

Document public



Carte Géologique de la Nouvelle-Calédonie à 1 / 50 000

Feuille Lifou

Iles Loyauté

BRGM/RP 52 904-FR
février, 2004

Étude réalisée dans le cadre des opérations
de Service public du BRGM 2003

P. Maurizot
Avec la collaboration de
Y. Lafoy, D. Huaman, D. Cluzel, C. Schmitt, B. Brières-de-l'Isles

Mots clés : Nouvelle-Calédonie, Îles Loyauté, formation récifale.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

- pour la carte : Maurizot P., Lafoy Y. (2004) – Carte géol. Nouvelle-Calédonie (1 / 50 000), feuille Lifou, Îles Loyauté. Nouméa : Service des Mines et de l'Energie, Bureau de Recherches Géologiques et Minières. Notice explicative par P. Maurizot *et al.* (2004) .

- pour la notice : Maurizot P., Lafoy Y. (2004) – Notice explicative, Carte géol. Nouvelle-Calédonie (1 / 50 000), feuille Lifou, Îles Loyauté. Nouméa : Service des Mines et de l'Energie, Bureau de Recherches Géologiques et Minières. Carte géologique par P. Maurizot *et al.* (2004).

© BRGM, 2004, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Le substrat de l'île est volcanique et appartient à la ride des Loyauté. Il n'est pas exposé mais des études géophysiques (Lapouille, 1974) ont montré qu'il pourrait être aussi proche que 50 mètres de profondeur.

La répartition des terrains présentée dans cette étude s'appuie sur des coupes levées en carrières et en falaises. On peut globalement distinguer trois types de terrains en fonction de la lithologie mais aussi de la morphologie.

- Un ensemble récifal et biodétritique correspondant à l'ancienne couronne récifale formant bourrelet,
- un ensemble biodétritique sableux correspondant à l'ancien lagon soulevé dans lequel deux sous-unités superposées ont pu être individualisées,
- un ensemble biodétritique à Algues et Rhodolites dolomitisé,
- un cortège de formations plaquées récentes, construites ou détritiques.

Les pentes externes et internes de l'édifice carbonaté de Lifou sont entaillées par de nombreuses terrasses, replats et encoches, témoins et enregistrements des mouvements relatifs de l'île par rapport au niveau marin, qu'ils soient d'origine tectonique ou eustatique. Ces niveaux de façonnements marins ont fait l'objet d'une cartographie généralisée à l'ensemble de l'île.

Les phénomènes de karstification ont également fait l'objet d'une cartographie systématique. La karstification de l'édifice carbonaté est intense. Elle se traduit par les différentes formes classiques de dissolution (gouffres, dolines) et par des dépôts spécifiques (concrétions calcaires, résidus de dissolution bauxito-phosphatés).

L'étude de la fracturation par télédétection et levés de terrain, montre deux familles de fractures : N. 135° et N. 45°.

Plusieurs aspects de la géologie appliquée sont passés en revue : géotechnique, risques naturels, ressources en eau, substances utiles et carrières pour granulats et neutralisants, ressources en hydrocarbures en mer, minéralisations ferromanganésifères sous-marines, phosphates.

Sommaire

1	Introduction	9
1.1	Situation géographique.....	9
1.2	Cadre géologique régional – Présentation de la carte	10
1.3	Travaux antérieurs – Conditions d'établissement de la carte	15
1.3.1	Travaux antérieurs	15
1.3.2	Conditions d'établissement de la carte	16
2	Description des terrains	18
2.1	Formations non affleurantes.....	19
2.2	Formations affleurantes.....	20
2.2.1	Calcaires récifaux du bourrelet périphérique (Pliocène – Pléistocène inférieur, p1-IVr)	21
2.2.2	Formations biodétritiques périrécifales (Pliocène – Pléistocène inférieur, p1-IVb)	22
2.2.3	Formations biodétritiques à Algues et Rhodolites (Pliocène – Pléistocène inférieur, p1-IVc).....	23
2.2.4	Formations plaquées (IVp)	26
2.2.5	Les terrasses, replats et encoches	26
2.2.6	Karstification, sédimentation interne et diagenèse.....	30
3	Conditions de formation des entités géologiques	37
4	Évolution tectonique	39

5	Géologie de l'environnement	42
5.1	Éléments de géotechnique	42
5.2	Risques naturels.....	42
5.3	Ressources en eau.....	43
5.3.1	Recharge et ressource	44
5.3.2	Historique des recherches	44
5.3.3	Caractéristiques principales de l'aquifère.....	46
5.3.4	Points d'observation	46
5.3.5	Aspects quantitatifs et géométrie de la lentille d'eau douce	46
5.3.6	Paramètres influençant le niveau piézométrique.....	48
5.4	Substances utiles, carrières.....	52
5.4.1	Granulats.....	52
5.4.2	Neutralisant	53
5.5	Gîtes et indices minéraux	54
5.5.1	Ressources en mer	54
5.5.2	Ressources à terre	56

Liste des illustrations

Figure 1 - Situation de la ride des Loyauté dans les grandes structures géologiques régionales entourant la Nouvelle-Calédonie (données du programme ZoNéCo).....	10
Figure 2 - Bathymétrie et topographie de la ride des Loyauté (modifié d'après Lafoy et al., 1995b, 1996a).....	11
Figure 3 - Profil sismique LHRNC-C de la campagne FAUST1 recoupant la ride des Loyauté (in Lafoy et al., 1998). Orientation SW-NE (Noter le basculement du sommet tabulaire de la ride vers le NE).....	12
Figure 4 - Carte altimétrique de l'Île de Lifou (Modèle Numérique de Terrain à la maille de 10 mètres, données DI3T).....	18
Figure 5 - Profondeur du socle volcanique en mètres (d'après Lapouille, 1974).....	19
Figure 6 - Coupe du puits de Kedaigne (42-09-02, A2EP, 1993).....	24
Figure 7 - Coupes synthétiques dans le bourrelet récifal périphérique de la côte est montrant les différents niveaux de façonnements marins (terrasses ou encoches).....	29
Figure 8 - Carte synthétique des phénomènes karstiques visibles en surface (inventaire réalisé par D. Huaman, IRD).....	31
Figure 9 - Carte de situation des principales cavités souterraines reconnues (Lips, 1995) et plans des réseaux les plus importants.....	33
Figure 10 - Localisation des Îles Loyauté par rapport au bombement lithosphérique et à la fosse des Nouvelles-Hébrides (Dubois et al. 1974.).....	37
Figure 11 - Interprétation de la fracturation de l'île de Lifou par télédétection sur image SPOT (A2EP, 1993).....	40
Figure 12 - Relevé de la fracturation sur l'île de Lifou (d'après D. Huaman, Programme SAGE, IRD).....	41
Figure 13 - Schéma de la lentille d'eau douce dans le contexte des îles Loyauté (SEFP, 2001).....	43
Figure 14 - Niveau piézométrique de la nappe en décembre 1992, basses eaux (source A2EP, 1993).....	45
Figure 15 - Piézomètre profond de Hnacaõm (40-03-12), mesure de la conductivité en fonction de la profondeur (12 / 02 / 92).....	47
Figure 16 - Corrélation pluies – niveau de la nappe, piézomètre 40-11-06 (A2EP, 1993).....	48
Figure 17 - Influence de la marée sur le niveau de la nappe (A2EP, 1993).....	50
Figure 18 - Principales textures des faciès construits de calcaires récifaux autochtones et allochtones (d'après Embry et Klovan, 1971, in Chamley, 1987.....	69
Figure 19 - Coupe schématique d'un récif et disposition générale des organismes constructeurs et des principaux faciès calcaires (d'après James in Walker, 1984, Chamley, 1987).....	70

