

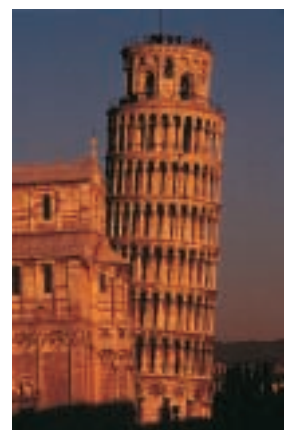


Plus de 750 tonnes de plomb ont été disposées sur la face Nord de la base de la tour. Ces poids ont enfoncé les fondations sous le mur Nord, ce qui a redressé la tour de quelques centimètres.

À l'intérieur de la tour, des instruments de surveillance détectent les petites variations d'inclinaison. En septembre 1995, en l'espace de deux jours, le sommet de la tour s'est déplacé vers le Sud de 0,24 millimètre.



Des câbles d'acier encerclent le premier étage, qui menace de s'effondrer en raison de la contrainte exercée à cet endroit. En raison de l'inclinaison de la tour, une grande partie de son poids (14 700 tonnes) repose sur la face Sud-Ouest.



Paolo HEINIGER travaille au sauvetage de la tour de Pise.

Les tremblements de terre géants du Pacifique Nord-Est

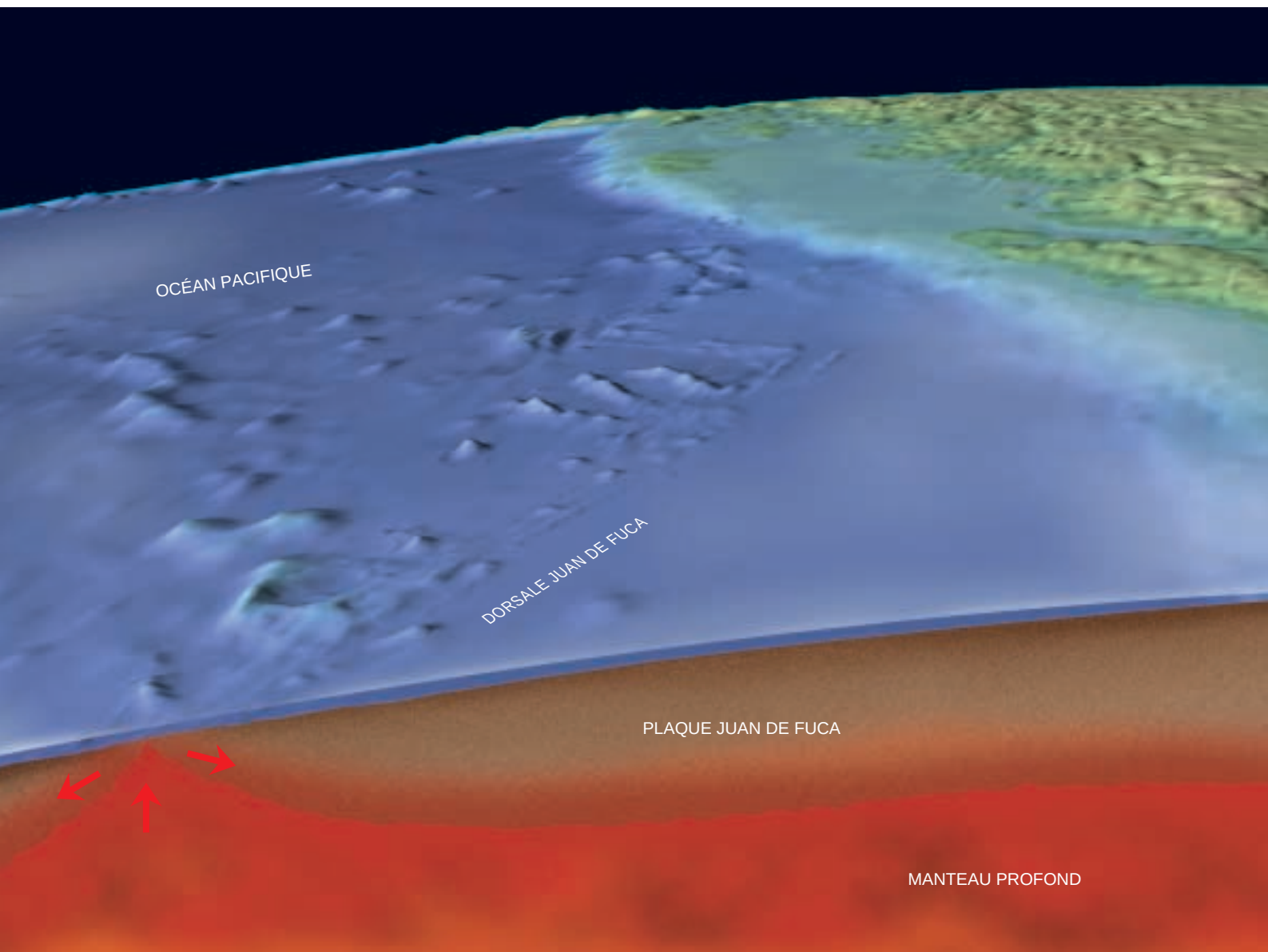
ROY HYNDMAN

La côte Ouest des États-Unis, entre la Californie et la Colombie britannique, risque d'être frappée par un séisme violent.

