

# Quelques aspects du beach-rock dans le golfe du Bénin : le cas du Togo

Adoté BLIVI

Département de Géographie, Faculté des Lettres et Sciences Humaines  
Université du Bénin, B.P. 1515 Lomé - Togo

## Introduction

Les nombreuses observations de terrain effectuées pendant ces dernières années dans le golfe du Bénin (fig.1) et particulièrement sur la côte togolaise, soutenues par l'analyse des photographies aériennes, des levés topographiques, complétées par les résultats des travaux de datation, de pétrographie, de cathodoluminescence (Amieux et al. 1987, 1989) et de modèle physique (Projet Erosion Côtière et LCHF, 1988) ont permis de dégager la morphologie, les caractéristiques sédimentaires, l'évolution polychronique du littoral et le rôle du beach-rock dans la dynamique actuelle. Rossi (1988) exposait les résultats des travaux en nature et sur modèle réduit menés sur l'utilisation du beach-rock comme protection naturelle d'une côte réflexive.

Les dalles du beach-rock sont nées dans une morphologie de côte basse sableuse avec des vagues dont l'angle d'incidence à la côte est compris entre  $6^\circ$  et  $10^\circ$ , animant une puis-

sante dérive littorale de direction ouest-est, faisant transiter un volume sableux de 1,2 million de  $m^3$ /an (Guilcher, 1959; Tastet, 1981; Blivi, 1985). Comme l'a fait remarquer Guilcher (1961), ces assemblages de dalles plus ou moins épaisses sur le bas de l'estran sont issus de la cimentation in-situ des sables. Une telle induration est le témoin d'une plage holocène localisée à différents endroits, enfouie sous la plage actuelle. Plusieurs études (Colloque de Lyon, 1984) ont fait état de leur origine, leur mode de sédimentation et de cimentation. C'est ainsi que l'UA 913 du CNRS et l'Université du Bénin (projet Erosion Côtière) ont mené différentes études sur la géomorphologie et la biochimie de cette formation sur la plage du Togo.

La récente morphodynamique côtière consécutive à la construction du port s'est traduite par une forte et régulière avancée du trait de côte qui est à l'origine de l'exhumation du beach-rock en 1975 (Blivi, 1985, 1993 ; Rossi, 1988).

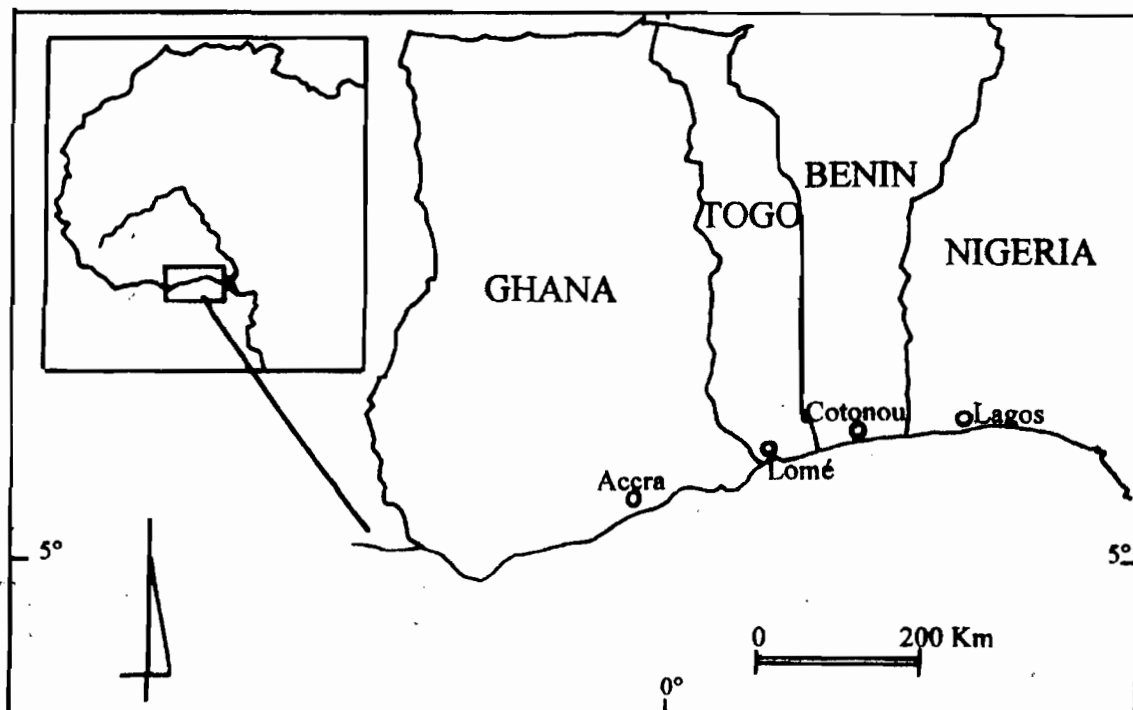


Figure 1. Le golfe du Bénin en Afrique de l'Ouest sur l'océan Atlantique.

## Localisations du beach-rock sur les côtes du Bénin et du Ghana

La prospection littorale périodique menée dans le golfe du Bénin entre la frontière Nigéria-Bénin et le cap des trois pointes au Ghana a permis de localiser les affleurements de beach-rock.

### Sur la côte du Bénin

Un alignement de beach-rock est visible, à basse-marée, sur la plage sous-marine à 60 m du rivage, dans la crique à l'est du port de Cotonou (fig.2). Sa géométrie reste difficile à préciser du fait de sa position et dans l'immédiat, il n'est pas envisagé un échantillonnage en vue d'une étude de résistance du matériel. Sur le plan dynamique, il ne constitue pas une approche de solution au problème d'érosion côtière car son altitude est basse par rapport au niveau moyen des mers. Sa topographie, à partir de 600 m de l'épi courbe, a tendance à plonger progressivement vers l'est. Les sondages effectués dans la zone portuaire indiquent la présence des alignements de beach-rock ; ce qui est un indicateur de sa continuité sur la frange marine. D'après Gaillard et al (1982), des alignements de beach-rock s'étendent sur plusieurs kilomètres de long dans le cours inférieur du Mono depuis Allongo à l'Ouest jusqu'à Hakoué

vers l'Est avec quelques interruptions. A Grand Popo, ce sont des grès indurés de faible épaisseur à stratifications obliques, visibles aux très basses marées.

### Le long du rivage du Ghana

Notre prospection a vérifié les quatre sites signalés par Dei (1972, 1985) où le beach-rock affleure (fig.3).

- A Pram-Pram, la plage est marquée par une très vive érosion qui permet d'observer un alignement de beach-rock à l'altitude du niveau des plus basses mers. C'est un beach-rock à la fois homogène et hétérogène bien distinct du fait de la nature et de l'origine des matériaux. Dans une baie, les sables marins sont cimentés sur la plage moyenne ; les colluvions constituées de galets divers forment un beach-rock conglomeratique. A côté de ces alignements bien indurés recouverts d'algues vertes, sous 20 à 30cm de sables très grossiers avec des coquilles de lamellibranches entières, cassées et des galets aplatis, on découvre un beach-rock en formation, encore friable en surface. Ce qui caractérise le beach-rock de Pram-Pram c'est la taille grossière du matériel. Sur les dalles bien indurées, les cavités de formes allongées ou presque circulaires de 5 à 20 cm de profondeur matérialisent les processus de fragilisation, d'origines mécanique et biochimique.

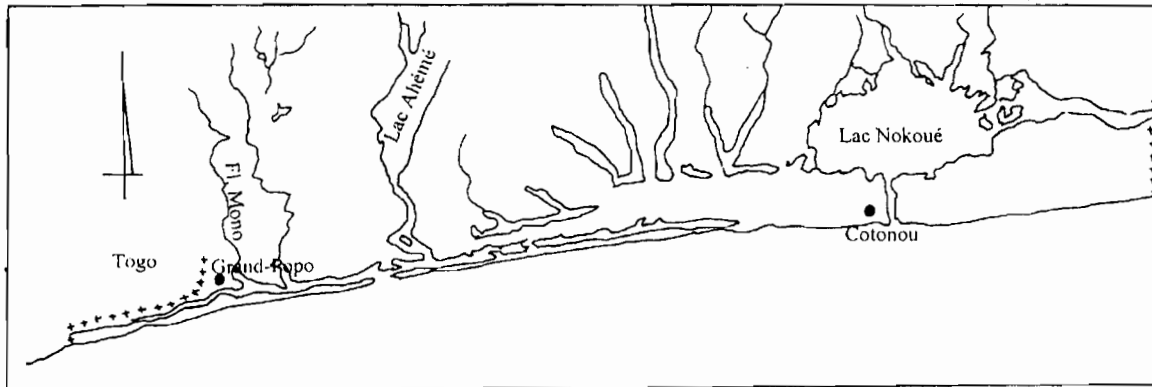


Figure 2. Sites de localisation du beach-rock dans le système côtier du Bénin.

