

OBSERVATIONS DE GEOMORPHOLOGIE LITTORALE A MAMBA POINT

(Monrovia, Libéria)

JEAN TRICART

12 Photos

Zusammenfassung: Geomorphologische Beobachtungen am Kap Mamba Point

Das Kap Mamba Point ist infolge der nur sehr langsamen Verwitterung des Dolerits als Arbeitskiff ausgebildet und zeigt in wohlunterschiedenen Höhenstufen die genaue Anordnung der küstenformenden Vorgänge. Die salzige Gischt verhindert das Aufkommen von Vegetation auf dem Gipfel des Kliffs. Folgende Vorgänge wirken zusammen: Pockennarbige Salzverwitterung, die manchmal zur Bildung kleiner Löcher führt; thermische Mikrodesquamation; Zersetzung durch niedere Pflanzen, jedoch beschränkt auf eine Übergangszone auf dem Gipfel. Weiter unterhalb, wo die Felsen vom Meer gespült werden oder zur Zeit des Hochwasserstandes vorübergehend unter Wasser gesetzt sind, ist der Bereich der Korrosion mit Karren- und Rillenbildung zu finden. Noch tiefer, im unteren Teil des Gezeitenbereichs, bedeckt eine dünne Schicht von Algen ein scharfkantiges Mikrorelief. Die Bearbeitung ist sehr schwach. All diese Vorgänge schaffen ausschließlich sandigen Grus. Er wird zusammen mit den Blöcken, die in der Höhe der Hochwasserlinie und unmittelbar darunter durch Kluftverwitterung aus dem Verband gelöst wurden, durch die Wellen fortgeführt. Die Wellen donnern so lange gegen die Blöcke, bis sie unter den Gezeitenbereich fallen oder gleiten. Hier werden sie nicht mehr bewegt und überziehen sich allmählich mit Algen. Das Zusammenwirken dieser Vorgänge erklärt, daß entlang solcher Küsten ausschließlich Sand und große Blöcke (1 m und mehr) auftreten, ohne die für Kliffs im feuchttropischen Bereich typischen Zwischenfraktionen.

Unter den tropischen Küsten stellt Mamba Point einen Übergangstypus dar, ähnlich dem in einigen Teilen Ostbrasilien (z. B. Umgebung von Salvador). Die feuchte Luft und das Fehlen ausgeprägter trockener Jahreszeiten verhindern die Lochbildung durch Salzsprengung; auch die zu große Klufthäufigkeit wirkt sich in dieser Beziehung hemmend aus. Die Salzwirkung ist dort am intensivsten, wo das Klima trockener ist (Umgebung von Dakar), Cabo Frio in Brasilien), umgekehrt tritt sie an der Elfenbeinküste, wo die Verdunstung noch geringer ist, stärker zurück. In den Tropen gibt es also, je nach vorherrschendem Klima, verschiedene klimamorphologische Kliffküstentypen. Sie können für die Rekonstruktion der jüngsten Paläoklimata benutzt werden, wie es Verfasser am Beispiel Brasilien durchgeführt hat.

Andererseits ist in der Gegend von Monrovia das Niveau der maximalen morphogenetischen Wirksamkeit, wo Strandterrassen gebildet werden, etwa in der Höhe des Meereshöchststandes. In gemäßigten Breiten ist es tiefer gelegen, etwa im Bereich des Tidenhubs. Wo die Salzkristallisation intensiver ist, liegt das Niveau noch höher, nämlich oberhalb des höchsten Wasserstandes. Es ist notwendig, dieser Tatsache bei der Erklärung und Korrelation der jüngeren Meeresspiegelstände Rechnung zu tragen. Sie hilft uns, die verschiedenen Höhenlagen gewisser postglazialer Strandterrassen der tropischen Breiten zu erklären, und ebenso die verschiedenen Höhenlagen tropischer und außertropischer Terrassen.

Le cap de Mamba Point termine l'alignement de collines qui constitue le site de Monrovia. Il s'agit d'une intrusion de dolérites gabbroïdes formant un sill au milieu des gneiss précambriens. Comme c'est la règle sous les climats tropicaux humides, ces roches basiques résistent beaucoup mieux à l'altération que les roches acides et constituent, ainsi des reliefs résiduels. Sur la côte elles donnent des falaises qui interrompent, sur environ 2 km, la monotonie des cordons sableux et des plages sans fin qui se suivent de Tabou à Freetown, autres pointements rocheux étendus les plus proches. Battu des vagues, le cap de Mamba Point se prête à l'examen des formes d'attaque des falaises qui, sous les climats tropicaux, présentent une grande originalité (J. TRICART 1957, 1958, 1959).

Nous décrivons donc les formes de détail des falaises, puis nous essaierons de les replacer dans l'évolution générale des littoraux tropicaux.

A) Le modèle des falaises

Mamba Point est cerné, sur toute la partie saillante du littoral, d'une falaise continue qui atteint son maximum de hauteur sur la face ouest du cap. L'origine en est tectonique: sur le bord de l'estuaire de Monrovia, la falaise se continue par un talus de dolérite fort raide et rectiligne que dévalent les rues qui relient Water Side à Broad Street. Il s'agit à peu près certainement d'un escarpement de faille limitant au NW un bloc basculé vers le SE, direction dans laquelle le plateau de dolérites disséqué en collines plonge doucement sous les sédiments marins, ouliens et plus récents. Les falaises atteignent ainsi leur hauteur maxima à l'extrémité du cap et sur sa face occidentale, avec une bonne trentaine de mètres. Elles s'abaissent progressivement vers le SE et se terminent par des chicots de dolérite ennoyés sous les amas de sable considérables que les tempêtes entassent sur la haute plage (photo. 1). Le flanc NW du promontoire a été bouleversé par l'installation d'une carrière dont on a tiré les enrochements nécessités par la construction du port de Monrovia. Nos observations portent essentiellement sur l'extrémité du cap, exposée aux tempêtes d'W, du SW et du S.