Liste des tableaux

Tableau 1 - Altitudes et caractéristiques des principaux niveaux de façonnement marin à Ouvéa (d'après Collot et al., 1975)	28
Tableau 2 - Altitudes et caractéristiques des principaux niveaux de façonnement marin déterminés par la topographie au 1 / 10 000 (DI3T).....	28
Tableau 3 - Inventaire des cavités souterraines visitées par l'expédition de 1995 (d'après Lips, 1995)	32

Liste des annexes

Annexe 1	67
Annexe 2	69
Annexe 3	71
Annexe 4	73

1 Introduction

1.1 SITUATION GEOGRAPHIQUE

L'île de Lifou est la plus grande de l'archipel des Loyauté. Avec une superficie de 1140 km², soit près du double de Maré, elle s'allonge, selon la direction NS, sur 58 km, alors que d'Est en Ouest, elle peut ne mesurer que 10 km de large. Elle dépend administrativement de la Province des Iles. L'île est couverte par les coupures IGN 4840 (Lifou Nord) et 4842 (Lifou Sud), série orange à l'échelle du 1 / 50 000¹.

¹ Les toponymes indiqués dans le texte font référence à ceux de la carte IGN à l'échelle du 1 / 50 000 de Lifou, tels qu'orthographiés dans ce document, à l'exclusion de toute autre carte.

Louat, 1989). Cette subduction s'accompagne vers 22°S-169°E de la collision entre la ride des Loyauté et l'arc des Nouvelles-Hébrides (Monzier, 1993 ; Lafoy *et al.*, 1996a).

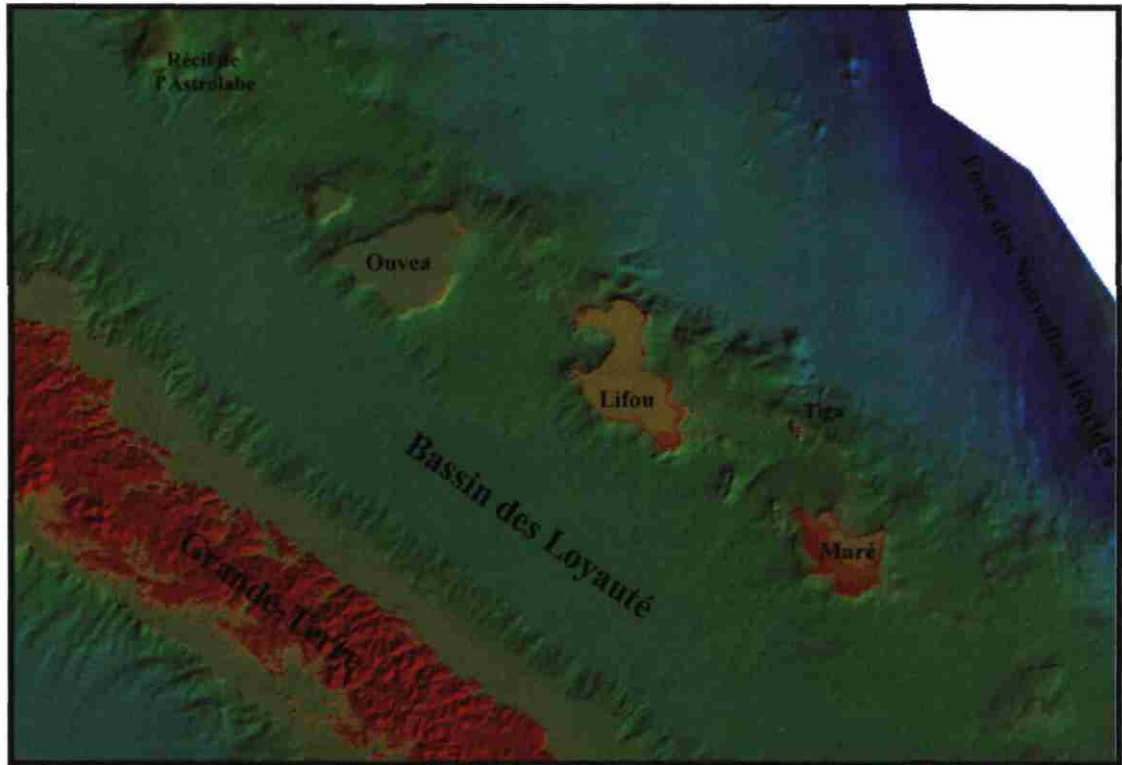


Figure 2 - Bathymétrie et topographie de la ride des Loyauté (modifié d'après Lafoy *et al.*, 1995b, 1996a)

La ride sigmoïde des Loyauté reste un des éléments les plus mal connus du Pacifique sud-ouest. Elle s'étend sur près de 1000 km depuis la zone de fracture de Cook jusqu'à la zone sud d'Entrecasteaux, où elle s'engage dans la subduction des Nouvelles-Hébrides. Au sud de la fracture de Cook, la ride se prolonge, avec un décalage de 400 km, au niveau de la ride des Trois Rois reconnue comme étant un arc volcanique inactif d'âge encore mal défini et probablement polyphasé (Herzer *et al.*, 1997). De nature discontinue, la ride des Loyauté (figures 2 et 3) présente une structuration longitudinale en horsts et grabens, une morphologie transversale dissymétrique (bordure orientale abrupte), formée de structures tabulaires allongées ou guyots et de pointements volcaniques plus récents (Lafoy *et al.*, 1995b, 1996a; 1998). La chaîne volcanique de la ride des Loyauté aurait été active de l'Eocène à la fin du Miocène (Baubron *et al.*, 1976). Orientée NW-SE entre 18°40' et 22°S et NNW-SSE au nord et au Sud de ces latitudes, la ride, formée d'édifices volcaniques couverts de plateaux carbonatés et de récifs (îles Beautemps-Beaupré, Ouvéa, Lifou, Maré et Walpole), est accidentée d'un graben axial discontinu (Dubois *et al.*, 1974) et tapissée d'une couverture sédimentaire (Ravenne et de Broin, 1975). Vers 22°S, la ride est

caractérisée par une virgation convexe vers l'Est, latitude à laquelle la bordure orientale de la ride entre en collision avec la base du mur interne de la fosse des Nouvelles-Hébrides.