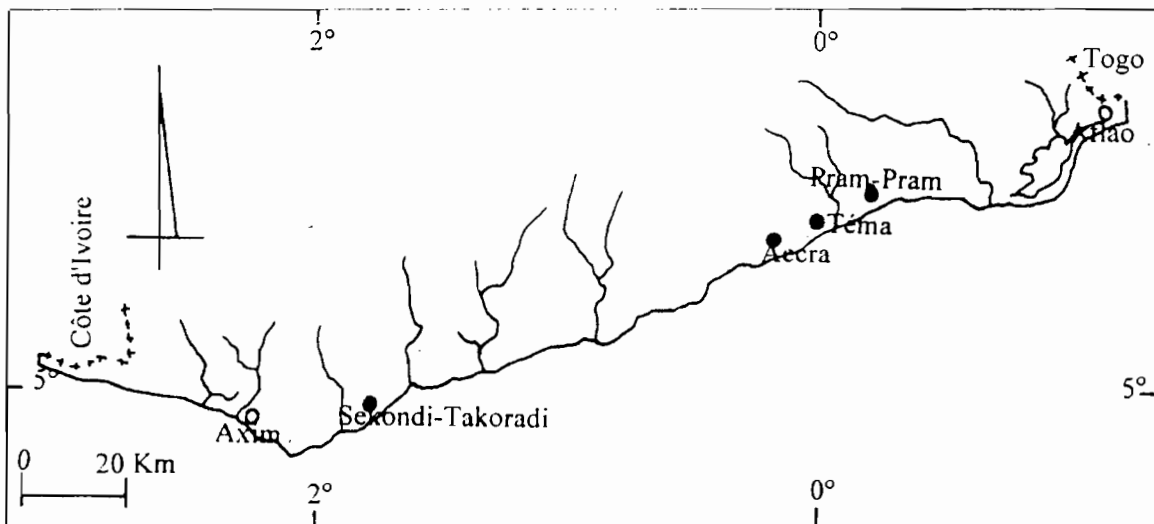


Figure 3. Zones d'affleurement du beach-rock sur la côte du Ghana.

Cette barre de beach-rock, entre les deux estuaires qui encadrent le village, constitue un véritable écueil ; en ce sens qu'elle empêche la remontée des filets et rend difficile la mise en place des pirogues sur la plage. Pour faciliter le passage du matériel de pêche, les populations ont creusé des entailles de géométrie variable à travers le beach-rock suivant la taille des pirogues ; ces entailles arrivent jusqu'à la base de la formation où le matériel est formé de sables grossiers et de graviers. L'observation a permis de constater qu'après l'action anthropique, les processus marins, essentiellement mécaniques, contribuent à leur élargissement : les fissures se rejoignent et se recourent pour faciliter les éboulis. A la faveur de ces entailles, l'épaisseur du beach-rock ne dépasse pas 1 m.

- A Téma, ville située à 20 km à l'est d'Accra, le beach-rock affleure de part et d'autre du port, légèrement au dessus du niveau des plus basses mers et d'une largeur variable entre 10 et 15 m. C'est un beach-rock vacuolaire avec de grandes cavités qui se recourent, sous l'effet des actions mécaniques des vagues, consistant surtout à de fréquents raclages circulaires de graviers sur les parois, créant des chenaux recoupés à la fois méandrique et rectiligne dans lesquels sont piégés des sables et des galets. Sur le beach-rock, situé à l'est du port de Téma, des sables, des graviers et des fragments de coquilles remplissant les cavités sont cimentés ; le matériel indique une néoformation indurée se distinguant par une coloration claire, sous forme de pastilles sur la surface du beach-rock (photo 1).

- A l'est de Téma, particulièrement à Kpone, le beach-rock affleure sur la plate-forme d'abrasion marine modelée dans le gneiss. Il témoigne du comblement sédimentaire de la surface structurale se situant relativement en dessous du niveau

des plus basses mers. Le beach-rock, qui y est formé, est massif, constitué d'un empilement de dalles dont les épaisseurs sont très variables entre-elles. En surface, l'action mécanique est très marquée par de longues fissurations qui, à certains endroits, segmentent le matériel fait de sables moyens à fins caractérisant la compacité et l'homogénéité. Du fait de la fragilisation qui s'observe nettement au niveau des plans de stratification, par endroits, les dalles se détachent et sont fragmentées en morceaux (fig.4).

- Entre Takoradi et Sékondi, le beach-rock est localisé en plusieurs endroits dans le secteur portuaire. Les dalles qu'on y trouve sont très fragmentées à partir des joints de stratification et des fissures. De larges entailles favorisent les actions des vagues qui atteignent la falaise altérée. C'est un beach-rock qui est assez massif à l'instar de celui qui affleure sur la côte togolaise.

De cette distribution géographique des alignements de beach-rock sur la côte du Ghana, on peut se rendre compte qu'il s'agit de matériel (des argiles, des sables, des graviers et des galets) cimenté par la calcite dans la plupart des cas. En définitive, les observations de terrain permettent de citer les types suivants de beach-rock :

- un beach-rock argileux, probablement cimenté par la calcite et les oxydes de fer, très dur malgré son exposition aux variations des conditions atmosphériques. La calcite représente 68 % (Dei, 1972) ;
- un beach-rock sableux, avec un taux de calcite de plus de 50 % ;
- un beach-rock conglomératique, contenant des galets bien roulés, d'origine marine, cimentés par la calcite ;



Photo 1. Cimentation des sables dans les cavités (observée sur le beach-rock de Téma au Ghana).

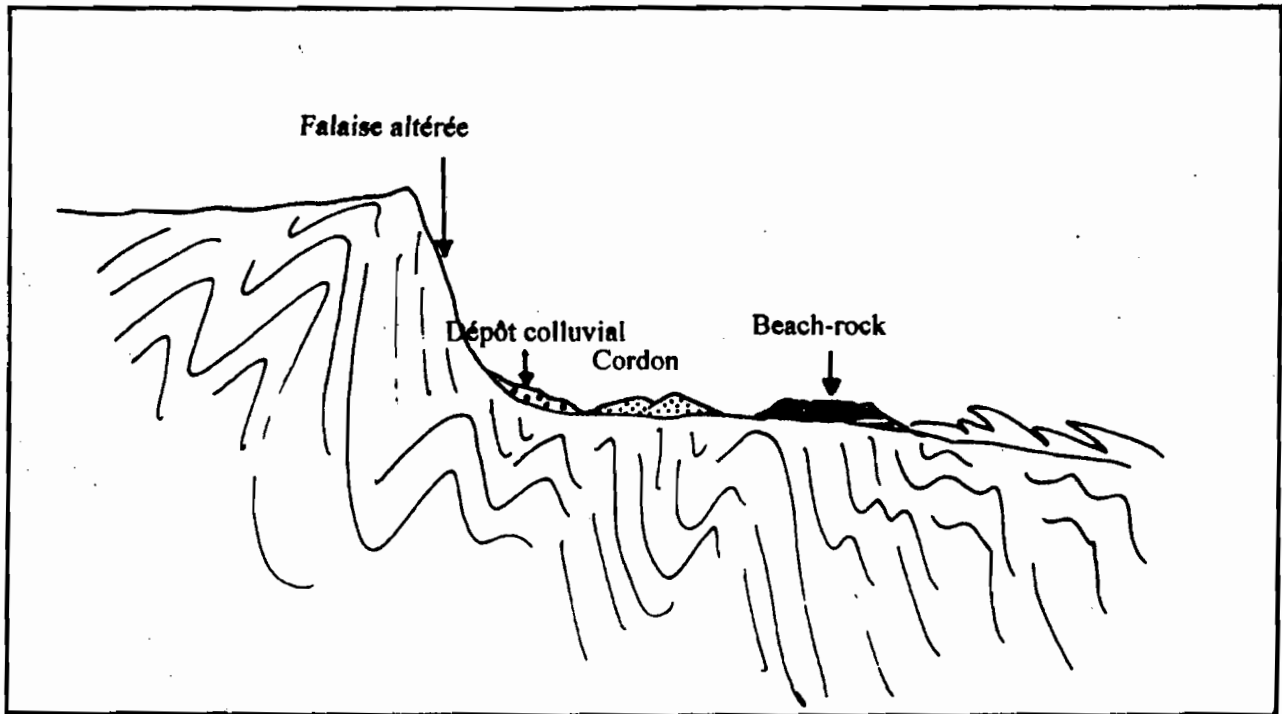


Figure 4. Affleurement du beach-rock sur la plateforme d'abrasion marine Kponé (Ghana).