Contrairement à ce qui s'observe sur le littoral occidental de Côte d'Ivoire (J. TRICART 1957), les falaises de Mamba Point sont nues. La végétation ne commence, comme sous les climats tempérés, que sur la convexité, dont la pente ne dépasse pas une dizaine de degrés, qui domine les escarpements. Végétation maigre, d'ailleurs, secondaire, très fortement dégradée, où domine le palmier nain épineux,



N° 1: JT CXLVI-10 3/59
Accumulation de sable de tempête, flanc SE de Mamba Point.



N° 2: JT CXLVI-18 3/59
Étage littoral, Mamba Point (Monrovia).

ce qui rend son parcours aussi agréable que celui des fourrés d'ajoncs des landes bretonnes les plus épaisses. Nous examinerons, dans la seconde partie, la signification écologique de cette formation. Au bord de la falaise, le sol y est mince, discontinu, avec des chicots de dolérite lapiazés (photo. 2).

Là où s'arrête la végétation, on relève une brusque rupture de pente. Les formes convexes de versant s'interrompent brusquement et passent, en un ou deux mètres seulement, à des escarpements rocheux de falaise nue. Généralement, la végétation est en retrait d'un ou deux mètres par rapport au bord des abrupts. Une banquette de roche nue souligne ainsi leur sommet, banquette qui s'élargit parfois jusqu'à une dizaine de mètres sur les caps (photo. 2), où elle permet de reconstituer un versant convexe en pente modérée plongeant sous la mer. Tout le modelé de falaise abrupt a été excavé dans l'ancien versant et témoigne d'un recul appréciable de la falaise depuis l'installation de la mer dans sa position actuelle. La banquette de roche nue qui ourle le sommet des escarpements et, parfois, celui-ci lui-même, sont caractérisés par une teinte noire, qui rend la roche encore plus foncée qu'à l'état naturel. Cette teinte disparaît sur le sommet des promontoires où la

banquette s'élargit. Elle est due à des végétaux inférieurs de très petite taille, algues, lichens, champignons qui forment une espèce de patine végétale.

Cette banquette de roches noircies constitue ainsi une première élément de zonation littorale. Elle forme une transition. Elle correspond à des sites tels que l'abondance du sel des embruns soit trop grande pour entraver le développement des plantes supérieures, mais où, néanmoins, elle autorise encore une vie élémentaire. Plus bas, sur les escarpements et plus près de la mer, sur les petits promontoires, l'aspersion par l'eau de mer devient trop fréquente sur ce littoral battu par une mer très dure pour autoriser le développement de ces formes mineures de végétation. La roche y est parfaitement nue, d'un gris moyen, plus claire que dans cet étage de transition.

Avec la roche nue commencent les étages de la falaise dont le façonnement est l'œuvre directe et à peu près exclusive de la mer. Le modelé d'ensemble est sous l'influence prépondérante de la structure, comme on peut s'y attendre en présence de roche nue. La dolérite forme des filons-couches qui ont pour effet d'associer des joints horizontaux, délimitant des strates épaisses de 2 à 5 m, et des diaclases verticales de disposition grossièrement prismatique, dont l'espacement varie de 30—40 cm à 1,5—2 m (photo. 3). La roche n'est donc pas massive, beaucoup moins que les gneiss lardés de dolérites de Tabou (Côte d'Ivoire) ou d'Ilheus (Bahia). Elle offre une bonne prise à l'action mécanique des vagues qui exercent une puissante action de délogement des quartiers de roche. Sous son effet, un étage apparaît. Il associe, à la partie supérieure de la falaise nue, des corniches et abrupts de roche en place, qui généralement dominant une banquette structurale située à mi-hauteur de la falaise et déterminée par le dégagement d'un joint majeur subhorizontal (photo. 4). La mer, lors des tempêtes, projette des paquets d'eau sur cette banquette et ces paquets pénètrent le long du joint qu'ils élargissent, ce qui met en porte-à-faux les prismes de la couche supérieure qui s'effondrent dès que l'élargissement du joint est suffisant.

Les éboulements de prismes donnent naissance à un nouvel étage, qui coïncide avec la surface de la banquette structurale là où elle est assez élevée (niveau des hautes mers moyennes et au-dessus). Il est caractérisé par des chaos de quartiers de roche éboulés au pied des escarpements de la haute-falaise (photos. 2, 4, 5). Là où la banquette structurale est plus basse et normalement recouverte en haute mer, les blocs ne s'accumulent pas. Il semblent être chassés par les paquets de mer de tempête jusqu'à ce qu'ils tombent en contrebas de la banquette (photos. 3 et 6).

L'étage inférieur coïncide avec la zone de balancement des marées. Il comporte d'une part des affleurements de roche en place, formés par les prismes situés en dessous de la banquette structurale et dissociés sur place, d'autre part des blocs éboulés depuis les étages supérieurs et accumulés en chaos (photos. 2, 3 et 6). Parfois, à l'extrémité du cap, plus accorre, les blocs éboulés tombent en dessous du niveau des basses mers (photo. 6).



N° 3: JT CXLVI-18 3/59
Falaise de dolérites, Mamba Point, Monrovia.

A ces étages guidés par le démantèlement de la roche en fonction des diaclases et des joints se combinent des microformes de désagrégation qui varient en fonction de la position par rapport au niveau de la mer.