Depuis le Pléistocène, le bombement de la lithosphère Australienne à l'approche de la zone de subduction des Nouvelles-Hébrides provoque la surrection des îles Loyauté (Dubois *et al.*, 1974). Au Nord et au Sud des îles Maré, Lifou et Ouvéa, l'axe de la ride s'approfondit. En raison de l'épaisse couverture carbonatée qui recouvre les édifices volcaniques de la ride, la nature de son substrat reste pratiquement inconnue. Le seul endroit où ce substrat ait été atteint est le guyot Bougainville à l'extrême nord de la ride. Ce guyot, traversé lors du forage ODP831 (Collot *et al.*, 1992), correspond à un appareil volcanique sous-marin andésitique d'âge éocène, surmonté d'une couverture carbonatée dépassant 700 m d'épaisseur.

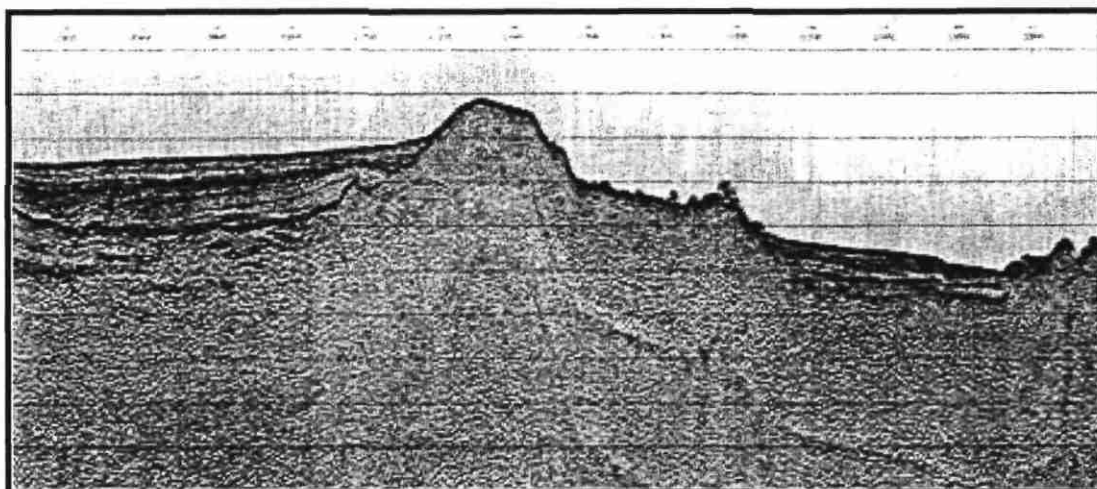


Figure 3 - Profil sismique LHRNC-C de la campagne FAUST1 recoupant la ride des Loyauté (in Lafoy *et al.*, 1998). Orientation SW-NE (Noter le basculement du sommet tabulaire de la ride vers le NE)

La ride est segmentée par de nombreuses failles en relation avec une tectonique polyphasée, ces failles principalement orientées WSW-ENE, parallèles au mouvement de convergence des plaques Australienne et Pacifique, étant interprétées comme résultant de la collision "Loyauté - Nouvelles-Hébrides", l'arc des Nouvelles-Hébrides se comportant comme un poinçon rigide (Lafoy *et al.*, 1995a, 1996a).

L'histoire géologique de la ride des Loyauté est donc constituée de deux phases majeures comprenant la formation de la ride et sa déformation lors de son entrée en collision, il y a 2 Ma, avec l'arc des Nouvelles-Hébrides (Dubois *et al.*, 1974 ; Monzier, 1993 ; Lafoy *et al.*, 1996a). Deux hypothèses sont proposées pour son origine :

- Elle serait le résultat d'une activité magmatique anorogénique en contexte distensif (Paris, 1981; Rigolot, 1989 ; Monzier, 1993 ; Dupont *et al.*, 1995 ; Van de Beuque, 1999). Selon Monzier *et al.* (1989) et Monzier (1993), le segment NW-SE de la ride se serait formé par des émissions massives de basaltes alcalins et de roches différenciées (comendites) ayant débuté à l'Oligocène (34-26 Ma) le long de fractures préexistantes. Les segments de la ride orientés NNW-SSE auraient une origine comparable mais l'activité volcanique n'y serait apparue qu'au Miocène supérieur. Un volcanisme de type point chaud, encore actif, pourrait avoir interféré avec le volcanisme sur les fractures (Van de Beuque, 1999).
- Elle correspondrait à un ancien arc volcanique éocène, contemporain de la zone de collision de la Grande-Terre (Dubois *et al.*, 1974 ; Lapouille, 1978 ; Maillet *et al.*, 1983 ; Kroenke et Rodda, 1984 ; Collot *et al.*, 1987; Meffre, 1991, 1995; Cluzel *et al.*, 1994; Aitchison *et al.*, 1995) réaffecté par un volcanisme anorogénique plus récent.

Selon Cluzel (1999, in Vially et Bénard, 2001), si l'on admet la continuité de la ride des Loyauté avec la ride des Trois Rois au Sud, et la zone sud d'Entrecasteaux au Nord, on est obligé d'admettre la nature d'arc insulaire de cette ride. D'autre part, l'interprétation de la ride liée à un magmatisme anorogénique distensif ne prend pas en compte la présence de basaltes arrière-arc (BABB, Back-Arc Basin Basalts) sur la marge sud-est de la ride, ni la nature andésitique et l'âge Eocène du guyot Bougainville qui appartient de toute évidence à la ride des Loyauté. L'activité magmatique de la ride serait donc marquée par deux phases indépendantes, la première, d'âge éocène (ou paléocène-éocène ?) correspondant au fonctionnement d'un arc insulaire intra-océanique sous l'effet d'une subduction à plongement vers l'est, la seconde correspondant à la manifestation d'un magmatisme de type « point chaud » plus tardif (oligo-miocène) analogue à celui qui constitue les alignements du type des Chesterfield. Les pointements basaltiques miocènes (10 Ma) de Maré (Baubron *et al.*, 1976), et les éléments dragués lors des plongées du Nautille sur la zone de collision "Loyauté - Nouvelles-Hébrides" (26-32 Ma), caractérisés par des affinités de basaltes alcalins intra plaques (Monzier *et al.*, 1989) sont représentatifs de ce dernier épisode.