- un beach-rock conglomératique et bréchique, comportant un matériel varié de particules fines aux galets de dimensions variables, anguleux et arrondis d'origine marine remodelés par de fortes actions des vagues ou d'origine continentale, issus d'érosion des versants-falaises.

Dei (1972) fait remarquer quelques mécanismes de cimentation :

- par précipitation du carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) à l'interface de l'eau douce et de l'eau salée ;

- par dépôt du  $\text{CaCO}_3$ , à partir de l'eau de pluie chargée du  $\text{CO}_2$  percolant à travers les sables jusqu'à un niveau imperméable ; les beach-rock de Sekondi-Takoradi, d'épaisseur variable entre 1 et 12 m, sont formés par ce mécanisme;

- par précipitation biogénique de calcite dans la zone de déferlement où abondent des organismes tels que les gastéropodes, les algues etc. La dissolution du carbonate s'effectue la nuit à cause de l'émission du  $\text{CO}_2$  par les algues et la précipitation s'opère le jour.

Il ressort des interprétations et des observations que la plupart des beach-rock du Ghana est cimenté par un seul ciment ; sauf ceux de Sekondi-Takoradi et de Téma cimentés par la calcite et le fer.

## Profil du beach-rock sur la côte togolaise

### Localisation

Par sondage pénétrométrique et par le biais de l'érosion marine, plusieurs alignements de beach-rock ont été identifiés et font

partie intégrante de la morphologie côtière. Le beach-rock figure sur les plages aérienne et sous-marine, dans la lagune d'Aného et dans les cordons sous l'aspect de concrétions intrasédimentaires. L'alignement le plus apparent, bien consolidé, se trouvant sur l'estran à différentes altitudes, a été cartographié et joue un rôle important dans la morphodynamique côtière (fig.5). Apparu sur l'estran en 1975 à l'est de la contre jetée du port, il affleuraient sur 8 km de longueur en 1980 avec une stabilisation du trait de côte entre 30 et 60 m en arrière du beach-rock. En 1984, il fut observé sur 15 km<sup>2</sup> et en 1988 sur toute la côte togolaise.

### Méthodes d'étude de reconnaissance

La pénétrométrie et la sismique-réfraction ont été utilisées en 1985 pour identifier les formations dans les cordons. La sismique-réfraction localise et détermine la largeur ; tandis que la pénétrométrie permet de reconnaître l'altitude absolue de la surface du beach-rock par nivellement des points de sondage. Un levé topographique de reconnaissance du beach-rock à l'affleurement a été également réalisé en 1987 et complété par des profils de plage afin d'étudier leur position dans la morphologie. Une étude de détermination par photo-interprétation a été aussi effectuée à partir de la couverture photographique aérienne (en couleurs) à l'échelle du 1/10.000 réalisée en 1985.

Les travaux d'extension du port, en 1973, ont nécessité plusieurs sondages dont les coupes ont révélé l'existence des alignements de beach-rock à 150 m du rivage ; la méthode de décalcification des échantillons a permis d'obtenir la granulométrie du matériel des dalles puis par la calcimétrie la teneur en  $\text{CaCO}_3$ . Les caractéristiques sédimentaires et la cimentation ont été déterminées par cathodoluminescence. Cette méthode met en évidence les différentes formes de

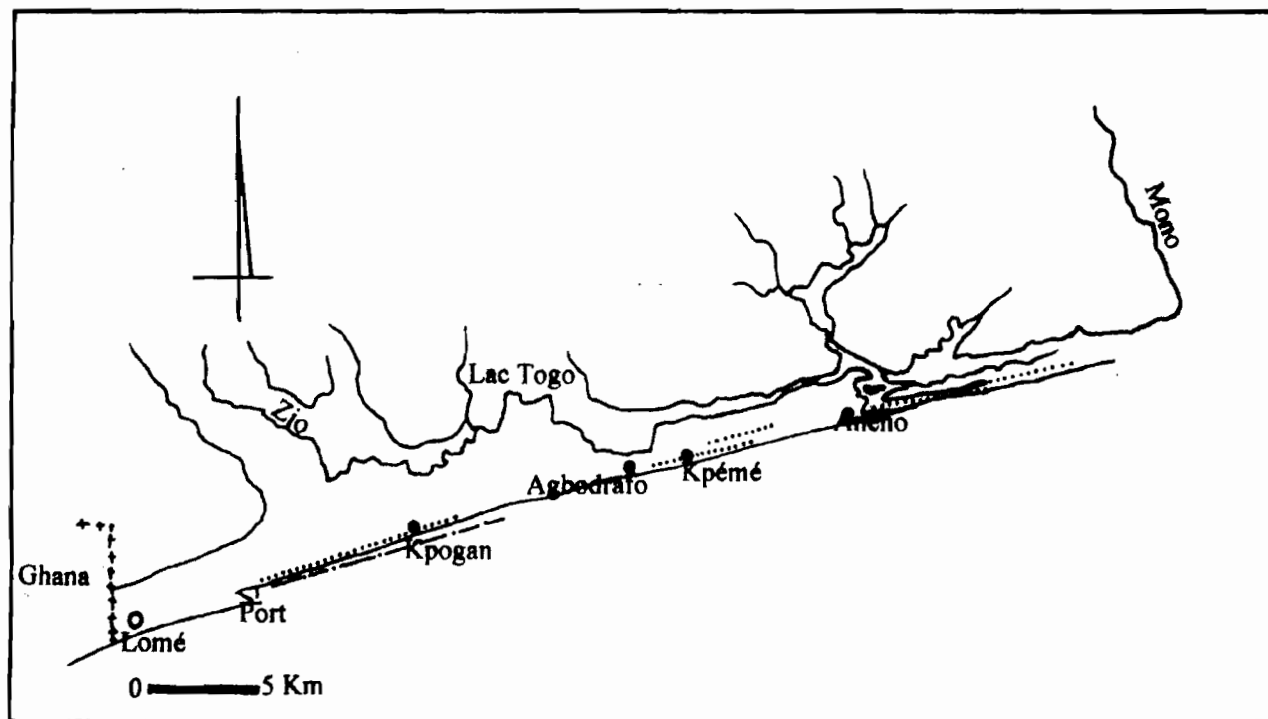


Figure 5. Localisation du beach-rock sur la côte togolaise.

croissance cristalline et est utilisée pour reconstituer la paléochimie des milieux de dépôt et des milieux de diagenèse. Elle permet d'établir dans la croissance cristalline une chronologie relative précise des différentes époques de précipitation et de dissolution et de définir les conditions du milieu qui ont présidé à ces phénomènes. Concernant la résistance des dalles, des essais géotechniques sur une soixantaine d'échantillons de différentes carottes ont été effectués en 1983.

Pour tester l'impact du beach-rock sur la stabilisation du profil de plage, un modèle sédimentologique réalisé en 1986 a permis, après une série d'essais en cuve à houle correspondant à différentes cotes d'arase du beach-rock (+ 0,50 ; 0,0 et - 0,50 IGN) avec une largeur de 50 m et un pendage de 3,5 %, de suivre l'évolution du trait de côte jusqu'à sa stabilisation.

### Positions du beach-rock dans la morphologie côtière

#### Sur le proche plateau continental

Pendant la dernière phase régressive post-nouakchottienne au cours de laquelle le niveau marin était à -120 m de l'actuel, les cordons ont pu être progressivement mis en place sur le proche plateau continental. Du fait de la longue période de relative stabilité dynamique et de la mobilisation du matériel, le beach-rock s'est formé et constituant ainsi des indicateurs de niveau marin reconnus dans le golfe de Guinée (Martin, 1980 ; Laborel, Delibrias, 1976). Sur le proche plateau continental du Togo (shoreface), plusieurs alignements de beach-rock ont été identifiés sous 1 à 3 m de sables grossiers à des altitudes différentes - 6 et - 8 m IGN.

#### Sur la plage

La plage sous-marine est caractérisée par des alignements de beach-rock dont le plus apparent se situe à 50 m du rivage, d'altitudes comprises entre - 0,50 et + 0,80 IGN ; il est visible à marée basse et son rôle est très négligeable dans la dissipation des énergies des vagues. Son exhumation ne résulte que de la récente morphodynamique côtière.

