

Les Savanturiers

n°5

En mission avec les scientifiques du CEA

Sommaire :



Comprendre

Les séismes

Pages 2-3



Stations d'observation

Du signal à l'alerte

Pages 4-5



Interviews

3 chercheurs racontent

Pages 6-7



Jeu

Séisme au Japon !

Page 8

Édito :

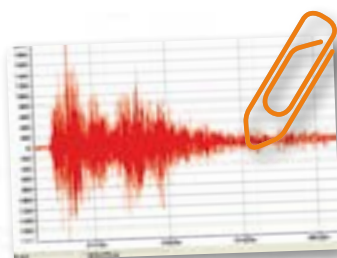
Surveiller en permanence la sismicité du globe pour alerter la sécurité civile ; évaluer les risques ; modéliser et tester le comportement des bâtiments et installations industrielles lors d'un séisme...

Si le CEA s'intéresse de près à ces événements c'est qu'il s'est vu confier dès les années 1980, par les pouvoirs publics, l'alerte aux forts séismes pour la France métropolitaine.

Le Département analyse, surveillance, environnement (Dase) du CEA est aujourd'hui la seule entité française assurant cette mission d'alerte.

Quand la Terre tremble...

La Terre est en permanence soumise à des mouvements sismiques. On ne peut pas prévoir les séismes, mais on peut être à l'écoute des signaux pour agir le plus rapidement possible et limiter au maximum les dégâts humains et matériels. Des concepteurs de capteurs, des installateurs, des analystes forment une équipe et unissent leurs connaissances pour mener cette mission à bien.



Sismogramme enregistré lors du séisme de Sumatra.

© D.R.



Installation de panneaux solaires sur la station de Nouvelle-Calédonie.

© D.R.

Un peu d'histoire...

En 1915, Alfred Wegener publie sa théorie de la dérive des continents, construite à partir d'observations topographiques, géologiques et paléontologiques : c'est la fracturation d'un continent unique, la Pangée, il y a 250 millions d'années, qui serait à l'origine des 5 continents. Mais il ne savait pas comment expliquer le moteur de leurs déplacements. Ce n'est qu'en 1967 que de nouvelles observations et études complètent cette théorie pour donner naissance à la tectonique des plaques, qui est la théorie du mouvement des plaques.

Comprendre :

Qu'est-ce qu'un séisme ?

Glissement

C'est lorsque deux plaques glissent horizontalement, l'une à côté et le long de l'autre. Il se situe le long des grandes failles transformantes.

Lieux : Faille de San Andreas, faille nord-Anatolienne.

Divergence

C'est lorsque deux plaques s'éloignent l'une de l'autre, laissant le manteau remonter entre elles. Siège d'un volcanisme intense, essentiellement sous-marin, elle forme les dorsales océaniques.

Lieux : Dorsale océanique, Rift est-africain.

Collision

Lieu de confrontation de deux plaques, qui se chevauchent et se soulèvent, à l'origine de la formation des montagnes.

Subduction

Là où une plaque océanique plonge sous une autre moins dense, entraînant du volcanisme, et éventuellement la création d'arcs insulaires volcaniques.

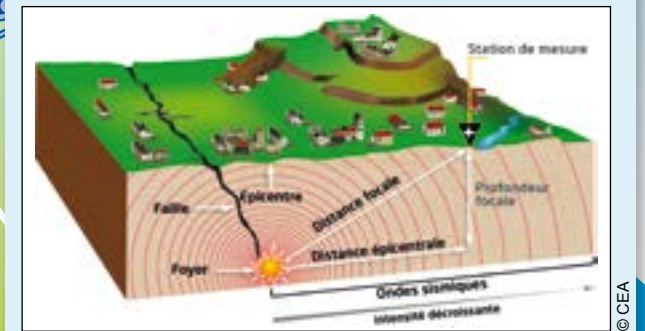
Moteur de la tectonique des plaques : la convection

Au centre de la Terre, la chaleur résiduelle venant principalement de la formation de la planète et de la désintégration primitive des éléments radioactifs s'évacue vers l'extérieur. Cette évacuation de chaleur génère un mouvement de roulement à l'intérieur du manteau solide, appelé *convection*. C'est lui qui est responsable de la tectonique des plaques.

