



Les continents se déplacent

Si Christophe Colomb partait aujourd'hui à la découverte de l'Amérique, il lui faudrait parcourir une distance plus longue de 15 mètres qu'en 1492. Mais s'il avait fait ce voyage 150 millions d'années plus tôt, il aurait pu se rendre d'Espagne à Terre-Neuve en canoë.

L'océan Atlantique s'élargit progressivement entre l'Europe et l'Amérique. Les deux continents dérivent en sens opposés. Personne n'a encore mesuré directement le déplacement, mais de nombreuses découvertes récentes ont convaincu beaucoup de savants que tous les continents dérivent sur la surface de la Terre.

Pour trouver une nouvelle confirmation à cette théorie, des savants sont partis en Australie en août dernier, pour faire des recherches avec le navire « Oceanographer » du service géographique américain. Ils pensent pouvoir démontrer que la pointe sud-ouest de l'Australie a été autrefois reliée à l'Antarctique.

La théorie a fait des progrès si rapides au cours des cinq dernières années que la National Science Foundation consacrera plus de 5 millions de dollars (25 millions de francs) l'année prochaine à la confirmer ou à l'infirmer définitivement. Les quatre plus grands instituts océanographiques des U.S.A. s'associeront pour forer 70 trous, dont certains atteignent 600 mètres de profondeur, dans les couches sédimentaires de l'océan et dans les roches sous-jacentes. On saura ainsi si les données géologiques correspondent avec la théorie de la dérive des continents.

Selon la théorie moderne, les terres émergées formaient autrefois un ou deux supercontinents. Pendant l'ère des reptiles, ces grandes masses continentales se désagrégèrent et les morceaux dérivèrent jusqu'à leur position actuelle, dans certains cas, à 7.000 kilomètres de l'ancienne position.

Les correspondances géographiques des continents furent remarquées il y a plusieurs siècles déjà. Cela poussa le météorologiste allemand Alfred Wegener à faire les recherches nécessaires pour élaborer la première théorie logique de la dérive des continents en 1912. Une recherche plus moderne des correspondances a pu être faite en se servant d'un ordinateur pour déterminer la meilleure correspondance des bords du plateau continental de part et d'autre de l'Atlantique nord.

Selon Wegener, il ne suffit pas que les continents correspondent l'un à l'autre sur la périphérie. Imaginez qu'il ait découpé les contours des continents dans du papier journal. Une fois rassemblés, les morceaux auraient

reconstitué les lignes imprimées. Wegener retrouva les « lignes imprimées » dans les chaînes de montagne. De part et d'autre de l'Atlantique sud, par exemple, les sierras de Buenos Ayres correspondent aux montagnes du cap de Bonne Espérance, en Afrique du Sud, par l'âge, la structure, la nature des roches et l'alignement général. On peut en dire autant des montagnes de la Nouvelle-Ecosse et de Terre-Neuve d'une part, et des systèmes calédonien en Ecosse et en Norvège d'autre part. Mais il n'y a pas de correspondance entre les montagnes formées après l'ère des animaux marins de formation calcaire.

Une nouvelle correspondance a été ajoutée récemment par les savants du M.I.T., de l'université de Cambridge et de celle de Sao Paulo, au Brésil, aux nombreuses correspondances déjà trouvées.

