

La transgression flandrienne.

Ce terme désigne la montée du niveau marin lors de la fin du dernier épisode de glaciation (Würm). Lorsqu'il culminait, il y a environ 20 millénaires, la gigantesque calotte de glace des Laurentides avait sans doute plus de quatre mille mètres d'épaisseur. Le niveau des mers était alors plus bas qu'aujourd'hui de 110 mètres. La situation devait être stable depuis quelques millénaires au moins, car on retrouve à la cote -110 m, dans pratiquement tous les océans du globe, des plages fossiles ou des massifs de coraux bien développés [108]. Puis, il y a 17 ou 18 millénaires, une bonne partie de cette calotte disparut, et le niveau des mers remonta à la cote -55 mètres. Cette dernière valeur semble avoir été atteinte il y a 11 millénaires. Le niveau des mers se stabilisant à nouveau, d'autres plages fossiles et massifs de coraux se formèrent. Bien que ces traces soient moins bien marquées que celles du niveau inférieur, on peut penser que leur formation implique deux ou trois millénaires de stabilité. De nouveau, le niveau des mers monta, d'une manière ininterrompue pendant 6000 ans (depuis 6000 bc), pour se stabiliser approximativement au début de notre ère. Par exemple, il y a 5 millénaires, du temps du pharaon égyptien de la seconde dynastie Khasekemouï (deux siècles avant Kheops), le niveau des mers était 5 mètres plus bas qu'actuellement [250].

Il serait d'ailleurs utile d'arriver à établir une chronologie exacte de ce mouvement de transgression, car cela est d'une importance capitale pour l'histoire des civilisations dans les derniers millénaires, dont les plus connues ont éclos dans les vallées alluvionnaires des grands fleuves (Nil, Tigre, Euphrate, Indus, Fleuve Jaune). En effet, un fleuve tend à prendre une pente d'équilibre donnée par rapport à son embouchure. Si le niveau de la mer monte, il ralentit, alluvionne, et exhausse sa vallée très loin en amont de l'embouchure, pour conserver une pente constante; si le niveau de la mer baisse, il accélère et creuse le fond de son lit, laissant une terrasse alluviale de chaque côté. Les phases d'exhaussement sont donc plus favorables à l'agriculture, puisque chaque année la crue du fleuve dépose une couche d'engrais dans toute la vallée (en moyenne un millimètre par an en Egypte), alors que les phases de creusement entraînent l'épuisement des terres et l'impossibilité d'irriguer. On connaît l'importance économique de la hauteur de la crue : en Egypte, des échelles spéciales (nilomètres) permettaient de la mesurer et de déterminer ainsi les impôts dus à l'Etat. Des irrégularités importantes dans le mouvement de transgression (comme nous en avons connu dans les vingt derniers siècles, avec des écarts de plus ou moins un mètre), auraient pu entraîner des événements économiques catastrophiques, susceptibles de jeter à bas les systèmes politiques.

Cela dit, et d'une manière générale, la montée lente du niveau des mers sur plusieurs millénaires, consécutive à une déglaciation lente et progressive, conduisant le sol des vallées à s'exhausser plus ou moins régulièrement, a sans doute permis, par l'augmentation des rendements agricoles, l'éclosion des civilisations urbaines du Moyen et du Proche Orient, d'où est issue notre civilisation.

Les phases de déglaciation peuvent-elles être brèves ?

L'histoire des derniers millénaires n'est peut-être pas aussi belle et linéaire que cela. Les seuls événements qui contrarient le développement de l'agriculture sur les terrasses alluviales en cours de constitution sont-ils seulement liés à de brefs épisodes de baisse du niveau de la mer ? Ou bien y a-t-il eu des accidents de parcours beaucoup plus graves ?