Chacun sait que les villes de Los Angeles et de San Francisco risquent d'être de nouveau frappées par un séisme dévastateur, et l'on se souvient qu'en 1964 l'Alaska a éprouvé l'un des plus forts séismes

jamais enregistrés sur Terre. Pourquoi la région comprise entre la Californie septentrionale et le Sud de la Colombie britannique serait-elle épargnée? Là, dans ce que l'on nomme la région des Cascades, les habitants pensaient vivre

dans une région sûre, parce qu'ils n'avaient pas souvenir d'avoir subi les fureurs du Globe : Vancouver et Seattle avaient tremblé en 1946, en 1949 et en 1965, mais les dégâts n'avaient pas été considérables.



Progressivement les idées changent. Il y a dix ans, Thomas Heaton et Garry Rogers, des services géologiques américain et canadien, prévenaient que des séismes catastrophiques pourraient frapper cette bande côtière, en apparence tranquille. On doutait naguère de leurs avertissements, mais la plupart des sceptiques ont dû admettre que de tels séismes s'étaient produits par le passé et se reproduiraient.

Dans les années 1930, Beno Gutenberg et Charles Richter ont montré que, dans les zones actives, la fréquence des tremblements de terre diminue lorsque leur taille augmente. Cette tendance s'applique même aux séismes les plus importants, qui correspondent à la rupture de la totalité du plan de faille. À l'aide de cette loi, les sismologues déterminent la fréquence des séismes dévas-

tateurs pour une région donnée, même en l'absence de tels événements connus. Les ingénieurs conçoivent ensuite les constructions et les ouvrages d'art en connaissance de cause.

Cette stratégie échoue dans quelques zones, où de grands séismes peuvent survenir sans avoir été annoncés par l'existence de petits ; comment y définir alors le risque d'occurrence des grands tremblements de terre ? C'est le cas pour la région des Cascades, où l'une des plaques tectoniques de l'océan Pacifique s'enfonce par subduction sous la côte Ouest de l'Amérique du Nord. Alors que l'activité sismique est intense à l'intérieur des terres, aucun tremblement de terre, aussi faible soit-il, n'a été détecté le long de la faille qui sépare la plaque Juan de Fuca et le continent Nord-américain.

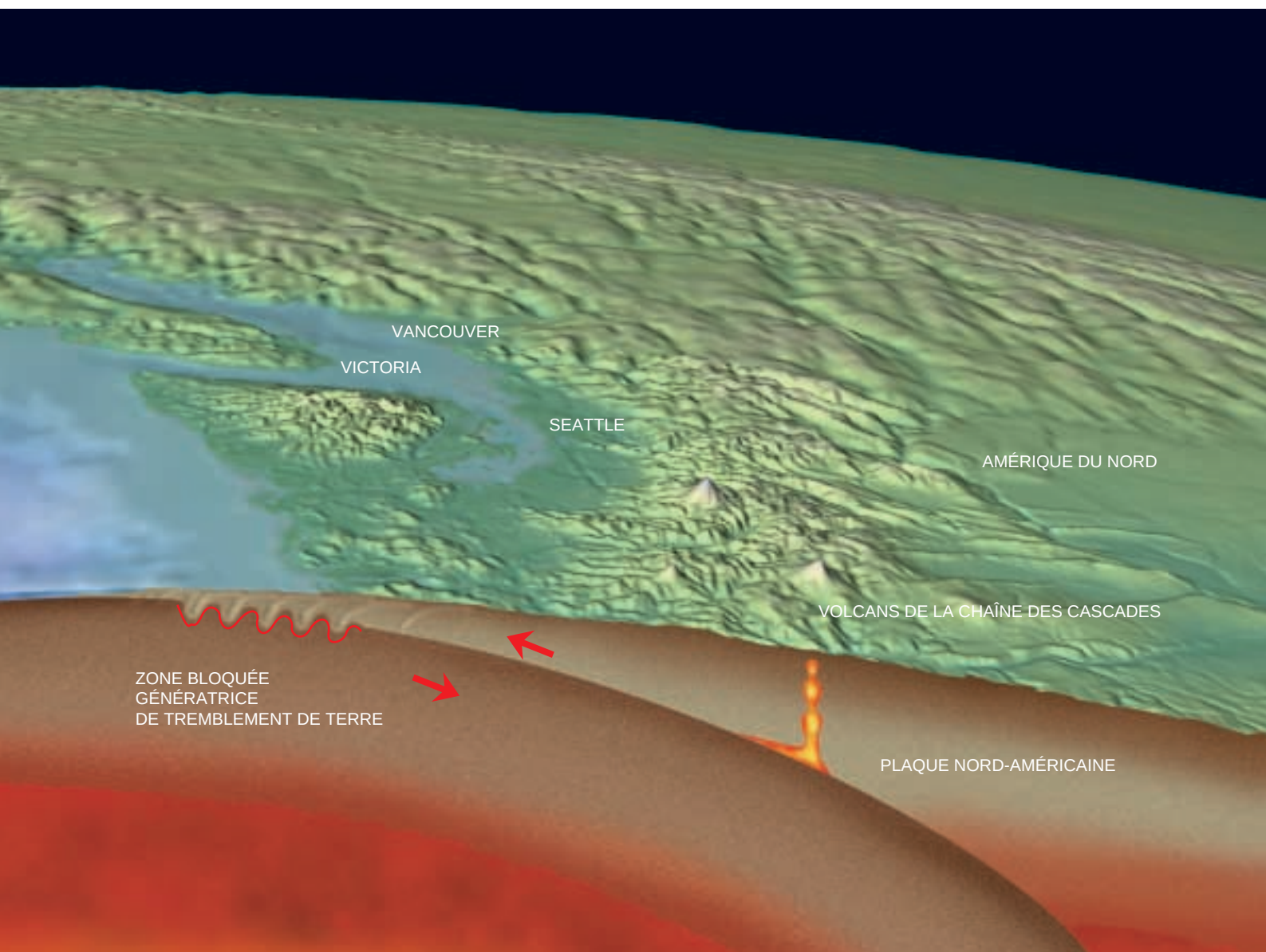
Cette absence de tremblement de terre est surprenante. Au cours de leur histoire, la plupart des zones de subduction ont été le sites de séismes géants, c'est-à-dire dont la magnitude est supérieure à huit sur l'échelle de Richter. Les foyers de ces tremblements de terre sont principalement rassemblés dans la «ceinture de feu», sur le pourtour de l'océan Pacifique, où l'on trouve de nombreux volcans en activité dans les régions de subduction de plusieurs plaques.

