

Mise en page : Gisèle BOUTIN-LEFERT

## RAPPORT N° 1196 A

### POLYNÉSIE FRANÇAISE

Tahiti (îles du Vent) et île de Hiva Oa (îles Marquises)  
Diagnostic de l'état d'altération des tiki et pétroglyphes

*Jean-Didier MERTZ, ingénieur de recherche, pôle scientifique «Pierre»  
Geneviève ORIAL, ingénieur de recherche, responsable pôle scientifique «Microbiologie»*

*Destinataires :*

**M. Michel CLEMENT**, directeur du Patrimoine et de l'architecture  
s/c de Mme Isabelle MARECHAL, sous-directeur des monuments historiques et espaces protégés  
182 rue Saint-Honoré - 75001 Paris

**M. Jean-Marc PAMBRUN**, directeur du Musée de Tahiti et des Îles, Te Fare Manaha, Nu'uroa, Puna'auia,  
PK 15, pointe des pêcheurs - Île de Tahiti (Polynésie Française)

**Mme Véronique MU-LIEPMANN**, conservateur du musée de Tahiti et des Îles, Te Fare Manaha, Nu'uroa,  
Puna'auia - PK 15 - Pointe des pêcheurs - Île de Tahiti (Polynésie Française)

**Mme Catherine CHAVAILLON**, archéologue  
BP50 - Atuona - Île d'Hiva Oa (Polynésie Française)

**M. Georges GRAMONT**, président du Tourisme d'Hiva Oa, Relais Moehau  
BP50 - Atuona, Île d'Hiva Oa (Polynésie Française)

**M. Jean-Daniel PARISET**, conservateur des archives et de la bibliothèque du Patrimoine  
Hôtel de Croisilles - 12 rue du Parc Royal - 75003 Paris

## REMERCIEMENTS

Nous voudrions adresser nos chaleureux remerciements à l'équipe de Polynésie française pour leur dévouement et leur disponibilité :

- Monsieur Jean-Pierre Pambrun, directeur du musée de Tahiti et des Iles
- Madame Véronique Mu-Liepmann, conservateur du musée
- Madame Catherine Chavaillon et Mademoiselle Tamara Maric, archéologues, ainsi que Monsieur Eric Olivier
- Messieurs Gérard Guyot et Georges Gramont.

Nous retiendrons une équipe soudée et dynamique qui nous a guidés pendant tout notre séjour et qui a su rendre cette mission aussi agréable qu'efficace.

Nous tenons également à remercier nos collègues du LRMH qui nous ont aidés dans la réalisation scientifique du dossier :

- Monsieur Mikael Guiavarc'h, du pôle scientifique « Pierre » pour la réalisation des coupes et lames minces
- Messieurs Faisl Boustia et Alexandre François, du pôle scientifique « Microbiologie » pour leur participation à la réalisation des cartographies et prises de vues
- Madame Gisèle Boutin-Lefert, pour la mise en page du rapport.

# SOMMAIRE

## I - INTRODUCTION

A - Organisation technique et matérielle .....	5
B - Objectifs de la mission d'expertise .....	5
C - Contexte géographique et géologique .....	6
D - Contexte biologique .....	7
E - Contexte historique .....	9

II - SITES DE L'ILE D'HIVA OA .....	10
-------------------------------------	----

III - SITES DE TAHITI ITI .....	25
---------------------------------	----

IV - BILAN ET PERSPECTIVES .....	50
----------------------------------	----

V - REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	52
---------------------------------------	----

Annexes .....	54
---------------	----

## I - INTRODUCTION

## A - Organisation technique et matérielle

### a) Cadre de la mission

La mission d'expertise en Polynésie française fait suite à la visite en France en octobre 2005 de Madame V. Mu-Liepmann, conservateur du Musée de Tahiti et des Iles à Punaauia. Une collaboration entre le Musée et le Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques a été officialisée par la convention N°02/MTI/2006 en date du 13 janvier 2006 pour l'établissement d'un diagnostic scientifique des statues dans le but d'étudier les conditions de leur restauration.

### b) Déroulement du voyage

Le séjour a eu lieu du 27 janvier au 11 février 2006. Il s'est déroulé en deux étapes avec visites aux Marquises puis à Tahiti Iti, des sites et ensembles cérémoniels suivants :

- Ile d'Hiva Oa
  - ⇒ Tahauku : ensemble de Tehueto et rocher gravé de pétroglyphes ;
  - ⇒ Puamau : site de Iipona et examen des deux grand tiki Takaii et Makaii ;
  - ⇒ Taaoa : site de Upeke et du grand tiki en pierre.
- Ile de Tahiti Iti
  - ⇒ Vallée de Papeno'o : site de Fare'ape et rocher gravé de pétroglyphes ;
  - ⇒ Jardin du musée Paul Gauguin à Papéari : étude des tiki Moana n°428, tiki Heiata n°429 et tiki n°430 originaires pour les deux premiers d'entre eux, de l'île de Raivavae.

### c) Encadrement et partenaires

La mission a été rendue possible grâce à l'enthousiasme de Monsieur Jean-Pierre Pambrun, directeur du musée de Tahiti et des Iles. Elle a été organisée par Madame Véronique Mu-Liepmann qui nous a guidés lors des campagnes de terrain à Tahiti, et a créé les conditions matérielles dans un souci d'efficacité optimal. A Hiva Oa, Catherine Chavaillon, archéologue, a assuré le rôle de guide patrimonial tout en nous sensibilisant avec Eric Olivier, Tamara Maric, Gérard Guyot et Georges Gramont aux graves problèmes de conservation des vestiges encore en place, mais surtout de gestion des me'ae oubliés de l'île.

## B - Objectifs de la mission d'expertise

Dans le cadre de la conservation des tiki et pétroglyphes des îles polynésiennes et/ou actuellement entreposés dans le jardin de Musée Gauguin à Papéari, nous avons effectué une mission à Hiva Oa (archipel des Marquises) et à Tahiti afin d'établir un constat de l'état d'altération actuel de ces œuvres en tuf et en basalte. Les évaluations menées sur place se fondent sur des observations et des tests de faisabilité en fonction de l'état actuel de nos connaissances en matière de conservation-restauration et des possibilités d'entreprendre des actions de prévention en favorisant les méthodes et moyens techniques locaux.

Le diagnostic des différentes formes d'altération (origine biologique, minérale et structurelle) constitue la clé essentielle pour l'interprétation de données collectées. Il est complété par des identifications spécifiques des matériaux constitutifs et des produits d'altération, effectués sur place puis en laboratoire, afin de préciser les facteurs responsables des désordres les plus visibles et d'émettre des hypothèses sur les mécanismes mis en jeu.

L'interprétation de ces données doit permettre d'aboutir à des recommandations sur les méthodes de traitements à tester. Dans le but de valider des mesures conservatoires dont certaines relèvent du bon sens, des essais préalables de faisabilité (test de différents biocides, essais de dessalement et de consolidation) ont été entrepris à titre expérimental. L'objectif s'inscrit clairement dans une phase préliminaire de restauration, complétée par des propositions concrètes (procédures de traitement) qui serviront de guide général pour le traitement futur des œuvres.

La plupart des actions à prévoir nécessitera l'intervention d'un restaurateur expérimenté rompu aux pratiques actuelles dans le domaine de la restauration des sculptures en pierre. C'est en particulier le cas des tiki situés dans le jardin du musée Gauguin pour lesquels, après restauration, un éventuel retour sur l'île de Raivavae est envisagé par les services du Ministère de la Culture de la Polynésie française.