Les données présentées aux chapitres précédents me poussant à répondre par l'affirmative à cette question, si j'envisage un mouvement brutal du niveau de la mer, il s'agit probablement d'une hausse plutôt que d'une baisse. En effet, l'abaissement du niveau marin ne peut être dû qu'à des phénomènes thermodynamiques dont les constantes de temps sont importantes (quelques siècles pour un système comme le globe terrestre dont la température est régulée par les océans). Des mécanismes thermodynamiques pourraient conduire à une élévation de température et à une fonte des glaces des calottes polaires, ce qui serait par nature un phénomène instable [220, 402]. En effet, plusieurs boucles de rétroaction positive peuvent être identifiées, qui permettent d'expliquer que les phases de déglaciation durent beaucoup moins longtemps que les phases de glaciation (typiquement 90 millénaires pour une glaciation, 10 millénaires pour la déglaciation). Ce qu'on appelle une boucle de rétroaction positive, dans le jargon des automaticiens, est un phénomène dont les effets amplifient la propre cause, accélérant ainsi les effets, et ainsi de suite. Ordinairement, dans les systèmes physiques ou industriels, ce type de comportement donne lieu à une instabilité, avec des variations brusques et violentes qui sont limitées seulement par l'énergie que le système peut emprunter à son environnement, ou par la casse d'un ou plusieurs constituants qui change le modèle d'évolution en un autre beaucoup plus stable. Les conditions limites de fourniture d'énergie au système bornent en général la vitesse d'évolution de ses paramètres, alors que la résistance des différents constituants lui permet de survivre ou non à travers la crise, jusqu'à ce que la source d'énergie soit tarie. Plus il y a d'énergie disponible, plus les phénomènes physiques mis en jeu permettent de la libérer rapidement, et plus la crise peut être violente.

Deux types d'énergie sont mis en jeu dans le phénomène de fonte des

calottes polaires : l'énergie thermique et l'énergie mécanique. On peut calculer des crises thermiques, en faisant jouer des boucles de rétroaction positive, qui expliquent la disparition de vastes zones des calottes polaires en quelques siècles. Certains glaciologues américains, notamment Denton, Hughes, Ruddiman et Mac Intyre, ont travaillé sur ce type de modèles [402, 404, 328, 350]. Ils ont montré que les modèles régissant les interactions eau-glace (fonte, production d'icebergs), eau-air (évaporation, transport), et air-glace (condensation, précipitation) réagissent tous en instabilité du fait de rétroactions positives dans les phases d'augmentation générale de la température du globe (déglaçiation). Par exemple, dans l'interaction eau-glace, plus la glace fond, plus la mer monte, plus les surfaces de contact et le débit de fonte augmentent, plus la sollicitation mécanique est forte sur les bordures de calottes, plus le rythme de production d'icebergs s'élève, plus il y a d'apport d'eau douce dans l'océan, plus le niveau de la mer monte, etc...

Le mécanisme n'est limité que par la vitesse à laquelle la glace stockée au centre des calottes polaires peut se déplacer vers la périphérie, pour y être transformée en eau, soit par fonte locale, soit par création d'icebergs (qui iront fondre plus près de l'équateur).

Plusieurs mécanismes permettent d'expliquer les mouvements de la glace, mais les vitesses de transfert et les énergies mécaniques mises en jeu ne sont pas du tout les mêmes.

L'écoulement en "flaque de miel".

On peut se représenter l'écoulement d'une couche épaisse de glace comme celui d'un liquide très visqueux ou pâteux [376]. Par exemple, une calotte polaire peut être envisagée comme une louche de miel déposée sur un support, qui prend une forme à peu près aplatie (quoique assez raide sur les bords), et qui lentement s'étend en contournant les obstacles, jusqu'à une position d'équilibre; le fait de rajouter une cuillerée de miel au centre provoque une lente déformation de la flaque de miel, qui va s'écouler vers la périphérie. Dans un état d'équilibre dynamique, l'ablation à la périphérie (fonte de la glace et vèlage d'icebergs) doit avoir un débit égal à long terme à l'apport au centre (condensation et précipitations).