Une catastrophe oubliée

Les géophysiciens ont proposé plusieurs explications à l'absence de grands séismes dans cette zone de subduction. Tout d'abord, bien que la région des Cascades présente la plupart des caractéristiques d'une zone

1. LA PLAQUE TECTONIQUE qui se crée à l'Est de la dorsale Juan de Fuca se déplace vers l'Amérique (les flèches indiquent le mouvement) avant de plonger sous la côte Ouest du continent. Une partie de la

faille qui sépare les deux plaques est bloquée, ce qui provoque le bombement élastique du continent. La brusque libération de cette énergie accumulée se traduirait par un gigantesque séisme.



de subduction, certains ont supposé que le mouvement vers le Nord de la plaque Juan de Fuca s'était arrêté récemment (à l'échelle des temps géologiques). Il y a 20 ans, quand cette hypothèse est apparue, j'ai soutenu, avec Robin Riddihough, que la convergence de ces plaques et l'augmentation des contraintes sous-jacentes se poursuivaient. Depuis, de nombreux géophysiciens ont confirmé que la plaque Juan de Fuca ne s'était pas arrêtée brusquement. Des traces d'un mouvement continu existent dans les sédiments marins de la base du talus continental : alors que ces sables et ces boues se déposent en couches horizontales au fond de la mer, les couches les plus récentes sont très déformées. Le continent Nord-américain, comme une gigantesque lame de rabot, a décollé ces couches du plancher océanique, les a froissées, puis a rejeté en surface ces preuves d'une subduction continue.

L'éruption du volcan du mont Saint Helens, en 1980, dans le Sud-Ouest de

l'État de Washington, est l'une des manifestations les plus spectaculaires de cette subduction. Certains géophysiciens pensaient que les volcans de la chaîne des Cascades étaient éteints, mais cette éruption est venue leur rappeler que la région appartient toujours à la ceinture de feu du Pacifique.

Comment la plaque Juan de Fuca peut-elle s'enfoncer sans provoquer de séismes ? Certains ont proposé que la subduction soit régulière plutôt qu'une alternance de glissements et de blocages. D'autres ont imaginé un verrouillage des plaques par un frottement important : dans ce cas, il n'y aurait aucun mouvement pour engendrer le moindre séisme. Si la faille coulisse librement, la probabilité d'un séisme majeur est faible ; en revanche, si elle est bloquée les déformations résultant de la convergence des plaques provoquent une accumulation de contraintes sur les roches qui entourent la faille. Les conditions d'un tremblement de terre géant sont alors réunies.

L'absence de grands séismes au cours de l'histoire plaiderait en faveur d'un glissement régulier de la faille. Malheureusement, cette histoire est courte : nous possédons des données sur la tectonique de cette région depuis moins de deux siècles. En revanche, au Japon, des archives qui remontent au VII^e siècle de notre ère décrivent de nombreux séismes de zone de subduction, ainsi que les raz de marée associés, ou tsunamis.

Le dernier tremblement de terre

Pour étudier les époques antérieures à l'arrivée en Amérique de Juan Perez et de James Cook, les géophysiciens ont essayé de retrouver les traces géologiques des tremblements de terre. Des indices existent dans des baies abritées où des marais salants se forment entre la marée haute et la marée basse. Brian Atwater, du Service géologique américain, a d'abord décou-