*Ile d'Hiva Oa : Me'ae lipona*

### **C - Contexte géographique et géologique**

Les îles de la Polynésie française représentent 4000 km<sup>2</sup> de terres émergées situées dans un domaine océanique de 6,5 millions de km<sup>2</sup>. Regroupées en cinq archipels comptant une centaine d'îles dont la plus importante est Tahiti, leur évolution est contrôlée par les concepts de subsidence et de tectonique des plaques. La plupart de ces îles solidaires de la plaque pacifique qui les entraîne progressivement vers le nord ouest, se transforme en atolls avant de disparaître en quelques millions d'années dans les fosses océaniques.

L'archipel de la Société, compte huit édifices principaux depuis l'île de Maupiti à l'extrême nord vieille de 4,34 Millions d'années (ou Ma) jusqu'au volcan Meetia au sud-est (435 m), le plus jeune, et qui matérialise la position actuelle du point chaud dont la dernière activité sous-marine remonte à 1986. Tahiti, île haute de 2200 m, repose sur un plancher profond de 3000 m et forme donc un massif de plus de 5000 m de haut si l'on enlève l'océan. Ces altitudes observées sont donc très comparables aux plus hautes montagnes continentales. Cette migration du volcanisme est très compatible avec le déplacement de la plaque Pacifique au dessus d'un point chaud ([www.ipgp.jussieu.fr](http://www.ipgp.jussieu.fr)).

Les Marquises forment une chaîne de 355 km de long avec plus de vingt îles et monts sous-marins majeurs. Elles reposent sur une croûte océanique formée entre 45 à 65 Ma et profonde de 4500 à 5000 m en moyenne. Les datations des îles montrent une progression de l'âge de 5,33 à 1,61 Ma depuis Eiao jusqu'à Fatu Hiva. Il n'y a aucune trace de volcanisme récent ou actuel, aérien ou sous-marin aux Marquises. Sur l'île de Hiva Oa qui montre différentes structures, les boucliers et le volcan de Puamau se sont mis en place entre 3,2 et 1,5 Ma.

Ces îles volcaniques correspondent à des volcans insulaires dont la racine est océanique. Elles montrent un chimisme varié, avec des laves de compositions variables passant d'une facture à affinité tholéitique, témoin d'un volcanisme précoce, jusqu'à des roches basaltiques très alcalines. Leur genèse est ainsi attribuée à une activité volcanique au dessus d'un point chaud au milieu de la plaque Pacifique. Quant aux Australes, plus éloignées, et en particulier à l'île de Raivavae, les datations par la méthode K/Ar indiquent des âges compris entre 7,6 et 5,5 Ma (Barszczus et Liotard, 1985).

A Tahiti, aux Australes ou aux Marquises, le degré d'érosion des roches et laves à l'affleurement est parfois suffisamment avancé pour que la reconnaissance précise des anciens cratères ne soit pas immédiate. Cette impression d'érosion active des roches mères en surface ne doit cependant pas occulter le fait qu'il s'agit de mises en place éruptives tardives, caractérisées par un activité majeure entre le Pliocène et le Pléistocène inférieur et même parfois, comme cela a été reconnu dès 1959 à Tahiti, au Quaternaire très récent. Des nouvelles données pétrologiques, géochimiques et radiométriques (Legendre, 2003 ; Guillou et al., 2005) ont permis de montrer que l'archipel des Marquises repose sur une croûte océanique formée à l'axe de la dorsale pacifique entre 53 et 49 Ma à l'origine d'une mise en place rapide d'un volcanisme de point chaud daté, par l'application d'un modèle thermique, entre 5,8-0,4 Ma.

L'évolution de la constitution des roches d'épanchement qui forment ces îles constitue un moyen essentiel pour reconstituer l'histoire du volcanisme en Polynésie. La dégradation plus ou moins prononcée des roches à l'échelle des massifs et bassins versants dépend avant tout de la composition des magmas et des conditions environnementales et climatiques. A l'échelle humaine et de celle des objets archéologiques, la composition initiale des matériaux reste déterminante sur leur degré d'altération mais peut être fortement occultée par les conditions de l'environnement et de leur mise en œuvre.

## D - Contexte biologique

La Polynésie française se situe au milieu de l'océan Pacifique, avec un climat tropical maritime. On distingue deux saisons : la saison chaude de novembre à avril et la saison fraîche de mai à octobre. Si on prend l'exemple de Papeete, les températures varient de 23 à 30°C en janvier et de 21 à 28°C en juillet.

Pour les îles de la Société dont fait partie Tahiti, les deux saisons sont bien différenciées quant au régime pluviométrique avec un maximum très net en saison chaude. Pour les îles Marquises, les différences sont très peu marquées aussi bien en température et humidité qu'en pluviométrie.

La flore des îles de la Polynésie française, contrairement à ce que peut laisser croire l'exubérance de la végétation, est caractérisée par un faible nombre d'espèces, environ un millier. La microflore végétale ne fait pas exception : algues aériennes, lichens et mousses bien que luxuriants sont assez peu diversifiés en espèces. La taille, l'âge des îles et les facteurs du milieu sont les principaux agents de la composition floristique et microfloristique.

Les algues regroupent un ensemble de végétaux inférieurs, photosynthétiques, très divers et dont l'appareil végétatif relativement simple est appelé «thalle». Leur morphologie est assez diversifiée, elles peuvent être unicellulaires, mobiles, ou bien former par association de cellules des filaments ou des lames de formes variées mais ne présentent jamais de véritables organes différenciés, en particulier ni racine, ni tige, ni vraies feuilles, comme on en trouve chez les plantes plus évoluées. De manière simplifiée, les algues qui sont majoritairement observées sur les roches appartiennent à trois groupes : algues rouges ou Rhodophytes, algues vertes ou Chlorophytes et algues bleues ou cyanobactéries.

Les algues bleues diffèrent fondamentalement des autres groupes d'algues, puisqu'elles appartiennent au monde des bactéries. Elles représentent les formes de vie les plus anciennes. Toutes les autres algues sont eucaryotes (organismes avec un noyau). Chez elles, la photosynthèse se produit dans des structures particulières qu'on appelle des chloroplastes.

Les lichens, eux, sont le résultat de la symbiose entre un champignon inférieur, hétérotrophe (moisissure) et une algue verte ou une cyanobactérie, autotrophes (chlorophylliens). Chacun des constituants a un rôle bien défini : la moisissure utilise les nutriments organiques produits par les algues au travers de la photosynthèse, l'algue profite des éléments minéraux de la pierre qui sont dissous par les acides organiques sécrétés par les hyphes des moisissures. Le champignon a également une action protectrice vis à vis de l'algue contre les agressions environnementales comme la dessiccation ou la pollution chimique (Warscheid, 2000). Les lichens ont la capacité de résister à de très fortes dessiccations. Certains lichens peuvent vivre avec une teneur en eau de 2 % .Ils sont aussi capable de se réhydrater. En général les lichens contiennent beaucoup d'eau (100 à 300 % par rapport à la matière sèche du lichen). La résistance hydrique des lichens provient surtout de la moisissure qui sécrète des polysaccharides autour de l'hyphe créant ainsi une zone qui piège l'eau sous forme colloïdale. La reprise du métabolisme après une sécheresse est très rapide. Les lichens peuvent également survivre à des variations de température importantes pouvant aller de -70 à +70 °C.

Les mousses ou bryophytes sont de petits végétaux chlorophylliens. Ils ne possèdent pas de racines ni de véritables vaisseaux. On les trouve principalement dans les endroits peu ensoleillés et humides. Beaucoup d'entre elles ont comme particularité d'être reviviscents c'est-à-dire qu'elles peuvent supporter des températures de plus de 70° et, desséchées, peuvent rester longtemps dans un état de vie ralentie. Les bryophytes n'ont pas de tissu ligneux de soutien développé comme les fougères ou les plantes à fleurs. Cela implique qu'elles ont besoin d'humidité ambiante car il n'y a pas chez elles de transport de l'eau qu'elles doivent donc absorber par toute leur surface.

