

ECLIPSE CHASERS

VERSION FRANÇAISE

00.00 COMMENTAIRE

L'île de Pâques.

C'est ici que va se dérouler un spectacle exceptionnel : une éclipse solaire totale.

00.11 JAY PASACHOFF

On va obtenir une image complète du Soleil !

00.14 COMMENTAIRE

Les éclipses donnent des indices sur le fonctionnement du Soleil et révèlent les secrets de l'univers.

00.22 HOLLY GILBERT

On n'imagine pas à quel point la physique de ces phénomènes est complexe.

00.29 COMMENTAIRE

Autrefois, les éclipses effrayaient les hommes...

00.34 FRED ESPENAK

C'était une punition des dieux, l'annonce de la fin du monde.

00.38 COMMENTAIRE

Aujourd'hui, elles donnent les clés d'une source d'énergie inépuisable...

00.42 NOAH SMICK

Ça pourrait changer la donne.

00.44 COMMENTAIRE

...Et elles ont permis de confirmer la théorie de la Relativité.

Voici un phénomène exceptionnel dans un cadre prodigieux : l'éclipse solaire de l'île de Pâques.

TITRE

01.02

L'île de Pâques : un site archéologique unique au monde.

C'est depuis ces rivages isolés que les plus grands spécialistes du Soleil vont observer un événement spectaculaire : une éclipse solaire totale.

01.19 ANDREW LUNT

C'est génial d'être ici pour une éclipse.

01.23 COMMENTAIRE

Ce coin de terre de 162 km² est situé à 3700 km des côtes chiliennes.

Son relief découpé est formé par les restes de trois volcans sous-marins.

01.38 JAY PASACHOFF

Ça m'a l'air bien, par là.

01.40 COMMENTAIRE

L'expédition a nécessité des mois de préparation.

Les astronomes doivent maintenant choisir le site d'observation avec soin.

01.48

L'éclipse durera moins de 5 minutes.

Il faudra en exploiter chaque seconde, d'autant que la météo est incertaine.

02.05 JAY PASACHOFF

C'est parfait ici ! On a trouvé l'endroit idéal.

02.09 COMMENTAIRE

Une éclipse totale permet d'observer des régions du Soleil qui nous éclairent **sur son fonctionnement et ont un impact direct sur notre planète.**

02.30

Dans notre histoire mouvementée, le Soleil est un point de repère immuable. C'est l'astre du jour qui se lève et se couche, la source de toute vie.

02.42

C'est aussi l'une des 200 milliards d'étoiles de la Voie Lactée.

Les satellites en-donnent aujourd'hui des images détaillées, mais son activité est régie par des forces dont nous commençons tout juste à saisir l'extraordinaire puissance.

03.03 MATT PENN

Quand on étudie le Soleil, on voit qu'il est secoué en permanence par des phénomènes dynamiques et violents. Mais à l'heure actuelle, notre compréhension de ces phénomènes et de leur impact sur la Terre est encore embryonnaire.

03.18 COMMENTAIRE

150 millions de kilomètres nous séparent du Soleil, et pourtant, son activité nous menace.

03.34

Québec, 13 mars 1989.

Le réseau hydroélectrique de la province s'effondre en moins de 90 secondes.

On enregistre des perturbations électriques sur tout le continent nord-américain et le transformateur d'une centrale nucléaire est endommagé.

03.49

La cause : un orage magnétique né à la surface du Soleil.

03.56 FRED ESPENAK

A chaque seconde, des millions et des millions de bombes à hydrogènes explosent au cœur du Soleil. Mais elles restent comprimées et contenues sous l'effet de sa gravité.

04.08 COMMENTAIRE

Octobre 2003.

Le satellite solaire SOHO enregistre une série d'éruptions violentes, équivalant à l'explosion de milliards de mégatonnes de TNT, à la surface du Soleil.

Elles projettent un formidable flux de particules dans l'espace.

04.25

Moins de 24 heures plus tard, elles atteignent notre planète et coupent les communications satellites.

Les lignes aériennes doivent modifier leur itinéraire et les astronautes de la station spatiale internationale se mettent à l'abri.

Leur mission est compromise et leur vie en danger.

04.42 JERRY GOLDSTEIN

Cet orage a produit des perturbations électromagnétiques de très forte intensité dans l'environnement spatial de la Terre. C'est un phénomène très rare.

04.53 COMMENTAIRE

Les orages magnétiques constituent une menace potentielle pour nos sociétés. Les agences spatiales du monde entier ont donc fait de leur prévision une priorité.

Ce nouveau champ de recherches s'appelle la météorologie de l'espace.

05.10 CHRIS ST CYR

Cette discipline n'existait pas il y a 15 ans.

Aujourd'hui, on la retrouve dans plusieurs agences spatiales et on débloque des fonds pour tenter de comprendre et de prédire la météo de l'espace.

05.25 COMMENTAIRE

Mais l'étude du Soleil ne peut pas toujours s'effectuer dans l'espace, en raison des coûts exorbitants des missions spatiales.

05.32 JAY PASACHOFF

Pour étudier le Soleil, nous avons de formidables fusées spatiales et de beaux observatoires au sommet des montagnes. Mais les éclipses nous donnent des informations différentes.

05.44

Lorsqu'elles se produisent, on a une image complète du Soleil.

05.51 COMMENTAIRE

Les éclipses solaires totales surviennent environ tous les 18 mois. L'heure et le lieu dépendent des mouvements et rotations du Soleil, de la Terre et de la Lune.

