

GEOMORPHOLOGIE ET FONCTIONNEMENT D'UN ATOLL

L'exemple de Tikehau, Tuamotu, Polynésie française

Jacques BONVALLOT, Francis ROUGERIE, Bruno WAUTHY

Centre ORSTOM de Tahiti, BP 529, PAPEETE, Polynésie française

Abstract : *On the occasion of a geomorphological study of the atoll of Tikehau, Tuamotu Archipelago, South Pacific, the authors develop the "geothermal endo-upwelling" concept in order to explain the formation of such coral reef constructions. This concept comprises a vertical ascent of deep oceanic water, driven by geothermal heat flow through the atoll's internal structure; nutrient-rich upwelled water supplies the reef-building biocenosis at the surface. The role played by endo-upwelling in island evolution and in diagenesis is specified.*

I- LES GRANDS TRAITES DE L'ATOLL :

L'atoll de Tikehau (15°S-148°W) est l'avant-dernier atoll vers le N.W de l'archipel des Tuamotu entre ceux de Rangiroa à l'est et de Mataiva à l'ouest.

C'est un atoll ouvert à une seule passe (Tuheiava) étroite (250 m.) dont le seuil est situé à 4 m de profondeur et qui met en communication directe les eaux du lagon et de l'océan. De dimension moyenne (28 km de plus grand axe), il est de forme quasi circulaire. La couronne récifale d'environ 80 km de circonférence a une largeur de près de 1 300 m au sud-est et de 400 m au nord-est. La largeur moyenne entre crête externe et tombant récifal interne est cependant de 785 m.

Sur cette couronne s'individualisent de petits îlots, les motu, formés par l'accumulation de matériel détritique, sables, graviers, cailloux et blocs arrachés à la frange corallienne externe par les plus fortes houles. Ces constructions, dont les plus petites sont précaires, reposent sur un conglomérat récifal actuellement émergé. Elles sont au nombre de 155. Leur taille est très variable, allant de quelques dizaines de mètres de largeur sur le littoral sud-est où l'on en compte pas moins de 107 sur 23 km, à plus de 10 km sur la côte nord-est. C'est sur le grand motu du sud-ouest que se situe le village de Tuherahera.

Les motu sont séparés les uns des autres par des couloirs légèrement déprimés où le conglomérat récifal est érodé, collecteurs de platier, suivant la terminologie en vigueur (Battistini et al., 1975), ou hoa en langue paumotu par lesquels se font les échanges hydrauliques entre l'océan et le lagon. Certains sont permanents, habités par des constructions coralliennes vivantes; d'autres ne sont recouverts d'eau qu'occasionnellement; d'autres encore ne canalisent l'eau océanique vers le lagon qu'en période de cyclone ou de tempête.

Le lagon, d'une surface de 400 km² a une profondeur maximum de 37 m (bathymétrie ORSTOM 1987). Il est accidenté de nombreux pinacles dont certains viennent affleurer à la surface et de pâtés coralliens situés à des profondeurs diverses. Quelques petits îlots dont le plus remarquable est le Motu Puarua sont formés par le même conglomérat corallien émergé que celui qui forme l'anneau de l'atoll.

On ne sait malheureusement rien de la profondeur du socle volcanique sur lequel s'est progressivement construit l'atoll. Mais comme tous les atolls des Tuamotu, Tikehau est implanté sur un ancien volcan s'élevant au-dessus d'une ride sous-marine qui culmine ici vers 2 500 m de profondeur. La fin de l'activité volcanique se situerait dans les Tuamotu de l'Ouest au tout début de l'Eocène, aux alentours de 60 M. d'années B.P. Le chiffre de 1000 m d'épaisseur de construction corallienne a cependant été avancé, ce qui donnerait un volume bioconstruit d'environ 800 km³.

Les témoins les plus anciens des constructions récifales de Tikehau sont situés sur le Motu Tuherahera à une altitude de 12 m. Ce sont des pitons de calcaire corallien acérés, à morphologie karstique typique, analogue à celle des "tsingy" décrits à Madagascar. Par analogie avec les mêmes formes décrites à Makatea et en l'absence de datations absolues, un âge mio-pliocène a été proposé pour ces constructions (Harmelin-Vivien, 1985). Puisqu'il s'agit d'édifices bioconstruits, leur position topographique met en lumière un soulèvement de l'atoll d'une dizaine de mètres. Ce mouvement serait dû à la charge exercée sur la plaque océanique par les édifices volcaniques des îles du Vent (Tahiti, Moorea, Mehetia) et à la compensation isostatique positive qui en résulterait à la périphérie de la zone subsidente (Lambeck, 1981).

