

N15

IMAGERIE SATELLITE SPOT ET MODELE NUMERIQUE DE TERRAIN
APPLICATION AUX PROBLEMES D'ENVIRONNEMENT ET A LA
RECONNAISSANCE DES RISQUES D'INSTABILITE DE TERRAIN SUR L'ILE
DE TAHITI

SPOT SATELLITE IMAGERY AND DIGITAL TERRAIN MODEL
APPLICATION TO ENVIRONMENT MONITORING AND IDENTIFICATION OF
SOIL INSTABILITIES IN TAHITI ISLAND

P. GELUGNE (1), J. M. BARDINTZEFF (1), R. GUILLANDE (2), R.
BROUSSE (1), J. CHOROWICZ (2), J. F. PARROT (3).

(1) *Laboratoire de Pétrographie-Volcanologie,
bât. 504 - Université Paris Sud, 91405 Orsay Cedex, FRANCE*

(2) *Laboratoire de Géologie Structurale
et Télédétection, aile 26-16 - Université P. & M. Curie,
4, Place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05 - FRANCE*

(3) *Laboratoire d'informatique Appliquée, ORSTOM, 70,
route d'Aulnay - 93140 Bondy - FRANCE.*

RESUME

L'urbanisation sur l'île de Tahiti gagnant progressivement l'intérieur de l'île dans des zones à risque de glissement de terrain et d'érosion forte, une cartographie rapide et efficace de ces zones potentiellement instables s'impose. Nous proposons une méthode d'analyse sur une zone test de la côte ouest de l'île à partir de données numériques sous 3 formes : imagerie spatiale SPOT, Modèle Numérique de Terrain (MNT) et cartes géologiques digitalisées. Une étude de mouvements de terrain commence par un inventaire des glissements anciens. Ce dernier est effectué sur l'image SPOT XS. Des vues en perspective produites par superposition de l'image SPOT permettent une identification exhaustive de ces anciens



mouvements de terrain. Les profils topographiques verticaux au travers de ces masses déplacées, tracés automatiquement à l'aide du MNT présentent l'allure typique de masses allochtones glissées.

Divers types de risques sont envisagés (érosion, effondrements, glissement). Pour chacun d'eux des facteurs et des seuils de risque sont extraits des données numériques soit de manière automatique soit d'après les données de terrain. Pour un type d'instabilité, les plans d'information de chacun des facteurs de risque sont croisés grâce à des outils informatiques. Ceci permet de connaître en chaque point de la zone de travail, le nombre et la nature des facteurs de risque présents. Les zones de concentration de facteurs de risque sont extraites pour chaque thème puis à nouveau croisées pour obtenir une carte synthétique du risque global d'instabilité. Les résultats sont présentés sous plusieurs formes avec ou sans système de repérage géographique, à plat ou en trois dimension avec pour fond l'image SPOT.

Les cartes finales de risque ne tiennent compte que des zones de naissance des instabilités. Elle doivent ensuite être traitées afin qu'y soient ajoutées les zones de parcours des matériaux éboulés. Progressivement le document deviendra un Plan d'Exposition aux Risques (PER) en l'adaptant aux normes en vigueur.

ABSTRACT

The urbanization on the Tahiti Island is progressively extending toward the center over areas presenting landslide hazard and strong erosion potential. A quick mapping of these unstable areas is necessary. We propose a method which has been tested on a training area located on the western coast of the Island, using three kinds of digital data : a SPOT satellite image, a Digital Terrain Model, a digitized geologic map. Ground movement assessment generally begins with a regional inventory of the phenomenon which in our case has been done through the SPOT XS image. Three dimension panoramic views produced by superposition of the SPOT image over the DTM are used for the ancient ground movement recognition and inventory. Topographic profiles are traced automatically using the DTM across the main ground movements and present typical landslide shapes.