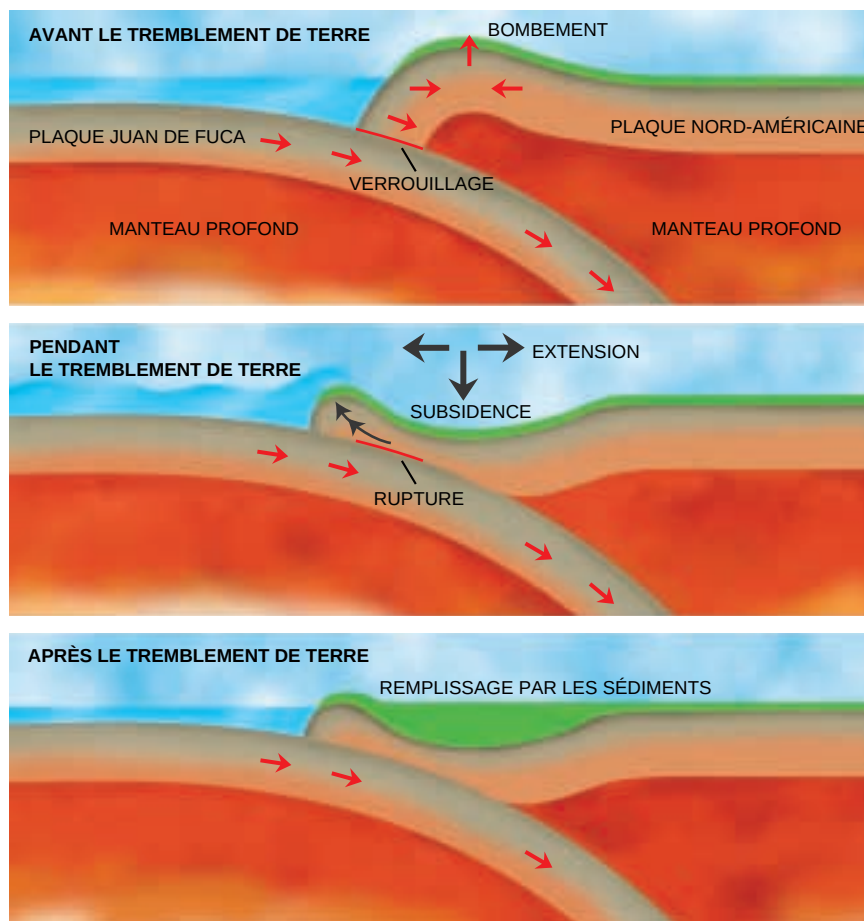
2. L'ALASKA a été complètement dévasté par un tremblement de terre géant en 1964. La plus grande partie d'Anchorage (en haut à droite) ainsi que la côte de la péninsule de Seward (ci-dessus) ont été ravagées par le mouvement du sol. Sur la côte Sud de l'Alaska, de nombreux arbres morts (en bas à droite) sont des séquelles encore visibles de la catastrophe. Lorsque le sol s'est enfoncé l'eau salée a noyé leur racines.



vert que plusieurs couches espacées de un mètre environ contiennent des tourbes constituées des restes d'une végétation identique à celle qui vit aujourd'hui dans la zone intertidale. Il en a déduit que chaque couche de tourbe était un ancien marais, enfoui lors de l'affaissement du sol après la brusque relaxation des contraintes, lors d'un séisme important. Cette déduction est corroborée par la présence de sable au-dessus de la plupart des dépôts de tourbe : ce sable a sans doute été apporté par les gigantesques raz de marée qui ont balayé la côte affaissée. Les modèles théoriques de tsunamis, ainsi que les observations géologiques des modifications du littoral, indiquent que ces vagues atteignaient dix mètres de hauteur, voire plus dans certaines baies abritées.

Après le passage du raz de marée, la boue a progressivement envahi la zone affaissée, et la végétation est réapparu. Ainsi, l'alternance des couches de tourbe, de sable et de boues indique que la terre a violemment tremblé dans cette région par le passé. Quand ces séismes ont-ils eu lieu ? L'âge des couches de tourbe aurait été difficile à déterminer si des sapins, noyés par la mer après la subsidence brutale de la côte, n'y avaient été retrouvés. La dendrochronologie (l'examen des anneaux de croissance) et les datations au carbone 14 de ces arbres ont montré qu'ils avaient péri lors du dernier grand tremblement de terre qui a frappé la région, il y a 300 ans. Auparavant, des catastrophes similaires se sont produites à des intervalles irréguliers d'environ 500 ans.

L'étude de sédiments déposés loin de la côte, sur le fond des océans, confirme ces résultats. Des océanographes de l'Université de l'Oregon, qui ont prélevé des carottes de sédiments au large de l'Oregon, ont observé des alternances de boues fines et de couches sablonneuses. Les couches de boues sont caractéristiques de la sédimentation au fond de la mer : elles résultent d'une pluie lente et continue de sédiments qui proviennent de l'océan. En revanche, les sédiments sablonneux sont inattendus loin des côtes. Ils s'expliquent par de gigantesques glissements de terrain sous-marins provoqués par les grands séismes : les sédiments côtiers auraient glissé le long du talus continental jusqu'aux fonds océaniques.



3. LA PLAQUE OCÉANIQUE pousse le bord de la plaque Nord-américaine vers le bas en la bombant (en haut). Après un tremblement de terre, le coulisement de la faille relâche les contraintes, et le continent s'aplanit (au milieu). Les sédiments remplissent alors la subsidence côtière.

Ces événements sont difficiles à dater à partir des sédiments, mais un dépôt trouvé à la base de certaines carottes donne de précieuses indications. Cette couche contient des cendres volcaniques émises lors d'une éruption du mont Mazama (le «Crater Lake» actuel). Cette éruption, similaire à la récente explosion du mont Saint Helens, s'est produite voici 7 700 ans. En supposant constante la vitesse de sédimentation de la boue sur les fonds océaniques, on retrouve la chronologie révélée par la tourbe : le séisme le plus récent date de 300 ans, et les 12 glissements de terrain sous-marins précédents ont été séparés de 300 à 900 ans.

La date du dernier séisme a même été déterminée avec précision. Bien qu'ils s'atténuent en se propageant, les raz de marée résultant des principaux séismes des Cascades devaient être assez puissants pour être ressentis jusqu'au Japon, après avoir traversé l'océan Pacifique. Kenji Satake et ses collègues du Service géologique japonais ont trouvé, dans les archives de

leur pays, des mentions d'une vague de deux mètres de hauteur qui déferla sur la côte de Honshu voici 300 ans. Après avoir déterminé le temps de propagation de la vague vers le Japon, ils ont conclu que le tremblement de terre s'était produit, le long de la côte Nord-américaine, le 26 janvier 1700 vers 21 heures.