La ride des Loyauté porte la marque d'au moins trois phases tectoniques. La première correspond à la formation d'un graben axial que l'on peut interpréter comme un rift intra-arc avorté. Le second événement, compressif, peut être corrélé à l'obduction d'âge éocène supérieur connue sur la Grande-Terre et marque le début d'une collision avortée entre la ride des Loyauté et la ride de Norfolk. Les dernières manifestations tectoniques très récentes, résulteraient de la collision naissante avec l'arc des Nouvelles-Hébrides (Monzier, 1993 ; Lafoy *et al.*, 1996a ; Van de Beuque, 1999).

La partie profonde de la ride des Loyauté est constituée d'un substratum de nature encore indéterminée, épais d'environ 25 km (Collot et Missegue, 1977 ; Collot *et al.*, 1982) portant un alignement d'édifices volcaniques. Les îles d'Ouvéa et de Lifou sont séparées par un profond canyon, d'orientation NNW-SSE qui s'écoule vers le Sud dans le bassin des Loyauté (Lafoy *et al.*, 1995b, 1996a). Les appareils volcaniques sont surmontés de plates-formes carbonatées Miocènes couronnées de formations récifales édifiées au Pliocène, puis soulevées au Pléistocène. Ces édifices carbonatés confèrent aux îles leurs paysages et leur géologie très spécifique : plateau calcaire karstifié sans

réseau hydrographique, entouré par un bourrelet périphérique représentant l'ancien atoll dont les pentes internes mais surtout externes sont creusées de nombreuses terrasses ou encoches, témoins des variations relatives du niveau marin au cours des âges. De par leur situation géographique à proximité d'une zone de convergence, les constructions récifales successives ont été influencées par les mouvements liés à la tectonique des plaques de cette région. Elles constituent à cet égard une zone d'enregistrement privilégiée de ces mouvements. Mais la lecture est loin d'en être simple.

Les grands problèmes posés et les difficultés rencontrées dans la progression des connaissances sur ces îles sont de natures diverses. Les progrès sur la connaissance de la constitution profonde du substrat de la ride des Loyauté ne pourront probablement être réalisés qu'avec le déploiement des moyens lourds de la géologie marine et des sondages océaniques. La stratigraphie des édifices carbonatés reste difficile à établir. Les moyens de datations absolues isotopiques ou indirects comme la magnétostratigraphie sont d'un emploi délicat. Les principes de superposition stratigraphiques sont souvent inopérants.

1.3 TRAVAUX ANTERIEURS – CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DE LA CARTE

1.3.1 Travaux antérieurs

L'histoire de la connaissance géologique de l'île de Lifou commence très tôt, dans les années 1850. En 1848, Clarke donne une description de Lifou et considère cette île comme étant un atoll soulevé, composé de "corail mort" : Il reconnaît le relief général en surface tabulaire et les origines anciennes récifales de l'île. En 1871, Jules Garnier visite l'île et note que le rebord élevé de Lifou contient beaucoup plus de corail, reconnaissant en cela l'ancien bourrelet récifal. En 1873, Balansa remarque le contraste entre la plaine centrale contenant surtout des "coquilles fossiles" et la bordure riche en corail. En 1925, W.M. Davis considère que les trois îles Loyauté sont parmi les exemples les plus beaux d'atolls soulevés dans le Pacifique, dans le chapitre intitulé : "The Evently Uplifted Atolls of Maré and Lifou". En 1952, F.R. Haerberlé effectue une campagne dans les îles Loyauté et ne mentionne sur Lifou que la visite de deux cavernes.

Sous l'égide de la fondation Singer-Polignac, plusieurs missions ont lieu dans les trois îles des Loyauté entre 1960 et 1962, mais c'est surtout Maré qui est étudié au détriment de Lifou

A partir de 1972, F. Bourrouilh – Le Jan a abondamment travaillé sur les atolls du Sud-Ouest Pacifique. Dans une synthèse sur la géomorphologie des atolls soulevés du Sud-Ouest Pacifique (Bourrouilh – Le Jan, 1996), cet auteur indique que la morphologie d'atoll de l'île de Lifou ne résulte pas d'une construction récifale périphérique, mais qu'elle serait l'expression de l'émersion d'une plateforme carbonatée intensément karstifiée. Cette plateforme se caractérise par une sédimentation à Rhodolites sur plusieurs centaines de mètres (Bourrouilh - Le Jan, 1979).

Dans les années 70, l'évolution de l'archipel des Loyauté est considérée par Dubois *et al.* (1973, 1974, 1975, 1977) dans un cadre tectonique régional, lié au bombement lithosphérique en avant de la zone de subduction de la fosse des Nouvelles-Hébrides.

Au plan de la connaissance des ressources naturelles de l'île de nombreux programmes de recherche appliquée sont à mentionner. Les études hydrogéologiques se sont succédées, entreprises par le Service des Mines de la Nouvelle-Calédonie (P. Koch, 1957, 1958), l'ORSTOM (1970 à 1975), le BRGM puis A2EP (1990 à 1993), les programmes ADAGE (Aide à la Décision en Aménagement et Gestion de l'Environnement, IRD) et SAGE (Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux, IRD, UNC). Les ressources en phosphate des îles Loyauté ont été étudiées systématiquement par P. Koch en 1956 et 1957. L'étude de la ressource en calcaires récifaux en tant que neutralisant des effluents acides de l'industrie hydrométallurgiques, répond à une demande récente du projet Goro-Nickel. Les ressources offshore (hydrocarbures, encroûtements ferro-manganésifères) ont été

reconnues par le programme ZonéCo d'inventaire des ressources marines vivantes et minérales de la zone économique de la Nouvelle-Calédonie (Lafoy *et al.*, 1996b et c).

Du point de vue des ressources minérales « dures », des minéralisations ferromanganésifères se présentant sous la forme d'encroûtements et dépôts hydrothermaux fossiles ont été décrites au niveau des prolongements sous-marins de la ride des Loyauté (cf § « Gîtes et indices minéraux - Ressources en mer »).