Au niveau supérieur, au contact de la végétation, dans l'étage de transition, l'activité géomorphologique est très réduite. Aucun sol ne se forme. La libération de débris est faible car ces plantes inférieures ne désagrègent pas beaucoup la dolérite. Une très petite quantité de sable grossier, dans lequel on reconnaît les feldspaths détachés de cette dolérite gabbroïde, se rassemble dans les creux de la surface des rochers. Mais la plupart des débris disparaissent dans les fissures béantes dont le développement est un indice de la prépondérance des processus de corrosion chimique. Cependant, à la différence de ce qui s'observe dans l'intérieur, nous n'avons jamais observé de véritables lapiès sur les têtes de rochers de l'étage de transition, ce qui semble indiquer que la corrosion y est relativement moins intense.

La relative abondance du sel aurait ici essentiellement un effet inhibant. En effet, contrairement à ce qui s'observe sur d'autres littoraux tropicaux (Cap Vert, Cabo Frio dans l'Etat de Rio de Janeiro et Salvador au Brésil), la cristallisation du sel des embruns est peu active. Bien que nos observations aient eu lieu en saison sèche, après 6 jours sans pluie (ce qui est assez rare), nous n'en avons relevé que peu d'exemples. Les cavités où la stagnation de l'eau de mer permet la cristallisation du sel sont rares. Celles qui existent sont peu développées (photo. 7). L'une d'entre elles, parfaitement typique cependant, nous servira d'exemple. Elle est guidée par une diaclase plus ou moins parallèle au rivage et, de ce fait, très allongée. Au tiers supérieur de sa profondeur, elle présente une petite banquette qui était couverte par un glaçage de sel cristallisé. Elle est donc le siège d'une certaine désagrégation par la cristallisation du sel. Cependant, ce phénomène n'est pas prépondérant dans sa genèse. La désagrégation thermique joue aussi, libérant de minces copeaux de roche, épais de 1—3 mm et atteignant un diamètre de 5—10 mm. On les aperçoit, concentrés par le ruissellement, à l'extrémité de la petite vasque. Les raisons



N° 4: JT CXLVI-14 3/59
Destruction des falaises de dolérite par éjection le long des diaclases.



N° 5: JT CXLVI-16 3/59
Chaos de blocs au niveau d'un plan plus haute mer, Mamba Point.



N° 6: JT CXLVI-11 3/59
Esquisse de lapiès, étage intertidal, partie supérieure, Mamba Point.



N° 7: JT CXLVI-15 3/59
Vasque de corrosion, limite de la végétation, Mamba Point.



N° 8: JT CXLVI-13 3/59
Vasque de corrosion et cristallisation du sel, Mamba Point.



N° 9: JT CXLVI-17 3/59
Micro-alvéolisation de blocs de dolérite, Mamba Point.

de cette faiblesse de la désagrégation par cristallisation du sel sont multiples. Certaines résultent de la structure. La grande densité des diaclases entrave la formation des cuvettes fermées dans lesquelles l'eau de mer stagne assez de temps pour s'évaporer. La dolérite ne comporte pas de micas qui, comme le montrent des expériences en cours, est particulièrement sensible à la cristallisation du sel qui provoque son clivage. Mais cela ne suffit pas. À Dakar, les mêmes dolérites sont beaucoup plus attaquées. Le climat intervient donc aussi. Monrovia est trop humide pour permettre une facile cristallisation du sel des embruns. Celle-ci n'est possible que lors des périodes de plusieurs jours sans pluie consécutifs de la saison sèche. Encore est-elle ralentie par l'humidité toujours élevée de l'air. Le plus souvent, le sel des embruns, avant de pouvoir cristalliser, est lavé par les pluies qui entretiennent un intense ruissellement sur les têtes de rochers nus de la partie supérieure des falaises. Le colluvionnement de débris de désagrégation thermique dans les creux témoigne de son importance.

Généralement, la cristallisation du sel est donc incapable d'excaver des vasques. Elle se limite à des effets plus menus. La dolérite, dans toute la partie de la falaise qui n'est jamais recouverte à haute mer et seulement soumise à l'aspersion modérée par les embruns, présente de nombreuses petites alvéoles dont la densité est telle que certains blocs prennent un aspect spongieux (photos. 8 et 9). Leur dimension oscille le plus souvent entre 0,5 et 1,5 cm, tant pour leur diamètre que pour leur profondeur. Elles se développent sous l'effet de la cristallisation du sel et, à la différence des vasques, affectent indifféremment les surfaces plus ou moins inclinées. Dans certains cas, nous avons pu constater que ces alvéoles s'amorçaient à partir de concentrations de cristaux de feldspath. Il semble que ces dernières facilitent l'apparition de fines fissures dans lesquelles l'eau salée pénètre et cristallise, ce qui les agrandit progressivement et fait naître l'alvéole. Cette désagrégation par cristallisation du sel en très petites masses, beaucoup moins généralisée que celle qui provoque la formation des vasques, est, elle aussi, une conséquence du climat humide. Les périodes d'évaporation ne sont ni assez longues ni assez intenses pour permettre l'évaporation de masses d'eau importantes, la vasque représentée sur la photo. 7 semble avoir à peu près atteint une dimension limite. Elles suffisent cependant pour assurer la cristallisation du sel des faibles quantités d'eau qui pénètrent dans les fissures entre les cristaux de la roche. D'où la généralité des petites alvéoles. Celles-ci s'associent, tant du fait de la lithologie que du climat, à des vasques mal développées, toujours de petite taille (maximum quelques décimètres au lieu de plusieurs mètres au Brésil oriental) qui, souvent, s'entaillent sur le sommet des têtes de rochers entourées de diaclases (photo. 8).