De nombreuses investigations ont permis de mettre en évidence le rôle joué par les agents biologiques dans la détérioration des matériaux minéraux. L'intensité du processus de biodétérioration est majoritairement influencé par les apports d'eau. La formation d'un biofilm se manifeste tout d'abord par une coloration due aux pigments organiques (chlorophylle, caroténoïdes, mélanine). La microflore qui va se développer sur une pierre (algues, lichens, mousses et, parfois, plantes supérieures) représente un écosystème complexe qui est variable suivant les conditions environnementales et les propriétés physico-chimiques du matériau.

Il est largement reconnu actuellement que les lichens jouent un rôle actif, physique, chimique dans l'altération des roches et minéraux. Les effets physiques sont multiples :

- pénétration des hyphes et rhizines au travers des vides intergranulaires et plans de clivage des minéraux,
- expansion et contraction des thalles lors des épisodes d'humidification et séchage du matériau,
- action de gonflement des sels organiques et inorganiques provenant de l'activité lichénique,
- incorporation de fragments de minéraux dans le thalle.

Plus difficile à mettre en évidence, les effets chimiques des lichens sur les roches ont été néanmoins pu être étudiés et tout confirme leur importance : la forte capacité de chélation des exudats lichéniques, la néoformation de minéraux, particulièrement les oxalates (J. Chen, 2000).

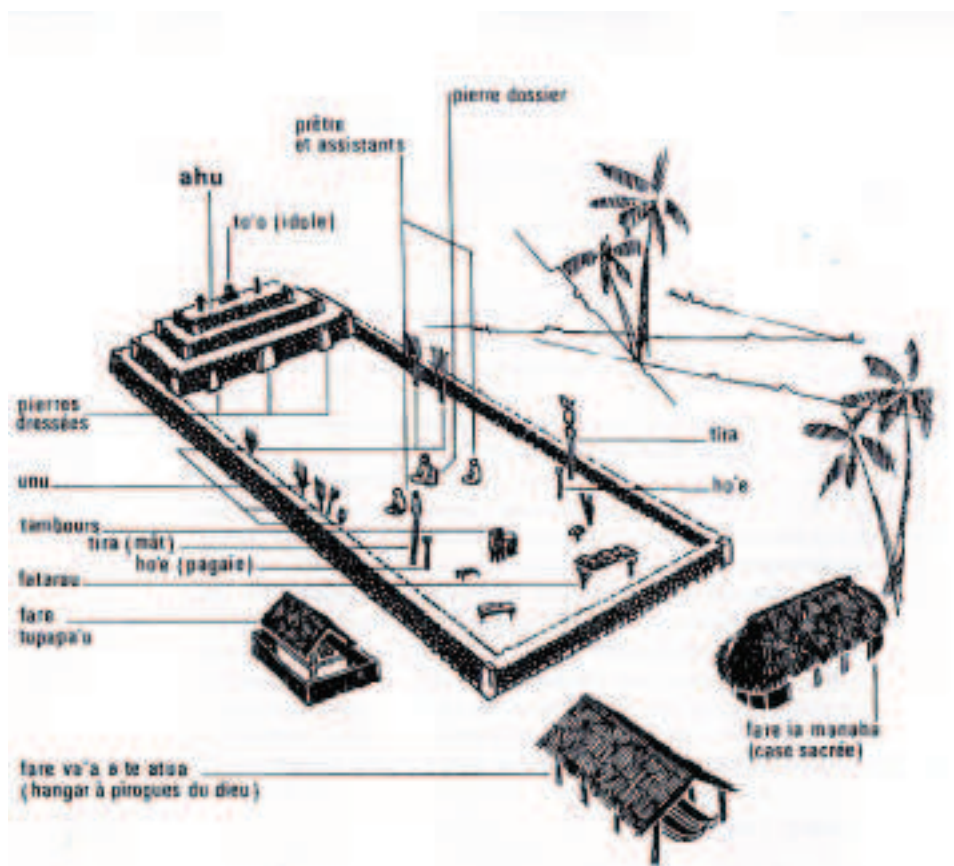
Par ailleurs, l'accumulation de la biomasse photosynthétique est une excellente base nutritionnelle pour toute une flore bactérienne hétérotrophe susceptible de participer à la formation d'autres acides organiques.



## E - Contexte historique

Avant l'apport des européens qui, à la fin du XVIII<sup>ème</sup> siècle ont évangélisé les îles, tous les peuples de Polynésie avaient le besoin de célébrer de grandes fêtes dans des lieux sacrés.

C'est le marae (ou mea'ae en marquisien) qui était le lieu de culte, un sanctuaire de plein air. Il avait la forme d'un enclos de forme rectangulaire dont les murs de pierres entouraient un «autel» (ahu). Des pierres dressées servaient à la fois de reposoir aux ancêtres ou aux Dieux, et de dossiers aux officiants. Plusieurs décorations cernaient l'enclos, comme les «unu» (sculptures en bois ornées de motifs géométriques). On y venait avant tout pour honorer les dieux et leur demander d'influencer favorablement les éléments. On s'y retrouvait pour prier, chanter des louanges et danser, avant les récoltes, les naissances et avant de partir à la guerre, afin d'obtenir la bénédiction des dieux. Aujourd'hui, le culte païen a disparu, mais les marae subsistent, il existe aujourd'hui encore des centaines de marae à travers la Polynésie.



Plan d'un marae (extrait de « Pierres et rites sacrés » J. Garanger)

Les dieux et les ancêtres étaient représentés par des statues appelées tiki.

Originaire des Marquises, le tiki a envahi tout le triangle polynésien sous des représentations diverses. On le rencontre le plus souvent sous la forme de statues, mais on le voit également sur la proue des pirogues, sur les bâtons des chefs, etc... On rencontre aussi les tiki sous forme de bijou, taillés dans de l'ivoire de cachalot et même en os humain. Il orne les to'ere (tambours), les umete (plats sculptés), etc. On le retrouve non seulement dans la sculpture, mais aussi dans l'art graphique, dans les motifs de tatouage. C'est sur des pétroglyphes très anciens que les archéologues ont découvert pour la première fois la trace des tiki. Ces pierres gravées et peintes représentaient souvent des visages avec de grands yeux cerclés, la première représentation des dieux ma'ohi. (site internet : <http://www.abcdaire.netfenua.pf>, Garanger).

La civilisation polynésienne étant essentiellement orale, il est donc difficile de savoir aujourd'hui l'époque exacte des tiki et pétroglyphes encore existants sur les îles.

## II - SITES DE L'ILE D'HIVA OA

Hiva Oa fut découverte par Mendana en 1595 et nommée la Dominica. Les européens l'ont peu fréquentée jusqu'au milieu du XIX<sup>ème</sup> siècle, tant les populations étaient agressives et l'île troublée par les guerres qui opposaient les tribus Hamau, Naiki, Pepane et Nuku. L'annexion par la France fut prononcée en 1842, mais pendant près de 40 ans, les administrateurs ne réussirent pas à s'imposer : 40 cas de cannibalisme étaient encore relevés à Puamau en 1876. Siège de l'administration française de 1904 à 1940 et de l'évêché de 1893 à 1961, l'île a aussi gardé le souvenir de Paul Gauguin et de Jacques Brel venus passer les dernières années de leur vie.

Hiva Oa est, de par sa taille, la seconde île de l'archipel des Marquises. Située à 1180 km au nord-est de Tahiti et allongée est-ouest sur une vingtaine de kilomètres, l'île culmine à 1276m (Mont Temetiu) pour une superficie de 320 km<sup>2</sup>. C'est la plus grande et la plus fertile des îles du groupe Sud de l'archipel des Marquises. Elle est située par 139° Ouest 9°45' Sud et possède de profondes vallées, un plateau luxuriant et d'épaisses forêts. La structure géologique de cette île est curieuse et complexe. D'un premier volcan, celui de Taaoa, ne subsiste qu'une muraille haute de plus de 1000 m. Celle-ci borde la caldeira à l'intérieur de laquelle s'est développé le volcan d'Atuona. A l'Est enfin, cet édifice principal se prolonge par le volcan de Puamau, dont il est séparé par le dyke du mont Otua qui culmine à 924 m.