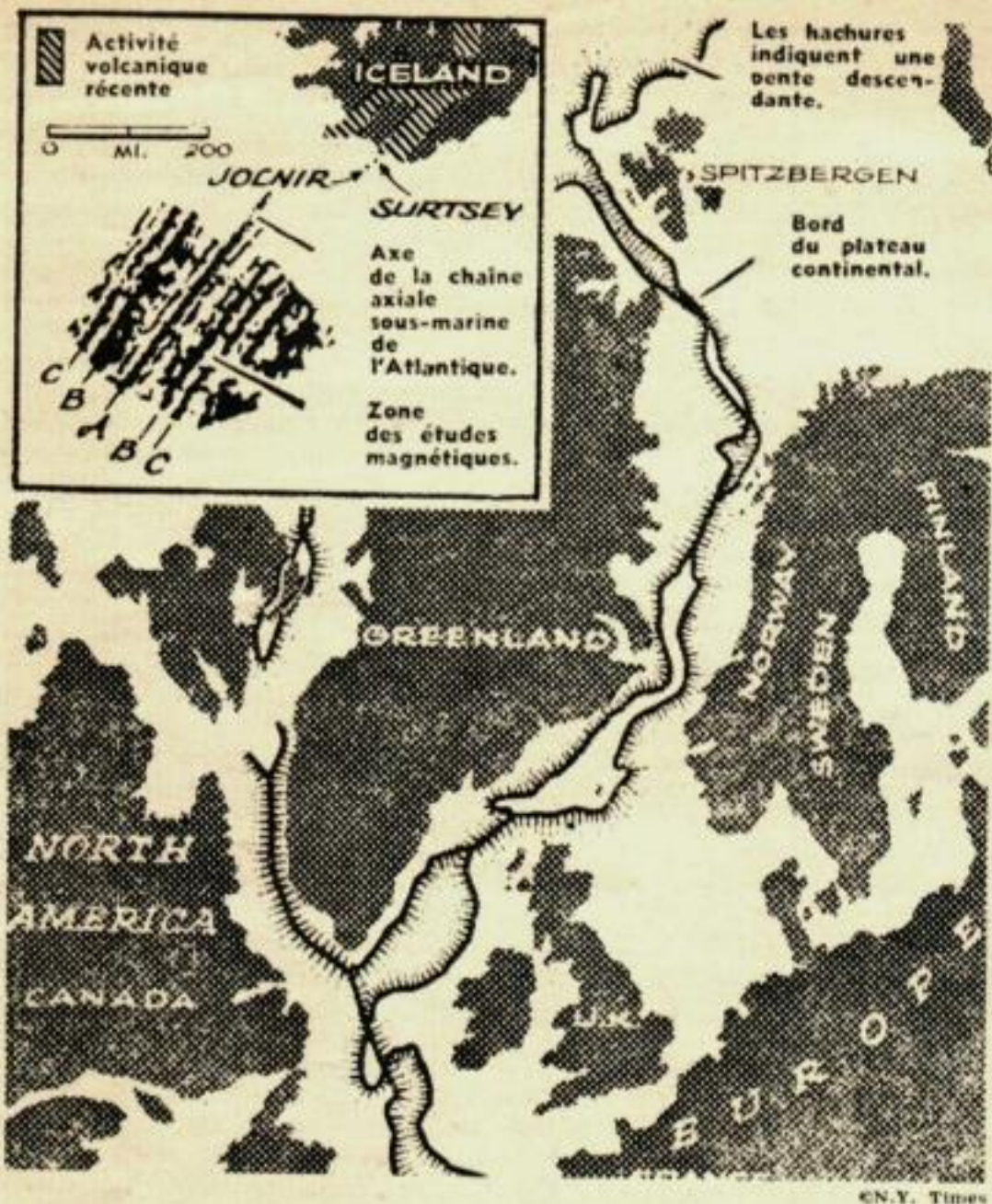
En partant d'Accra, dans le Ghana, sur la partie sud de la saillie ouest africaine, une ligne allant au nord-est sépare deux formations rocheuses, une vieille de deux milliards d'années au nord de la ligne et une vieille d'un demi-milliard d'années au sud de la ligne. Les savants tracèrent la ligne sur la carte dressée à l'aide de l'ordinateur, montrant la juxtaposition des continents en la prolongeant sur le Brésil. Or cela correspondait exactement; au Brésil, les vieilles roches se trouvent au nord de cette ligne, les roches jeunes au sud, comme au Ghana. Et ces roches sont du même âge.