Different kinds of hazards are studied (erosion, rockfalls, landslides). For each phenomenon, risk factors and risk thresholds are extracted from digital data in an automatic way or on the base of field knowledge. For each type of instability, risk factors plans are crossed by a multicriteria analysis program permitting hence to know the number and nature of risk factors present in each pixel of the working area. The highest concentrations of factors are extracted for each theme and crossed once again to obtain a synthetic map of global instability hazard. The results can be

presented under different forms with or without geographical contours, in two or three dimension views or with SPOT image background.

The final hazard maps only take into account the birth area of instabilities. After then must be added the probable trajectories of the slidding of falling material. Thus, the document will progressively become a Hazard Exposure Plan (french PER) conforming it to the norm.

INTRODUCTION

L'urbanisation grandissante sur l'île de Tahiti conduit à une occupation progressive des flancs du volcan et des grandes vallées radiaires par la population et les activités économiques. Lors des levés géologiques, bon nombre de ces secteurs se sont révélés susceptibles d'une forte érosion et présentent une aptitude aux mouvements de terrain en raison de reliefs abrupts et d'une forte pluviométrie. Ces faits montrent la nécessité d'établir d'une façon fiable et rapide une cartographie par zonation des phénomènes d'instabilité et de leurs conséquences. Dans cette optique, une première phase de recherche, menée en collaboration, sur la base de crédits CORDET, a permis de mettre au point sur une zone test centrée sur la Punaruu, principale vallée de la côte ouest de l'île, une méthode d'analyse multicritère.

METHODOLOGIE

Les principales données retenues pour cette démarche sont :

- Une image SPOT multispectrale du 21 juillet 1986 (KJ 502-385)
- Un modèle numérique de terrain réalisé à partir du fond topographique 1/25 000.
- La carte géologique du secteur Punaauia-Paea au 1/25 000.
- La carte des formations de surface du secteur Punaauia-Paea au 1/25 000.

D'autre part la connaissance préalable du terrain a permis de reconnaître les mouvements de terrain et de préciser les grands types de risques liés aux conditions morfo-climatiques de l'île à retenir :

- Mouvement de sol
 - Glissement de terrain

- Loupe de décollement
- Eboulement
- Eroulement

- Erosion
 - Ravinement
 - Sape en pied de pente

Ces points définis, la méthodologie consiste, après un travail de bibliographie et une reconnaissance des phénomènes anciens aussi bien sur les levés antérieurs que sur les prises de vue en altitude, photos aériennes et image SPOT, à déterminer pour chaque type les raisons et le seuil d'occurrence. Ces paramètres retenus, il est possible, à partir d'une base de données "raster" constituée sur un système informatique, de reconnaître pour chacun d'eux et pour l'ensemble de la surface d'étude leur présence quantifiée. On obtient ainsi au travers de l'analyse du modèle numérique de terrain et des autres données de base, des images digitales représentatives de leurs aires d'influence.

Par exemple, dans le cas des éboulements et glissements, les facteurs pris en compte sont :

- L'angle de pente
- L'orientation des pentes
- Les discontinuités
- Les formations lithologiques
- La végétation.

Chacun d'eux est représenté par une image binaire où se matérialise leur présence ou leur absence pour chaque pixel de la maille. Ces plans sont ensuite recombinaisons avec un maximum de huit facteurs retenus dans le même temps, pour présenter une image résultante à 2ⁿ-1 teintes de gris, soit un total de 256 niveaux avec le blanc synonyme d'une absence de facteur.

De ces cartes sont donc extraites les zones à risque de chacun des types de phénomènes retenus, et du risque multiple issu de leurs combinaisons. Le résultat est une carte de zonation prenant en compte tous les types de phénomènes au lieu de leur naissance possible (cf. planche N15A). A cette cartographie, il faut également associer les données exogènes telles que l'occupation humaine du terrain et la réelle exposition (détermination du parcours emprunté par la masse en mouvement) aux phénomènes retenus pour obtenir un document comparable à un Plan d'Exposition aux Risques (PER).