La cristallisation du sel se combine à une désagrégation thermique assez intense, qui semble favorisée par la teinte foncée de la roche, facilitant un rapide échauffement au cours des périodes de forte insolation toujours brèves sous ce climat humide et nuageux. Elle produit une microdesquamation,

libérant des copeaux à la surface très rugueuse qu'on voit près de se détacher sur les photos. 8 et 10. La désagrégation thermique attaque de préférence les arrêtes, soumises à des variations de température plus accusées lorsqu'une averse succède à une éclaircie. Elle agit ainsi, notamment, sur les crêtes qui entourent les vasques (photo. 8) et bloque leur approfondissement. Elle s'exerce aussi sur les arrêtes des quartiers de roche au contact des diaclases et les réduit progressivement, amorçant des boules (photo. 10), dans la formation desquelles l'altération chimique ne joue qu'un rôle très mineur. Grâce à elle, les diaclases s'évasent rapidement vers le haut (photo. 8).

Ces divers processus agissent efficacement sur la partie supérieure des falaises nues et réduisent directement la roche en sable assez grossier (mode vers 1 et 1,3 mm). Les copeaux de desquamation, en effet, minces et affaiblis par les effets de fatigue, ne résistent pas aux chocs et se fragmentent aussitôt en sable. Ce sable, lavé par les paquets de mer des tempêtes exceptionnelles et, d'une manière plus permanente, par le ruissellement, est entraîné à travers les diaclases béantes jusque dans l'étage intertidal et, parfois, lorsque la côte est assez accore, jusqu'en dessous du niveau des basses mers. Nulle part il ne se forme de galets. Nous retrouvons là un caractère typique des littoraux tropicaux, dont l'explication, ici, est établie avec une parfaite certitude: elle réside dans l'absence de processus de macrofragmentation. Cristallisation du sel, thermoclastisme et, moindrement, désagrégation par les végétaux inférieurs de l'étage de transition sont incapables de détacher de la pierraille.

La partie supérieure de l'étage intertidal, celle qui n'est recouverte que peu de temps à marée haute, à laquelle il faut rattacher certaines pointes très exposées, au-dessus de la marée haute, mais qui sont régulièrement aspergées par des paquets de mer importants, est caractérisée par une autre évolution. On n'y observe aucune vie marine: ni algues ni coquillages. Mais les processus subaériens à l'œuvre dans l'étage supérieur sont ici inefficaces. On n'observe plus ni alvéolisation par la cristallisation du sel ni microdesquamation. Faute de galets, l'abrasion mécanique est très faible. L'action directe des vagues se contente de démanteler la roche à partir des diaclases et des joints. Le sable libéré à l'étage supérieur joue un rôle fort médiocre. En effet, il disparaît dans les diaclases et n'est pas assez abondant pour former une pellicule continue pouvant être déplacée en masse par les vagues, à la manière de ce qui se passe avec la charge de fond des cours d'eau. L'intensité des tourbillons le met en suspension mécanique et l'effet de polissage sur la roche en place est très réduit dans les secteurs à falaise. Il n'en est pas de même à l'extrémité orientale de Mamba Point, là où la falaise disparaît. Les têtes de rochers de dolérite enfouies sous la plage sont polies par le sable et abrasées (photo. 1). Elles prennent des formes courbes, où alternent de larges concavités et des crêtes émoussées, analogues à celles qui résultent de l'abrasion par le transport de sable dans certains cours d'eau tropicaux et parentes de celles que sculpte le vent.



N° 10: JT CXLVI-12 3/59

Desquamation par désagrégation thermique Mamba Point.

La mer, dans cet étage, n'a donc qu'une action mécanique fort limitée pour ce qui est de la genèse des microformes. Elle opère beaucoup plus par corrosion, comme le montre la similitude des microformes de la zone intertidale supérieure et celles des pointes exposées au lavage fréquent par les paquets de mer. On observe d'une part un certain lapiazage, de l'autre, un émoussement. Le lapiazage est caractérisé par l'apparition de cannelures et de coups de gouges séparant des crêtes plus ou moins aigües sur les surfaces planes (photos 3 et 6). On observe particulièrement bien ces formes sur les banquettes structurales situées au niveau adéquat. Sur les pointes soumises aux paquets de mer, les lapièz présentent une certaine similitude avec les formes de corrosion directe par l'eau de pluie des roches basiques (photo. 5). Les prismes délimités par les diaclases élargies à leur sommet se sculptent en crêtes aigües aux flancs fortement concaves. Les arrêtes de raccordement entre surfaces horizontales et verticales sont émoussées et estompées, un peu comme sous l'effet de la microdesquamation, mais l'aspect de surface de la roche est tout différent. La microdesquamation laisse des surfaces très rugueuses, très âpres où abondent les fissures amorcées. La corrosion donne des surfaces beaucoup plus lisses, où les irrégularités sont à l'échelle des cristaux et n'apparaissent pas, de la sorte, sur nos clichés. Cette action de corrosion s'exerce également le long des joints horizontaux et permet ainsi la mise en porte-à-faux des prismes de la partie haute des falaises.

Cette corrosion directe par l'eau de mer ressemble beaucoup à celle qu'exerce la pluie sur les mêmes types de roches et qui atteint un développement hypertrophié aux Agulhas Negras, dans la syénite (massif de l'Itatiaia, état de Rio de Janeiro, Brésil). Elle ne semble s'exercer que là où la roche est soumise à des alternances fréquentes d'humectation et de dessiccation (d'ailleurs incomplète); bref, à un lavage discontinu. Elle est très rapide. En effet, les déblais accumulés au pied de la carrière dont on a tiré les matériaux du port de Monrovia et qui sont soumis à l'action de la mer depuis une douzaine d'années seulement, en portent déjà la trace très



N° 11: JT CXLVI-19 3/59
Débris de dolérite de la carrière du Port.

nette (photo. 11). Ces blocs ne sont pas déplacés par la mer, comme en témoigne la présence, parmi eux, de ferrailles et de détritrus divers et l'absence totale de migration de galets à partir du dépôt qu'ils forment. Là où ils se trouvent, la mer est moins violente car la côte forme un rentrant. Or, beaucoup de ces blocs ont déjà acquis un ébroué fort net, qui a arrondi leurs arrêtes et poli leurs faces. Contrairement à ce qui se produirait si cette usure était d'origine mécanique, on ne note aucune relation entre l'ébroué et la dimension des individus, ce qui confirme que ces matériaux ne sont pas brassés par les vagues et s'usent uniquement sous l'effet de la corrosion intertidale et, dans une très faible mesure, par polissage du sable. Il ne nous a pas été possible de déterminer si les très grandes différences d'usure d'un individu à l'autre étaient liées à des différences pétrographiques.