Une ligne d'un autre genre marque la limite nord d'une glaciation qui s'est produite il y a 300 millions d'années. Elle s'allonge à travers le sud-est de l'Amérique du Sud, l'Afrique à l'équateur, l'Inde à 3.000 km au nord de l'équateur et sépare l'Australie en deux en laissant à peu près le tiers au sud. Un géophysicien écossais a calculé qu'il n'y a pas assez d'eau sur la terre pour donner une couche de glace à toute cette superficie. Pourtant, lorsque Wegener groupa tous ces morceaux ensemble autour du pôle sud, ils formèrent un ensemble très bien ajusté et pouvant facilement être couvert d'une calotte de glace dont la limite nord, formant une ligne continue, se superpose exactement aux limites relevées.

A l'époque où une calotte de glace couvrait l'Inde, des récifs de corail se formaient au Spitzberg, qui se trouve maintenant à la limite de la banquise arctique. Plus tard, l'Antarctique fut couverte de forêts qui ont formé des filons de houille que les explorateurs ont pu observer au début du XX^e siècle.

On a essayé d'expliquer ces anomalies climatiques en déplaçant les pôles géographiques, mais Wegener s'est heurté à moins de contradictions en groupant ses continents mobiles autour du pôle sud, puis en les faisant dériver vers le nord. En Amérique du Nord, le paléobotaniste N.W. Radforth, de l'université McMaster, souligne que les plantes ont évolué

DES SAVANTS ISLANDAIS ET ETRANGERS se massent sur le pont de leur navire pour regarder de loin le nuage volcanique qui monte de Surtsey, une île volcanique surgie de la mer il y a deux ans seulement et que beaucoup considèrent comme témoin des phénomènes qui ont progressivement écarté l'Europe et l'Amérique l'une de l'autre.



LA GRANDE CARTE DRESSÉE à l'aide des ordinateurs montre comment les continents ont pu être soudés il y a 100 ou 200 millions d'années, avant que la dérive continentale ait commencé à séparer les morceaux. La partie encadrée montre les zones d'activité volcanique récente en Islande et le champ magnétique de part et d'autre de la chaîne axiale de l'Atlantique, ainsi que deux îles nouvelles dans le voisinage, Jólnir et Surtsey.

en formant des feuilles complexes qui peuvent absorber rapidement l'énergie pour former de la matière végétale, des graines qui peuvent résister à un hiver rigoureux pour germer au printemps, des racines qui restent vivantes tout l'hiver dans la terre alors que le reste de la plante meurt et poussent de nouvelles tiges à l'arrivée de la belle saison. Tout cela correspond bien à un mouvement du sud au nord.

Wegener cite même des escargots à l'appui de sa théorie. Une espèce vit en Europe occidentale et dans la partie orientale de l'Amérique du Nord et nulle part ailleurs. On peut aussi citer le lémur, un singe à allure de renard qu'on trouve d'une part de l'océan Indien en Inde et à Ceylan, d'autre part à Ma-

dagascar. Pour expliquer des faits de ce genre, les paléontologistes, qui étudient les fossiles d'animaux, ont imaginé d'énormes isthmes qui auraient relié ces continents et auraient disparu sous les flots à une certaine époque. L'explication de Wegener semble beaucoup plus plausible.

Mais lorsque des sceptiques voulurent savoir quelle force était suffisamment puissante pour déplacer des continents entiers, Wegener ne trouva aucune explication valable. Toutes les forces que lui et ses partisans purent citer étaient trop faibles ou insuffisamment démontrées. A vrai dire, les uns et les autres n'avaient pas une connaissance suffisante de la Terre. On discuta beaucoup sur le peu qu'on

savait jusqu'en 1930, mais, à partir de là, les arguments étaient épuisés et l'on finit par oublier la théorie.

Tout changea après la deuxième guerre mondiale. Les savants avaient trouvé le moyen de déterminer le champ magnétique qu'avait la Terre il y a plusieurs millions d'années et ont ainsi découvert que l'aiguille d'une boussole qu'on aurait placée à certains endroits sur les continents aurait fait plusieurs tours complets sur elle-même au cours de ces millions d'années. Ils avaient d'abord étudié l'histoire magnétique de la Terre en examinant des roches volcaniques qui se sont magnétisées dans la direction qu'avait alors le champ magnétique terrestre en se solidifiant. Mais ces roches ne se forment que d'une façon sporadique et à certains endroits seulement. Les roches sédimentaires, par contre, se forment constamment et un peu partout. Malheureusement, la magnétisation des roches sédimentaires est cent fois plus faible que celles des roches volcaniques.