### A - VALLÉE DE TAHUKU, SITE DE TEHUETO

Situé en pleine forêt tropicale et accessible seulement en véhicule tout-terrain, le site présente à son extrémité SW un gros bloc ératique allongé suivant la direction N140, et gravé de pétroglyphes stylisés sur deux de ses faces. Se basant sur des clichés anciens, ce bloc originellement situé à proximité de la rivière, se trouve aujourd'hui isolé, 180 m environ en contrebas vers le sud-ouest. L'examen d'une photographie de 1920 atteste qu'il n'est plus dans sa position originelle et qu'il a basculé de 90° dans le sens horaire (photos 1 et 2), probablement suite à un glissement de terrain intervenu en 1983. Les gravures de ce rocher d'une dizaine de mètres de longueur et dont la masse dépasse 300 tonnes, se localisent sur ses deux faces subverticales à vergence nord-est et sud-ouest.

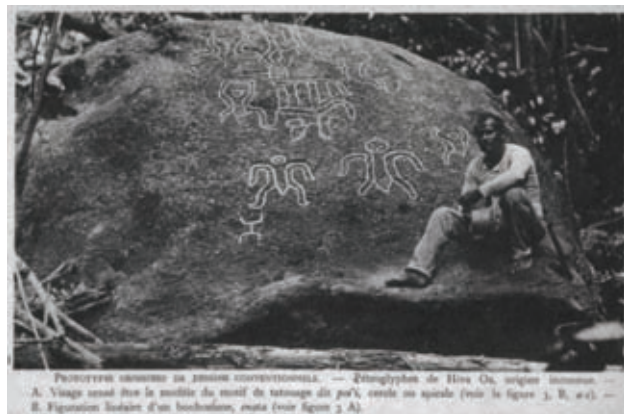


Photo 1 : Photographie d'archive du livre de Linton, 1920 (cliché E. Olivier)



Photo 2 : Rehaussement des traits gravés à la craie rouge (cliché E. Olivier, 2001)

#### a) Structure et composition pétrographique

De forme patatoïde, le bloc massif présente une morphologie d'ensemble émoussée qui témoigne, à l'échelle géologique, d'un transport et de l'action chimique de l'eau. Il est affecté par deux réseaux de fissures en dehors du champs gravé, l'un à son extrémité sud où l'on peut observer des cassures franches peut-être contemporaines du basculement du bloc. Le second réseau se localise sur la face nord-est du bloc, coté nord, où une fracture courbe non traversante délimite un fragment de taille métrique. Encore solidaire du rocher, la fracture qui isole ce fragment est ouverte sur un demi millimètre environ et constitue un lieu préférentiel de pénétration des eaux. Sous l'encroûtement épais de microorganismes qui entretient un certain degré d'humidité, la roche correspond

à un matériau dur, rugueux, parsemé de petites cavités plurimillimétriques. Ces microstructures soulignent l'effet d'une humidité persistante ou ponctuellement très active qui favorise la dissolution puis l'élimination des parties les plus tendres du matériau. A l'échelle centimétrique, la surface de la roche de teinte gris-clair (photo 3), laisse en saillance de petits minéraux noirs, moins sensibles à l'altération que la matrice. Observée en microscopie polarisante (photo 4), la roche correspond à une trachyte ou un trachybasalte leucocrate à texture microlitique porphyrique. Le fond est constitué de microlithes de plagioclases sans orientation préférentielle. Les phénocristaux correspondent à des oxydes (magnétite), de rares olivines toujours saines, des hornblendes basaltiques entourées de leur liseré caractéristique d'oxydes et des phénoblastes de plagioclases et de feldspaths alcalins type sanidine présentant souvent le phénomène de zoning. Ce phénomène traduit une croissance cristalline progressive et caractérise une évolution de la composition du plagioclase ou du feldspath au fur et à mesure du refroidissement du magma. Ces plagioclases présentent toujours une proportion d'anorthite assez faible, inférieure à 30% (albite ou oligoclase) et sont donc peu calciques.



*Photo 3 : Aspect macroscopique vacuolaire de la surface du rocher après élimination manuelle des recouvrements biologiques*



*Photo 4 : Observation au microscope polarisant sur lame mince pétrographique en lumière naturelle polarisée. Corrosion d'un feldspath alcalin au voisinage de la surface. Petit coté de la photo = 1mm*

#### b) Altération superficielle

Naturellement peu poreuse, la roche présente des indices d'altération qui ont pour origine l'humidité et les eaux de pluie. Au contact de l'atmosphère, les minéraux de ce trachybasalte sont soumis à un lessivage puis dans un stade ultime, à une dissolution. Les minéraux les plus affectés sont logiquement les phénocristaux plurimillimétriques de plagioclases et de feldspaths, réputés sensibles à l'altération. La corrosion s'exprime par un élargissement des plans de macles et des cassures dans lesquels s'infiltrent les solutions. L'altération peut dans certains cas, évoluer vers le stade de la néoformation d'autres minéraux comme des argiles qui s'insinuent dans les fissures et craquelures (photo 4) par recombinaison des éléments chimiques constitutifs des feldspaths. Au delà de quelques millimètres en profondeur, les minéraux sont sains. L'aspect caverneux de la surface du rocher est attribué à ces deux phénomènes et en particulier à ce processus de dissolution sélective, bien qu'il soit encore peu prononcé. Par ailleurs, le rehaussement périodique (?) des traits contribue probablement à stresser les fonds gravés d'une part à cause du frottement imposé et d'autre part, de l'apport de matière carbonatée exogène (craie).

Les recouvrements biologiques sont principalement de trois natures :

- des *cyanobactéries* qui forment un tapis noirâtre relativement épais, en surface orientée nord de la dalle,
- des *mousses* jaunes et vertes, coté sud-ouest, qui, comme les algues, se détachent facilement du support, sans altération visible du matériau,
- quelques *lichens* gris verdâtres, en orientation est (photo 5).



Photo 5 : Vue du rocher en situation sud ouest, aspect des recouvrements de mousses vertes et lichens verdâtres

L'observation, en laboratoire à la loupe binoculaire (photo 6), a permis de préciser quelques éléments morphologiques des lichens observés.

Le thalle est de couleur gris verdâtre, complexe, constitué d'un thalle primaire, squamuleux, appliqué sur le support et d'un thalle secondaire, formé de petites tiges ramifiées et dressés, de plus de deux cm de hauteur, les podétions. Il pourrait être classé dans la famille des Cladoniacées du genre *Cladonia* (Hill ex Wigg).

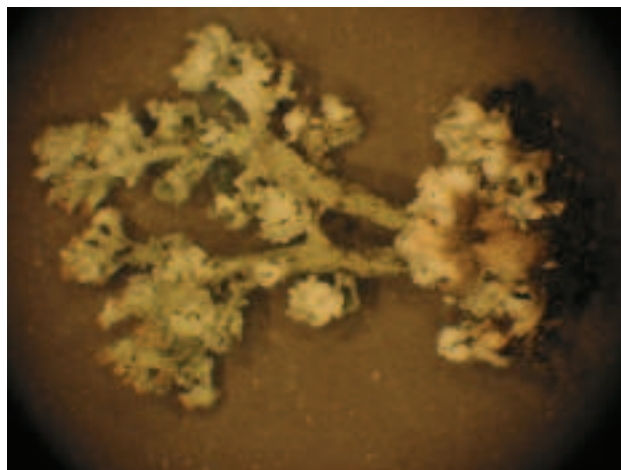


Photo 6 : Vue à la loupe binoculaire, d'un fragment du lichen montrant le thalle primaire et un podétion (X8)

Par ailleurs, la dalle est entourée de plantes et végétaux supérieurs qui empêchent toute respiration du matériau. Ces divers recouvrements participent au phénomène d'altération par la rétention d'eau et, en conséquence, activent le processus de dissolution sélective due aux métabolites excrétés.