La corrosion directe par l'eau de mer cesse de faire sentir ses effets dans la partie inférieure de l'étage intertidal. Au niveau où les rochers ne sont découverts que quelques heures à marée basse, ils présentent des formes anguleuses vives contrastant avec l'ébroué de l'étage supérieur. Le passage d'un type à l'autre est très rapide. Il se fait sur une dénivellation de 0,5 m environ (photos 3 et 6). La différence se maintient même là où les rochers de l'étage inférieur sont à demi-recouverts de sable, ce qui montre bien la faible importance de l'abrasion mécanique par ce dernier. En effet, à ce niveau où, lors des marées moyennes la profondeur d'eau dépasse le mètre, la turbulence est telle que le sable entre presque totalement en suspension mécanique et frotte peu contre la roche. Les microformes aigües apparaissent en même temps que le biotope intertidal, avec son association d'algues et de mollusques. Entre ce fait et la faiblesse de l'abrasion mécanique par le sable, il y a une relation de cause à effet. La vie s'installe parce que la situation n'est pas rendue trop difficile par les actions mécaniques. A son tour, elle tend à les atténuer, ce qui explique le passage très rapide de cet étage à celui qui lui succède vers le haut. Ici, les traces de corrosion manquent

également, l'ablation semble, au total, des plus réduites. Peut-être même est-elle négligeable. En effet, l'attaque biologique par les algues semble très peu efficace. Les seules espèces rencontrées ont un très faible développement. Quant aux lithophages, ils renoncent à attaquer cette roche résistante. Nous n'en avons pas rencontré.

En fait, l'examen des formes d'ensemble du littoral nous confirme dans cette impression: la partie inférieure de l'étage intertidal ne semble pas avoir subi de recul appréciable depuis la formation du rivage actuel. Elle se raccorde généralement par une courbe régulière, enveloppant le reste de la falaise, aux pentes convexes couvertes de végétation qui dominent cette dernière (photo 1). La partie active du littoral est celle qui est au voisinage immédiat du niveau des hautes mers. C'est là que l'entaille est importante. C'est là que l'ablation a creusé une encoche dans le versant primitif envahi par la transgression flamandienne, encoche qui comporte les escarpements en falaise et les banquettes structurales coïncidant avec les joints. C'est là, en effet, que s'exerce le démantèlement des quartiers de roche par les vagues, que se produisent la désagrégation par cristallisation du sel et par microdesquamation, que s'exerce la corrosion directe par l'eau de mer. La zone d'activité morphogénétique maxima se situe donc, par rapport au niveau de la mer, à une cote plus élevée que sur les littoraux tempérés. Ici, elle se place au niveau des plus hautes mers, dans les pays tempérés légèrement en dessous des hautes mers moyennes. Il est important de vérifier la généralité de ce fait qui peut contribuer à expliquer certaines non-concordances dans l'altitude des niveaux marins récents entre zone intertropicale et latitudes moyennes.

B) *Les observations de Mamba Point et les problèmes de la geomorphologie tropicale*

Comme nous venons de l'entrevoir, les observations faites à Mamba Point, comme toutes les observations très précises, apportent une certaine lumière susceptible d'éclairer la discussion de problèmes généraux. Nous en examinerons donc quelques uns.

Tout d'abord, le problème des particularités des littoraux tropicaux. Nous avons déjà insisté sur un certain nombre d'entre elles, systématiquement laissées de côté par les auteurs de manuels avides de généralisations hâtives et bien souvent encore atteints de la maladie de l'érosion «normale». L'extrême rareté des falaises et l'absence de galets en sont les principales (J. TRICART, 1957, 1959). Nous les retrouvons ici. Les falaises de Mamba Point sont un fait exceptionnel. Elles se développent sur 2 km au milieu d'un tronçon de plages sableuses et de mangroves qui va de Tabou à Freetown, s'étendant sur 600 km à vol d'oiseau. Elles sont exceptionnelles aussi par le magnifique développement des falaises nues, qui introduit une certaine similitude avec les littoraux tempérés et de grandes différences avec les autres littoraux tropicaux. Tant au Brésil qu'en Côte d'Ivoire, les falaises qui alternent sur de courts tronçons avec les immenses plages sont généralement