Un automaticien reconnaît dans un tel modèle un "système oscillant", car le retard est important entre l'excitation (quantité de glace entrante), et le signal résultant (quantité de glace sortante), puisqu'il faut des milliers d'années à l'onde créée par l'arrivée d'un supplément de glace au centre pour se propager jusqu'à la mer. Si la "période propre" du système oscillant, et la période du phénomène d'excitation, sont voisines (et cela pourrait bien être le cas pour les cycles climatiques d'une vingtaine de millénaires), il peut y avoir opposition de phase entre

l'excitation et la sortie, c'est-à-dire que des périodes de réchauffement maximum coïncident avec l'arrivée sur la périphérie des calottes polaires d'un volume maximum de glace correspondant à la période de froid précédente. Cela crée une situation qui renforce encore la tendance à l'instabilité apportée par les boucles de rétroaction positive vues précédemment. Il est donc logique que les transgressions marines soient dix fois plus rapides que les régressions.

Denton et Hughes ont examiné dans l'hypothèse d'une transgression à partir du niveau actuel, la stabilité de diverses parties des calottes polaires. Ils ont publié des modèles montrant que les "shelves" de l'Antarctique Ouest sont des zones particulièrement instables, dans lesquelles l'ablation peut prendre une allure assez rapide. De fait, on a constaté en 1988 dans ces régions le vêlage de deux énormes icebergs tabulaires (plusieurs centaines de kilomètres carrés). Cependant, et bien que certains de leurs collègues leur reprochent de faire des modèles catastrophistes pour s'attirer la manne publique, les prévisions les plus alarmistes de Denton et Hughes ne dépassent pas des rythmes d'augmentation du niveau des mers de quelques mètres par siècle (ce qui, il est vrai, est déjà suffisamment grave pour certaines activités humaines en bordure des littoraux [250]). En aucun cas, les phénomènes mis en jeu ne permettent de rendre compte d'une catastrophe comme celle qui est décrite dans certaines traditions, où l'on rapporte que les mers "s'abattirent sur les continents". Alors, peut-on envisager d'autres modèles ?

Le foirage à grande échelle.

Les calottes polaires ne coulent pas uniformément vers la mer, mais sont entrecoupées de glaciers (certains font plus de cent kilomètres de large), caractérisés par un mouvement rapide d'écoulement de la glace vers la périphérie. Le mécanisme d'écoulement d'un glacier est assez différent de celui d'une flaque de miel. On peut considérer qu'il s'agit d'un solide indéformable, qui est tiré vers l'aval par son propre poids, et poussé à l'arrière par l'énorme masse de glace stockée dans son bassin d'accumulation (et qui elle-même dans une première approximation répond au modèle de la flaque de miel). Le glacier repose sur un fond solide, qui présente des aspérités (crêtes rocheuses, ruptures de pente, etc...). L'écoulement du glacier autour et par-dessus les obstacles fait appel à la fois aux phénomènes de plasticité vus plus haut, et à des phénomènes thermiques. Pour expliquer ces derniers, disons que la présence d'un obstacle augmente la pression en amont, où elle peut atteindre des valeurs colossales. L'obstacle peut être arraché par la pression de la glace ou résister. S'il résiste, il se produit une fonte localisée dans la zone d'augmentation de pression, et une recristallisation en arrière de l'obstacle (zone de diminution de pression). En effet,

plus la pression est élevée, plus la glace fond à des températures basses, ce qui revient à dire que de la glace à une température constante inférieure à zéro degrés fond si on lui applique une pression suffisante. La vitesse du transfert thermique dans la zone de fonte-recristallisation, et la viscosité de la glace, fixent la vitesse d'avance d'une zone du glacier. De proche en proche, le nombre et le volume des différents obstacles fixent la vitesse globale du glacier.