Ce résultat recoupe les témoignages oraux d'une catastrophe rapportés par les premiers habitants de Colombie britannique. Les archives provinciales, à Victoria, mentionnent que les Indiens faisaient état d'un tremblement de terre qui frappa la baie Pachena, sur la côte Ouest de l'île de Vancouver, une nuit d'hiver ; au matin, le village situé sur le promontoire de la baie avait disparu. Une histoire semblable se racontait dans la partie la plus septentrionale de la Californie. Ainsi, la tradition orale indienne, les écrits japonais et les dépôts sédimentaires attestent tous qu'un séisme catastrophique a frappé la côte de la région des Cascades.

Le cycle des catastrophes

Les séismes des zones de subduction obéissent à la théorie du rebond élastique, mise au point après l'étude de la célèbre faille de San Andreas, en Californie : le mouvement relatif de deux plaques comprime et déforme progressivement la croûte. C'est une

erreur de croire que la Terre est indéformable : la croûte se déforme de manière presque élastique et, quand la déformation n'est pas excessive, elle se comporte comme une gigantesque balle de caoutchouc. Cependant, lorsque les contraintes tectoniques deviennent supérieures aux forces de frottement le long de la faille, cette

dernière coulisse brusquement, libérant l'énergie élastique accumulée pendant des années, sous la forme d'ondes qui secouent le sol. La faille se bloque alors de nouveau, et le cycle d'accumulation des contraintes et de relaxation recommence.

Le long de la zone de subduction des Cascades, la plaque Juan de Fuca

Les antécédents historiques

Pour les Indiens Yurok, qui occupaient la côte des Cascades, les tremblements de terre étaient des dieux. Le texte, enregistré par l'ethnologue A. Kroeber, décrit ce que furent peut-être les tremblements de terre les plus récents.

Et de là [le Tremblement de terre et l'Orage] allèrent vers le Sud [...]. Ils vinrent d'abord au Sud et noyèrent le sol [...]. De temps en temps, il y avait un tremblement de terre, puis un autre et un autre [...] et puis l'eau envahit ces lieux [affaissés] [...]. «C'est ce dont profiteront les êtres humains», disait le Tremblement de terre. «Il n'y aurait pas de nourriture pour eux s'il n'y avait pas de place pour que les créatures [de la mer] puissent vivre. C'est ici qu'ils obtiendront leur subsistance lorsque cette prairie sera devenue une mer, cela prolonge la prairie : il y aura un océan.»[...] «Oui, cela est la vérité. C'est la vérité. C'est ainsi qu'ils vivront», dit l'Orage. «Maintenant en route vers le Nord.» Alors ils allèrent vers le Nord ensemble et firent de même : le sol s'enfonça. La terre trembla, trembla et trembla encore. Et l'eau recouvrit tout.

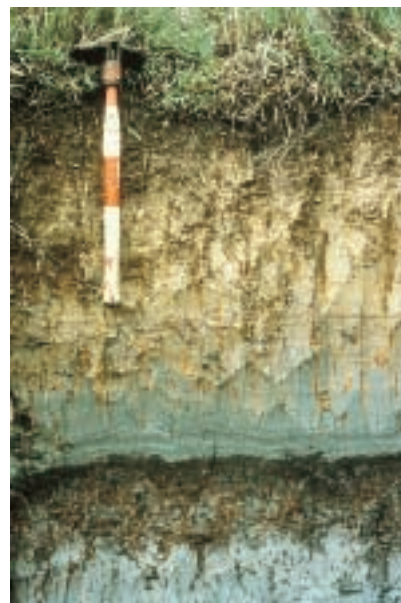


LES RAZ DE MARÉE provoqués par les grands tremblements de terre dans l'Ouest de l'Amérique du Nord sont assez puissants pour traverser l'océan Pacifique et frapper les côtes du Japon. La vague qui déferla sur l'île de Honshu en janvier 1700 provenait probablement de cette région.

LES COUCHES DE TOURBE (en brun sur la photographie de droite) qui reposent sous les dépôts côtiers attestent d'un tremblement de terre. De tels dépôts se forment quand la surface s'enfonse brusquement et qu'un ras de marée déferle dans la région affaissée, enfouissant la végétation dans le sable. De la boue comble ensuite le reste de la dépression avant que la végétation ne réapparaisse sur la nouvelle surface. Une série de couches de tourbe est empilée dessous.



LES NOOTKA de l'île de Vancouver et les autres tribus amérindiennes de la région subissaient des raz de marée.



se déplace vers l'Amérique du Nord à raison de quatre centimètres par an. Ce mouvement semble faible, mais, cumulé sur les 500 années qui séparent, en moyenne, les grands séismes, il représente un raccourcissement de 20 mètres environ. Ce déplacement est absorbé par la compression élastique d'une zone de plusieurs centaines de kilomètres de large. En outre, les contraintes déforment verticalement le sol. Lors de la plongée de la plaque de subduction sous la côte, l'enfouissement de la pointe extrême du continent repousse vers le haut une partie de la plaque Nord-américaine. Ces déformations ressemblent à celles d'une longue planche qui dépasse du bord d'une table : lorsque l'on appuie sur l'extrémité libre de la planche, une bosse se forme en arrière. Lors des grands séismes, la plaque continentale glisse brusquement vers l'océan, et la bosse disparaît. La montée rapide du plateau continental provoque un raz de marée, alors que la relaxation du continent, derrière son bord océanique, provoque l'enfouissement des marais côtiers.