La croûte terrestre est composée de plaques épaisses de 10 à 100 km environ. Elles se déplacent extrêmement lentement, en se frottant les unes aux autres. Les forces induites par ces mouvements produisent l'accumulation de tensions dans la roche ; jusqu'à ce que cette dernière cède au niveau des failles sismiques : c'est le séisme.

Intensité

L'intensité décrit les effets dus à un séisme, sur une échelle de I à XII (échelle MSK). Elle dépend de multiples facteurs propres au séisme et au site.



Les séismes les plus marquants

- Fukushima 2011 : 350 km de faille – 40 à 60 mètres de déplacement horizontal
- Sumatra 2004 : 1 200 km de faille – 15 mètres de déplacement vertical
- Chine 1976 : le plus meurtrier de magnitude 7,5 – 250 000 victimes
- Chili 1960 : magnitude 9,5 la plus forte enregistrée à ce jour

Lexique :

Foyer : En géologie, c'est le point situé sous la surface de la Terre où le séisme prend naissance.

Manteau : Couche de la Terre située au-dessous de la croûte terrestre, composée de roches solides et allant jusqu'à 2 900 km de profondeur.

Volcanisme aux frontières des plaques : et de points chauds

La plupart des séismes et des volcans se produisent le long des plaques tectoniques. Une petite partie de la roche du **manteau** entre en fusion, est expulsée, et crée les cratères. Comme le mouvement des plaques est continu, cela forme souvent des arcs insulaires volcaniques comme les îles Kouriles (Russie) et Aléoutiennes (Alaska).

Certains volcans apparaissent pourtant au milieu des plaques ; ils sont appelés « points chauds », comme les îles Hawaï (Océan Pacifique) et La Réunion (département d'Outremer dans l'Océan Indien).

Tremblements de terre et ondes

Les contraintes accumulées entre les plaques tectoniques sont telles qu'au moment du séisme, la roche se rompt, en générant des vibrations élastiques appelées ondes sismiques. Partant du **foyer**, elles se propagent dans toutes les directions, leurs effets s'atténuant avec la distance.

Il existe plusieurs types d'ondes :

- Les ondes P (primaires), de compression. Ce sont les plus rapides (6 km/s dans la croûte). Elles se propagent en dilatant et comprimant le sol.
- Les ondes S (secondaires) de cisaillement. Elles sont plus lentes. Les roches sont cisillées et travaillent en distorsion, entraînant des vibrations perpendiculaires à la propagation des ondes S.
- Les ondes L (Love) ou ondes R (Rayleigh) ébranlent les roches en surface et sont donc très destructrices.

En savoir +

- Des expositions et musées à visiter :
- *Grand récit de l'Univers* à la Cité des Sciences de Paris.
<http://www.cite-sciences.fr>
- Musée de sismologie et de magnétisme terrestre - Jardins de l'Université à Strasbourg.
<http://www.musee-sismologie.unistra.fr/>
- Une animation à visionner :
- <http://www.cea.fr/jeunes/mediatheque/animations-flash/l-univers/la-terre-specialiste-du-recyclage>

Des stations pour écouter la Terre

Les séismes, les vagues, le vent, les éruptions volcaniques, les tirs de carrières, les trains, les explosions... provoquent des ondes sismiques. Ces signaux sont d'amplitudes et de fréquences différentes, en fonction de l'énergie de l'événement, de sa distance et de sa nature, des milieux géologiques traversés. Depuis les années 1960, le CEA conçoit et développe des moyens et techniques de pointe pour les détecter et les mesurer en temps réel.

Les plus belles stations du CEA



Quelques unes des stations parmi la quarantaine exploitées en France, et des stations à l'étranger. 1 et 5 - Bolivie ; 2 - Népal ; 3 - France (Alpes) ; 4 - Iles Crozet ; 6 - Madagascar.

© D.R.

Aléa sismique

L'aléa sismique détermine, pour une zone donnée, la probabilité qu'un mouvement sismique se produise, ainsi que ses caractéristiques. Elle dépend de nombreux facteurs que les chercheurs exploitent dans leurs modèles de prévision probabiliste, alimentés par toutes les données accumulées : les séismes enregistrés depuis 1920 ou décrits dans des archives et témoignages depuis l'Antiquité, les traces géologiques, l'étude des reliefs... Cela permet de dessiner une carte des aléas, référence pour l'aménagement du territoire.