Toute la valeur de la méthode est montrée sur ce secteur test de la vallée de la Punaaruu (cf. planche 15A) faisant apparaître une meilleure quantification des phénomènes et la réelle évaluation du risque (voir commentaire de la carte de densité de répartition du risque). Elle sera d'autant plus nécessaire dans la deuxième phase du programme, ou l'un des objectifs prioritaires, compte tenu d'un important plan d'équipement hydro-électrique, se situe dans l'étude

approfondie de la partie centrale de l'île à l'intérieur et aux abords immédiats de la caldeira, où les vallées sont nombreuses, les interfluves étroits et la pluviosité maximale.

COMMENTAIRE DE LA CARTE DE DENSITE DE REPARTITION DU RISQUE DE MOUVEMENTS DE TERRAIN

La comparaison entre les résultats obtenus directement sur le terrain et ceux de la cartographie automatisée d'après les documents SPOT présente des différences significatives devant être discutées.

Il y a accord tout d'abord sur la stabilité qu'ont les interfluves pour une localisation des risques aux seuls environs immédiats des vallées importantes (Punaruu et vallée voisine de Maruapo).

Les différences essentielles portent sur la sous-estimation des risques dans les vallées mineures (Vaitahuri par exemple) voire des toutes petites rivières avec alors une localisation des risques à la tête seule du cours d'eau. Les deux entailles WNW-ESE de chaque côté de la partie sud du plateau de Tamanu, guidées par une faille, appartiennent à ce groupe. Elles présentent des risques plus importants que ceux qu'une première approche de terrain avait pu prévoir.

L'exposition des versants joue également un rôle dont l'intérêt n'avait pas échappé, puisque le versant N de la Punaruu était considéré en zone 1 d'instabilité majeure alors que le versant S, à la hauteur du plateau de Tamanu, était porté en zone 2 d'instabilité moyenne. Mais cette différence est beaucoup plus accentuée encore que celle suspectée auparavant sur le terrain. En fait, en aval, seul le versant N de la Punaruu est à fort risque, alors que sa rive S n'a qu'une densité moyenne à nulle des risques. La différence de l'exposition des versants s'estompe toutefois lorsque la vallée, jeune, comme la vallée de Maruapo, est très resserrée entre ses falaises. Alors les estimations des risques sur le terrain et par cartographie automatisée sont identiques. La différence de comportement des deux versants, lorsque ceux-ci sont suffisamment bien dégagés, tient à leur disposition par rapport à l'éclairement solaire. Le versant à regard S reste à l'ombre, et, constamment humide, supporte une plus forte altération que le versant à regard N, qui, fortement réchauffé, est de ce fait plus sec.

Une autre différence importante tient à ce que seuls les facteurs en évolution sont une source de dangers alors que les accidents morphologiques anciens, même s'ils ont une valeur topographique identique, sont stables. Il en est ainsi de la falaise morte bordant la plaine côtière regardée comme ayant une instabilité déclarée alors que le document synthétique de croisement des facteurs la laisse en zone relativement stable. Cette constatation va dans le sens des observations

BOCQUIER G., B. BOULANGE, P. ILDEFONSE, D. NAHON, D. MULLER, 1983. Transfers, accumulation modes, mineralogical transformations and complexity of historical development in lateritic profiles. *Proc. II Intern. Seminar on Laterisation Processes, Sao Paulo*, **A.J. MELFI and A. CARVELHO**, Eds. 331-343.

BONIN B., J.M. BARDINTZEFF, 1989. Plutonic rocks from Tahiti-Nui caldeira (French Polynesia) - II - Evolution of thermodynamical parameters during magma differentiation and emplacement - Applications to other alkaline magmatic provinces. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 8, V, 6, 1091-1099.

BOUTAULT G., 1985. Tahiti (Polynésie française, Archipel de la Société), Volcanologie, pétrographie et géotechnie du secteur côtier Nord-Est. Université Paris Sud Orsay, *Thèse 3ème Cycle*, 262 p.

BROUSSE R., G. BOUTAULT, A. EISENSTEIN, P. GELUGNE, 1985. Carte géologique (1/25 000), Carte des formations de surface (1/25 000), Carte des instabilités et risques naturels (1/50 000) de Tahiti, Feuille Papeete, Ministère de l'Équipement, de l'Aménagement, de l'Énergie et des Mines, Papeete.