Sur l'estran, figure l'alignement qui intègre le processus de la morphodynamique côtière. Il longe toute la plage à différentes altitudes et son exhumation a été progressive depuis 1975 suite à la rapide érosion des plages sous-marine et aérienne (fig.6). En décembre 1989, à la faveur d'une forte érosion sur la plage réflexive à l'est immédiat du port un nouveau alignement a été exhumé à quelques mètres de celui qui brise les énergies des vagues ; il affleure puis est recouvert selon la dynamique sédimentaire dans le profil de plage. Cet affleurement est parallèle à l'ancien mais relativement bas, vraisemblablement en dessous du zéro hydrographique et en continuité topographique avec l'estran. Il figure également à Kpogan (PK20) où sa largeur peut atteindre 20 m.

Topographiquement, il est incliné vers l'est : à l'est immédiat de la contre jetée du port son altitude varie entre +2.0 m à Robinson plage, +1.9 m à Baguida, +2.0 m à Tropicana - plage. L'altitude moyenne diminue en direction de l'est.

A partir du PK 20, il est en continuité topographique avec l'estran et plonge sous les sables. Son efficacité dans la dynamique est étroitement liée :

- à l'altitude plus de 1 m au-dessus du zéro IGN, son rôle dissipateur est considérable ;

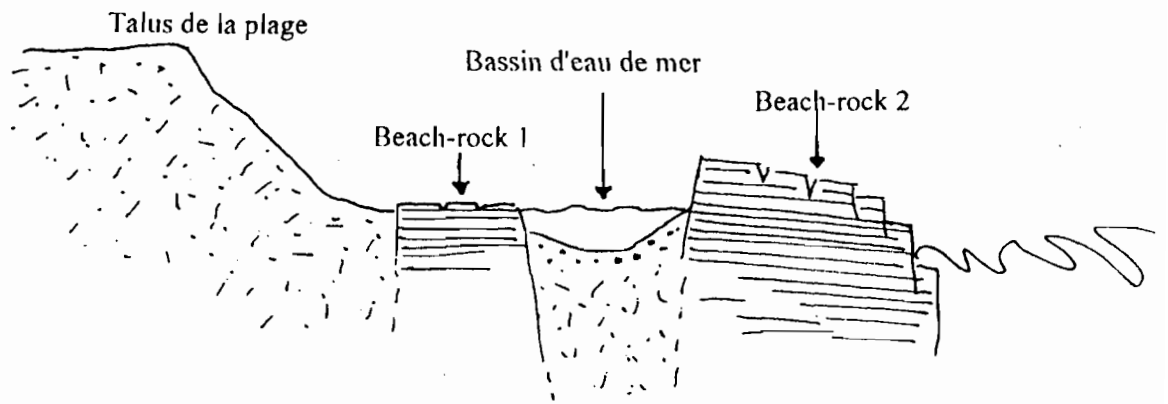


Figure 6. Exhumation de deux aliments de beach-rock de cote d'arase différente

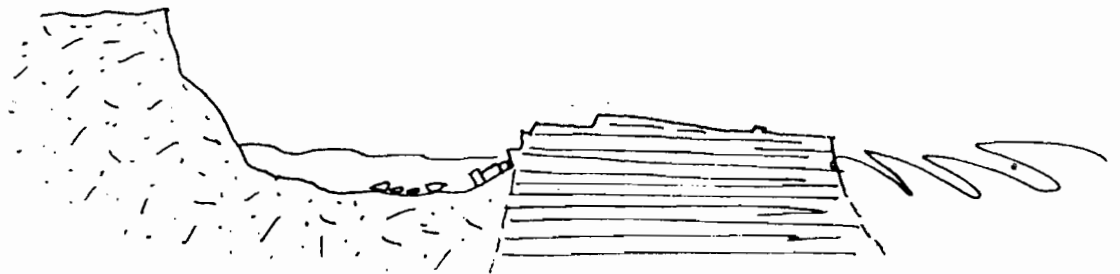


Figure 7. Position du beach-rock sur la plage (dégagé par rapport à l'estran).

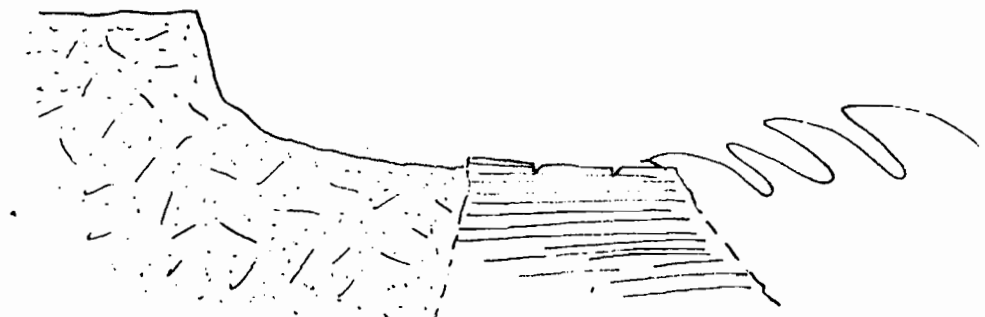


Figure 8. Position du beach-rock sur la plage (en continuité topographique avec l'estran).

- à l'épaisseur - les dalles superposées peuvent atteindre au maximum 7 m dans la zone immédiate du port, 4,50 m à Tropicana et entre 2 et 4 m à Aného ;

- à la résistance mécanique à l'écrasement - les valeurs moyennes sont comprises entre 250 et 350 Kg/cm<sup>2</sup>, celles-ci sont très variables sur une même carotte comme indiquées dans le tableau ci-dessous.

**Tableau I.** Positions du beach-rock dans les sites de Tropicana et d'Aného.

Profondeur	Site de Tropicana				Site d'Aného			
	SC2	SC3	SC4	SC5	SC14	SC15	SC20	SC21
0	516	346	203	325	192	249	315	225
- 1 m	410	367	406	406	216	360	290	261
- 2 m	311	424	240	259	275	296	335	278
- 3 m	160	187	106	46	135	178	130	149

- à la largeur - variable à l'affleurement, elle peut atteindre 15 à 20 m

- au pendage des dalles - faible (2 à 3 %) dans le secteur de Robinson-plage-Tropicana mais à partir du PK 20 (secteur de Kpogan) il est fort (12 à 15 %) ; ce qui justifie la fragmentation rapide des dalles externes (côté mer) diminuant progressivement la largeur des dalles à l'affleurement.

A Tropicana, il a été découvert sous les sables grossiers avec des débris de gastéropodes et de lamellibranches un alignement de beach-rock en formation ; relativement friable englobant des morceaux de beach-rock démantelé.

A Kpogan, il est observé aussi des bancs de beach-rock en formation, accolés au dernier beach-rock exhumé et des concrétions intrasédimentaires de sables et de coquillages sur la plage moyenne. Ils sont déchaussés par le soutirage et constituent des écueils le long de la plage.

**Dans le cordon**

Par le biais de la sismique-réfraction et de la pénétrométrie, plusieurs alignements de beach-rock de cimentation différente ont été reconnus dans le cordon. Le premier est localisé à 100 m de l'estran, reconnu grâce aux sondages effectués en 1984 (Blivi, 1985) qui indiquaient également des concrétions de beach-rock à 300 m du rivage. D'après l'interprétation des photographies aériennes, cet alignement de beach-rock révélé se trouve dans la même position que celui de la lagune d'Aného. Toutefois, ses caractéristiques restent imprécises quant à ce qui concerne la continuité, l'épaisseur et la résis-

tance. Rossi (1988) a mentionné les résultats de la pénétrométrie et de la topographie ; les altitudes de la surface sont variables entre + 0,60 et - 3 m IGN.

Lorsque le niveau d'eau lagunaire est assez bas à Aného, deux alignements de beach-rock presque jointifs sont observés ; ils plongent sous le cordon barrière vers l'est et sous le cordon de la ville. Ces alignements ont été cartographiés et justifient l'existence d'un cordon assez bien développé qui fut tronqué par les défluviations.

Les alignements de beach-rock localisés entre le proche plateau continental et la frange côtière sont parallèles au trait de côte; ceux qui sont situés dans la lagune d'Aného et dans les cordons de Kpémé repérés en sondage déterminent selon la photographie aérienne un rivage relativement oblique par rapport à l'actuel. La zone de recoupement se situe autour du secteur de PK 20.

Les générations de beach-rock successives évoquent l'évolution transgressive subactuelle et la dynamique récente du littoral. Il ne s'agit pas du même beach-rock ; les indurations sont variables, aussi bien la teneur en CaCO<sub>3</sub>.