couvertes de végétation jusqu'à leur pied. Ce sont des versants évoluant sous forêt avec soutirage par la mer des produits d'altération qui, soumis à un incessant mouvement accéléré, n'ont pas le temps d'atteindre un degré d'évolution aussi poussé que celui des latosols de l'intérieur. Mais ce qui arrive à la mer, ce sont néanmoins des produits d'altération pédogénétique. A Mamba Point, ce sont des produits de météorisation directe dans la genèse desquels les processus mécaniques ont la prépondérance. Par là, Mamba Point présente vraiment un caractère exceptionnel. Les raisons en sont essentiellement lithologiques. Les dolérites qu'on y rencontre s'altèrent beaucoup plus difficilement, en milieu tropical, que les roches granitoïdes. Même dans l'intérieur des terres, elles forment souvent des affleurements nus. Au Brésil atlantique, sous climat tropical humide, les points culminants sont tous constitués par des massifs d'intrusions basiques, généralement des syénites. La roche y est souvent mise à nu et érodée très lentement par corrosion directe des eaux de pluie. A Mamba Point également, les sols sont très minces et discontinus. L'altération est donc lente et libère peu de débris argileux susceptibles de permettre le développement de la végétation qui, au contraire, est exubérante sur les falaises granitiques ou gneissiques où les sols se forment facilement. Par suite de la lithologie, les conditions sont donc défavorables à la végétation, qui ne trouve pas un milieu édaphique propice. Aussi l'influence inhibante du sel joue-t-elle un plus grand rôle. Elle maintient nue de végétation supérieure une tranche qui peut s'élever en altitude jusqu'à une trentaine de mètres de haut alors que, sur gneiss, près de Sassandra (Côte d'Ivoire), les buissons forment un couvert dense dès 5 m au dessus du niveau moyen de la mer. Peut-être la vaporisation d'embruns est-elle plus active à Monrovia qu'à Sassandra du fait de l'orientation de la côte? Ce n'est cependant pas sûr. La barre, en effet, est très violente en Côte d'Ivoire.

Ces conditions lithologiques particulières nous ont permis de bien analyser les particularités des processus mécaniques qui s'exercent à Mamba Point et qui sont typiques de certains littoraux tropicaux. Aucun de ces processus mécaniques ne peut, comme le gel sur les littoraux plus froids, libérer de fragments de la dimension des pierrailles qui, ensuite, roulés par les vagues, se transforment en galets. Desquamation, corrosion, cristallisation du sel, ne fournissent que du sable et des matières dissoutes. Tous se retrouvent sur tous les littoraux tropicaux. Là où les conditions lithologiques favorisent la formation des sols, leur domaine est réduit à un très mince liseré littoral de roche nue, souvent même interrompu car, bien des fois, les formations d'altération descendent jusqu'à la mer qui n'arrive pas à exhumer la roche saine et se contente de nettoyer les boules libérées par l'altération chimique, comme vers Sassandra. De tels littoraux ne fournissent à la mer que du sable, des argiles et des produits dissous. Leur développement, en dehors des facteurs lithologiques, est favorisé par les climats humides sans saison sèche (environs de Santos et d'Ilheus au

Brésil, Côte d'Ivoire). Mais même là où, comme à Mamba Point, l'évolution est à dominante mécanique, la fourniture de débris se limite aux éléments fins, à du sable. Ce sable, toutefois est plus grossier que dans le cas précédent car les grains, peu corrodés, sont moins fragiles (J. TRICART, 1959). Ce sont surtout les roches à pédogénèse facile, gneiss et granites le plus souvent, qui libèrent les énormes masses de sables fins, à mode situé aux environs de 0,1—0,2 mm, si caractéristiques des littoraux tropicaux. On les retrouve, au Libéria, à l'E de Mamba Point, là où affleurent les gneiss précambriens.

La part respective des divers processus mécaniques analysés est fonction des différentes variétés de climats tropicaux, auxquelles elle s'adapte avec une remarquable précision. Le développement des vasques de cristallisation du sel est fonction de l'intensité de l'évaporation. Sous les climats secs, comme à Dakar dans les basaltes, il est beaucoup plus grand. Les vasques atteignent, pour peu que la roche soit assez massive pour retenir l'eau, des dimensions de 4 à 5 m et elles finissent par entailler de véritables plateformes dans les falaises des caps exposés à la houle. En dehors des climats canariens, comme celui de Dakar, elles peuvent atteindre un très beau développement pourvu que l'insolation soit suffisante, même en l'absence de saison sèche. Tel est le cas, à Cabo Frio (Rio de Janeiro, Brésil) où existe un climat local venteux à humidité atmosphérique faible, ou même à Salvador. Par contre, elles disparaissent totalement sous les climats où l'évaporation est faible du fait des pluies trop fréquentes et surtout de la grande humidité de l'air. Sous ces derniers, le sel n'a pas le temps de se concentrer par évaporation. Les flaques dues aux embruns sont tout de suite lavées par l'eau de pluie. Même les formes mineures de cristallisation du sel, comme les alvéoles, disparaissent. Tel est le cas à Tabou (Côte d'Ivoire) et à Ilheus (Bahia, Brésil), régions à culture du cacao, ce qui est significatif. Sous les mêmes climats, l'échauffement intense des roches par la radiation solaire est également entravé par la nébulosité, ce qui diminue, simultanément, le rôle de la microdesquamation. Au point de vue morphoclimatique, Monrovia présente donc un type de transition. Ces processus mécaniques s'y développent assez bien car l'humidité est beaucoup moins constante qu'à Tabou ou à Abidjan. De janvier à mars, il existe un net minimum pluviométrique qui s'accompagne d'une insolation assez intense et d'une évaporation active. Cependant, ils ne peuvent atteindre l'ampleur qu'ils revêtent sous des climats très ensoleillés comme à Cabo Frio ou franchement secs, comme à Dakar.