BROUSSE R., P. LAVEST, C. LEOTOT, 1990. Carte géologique (1/25 000), Carte des formations de surface (1/25 000) de Tahiti, feuille Papara, Teva-I-Uta, Taravao, Ministère de la Mer, de l'Équipement et de l'Énergie, Papeete.

C.E.T.E. Méditerranée : M. MASSON, J.P. SIMON, 1985. Schéma général d'exploitation des granulats et protection de l'environnement de l'île de Tahiti. *Rapport de synthèse pour le compte du Ministère de l'Équipement de Polynésie Française*, 176 p.

DENEUFBOURG G., 1965. Carte géologique de Tahiti, notice explicative. **B.R.G.M.** - Orléans.

EISENSTEIN A., 1982. Tahiti, géologie, volcanologie et géotechnie du secteur côtier de Papeete (Polynésie française, Pacifique central). Université Paris-Sud Orsay, *Thèse 3ème Cycle*, 221 p. Equipement Tahiti - ORSTOM, 1973. Carte pluviométrique de l'île de Tahiti (données 1949-1983). In : Carte des formations de surface - Feuille Punaauia-Paea - **GELUGNE et BROUSSE**, 1987. **L. FERRY**, 1988. Contribution à l'étude des régimes hydrologiques de l'île de Tahiti. *Thèse de Doctorat de l'Université de Paris-Sud Orsay*, 330 p.

GAUTHIER M., P. BLOCH, 1981. Grotte de Maraa - Commune de Paea - Reconnaissance hydrogéologique. *Rapport L.T.P.P. n°81037.6* p.

GELUGNE P., 1988. Evolution spatiotemporelle du magmatisme alcalin de Tahiti-Nui (volcanisme aérien émergé) - Altération sub-actuelle ; Conséquences sur l'environnement. *Thèse de Doctorat de l'Université Paris-Sud Orsay*, 415p. +annexes.

GELUGNE P., R. BROUSSE, 1987. Carte géologique (1/25 000) : Carte des formations de surface (1/25 000) de Tahiti. Feuille Punaauia - Paea, Ministère de l'Équipement, de l'Aménagement, de l'Énergie, des Mines et des Ports, Papeete.

GELUGNE P., J.M. BARDINTZEFF, R. BROUSSE, H. GUILLOU, G. LEROUGE, 1988. Le volcan de Tahiti-nui (Polynésie française) dans son contexte géodynamique intraplaque océanique : études structurales et données Landsat. 12^{ème} Réunion des Sciences de la Terre, Lille, Soc. Géol. Fr. Etd., Paris p. 63.

GELUGNE P., R. GUILLANDE, J.M. BARDINTZEFF, 1990. Tahiti et la Polynésie : approche numérique des instabilités naturelles du sol (MNT, image SPOT), 13^{ème} Réunion des Sciences de la Terre, Grenoble, Soc. Géol. Fr. Ed., Paris, p.52.

GELUGNE P., J.M. BARDINTZEFF, R. GUILLANDE, R. BROUSSE, 1990. Natural risks in the Punaruu valley in Tahiti : examination of the numerical approach through multicriteria analysis. Journées internationales "PIX'ILES 90", Nouméa - Tahiti, 19-24 novembre 1990.

GUILLANDE R., P. GELUGNE, J.M. BARDINTZEFF, R. BROUSSE, J. CHOROWICZ, 1990. Digital mapping of soil instabilities using multicriteria analysis in the Tahiti island. Journées internationales "PIX'ILES 90", Nouméa - Tahiti, 19-24 novembre 1990.

GUILLANDE R., P. GELUGNE, J.M. BARDINTZEFF, R. BROUSSE, J. CHOROWICZ, PARROT J.F., 1991. Cartographie automatique de zones présentant des risques de mouvements de terrain sur l'île de Tahiti à partir de données digitales. Bull. Soc. Géol. Fr. (note déposée).