**Morphologie du beach-rock**

Le beach-rock se présente de deux façons dans le relief de la plage : dans les secteurs où il est bien exhumé sur environ 3 km, entre le port et le motel Ramatou, le beach-rock est séparé du talus du cordon par un plan d'eau (fig.7 et photo 2) ; ailleurs, où il vient d'être exhumé (fig.8 et photo 3), il est en continuité topographique avec l'estran. Ces positions déterminent différents effets de dynamique hydrosédimentaire de plage.

D'aspect massif et assez dégagé, parfaitement rectiligne sur 3 km de long, il se compose d'une série de dalles superposées dont les épaisseurs sont variables entre elles. Le pendage est incliné vers la mer ; ce qui justifie le profil de plage en équilibre. Dans le secteur de Ramatou, le pendage fait 2 à 3 %, à Kpogan, il est beaucoup plus important 8 à 10 %. Le beach-rock est délimité par des rebords abrupts, de 1 à 1,50 m de dénivellation observé sur le rebord interne (côté terre). Le regard du rebord est irrégulier et porte des stratifications et des entailles. Sous ce massif gréseux, affleure un substrat de sable grossier et de gravier abondamment exploité ; cette pratique régulière est à l'origine des encoches et des éboulements des pans de dalles.

Sur la surface, se présente un réseau de diaclases et d'entailles très larges, entre 0.50 et 1.50 m, recoupant les dalles et dans certains endroits atteignant le substrat de graviers.





**Photo 2.** Position du beach-rock sur la plage du Togo (dégagé par rapport au profil de plage, isolant un bassin d'eau de mer).



**Photo 3.** Position du beach-rock sur la plage du Togo (en continuité topographique avec l'estran, échanges sédimentaires dans le profil)



Les diaclases sont peu ouvertes sur les deux premières dalles supérieures. Cet ensemble de structures favorisent l'action mécanique de l'eau. Des cuvettes de géométries variables, souvent circulaires aux dimensions (diamètre et profondeur) variables entre 0.20 et 0.40 m (fig.9) figurent également sur la surface. Elles sont très peu développées sur le beach-rock du Togo comparativement à celles observées sur le beach-rock de Téma à l'ouest du port. Cet aspect morphologique de surface est très marqué par des recouvrements ; ce qui donne un réseau de ramifications des cavités piégeant des sables et des graviers qui jouent le rôle mécanique (de grattage, de polissage) sur la surface du beach-rock (photo 4).

L'action mécanique incessante des vagues fragilise les plans de stratification entre les dalles et les diaclases. De véritables chenaux intra beach-rock et surtout transversaux, larges de 2 à 5 m, sont mis en place, facilitant la remontée des vagues jusqu'à la plage et entraînant l'érosion et les mouvements sédimentaires dans le profil. La progressive diminution de la surface du beach-rock est liée à l'action mécanique et également à l'action biochimique des oursins et des algues qui entraînent la désagrégation granulaire à partir de la dissolution du ciment. Le tourbillon des graviers dans les cavités, provoqué par le jeu des vagues, explique leur élargissement. Dalongeville (1988) fait remarquer que ces formes structurales et érosives traduisent l'évolution polychronique et polygénique des cavités.

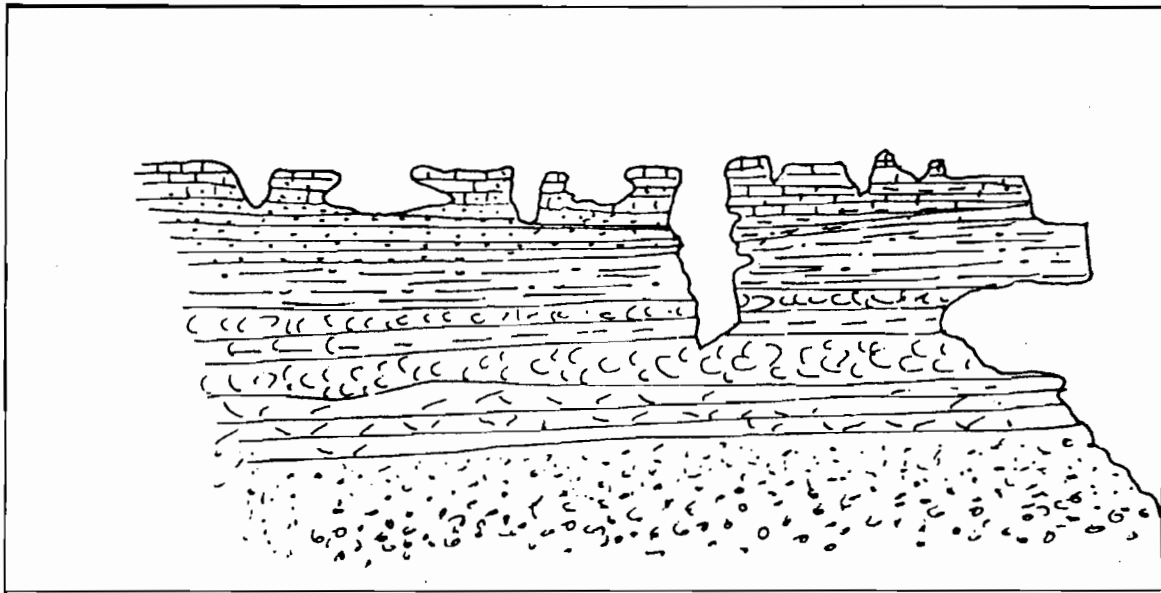


Figure 9. Structures du beach-rock (empilement des dalles, cavités, diaclases, encoche d'érosion).



Photo 4. Structure de surface du beach-rock (actions mécanique et biochimique, recouvrement des cavités).

L'observation a permis de constater l'érosion différentielle qui en rapport avec la cimentation, d'étroites bandes relativement dures, résistantes aux différents processus sont séparées par des sillons.

Dans les secteurs où le beach-rock est en continuité topographique avec l'estran, comme à Téma, à Takoradi et à Sékondi, sa surface présente une succession de gradins inclinés vers la mer ; le rebord externe (côté mer) porte des entailles dues à la pression exercée par les vagues. La surface subit le raclage des sables sous l'effet du jet de rive et du retrait d'où une topographie de surface très irrégulière.

## Indicateur de niveau marin

Partout où le beach-rock affleure, sur la plage aérienne comme sur la plage sous marine, il devient une référence de paléoniveaux marins. Les études sur les formations quaternaires littorales montrent que la morphologie du golfe du Bénin est un héritage des variations récentes du niveau de la mer. Depuis la transgression Holocène, qui a dépassé le niveau actuel vers 6.000 ans BP, plusieurs phases transgressives mineures séparées par des épisodes régressifs ont contribué à l'élaboration des cordons sableux holocènes.

C'est ainsi qu'à eu lieu vers 3800 BP une phase régressive qui a été accompagnée d'un dépôt sédimentaire marin constituant un cordon dans lequel s'est formé un beach-rock. L'induration s'est effectuée dans la partie médiane de la plage, probablement située à 1.50 m en moyenne au-dessus du 0 actuel.

D'après Dalongeville (1988), les interprétations des variations de la ligne de rivage depuis la fin de la remontée postglaciaire holocène sont nombreuses. Cela tient au fait que les observations et les datations n'ont pas été réalisées dans les cordons littoraux corrélés de manière certaine.

A partir de ces éléments de datation, l'analyse mérite l'intégration d'un ensemble de données car plusieurs phases sédimentaires déterminent le dépôt ; le beach-rock est à la fois un témoin d'un passé sédimentaire et d'une paléomorphologie. Il reflète également une série de phases de cimentation. Quand bien même la cathodoluminescence ait déterminé deux phases de cimentation séparées par une étape de dissolution, il convient toujours de marquer une nuance dans l'évolution polychronique et polygénique. Les datations de beach-rock connues (Laborel, Délibrias, 1976 ; Lang, Paradis, 1984 ; UA 913 CNRS, 1987) attestent des variations mineures du niveau marin dans le golfe du Bénin entre l'holocène inférieur et l'holocène récent marqués par des phases relativement longues et sèches ayant contribué à la mobilisation du matériel et favorisé les processus physico-chimiques de cimentation.