## **B - VALLÉE DE PUAMAU, SITE D'IIPONA**

La vallée de Puamau correspond à la caldeira d'un ancien volcan et est particulièrement riche en vestiges archéologiques. On y compte cinq me'ae dont celui d'Iipona, site le plus réputé de l'île dans la mesure où il accueille le plus grand tiki de Polynésie, le chef Takaii.

Ce site (photo 7) comprend cinq principaux tiki qui regardent tous vers le nord - à l'exception de Makii - et dominent ces lieux chargés d'histoire. L'âge de ces sculptures tiki est inconnue mais elles sont vraisemblablement antérieures au XVIII<sup>ème</sup> siècle. Le diagnostic de leur état d'altération s'est focalisé sur les tiki Takaii et Makii, car ils concentrent toutes les dégradations qui affectent les sculptures du site mais sont également représentatifs de la diversité des roches utilisées.



Photo 7 : Vue générale vers le sud ouest du site d'Iipona

### a) Origine du tuf

Takaii et les autres tiki du site à l'exception de Makii, sont sculptés dans un tuf volcanique (ke'utu) rouge lie-de-vin assez homogène à l'échelle décimétrique. Cette relative homogénéité texturale correspond à l'agglomération puis à l'induration de fragments de scories basaltiques, de cendres et de dépôts particuliers de petite taille lors des cycles éruptifs. Le liant, riche en oxydes de fer associés à des argiles provenant de la dégradation des minéraux préexistants, est responsable de la couleur rouge du tuf. Ces dépôts mal compactés et peu consolidés, correspondent à des épisodes transitoires éruptifs qui se caractérisent par des émissions magmatiques riches en gaz (bulles) associées à des fragments fins et expulsés hors des cheminées volcaniques. Ainsi, lorsque le tuf se dépose en couches plus ou moins épaisses et/ou bien différenciées, son degré de compaction, sa porosité et sa cohésion intrinsèque seront fonction des volumes de matières produits, de l'homogénéité granulométrique des fragments rejetés dans l'atmosphère et de leur capacité à former des assemblages compacts lors de leur « sédimentation » aérienne sur les parois des volcans. Le site d'extraction reconnu des grands tikis en tuf d'Hiva Oa est Techopuapu (C.Chavaillon, *com.pers.*).

### b) Altérations du grand Takaii

Le chef Takaii est une sculpture monolithique en tuf volcanique rouge. Il est constitué de fragments indurés de cendre et de basalte assemblés par un liant argilo-ferrugineux. Très imposant du haut de ses 2,57 mètres, ce tiki est presque entièrement recouvert par des tapis de microorganismes qui perturbent la lisibilité de l'état de conservation de l'épiderme tuffacé. Sous cet épais recouvrement qui limite l'évaporation naturelle de l'eau, le tuf conserve un certain degré d'humidité. L'épiderme de Takaii est ainsi fortement ramolli, à tel point qu'il est aisé d'enfoncer la pointe d'un scalpel sur 2 à 3 mm de profondeur sans effort particulier. L'humidité entretenue à la surface du tuf favorise les échanges minéraux-solution qui s'exercent en pratique sur toutes les surfaces. Cette humidité persistante justifie sans doute l'absence de poudroïement et de sel sous forme cristallisée.

A l'échelle centimétrique, les fragments durs alternent avec des parties plus meubles (cendres) qui sont aujourd'hui transformées en argile et qui accentuent les contrastes de dissolution. On observe alors une surface caverneuse où la macrorugosité de surface réduit la lisibilité des modénatures et accentue des parties les plus saillantes. Vu de face, on distingue nettement que l'écoulement des eaux de pluie et le ruissellement ne sont pas quelconques. Ils sont à l'origine d'une patine noire superficielle (remobilisation des oxydes de fer ?) au niveau de la poitrine, et localement jaune sur les surfaces moins affectées par les ruissellements.

Outre les apports d'eau qui réduisent les propriétés mécaniques du tuf, ce tiki montre une grande fracture oblique qui justifie sans doute la perte du bras gauche. Cette fracture, peut-être générée par un accident précoce (choc ?), se poursuit suivant une direction N175,50E (\*, cf.annexe) au niveau de la hanche gauche, N165,50E au niveau du ventre puis se prolonge au niveau des fesses suivant la direction N175,55E ( photo 8), et enfin N162,49E sur la jambe droite. Il s'agit d'un même plan fissural discontinu légèrement gauche mais néanmoins préoccupant. Cette fissure est localement ouverte sur près d'1cm de largeur et montre des golfes de dissolution matricielle sur une profondeur qui peut atteindre 12 cm, à la base des reins. Elle correspond à une fissure de dissolution et est liée au ravinement des parties argileuses les plus tendres du tuf. L'importance des phénomènes de dissolution qui affectent toutes les parties du tuf, peut être appréciée par comparaison des clichés anciens et actuels (photos 8 et 9).



Fig. 58. TAKAII. 215 cm de haut, tête 90 cm de haut. Maror Puamau, Hiva Oa. K.v.d.St.

Photo 8 : Etat de Takaii (extrait du livre de Steinen, photographie de 1934). Cliché E. Olivier



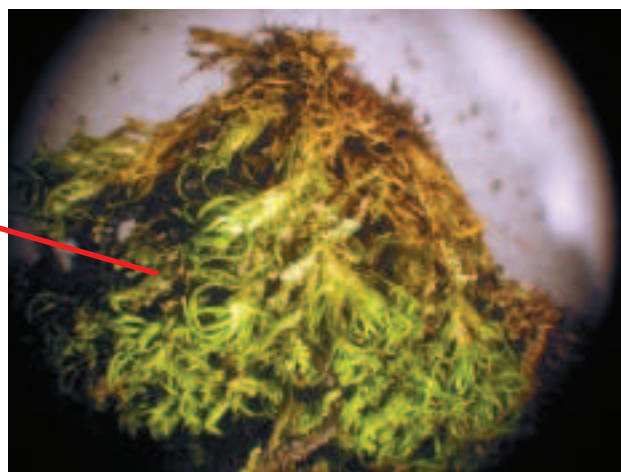
Photo 9 : Principales altérations, positionnement de la fracture ouverte et aspect des recouvrements biologiques sur Takaii.

L'importance des recouvrements ne nous a pas permis de détecter à l'œil nu d'autres désordres structuraux. D'une manière très générale, l'imbrication des processus de colonisation par des microorganismes et ceux liés à des mécanismes physico-chimiques d'altération est toujours très subtile, de sorte qu'il est bien délicat de distinguer les facteurs d'altération principaux des facteurs aggravants.

Comme le montre la photo 10, la face arrière du grand Takaii est pratiquement entièrement colonisée par les mousses oranges et vertes. Celles-ci forment un tapis très dense qui entretient l'humidité du matériau sous-jacent (photo 11). Si ces recouvrements se détachent facilement à la main, ils entraînent avec eux une partie de l'épiderme de la roche, sous forme de petits fragments granulaires accrochés à l'enchevêtrement de racines des mousses .



*Photo 10 : Vue arrière du Takaii montrant les importantes colonisations par les mousses.*



*Photo 11 : Vue à la loupe binoculaire des mousses vertes (X11)*



La face avant de Takaii est colonisée par quatre espèces de lichens différents :

- ❶ un lichen au thalle blanc à grisâtre et à surface rosée (photo 13) représenté en jaune sur la cartographie, (photo 12),
- ❷ un lichen au thalle vert grisâtre, (photo 14) représenté en vert sur la cartographie,
- ❸ un lichen au thalle jaune orangé (photo 15), représenté en mauve sur la cartographie.
- ❹ des spectres gris à noirs correspondant à d'anciennes colonisations de lichens (représentés en noir sur la cartographie).