1.3.2 Conditions d'établissement de la carte

Les levés géologiques de cette première édition à l'échelle du 1 / 50 000 ont été effectués en 2003, dans le cadre d'une convention entre la Nouvelle-Calédonie représentée par le Service des Mines et de l'Energie, et le Service Géologique National du Bureau de Recherches Géologiques et Minières, tous deux mandatés dans leur mission d'acquisition d'infrastructure géologique. Les difficultés de pénétration de l'île n'ont pas permis d'effectuer des levés de terrain systématiques et ont conduit à baser le tracé des contours géologiques sur les études existantes, après validation de coupes types. Les contours ont été généralisés par télédétection. Pour ce faire les couvertures de photographies aériennes de la DI3T ont été utilisées ainsi que l'imagerie spatiale (SPOT III mise à disposition par le SMAI et SPOT IV mise à disposition par la Province des Îles et le LATICAL).

L'ensemble des travaux a été coordonné par P. Maurizot (Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Service Géologique National) et Y. Lafoy (Service des Mines et de l'Energie). Les principales contributions au niveau institutionnel sont dues à :

- La Province des Iles pour la mise à disposition des études et documents publics et pour son appui sur le terrain,
- Le SMAI pour la mise à disposition d'imagerie SPOT,
- Le LATICAL (IRD) pour la mise à disposition des données du programme ADAGE et SAGE,
- La DI3T pour la mise à disposition de fonds topographiques numériques à l'échelle du 1 / 10 000 et de couverture de photographies aériennes.

Des contributions significatives sont dues à :

- D. Cluzel (ISTO Université d'Orléans) et D. Huaman (IRD Orléans) pour l'étude de la fracturation,
- C. Bourdillon (Eradata, Le Mans) pour la micropaléontologie et l'analyse des microfaciès,

Les ouvrages et publications fondamentales qui peuvent être consultés avec profit "pour en savoir plus" sont :

- Au niveau de la biostratigraphie et de la sédimentologie, les travaux de F. Bourrouilh-Le-Jan (1973-1996) sur la sédimentation, la diagenèse et la biostratigraphie.
- Au niveau de la géodynamique régionale, les publications de Y. Lafoy *et al.*, 1995, 1996, 1998 ; S. Van de Beuque, 1999, J.M. Auzende *et al.*, 2000 ; et Vially et Benard, 2001.
- Au niveau appliqué, les études hydrogéologiques d'A2EP (1993) et des programmes ADAGE et SAGE.

2 Description des terrains

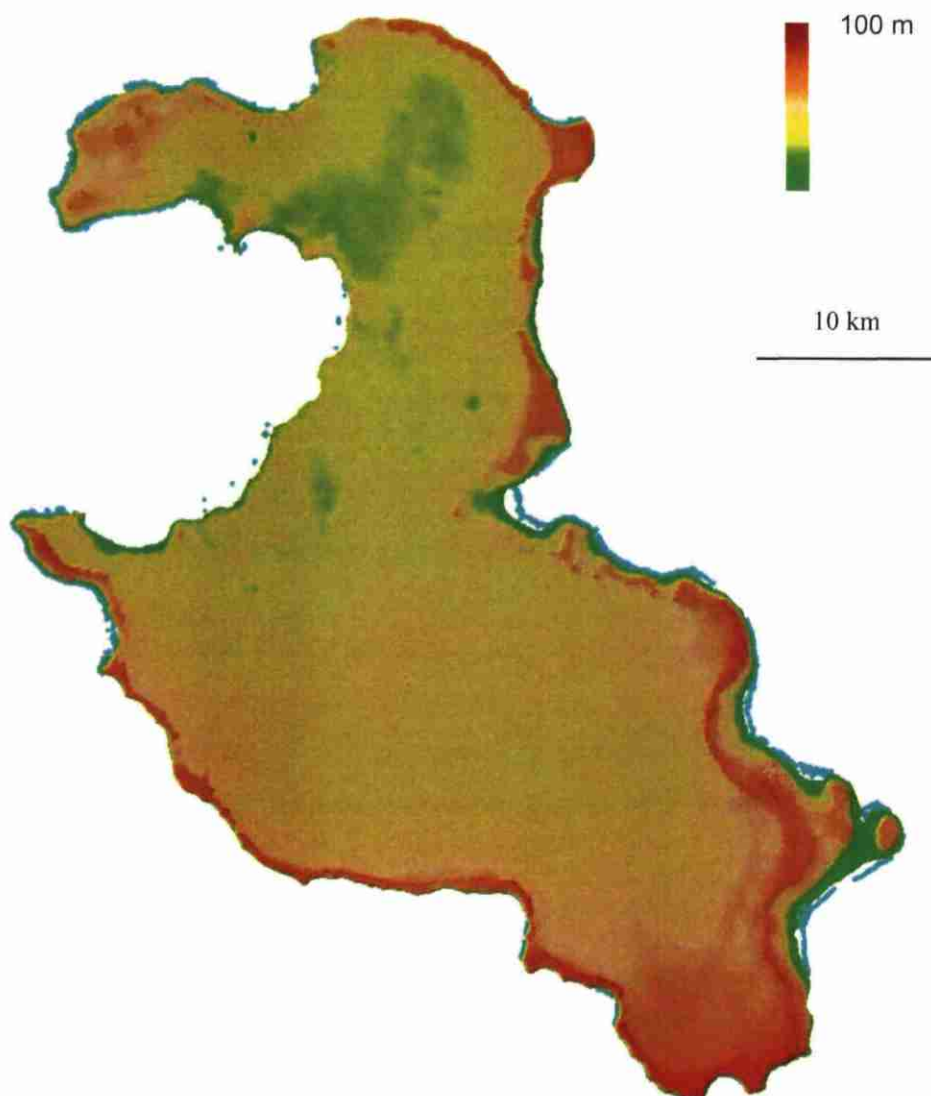


Figure 4 - Carte altimétrique de l'île de Lifou (Modèle Numérique de Terrain à la maille de 10 mètres, données DI3T)

2.1 FORMATIONS NON AFFLEURANTES

Une campagne de mesures du champ magnétique au-dessus des îles Loyauté a été acquise par l'ORSTOM au cours de campagnes en mer et au cours d'une campagne aérienne à faible altitude (Lapouille, 1974). Cette étude avait pour but de mettre en évidence les éventuels pointements volcaniques proches de la surface pour faciliter la prospection hydrogéologique. Après avoir enlevé la composante régionale du champ induit par l'ensemble de la chaîne ainsi que les variations à grandes longueurs d'onde, le champ résiduel a été utilisé pour tracer des cartes d'isobathes du toit du substratum volcanique. Sur Lifou, pour Lapouille, ce substratum serait situé à des profondeurs comprises entre 500 et 50 mètres. Le point culminant du substratum, avec une profondeur inférieure à 50 mètres, se trouve dans l'extrémité Sud de l'île. Une autre proéminence de moindre importance par sa surface et son altitude est située dans la partie occidentale de l'île entre Drüeulu et Hapetra, où une morphologie conique évoquant un volcan se dessine en profondeur jusqu'à l'isobathe – 500 mètres. La nature et l'âge de ce volcanisme nous sont inconnus.