## Nature du beach-rock

### Le matériel

Le beach-rock est constitué de matériaux meubles : sable, gravier et coquilles entières ou cassées. L'analyse a permis de distinguer du quartz en quantité, du feldspath, surtout des plagioclases, des organismes entiers ou en fragments notam-

ment des gastéropodes et des lamellibranches et quelques minéraux comme le zircon, la tourmaline, l'amphibole, le rutile, l'ilménite (Blivi 1985, de Medwecki 1986). Il repose sur un stock sédimentaire constitué essentiellement de graviers grossiers.

Les courbes cumulatives obtenues de l'analyse granulométrique des échantillons prélevés à différents endroits du beach-rock déterminent un bon classement du dépôt sédimentaire dans lequel s'est formé le beach-rock. Les sables sont moyens (le D50 varie entre 0.350 et 0.500 mm); ils sont généralement de taille différente de celle du dépôt de la plage actuelle dont les grains sont plus grossiers et mieux classés. La morphoscopie des grains de quartz (les plus abondants) montre une très grande proportion de grains émoussés luisants (80 à 90 %) et submoussés luisants (10 à 20 %) ; ce qui témoigne d'un milieu strictement marin. Le cortège des minéraux lourds est constitué de grenat 42%, limonite 41 %, ilménite 8 %, épidote 4 %, les autres : staurotide, sphère, rutile, amphibole, disthène, zircon sont négligeables.

## La cimentation

Plusieurs auteurs notamment Guilcher, Sanlaville, Dalongeville, Davaud et Strasser (in Beach-rock, 1984) abordant l'étude du beach-rock dans les pays tropicaux et non tropicaux ont montré la diversité des structures et surtout la variabilité du ciment calcaire. Il est décrit comme étant constitué tantôt d'aragonite, tantôt de calcite ou les deux à la fois, même du fer, des polymorphes de  $\text{CaCO}_3$  se présentant sous forme de fines aiguilles aciculaires. Il paraît normal que cette variabilité texturale du ciment provient d'une évolution.

Chaque phase du processus peut donc correspondre à un état du beach-rock. La stratification est sauvegardée par la cimentation de nature calcitique comme l'indique de Medwecki (1987) sous la forme de cristaux aciculaires de microsparite et même dans certains cas de micrite. Il s'agit de calcite magnésienne d'origine phréatique marine. Il est important de souligner le rôle de l'interface eau douce - eau salée qui représente un milieu d'activité biologique ; la calcite magnésienne précipite activement au contact des trames organiques d'origine cyanobactérienne (Dalongeville, Sanlaville 1984). D'importants échanges ont pu être vraisemblablement effectués entre les carbones des eaux douces et d'autres composés organiques. Par rapport au processus de cimentation, Dalongeville (1984) fait remarquer l'impact des variations climatiques sur le développement des processus de cimentation ; ce qui met en évidence que le beach-rock est un indicateur paléoclimatique. Suite à la mise en place d'un important volume de sable bioclastique constitué en cordons marquant une phase de mise à disposition d'alluvions, le processus de grèsification correspondait à des phases au cours desquelles régnaient des conditions particulièrement arides.

En fait, le beach-rock ne résulte pas d'un processus unique ; il se forme sous des conditions et par des processus très différents qui peuvent superposer leurs effets. Dans la même dalle du même volume sédimentaire, le caractère polyphasé de la cimentation se distingue par des concentrations de ciments, peut-être différents, d'un point à un autre.

Blivi (1985) a fait remarquer que sur trois fragments de beach-rock, la teneur en CaCO<sub>3</sub> varie entre 10 et 25 % ; elle est due à la consolidation. Plus celle-ci est forte plus la teneur en CaCO<sub>3</sub> est élevée. D'une façon générale, l'analyse sur une série d'échantillons prélevés dans le profil transversal a montré que le durcissement est décroissant du côté mer vers la plage.

Le tableau ci-dessous consigne quelques résultats de calcimétrie obtenus à partir des échantillons de beach-rock du Togo et du Ghana.

**Tableau II. Résultats de calcimétrie obtenus à partir des échantillons de beach-rock du Togo et du Ghana**

Sites de prélèvement	vco <sup>2</sup> ml	caco <sup>3</sup> mg	prise (g)	caco <sub>3</sub> %
1	66	248,585	2	12,4
2	41,5	156,132	1	15,6
3	25	93,86	1	9,4
4	40,75	153,30	0,25	61,3
5	44	165,566	0,5	33,1
6	48	180,660	0,5	36,1
7	57	214,561	1	21,4

1 -Kpogan (Togo) ; il s'agit de concrétions intra-sédimentaires englobant des coquilles affleurant sur la partie médiane de l'estran.

2 -Kpogan (Togo) ; le prélèvement s'est effectué sur le 3<sup>e</sup> alignement de beach-rock proche de l'estran.

3 -Kpogan (Togo) ; le prélèvement d'un échantillon sur le beach-rock en formation, au bas de l'estran, accolé au 3<sup>e</sup> alignement.

4 -Téma (Ghana) ; échantillon de beach-rock prélevé à l'ouest du Port.

5 -Takoradi (Ghana) ; échantillon obtenu sur le beach-rock situé dans la zone portuaire.

6 -Pram-pram (Ghana) ; prélèvement effectué sur le beach-rock externe (côté mer), de forte consolidation, englobant des galets de quartz.

7 -Pram-pram ; échantillon d'un beach-rock en formation.

Les travaux du Laboratoire UA 913, Université de Lyon effectués sur les beach-rock du Togo ont montré la mise en évidence de deux types de cimentations :

– s'agissant du premier, la surface des grains est recouverte de petits cristaux, de forme arrondie, dispersés. Cette cristallisation évolue en enrobant le grain d'une couche d'épaisseur inégale ; l'étape ultime étant une cimentation en plusieurs couches sans qu'il ait une organisation précise des cristaux. Ceux-ci sont hétérométriques, mais ils sont d'autant plus petits qu'ils se trouvent vers l'intérieur des pores ;

– concernant le second, la cimentation présente, dès le stade initial, une organisation nette en petits cristaux, homométriques et parallèles. Ce ciment, même lorsqu'il est trop épais, enrobe totalement et uniformément le grain. Cette cristallisation évolue par accroissement de la taille des cristaux sans que leur caractère homométrique et leur disposition parallèle soient altérés. La nature des grains joue un rôle dans la taille et la forme des cristaux. La cimentation d'un grain carbonaté est plus développée que celle d'un grain silicaté et la morphologie cristalline est différente ; la présence de deux franges d'accroissement cristallin a été réperée. Ces franges ont été séparées par un liséré sombre.

Ce phénomène semble au microscope optique n'intéresser que les grains carbonatés ; mais en cathodoluminescence, ces deux générations de cristallisation apparaissent pour l'ensemble des grains quelle que soit leur nature. La nature du grain influence donc l'importance du phénomène de cristallisation mais ne décide pas de son apparition.

La position de l'échantillon, prélevé en surface du beach-rock ou en profondeur, explique les variations observées dans les cimentations. En surface, les cimentations du beach-rock, côté plage, sont éparses, incomplètes et de petites dimensions. Au fur et à mesure que l'on se rapproche de la mer, elles sont plus abondantes et de taille plus importante. Verticalement, on assiste à un phénomène semblable : de la surface vers le bas, la cimentation se renforce et la taille des cristaux s'accroît.

La surface du beach-rock présente une originalité qui est en rapport avec un nouveau type de cimentation apparaissant dans la partie distale du profil transversal. Il s'agit d'une micrite brunâtre et opaque qui envahit l'espace intergranulaire, le colmatant parfois complètement. Certaines lames minces présentent une micrite d'un aspect particulier, pelletoidal. On a une juxtaposition de boules de micrite pelletoidale entourées d'une frange microsparitique où les cristaux, bien que de petite taille, sont nettement homométriques et parallèles.

Deux phases de cimentation, séparées par une discontinuité, ont donc été mises en évidence par l'analyse en lumière naturelle et en lumière polarisée. Dans les deux cas, il s'agit d'une calcite magnésienne aciculaire.

La cathodoluminescence retrouve parfaitement ces deux phases de cristallisation ; car chacune d'entre elles est associée à une couleur. La différence de couleur et les deux observations pétrographiques montrent que les aiguilles microsparitiques poussent en deux épisodes diagénétiques séparés par une discrète époque de dissolution. Le premier épisode est au contact du grain. Il s'est réalisé dans un contexte originel du dépôt, peut être dès l'immobilisation de celui-ci (cimentation initiale précoce). Le deuxième épisode traduit une reprise de la cimentation dans un environnement géochimique légèrement différent, après un temps d'arrêt. Toutefois, les résultats issus de la cathodoluminescence doivent être pris avec prudence car les deux épisodes sédimentaires peuvent connaître une seule et même phase de cimentation.