06.05 HOLLY GILBERT

Une éclipse solaire se produit quand la Lune s'interpose à un endroit précis entre le Soleil et la Terre et projette son ombre sur cette dernière.

La Terre se déplace alors dans l'ombre portée de la Lune.

06.22 COMMENTAIRE

La mécanique céleste permet de prévoir avec précision les prochains alignements.

06.32

La Lune effectue une orbite complète autour de la Terre en 29 jours et demi.

06.40

Elle passe donc une fois par mois entre la Terre et le Soleil.

Mais alors, pourquoi les éclipses ne sont-elles pas plus fréquentes ?

06.53

Tout simplement parce que l'orbite de la Lune est inclinée de 5 degrés par rapport à l'axe de la Terre.

Ainsi, tandis que notre planète et son satellite tournent autour du Soleil, la position relative de la Lune évolue.

07.08

La plupart du temps, elle est trop haute ou trop basse pour que son ombre atteigne la Terre.

07.21

Lorsqu'elle projette son ombre, elle ne couvre le plus souvent qu'une partie du Soleil. Mais quelquefois, son disque devient une silhouette noire entourée d'un anneau de feu.

07.36

Et à peu près une fois sur 25, le Soleil, la Lune et la Terre sont parfaitement alignés et notre étoile disparaît complètement : c'est ce qu'on appelle une éclipse totale. Cet événement résulte d'une incroyable coïncidence dans la géométrie céleste.

07.57

Le diamètre du Soleil mesure environ 1 400 000 km, soit 400 fois celui de notre Lune.

Mais il se trouve que la Lune est 400 fois plus proche de la Terre que le Soleil.

Cette équivalence exacte fait que pour nous, sur Terre, ces deux objets célestes paraissent de la même taille.

08.19 HOLLY GILBERT

Le Soleil est 400 fois plus grand que la Lune et celle-ci est 400 fois plus proche de nous. C'est ce qui fait que la Lune peut occulter exactement la surface du Soleil.

C'est une éclipse solaire totale. Un phénomène unique dans tout le système solaire. Ce rapport entre la taille et la distance est vraiment une coïncidence extraordinaire.

08.44 COMMENTAIRE

Le Soleil, la Lune et la Terre ne restent jamais parfaitement alignés plus de 8 minutes. Cet instant fugace s'appelle la « totalité ».

Et c'est lorsque le dernier rayon du soleil disparaît que ce dernier révèle ses secrets.

08.59 JAY PASACHOFF

Le Soleil est une grosse boule de gaz de plus d'un million de kilomètres de diamètre¹. Sa surface brûlante produit la lumière visible, celle qu'on voit de la Terre.

On a l'impression que ses contours sont nets parce qu'on ne distingue pas ses bords mais il y a une atmosphère autour de cette surface visible.

Et c'est pendant les éclipses qu'on la distingue le mieux.

09.23 SCOTT EVANS

C'est un peu comme de fixer un phare de voiture dans la nuit.

Son éclat est si aveuglant que tous les détails disparaissent. On ne voit rien.

09.32

Mais si on couvre le phare, on distingue des éléments qu'on ne pouvait pas voir auparavant. Dans le cas d'une éclipse solaire, ce qu'on remarque, c'est que le Soleil a lui aussi une atmosphère, la couronne.

L'observation de cette zone est capitale pour la météorologie de l'espace.

09.48 COMMENTAIRE

La surface visible du soleil s'appelle la photosphère.

Lorsque sa lumière est occultée, lors d'une éclipse solaire, on voit apparaître deux zones normalement invisibles à l'œil nu : la chromosphère, la fine couche rouge qui entoure le disque solaire, et la couronne, l'atmosphère externe du Soleil.

10.12

Ces zones nous donnent des indications sur le fonctionnement interne du Soleil. Les tempêtes solaires naissent ici.

C'est pour visualiser et étudier ces zones, que les scientifiques deviennent chasseurs d'éclipses.

10.33

Mais pourquoi l'île de Pâques ? Pourquoi ne pas observer l'éclipse ailleurs ?

10.40 SCOTT EVANS

On pourrait croire que pendant l'éclipse, tous ceux qui se trouvent du bon côté de la Terre peuvent observer le phénomène. Mais ça ne marche pas comme ça !

En fait, la Lune projette deux ombres sur la Terre.

La première est plus grande et plus diffuse que l'autre.

Elle couvre des milliers de kilomètres, c'est ce qu'on appelle la pénombre.

Les spectateurs qui se trouvent dans le cône de pénombre ne vont voir qu'une éclipse partielle de Soleil. La Lune ne couvrira pas complètement ce dernier.

11.07

Le second cône est beaucoup plus petit et plus sombre, c'est l'ombre à proprement parler. Il ne mesure que quelques centaines de kilomètres et là, la Lune occulte complètement le Soleil.

Il faut se trouver dans ce cône d'ombre pour voir une éclipse totale.

11.21 COMMENTAIRE

La trajectoire de cette ombre s'appelle la bande de totalité.

Pour cette éclipse, elle va naître au sud des îles Tonga, dans l'océan Pacifique. Elle décrira ensuite un arc de cercle vers l'est à plus de 1700 km/heure.

11.38 FRED ESPENAK

Cette bande peut mesurer 15 à 20 000 km de long, mais elle est très étroite et ne couvre qu'une fraction infime de la surface de la Terre.