Les roches racontent l'histoire

Après 1950, le géophysicien P.M.S. Blackett avait mené à bonne fin une étude de plusieurs années pour mettre au point les instruments ultrasensibles nécessaires. Il l'avait fait afin de démontrer l'exactitude d'une théorie qu'il avait formulée. Mais ces merveilleux instruments lui donnèrent tort. Néanmoins, lui et ses collègues de l'université de Londres obtinrent quand même un beau succès avec le dispositif en mesurant la magnétisation des grès rouges qui se trouvent en Angleterre.

Selon les indications de ces roches, une aiguille aimantée placée en Angleterre il y a 200 millions d'années aurait pointé de 30° plus à l'ouest et aurait été moins inclinée de 35°. A l'équateur, une aiguille aimantée n'a pas d'inclinaison : elle est horizontale. Sur le pôle magnétique, elle est verticale. Les savants conclurent que l'Angleterre a tourné depuis cette époque de 30° dans le sens des aiguilles d'une montre et qu'elle a dérivé de 35° de latitude vers le nord, soit 4.000 km. Ce coup de tonnerre ne fut même pas entendu. Le triomphe vint beaucoup plus tard.

Sans se laisser décourager, les savants de l'université de Londres se rendirent en Inde et découvrirent en peu de temps qu'elle a dû dériver de 7.000 km vers le nord jusqu'à sa position actuelle.

Des savants de l'université de Newcastle, en Angleterre, contestèrent cette conclusion, soutenant que ce sont les pôles magnétiques qui ont changé de place et non les continents. Selon eux, le pôle nord magnétique se trouvait, il y a 600 millions d'années, en Californie mexicaine, se déplaça vers le sud du Pacifique, puis vers le nord du Japon, puis à travers la Sibérie, puis à travers l'océan Arctique jusqu'à sa position actuelle à l'ouest du Groenland.

Entretenant de nouveaux travaux, les paléomagnétistes de Newcastle se rendirent aux U.S.A. et étudièrent les roches sédimentaires

du Texas, de l'Arizona et d'autres lieux. Une fois les mesures faites, ils comparèrent le trajet suivi par le pôle itinérant d'après les indications des roches américaines avec celui indiqué par les roches européennes. Les deux trajets avaient la même forme, mais ne se superposaient pas comme ils devraient le faire. Au contraire, ils étaient décalés de 30° de longitude, jusqu'au moment où ils ont commencé à converger il y a 45 millions d'années environ, vers l'ère des reptiles. Leurs propres observations infligeaient un démenti à leur théorie de déplacement du pôle magnétique. Ils élaborèrent rapidement une autre théorie qui explique que l'Europe et l'Amérique du Nord devaient se trouver côte à côte jusqu'au moment où elles ont commencé, il y a 45 millions d'années à s'éloigner l'une de l'autre de 30° de longitude.

Pendant ce temps, les océanographes tiraient eux-mêmes des surprises du fond de la mer à pleins seaux. Notre connaissance du fond de l'océan était si imparfaite qu'on ignorait jusqu'à l'existence d'une chaîne de montagnes sous-marines atteignant dans certains cas 3.600 mètres de hauteur et s'allongeant sur une distance de 65.000 kilomètres au milieu de tous les océans du monde. La chaîne est fendue au milieu par une vallée, faille longitudinale qui a 15 kilomètres de large et près de 2 kilomètres de profondeur à certains endroits.

La découverte de cette chaîne a fourni les derniers arguments d'une théorie de la formation de la Terre en indiquant le genre de force qui a pu provoquer la dérive continentale.