En savoir +

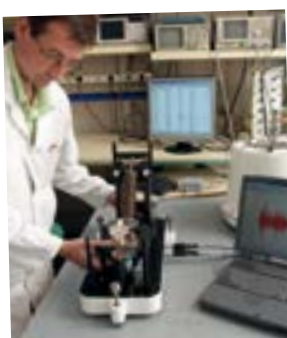
- Une animation à visionner : <http://www.cea.fr/jeunes/mediatheque/animations-flash/a-la-loupe/le-sismometre/>
- Consultez le second site d'information sismologique mondial www.emsc-csem.org

Des capteurs pour détecter les séismes

Partout dans le monde, des stations sismiques détectent et mesurent les séismes. Elles sont équipées de capteurs dits :

- « **courte période** » utilisés pour étudier la sismicité proche et régionale et les ondes de volume (P et S).
- « **longue période** » pour l'étude des ondes de surface (L et R) et de volumes (P et S) de forts séismes.

Ils mesurent le mouvement du sol dans trois dimensions : une verticale et deux horizontales (Nord-Sud et Est-Ouest), le caractérisent par son déplacement, sa vitesse ou son accélération.



© C. Dupont/CEA

Lexique :

CSEM : Centre sismologique euro-méditerranéen hébergé dans les locaux du CEA dans l'Essonne.
Epicentre : Projection du foyer à la surface.
Magnitude : Elle mesure l'énergie élastique libérée par le séisme, sur l'échelle dite de Richter, du nom d'un de ses inventeurs. C'est une échelle logarithmique : un séisme de magnitude 6 a des ondes d'amplitude 10 fois plus grande que pour une magnitude 5, et libère environ 30 fois plus d'énergie.

Surveillance des forts séismes et alerte des autorités civiles

Aujourd'hui, le Département analyse, surveillance, environnement (Dase) est le seul organisme assurant l'alerte aux forts séismes sur le territoire français. Sa mission consiste à suivre l'activité sismique 24h/24 et 7j/7, via l'analyse des enregistrements d'une quarantaine de stations installées sur le territoire métropolitain, transmis par satellite. Pour chaque événement, les sismologues déterminent exactement la position géographique de son **épocentre**, calculent sa **magnitude** et déterminent sa nature : mouvement naturel de l'écorce terrestre, ou bien provoqué par l'homme (essai nucléaire, travaux dans une mine, tirs de carrière...).