11.48 JAY PASACHOFF

Pour choisir le site d'observation de l'éclipse, on a pris une carte et cherché le meilleur endroit. Le seul possible, était l'île de Pâques.

Sinon, l'éclipse n'était visible que depuis l'océan.

12.08 COMMENTAIRE

Une éclipse totale est un phénomène si impressionnant que les anciens croyaient qu'il annonçait un terrible danger et l'arrivée prochaine de puissances maléfiques.

12.18 FRED ESPENAK

Ils ignoraient qu'il s'agissait d'un phénomène naturel réglé par la mécanique céleste. Pour eux, c'était un message des dieux, l'annonce d'un cataclysme.

12.28 COMMENTAIRE

L'éclipse totale a souvent été associée à des événements historiques, comme la crucifixion du Christ.

12.39

Chez les Mayas, la volonté de comprendre ce phénomène a donné lieu à des observations précises, soigneusement consignées par écrit.

Ces archives constituent encore une formidable source d'informations.

12.56

Aujourd'hui, on peut prédire à la seconde près où et quand va survenir la prochaine éclipse solaire totale. Mais la tâche des scientifiques n'en demeure pas moins soumise à divers aléas.

13.09 JAY PASACHOFF

Tout est prêt, mais nous sommes dépendants du bon fonctionnement de notre matériel et des conditions météo. Si quelque chose tourne mal, on devra attendre l'éclipse suivante, dans à peu près 2 ans.

13.21 COMMENTAIRE

La météo permettra-t-elle aux astronomes de faire de nouvelles observations ? Sur l'île de Pâques, le compte à rebours a commencé.

13.41

Nous commençons tout juste à prendre conscience de la formidable puissance du soleil et à comprendre ses caractéristiques explosives.

13.51 FRED ESPENAK

Il est difficile de se représenter la quantité d'énergie émise par le Soleil.

Pour donner un élément de comparaison, il produit un million de fois plus d'énergie en une seule seconde que l'homme n'en a produit au cours des 10 000 dernières années.

14.07 COMMENTAIRE

De violents orages s'élèvent au-dessus de l'atmosphère solaire, y compris dans la couronne, cette zone qu'on peut brièvement apercevoir pendant une éclipse totale.

14.24

Les scientifiques se préparent avec soin.

Si tout va bien, ils vont observer la couronne en détail et en percer un peu plus les secrets.

14.40

Selon la théorie actuelle, cette dernière génère en permanence un flux de particules qu'elle expulse vers l'espace : le vent solaire.

14.51 JERRY GOLDSTEIN

La couronne n'a pas de frontières fixes et déterminées, elle s'étend loin dans l'espace et tout le système solaire est traversé par ce flux à la fois permanent et instable qu'on appelle le vent solaire.

15.04 MADHULIKA GUHATHAKURTA

Ce vent traverse les planètes, les astéroïdes et souffle jusqu'aux confins du système solaire.

15.13 COMMENTAIRE

Les scientifiques cherchent à comprendre comment la couronne propulse ce vent dans l'espace.

Mais sa structure extrêmement complexe bouleverse les notions de physique élémentaire. Certaines de ses propriétés semblent même défier toute logique.

A commencer par sa très haute température.

15.39 JAY PASACHOFF

Si vous êtes assis près du feu et que vous avez trop chaud, vous vous éloignez et il fait plus frais. Mais si vous êtes dans la photosphère, la surface visible du Soleil et que vous allez vers l'extérieur, vers la chromosphère ou la couronne, vous avez de plus en plus chaud. Pourquoi ? Ce n'est pas logique.

16.01 COMMENTAIRE

Dans le noyau du Soleil, la température atteint 15 millions de degrés Celsius². Elle redescend ensuite à 5500 degrés à la surface de l'astre.

Mais dans la couronne, la température remonte pour se situer entre 2 et 5,5 millions de degrés.

16.23 SCOTT EVANS

C'est un phénomène qu'on ne comprend pas bien. Un transport d'énergie d'une zone froide à une zone chaude.

16.31 HOLLY GILBERT

Et de plus, la zone à 5500 degrés et celle à 2 millions de degrés ne sont distantes que d'environ 80 km !

16.43 COMMENTAIRE

Les scientifiques vont profiter de l'éclipse pour observer la couronne et trouver des éléments d'explication à cette apparente contradiction.

16.53 JAY PASACHOFF

Le problème n'a pas été résolu. On a des dizaines de théories là-dessus et autant de solutions différentes. On n'a pas encore trouvé la bonne.

17.02 COMMENTAIRE

Certains scientifiques vont se concentrer sur une portion étroite du Soleil, la couronne interne.

Cette zone fait la jonction entre la photosphère et la couronne.

Vue depuis la Terre, elle n'est pas plus épaisse qu'un cheveu.

17.19

Il faut de puissants appareils optiques pour recueillir et enregistrer ce type de données.

17.28 JAGDEV SINGH

Nous allons étudier la couronne interne au moyen d'un grand spectrographe.

Ce n'est possible que lors d'une éclipse.

17.36 COMMENTAIRE

De ce point de vue, l'observation des éclipses n'a guère évolué depuis ses débuts, au 19^e siècle.

17.49

La science des éclipses a véritablement commencé dans les années 1840.

Une nouvelle génération de scientifiques européens a alors fait des observations cruciales du Soleil et de sa couronne.

18.02 FRED ESPENAK

Une éclipse solaire totale a traversé l'Europe en 1842.

C'était la première fois depuis des siècles qu'un homme de science européen pouvait en observer une. Ils ont été stupéfaits par la couronne.