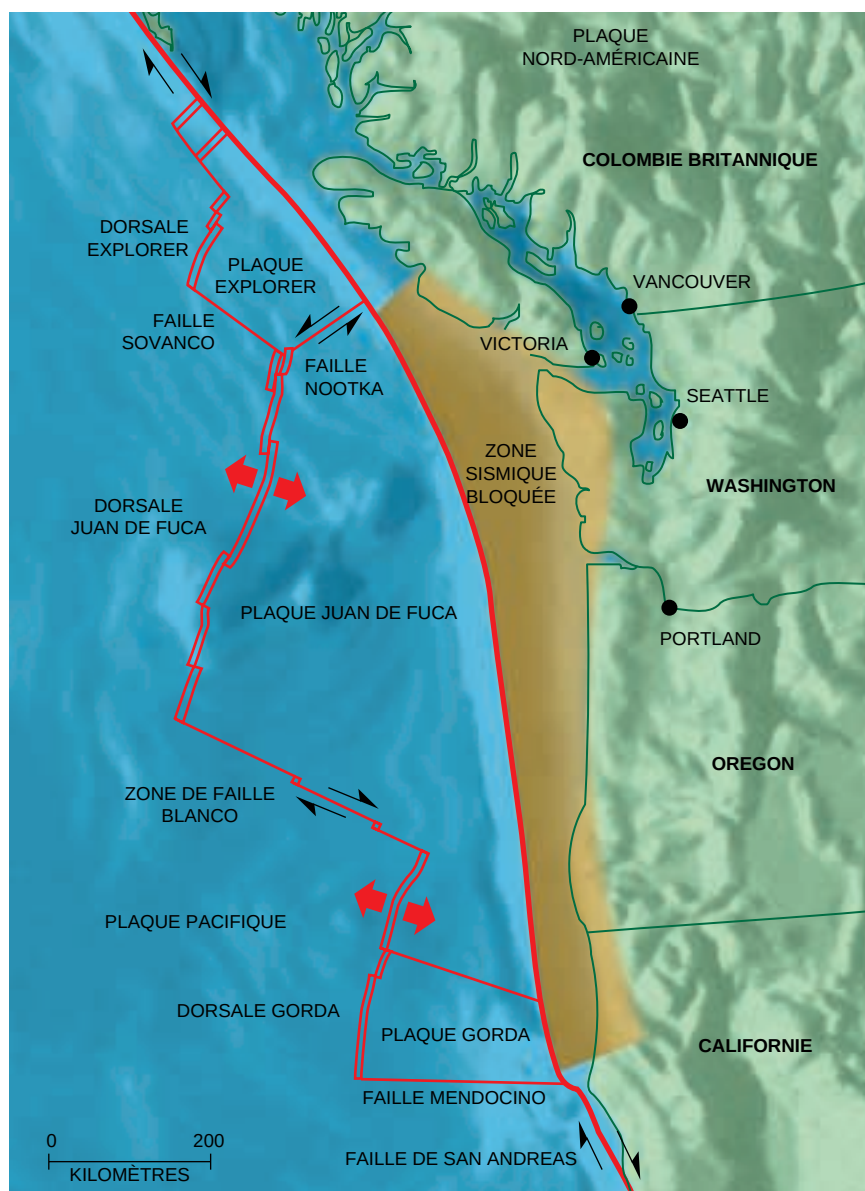
La détermination de la zone bloquée est importante, car elle indiquera le type de dégâts qui seraient engendrés lors du prochain séisme : cette zone est celle qui libère l'énergie sismique. Connaissant la limite de cette zone côté continent, on estimera les éventuels effets destructeurs sur les grandes concentrations de population ; connaissant la limite océanique de cette zone, on déterminera les zones de formation des raz de marée ; enfin, la largeur totale de la source caractérisera la taille maximale des séismes possibles.

Les géophysiciens savent déterminer l'extension de la zone bloquée à partir des déformations de la croûte : si la zone bloquée est étroite, s'étendant à faible distance sous la plaque continentale, la zone de déformation élastique sera limitée, ainsi que l'énergie qui y sera stockée ; en revanche, si la zone bloquée s'étend loin en profondeur, la déformation élastique touchera une grande étendue de terre continentale. Les études de terrain permettent donc de mieux cartographier le risque sismique. Les taux de déformation sont faibles (quelques millimètres par an), mais accessibles aux moyens de mesure modernes.

La surveillance des déformations

La répétition de différentes observations montre les déformations actuelles de la zone de subduction. Les géophysiciens estiment le raccourcissement horizontal de la région côtière en mesurant, par télémétrie laser, la distance entre des témoins fixés sur les sommets des montagnes. Avec cette technique, James Savage et ses collègues du Service géologique américain montrèrent, en 1981, que la croûte rétrécissait près de Seattle, perpendiculairement à la côte. Ils conclurent à une accumulation de contraintes qui devrait aboutir à un grand séisme.

Plusieurs techniques de mesures sont suffisamment sensibles pour détecter les infimes mouvements verticaux de cette région. Le nivellement est classiquement utilisé par les géomètres : pour mesurer la différence d'altitude entre deux points, on repère les marques sur des niveaux cibles, en visant suivant l'horizontale ; en combinant les résultats de plusieurs mesures, on détermine les altitudes des points d'un maillage étendu. Des relevés successifs séparés par plusieurs années montrent le soulèvement ou la subsidence relative des points de ce maillage. Le Service géodésique du Canada a effectué plusieurs relevés topographiques de très grande précision pour étudier l'élé-



4. LES PLAQUES CONVERGENTES sont bloquées sous la côte, sur une certaine partie de la faille. La zone bloquée est limitée, à l'Ouest, par les sédiments océaniques argileux qui lubrifient la faille ; à l'Est, elle s'évanouit progressivement, parce que les roches s'échauffent en s'enfonçant, permettant à la faille de glisser librement.

vation du sol résultant des séismes : ils ont notamment étudié l'île de Vancouver qui mesure environ 100 kilomètres de côté, à raison d'un point tous les 100 mètres ; l'erreur verticale sur l'ensemble du réseau ne dépasse pas le centimètre.