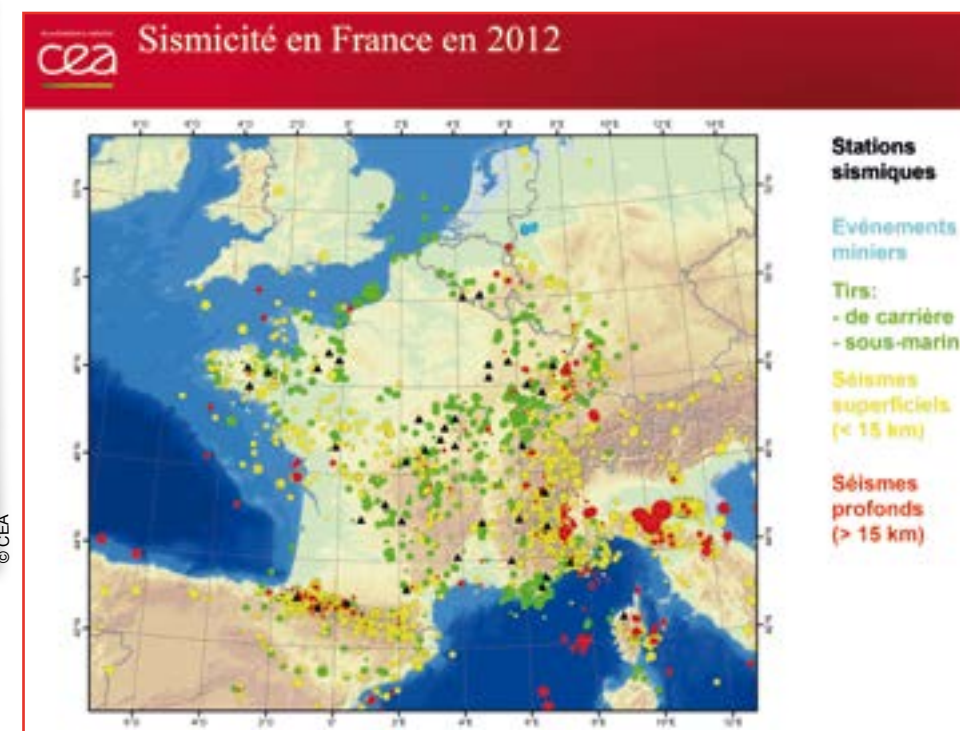
1 Alerte au fort séisme en France



2 En région euro-méditerranéenne

Pour la région euro-méditerranéenne, les données de nombreux organismes européens

sont centralisées au **CSEM**. En cas de séisme de magnitude supérieure à 5, le sismologue d'astreinte alerte les instituts membres.



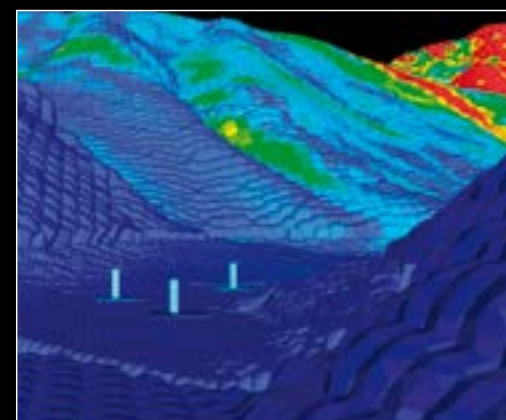
En cas d'événement significatif, à partir d'une magnitude de 4 et donc susceptible d'être ressenti par la population, les sismologues informent la sécurité civile (dépendant du ministère de l'Intérieur) en moins d'une heure. Ces événements, entre 20 et 40 suivant les années, font l'objet d'un bulletin d'alerte. Tous viennent enrichir la base de données sismologiques du CEA, qui contient plus de 160 000 événements et en enregistre 3 000 nouveaux par an, toutes magnitudes confondues.

3 Au service des industriels et opérateurs

L'expertise du CEA est également mise au service d'industriels et opérateurs nationaux. Par exemple, depuis 2001, un système d'alerte

équipe 240 km de la ligne TGV Méditerranée pour que la SNCF puisse arrêter ou ralentir le trafic en cas de séisme. Plus récemment, des alertes sismiques sont diffusées auprès des opérateurs de barrages ou de sites industriels : EDF, Total ou des compagnies hydroélectriques régionales.

Simulation de la propagation des ondes et impact sur des bâtiments



La simulation numérique permet d'étudier les phénomènes sismiques et la résistance des bâtiments. Toutes les étapes sont reproduites : rupture de la faille, propagation des ondes dans le sol, transfert du sol à la structure et déformation des bâtiments.

Des stations sismiques pour détecter les essais nucléaires

Le Tice (Traité d'interdiction complète des essais nucléaires), proposé par l'ONU en 1996, interdit tout essai nucléaire. Même si tous les pays ne l'ont pas encore signé, il existe un système de surveillance international, basé sur un réseau de plus de 300 stations de détection, parmi lesquelles figurent les stations sismiques.

Fort d'une expérience de plus de 50 ans dans le domaine de la surveillance et l'analyse sismique, le CEA a en charge l'installation et l'exploitation des stations françaises du Tice et la surveillance, pour la France, du respect du traité.

Interviews

Une équipe aux multiples compétences travaille de concert pour détecter, enregistrer et analyser les ondes sismiques. Du terrain au laboratoire, ils ont des profils complémentaires.

Guillaume Concepteur de capteurs

« J'interagis autant avec les installateurs qu'avec les personnes traitant les signaux. »

Les Savanturiers : En quoi consiste votre travail ?