Ils ne savaient absolument rien d'elle.

C'était une nouvelle énigme à résoudre

18.21 COMMENTAIRE

Pour la première fois, des scientifiques utilisent la photographie, inventée quelques années plus tôt.

Ils vont bientôt employer une autre invention : le spectroscopie.

18.38 MIKE DAMMANN

La spectroscopie nous permet d'observer la lumière émise par un objet distant et de la comparer à ce que nous voyons sur Terre pour déterminer sa composition.

18.48 COMMENTAIRE

Lorsqu'on chauffe n'importe quel élément du tableau de classification périodique, comme ici le potassium, il prend une teinte spécifique. Au travers d'un spectroscopie, cette teinte forme une série de raies colorées caractéristiques. C'est le spectre, la signature de l'élément.

19.05

On peut ainsi comparer le spectre du potassium à celui du lithium...

19.11

...et à celui du fer.

19.16 MIKE DAMMANN

On sait que le sodium produit une certaine couleur en brûlant.

Et si un objet distant, en l'occurrence le Soleil, émet cette même couleur, on sait alors de façon certaine qu'il contient du sodium.

L'intensité du spectre peut même nous renseigner sur la quantité de sodium contenue dans l'objet.

19.36 COMMENTAIRE

La spectroscopie a révolutionné notre compréhension du Soleil et nous a permis de découvrir qu'il était fait d'hydrogène³.

19.50

Peu de temps après, les scientifiques armés de leurs spectroscopes ont découvert un élément encore inconnu et pourtant présent en grande quantité dans l'univers : l'hélium.

20.05 FRED ESPENAK

On l'a baptisé hélium en hommage, à la divinité personnifiant le soleil chez les Grecs : « Hélios ».

20.11 COMMENTAIRE

Cette découverte marque un tournant dans l'étude du Soleil.

C'est un premier aperçu des réactions thermonucléaires complexes qui se produisent en permanence en son cœur.

20.29 NOAH SMICK

La fusion, c'est une réaction nucléaire qui produit de l'énergie.

Des noyaux atomiques légers, habituellement des isotopes d'hydrogène, se combinent pour former un noyau plus lourd. Et ce processus libère de l'énergie.

20.41 COMMENTAIRE

A une température normale, les atomes d'hydrogène se repoussent, comme les pôles identiques de deux aimants. Mais au cœur du Soleil, la chaleur est si intense que cette répulsion disparaît.

Les atomes d'hydrogène entrent alors en collision et fusionnent pour former l'hélium. Au cours de ce processus, ils libèrent une énorme quantité d'énergie sous la forme de rayons gamma.

21.02

Ces rayons se déplacent à la vitesse de la lumière, mais il leur faut un million d'années pour se frayer un passage à travers cet océan très dense de particules. Ils vont finir par émerger à la surface du Soleil sous forme de lumière.

De là, il ne leur faudra que 8 minutes pour atteindre la Terre.

21.19

La lumière qui nous parvient sur Terre a donc été créée un million d'années plus tôt.

21.28

Les chercheurs du *Massachusetts Institute of Technology* pensent que la fusion nucléaire pourrait un jour satisfaire tous les besoins énergétiques de l'humanité.

Ils ont commencé une série d'expériences au sein d'un réacteur à fusion unique en son genre⁴, l'Alcator C-Mod.

21.48 VOIX FEMME

Trois, deux, un. Activation de l'impulsion.

21.57 NOAH SMICK

Ça ne dure que deux secondes, dans une chambre de quelques mètres de diamètre. Mais cela suffit pour produire l'équivalent des besoins énergétiques d'une petite ville. On répète l'opération toutes les 20 minutes.

22.10 COMMENTAIRE

Pour l'instant, la physique des plasmas et la fusion nucléaire sont encore trop complexes. Il n'est pas possible de reproduire la fournaise nucléaire solaire. Mais cette expérience suscite de grands espoirs.

22.24 NOAH SMICK

Nous sommes persuadés que cela aura à l'avenir, un énorme impact sur l'équilibre énergétique du monde. Et si nous réussissons, cela peut complètement changer la donne.

22.40 COMMENTAIRE

Dans quelques minutes, l'éclipse va commencer.

C'est ce qu'on appelle le « premier contact », l'instant où la Lune apparaît devant le disque solaire.

23.00

Il est invisible à l'œil nu. L'éclat du Soleil reste trop aveuglant.

23.10

Pour surmonter cet obstacle, les scientifiques ont équipé leurs instruments de filtres solaires.

23.19

Ce télescope solaire mobile est particulièrement puissant.

Son filtre est ajusté sur la longueur d'onde de l'hydrogène alpha.

23.32 ANDREW LUNT

Le télescope se concentre sur une bande précise du spectre.

On sait que le Soleil est majoritairement composé d'hydrogène et d'hélium.

Et quand on ajuste le filtre sur la bonne raie, celle de l'hydrogène, on voit se dessiner certains aspects du Soleil.

23.55

Cette-région du Soleil reflète ce qui se produit dans les couches inférieures.

24.05 COMMENTAIRE

L'utilisation de ce filtre sera une première.

24.15 ANDREW LUNT

On ne sait pas exactement ce qu'on peut voir à travers un filtre à hydrogène alpha pendant une éclipse. Donc oui, je crois qu'on va observer des phénomènes très intéressants tout à l'heure.