HUMBERT M., 1977. La cartographie ZERMOS - Modalités d'établissement des cartes des zones exposées à des risques liés aux mouvements du sol et du sous-sol. Bull. B.R.G.M., 2, III, 1/2, 5-8.

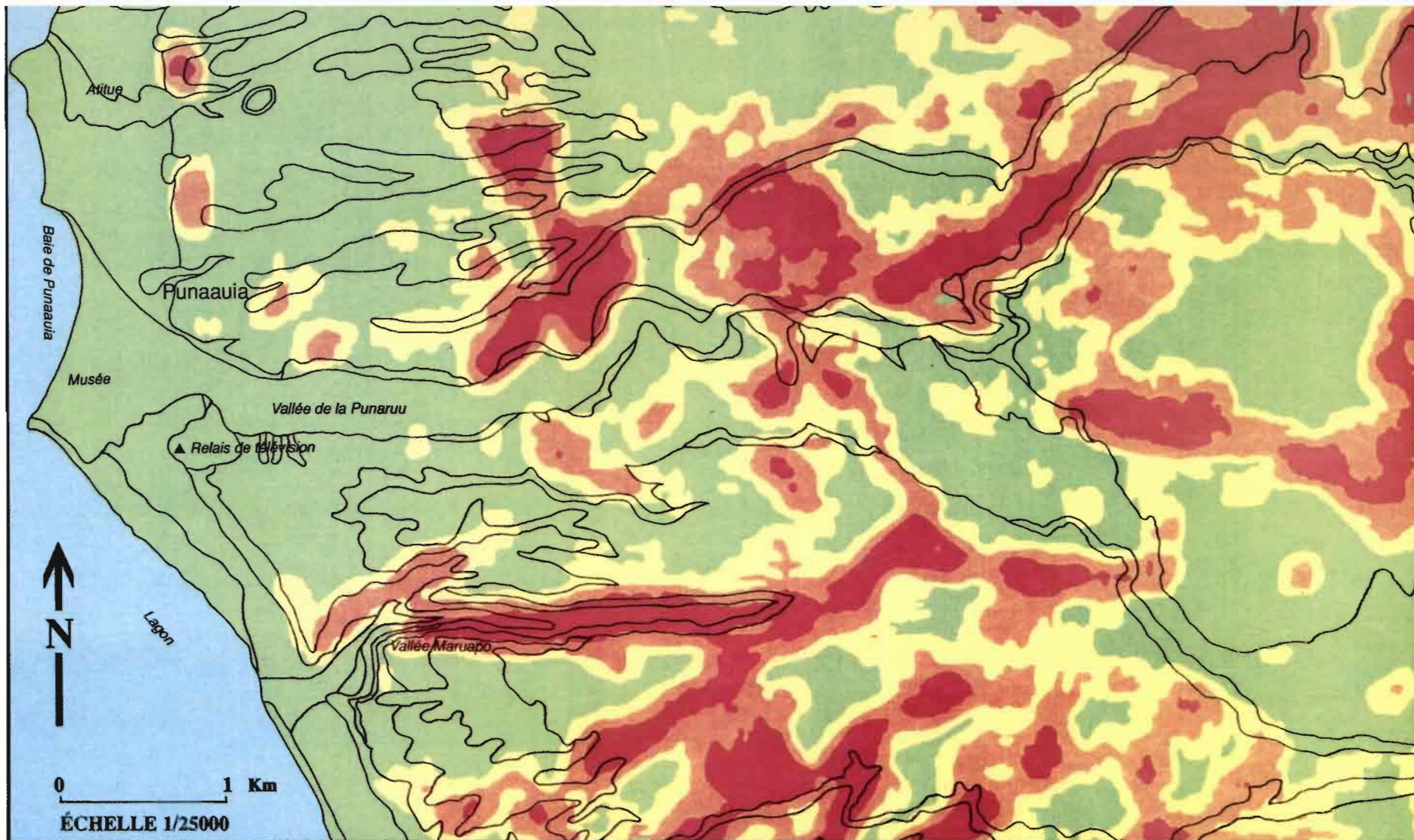
JAMET R., 1982. Evolution des sols de Tahiti sous l'influence de cultures maraîchères intensives. Publication interne centre ORSTOM - Papeete-Tahiti.