Guillaume : Ingénieur R&D en instrumentation géophysique, je travaille sur les capteurs sismiques et infrasons. Une station sismique peut contenir un ou plusieurs capteurs associés : certains détectent les vibrations verticales du sol, d'autres les mouvements horizontaux nord et est. Je fais des maquettes et prototypes de capteurs et suis parfois amené à les tester sur le terrain. Je dois aussi les étalonner. C'est intéressant de suivre un projet dans sa totalité : de l'idée en amont jusqu'au montage du capteur opérationnel en station. Une fois les capteurs en marche, il faut faire l'expertise des problèmes soulevés par les analystes. J'interagis donc autant avec les installateurs qu'avec les personnes traitant les signaux.

Quelles sont les principales difficultés que vous rencontrez ?

Le « bruit de fond » est une des principales contraintes à prendre en compte. Il y a le bruit de fond intrinsèque de l'appareil, dû à son fonctionnement électrique et électronique, que l'on essaie de minimiser lors de la conception ; et le bruit de fond de l'environnement (houle océanique, activités humaines...) que l'on doit reconnaître et distinguer des signaux sismiques d'intérêt (tremblements de terre...). Un capteur doit fonctionner 24h/24, 7j/7 et dans toutes les conditions météorologiques imaginables. L'environnement le plus problématique est un air chaud et humide. Il faut donc concevoir des cloches étanches et/ou sous vide pour garantir son fonctionnement et prolonger sa durée de vie. Ainsi, certains capteurs sous vide sont stables depuis 15 ans. Il peut cependant arriver que des

problèmes de corrosion sur les capteurs soient à l'origine de pannes de station.

Est-ce vous qui réalisez les appareils ?

Les capteurs sont en général développés et améliorés par notre équipe. Je peux par exemple réaliser des capteurs qui répondent à des spécificités ponctuelles ou être à l'initiative d'améliorations et d'adaptations. Nous réalisons aussi une veille technologique sur les appareils proposés dans le commerce.

Formation :

- Bac S
- Classe préparatoire aux Grandes Ecoles
- Ingénieur de l'École centrale de Nantes
- Master 2 recherche
- Doctorat en acoustique



© C. Dupont/CEA



© C. Dupont/CEA

Pascal Analyste et géophysicien

« En 2012, il y a eu 31 alertes en métropole, principalement dans les Pyrénées et les Alpes. »

Les Savanturiers : Que faites-vous des signaux reçus en direct des stations ?

Pascal : Des systèmes automatiques traitent tous les signaux transmis depuis les stations de surveillance. Lorsque des événements sont détectés, ils sont étudiés par les analystes qui les localisent et les caractérisent. En cas de séisme de magnitude supérieure à 4 se produisant en France, il nous faut alerter la sécurité civile. Tous les séismes peuvent être ressentis par la population ; parfois, ce sont les habitants qui nous contactent, via la préfecture, pour savoir si un séisme a eu lieu. Par exemple, dans le sud de la France, on a su identifier un effondrement de galerie qui inquiétait la population. Nous sommes les seuls à assurer ce rôle opérationnel vis-à-vis des autorités.

Êtes-vous toujours à l'écoute ?

À tour de rôle, tous les analystes sont d'as-

treinte à domicile, 24h/24 et 365 jours par an. En cas d'événement, on se connecte au laboratoire via internet pour accéder aux signaux et déterminer s'il faut donner l'alerte ou pas. En 2012, il y a eu 31 alertes en métropole, principalement dans les Pyrénées et les Alpes. Les capteurs français détectent tous les événements, même lointains. Ainsi, nous avons vu passer les séismes de Sumatra en 2004 et celui du Japon en 2011.

Ces analyses vous servent-elles aussi pour la recherche ?

Parfois, je suis un projet d'un bout à l'autre : de l'accompagnement sur place pour le choix de l'implantation de capteurs, l'installation de la station et l'analyse des premières données. Dans un second temps, je recueille tous les signaux pour une analyse poussée, dans un but de recherche. Par exemple, j'ai étudié la vitesse de pro-

pagation des ondes et leur atténuation, ce qui permet de mieux comprendre la Terre du point de vue géophysique.

Votre travail a-t-il une dimension internationale ?

Plus de 10 000 stations sont implantées dans le monde. Les données recueillies enrichissent une base informatique accessible à tous. Il y a beaucoup d'échanges à l'international, au travers de séminaires, colloques, formations, accueil de chercheurs étrangers...