24.33 COMMENTAIRE

Pendant cette éclipse, les scientifiques vont aussi étudier les protubérances solaires, des filaments de plasma qui surgissent de la surface du Soleil.

Les voici filmés en accéléré.

Ces protubérances ne sont visibles à l'œil nu que lors d'une éclipse solaire totale.

25.00 FRED ESPENAK

Ce sont des nuages rouge vif composés de gaz d'hydrogène qui émergent de la surface du Soleil, des langues de feu qu'on distingue sur les bords du disque lunaire.

25.12 COMMENTAIRE

Ces protubérances ont l'air modeste, mais elles contiennent jusqu'à 100 milliards de tonnes de plasma solaire.

Ces boucles majestueuses peuvent fuser à plus de 160 000 km dans l'espace, 12 fois le diamètre de la Terre.

Elles sont si violentes, qu'elles projettent l'équivalent de millions de bombes H dans l'espace.

25.40

PAUL

BELLAN

On peut comparer ça à l'activité d'un volcan. Elles restent tranquilles pendant un jour ou une semaine et tout à coup, elles s'agitent et entrent en éruption.

Pourquoi à ce moment-là et pas à un autre ?

Quelle est la goutte d'eau qui a fait déborder le vase ?

25.57 COMMENTAIRE

Pour comprendre les forces à l'œuvre derrière ces protubérances, les scientifiques utilisent également les sons.

26.12

Ce bruit sourd, ce sont les pulsations du Soleil.

Sur Terre, les géologues utilisent les ondes acoustiques pour détecter la présence de pétrole ou prévoir les séismes.

Une discipline relativement récente, l'héliosismologie, repose sur le même principe : les ondes sonores émises par le Soleil permettent de créer une échographie de ses couches intérieures.

26.39

Et ces images révèlent la rotation très irrégulière du soleil.

26.45 HOLLY GILBERT

Le Soleil est une énorme boule de gaz extrêmement chaud.

Ce n'est pas une sphère solide comme la Terre.

Sa vitesse de rotation varie donc d'un endroit à l'autre, à la surface et dans ses couches internes.

26.59 COMMENTAIRE

A l'intérieur du Soleil, le plasma effectue une rotation complète en à peu près 27 jours. A la surface, au niveau de l'équateur, il ne lui faut que 25 jours.

Au niveau des latitudes moyennes, cette révolution prend près de 26 jours, et aux pôles, elle atteint 34 jours.

27.18 HOLLY GILBERT

On a donc des masses de gaz qui tournent à des vitesses différentes. On ne comprend pas toujours à quel point la physique qui sous-tend le mécanisme des étoiles est complexe.

27.32 COMMENTAIRE

En tournant, ces immenses murs de plasma froteraient les uns contre les autres et produiraient ainsi courant électrique et magnétisme, à la manière d'une gigantesque dynamo.

27.49 PAUL BELLAN

Le principe de la dynamo, c'est de convertir un mouvement mécanique en électricité. On pense qu'il y a quelque chose qui se déplace dans le Soleil et que cela produit de l'électricité. Et à son tour, l'électricité crée des champs magnétiques.

28.05 COMMENTAIRE

Et ce sont ces champs magnétiques qui produiraient les protubérances solaires qu'on peut observer pendant une éclipse totale.

28.19

Paul Bellan et son équipe du *California Institute of Technology* étudient les effets de cette dynamo électromagnétique solaire.

28.32

Dans leur laboratoire, ils créent des protubérances artificielles dans ce qu'on appelle un pistolet au plasma.

Cette invention révolutionnaire permet d'étudier de près les propriétés électromagnétiques du Soleil.

28.46 PAUL BELLAN

Elles s'enroulent et se tordent, elles grandissent et explosent, se fondent et décrivent des tas de mouvements dans tous les sens. C'est très complexe.

28.55 COMMENTAIRE

Pour simuler une protubérance qui durera moins d'une seconde, le pistolet au plasma a besoin de 100 000 ampères et d'un puissant électro-aimant.

Et la violence de cette protubérance est très loin d'égaliser celle du Soleil.

29.10

Les scientifiques utilisent une caméra à très haute vitesse capable de filmer 3 millions d'images par seconde.

Ils espèrent ainsi glaner des indices sur les structures très ordonnées qui régissent cet apparent chaos.

29.22 JERRY GOLDSTEIN

Le comportement d'un plasma magnétisé est extrêmement organisé.

Ce qui fait que lorsqu'on regarde ces images magnifiques de la surface du Soleil, on voit des arcades de plasma.

Ce qui se passe, c'est qu'on a une boucle magnétique qui bouillonne à la surface du Soleil.

Ensuite, le plasma qui compose le Soleil remplit cette boucle et à ce moment-là, il y reste piégé.

On dit qu'il est magnétiquement confiné.

29.53 COMMENTAIRE

Ces immenses boucles magnétiques surgissent à la surface du Soleil et s'élancent à travers la couronne. Mais elles sont retenues par des champs magnétiques qui les maintiennent sous pression.

30.07 JERRY GOLDSTEIN

C'est un peu comme un élastique. Si on tire dessus, il va finir par casser.

Là, c'est la même chose, sauf que les boucles se reconnectent immédiatement dans une autre configuration.

30.19 COMMENTAIRE

On ne sait pas exactement ce qui entraîne la rupture des protubérances.

Mais une chose est sûre, elles provoquent une éruption de plasma solaire qui s'élance à des millions de kilomètres dans l'espace.

30.35

Ces explosions sont des éjections de masse coronale.