Mais il se trouve qu'un autre régime de déplacement est possible au voisinage d'un obstacle. Il s'agit de la cavitation. On peut faire un parallèle avec le phénomène, bien connu par les marins, qui se produit sur les pales des hélices des bateaux. Lorsque une hélice tourne trop rapidement, le cycle pression-dépression en amont et en aval des pales fait qu'un tourbillon de gaz (eau vaporisée) s'établit entre les deux faces de chaque pale. La situation devient rapidement instable, et l'hélice se met à tourner dans du gaz plutôt que dans l'eau, le moteur s'emballant. Un phénomène semblable peut se produire au fond du lit des glaciers. Au-delà de certaines conditions de pression et vitesse, et si un mauvais drainage du lit fait qu'il y a accumulation d'eau de fusion, il se crée au voisinage d'un obstacle une zone mi-solide mi-liquide, brassée par le déplacement de l'énorme masse de glace. Les conditions de fonctionnement en cavitation peuvent rester localisées sur une petite partie du glacier, mais elles peuvent aussi se propager d'obstacle en obstacle, et la vitesse de l'ensemble du glacier est alors multipliée par dix ou cent, dans des conditions dites de "cavitation généralisée" [376]. On a vu effectivement des glaciers partir brusquement dans un tel mouvement, et faire en quelques jours ou quelques semaines autant de chemin qu'en dix ans, avec des conséquences parfois dramatiques sur l'environnement [262].

Pourtant, ce processus de foirage, à lui seul, et en supposant qu'il soit possible sur des glaciers de calotte polaire, ne peut pas expliquer une catastrophe mondiale. Même en admettant qu'il s'agisse d'un des plus gros glaciers du Groenland ou d'Antarctique, les volumes de glace apportés seraient tout juste suffisants pour élever de quelques centimètres le niveau des mers. La durée du phénomène (quelques jours ou semaines) permettrait au globe terrestre d'absorber le surcroît de diamètre (avec le ralentissement que cela implique), sans trop souffrir: tout au plus aurait on des risques de tempêtes avec des vagues plus hautes que la normale sur les côtes. Peut-il y avoir des crises plus violentes ?

La débâcle généralisée.

André Capart [108] répond à cette question par l'affirmative. Certains glaciologues, sans être aussi convaincus, ont travaillé sur de telles hypothèses [346, 424, 430, 438, 440]. Il est en effet possible de concevoir l'effondrement dans la mer de certaines zones des calottes polaires, qui libérerait en quelques heures un volume considérable de glace.

Tout d'abord, expliquons ce terme de débâcle. On constate, sur le cours des fleuves qui gèlent, que des barrages naturels en glace peuvent se produire pendant les périodes de dégel. Lorsque celui-ci se poursuit, la libération de glaces en amont du barrage entraîne une accumulation d'efforts, qui fait qu'au bout d'un certain temps le barrage cède brusquement. L'eau et les blocs de glace accumulés descendent alors la vallée du fleuve, créant un raz-de-marée qui peut causer des dégâts importants. Pendant la période du petit âge glaciaire en Europe (entre 1600 et 1800), on ne compta plus les ponts emportés. Le phénomène est toujours surveillé avec attention par les habitants des régions septentrionales (Alaska, Canada, URSS).