JAMET R., 1983. Carte pédologique de la Polynésie française, échelle 1/40 000, Tahiti : 5 feuilles, NO-NE-SO-SE et presque île de Tairapu, Notice explicative : les sols et leurs aptitudes culturales et forestières, 107, 124p. Edition ORSTOM - Service de l'Économie Rurale Tahiti, Pédologie, Notes et documents n°25.

JAMET R., 1985. Les sols Encyclopédie de la Polynésie, v.1, 105-120.

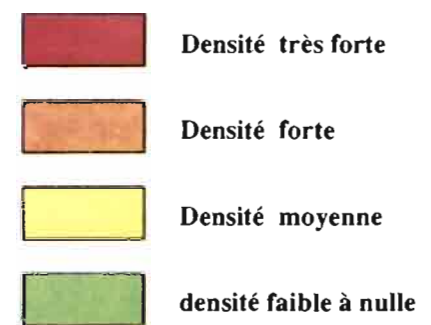
ORSTOM-PAPEETE, 1979-1980. Annuaire hydrologique de l'île de Tahiti. Rapport interne ORSTOM.

PETIT P., 1969. Etude hydrologique en Polynésie française. Rapport L.T.P.P.-C.E.B.T.P., 378 p. S.A.U. Territoire, (1967-1984) : Carte topographique au 1/50 000 de l'île de Tahiti. Edition Service Aménagement et Urbanisme du Territoire.



N15

N15A **CARTE DE DENSITÉ DE RÉPARTITION DU RISQUE DE MOUVEMENTS DE TERRAIN (RÉGION DU PLATEAU TAMANU, VALLÉE DE LA PUNARUU ET DE LA BAIE DE PUNAAUIA)**



626

Les risques traités sont les glissements de terrain, les éboulements et la sappe de pied de pentes.

LA CARTE A ÉTÉ OBTENUE PAR EXTRACTION DES MAXIMAS POUR CHACUN DE S RISQUES TRAITÉS SUPERPOSÉS SUR UNE MÊME CARTE. UN CALCUL DE DENSITÉ DE RÉPARTITION DE CES MAXIMAS EST ENSUITE EFFECTUÉ. IL N'EST TENU COMPTE SUR CETTE CARTE QUE DES ZONES OÙ RISQUENT DE NAÎTRE DES MOUVEMENTS DE TERRAIN ET PAS DES ZONES ÉVENTUELLEMENT TOUCHÉES PAR CES DERNIERS SUR LEURS TRAJECTOIRES.

N15B ÉDIFICE VOLCANIQUE DE TAHITI

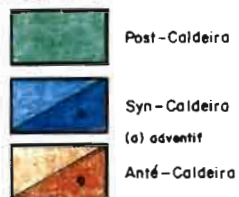
(Première synthèse)
par P. GELUGNE et R. BROUSSE