Selon Dei (1972), la plupart des beach-rocks du Ghana, à Takoradi, à Sékondi et à Téma sont cimentés par la calcite et le fer. Les observations de terrain ont révélé la présence de nodules de fer et d'autres minéraux sur les plages du Ghana. A Takoradi et à Sékondi où il tombe 1200 à 1500 mm d'eau par an, le développement d'un sol ferrallitique constitue une source importante d'apports en fer, lequel rentre parfaitement dans le processus de la formation du beach-rock.

La cimentation du beach-rock de Grand Popo semble liée à des variations de salinité. En ce milieu tropical humide, il semble difficile d'évoquer une formation uniquement à partir de l'eau de mer sous conditions évaporitiques comme c'est le cas dans des zones plus arides. En lames minces, les grains de quartz s'ordonnent en microséquences ; le ciment

intergranulaire, siliceux, n'occupe pas tous les vides, préservant ainsi partiellement une porosité primaire. Ces beach-rocks sont très différents de ceux de Cotonou (Lang et Paradis, 1977) essentiellement cimentés par le fer avec précipitation de quelques gerbes aragonitiques.

### Datation au <sup>14</sup>C

Sur une série de coquilles de gastéropode et de lamellibranche, les datations au <sup>14</sup>C réalisées ont donné 3800 +/- 90 BP (Ly, 3919) pour le matériel constituant le deuxième alignement de beach-rock et 2890 +/- 100 BP (Ly, 3920) pour le dépôt sableux recouvrant le beach-rock. Le dépôt à partir duquel s'est formé le beach-rock et le dépôt meuble érodé représentent deux épisodes sédimentaires séparés d'un millier d'années. Les datations concernent essentiellement le dépôt et non la cimentation du beach-rock. L'induration est plus récente que le dépôt lui-même ; toutefois, la période ou l'âge reste difficile à préciser surtout que la cimentation d'un volume sédimentaire n'est pas instantanée en tous ses points.

Lang et Paradis (1984) dans leur synthèse sur l'ensemble des datations au <sup>14</sup>C effectuées dans la région margino-littorale béninoise ont donné pour les gîtes coquilliers du beach-rock (grès de plage) près de Cotonou 1490 +/- 90 BP (GIF 3974) et 2039 +/- 110 BP (DAK 182). Les prélèvements de plaques de vermet, déterminées comme *Petalochonchus Macrophiragma Interliratus*, effectués sur le beach-rock à l'est du port de Tema-Paradise beach (Ghana) dans les criques abritées par des caps rocheux taillés dans des couches sédimentaires précambriennes, ont donné 1630 +/- 90 ans (7 GIF 1675) et 2050 +/- 90 ans (9 GIF 1676). Il s'agit des âges radiométriques des échantillons récoltés (Laborel, Delibrias 1976).

Ces datations sur les bancs de beach-rock dans la sous-région montrent, selon l'interprétation de Lang et Paradis (1984) à partir du quaternaire margino-littoral, qu'il s'agit des indurations de l'Holocène récent pour les beach-rock du Bénin et du Ghana ; par contre, les datations des dépôts sédimentaires du Togo situent les indurations entre l'Holocène inférieur et l'Holocène récent. Ces aspects prennent en compte la configuration du golfe du Bénin et des arguments essentiellement géomorphologiques et stratigraphiques qui sont similaires en tout point du golfe.

## Les rôles du beach-rock dans l'évolution de la plage

A la faveur de l'érosion des plages sous-marine et aérienne, le beach-rock est exhumé puis progressivement s'est mis en relief pour constituer un élément actif de la dynamique côtière.

### L'érosion côtière

La construction du port en eau profonde de Lomé ; de 1964 à 1967, a occasionné une importante et régulière perturbation de l'équilibre hydro-sédimentaire qui régularisait le fonctionnement du mécanisme de mise en place des systèmes de cordons. Cette perturbation est à l'origine, depuis une trentaine d'années, d'une morphodynamique côtière marquée essen-

tiellement par une violente érosion de plage sur un linéaire de 40 km de côte (Blivi, 1993). Du fait du déficit sédimentaire sur la façade est du port, issu du blocage du transit sédimentaire drainé d'ouest en est par la dérive littorale, la régularité du mécanisme hydrodynamique procède tout simplement à l'érosion des plages justifiée par des profils de plage récessive avec une vitesse moyenne de 5 à 10 m / an. Cette rapide érosion sur le proche plateau continental et sur la plage, non seulement a engendré la modification physique mais elle a mis au jour d'anciennes plages consolidées. La façade ouest du port est caractérisée par une plage progradante, modelée par plusieurs séries de flèches sableuses coalescentes.

### Exhumation et rôles du beach-rock

Sous les dépôts sableux des cordons (Guilcher, 1961; Dalongeville, 1984), beaucoup plus récents que le matériel dans lequel le beach-rock s'est formé, l'exhumation progressive est consécutive au recul de plages. Son efficacité dans la dynamique côtière dépend de sa cote élevée ; dissipant les énergies des vagues, diminuant ainsi et de façon très sensible l'érosion de la plage aérienne. Sur la côte togolaise, il est à + 2.00 IGN sur environ 6 km (entre le Pk 10 et le Pk 16), jouant un rôle de brise-lames.

Suite à la mise en relief du beach-rock, de 1984 à 1988, entre le PK 10 et le PK13, le trait de côte s'est stabilisé de façon temporaire à une distance de 30 à 40 m en arrière des dalles de beach-rock. Ce n'est qu'en période de très fortes houles exceptionnelles, lors des tempêtes accompagnant les dépressions barométriques, correspondant aux équinoxes de mars et de septembre, que dans ce secteur, on enregistrait un recul général de 0.5 m par an. Son rôle dynamique est donc le ralentissement des effets des vagues sur la plage aérienne pendant que la plage sous marine s'érode très rapidement; ensuite, le blocage du transfert sédimentaire dans le profil, ce qui contribue à la diminution du transit sédimentaire.

Les profils de plage, régulièrement levés, ont montré le déplacement progressif vers l'est du pic d'érosion entraînant de forts recul et l'exhumation du beach-rock en continuité topographique avec l'estran. Dans cette position, il ne joue aucun rôle, ni de dissipation des énergies des vagues, ni de blocage de transfert des sédiments dans le profil.

S'agissant de la stabilisation temporaire du recul dans le secteur PK10-PK13 où il est parfaitement en relief, ce qui a fait écrire sur le rôle de protection naturelle de la côte, Rossi (1988) avait pris en considération les résultats des travaux géotechniques sur la résistance mécanique à l'écrasement (250 - 350 Kg/cm<sup>2</sup>), à la largeur (20 à 25 m), à l'épaisseur (7 m) qui correspondaient aux données de terrain indiquant l'effet de stabilisation du rivage.

Depuis 1993, les observations régulières de terrain ont permis de constater la fragilité des empilements des dalles de beach-rock ; ce qui vient rompre la thèse du rôle de protection naturelle de la côte. Sous les effets incessants des vagues, le beach-rock n'a pu résister aux chocs et aux pressions qui ont été à l'origine des entailles, des cassures profondes, des décollements des dalles supérieures à partir des joints de stratification.



Les chenaux transversaux, assez larges, favorisent l'attaque directe de la plage par les vagues créant le long du trait de côte un modelé de plage en feston bien accusé dans les rentrants face aux couloirs transversaux (photo 5).

Le beach-rock ne peut rester indéfiniment un bouclier aux fortes énergies des vagues. Contrairement aux résultats des travaux de laboratoire, la réalité est tout autre. Il peut être pris en consi-

dération dans un schéma de protection de la côte à condition d'être renforcé par des ouvrages en enrochement. En dehors du secteur PK10 - PK16, où le beach-rock est relativement efficace dans la dynamique côtière, sur le reste de la côte l'altitude du beach-rock ne permet pas un arrêt sédimentaire dans le profil. Cependant, le beach-rock peut servir d'ancrage aux ouvrages de protection de haut de plage en enrochement ou en gabion.



Photo 5. Effondrement des dalles de beach-rock (reprise d'érosion sur la plage).

## Conclusion

Les dalles de beach-rock continuent de se former dans les cordons du Togo et du Ghana et du fait de l'érosion, elles affleurent sous forme de concrétions intrasédimentaires de dureté très variable.

Les nombreux travaux effectués dans le monde sur le beach-rock mettent l'accent sur l'âge du ciment, étant donné que plusieurs phases déterminent le processus de cimentation et la teneur en  $\text{CaCO}_3$  est très variable. Les essais de résistance effectués sur les sondages carottés montrent que l'induration est plus élevée sur les dalles en front de mer que sur les dalles de l'estran. Ceci justifie que le phénomène se passe essentiellement dans la zone d'interface des eaux salées et douces et que le processus, en direction de la plage, est régressif.