Lorsqu'une telle vague de particules vient frapper la Terre, notre magnétosphère absorbe le plus gros de l'impact.

C'est ce qui produit les aurores polaires.

Et plus ces orages magnétiques sont importants, plus ils peuvent causer de dégâts.

30.56 CHRIS ST CYR

Ces orages créent des courants dans la partie supérieure de notre atmosphère, qu'on appelle l'ionosphère. Ces courants circulent alors dans la croûte terrestre et ils viennent surcharger le réseau électrique au niveau des transformateurs.

31.09 COMMENTAIRE

Ces courants induits entraînent le survoltage des lignes à haute tension.

31.21 JERRY GOLDSTEIN

Ces aurores polaires atteignent des intensités inouïes, de l'ordre de dizaines de gigawatts.

31.27 COMMENTAIRE

Les transformateurs explosent.

Le courant s'épuise en certains endroits tandis que d'autres sont en surchauffe. Et lorsqu'il n'y a plus assez d'électricité, comme lors de l'orage magnétique de 1989, c'est tout le réseau qui s'écroule.

31.42 JOE DAVILA

Aujourd'hui, les réseaux électriques sont tous interconnectés, ce type de phénomène peut donc entraîner une panne progressive qui se propage partout.

31.52 COMMENTAIRE

En 1859, il s'est produit un orage magnétique plus violent encore qu'en 1989 et 2003. Une étude montre qu'une éruption de même magnitude qui surviendrait aujourd'hui, pourrait causer des destructions massives.

32.06 JOE DAVILA

Dans le pire des cas, la distribution des produits alimentaires pourrait s'arrêter, ainsi que la purification de l'eau.

32.18 MADHULIKA GUHATHAKURTA

Une tempête solaire peut avoir des effets catastrophiques sur notre planète et causer des dommages économiques 20 fois supérieurs à ceux de l'ouragan Katrina.

32.37 COMMENTAIRE

A 384 000 km de la Terre, la Lune commence à s'aligner avec le Soleil.

Dans moins de 90 minutes, ce sera la totalité.

Les chercheurs espèrent que la météo ne gâchera pas l'instant pour lequel ils ont parcouru tant de kilomètres.

33.06

Plus que 15 minutes. L'éclipse de l'île de Pâques s'annonce bien.

33.17 JAY PASACHOFF

C'est parfait, regardez. Cette partie du ciel est complètement dégagée.

33.23 COMMENTAIRE

Cette éclipse va permettre de mieux comprendre la météorologie de l'espace, mais également de répondre à des questions sur l'avenir du Soleil... et du nôtre.

33.40

Si l'activité du Soleil paraît instable, elle obéit pourtant à des schémas réguliers. Son activité magnétique suit un cycle de 11 ans, le cycle solaire.

33.56

Tous les 11 ans, le Soleil passe d'une période de calme relatif, appelé minimum solaire à une activité magnétique intense, le maximum solaire, avant de s'apaiser de nouveau.

34.10 JERRY GOLDSTEIN

Généralement, la Nature fonctionne par cycles.

On a des périodes de maximum et de minimum.

C'est assez régulier, mais ça ne l'empêche pas de produire des événements inattendus.

34.21 COMMENTAIRE

Et lorsque le cycle solaire sort du schéma prévu, cela inquiète les scientifiques.

34.31 FRED ESPENAK

La Terre maintient un équilibre délicat avec le « budget énergétique » qu'elle reçoit du Soleil. Toute fluctuation, même mineure, peut avoir des répercussions importantes sur la vie terrestre.

Elle peut par exemple produire des périodes glaciaires, ou encore des sécheresses et même provoquer l'évaporation des océans.

34.54 COMMENTAIRE

Une amplification de l'activité magnétique du soleil lors d'un maximum solaire pourrait relever la température des océans et bouleverser la météorologie terrestre. A contrario, un minimum solaire modifierait étrangement le comportement de notre astre.

35.24 JAY PASACHOFF

Le Soleil est très tranquille. La couronne est paisible. Elle semble en sommeil.

Nous l'avons vue diminuer entre l'éclipse observée en Grèce en 2006 et celle de Sibérie en 2008. Puis encore avec celle observée en 2009 en Chine.

Et elle aura certainement encore diminué cette année. On n'a pas enregistré une activité aussi basse depuis au moins un siècle.

35.53 COMMENTAIRE

Ce prolongement du minimum solaire pourrait-il entraîner un refroidissement de la Terre ? Personne ne peut l'affirmer.

Mais des recherches basées sur l'étude de carottes de glace arctique semblent suggérer que la dernière forte baisse de l'activité solaire, appelée minimum de Maunder, a entraîné les hivers rigoureux des 17e et 18e siècles.

36.21

Lors de cette période, la température globale a baissé de 2 degrés.

C'est ce qu'on appelle le « petit âge glaciaire ».

36.27 JAY PASACHOFF

On est dans une période très intéressante, et peut-être même inquiétante.

36.33 JERRY GOLDSTEIN

Si l'activité solaire changeait du tout au tout, cela ferait peser une menace sur la survie de notre espèce, ou la continuité de notre mode de vie.

36.42 COMMENTAIRE

Pour suivre ces fluctuations, il faut surveiller en permanence le diamètre du Soleil. Mais avec les variations de l'atmosphère terrestre et l'éclat déformant du Soleil, il est pratiquement impossible de le mesurer.

Là encore, l'éclipse totale peut aider les scientifiques, car la taille de l'ombre portée de la Lune permet de calculer le diamètre du Soleil.