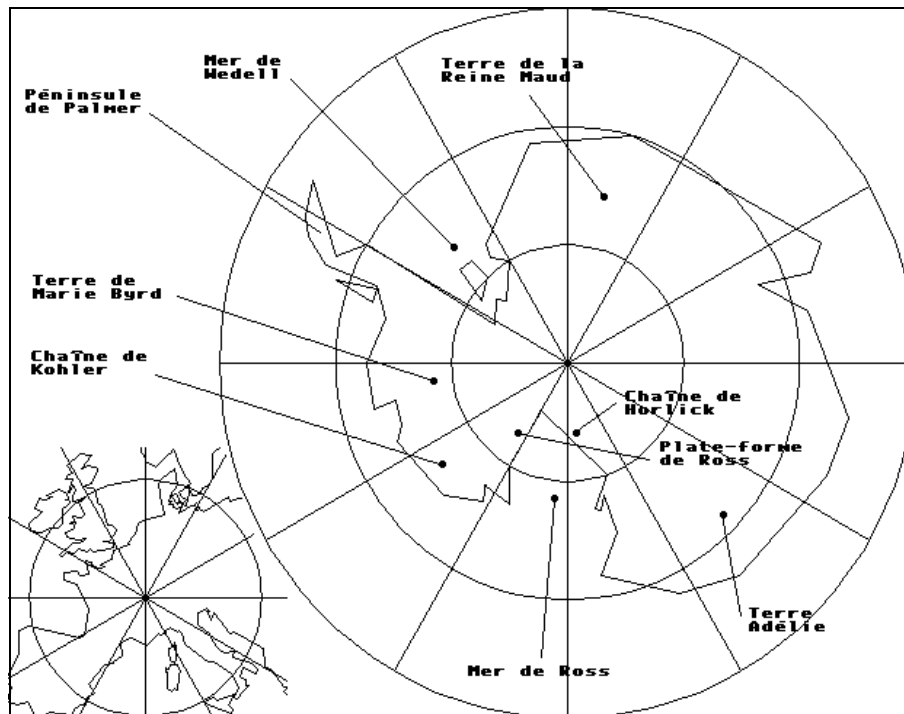
Ce qui pourrait se passer dans les zones des calottes polaires est un peu différent. Les cartes du socle rocheux du Groenland [129] et de l'Antarctique [434], montrent que de vastes surfaces portant des calottes de glace de mille à trois mille mètres d'altitude, ont leur socle sous le niveau de la mer. A l'origine de la formation de la calotte, ces zones pouvaient être en partie émergées mais le poids de la glace, déformant le plancher élastique que constitue la lithosphère sous la croûte terrestre, provoque au bout de quelques milliers d'années l'enfoncement du socle rocheux sous le niveau de la mer, un peu comme un radeau s'enfonce dans l'eau sous la charge (mécanisme d'isostasie).

- ◆ Le Groenland est une immense cuvette de montagnes (de la dimension de l'Europe de l'Ouest), ouverte du côté ouest par une vallée de 200 kilomètres de large débouchant entre Thulé et Upernivik dans la Baie de Melville (Mer de Baffin); le fond de la cuvette et celui de cette vallée se trouvent en moyenne à cent mètres sous le niveau de la mer sur une surface aussi vaste que la France.
- ◆ La Terre de Marie Byrd (face au Pacifique Est), est une zone en forme de couloir de cinq cents kilomètres de large et d'autant de long, située entre le Continent Antarctique proprement dit (Chaîne de montagnes de Horlick), et un arc d'îles d'origine volcanique de plus de 500 km de long (Chaîne de Kohler) qui surplombe l'Océan. Le fond descend jusqu'à 1000 m sous le niveau de la mer, et la surface de la glace est entre 1000 et 2000 m d'altitude. La Terre de Marie Byrd se prolonge vers l'océan à l'ouest par la plate-forme de Ross, qui est un golfe recouvert par de la glace flottante (shelf). A l'est, la glace rejoint la mer dans une zone où quelques îles situées dans le prolongement de la Péninsule de Palmer sortent au-dessus du niveau de la glace.

Il n'est pas toujours possible de savoir quelles sont les zones où la glace descend jusqu'au socle.

- ◆ La plate-forme de Filchener-Ronne, qui donne sur la Mer de Wedel (face au Cap de Bonne Espérance), est une zone assez semblable à la Mer de Ross par sa configuration, mais de dimensions plus réduites.
- ◆ La zone du pôle sud elle-même a une configuration assez voisine de celle du Groenland. S'il n'y avait pas de glace, le pôle sud ne serait pas à trois mille mètres d'altitude, mais sur la côte du continent, séparé de l'océan par des arcs insulaires. A quelques centaines de kilomètres du pôle sur le méridien 90° Est, le socle est à cinq cents mètres sous le niveau de la mer, alors qu'à la même distance sur le méridien 90° Ouest, le socle s'élève à trois mille mètres, puisque des chaînes de montagnes percent la surface de la glace.
- ◆ La zone de l'Antarctique de l'Est est celle où les altitudes sont les plus importantes (4000 m), et où se trouvent stockées les plus grandes quantités de glace de la planète. Le socle est rocheux, et se situe par endroits au-dessus du niveau de la mer, et par endroits au-dessous. On suppose qu'il s'y trouve des lacs sous-glaciaires, non ouverts sur la mer [434]

