

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.

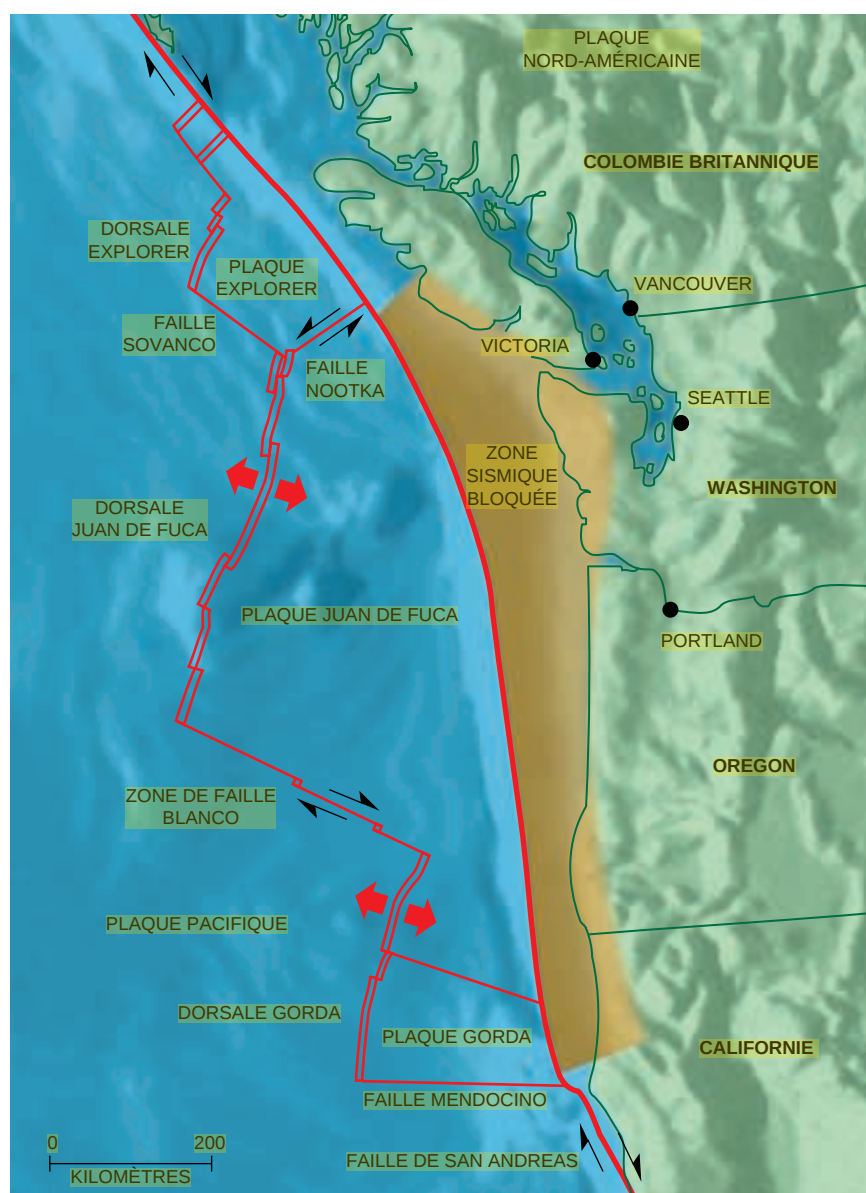
La détermination de la zone bloquée est importante, car elle indiquera le type de dégâts qui seraient engendrés lors du prochain séisme : cette zone est celle qui libère l'énergie sismique. Connaissant la limite de cette zone côté continent, on estimera les éventuels effets destructeurs sur les grandes 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.