A l'origine, selon cette théorie, des nuées de météorites se rassemblèrent en s'attirant l'une l'autre pour former une sphère froide. Progressivement, la chaleur concentrée de la radioactivité chauffa la jeune Terre. Lorsque la température a atteint le point de fusion du fer, le fer liquide, plus lourd, coula vers le centre. Lorsque la température a atteint le point de fusion des roches, plus légères, de l'écorce terrestre, la lave est montée à la surface. Entre les deux, on trouve les roches plus lourdes du manteau. La chaleur ne peut s'échapper de la Terre que par la surface. Elle ne peut y arriver si elle est produite à une grande profondeur à cause de la couche isolante de plusieurs centaines de kilomètres d'épaisseur formée par les roches. Plus la profondeur est grande, mieux la chaleur est conservée et plus haute est la température.

Comme toutes les matières, la roche se dilate quand elle est chauffée et elle devient alors plus légère que la roche plus froide qui la surmonte. Elle monte alors en formant ce qu'on appelle un courant de convection. Pour avoir une idée de ce qui s'est passé, regardez une bouillie de flocons d'avoine en train de cuire.

Le nombre de courants qui s'élèvent dans le manteau dépend de la taille du noyau, suivant une étude mathématique de l'astrophysicien indien S. Chandrasekhar. Au début, lorsque le noyau était petit, un seul courant

monte à la surface pour se répandre ensuite dans toutes les directions, horizontalement, en perdant progressivement sa chaleur. Au côté de la Terre opposé au courant ascendant, la roche, maintenant plus froide et plus dense, s'enfonce. Toutes les roches légères de l'écorce terrestres ont été ainsi rassemblées en un seul continent géant, là où le courant a abouti.

Par la suite, d'après les calculs de Chandrasekhar, le noyau ayant atteint une certaine taille plus grande, il se forma trois courants ascendants dans le manteau plus mince. Ces courants ont convergé à deux endroits. A la suite de quoi, le continent géant initial fut cassé en morceaux qui se rassemblèrent en deux tas, formant les deux continents qui furent les points de départ de la théorie de Wegener.

La dérive continentale dont parle Wegener commença lorsque le nombre des courants ascendants passa de 3 à 4. Cette nouvelle répartition déchiqueta les deux supercontinents et les morceaux se rassemblèrent encore une fois aux points de convergence des courants descendants.

Plusieurs savants se rendirent compte immédiatement que la chaîne de montagnes sous-marines pourrait se trouver là où les courants ascendants se sont produits. Des courants de convection peuvent être à l'origine des frémissements constants de l'écorce terrestre, juste sous la faille, et alimenter aussi les volcans d'Islande, de l'île Surtsey, de Tristan da Cunha et d'ailleurs qui sont placés juste au-dessus de la faille.

Les températures mesurées au-dessus de la chaîne montrent que la chaleur qui monte à la surface à cet endroit est huit fois plus forte que sur les continents. La chaleur dégagée par le fond de l'océan à grande distance de la chaîne est à peu près la même que sur les continents. Cela aussi semble confirmer la théorie. Deux tiers de la chaleur qui parvient à la surface sur les continents provient de la radioactivité de l'écorce terrestre. Comme l'écorce terrestre a 15 kilomètres d'épaisseur sur les continents et 5 kilomètres d'épaisseur seulement sous les océans, les savants estimaient que les surfaces couvertes par les océans doivent dégager beaucoup moins de chaleur. Il semble que des courants ascendants du manteau sont à l'origine de la quantité plus forte de chaleur.

Un tapis mobile sous les eaux

Les montagnes de la chaîne sous-marine semblent avoir été formées avec des matières apportées par le courant ascendant et accumulées là où le courant s'étale. Beaucoup d'océanographes pensent que les montagnes sont constamment renouvelées par en dessous au fur et à mesure que leur substance se disperse de part et d'autre, pour finir par tomber dans l'une des tranchées profondes de 8.000 mètres de l'océan.

Il y a donc une sorte de tapis mobile qui se déplace des chaînes montagneuses vers les tranchées et les continents sont portés dessus.