La carte ci-dessous (projection polaire équidistante, 60°S - 90°S) montre la situation des différentes zones de l'Antarctique citées. L'Europe de l'Ouest, tracée à la même échelle, tiendrait à l'aise trois fois



à l'intérieur de l'Antarctique, comme on peut le constater.

Que se passe-t-il à la base d'une calotte polaire épaisse ? La glace se comporte comme un mauvais conducteur de chaleur (ou comme un mauvais isolant). De plus elle est recouverte d'une épaisse couche de neige qui constitue, elle, un bon isolant. Les montagnards le savent bien, le toit d'un chalet protège mieux du froid s'il est recouvert de neige que s'il est dégagé. Les Eskimos qui vivaient il y a peu dans des igloos connaissent cette propriété. Le phénomène d'accumulation progressive de la neige et de la glace sur les calottes (5 à 50 cm par an suivant les zones), augmente d'année en année la résistance thermique entre la base et le haut de la calotte, comme si l'on déroulait chaque année une couche supplémentaire de laine de verre sur le toit du chalet en question. Or le modèle de flux thermique et de température à travers une calotte polaire doit prendre en compte deux "conditions aux limites" incontournables :

- ◆ Le flux de chaleur sortant du globe terrestre est en moyenne de 50 milliwatts par mètre carré. Il est sans doute plus élevé dans certaines zones, comme la Mer de Ross ou la Terre de Marie Byrd, qui sont des régions volcaniques.
- ◆ La température en surface de la calotte est maintenue en moyenne à 40 degrés en dessous de zéro par les conditions climatiques.

Ces deux chiffres sont des valeurs moyennes, et peuvent changer suivant les régions des calottes polaires. L'apport de frigories (c'est-à-dire de calories négatives) en surface par les vents et les précipitations, est bien supérieur à l'apport de calories (positives) à la base par le flux géothermique. La fusion à la base absorbe le flux géothermique provenant du socle, et permet de maintenir la température à quelques degrés en dessous de zéro (et non pas zéro, à cause de la pression). La calotte a donc tendance à épaissir plus vite en surface qu'elle ne fond à la base, ce qui lui donne une certaine pente, et la force à fluer vers la mer. Pour une épaisseur de 2000 à 3000 mètres de glace (suivant les chiffres ci-dessus), la répartition de température s'établissant en fonction de la profondeur (gradient vertical) est telle que la base de la calotte est tempérée (en fusion). Il y a donc des situations de transition durant lesquelles la surface isotherme à la température de fusion (-2 à -3°C), qui se situe dans la roche du socle pour une calotte à base froide, remonte au fur et à mesure de l'épaississement et passe au dessus du niveau du socle, ce qui fait apparaître à la base de la calotte une zone tempérée [378]. La vitesse de croissance de la surface tempérée à la base peut être extrêmement rapide, la configuration géométrique de la calotte, très "plate", produit un effet d'amplification extraordinaire : il est raisonnable de penser que dans les périodes où l'épaisseur d'une calotte augmente, la moitié de la superficie de base peut passer de l'état froid à l'état tempéré en un ou quelques siècles.