Enfin des mousses vertes tapissent la partie inférieure de la face avant du tiki.



Photo 13 : lichen blanc grisâtre à surface rosée



Photo 12 : cartographie des lichens colonisant la face avant de Takaii



Photo 15 : lichens jaunes orangés



Photo 14 : lichen vert grisâtre

➤ Identification de la flore lichénique

### Lichen 1

Le thalle est encroûtant ou crustacé, non lobé et de couleur beige à gris rosé. Les fructifications sont sous forme de périthèces parfois rouges, immergées dans le thalle. Le photosymbiote ou l'associé algue fait partie des *Trentepohlia*, algues vertes à pigments caroténoïdes rouges, qui confère la couleur rosée en surface du thalle. D'après ces observations, il peut s'agir d'un lichen de la famille des Pyrénulacées, du genre *Porina* (Müll.Arg.). L'examen de la partie inférieure du thalle montre que celui-ci est très adhérent au support et que le décollement mécanique du lichen entraîne aussi le départ de la partie superficielle de la pierre.

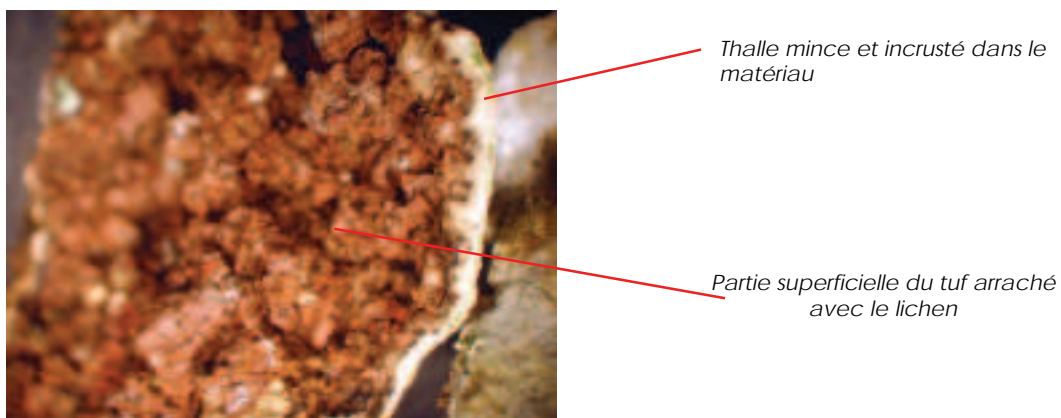


Photo 16 : Vue à la loupe binoculaire d'un fragment du lichen 1 montrant la forte adhérence au substrat (X 18)

### Lichen 2

Le thalle est foliacé, lobé, formant des rosettes de plusieurs centimètres de diamètre, de couleur gris verdâtre, plus ou moins adhérent au substrat. Les lobes sont intriqués vers le centre, arrondis et relevés aux extrémités et portent des cils noirs.

Ce lichen fait partie de la famille des parméliacées, du genre *Parmelia* et probablement de l'espèce *crinita* (Ach.Choisy.).



Photo 17 : Vue à la loupe binoculaire du lichen 2 (X 13)

### Lichen 3

Le thalle est encroûtant, de taille réduite et de couleur jaune orangé. Les apothécies sont nettement pédicellées.

D'après ces observations, il peut s'agir d'un lichen de la famille des caliciacées, du genre *Chaenotheca* (Th.Fr.).

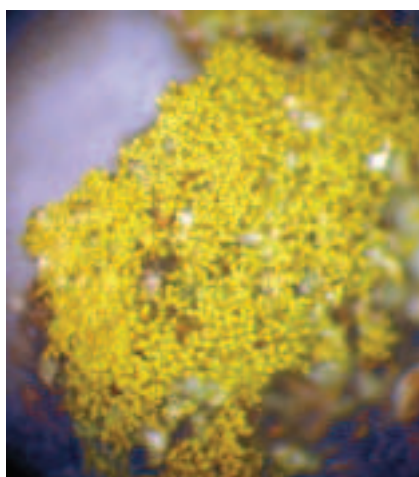


Photo 18 : Vue à la loupe binoculaire du lichen 3 (X 25)

#### Lichen 4

Les spectres gris noirs observés sont les témoins d'une colonisation biologique antérieure. Les recouvrements (lichens ou algues ?) ont du être éliminés mécaniquement, de façon superficielle. Il est impossible de les identifier en l'état. L'observation visuelle de la sculpture montre que l'épiderme du matériau a souffert localement de ces actions mécaniques.

D'une manière générale, la colonisation est peu diversifiée tant en espèces que sur le plan chromatique : les lichens sont majoritairement dans les tons gris verdâtres. Par exemple il n'a pas ou peu de lichens aux couleurs vives (jaune, rouge, vert franc...) comme on peut en observer sur les monuments en régions tempérées (influence du climat, de la nature du matériau ?).

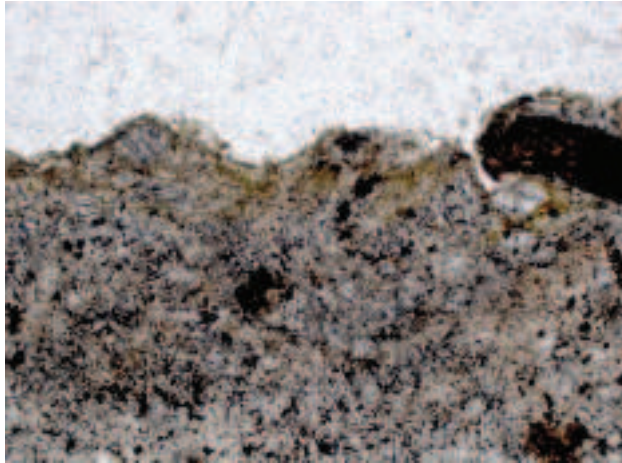
L'examen d'une photo du tiki prise en 2000 (photo 19) montre, qu'à cette époque, la sculpture était beaucoup moins colonisée que maintenant, probablement à la suite d'un nettoyage mécanique. Cela nous permet d'avoir une appréciation de la cinétique de croissance des végétaux, puisqu'après 6 ans, la presque totalité de la surface est à nouveau envahie. D'après la littérature, la croissance des lichens est considérée comme lente et de manière très synthétique, évaluée entre 0,1 et 10 mm par an. Elle est également variable en fonction des conditions climatiques. On peut donc estimer que dans le cas considéré et dans un environnement chaud et humide, la vitesse de croissance est rapide.



*Photo 19 : Etat de colonisation de Takaii en 2000  
(photo Eric Olivier)*

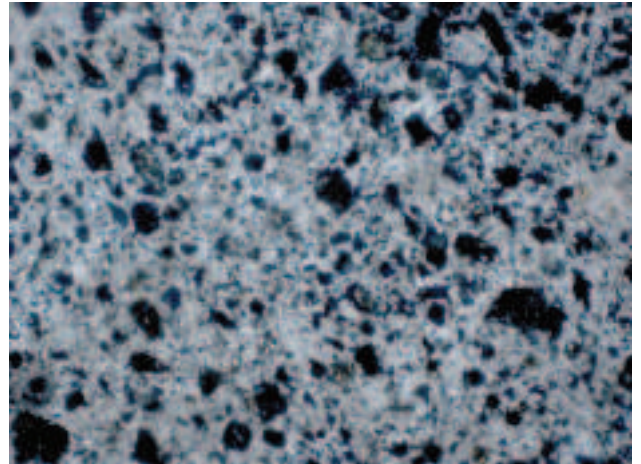
### c) Altérations du Tiki Makii Tau'a Pepe

La déesse de la fertilité Makii Tau'a Pepe, couchée sur le ventre avec sa tête en extension vers l'arrière, est dans un meilleur état de conservation que Takaii. Orientée vers l'ouest, Makii n'est pas dans sa position d'origine et se distingue nettement des autres tiki en place. Ce tiki monolithique a été sculpté dans une roche plus dure que le tuf qui correspond à un basalte clair microlithique et compact, olivines, pyroxènes et plagioclases. Le fond, constitué de fines cristallites de feldspaths, est parsemé de microcristaux opaques. Sur le premier millimètre, le basalte semble enrichi en oxydes de fer et prend une teinte rouille qui témoigne de la diffusion du fer sous l'effet des percolations des eaux de pluie (photo 20). La forte différence de porosité entre le tuf et ce basalte justifie que les figures de dissolution soient peu exprimées même en surface.