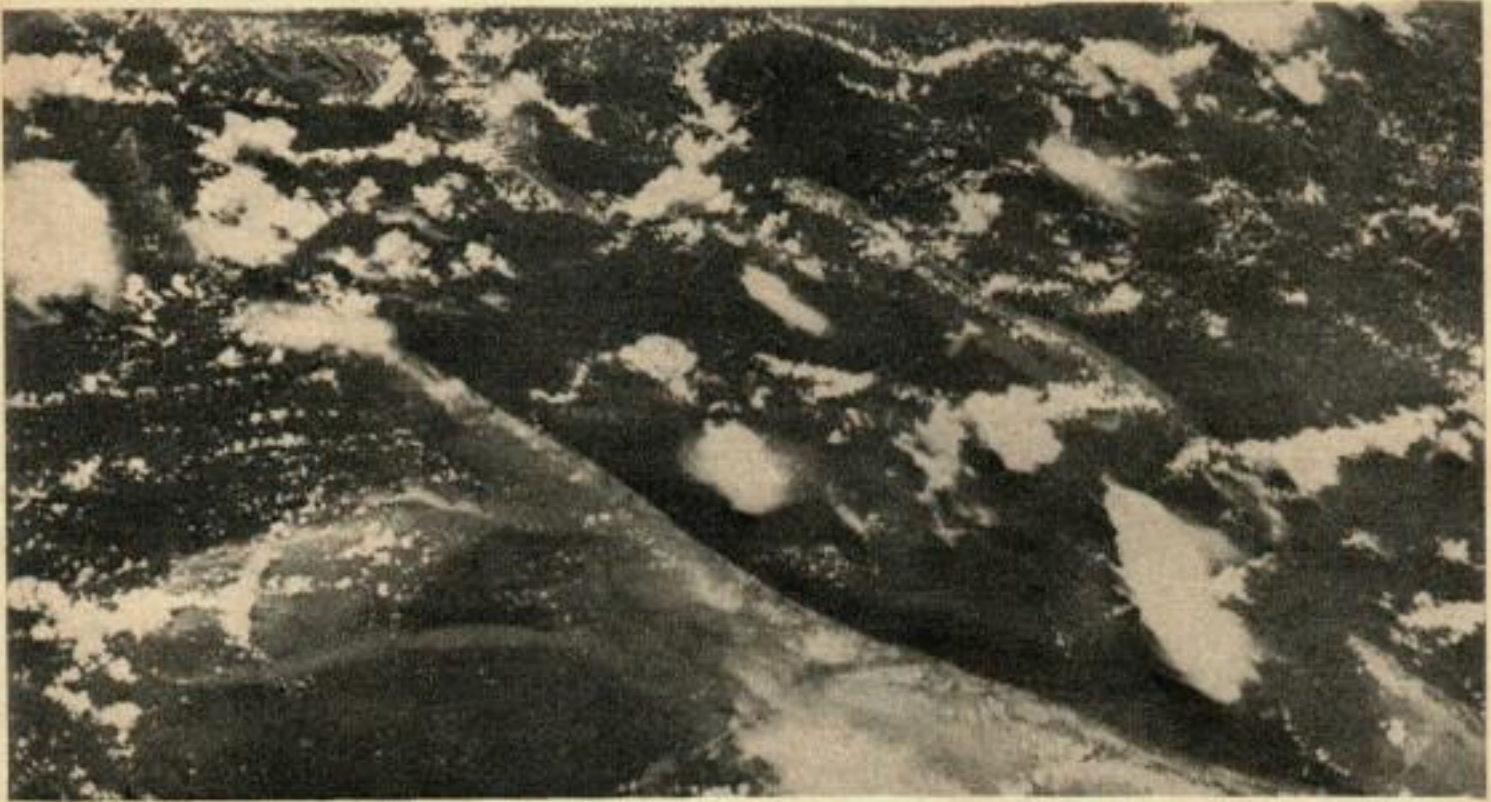
Lorsqu'un continent atteint une tranchée, il ne peut généralement aller plus loin et son bord antérieur se plisse pour former des montagnes. Les montagnes augmentent encore de hauteur du fait des matériaux laissés en arrière par le tapis qui commence à redescendre. On peut citer les Andes comme exemple. L'Himalaya a pu être formée par la collision de l'Inde avec l'Asie. F.J. Vine, géologue de l'université de Princeton, pense que la largeur exceptionnelle de la chaîne des Montagnes Rocheuses est peut-être due au fait que l'Amérique du Nord a buté sur la chaîne sous-marine du Pacifique.