Reste à voir comment peut s'évacuer l'eau, dont le débit est

proportionnel à la surface en fusion. On sait qu'un réseau hydrologique s'établit sous les calottes. On a en effet trouvé des icebergs retournés sens dessus dessous, sur lesquels on voit des tunnels creusés par des torrents ou fleuves sous glaciaires, lesquels se jettent bien entendu à la mer sous le niveau zéro. Mais ces réseaux ne peuvent fonctionner que dans les zones accidentées. Dans les zones comme le centre de la cuvette groenlandaise, ou la Terre de Marie Byrd, l'eau, pour s'évacuer, doit percoler (comme l'eau à travers le café avant d'arriver dans votre tasse) à travers une couche de sédiments épaisse de quelques dizaines à quelques centaines de mètres. L'augmentation brutale du débit de cette eau de fonte produit une mise en pression de ces terrains sédimentaires, qui peuvent devenir fluents. On a donc des masses considérables de glace, posées sur un tapis de boues [332, 414]. Plus le débit augmente, plus la vitesse de percolation diminue du fait de la dissolution des sédiments, par un phénomène nommé "lixiviation" : en quelque sorte, le filtre se colmate. Donc l'épaisseur de la couche fluente augmente.

Une calotte polaire, plus épaisse vers le centre qu'à la périphérie et soumise à une accélération centrifuge du même ordre de grandeur que l'effet dû à la pente, doit normalement évoluer vers une situation instable, avec une zone centrale qui n'est contenue mécaniquement que par la périphérie, moins épaisse, et dont la base plus froide et solide repose sur un socle rocheux ou sédimentaire. Comme le bouchon de glace qui s'établit dans le lit d'un fleuve, ces zones sont susceptibles de s'effondrer, sous la forme d'un glissement de terrain [314] : les glissements de terrain en montagne sont souvent causés par la présence d'une couche géologique rendue fluente par une saturation en eau, et qui supporte un poids trop important pour son équilibre. De plus, le fait que la base de la couche instable soit située sous le niveau de la mer, fait que le glissement, s'il se produit, ne sera pas bloqué : la glace qui s'effondre peut flotter et s'évacuer horizontalement sans apparition de contraintes qui pourraient arrêter le phénomène sur une pente de frottement limite. De plus, une boucle de rétroaction positive apparaît avec l'élévation du niveau de la mer et les ondes de choc hydrauliques d'un tel effondrement : il est à craindre qu'un effondrement localisé se propage par cet effet sur d'immenses zones, et peut-être même d'une calotte polaire à l'autre. Le mécanisme de fracturation de proche en proche [352], qu'on peut observer dans un glissement de terrain en montagne, doit jouer aussi, transformant cette énorme masse solide en un "sac de billes", qui va se comporter globalement comme un liquide et s'affaisser jusqu'à ce que toute la glace flotte. Les spécialistes étudiant les grands glissements de terrain [113, 412], ainsi que des chercheurs qui ont cherché à modéliser l'effondrement d'une calotte polaire [440], confirment que le mouvement de chute d'énormes masses solides liquéfie ou même vaporise de l'eau qui joue le rôle de lubrifiant dans les plans de fracturation. Un témoin [226] qui a observé le vèlage d'un grand iceberg au Groenland et photographié ce processus, a mis en évidence ces

mécanismes de fracturation hydraulique, impressionnants même sur des photographies prises de loin et mal rendues par la publication.

Les zones qui semblent les plus menaçantes actuellement, sont la Terre de Marie Byrd, la cuvette nord-occidentale du Groenland et l'Antarctique de l'Est.