*Photo 20 : Aspect microscopique du basalte constitutif de Makii observé en lumière naturelle polarisée. Noter le liseré d'oxydes diffus au voisinage de la surface, résultant d'une remobilisation ou d'une néoformation après dégradation de minéraux préexistants.*

*Petit côté de la photographie : 1mm*



*Photo 21 : Aspect microscopique du mortier de ragréage utilisé en lors de la restauration de 1991 pour sceller le bras gauche de Makii.*

*Petit côté de la photographie : 2 mm*

Macroscopiquement, cette sculpture montre une dissolution superficielle ténue que l'on peut estimer à moins d'1 mm si l'on considère que la surface originelle correspond au sommet des grains de feldspaths les plus saillants. D'un point de vue structural, Makii a fait l'objet d'une ancienne restauration en 1991 qui a consisté à resolidariser son bras gauche. Le mortier utilisé correspond à un ciment très dur, de teinte blanche. Aujourd'hui microfissuré, ce mortier encore très adhérent, colmate sur 2 cm de largeur environ, la partie sommitale du bras. En sous face, ce mortier n'est pas visible et n'a peut-être jamais existé. Il est ainsi probable que ce bras soit solidaire du corps de Makii par l'intermédiaire d'un goujonnage non visible, le mortier identifié servant uniquement de solin pour former barrière aux infiltrations d'eau. En microscopie optique, ce mortier (photo 21) correspond à un liant hydraulique type ciment Portland chargé par un agrégat peu abondant constitué de grains de basalte dont la taille n'excède pas 0,5 mm.

Makii Tau'a Pepee est affectée par une autre fracture en échelon orientée N40 à N20,50E qui s'étend depuis son bras gauche jusqu'à sa jambe droite et qui est bien visible sur le dos. Cette fissure discontinue, localement élargie par dissolution, prend en écharpe une autre fissure qui passe sous le bras droit et contourne la tête à la base du cou suivant une direction N40,10SE (photo 22). Les bordures des épontes de cette fracture étant franches, cette fissure d'origine incertaine est récente.



Photo 22 : Positionnement des fissures détectées sur le tiki Makii Tau'a Pepee et aspects des recouvrements biologiques

Majoritairement le tiki est colonisé sur les cotés latéraux des jambes et du corps et sur la partie droite de la tête, par un lichen vert clair encroûtant, relativement épais, associé à un autre de couleur blanche. Ce recouvrement s'arrête à la moitié de la tête, de façon presque symétrique pour laisser place à un lichen fin et de couleur noire. En partie basse, sont présentes de nombreuses mousses vertes et oranges ainsi que des algues. La cartographie représentée sur la photo 23 donne un aperçu de la répartition de la flore, ici encore, très peu diversifiée bien qu'étendue.



Photo 23 : Cartographie des recouvrements sur Makii

Les échantillons des espèces se sont avérés très difficiles à prélever en raison de leur forte adhérence au support et, par voie de conséquence, l'identification en laboratoire n'a pas été possible.

La comparaison avec des clichés anciens permet de penser que ce tiki est régulièrement nettoyé. La difficulté à prélever, lors de notre passage sur place, prouve, s'il en était besoin, qu'il faut exercer une forte action mécanique pour éliminer ces recouvrements biologiques, ce qui entraîne indirectement une fragilisation de l'épiderme du matériau en subsurface (départ de matière).

### C - TAAOA, SITE D'UPEKE

Le site cérémoniel d'Upeke, situé à 15 km à l'ouest d'Atuona, lieu du dernier festival des Arts en 2003 sur l'île d'Hiva Oa, comprend un me'ae régulièrement entretenu. Les murets en pierre sèche de basalte vacuolaire contrastent avec les quelques blocs en tuf mais également en béton imitation tuf, tous très dégradés. On a ici un exemple frappant de la forte altérabilité du tuf et du tuf reconstitué par rapport au basalte *sensu stricto*. A 200 m au nord du site, se dresse un grand tiki qui regarde vers le sud est. Non daté, il repose sur un socle de cailloux basaltiques.

Ce tiki est sculpté comme un bas relief dans un bloc de basalte parfaitement sain. La surface est dure, rugueuse et ne présente pas d'altération d'origine physico-chimique majeure. Cette sculpture semble inachevée car la partie inférieure droite du visage n'est pas taillée mais seulement dégrossie. Ce fait est sans doute à rapprocher de la découverte, au cours du travail de taille, d'une fissure (fil) en subsurface, prenant le visage en écharpe (photo 24).

Examiné en microscopie optique, cette roche est un basalte vacuolaire à texture microlithique, à olivines tantôt saines, tantôt très fortement iddingsitisées et/ou dissoutes (photo 25). La mésostase contient des phénocristaux d'orthopyroxènes (série hyperstène-enstatite) et quelques plagioclases. Leur composition moyenne, déterminée optiquement selon la méthode de la double macle, révèle 80 à 90% d'anorthite (bytownite). L'importance des vacuoles présentes dans ce basalte trahit un magma originel riche en gaz.



Photo 24 : Grand tiki en basalte gris. En rouge : position de la fissure naturelle qui délimite la partie non sculptée (à gauche)

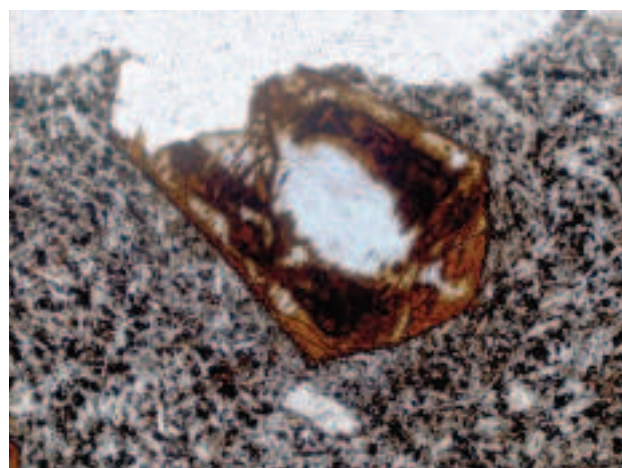


Photo 25 : Observation en microscopie optique du basalte. Lumière naturelle polarisée et analysée. Noter la texture microlithique et la dégradation des olivines

Ce grand tiki est dans un bon état de conservation général.

Sur le plan biologique, il y a peu de développements. Côté face sculptée, quelques lichens encroûtants, gris blancs ainsi que des algues noires (cyanobactéries) sont présents sur la moitié supérieure de la sculpture. En partie basse, ce sont les algues noires qui dominent avec néanmoins quelques lichens foliacés blanc gris.

Sur ce site, on peut noter la présence en certains endroits de lichens à l'aspect tout à fait particulier. Les thalles restent lobés sous forme de rosette mais plus aucune fructification n'est visible à la surface qui est devenue lisse et dure (photo 26). L'observation en microscopie optique, de l'ensemble lichen-matériau en coupe, montre que le lichen est complètement minéralisé et qu'il fait corps avec le matériau sous-jacent (photo 27).