Selon Tuzo Wilson, de l'université de Toronto, auteur de l'une des versions les plus modernes de la dérive continentale, les îles océaniques donnent une preuve de la chaîne de montagnes sous-marine. Beaucoup de ces îles ont débuté comme volcans surgissant de l'océan au-dessus de la chaîne sous-marine, comme Surtsey le fait aujourd'hui au sud de l'Islande. La chaîne de montagnes les déplace ensuite plus loin. Les îles devraient être d'autant plus vieilles qu'elles sont plus éloignées de la chaîne sous-marine. Or il semble bien qu'il en est ainsi. Tristan da Cunha et l'île d'Ascension, qui se trouvent très près de la chaîne, sont vieilles seulement d'un million d'années. Les Bermudes, qui sont plus près de la Georgie que de la chaîne sous-marine, sont vieilles de 36 millions d'années.

Une fois qu'une île volcanique formée sur la chaîne centrale est déplacée plus loin par la chaîne de montagnes, une autre se forme quelquefois à sa place. Plusieurs cycles de ce genre créent un chapelet d'îles comme l'archipel des Hawaï, qui s'allonge perpendiculairement à la chaîne centrale. Lorsque le processus a été ininterrompu, les continents, en s'éloignant l'un de l'autre, laissent des jalons symétriques de part et d'autre de la chaîne centrale. Entre l'Amérique du Sud et l'Afrique, les chaînes de Rio Grande et de Walvis, constituées d'une série de volcans englutis, se joignent à Tristan da Cunha sur la chaîne axiale de l'Atlantique.

« La chaîne de montagnes joue également le rôle d'enregistreur sur bande », a dit Vine. Le message enregistré, ce sont les inversions du champ magnétique de la Terre. Les mêmes roches qui ont tracé les trajets des continents en dérive ont également révélé que les pôles magnétiques nord et sud sont périodiquement inversés. De 1961 à 1964, Allen Cox, Brent Dalrymple et Richard Doell, du service géologique américain, ont étudié le rythme des inversions qui se sont produites depuis 3 millions et demi d'années. En se basant uniquement sur les roches volcaniques jeunes, qui peuvent être datées avec précision, ils ont découvert neuf inversions. L'alignement actuel dure depuis 700.000 ans, mais cette période a été à peu près également partagée entre les deux polarisations. Cox et ses collaborateurs estiment qu'une inversion se produit à peu près tous les 5.000 ans, l'espace d'un instant à l'échelle géologique.

(Suite page 124)



Les satellites au service de la science

Les migrations des tortues de mer entre les terrains de chasse et les lieux de reproduction, à travers de vastes étendues aquatiques où n'existe aucun point de repère visible, pourraient être d'ici peu jalonnées avec précision par les savants, grâce aux satellites de communication.

Les migrations de tortues n'ont pas, il est vrai, une importance historique, mais il s'agit là seulement d'un des mystères qu'on peut éclaircir grâce à l'emploi combiné d'un petit émetteur et d'un satellite équipé d'un nouveau dispositif électronique.

Ce nouveau système pourra être mis à l'épreuve l'année prochaine avec le Nimbus B, qui portera le dispositif I.R.L.S. (Interrogation, Recording and Location System).

Mis au point au centre de vol spatial de la N.A.S.A. de Goddard, l'I.R.L.S. pourra enregistrer et retransmettre les émissions de postes disséminés sur toute la Terre. Il peut repérer la position d'un émetteur à 2 ou 3 cm près, ce qui permet de tracer la route suivie par un émetteur sur la mer. A chaque orbite, le satellite peut capter les émissions de vingt stations terrestres pour les retransmettre en enregistrement accéléré aux stations de Fairbanks (Alaska) et de Rosman (Caroline du Nord).