37.08

En se plaçant aux extrémités nord et sud de la bande de totalité, deux équipes d'observation peuvent déterminer la taille de l'ombre à 100 mètres près.

Ensuite, il suffit de remonter vers la source.

Le diamètre de la Lune et la distance de la Lune au Soleil étant connus, on peut calculer la taille du Soleil à 35 km près.

37.37 FRED ESPENAK

On peut ensuite comparer ce résultat à celui des éclipses précédentes et voir si le diamètre du Soleil a évolué.

37.47 COMMENTAIRE

La science des éclipses a toujours nécessité des mesures précises et certains de ces calculs ont révolutionné notre conception de l'univers.

37.57 FRED ESPENAK

Quand Einstein a inventé la théorie de la Relativité, il s'est aperçu qu'il pouvait la tester lors d'une éclipse.

38.06 COMMENTAIRE

La gravité affecte-t-elle la lumière ?

Peut-elle la courber comme une lentille ?

Cela semble difficile à croire, et pourtant, la théorie d'Einstein l'affirme.

Mais seul un objet de la taille du Soleil possède une gravité assez importante pour nous permettre de voir ces courbures.

Alors en 1919, une équipe de spécialistes des éclipses a entrepris de confirmer sa théorie.

38.28

Le concept est simple. On photographie un groupe d'étoiles quelconque. Ensuite, on le photographie de nouveau pendant une éclipse totale, lorsqu'elles sont quasiment cachées par la Lune.

Si la théorie d'Einstein est vraie, les étoiles vont apparaître légèrement excentrées pour le spectateur terrestre, car la gravité du Soleil courbe leur lumière et modifie ainsi leur position apparente.

38.55 SCOTT EVANS

Einstein avait même calculé l'écart apparent sur une plaque photographique. Ses calculs étaient rigoureusement exacts.

39.04 COMMENTAIRE

La relativité ne nous permet donc pas seulement de comprendre des objets astronomiques comme les trous noirs, mais aussi de faire atterrir un robot sur Mars et d'assurer le bon fonctionnement du GPS de nos voitures.

39.18 SCOTT EVANS

Si les systèmes de navigation comme le GPS n'intégraient pas les effets de la Relativité, ils seraient inutilisables.

39.30 COMMENTAIRE

Lors de votre prochain trajet en voiture, rappelez-vous que c'est une éclipse totale qui vous a permis d'atteindre votre destination.

39.40

Retour sur l'île de Pâques où l'éclipse va commencer.

Il y a quelques heures, l'ombre de la Lune est apparue dans les eaux de l'océan Pacifique. Elle a ensuite filé le long de la bande de totalité vers l'île de Pâques à plus de 1700 km/h.

40.00

Sur l'île, la tension monte.

Les scientifiques affinent leurs réglages en attendant ce phénomène spectaculaire.

40.17 SCOTT EVANS

Une éclipse totale reste un choc, même au 21^e siècle.

On en a déjà vu, on sait exactement ce qui va se passer à la seconde près.

Et pourtant, quand cela se produit, on est toujours aussi fasciné.

40.29 CHRIS ST CYR

Pendant une éclipse, la lumière est très différente.

On a l'impression d'assister à l'aube ou au crépuscule sur l'horizon, mais à 360 degrés.

40.41 FRED ESPENAK

J'ai vu des vaches se diriger vers l'étable, pensant que le soir tombait, et des fleurs se refermer. Quelquefois, on voit des chauves-souris s'élancer dans le ciel, juste avant la totalité.

40.55 COMMENTAIRE

Même le sol se pare de motifs inhabituels et chatoyants.

41.00 SCOTT EVANS

Les phases partielles d'une éclipse totale produisent des effets étonnants. Et des choses tout à fait ordinaires, comme l'ombre de cette plante, peuvent devenir extraordinaires.

41.11

Pour le démontrer, j'ai installé une lampe de 5000 watts pour figurer le Soleil, et découpé un disque qui fera office de Lune.

Là, le Soleil agit de façon ordinaire, la lumière arrive sur la plante et elle projette des ombres sur le mur. Mais avec l'éclipse, tout change. On voit apparaître des petites éclipses.

41.34

Cela s'explique par le fait que la lumière tente de traverser la plante.

Les feuilles en bloquent une bonne partie mais le motif de ces feuilles produit de tout petits espaces, des trous d'épingle, comme dans un appareil à sténopé.

41.48

Le fonctionnement de la lumière fait que ces petits trous d'épingle vont concentrer la lumière et créer des images du Soleil.

41.56

Je peux encore exagérer cet effet avec la main.

L'espace entre mes doigts va lui aussi agir comme un appareil à sténopé, comme s'il y avait davantage de feuilles et une petite brise.

Ces ombres vont paraître danser sur le mur.

C'est un effet incroyable.

42.11 COMMENTAIRE

Au cours des siècles, ces étranges phénomènes ont déclenché des comportements divers, allant du besoin de purification à la peur panique.

42.21 JAY PASACHOFF

C'est une sensation étrange de voir la nuit tomber en plein jour.

Les phases partielles de l'éclipse durent environ une heure et demie, la lumière baisse peu à peu.

Lors des 15 dernières minutes, la lumière devient bizarre, les ombres paraissent étrangement nettes. Et lors des 15 dernières secondes, la nuit tombe complètement dans le ciel, on peut voir un anneau de diamant. Des perles de lumière éclatantes.