Une autre méthode utilise les marégraphes qui donnent la hauteur des marées par rapport à la côte. Initialement, ces instruments étaient utilisés pour étudier l'océan, mais, grâce à des enregistrements continus depuis plus de 20 ans, il est possible d'utiliser le niveau moyen de la mer comme niveau de référence pour suivre les minuscules déplacements verticaux des terres. Les mesures ne donnent pas directement ces déplacements : on doit les traiter afin d'éliminer les effets des marées et des autres phénomènes océaniques, tels les courants d'El Niño, qui peuvent durer des années, ceux de l'augmentation globale du niveau de la mer (environ deux millimètres par an) et du rebond postglaciaire, dû à la remontée continue de la croûte, que les glaciers maintenaient enfoncée lors de la dernière époque glaciaire.

La mesure du champ de gravité, qui varie comme le carré de la distance au centre de la Terre, est une troisième

manière de détecter les mouvements verticaux de la croûte. Bien que nous ne ressentions pas les faibles variations de notre propre poids quand nous changeons d'altitude, des appareils sensibles détectent les variations de l'intensité de la pesanteur. En mesurant la gravité au même point, à quelques années d'intervalle, on parvient à estimer la variation d'altitude du lieu.

Enfin, depuis quelques années, le système de positionnement par satellite (*Global Positioning System*, GPS) permet la mesure des distances et des variations d'altitude de points espacés de plusieurs centaines de kilomètres. Des chercheurs canadiens ont utilisé le GPS pour montrer que la côte de Victoria se rapproche de près de un centimètre par an d'un point situé à 300 kilomètres à l'intérieur des terres. Dans le futur, le système GPS, qui est précis et peu coûteux, pourrait être le moyen le plus efficace pour mesurer les bombements et les écrasements de la croûte qui annoncent les tremblements de terre.

Toutes ces méthodes donnent des résultats similaires : la marge continentale de la région des Cascades se soulève de un à quatre millimètres et se contracte horizontalement de plusieurs centimètres par an. Ces déformations sont les preuves que la croûte

est prise en tenaille entre les plaques convergentes. Elles enregistrent la lente, mais inexorable accumulation des contraintes et annoncent une libération catastrophique de l'énergie de déformation de la croûte.

Un fauteur de troubles coincé

Afin de préciser les risques sismiques, nous avons étudié l'extension de la zone bloquée en confrontant les observations de terrain avec des simulations mathématiques de la déformation. Ces comparaisons nous ont révélé l'état de la zone bloquée à grande profondeur. À l'endroit le plus profond de cette zone, du côté du continent, il existe une transition progressive entre des segments complètement bloqués et d'autres qui glissent librement. Sur la plus grande partie de la côte, la zone bloquée pénètre sur une largeur de 50 à 100 kilomètres sous le plateau continental (elle s'élargit beaucoup près de la côte septentrionale de l'État de Washington). Cette surface de faille considérable peut engendrer des séismes catastrophiques. Elle est toutefois beaucoup plus étroite que les autres zones de subduction connues. Pourquoi cette particularité ? Principalement en raison des variations de la



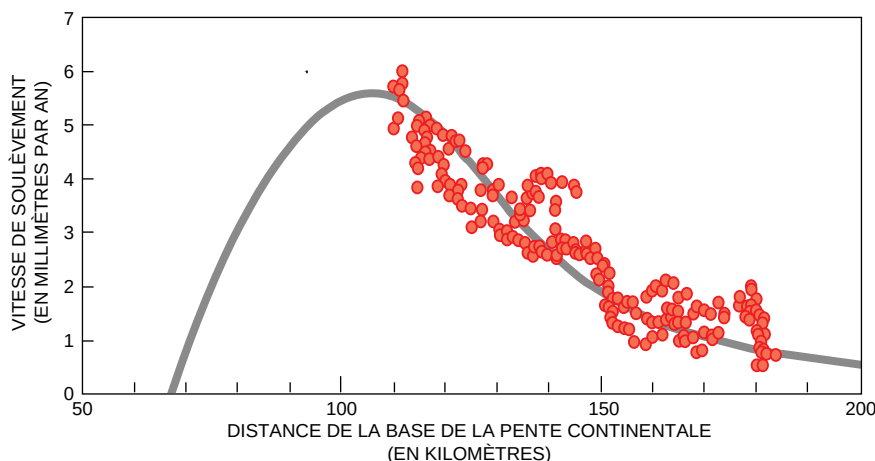
5. LES DÉFORMATIONS DE LA CROÛTE sont extrêmement lentes, mais des mesures soigneuses montrent les infimes mouvements du sol. La télémétrie par laser, entre les sommets des montagnes, détecte la contraction horizontale de la région depuis plus de dix ans. Les instruments modernes de positionnement par satellite (GPS) ont facilité la réalisation de relevés géodésiques précis.

température en fonction de la profondeur. Près de la surface, les sédiments argileux qui tapissent le plancher océanique lubrifient la partie de la faille proche de l'océan. Cependant, plus profondément, les argiles se transforment en des minéraux plus durs, qui empêchent la faille de glisser. Ces changements minéralogiques se produisent à une profondeur de dix kilomètres environ, c'est-à-dire lorsque la température atteint 150 degrés.