Photo 26 : Vue comparative entre un lichen vivant (gris clair) et le lichen minéralisé (marron)

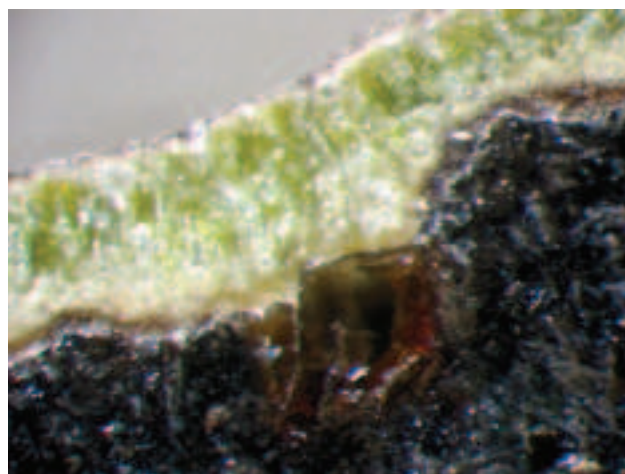


Photo 27 : Vue en microscopie optique de la couche de lichen minéralisé sur le matériau (X 200)

Enfin pour mieux visualiser l'impact physique des lichens sur la pierre, des lames minces ont été réalisées sur des petits fragments de basalte couverts de lichen et prélevés sur le site.

Sur une des lames, l'examen en microscopie optique permet de remarquer l'incrustation du thalle à l'intérieur de la structure minérale et en particulier la pénétration perpendiculaire et la progression du lichen dans les espaces autour des gros grains (phénocristaux du basalte) en subsurface. Il n'y a apparemment pas de pénétration visible dans la matrice proprement dite mais cette insertion autour des gros grains donne au lichen la possibilité d'exercer une pression sur ces cristaux et par la suite d'entraîner leur décohésion (photo 28).

L'autre faciès montre une apothécie intimement adhérente au support. Contrairement à l'exemple précédent, le thalle pénètre dans la matrice en parallèle à la surface, s'immisçant progressivement à l'intérieur de la pierre. (photo 29).

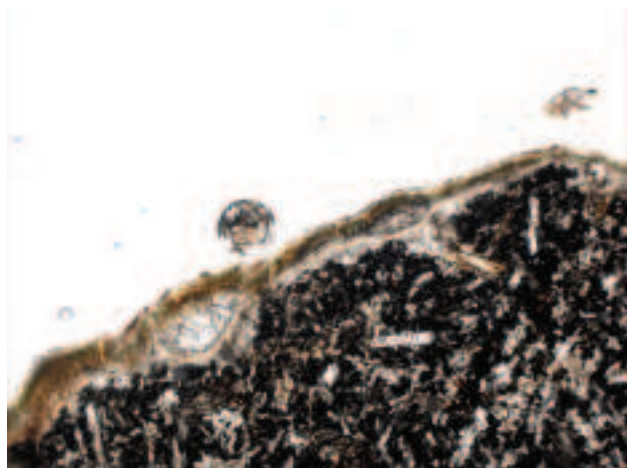


Photo 28 : Vue en microscopie optique de la pénétration perpendiculaire du lichen dans le support (X 50), lumière transmise

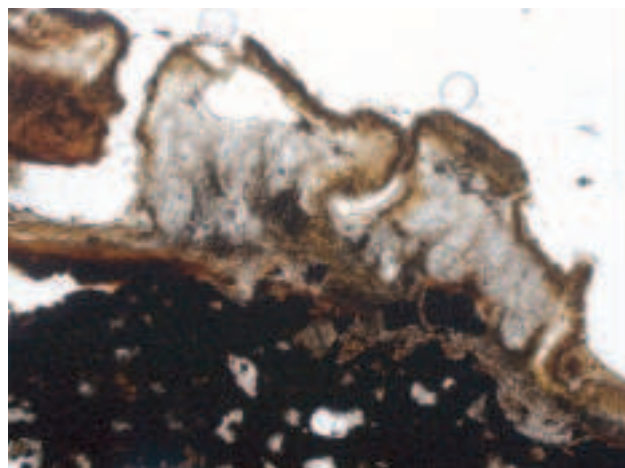


Photo 29 : Vue en microscopie optique d'une apothécie et de la pénétration latérale du lichen dans le support (X 50) lumière transmise

## D - MESURES CONSERVATOIRES

Les statues-menhirs tiki et pétroglyphes à Hiva Oa présentent des altérations différentes en intensité selon la nature des roches utilisées. C'est ainsi que la plupart des tiki présentés sont taillés dans le tuf, roche naturellement peu consolidée et propice à un travail de taille plus aisé. Les roches basaltiques plus dures sont les supports de prédilection des pétroglyphes, mais également des sculptures de tiki de type bas reliefs, à l'exception de Makii. Les conditions tropicales humides et en particulier l'abondance des pluies, constituent le facteur principal d'altération des épidermes. Les colonisations par les lichens et les algues accentuent le phénomène en bloquant les possibilités d'évaporation de l'eau mais également elles accentuent les risques de fragilisation des surfaces.

Il convient, dans tous les cas où cela est possible de limiter le lessivage des surfaces et les apports directs d'eau. Le problème est crucial pour les œuvres en tuf, particulièrement sensibles à la dissolution. Le chef Takaii et les autres tiki en tuf, sont dans un état d'altération préoccupant. Dans l'état, il est nécessaire de mettre en place un projet d'aménagement des sites, avec l'aval ou mieux, la collaboration, des propriétaires peu sensibilisés à la conservation de leur patrimoine. Différentes actions pourraient être menées :

- réaliser un traitement d'élimination chimique (et non mécanique) des recouvrements biologiques (voir chapitre « sites de Tahiti » pour le choix des biocides ainsi que le protocole d'application). Les différentes cartographies des recouvrements serviront de base au contrôle dans le temps de l'efficacité du traitement, par l'examen de la diminution en intensité de la colonisation, voire d'une éventuelle modification de la flore,
- créer les conditions d'un environnement plus propice à la conservation des œuvres : il s'agit essentiellement d'un entretien minimum et régulier des abords : débroussaillage régulier, élagage et coupe d'arbres dangereux sur le site de Puamau, drainage ou dans certains cas, création d'une pente minimale au pied des œuvres pour limiter les remontées capillaires depuis le sol. Pour exemple (photo 30), la dalle gravée du site de Tehueto a été, après notre visite, dégagée de toute la végétation environnante, ce qui est une première étape dans la conservation,



Photo 30 : Vue de la dalle gravée après débroussaillage (photo Gérard Guyot)

- protection éventuelle contre les touristes : périmètre de sécurité,
- protection contre les pluies battantes : mise en place de parapluies peu coûteux en feuilles de pandanus, dont l'intégration esthétique au site sera étudiée. Cette étape est essentielle car elle devrait modifier considérablement l'état de saturation en eau du tuf et le développement des microorganismes. Elle devrait s'accompagner d'un suivi visuel ou photographique régulier du comportement des épidermes. « L'assèchement » progressif du tuf permettra de retrouver un meilleur état de cohésion et de dureté de sorte qu'un éventuel traitement de consolidation n'est aujourd'hui pas d'actualité,
- les désordres structuraux identifiés mettent en péril certains tiki en tuf qui ne peuvent être déplacés. Mieux isolés de l'impact des agressions atmosphériques et de l'environnement, une campagne de restauration pourrait à moyen terme être envisagée pour le traitement des fissures et des surfaces soufflées par perfusion ou injection directe de microcoulis dont les compositions doivent être étudiées.

Enfin, les têtes de tiki en tuf très dégradé et inséré dans les murets du site de Tehueto ont perdu pratiquement toute lisibilité. Il est urgent de les entreposer à l'abri des intempéries mais de les conserver dans une atmosphère humide.