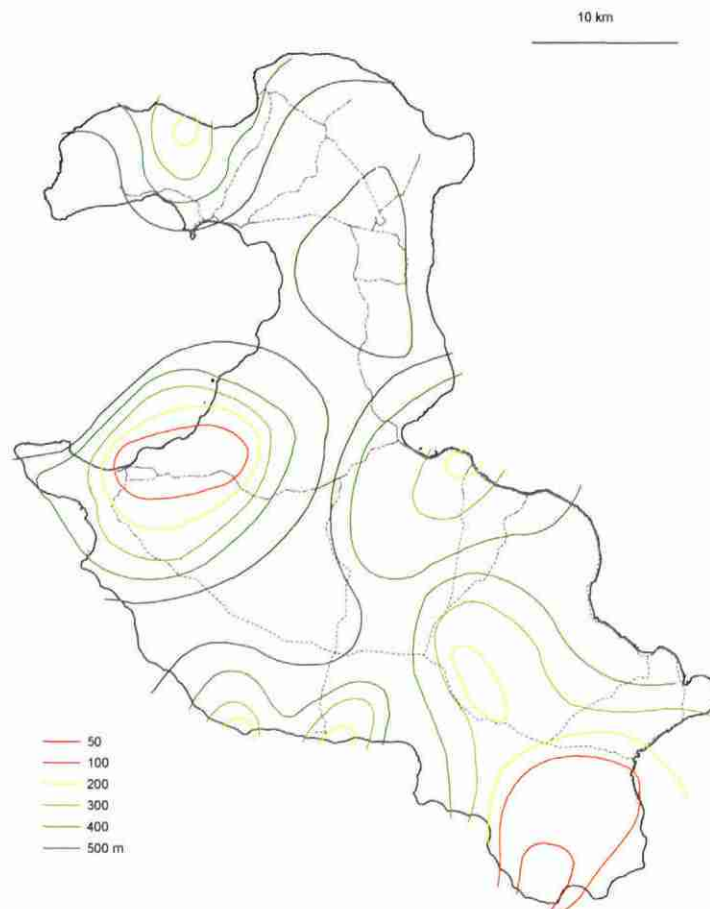


Figure 5 - Profondeur du socle volcanique en mètres (d'après Lapouille, 1974)

2.2 FORMATIONS AFFLEURANTES

A l'opposé de Maré où les formations carbonatées sont bien différenciées (D. Carrière, 1987, Maurizot & Lafoy, 2003) et le socle volcanique présent, Lifou présente des faciès monotones et peu tranchés. La plateforme à Rhodolites si caractéristique de Maré est ici mal individualisée. Alors que les calcaires presque exclusivement formés de Rhodolites forment sur Maré des épaisseurs importantes, il est rare que les Rhodolites soient dominants sur Lifou où ils sont toujours associés à des sédiments biodétritiques.

On a pu distinguer trois faciès lithologiques principaux qui correspondent chacun à une expression morphologique différente :

- La couronne récifale constitue un bourrelet périphérique qui domine la partie interne et externe.
- Elle passe latéralement vers l'intérieur mais aussi vers l'extérieur à des formations à dominante biodétritique de démantèlement de la couronne récifale, constituant une pente de quelques degrés.
- Les dépressions centrales sont occupées par des faciès biodétritiques particuliers, riches en Algues, très altérés, qui peuvent représenter soit des équivalents latéraux des précédents, soit des termes plus anciens apparaissant sous les faciès biodétritiques.

La morphologie de l'ancien atoll est pratiquement intégralement préservée (Chevalier, 1968). Cette morphologie annulaire est en effet encore bien perceptible à grande échelle (Figure 4) malgré l'histoire postérieure incluant la fracturation, la karstification, la diagenèse, le façonnement en encoches et terrasses, etc. Cette préservation résulte sans doute en bonne partie de la modification du modelé par les phénomènes karstiques qui dissolvent plus qu'ils n'érodent et agissent surtout de l'intérieur en l'absence de réseau de drainage externe organisé. La couronne récifale domine à une altitude comprise entre 50 et 100 mètres l'ancien lagon aujourd'hui exondé à 20 – 30 mètres d'altitude.

Si la morphologie à grande échelle est bien conservée, il n'en est pas de même aux échelles moyennes et petites. Pour F. Bourrouilh (1977), la présence sur la partie interne du bourrelet périphérique de falaises verticales est difficile à attribuer à une morphologie conservée. Cet auteur en se basant sur l'observation d'autres formes d'atolls soulevés dans le Pacifique envisage plutôt une modification de l'ancienne morphologie résultant d'une profonde karstification déprimant la partie centrale et d'une lithification conjointe des parties périphériques. Dans cette hypothèse, la dépression interne de l'île ne serait pas le résultat d'une croissance différentielle entre lagon et couronne récifale, mais plutôt le résultat d'une dissolution/érosion biochimique. Les faces interne ou externes du bourrelet périphérique sont en effet fréquemment verticale et le litage grossier mais très nettement horizontal ou faiblement incliné qu'on y discerne ne laisse pas de doute quant au déblaiement d'une bonne partie des matériaux qui la constituait autrefois.

Sur sa partie interne ou externe, le bourrelet a été retouché par de multiples encoches ou terrasses d'abrasion ou de constructions coralliennes qui lui confèrent une

morphologie en gradins. Enfin à petite échelle, la dissolution karstique a sculpté de nombreuses formes complexes.

Au plan diagénétique, F. Bourrouilh-le-Jan (1972) a montré la prédominance des faciès dolomitiques dans le lagon central fossile, l'augmentation des taux de calcium dans les faciès biodétritiques périphériques internes et enfin la nature calcaire de la couronne récifale.

2.2.1 Calcaires récifaux du bourrelet périphérique (Pliocène – Pléistocène inférieur, p1-IVr)

La formation récifale qui constitue l'ossature du bourrelet périphérique de l'île se présente sous la forme d'un rempart continu ou de faros (motu) isolés dont de nombreux exemples sont visibles (Figure 4) sur le pourtour de l'île. La couronne récifale atteint entre 70 et 100 mètres d'altitude au Sud et à l'Est alors qu'elle n'est plus qu'entre 50 et 70 mètres sur la côte ouest. Elle est relativement continue et épaisse à l'Est (plus de 2 km) et au Sud de l'île. A l'Ouest, elle est interrompue par de nombreuses anciennes passes qui faisaient jadis communiquer les eaux du lagon interne avec celles de l'océan. Les faros isolés de la couronne récifale correspondent à des récifs circulaires ou allongés coiffés souvent par des micro-lagons dessinant une cuvette encore préservée.