Cette remarquable adaptation des microformes des falaises au climat permet de les utiliser pour les reconstitutions paléoclimatiques, comme nous l'avons tenté au Brésil (1958). Parmi les divers arguments qui nous ont permis de découvrir au S de 15° lat. S l'existence d'une phase sèche au Dunkerquien, figurent les plateformes de désagrégation par cristallisation du sel des embruns, très bien développées sous des climats où, comme à Ilheus, le processus ne peut plus fonctionner de nos jours. Ces plateformes



N° 12: JT CXLVI-23 3/59
Lapiès dans les dolérites, Mamba Point (Monrovia).

sont toutes fraîches et associées à un niveau marin plus élevé que l'actuel de 1 à 2 m, mais postérieur à la transgression flandrienne. Comme le confirment les observations de Mamba Point, il importe de faire bien attention à ce que, sous les climats tropicaux, la quasi-inexistence de l'abrasion par le frottement des débris fait que le niveau d'intensité morphogénétique maxima des littoraux est situé plus haut, par rapport à la côte moyenne des mers, qu'en zone tempérée ou froide. Les banquettes de nos falaises, à Monrovia où la cristallisation du sel ne joue qu'un rôle subordonné, se placent au niveau des hautes mers. A Cabo Frio, où elles se développent par cristallisation du sel des embruns, elles dominent les hautes mers de 2 m en moyenne sur les caps et de 0,5 à 1 m dans les baies plus ou moins abritées. Il faut tenir compte de cette différence dans les tentatives de corrélations de niveaux marins à l'échelle du Globe. Moyennant cela, on dispose, simultanément, pour nos reconstitutions paléogéographiques, d'indications sur les paléoclimats et sur le niveau marin local. Il est ainsi possible de relier directement les oscillations climatiques à la chronologie glacio-eustatique, comme nous l'avons tenté pour le littoral brésilien.

La méthode s'applique également à Monrovia. Le littoral est dû, ici, à la transgression flandrienne. Pour des raisons que nous n'avons pas eu le loisir d'éclaircir, on ne trouve, à Mamba Point, aucune trace de rivages antérieurs à l'actuel. Le Dunkerquien n'a pas laissé de traces, probablement parce qu'elles ont été effacées par le recul actuel des falaises. Lors de la transgression flandrienne, la mer a envahi un relief terrestre qui s'était élaboré dans l'intérieur des terres pendant la régression correspondant au Wurm. Les versants façonnés alors, comme on peut le constater en interpolant entre le pied des falaises et leur sommet, étaient convexes, de type tropical humide. Les sols qui s'étaient formés alors étaient probablement minces, ce qui explique qu'ils aient été entièrement nettoyés sur le littoral. C'est pourquoi Mamba Point, à la différence des affleurements gneissiques voisins, est entourée de falaises rocheuses. On retrouve ces sols, qui nous permettent de

nous faire une idée des climats ayant régné pendant la régression préflandrienne, sur les collines de l'intérieur. La destruction de la végétation naturelle aux abords immédiats de la ville a provoqué leur érosion. Des têtes de dolérites percent le sol, couvert seulement de broussailles. Elles sont sculptées en lapiès qui présentent souvent une évolution assez longue. Les crêtes de ces lapiès sont bien aiguës, en draperies ondulantes. De petites vasques dans lesquelles persiste l'eau de pluie, entaillent le sommet de certains pinacles (photo. 12). Il y a donc assez longtemps que les têtes de rochers ont été mises à nu et que le sol a été enlevé. Or, les altérations qui s'observent le long des diaclases et sont actuellement à l'air libre, sont du type «pain d'épice»¹. Elles se sont formées, en profondeur, sous un sol argileux, aujourd'hui disparu, sous forêt humide. Il faut donc admettre que les versants actuels, façonnés lors de la régression préflandrienne et plongeant sous la mer, ont été élaborés sous une couverture forestière de forêt pluviale, dans des conditions semblables à celles qui permettent la genèse des latosols typiques. C'est ensuite, à une époque indéterminée mais qui semble plus ancienne que la dégradation anthropique de la végétation aux abords d'une ville qui n'a été fondée qu'en 1822 que, la forêt ayant été détruite, les sols argileux furent érodés et les têtes de rochers attaquées directement par l'eau de pluie et lapiées. Il n'est pas possible de fixer actuellement l'âge de ce changement. Est-il naturel et marque-t-il une oscillation climatique holocène? Est-il dû à une ancienne utilisation agricole? Il serait intéressant de pouvoir répondre à ces questions, car on pourrait en déduire des données sur la vitesse à laquelle s'effectue le lapiage des dolérites. Quoiqu'il en soit, il semble bien qu'ici, au moins pendant une partie de la régression préflandrienne, il ait régné un climat suffisamment humide pour permettre le maintien de la forêt. Si ce fait est confirmé, il y aurait là une différence importante avec la Côte d'Ivoire où, au Wurm, des climats secs ont régné jusqu'à Abidjan (LE BOURDIEC, 1958; P. MICHEL, J. TRICART et J. VOGT). La région humide du Libéria, qui s'étend actuellement jusqu'à la Guinée Portugaise et jusqu'au Ghana, se serait alors réduite mais aurait persisté, formant le refuge d'où les espèces de la forêt pluviale auraient ensuite effectué la reconquête de leur aire actuelle d'extension.

Annexe : Résultats de l'étude pétrographique de la dolérite et de ses produits d'altération faite au Laboratoire de Géologie de l'Université de Strasbourg par Mr. G. MILLOT et Mme. T. CAMEZ.

¹⁰ *Roche saine* : La roche contient comme plagioclases du labrador et de la bytownite, qui ne sont pas altérés, de l'augite comme pyroxène monoclinique et de la magnétite. Elle présente quelques petites

¹ L'étude de ces altérations a été faite sous la direction de Mr. G. MILLOT au laboratoire de Géologie de l'Université de Strasbourg, dont les travaux sur cette question font autorité. Nous donnons en annexe le diagnostic de Mr. MILLOT à qui nous adressons l'expression de toute notre amicale gratitude.

altérations locales en chlorite. La texture est ophitique ou doléritique avec des baguettes ou des poutrelles de plagioclases empalées dans les pyroxènes.

Il s'agit d'une dolérite grenue ou d'un gabbro doléritique.