- ◆ La Terre de Marie Byrd est largement ouverte sur la mer de Ross, dans laquelle sa glace s'écoule actuellement comme une flaque de miel. Mais la largeur du couloir entre les deux chaînes de montagnes est constante, il ne peut donc pas y avoir d'effet de coincement mécanique. De plus, le flux géothermique dans cette région est important : les deux chaînes qui bordent cette région sont des arcs volcaniques. Hapgood supposait que la vitesse d'accumulation de la neige dans cette zone est telle qu'un mécanisme régulier d'accumulation lente - décharge brutale, en oscillations de relaxation, peut s'y établir avec un rythme de cinq à dix millénaires. Mais les datations récentes de la glace qui s'y trouve semblent prouver que le phénomène de débâcle ne s'y est pas produit dans les derniers cinquante millénaires, ce qui ne signifie pas nécessairement que le risque soit nul aujourd'hui.
- ◆ La cuvette nord-occidentale du Groenland ne semble pas avoir connu de débâcle dans les vingt derniers millénaires. D'une part la glace (datée par les concentrations isotopiques Oxygène 18 / Deutérium) semble être très ancienne dans cette zone. D'autre part, la configuration mécanique de cette cuvette ouverte sur une vallée assez étroite fait qu'il doit y avoir un effet de coincement qui pourrait bloquer l'effondrement. Mais cela n'est pas certain. On pourrait imaginer par exemple un foirage du large glacier débouchant dans cette vallée, qui libère les contraintes compressives sur la glace située derrière. L'envahissement de cette vallée par un mélange d'eau et de gigantesques icebergs, agités par les réaction hydrauliques de l'océan (raz-de-marée se réfléchissant sur la Terre de Baffin), pourrait alors transformer la glace de la cuvette en sac de billes du fait de la fracturation. Si l'ouverture d'un sac de billes est plus grande qu'une dizaine de fois le diamètre des billes, il se vide assez rapidement. On pourrait aussi imaginer que la débâcle généralisée dans la Terre de Marie Byrd provoque le même phénomène sur le Groenland nord-occidental. Denton et Hughes [328] pensent d'ailleurs que la disparition rapide du centre de la calotte des Laurentides qui se trouvait à l'emplacement actuel de la Baie d'Hudson a été provoquée par l'ouverture d'un chenal permettant aux glaces qui s'effondraient de rejoindre l'océan en flottant. On peut constater sur une carte [129] que ce chenal (Déroit d'Hudson), entre le Labrador et la Terre de Baffin, était plus étroit et plus long que celui qui permettrait aux glaces de s'évacuer depuis la cuvette nord-occidentale du Groenland.

- ◆ La glace de l'Antarctique oriental repose sur un socle en partie émergé, et en partie immergé. Mais l'épaisseur et la masse de la glace sont telles, que des phénomènes comme la cavitation ou le chauffage par cisaillement à la base peuvent produire une avalanche jetant à la mer une énorme quantité de glace [407].

Certains des malheurs que les traditions du passé relatent pourraient venir de ces phénomènes de débâcle généralisée. En effet, les calottes polaires stockent des quantités de glace colossales. Chacune des deux zones instables de la Terre de Marie Byrd ou du Groenland nord-occidental pourrait lâcher brutalement dans les océans une masse de glace de quelques centaines de milliers de kilomètres cubes. On peut raisonner, par la suite, sur un effondrement moyen dans lequel 500 000 kilomètres cubes de glace seraient jetés à la mer. Ce volume est approximativement équivalent au volume total des terres émergées de l'Europe de l'Ouest, ou encore à un cube de 80 km de côté. Si on découpait un tel cube en petits morceaux pour le partager entre tous les habitants de la planète (cinq milliards), chacun d'eux recevrait 100 000 mètres cubes, soit un cube de 46 m de côté ayant le poids d'un gros navire.

La surface des océans étant environ de 350 millions de kilomètres carrés, pour chacune de ces masses de glace libérée, l'élévation du niveau des mers serait de près d'un mètre et demi. La raison pour laquelle ce processus produirait un cataclysme mondial n'est pas tellement liée à ce qui peut se passer au voisinage des calottes polaires à la suite d'une débâcle généralisée, mais plutôt aux réactions hydrauliques qui s'ensuivraient. Les encadrés des pages suivantes contiennent, sous forme simplifiée et quelque peu anecdotique, quelques rappels de physique nécessaires pour comprendre la suite de ce chapitre. Les lecteurs scientifiques qui connaissent les causes et les effets de la force centrifuge et de la force de Coriolis peuvent sauter directement à la fin de ces encadrés.