Les levés topographiques de plage aérienne permettent de préciser sa géométrie. Les formes sont très variables et sont en rapport avec les processus mécanique et biochimique qui gèrent la fragilité observée dans le temps d'où un rythme de stabilisation du trait de côte d'environ 5 ans après exhumation.

La reprise de l'érosion de la plage en arrière du beach-rock traduit le fait que la résistance de la structure est de courte durée

et que par les entailles profondes et larges, les vagues de forte énergie (de marée et de tempête) arrivent sur la plage pour mettre en mouvement, dans les profils, les sables.

Les essais sur modèle ont montré que le beach-rock à la cote + 0,50 IGN limitera le recul ; il sera de l'ordre de 3 à 4 m par an. Avec une altitude de + 0,00 IGN, le recul moyen du trait de côte sera de 6 m / an et lorsqu'il est à - 0,50 IGN, le recul atteindra 8 m/an. Dans les trois cas, le volume de sables érodé sera moins important dans les deux premières situations où il varie entre 6 et 15  $\text{m}^3$  par mètre linéaire de plage que dans la dernière situation où le volume arrivera autour de 56  $\text{m}^3$ . Ces différentes situations correspondent assez sensiblement au processus sédimentaire observé le long de la côte. L'analyse morphodynamique fait ressortir que les échanges sédimentaires deviennent importants au fur et à mesure qu'on va vers l'est et la progression de la vitesse d'érosion avec l'augmentation du déficit sédimentaire dégage le beach-rock des sables.

Depuis la publication des résultats techniques sur l'utilisation du beach-rock comme moyen de protection naturelle de la côte contre l'érosion marine (Rossi, 1988), le beach-rock, du fait de l'action mécanique des vagues et de l'érosion biochimique, demeure une structure dans la dynamique de côte

mais son comportement est peu significatif dans une prévision de protection de côte à long terme ; d'où l'utilisation des ouvrages en enrochement (épaves et brise-lames) ou des ouvrages en enrochement de haut de plage en association avec le beach-rock.

Du fait des différentes positions des alignements de beach-rock au Ghana, au Bénin et au Togo, d'importantes préoccupations scientifiques sont mises en évidence et sont relatives : d'une part, aux processus de genèse du beach-rock en distinguant notamment l'âge du dépôt du matériel détritique et les âges de formation et d'induration du ou des ciments ; d'autre part, à la place du beach-rock dans le contexte climatique Quaternaire, particulièrement pendant l'Holocène et enfin, aux conditions prédiagénétiques et diagénétiques de leur formation. □

## Références bibliographiques

AMIEUX P. *et al*, 1987. - Les indurations littorales de la côte du Togo. Résultats et conclusions. Rapport de mission 1985 - 1986, 34 p.

AMIEUX P. *et al*, 1989. - Cathodoluminescence of carbonate cemented holocene beach-rock from the Togo coastline (west-Africa) : an approach to early diagnosis. *Sedimentary Geology* n°65, 261 - 272 (Elsevier Science Publishers B.V. Amsterdam).

BLIVI A., 1985. - Contribution à l'étude géomorphologique du littoral du Togo. Université du Bénin, 166 p. (Mémoire de Maîtrise).

BLIVI A., 1988. - Un élément de la dynamique littorale : le beach-rock. Actes de colloque régional : érosion côtière, Lomé - Septembre 1988. Université du Bénin - Projet Erosion Côtière p.135 - 151.

BLIVI A., 1993. - Géomorphologie et dynamique actuelle du littoral du golfe du Bénin (Afrique de l'Ouest), Université de Bordeaux 3, 458 p. (Thèse de Doctorat).

DALONGEVILLE R., 1984. - Le beach-rock: Colloque de Lyon. Novembre 1983 T.M. 08 Maison de l'orient, 192 p.

DALONGEVILLE R., 1989. - Le beach-rock du Togo, un exemple d'évo-

lution polychronique d'un littoral. Actes au Second Forum du G.F.G: Les littoraux 1988. Bull. Centre de Géomorphologie de Caen N° 36 / 53 - 56.

DEI L. A., 1972. - Some observations on Ghanaian beach-rocks. *Journal of Tropical Geography* Vol 35 / 24 - 31.

DEI L. A., 1985. - Ghana, in Bird and Schwartz; The world's New-York. Van Coastline Nostrand Reinhold / 591-599.

GAILLARD M., 1982. - Etude sédimentologique des milieux de mangrove du Bénin occidental (Afrique de l'Ouest). *Oceanologica Acta*, N° SP, pp 129-137.

GUILCHER A., 1959. - La région côtière du Bas-Dahomey occidental, Bull. Fr. Af. Noire Sénégal T XXI, sér B. n° 3 - 4 / 357 - 424.

GUILCHER A., 1961. - Le beach-rock ou grès de plage. *Ann. de Géog.* : n° 378, LXX Année, p. 115 - 125.

LABOREL, J. et DELIBRIAS, G., 1976. - Niveaux marins récents à Vermetidae du littoral ouest africain, description, datation et comparaison avec les niveaux homologues des côtes du Brésil : ASEQUA N° 47 / 97-110.

LANG J. et PARADIS G., 1984. - Le quaternaire margino-littoral béninois (Afrique de l'ouest). Synthèse des datations au carbone 14. *Palaeoecology of Africa*, Vol: 16 / 65 - 76.

LECLERC J.P.; JAKOBSEN P.R. ; TILMANS W. M. K., 1989. - Erosion côtière dans le golfe du Bénin, aspects nationaux et régionaux. Rapport d'expertise CEE/DGD. Projet 660/4394/55, Bruxelles 152 p.

PROJET EROSION COTIERE, 1986. - L'érosion côtière au Togo. Rapport d'études, Université du Bénin. 37 p.

PROJET EROSION COTIERE et LCHF, 1988. - Influence du beach-rock sur la stabilisation d'un profil de plage. Essais en laboratoire. Réf. 54574 RI. 11 p.

ROSSI G., 1988. - Un exemple d'utilisation d'une défense naturelle contre l'érosion littorale: le grès de plage. *Revue de géomorphologie dynamique* XXXVIIè n°1 / 1-10.

ROSSI G., 1989. - L'érosion du littoral dans le golfe du Bénin, un exemple de perturbation d'un équilibre morphodynamique. *Z. Geomorph. N. F. Suppl. BD. 73 / 139 - 165* Berlin - Stuttgart.

TASTET J. P., 1981. - Morphologie des littoraux sédimentaires liée aux variations du niveau de la mer : exemple du golfe de Guinée. *Oceanis* Vol 7, fasc. 4 / 455 - 472.

## Résumé Quelques aspects du beach-rock dans le golfe du Bénin : le cas du Togo

Les dalles de beach-rock naissent dans les dépôts sédimentaires marins d'âge Holocène et caractérisent les anciennes lignes de rivage. Du fait de l'érosion des plages actuelles qui les recouvraient, elles affleurent en différents points de la côte du golfe du Bénin, jouant par endroits un rôle temporaire de protection naturelle et constituant un handicap pour la pêche traditionnelle. Sur la côte togolaise, elles figurent à différentes altitudes ; dans certains segments de côte, elles atténuent l'énergie des vagues. Ailleurs elles sont en continuité topographique avec la plage aérienne. Une série de travaux portant d'une part sur les formes et les structures globales a conduit à la connaissance de ces anciennes plages cimentées et d'autre part sur la géométrie, a abouti à la définition de son rôle dans la dynamique côtière.

**Mots-clés :** Beach-rock, cimentation, polychronique, polygénique, érosion, protection.

## Abstract Aspects of the beach-rock in the gulf of Benin : the case of Togo

The beach-rock come into being in marine sedimentary deposits of the Holocene and characterise the old shorelines. As a result of the erosion of today's beaches which used to cover them, these stones show in different areas all along the gulf of Benin and temporarily play here and there the role of natural protection and constitute a handicap for the traditional fishing activity along the togolese coastline, they appear at various altitudes. In some sections of the coast they affect the energy of the waves while elsewhere they are part of the topographic continuation of the aerial beach. A series of studies dealing, on the one hand, with the overall forms and structures have resulted in the knowledge of the old cemented beaches and, on the other hand, studies of the geometry have led to a definition of its role in the coastal dynamics.

**Key-words:** Beach-rock, cementation, polychronic, polygenic, erosion, protection.