Les coupes montrent que le bourrelet est composé de nombreux coraux souvent en position de vie, d'Algues encroûtantes et de sable bioclastique interstitiel, souvent lité. Ces dépôts sont massifs sans discontinuités significatives, si ce n'est un litage fréquent dans les intercalations biodétritiques. La proportion de sable biodétritique atteint souvent plus de 50% et il est relativement rare de trouver des faciès massivement construits. La texture dominante est bafflestone à framestone. Les coraux sont diversifiés branchus, massifs coloniaux et massifs isolés. Des bénitiers verticaux, en position de vie sont fréquents. Les Algues prennent une place importante dans la partie construite ainsi que les clastes interstitiels. La phase sédimentaire piégée est composée par des débris ou des individus entiers de Bivalves, Gastéropodes, Foraminifères encroûtants ou libres.

Ces faciès sont accessibles en de nombreuses localités. Les routes littorales de l'Ouest, de Wé à Luecila ou de Wé à Xodre, longe le bourrelet externe de manière continue. L'induration de la formation, souvent plus poussée que dans les faciès biodétritiques, permet de l'utiliser comme enrochement. Elle a ainsi été exploitée en carrière au sommet du bourrelet de Luecila, à proximité de la station d'éoliennes. On peut voir dans cette localité de très gros massifs coralliens (plusieurs m³) en position de vie, enchâssés dans une matrice biodétritique interstitielle subordonnée. De beaux faciès récifaux construits sont également visibles au niveau de l'ancienne carrière qui a fourni l'enrochement du port de We, en bordure de la RM1 entre We et Traput. Une autre carrière pour enrochement dans le même faciès, aujourd'hui abandonnée et envahie par la végétation, a été ouverte à l'Est de Hnathalo, pour les besoins de l'aérodrome de Wanaham. Un sentier qui part à ce niveau vers l'Est, pour rejoindre le bord de mer, permet de lever une coupe complète dans le bourrelet, constitué ici d'une alternance de faciès construits et d'accumulation biodétritiques grossièrement lités.

D'autres exemples de faciès construit du bourrelet, à coraux en position de vie sont accessibles au niveau du pylône de télécommunication situé au-dessus de We (Hnaep) ou à la pointe d'Easo, sous la chapelle Notre-Dame-de-Lourdes.

Le passage aux formations biodétritiques périrécifales n'est pas tranché et la cartographie du bourrelet s'appuie plus souvent sur la morphologie que sur des observations lithologiques en continu.

2.2.2 Formations biodétritiques périrécifales (Pliocène – Pléistocène inférieur, p1-IVb)

Les formations péri-récifales biodétritiques envoient les zones de récifs construits dont elles constituent partiellement les produits de démantèlement. Elles se développent tant vers le lagon interne que vers l'extérieur de l'atoll, sur la pente externe.

Les faciès biodétritiques sur les flancs de l'édification récifale sont formés par les mêmes organismes que les faciès construits. Ils sont à texture rudstone, grainstone ou floatstone. Ils sont majoritairement constitués par un amoncellement de sable bioclastique riche en débris de mollusques, avec quelques coraux isolés parfois en position de vie, tapis algaires, Bivalves et Gastéropodes.

Le type biodétritique interne lagonaire peut être observé dans de bonnes conditions dans de nombreuses carrières de l'intérieur de l'île.

Dans la carrière située à la sortie de We, en bordure de la route² de Wanaham, il est exposé sur dix mètres de hauteur. Les bioclastes sont constitués de fragments de coraux, de Bivalves, des Gastéropodes, de radioles d'oursins. Le litage frustre est souligné par des tapis et encroûtements algaires. Il s'organise en grandes lentilles de dimension métriques à décamétriques en relais. Quelques coraux isolés sont en position de vie. D'autres blocs de corail sont basculés, fragmentés, perforés et encroûtés par des Algues. Les bioclastes sont parfois dissous ou recristallisés en calcite.

Dans la carrière³ située dans le fond de l'ancien lagon, au pied du bourrelet interne, à 5 km au Nord de We, en bordure de la piste menant à la station des éoliennes, un très beau faciès biodétritique est observable. Le sable bioclastique bien trié y est constitué par des débris de Foraminifères, pellétoïdes, Bivalves, Coraux. Les Rhodolites sont rares, isolés, flottant dans la matrice sableuse et de géométries très variables. Ce dernier site est très proche du bourrelet périphérique et montre que la transition avec les faciès du bourrelet récifal construit peut être très rapide.

² X = 528 630, Y = 366 760

³ X = 531 200, Y = 368 780

Le type biodétritique externe d'avant récif peut être caractérisé dans quelques localités situées à la périphérie de l'île. Au Sud de Xodre (lieu dit "le bout du monde" non porté sur la carte DI3T à 1 / 50 000) une terrasse façonnée à 13 mètres d'altitude permet d'observer des faciès intermédiaires entre le bourrelet construit et le biodétritique périrécifal. Dans cette localité, on observe des calcaires bioclastiques (boundstone à framestone) grossièrement stratifiés, en bancs d'épaisseur métriques. Les pendages sont de 15° en moyenne vers le large. Au sein du matériel biodétritique dominant, on note la présence de massifs coralliens en position de vie. Falaise, encoches et terrasses recoupent très nettement cette stratification frustrée. Un tel dispositif est également observable au niveau des falaises de Jokin où un pendage maximum de 30° vers le large est nettement visible dans les falaises que l'on peut apercevoir vers le Sud, depuis le point de vue aménagé.

Un type biodétritique particulier car sableux et très peu consolidé, se développe dans la région comprise entre Easo et Siloam. Dans ce secteur plusieurs carrières offrent des coupes dans un ensemble biodétritique pulvérulent comprenant des niveaux de lumachelles à coquilles de Bivalves intactes mais non en connexion, de nombreux Gastéropodes, des bénitiers, des petits coraux isolés, liés dans un sable bioclastique à Foraminifères.

2.2.2.1 Âge

Des indications biostratigraphiques ont été rapportées par Bourrouilh-le Jan (1996). Dans la coupe de la falaise de Dokin, la microfaune présente dans les sédiments biodétritiques permet de rapporter l'ensemble aux zones Tgh ("letter stage" de Clarke & Blow, 1969) soit Miocène terminal à Pliocène. Dans la partie sommitale de cette coupe, la présence de *calcarina spengleri* GMELIN indique l'intervalle Th (Pliocène). Par comparaison avec Maré, l'âge supposé de la couronne récifale et des formations biodétritiques périrécifales associées peut être assignée à l'intervalle Pliocène-Pléistocène.