Les conglomérats récifaux actuellement émergés, à environ 1 m au-dessus du niveau marin actuel et formant l'ossature de subsurface de l'atoll, sont les témoins d'un ancien niveau marin dont le maximum à + 1 m a eu lieu aux alentours de 2 000 ans B.P. (Pirazzoli et Montaggioni, 1988). L'émersion de l'atoll due à la baisse du niveau marin est donc un phénomène géologique récent.

Le démantèlement progressif du conglomérat par formation d'une micro falaise au-dessus d'une dalle de platier et épandage des blocs et cailloux résultant de l'érosion dans les hoa, semble montrer qu'une nouvelle pulsation du niveau marin vers le haut a débuté.

II- LE PROCESSUS D'ENDO-UPWELLING GEOTHERMIQUE COMME EXPLICATION DE LA CONSTRUCTION DES ATOLLS ET SES IMPLICATIONS

Dans les grandes zones marines tropicales oligotrophes la productivité primaire de la couche éclairée est faible et peut devenir quasiment nulle au centre des grands gyres comme celui du Pacifique Central sud entre la Polynésie et l'île de Pâques. De superbes atolls comme celui de Tikehau et récifs barrières prospèrent toutefois dans ce "désert marin" en étant balayés par des houles dont les très faibles teneurs en sels nutritifs et en plancton ne peuvent rendre compte de la forte productivité/calcifération de la couronne corallienne externe et notamment des volumes bioconstruits au cours de l'histoire géologique récente de ces appareils. Des travaux menés depuis 15 ans en Polynésie par l'ORSTOM ont conduit à élaborer un modèle de fonctionnement des atolls selon un processus appelé endo-upwelling** géothermique. Ce processus repose sur la pénétration, à la base du socle calcaire, d'eaux profondes océaniques qui possèdent de fortes teneurs en sels nutritifs dissous à partir des niveaux 300-400 mètres. Ces eaux de pénétration subissent un réchauffement dû au flux géothermique émis par le soubassement basaltique, et tendent ainsi à circuler vers les parties hautes du socle calcaire poreux. Le réseau de mégaporosité emprunté et entretenu par le flux d'eau aboutit à la couronne corallienne externe où les colonies sont ainsi alimentées de façon lente mais continue en nutriments neufs. Ce processus d'endo-upwelling est rendu possible par la conjonction en un même site de trois facteurs (ROUGERIE et WAUTHY, 1986) : 1) une couche géologique poreuse et perméable 2) un flux géothermique dans le substrat ; 3) un océan profond contigu, source de nutriments.

Endo-upwelling et réseau trophique

Les sels nutritifs nécessaires au maintien de la production de l'atoll-aosis dans le désert océanique proviennent donc du réservoir constitué par les eaux profondes, la base de la production étant la photosynthèse effectuée par des organismes autotrophes benthiques en sub-surface. Le fonctionnement de l'atoll perd ainsi de son "merveilleux" puisqu'il rejoint la réalité de

**Upwelling : Remontée jusqu'en surface d'eaux océaniques profondes riches en sels nutritifs.

la production primaire en milieu tropical pauvre stimulée par l'apport d'engrais exogènes comme dans les zones d'upwelling équatorial ; son efficacité ne dépend plus d'adaptations exceptionnelles comme la fixation de l'azote atmosphérique ou l'assimilation de la matière organique dissoute océanique réfractaire. Le fonctionnement trophique de l'atoll est ainsi en accord avec le schéma classique : 1) Production primaire benthique ; 2) Symbiose zooxanthelles-coraux dans la calcification des squelettes formant le substrat, 3) Activité bactérienne dans le circuit interne de décomposition de la matière organique détritique ; 4) Exportation d'une partie de la production vers l'océan après transit lagonaire.

Variabilité du flux géothermique

Si, à cause de la variabilité du volcanisme interne, le moteur géothermique faiblit, l'endo-upwelling s'atténue et l'écosystème perd de sa productivité ; la croissance verticale de la biocénose corallienne devient alors insuffisante pour compenser la montée du niveau marin consécutive soit à une déglaciation (transgression Holocène par exemple) soit à la lente subsidence de la plaque océanique : la couronne récifale "décroche" de la surface et s'ennoie de plus en plus profondément. On observe actuellement ce stade dans les atolls submergés à quelques dizaines de mètres de profondeur, mêlés aux "atolls typiques" dans les Carolines, les Samoa ou Tuamotu.

Le problème des guyots

Il semble que le modèle d'endo-upwelling puisse apporter une réponse simple à l'existence de ces formes. En effet, si on l'admet qu'en zone océanique oligotrophe le maintien de la biocénose corallienne sur le socle volcanique après son ennoïement dépend de l'établissement et de l'entretien d'un endo-upwelling géothermique, certains "guyots" pourraient avoir comme antécédents :

- soit une île volcanique à récifs frangeants où le flux géothermique s'est avéré d'emblée insuffisant à établir un endo-upwelling efficace au moment de l'immersion de l'île ; dans ce cas nous aurions affaire à un "atoll avorté" ;
- soit un "atoll" bien développé, mais dont le flux géothermique a subi une diminution entraînant un affaiblissement de l'endo-upwelling ; dans ce cas il s'agirait d'un "atoll prématurément décédé".