L'augmentation de température détermine également la position de la partie profonde de la zone bloquée vers le continent. Aux températures modérées, les roches ont des comportements de frottement normaux : la très forte résistance au mouvement chute lorsque la faille commence à bouger. Ainsi, une fois le glissement commencé, le mécanisme s'emballé, libérant l'énergie élastique et causant un séisme. En revanche, plus en profondeur, dans la croûte, lorsque la température est supérieure à 350 degrés, les roches en contact sur les bords de la faille se comportent comme des fluides visqueux : plus les mouvements sont rapides, plus la résistance est forte. Les parties les plus profondes et les plus chaudes de la faille peuvent alors se déformer par fluage sans engendrer d'ondes élastiques.

Ces températures correspondent-elles aux véritables limites de la zone bloquée? Nous avons étudié cette question en modélisant numériquement les températures sur la faille de la zone de subduction. Les résultats ont confirmé que la profondeur à laquelle la roche atteint une température de 350 degrés correspond bien à la limite profonde de la zone bloquée déterminée par les mesures de déformation.

Une question demeure néanmoins : la zone que nous avons modélisée correspond-elle réellement à la région source des grands tremblements de terre? Nous le pensons, car le déplacement vertical que notre modèle prédit pour une rupture de la zone bloquée rend bien compte des observations des dépôts côtiers enfouis. Des indications supplémentaires nous encouragent à appliquer notre méthode à d'autres zones de subduction. Avec mes collègues Kelin Wang et Makoto Yamano, de l'Université de Tokyo, j'ai montré que la largeur de la zone bloquée de la marge Nankai, au Sud-Ouest du Japon, correspond à la surface de rupture du séisme de magnitude huit qui a frappé cette région en 1940. Par analogie, nous



6. LES NIVELLEMENTS successifs de la côte de la région des Cascades montrent son soulèvement (les points rouges). Les calculs (la courbe grise) rendent bien compte des observations pour la déformation de la plaque Nord-américaine ; ils servent à localiser la partie bloquée de la faille de subduction.

pouvons prévoir le séisme qui frappera la côte Nord-américaine.

Le jour de la catastrophe

Quelle pourrait être l'intensité du mouvement du sol pour les villes de la côte Ouest pendant un grand séisme? Tout dépend de la magnitude du séisme et de la position de son foyer. La magnitude maximale, tout d'abord, dépend de la distance de la côte au lieu de libération de l'énergie sismique. Si l'on se fonde sur les études de séismes déjà analysés, une rupture de toute la faille, de la Colombie britannique jusqu'à la Californie, serait surprenante. Toutefois, si la totalité de la zone bloquée (une surface de près de 100 000 kilomètres carrés) lâchait d'un coup, le séisme pourrait avoir une magnitude égale à neuf, et les dégâts seraient bien pires que ceux du séisme de San Francisco en 1906. Seulement deux événements de cette taille ont été enregistrés à ce jour : un tremblement de terre le long des côtes du Chili, en 1960, et un autre en Alaska, en 1964.

Il existe deux manières d'estimer le mouvement du sol qui résulterait d'un tel séisme. La première consiste à comparer les situations le long de la côte Ouest de l'Amérique du Nord avec ce qui s'est passé ailleurs. La seconde revient à utiliser des modèles de rupture élastique et de déplacements de failles. La conclusion des deux approches est semblable : le prochain grand séisme dans la région des Cascades engendrera des ondes sismiques destructrices qui dureront plusieurs minutes ; puis, lorsque les secousses cesseront, la plupart des régions

côtières se seront enfoncées de un à deux mètres et auront été déplacées de près de dix mètres vers la mer.

Heureusement, la partie bloquée de la faille qui engendrerait un tel tremblement de terre est située principalement sous le plateau continental et ne s'étend que peu sous la côte. Ainsi, Vancouver, Seattle et Portland (qui sont entre 100 et 200 kilomètres à l'intérieur des terres) sont moins exposées aux secousses que les sites proches de la côte Ouest ; elles restent toutefois menacées, car l'énergie sismique se propage à des distances considérables. Plus généralement, les Américains et les Canadiens de la côte Pacifique qui pensaient vivre sur un sol tranquille doivent accepter d'être sous la menace permanente d'un tremblement de terre destructeur.

Roy HYNDMAN est chercheur au Centre de géosciences du Pacifique du Service géologique canadien.

A. NELSON et al., *Radiocarbon Evidence for Extensive Plate-Boundary Rupture about 300 Years ago at the Cascadia Subduction Zone* in *Nature*, vol. 378, pp. 371-374, 23 novembre 1995.

Garry C. ROGERS, *Seismic Potential of the Cascadia Subduction Zone*, in *Nature*, vol. 332, p. 17, 3 mars 1988.

Thomas H. HEATON, *Cascadia Subduction Zone : The Calm before the Quake?*, in *Nature*, vol. 343, pp. 511-512, 8 février 1990.

R.B. HYNDMAN et K. WANG, *Thermal Constraints on the Zone of Major Thrust Earthquake Failure : The Cascadia Subduction Zone*, in *Journal of Geophysical Research (Solid Earth)*, vol. 98, n° 2, pp. 2039-2060, 10 février 1993.