2^o *Produit d'altération*: Dans les fissures entre les têtes de rochers doléritiques mises à nu persiste la zone de transition entre la roche saine et l'altération «pain d'épice» de Lacroix. Au delà de cette croûte, le matériau friable, entièrement formé de sesquioxides a disparu sous l'effet de l'érosion.

La croûte correspond à une ferrallitisation avec respect des structures et altération des silicates en goëthite et gibbsite (ou hydrargillite). Quelques résidus de chlorite semblent correspondre à des éléments non encore hydrolysés.

Dans la zone de transition, l'altération commence par un envahissement des pyroxènes par les oxydes de fer. Les craquelures sont garnies de goëthite et les clivages du pyroxène sont envahis par des infiltrations planes de goëthite à partir des craquelures.

De leur côté les feldspaths ont tendance à se craqueler. Ils sont à peu près intacts dans la base de la croûte puis remplacés par une poudre cryptocristalline indéchiffrable au microscope.

Références

- LE BOURDIEC, P., 1958: Aspects de la morphogénèse plio-quaternaire en Basse Côte d'Ivoire (A.O.F.). Rev. Géomorphologie Dyn., IX, p. 33—42.
- MICHEL, P., J. TRICART et J. VOGT, 1956: Les oscillations climatiques quaternaires en Afrique Occidentale. Communication au Congrès de l'INQUA, Madrid-Barcelone, sous presse.
- TRICART, J., 1957: Aspects et problèmes géomorphologiques du littoral occidental de la Côte d'Ivoire. Bull. I.F.A.N., Sér. A, XIX, p. 1—20.
- , 1958: Division morphoclimatique du Brésil atlantique central. Rev. de Géomorphologie Dyn., IX, p. 1—22.
- , 1959: Problèmes géomorphologiques du littoral oriental du Brésil. Cahiers océanographiques (Paris), XI, p. 276—308.

BERICHTE UND KLEINE MITTEILUNGEN

PROBLEM-KLIMATE DER ERDE

(nach G. T. TREWARTHA)

HERMANN FLOHN

Seinem vielbeachteten, klassische und neuere Vorstellungen geschickt kombinierenden Lehrbuch „Introduction to Climate“ (3. Aufl. 1954) hat GLENN T. TREWARTHA, Professor für Geographie an der Staats-Universität von Wisconsin (USA), nunmehr eine Darstellung klimatischer Probleme (1) folgen lassen. Dieses Werk ist ausdrücklich für die Fachwelt bestimmt; es setzt die Grundbegriffe der Meteorologie und die allgemeine Klimatologie — mit der normalen, von der Land—Meer-Verteilung beeinflussten Zirkulation der Atmosphäre und der aus ihr sich ergebenden Klimaklassifikation — als bekannt voraus. Dabei beabsichtigt er keine systematische und methodische Behandlung, sondern

a) die Beschreibung und möglichst auch Erklärung der Problem-Klimate, die von der üblichen schematischen Anordnung der Klimazonen abweichen und als „klimatische Anomalien“ aufgefaßt werden können,

b) eine Klimatologie der atmosphärischen Störungen, Wettertypen und Großwetterlagen, besonders in den Tropen, und

c) einen Versuch zur Behandlung der dynamischen Prozesse, die zu einer Differenzierung der Klimate führen.

Ein solches Buch kann die üblichen Mittelwerte und Häufigkeits-Statistiken nur als Ausgangsbasis verwenden; Statistiken der Wetterlagen und ihrer klimatischen Auswirkungen treten dazu. Die meteorologische Literatur (darunter auch in beachtlichem Umfange die deutschsprachige) wird mit viel Verständnis herangezogen; in den Tropen hat TREWARTHA verschiedene

regionale Wetterdienststellen besucht (Recife, Rio de Janeiro, Accra, Leopoldville, Nairobi, Pretoria) und ertragreiche Diskussionen mit den dort tätigen Meteorologen geführt. So ist es ihm gelungen, ein Werk zu schaffen, das geeignet ist, intensivere Forschungen anzuregen, und das schon wegen der Persönlichkeit seines Verfassers in den Kreisen der Geographen wie der Meteorologen größte Beachtung verdient.

Das Werk ist zur Gänze regional gegliedert; wegen der mehrfachen Zielsetzung ist wohl kaum ein größeres Klimagebiet ganz unberücksichtigt geblieben. Gleich der einleitende Abschnitt über Südamerika behandelt eine Fülle klimatischer Probleme: die aride Zone der Westküste, die in Ecuador und den Galapagos bis zum Äquator reicht, aber den nach S rasch seltener werden den Störungen (El Niño-Phänomen) unterworfen ist, die Winterregengebiete in Ostbrasilien, Honduras und in Teilen des karibischen Meers sowie die Trocken-zonen in Nordostbrasilien und an der Nordküste Südamerikas. Ähnliche Probleme studiert TREWARTHA in allen Teilen der Erde, stets unter Berücksichtigung der synoptisch-meteorologischen Ergebnisse. Die letzten Kapitel sind einer ausführlichen Erörterung des Jahresganges der Niederschlagsmenge in Nordamerika gewidmet. Der Referent — der sich mit einem Großteil dieser Probleme ebenfalls befaßt hat, aber die Ergebnisse meist nur in Vorlesungen mitteilen konnte — darf seiner Freude darüber Ausdruck geben, daß an keiner Stelle schwerwiegende Unterschiede gegenüber TREWARTHAS Befunden festzustellen waren.

Da die große Fülle des Inhalts sich einem Referat entzieht, da aber auch an manchen Stellen noch Ergänzungen notwendig wären, kann auf Einzelfragen hier nicht mehr eingegangen werden. Naturgemäß sind auch einige Probleme regionalen Charakters nicht behandelt worden. Hierzu zählen z. B. das — beim Fluge