Endo-upwelling et diagenèses

L'endo-upwelling peut également rendre compte de la phosphatogenèse si caractéristique des atolls de la région Pacifique. L'élément phosphore apporté par le flux d'eau interstitielle tend à s'accumuler et à participer à une diagenèse des carbonates en place. Ainsi le fond du lagon de Niau, atoll fermé légèrement soulevé (+ 7 mètres), est actuellement occupé par un dépôt d'apatite recouvert par des boues anoxiques riches en matières organiques. Lors du soulèvement d'un atoll et de l'assèchement du lagon la masse du gisement d'apatite sublagonaire peut donc être considérée comme définitivement acquise : la formation "in situ" d'un gisement d'apatite comme celui de Makatea (10 millions de tonnes exploités) serait ainsi le résultat d'un processus diagénétique lié à un flux continu d'eau océanique profonde transportant du phosphore à travers la structure carbonatée. Au contact des roches basaltiques sous-jacentes ce flux océanique de pénétration peut également se charger de silice et d'oligo-éléments qui ont d'ailleurs été décelés dans les phosphates et dans certaines roches dolomitiques, comme dans l'atoll soulevé de Niue. (AHARON et al. 1987)

Le vieux problème mal résolu de la dolomitisation trouve également une réponse simple et convaincante dans le modèle d'endo-upwelling ; le magnésium apporté par le flux océanique profond de pénétration s'échange avec le calcium de la structure calcaire, l'excès en Ca étant éliminé vers le haut de l'atoll par la cellule de convection.

Mais d'autres applications de ce modèle peuvent être proposées, notamment dans le domaine de la kérogénèse, car l'eau océanique profonde contient aussi des matières organiques dites réfractaires qui peuvent s'accumuler dans la partie centrale sublagonaire anaérobie. Par réduction bactérienne ces matières organiques peuvent être lentement transformées en kérogène, puis en hydrocarbures. C'est par exemple le cas dans l'île de Tongatapu aux Tonga où existent des suintements d'hydrocarbures. Comme pour la phosphatogénèse et la dolomitisation, c'est bien l'énorme réservoir océanique profond qui constitue la source de ces éléments repris par diagenèse dans la partie supérieure de la structure carbonatée après transport par endo-upwelling. Ce modèle aux implications si diverses constitue donc un véritable paradigme dont certains aspects sont en cours de vérification (ROUGERIE et WAUTHY, 1988).

BIBLIOGRAPHIE RESTREINTE

AHARON (P.), SOCKI (R.), CHAN (L.), 1987. -Dolomitization of atolls by sea water convection flow : test of a hypothesis at Niue, South-Pacific. Journal of Geology, 95, p. 187-203.

BATTISTINI (R.) et al., 1975. -Eléments de terminologie récifale indopacifique. Thétys, 7 (1):1-111.

HARME LIN-VIVIEN (M.), 1985. -Contribution à l'étude de l'atoll de Tikehau. Présentation générale de l'atoll. ORSTOM. Notes et Documents d'Océanographie, 24 : 2-27.

LAMBECK (K.), 1981. -Flexure of the ocean lithosphere from island uplift, bathymetry and geoid height observations : The Society islands. Geophys. J.R. Abst. Soc., 67 : 91-114.

PIRAZZOLI (P.A.), MONTAGGIONI (L.F.), 1988. -The 7,000 YR Sea-level curve in French Polynesia : Geodynamic Implications for Mid-plate volcanic Islands. Reef's 88. 6th International Coral Reef Symposium. Townsville. Multigr.6p.

ROUGERIE (F.), WAUTHY (B.), 1986. -Le concept d'endo-upwelling dans le fonctionnement des atolls-oasis. Oceanologica Acta, vol. 9, (2), p. 133-148.

ROUGERIE (F.), WAUTHY (B.), 1988. -The endo-upwelling concept : a new paradigm for solving an old paradox. Proceeding of the sixth Coral Reef Congress, Townsville, Australia, 6 p.



SECOND FORUM NATIONAL DU
GROUPE FRANCAIS DE GEOMORPHOLOGIE

Caen, Jeudi 24 et Vendredi 25 Novembre 1988

GEOMORPHOLOGIE ET FONCTIONNEMENT D'UN ATOLL
L'EXEMPLE DE TIKEHAU, TUAMOTU
J. Bonvallot, F. Rougerie, B. Wauthy
ORSTOM - PAPEETE