LEGENDE

Sédimentaire



Volcan de TAHITI-NUI



Volcan de TAIRAPU



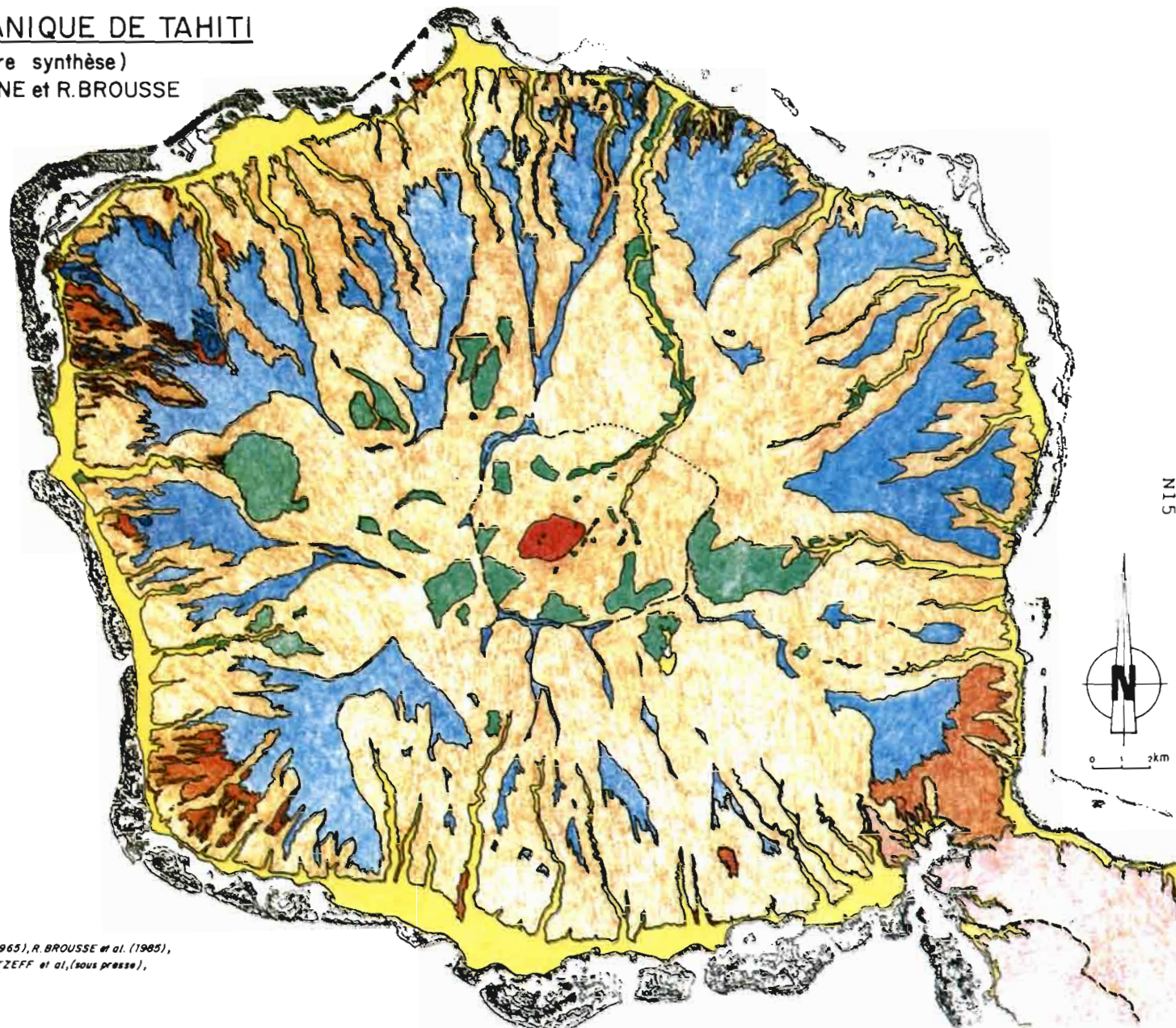
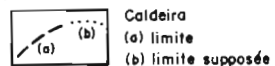
Volcan de TARAVALO



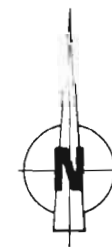
Plutons



Structures



N15



0 1 2 km

627

D'après documentation: G. DENEUBOURG (1963), R. BROUSSE et al. (1985),
P. GELUGNE et R. BROUSSE (1987), J. M. BARDINTZEFF et al. (sous presse),
P. LAVEST (à paraître), C. LEOTOT (1987).

"PIX'ILES 90"

**Journées internationales tenues à Nouméa - Nouvelle-Calédonie
et à Tahiti - Polynésie Française
19 / 24 novembre 1990**

**International workshop held at Noumea - New Caledonia
and Tahiti French - Polynesia
November 19 / 24 1990**



© ORSTOM, Nouméa, 1992

Imprimé par le Centre ORSTOM
de Nouméa
Septembre 1992