Le lancement de Nimbus B

Le satellite Nimbus B portant l'I.R.L.S. sera lancé sur une orbite polaire à 1.000 kilomètres au-dessus de la surface de la Terre. Comme cette hauteur n'est pas suffisante pour lui permettre d'embrasser tout l'océan d'un seul coup, le Nimbus III (tel sera son nom une fois en orbite) surveillera une large bande

à chaque orbite, décalée progressivement par la rotation de la Terre sur elle-même.

On a déjà fait de nombreux plans pour mettre le système à l'épreuve. Le Naval Oceanographic Office suivra le trajet d'un iceberg arctique. Un émetteur I.R.L.S. sera monté sur l'iceberg. La marine U.S. installera aussi une bouée d'observation au sud des îles de la Vierge pour enregistrer et signaler la température de l'eau, la salinité et la hauteur des vagues.

Les migrations d'oiseaux, comme celles des tortues de mer, seront étudiées. Les phénomènes atmosphériques seront étudiés avec des ballons libres portant un émetteur.

George Tajima, vice-président de la firme Bissett Berman, spécialisée dans le matériel d'océanographie, a souligné que les observations directes et les photographies prises par les astronautes de Mercury et de Gemini ont déjà établi la possibilité de recueillir par satellite des renseignements sur la température à la surface de la mer et les conditions météorologiques qui l'accompagnent, les mouvements des glaces et les zones qu'elles couvrent, les mouvements des parties nourissantes de l'océan et le mélange des eaux arctiques avec le reste de l'océan.

« Néanmoins, il est à peu près essentiel d'installer une plate-forme sur ou dans l'océan si l'on veut obtenir des observations très exactes sur la mer et les animaux qui y vivent », a dit Tajima. « On pourrait mesurer la pente de la mer ou le mouvement d'un raz de marée dangereux par des instruments automatiques qui transmettent rapidement les observations par satellite. »

On compte aussi sur l'utilisation combinée des instruments océanographiques et des satellites pour détecter les activités volcaniques, l'étude des courants marins, des plantes et des

(Suite page 123)

Les continents se déplacent

(Suite de la page 52)

Selon Vine, il y a une relation entre ces inversions et les zones où le champ magnétique est plus fort ou plus faible qui forment des bandes parallèles aux chaînes de montagnes sous-marines. Lorsque la lave qui monte vers la chaîne se refroidit, dit-il, elle doit se magnétiser dans la direction qu'a le champ magnétique terrestre à ce moment-là. Un navire d'observation mesure alors un champ magnétique plus fort lorsqu'il se trouve au-dessus de roches magnétisées dans la même direction que le champ magnétique actuel et plus faible lorsqu'il se trouve au-dessus de roches magnétisées en sens inverse. En se basant sur les périodes d'inversion établies par Cox, Vine a démontré qu'il y a eu vraiment un mouvement de translation du relief et il en a établi la vitesse. Dans le Pacifique oriental, la vitesse est de 45 mm par an ; au sud de l'Islande, de 10 mm par an environ ; dans l'Atlantique sud de 15 mm par an. Ces chiffres semblent indiquer que les bords de l'Atlantique s'ouvrent en pivotant sur un point situé au nord de la Sibérie.

Tous les savants, particulièrement certains des océanographes du Lamont Geological Observatory, qui ont découvert la chaîne axiale sous-marine, n'acceptent pas la théorie de dérive continentale et de tapis mobile. Est-il possible de mesurer directement la vitesse de dérive pour mettre fin une fois pour toutes à toutes les contestations ? Selon le docteur R.W. Tauner, du Dominion Observatory, d'Ottawa, cela est possible à l'aide des satellites, mais il faudrait encore des dizaines d'années pour qu'on puisse le faire.

Beaucoup de savants n'ont pas besoin d'attendre ; ils sont déjà certains. Selon Blackett, la question qu'on se pose n'est plus : « Les continents ont-ils dérivé ou non ? », mais : « De combien ont-ils dérivé et quand ? »