Formation :

- Bac S
- DEA astrophysique, géophysique et techniques spatiales
- Thèse en sismologie
- Doctorat en géophysique

Sylvain Installateur de capteurs

« Cela m'amène à partir 2 fois par an en mission Outremer ! »



© C. Dupont/CEA

Les Savanturiers : Où installez-vous des capteurs ?

Sylvain : Nous nous rapprochons des administrations locales pour implanter une station, ou des particuliers quand nous n'avons pas d'autre choix. Je suis responsable de celles situées en Martinique, Guadeloupe et Nouvelle-Calédonie, composées de capteurs sismiques (qui détectent les vibrations de la Terre) ou infrasons (qui mesurent les variations de pression atmosphérique). Je suis chargé de leur installation, puis de leur maintenance à distance durant l'année, et au moins une fois par an sur place. Des opérateurs locaux assurent le suivi et la maintenance de routine et m'en tiennent informé.

Est-ce que vous voyagez souvent ?

Cela m'amène à partir 2 fois par an en

mission ; une quinzaine de jours à chaque fois. J'effectue aussi quelques missions en France, sur 3 ou 4 jours. Ce rythme me permet de préserver ma vie de famille. J'aime ce métier, en particulier parce qu'il me permet de travailler à l'extérieur.

Pouvez-vous nous raconter une mission ?

Avant de partir en mission pour une installation, je dois commander tout le matériel, préparer les appareils et les tester complètement pour que, une fois branchés sur place, tout fonctionne ! Lorsque j'arrive sur site, c'est avec mon ordinateur portable et une caisse à outils. J'installe les capteurs, le numériseur et les moyens de transmission. 30 panneaux solaires sont nécessaires pour alimenter une station en électricité. Le fonctionnement du système photovoltaïque est vérifié tous les mois. Le système de transmission des données se fait par satellite et en temps réel.

Comment est organisé le réseau de surveillance ?

Le réseau français est composé d'une quarantaine de stations sismiques en métropole et d'autant dans le reste du monde. Nous sommes 4-5 installateurs, 2 informaticiens et 2 opérateurs en salle de conduite. Lorsque nous menons nos tests à la station, il faut tenir compte du décalage horaire : les journées commencent tôt (dès 7 heures du matin) pour pouvoir dialoguer avec eux si besoin.

Formation :

- Bac constructions mécaniques
- BTS mécanique et automatisme industriel
- Diplôme d'ingénieur au CNAM – automatisme industriel

Les news

Les nouveautés parasismiques

Du fait de sa situation géographique, le Japon est le pays le plus à la pointe sur la question du génie parasismique. La conception et l'aménagement des bâtiments sont entièrement pensés (pas d'armoire dans une chambre à coucher par exemple). Les moyens de transport sont eux aussi conçus pour éviter tout désastre : les shinkansen (trains à grande vitesse) s'arrêtent automatiquement aux moindres secousses ressenties sur les rails.

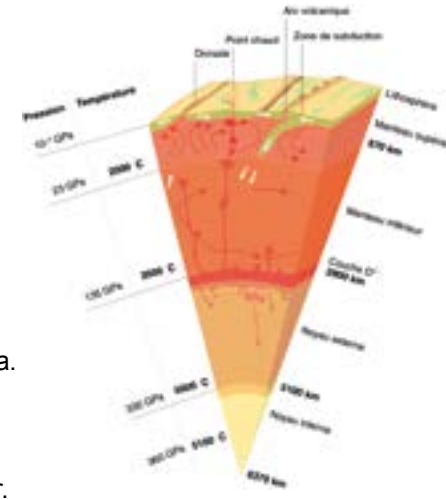
Les normes européennes de résistance des bâtiments aux séismes Eurocode 8 sont progressivement appliquées en France. Elles prennent en compte l'expérience internationale (pour l'Europe celle du Portugal, de l'Italie ou de la Grèce soumis à une forte sismicité). L'installation Tamaris étudie le comportement sismique des structures. Celles-ci, munies de multiples capteurs, sont soumises à des tests sur des tables vibrantes reproduisant des séismes. Les données recueillies, une fois analysées, alimentent les modèles et permettent d'établir des normes de construction.

La température du noyau de la Terre

Le noyau de la Terre, constitué essentiellement de fer, est en grande partie liquide puis solide en profondeur (dans la graine). A la limite noyau-graine, à 5 150 km de profondeur et à une pression de 330 Gigapascals, la température est proche de celle de fusion du fer. Mais comment l'estimer ?

