------	--

Extension dans l'espace	La tempête solaire a un impact sur le monde entier, donc aussi sur la Suisse, mais surtout sur 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 (p. ex. GPS, radio, liaisons par satellite). Il en résulte parfois des dysfonctionnements des systèmes de gestion et 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 à la gestion des atterrissages. Des milliers de voyageurs sont bloqués dans les aéroports et doivent être pris en charge. Des situations similaires se produisent dans les gares.

Les tempêtes géomagnétiques provoquent localement des pannes de courant temporaires. Dans les foyers touchés, des incendies sporadiques sont causés par des bougies. Des personnes reliées à des machines (p. ex. des appareils respiratoires) en dehors d'infrastructures hospitalières décèdent en raison des pannes d'électricité. D'autres doivent être libérées de tunnels, ou d'ascenseurs et de téléphériques immobilisés.

Au total, on compte environ 25 morts et plusieurs blessés. De plus, près de 500 personnes doivent être secourues dans des ascenseurs ou des moyens de transport à l'arrêt. Un millier de personnes bloquées à l'aéroport et ne pouvant pas rentrer chez elles ni être logées par des proches ont besoin d'un hébergement d'urgence jusqu'à ce que le trafic aérien reprenne complètement (soit pendant quelques jours).

Environnement

Les épisodes de pannes de courant entraînent parfois des problèmes d'évacuation des eaux usées. De nombreuses STEP disposent de groupes électrogènes de secours, mais ce n'est pas le cas des pompes qui transportent les eaux usées des ménages vers ces STEP. Il en résulte des pollutions temporaires des eaux.

Économie

Des appareils embarqués à bord de satellites sont endommagés et ont besoin d'être réparés. Parmi ces appareils, certains sont exploités et entretenus par l'industrie et les milieux scientifiques suisses.

L'économie et les pouvoirs publics sont surchargés 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).

Certaines entreprises peuvent recourir à une alimentation électrique sans interruption (ASI) ainsi qu'à des groupes électrogènes 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.

Différents systèmes sont perturbés chez les détaillants (p. ex. systèmes de fermeture ou d'encaissement). Ils 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.

La tempête solaire entraîne une perte de synchronisation dans les systèmes traitant des informations « en direct ». Les opérations de paiement électronique et les paiements par carte de crédit sont perturbés à l'échelle mondiale (impact sur les marchés boursiers) pendant la durée de l'événement.

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

Les coûts de maîtrise et les dommages patrimoniaux sont estimés à un total de près de 270 millions de francs.

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

Société

Pendant environ une semaine, certaines parties de la population sont confrontées à des pénuries et interruptions :

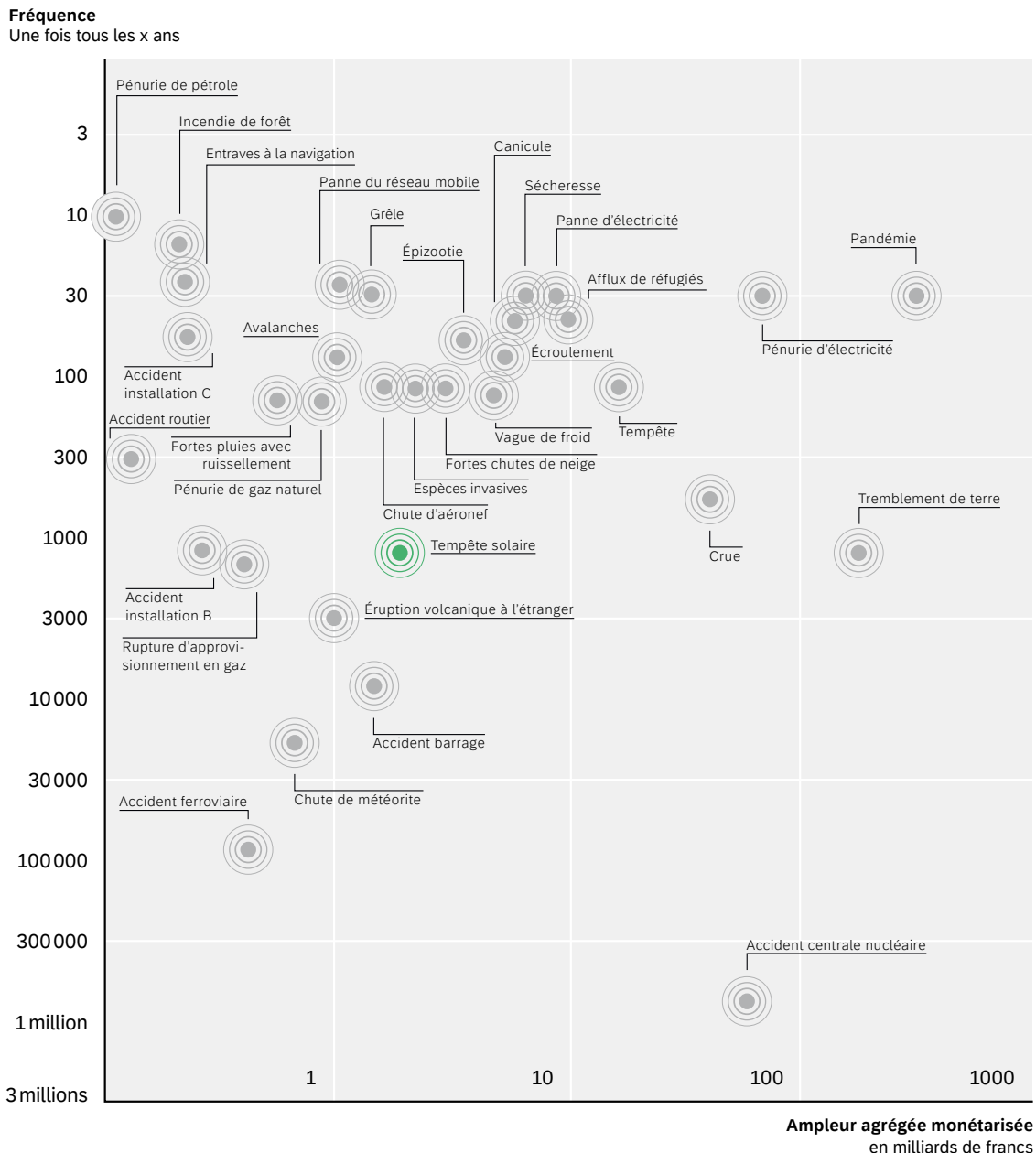
- Électricité : l'approvisionnement en électricité est régulièrement restreint dans certaines régions.
- Télécommunications : l'accès aux services d'information et de communication est limité, tout comme la transmission de données dans son ensemble. La transmission de données météorologiques et géographiques collectées par les satellites est entravée ou défaillante pendant toute la durée de la tempête solaire. Les satellites et les instruments défectueux ne peuvent plus fournir de données et doivent être remplacés. Cela peut prendre des mois, voire des années.
- Médias : 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.
- Services de secours : les services d'intervention sont considérablement affectés par le dysfonctionnement des moyens informatiques et des communications. Les informations sur la cause des problèmes et les recommandations de comportement des autorités compétentes ne sont transmises à la population que de manière limitée en raison de la défaillance partielle des canaux d'information.
- Appels d'urgence : pendant l'événement, la police et les sapeurs-pompiers reçoivent des appels de personnes inquiètes des phénomènes d'aurores boréales, des pannes inhabituelles et du manque d'informations sur la durée des perturbations.