42.49 COMMENTAIRE

Lorsque la Lune se prépare à occulter complètement le Soleil, un dernier éclair de lumière apparaît, c'est ce qu'on appelle l'anneau de diamant.

42.59 JAY PASACHOFF

Et là, la lumière revient brutalement. Voir le ciel s'assombrir et s'éclairer de nouveau à quelques secondes d'intervalles est un spectacle saisissant.

43.08 FRED ESPENAK

Dans quelques secondes, le diamant va se briser en une série de grains lumineux.

Ce sont les rayons du soleil qui se faufilent à travers les étroites vallées de la Lune.

43.17 COMMENTAIRE

Ces derniers rayons apparaissant à travers les reliefs lunaires créent un effet scintillant qu'on appelle les grains de Bailly, en l'honneur du père de la science des éclipses.

Lorsque ces grains disparaissent, la totalité commence.

43.35 JAY PASACHOFF

On va voir apparaître une lisière rouge.

C'est la chromosphère, la fine couche d'atmosphère du Soleil.

Cet anneau va disparaître à son tour et on apercevra la couronne.

43.49 COMMENTAIRE

Pendant la totalité, les observateurs peuvent retirer leurs lunettes.—C'est le seul instant où on peut regarder le Soleil en face.

43.59

Une totalité ne dépasse jamais 8 minutes.

Celle de l'île de Pâques va durer 4 minutes 41 secondes.

44.07 JAY PASACHOFF

On peut faire beaucoup de choses en 4 minutes : prendre des photos, observer divers détails. Et puis très vite, on a le même phénomène à l'envers.

44.19

L'éclipse partielle va continuer pendant une heure et demie.

Mais on dit que personne n'a jamais vu la fin, on est trop excité pour ça !

44.30 COMMENTAIRE

Tout est prêt. Les caméras sont en place, les chercheurs ont les yeux fixés vers le ciel.

[Je propose de faire une coupe de 44.45 à 45.00]

45.03

La totalité va commencer dans quelques secondes.

45.21

Les derniers rayons du soleil, un dernier halo, c'est l'anneau de diamant.

45.33

Ce liseré rouge, c'est la première apparition de la chromosphère.

45.44

Nous sommes maintenant en plein dans l'ombre de la Lune. C'est la totalité.

45.51

Nous voyons apparaître les premières volutes de la couronne.

45.56

C'est dans ces régions que naissent les vents solaires.

46.06

Dans moins de 4 jours, les particules de ces vents vont venir frapper la Terre et créer une aurore boréale.

46.18

Dans deux semaines, ces mêmes rafales de vents solaires vont balayer les lunes de Jupiter. Trois semaines plus tard, elles vont atteindre les anneaux de Saturne.

46.29

Et c'est au-delà de l'orbite de Pluton, aux frontières de l'héliosphère, que ces vents vont finir par se dissiper, à plus de 17 milliards de kilomètres de leur lieu de naissance.

46.41 CRAIG MALAMUT

C'est absolument incroyable ! Je n'ai jamais rien vu de tel.

Ça n'a rien à voir avec les photos, il faut vraiment le vivre pour le comprendre.

46.51 COMMENTAIRE

La totalité dure maintenant depuis près de 4 minutes.

Les scientifiques disposent encore de quelques secondes pour faire leurs observations. D'ici peu, l'éclat du Soleil va émerger sur les bords ouest de la lune.

47.13

La totalité est maintenant terminée.

47.22

**L'éclipse de l'île de Pâques apportera-t-elle la clé des énigmes du Soleil ?
Il est encore trop tôt pour le dire.**

47.30 JAY PASACHOFF

[C'était formidable.]

47.32

Nous allons rapporter ces données aux laboratoires et les étudier pendant les mois, voire même les années, à venir.

47.40 COMMENTAIRE

Une chose est sûre : la science du Soleil n'est pas un sprint, mais un marathon.

Il a fallu près de 6 mois pour confirmer la théorie de la Relativité avec les données recueillies lors de l'éclipse de 1919.

Pourtant, si notre soleil est à 150 millions de kilomètres de la Terre, il constitue le plus proche des laboratoires célestes.

48.06 JERRY GOLDSTEIN

Si nous pouvons appréhender une étoile et découvrir son fonctionnement, nous posséderons une clé pour comprendre l'univers.

On peut étudier des étoiles distantes, très éloignées dans l'espace, des petits points de lumière, et en tirer de nombreuses informations.

Les astronomes font d'ailleurs un travail merveilleux.

Mais il est extrêmement précieux de pouvoir observer de très près cette étoile extraordinaire.

48.33 COMMENTAIRE

C'est la raison pour laquelle les agences spatiales mettent l'accent sur l'étude du Soleil. La NASA a lancé l'Observatoire de la Dynamique Solaire.

Et en 2018, une mission s'installera en orbite 7 fois plus près du Soleil qu'on ne l'a jamais fait, tout près de la couronne.

49.00 MADHULIKA GUHATHAKURTA

Il faut envoyer des sondes pour toucher, sentir et goûter le Soleil.

C'est ce que feront les capteurs de la sonde solaire. Ils vont mesurer les particules, leur vitesse, leur densité, leur champ magnétique, etc.

49.18

C'est une perspective très enthousiasmante.

49.21 COMMENTAIRE

Les nouvelles technologies nous permettront peut-être un jour de déchiffrer les énigmes du Soleil. Mais une éclipse totale de soleil est et restera toujours une expérience unique.

FIN