Les chercheurs ont mesuré la température de fusion de minuscules grains de fer jusqu'à 4 800 °C et 220 GPa. En extrapolant et comparant avec les prédictions théoriques, la température dans le noyau a été estimée entre 3 800°C et 5 500°C suivant la profondeur.

Le flux de chaleur correspondant serait d'environ 10 térawatts, ce qui confirme les modèles géophysiques du champ magnétique terrestre et ceux de la convection.



En savoir +

- Retrouvez une équipe du Dase sur www.cea.fr/jeunes/mediatheque/videos/metiers/departement-analyse-surveillance-environnement
- Découvrez le centre d'alerte aux tsunamis sur : www.cea.fr/jeunes/mediatheque/videos/dossiers/l-alerte-aux-tsunamis

Séisme au Japon !

D'astreinte au centre d'alerte, vous venez de recevoir un signal que vous devez analyser. Pour certaines questions, plusieurs réponses sont possibles.

1 L'analyse informatique immédiate localise le séisme au large du Japon, est-ce que cela vous paraît possible ?

- Oui, le Japon est un archipel d'îles au croisement de plusieurs plaques.
- ▼ Non, cette partie de la Terre ne bouge jamais.

2 Dans ce cas, de quel mouvement de plaques doit-il s'agir ?

- ▼ Collision entre la plaque indienne et la plaque eurasienne.
- Subduction de la plaque pacifique sous la plaque eurasienne.
- ★ Coulisement entre la plaque pacifique et la plaque américaine.

3 Que devez-vous déterminer ?

- L'épicentre.
- ▼ L'intensité.
- ★ La magnitude.

4 Quelles pourraient être les autres conséquences de ce séisme ?

- Le déclenchement d'un tsunami.
- ▼ La fracture de l'île en deux parties.
- ★ L'apparition d'un nouveau volcan.

5 Si un tel événement devait arriver en France métropolitaine, à partir de quelle magnitude devriez-vous donner l'alerte ?

- 4.
- ▼ 9.
- ★ 5,3.



Séisme du 11 mars 2011.
Localisation du choc principal.

source : http://www-dase.cea.fr/actu/dossiers_scientifiques/2011-03-11

6 Combien de stations sont installées en France ?

- Une quarantaine.
- ▼ Une seule, au centre de surveillance.
- ★ Plus de 300.

7 Est-ce que tous les capteurs sont identiques ?

- Non, certains mesurent le déplacement vertical et d'autres le déplacement horizontal.
- ▼ Oui, mais ils mesurent des ondes plus ou moins fortes.
- ★ Non, certains servent à mesurer la magnitude, d'autres l'intensité.

8 Une fois analysés, où sont compilés les événements enregistrés ?

- Dans une base de données du CEA.
- ▼ Les événements qui n'ont pas donné lieu à des alertes ne sont pas gardés.
- ★ Dans un bulletin hebdomadaire.

Résultats : Vous avez une majorité de ● : Bravo ! Grâce à vos connaissances en géophysique, vous avez pu analyser rapidement ce signal. Vous avez une majorité de ★ : Restez à l'écoute et continuez à vous documenter sur le sujet : la Terre est vaste et toujours en mouvement ! Vous avez une majorité de ▼ : Vous avez plutôt la tête dans les étoiles que les pieds sur Terre...

Sites :

CEA : www.cea.fr
Dase : www-dase.cea.fr/
CSEM : www.emsc-csem.org
CEA jeunes : www.cea.fr/jeunes

Retrouvez les Savanturiers en version animée :
www.cea.fr/le_cea/publications/les_savanturiers/

Biblio :

Les séismes
Livret pédagogique et quiz
thématique édités par le CEA.



Editeur : Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, RCS Paris B 775 685 019
Directeur de la publication : Xavier Clément
Ont participé à ce numéro : Sylvain Carré, Florence Klotz, Lucia Le Clech, Guillaume Nief, Pascal Roudil.
Infographie : Antoine Levesque
Création et réalisation : NPO* - www.nepasoublier.fr - Septembre 2013

Nous remercions Fabienne Chauvière d'avoir accepté que nous lui emprunions le titre de son émission.