Beaucoup de personnes sont surprises par cet événement et se demandent pourquoi le pays n'était pas mieux préparé. La couverture médiatique est particulièrement critique. De plus, le sujet fait l'objet de discussions animées sur les réseaux sociaux, où circulent parfois de fausses informations. Même après le retour à la normale, les médias continuent de commenter le déroulement de l'événement et mettent en lumière de possibles lacunes dans les plans de prévention. La confiance de la société dans l'État et ses institutions est ébranlée.

Dans les institutions culturelles, des installations techniques importantes telles que les systèmes de climatisation peuvent tomber en panne momentanément, avec pour conséquence des dommages parfois considérables aux biens culturels meubles, désormais hébergés dans des conditions inadéquates. Les mesures destinées à assurer la sécurité des biens culturels ne peuvent pas être mises en œuvre de manière suffisante en raison des moyens de communication limités.

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.



Bases juridiques

Constitution	<ul style="list-style-type: none">– Articles 89 (Politique énergétique) et 91 (Transport d'énergie) de la Constitution fédérale de la Confédération suisse du 18 avril 1999; RS 101.
Lois	<ul style="list-style-type: none">– 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	<ul style="list-style-type: none">– Ordonnance du 20 décembre 2024 sur l'organisation de crise de l'administration fédérale (OCAF); RS 172.010.8.– Ordonnance du 2 mars 2018 sur l'État-major fédéral Protection de la population (OEMFP); RS 520.17.– Ordonnance du 1^{er} novembre 2017 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 en question

- 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.
- Hanslmeier, Arnold (2011): Kosmische Katastrophen. Éd. Vehling, Graz.
- Hapgood, M., Angling, M. J., Attrill, G., Bisi, M., Cannon, P. S., Dyer, C., ... & Willis, M. (2021). Development of space weather reasonable worst-case scenarios for the UK national risk assessment.
- Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN) (2012): Considérations relatives aux effets électromagnétiques sur les infrastructures en raison d'éruptions solaires. IFSN, Berne.
- Lang, K. R. (2000): The Sun from Space. Springer.
- Lloyd's (2013): Solar Storm Risk to the North American Electric Grid. AER.
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (n.d.). About space weather. NOAA Space Weather Prediction Center. <https://www.swpc.noaa.gov/about-space-weather>.
- National Research Council of the National Academies (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) (2026): Dossiers sur les dangers. Catastrophes et situations d'urgence en Suisse 2025. OFPP, Berne.
- Office fédéral de la protection de la population (OFPP) (2026): À quels risques la Suisse est-elle exposée? Catastrophes et situations d'urgence en Suisse 2025. OFPP, Berne.
- Office fédéral de la protection de la population (OFPP) (2026): Méthode d'analyse nationale des risques. Catastrophes et situations d'urgence en Suisse 2025. Version 3.0. OFPP, Berne.
- Office fédéral de la protection de la population (OFPP) (2026): Rapport sur l'analyse nationale des risques. Catastrophes et situations d'urgence en Suisse 2025. OFPP, Berne.
- Office fédéral de la protection de la population (OFPP) (2023): Liste des dangers. Catastrophes et situations d'urgence en Suisse 2025. 3^e édition. OFPP, Berne.

Impressum

Office fédéral de la protection de la population OFPP

Guisanplatz 1B

CH-3003 Berne

risk-ch@babs.admin.ch

www.protpop.ch

www.risk-ch.ch