2.2.3 Formations biodétritiques à Algues et Rhodolites (Pliocène – Pléistocène inférieur, p1-IVc)

Au cœur des dépressions médianes de l'ancien lagon, centrées sur Hnaïcom pour le Nord et sur Hmelek pour le Sud, s'individualise un faciès très particulier biodétritique comme le précédent, mais beaucoup plus riche en Algues, contenant parfois des Rhodolites de dimensions et morphologies hétérogènes. Ce faciès est également caractérisé par une dissolution importante des bioclastes qui en fait une roche pulvérulente friable. Il est en outre fréquemment dolomitisé.

Il peut s'observer dans de nombreuses carrières du centre de l'île. Les Algues encroûtantes lamellaires sont très fréquentes. Elles peuvent parfois former des tapis soulignant la stratification. Les tests des mollusques sont systématiquement dissouts et lamatrice du sédiment, recristallisée se trouve souvent à l'état d'une fine poudre saccharoïde. On trouve fréquemment dans ce faciès des veinules de remplissage ou de substitution par une micrite blanche à aspect porcelanée (dolomicrite), à cassure

conchoïdale. Parfois celle-ci semble déterminer des surfaces durcies perforées. Il s'agit là d'une des expressions de la dolomitisation dans ces roches.

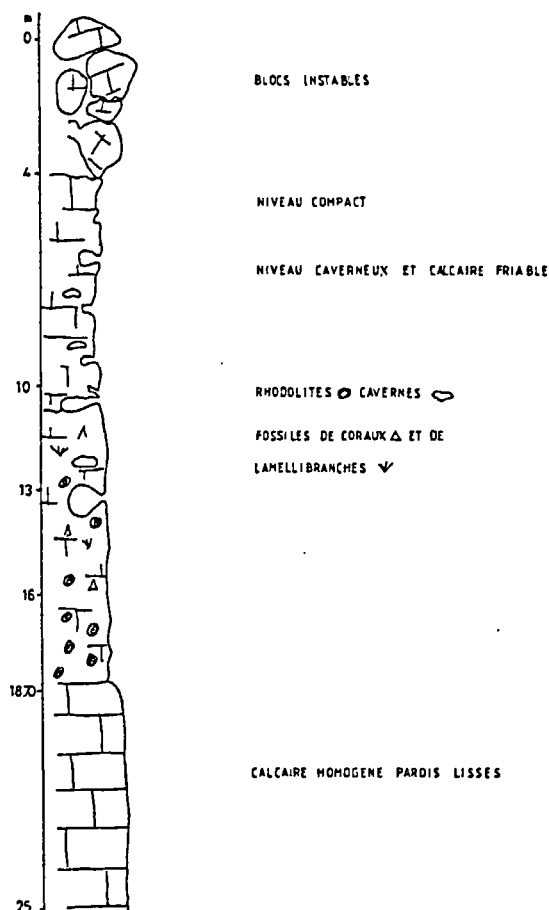


Figure 6 - Coupe du puits de Kedeigne (42-09-02, A2EP, 1993)

Nous n'avons pas rencontré sur Lifou les accumulations massives litées de Rhodolites si caractéristiques de l'île de Maré, à l'exception d'une localité : Au Nord de Tingeting, sur le sentier menant à la grotte du Trou-du-Diable il est possible de voir dans la partie interne de l'ancien lagon, au pied du bourrelet récifal, des dalles à Rhodolites jointifs de 5 à 8 cm de diamètre.

Partout ailleurs, les Rhodolites rencontrés sont isolés, hétéromorphes et hétérométriques, flottant au sein du liant biodétritique. On rencontre parfois des faciès biodétritiques dont les bioclastes sont systématiquement encroûtés par des algues rouges lamellaires, associés à de petits Rhodolites de taille centimétriques.

A 4 km à l'Est de Drüeulu il est possible de voir dans une ancienne carrière au sein d'une formation biodétritique litée en bancs d'épaisseur demi-métrique, de véritables niveaux à Rhodolites alternant avec des niveaux de lumachelles à Bivalves et Gastéropodes. Les Rhodolites ne sont pas aussi calibrés et réguliers que ceux que l'on peut observer dans la plateforme à Rhodolites de Maré. Leur morphologie est souvent aplatie, leur taille maximum est de 8 cm. De nombreuses protubérances de Rhodolites forment des accumulations de bioclastes. Dans la coupe du puits de Hnacaöm, donnée par A2EP, des niveaux riches en Rhodolites sont représentés en alternance avec des sédiments biodétritiques à coraux et lamellibranches.

Bourrouilh-le Jan (1996) a également rapporté la présence de Rhodolites dans les deux dépressions centrales de l'île, associées à des Algues rouges encroûtantes nombreuses et de l'Algue verte Halimeda.

Au NW de Hmelek une carrière en activité permet d'observer sur 7 mètres de hauteur :

- à la base 1 mètres de calcaire biodétritique à Rhodolites de formes irrégulières de 1 à 2 cm de diamètres.
- Ce niveau est surmonté par 2,5 m d'une lumachelle à grandes coquilles de Bivalves (certaines supérieure à 10 cm), Gastéropodes, Coraux isolés. Les coquilles sont souvent dissoutes et ne sont plus représentées que par leur moule externe.
- Ce niveau, de plus en plus induré vers le sommet, montre des indices d'émersion et passe assez rapidement à une horizon diagénétique constitué par une micrite qui a recristallisé autour d'un réseau dense de rhyzoconcrétions. Cet horizon supérieur occupe les 3 mètres sommitaux de la coupe. Il est constitué par un enchevêtrement de colonnes et cylindres verticaux micritiques dans lequel toute structure primaire a disparu.

Cette coupe témoigne d'un épisode d'émersion et de diagenèse avec installation d'une végétation en surface.

On observe donc, dans cette zone centrale de Lifou, une alternance de bancs biodétritiques à Mollusques et coraux isolés, typique de milieu lagunaire, avec des bancs riches en Algues et parfois à Rhodolites. Il ne semble donc pas y avoir de plateforme à Rhodolites, comparable avec celle de Maré, du moins dans la partie exposée de l'édifice carbonaté.

2.2.3.1 Âge

En l'absence d'éléments de datation biostratigraphique il faut procéder par corrélation. Le faciès central de Lifou semble s'interstratifier dans les formations biodétritiques périrécifales dont il semble être l'équivalent latéral, ayant subi en outre une histoire diagénétique plus poussée (dolomitisation notamment). On peut alors tenter de lui attribuer un âge similaire, Pliocène à Pléistocène, probablement postérieur à celui de la plateforme à Rhodolite de Maré, donc post miocène (Maurizot *et al.*, 2003). L'existence en profondeur, sous ces faciès centraux, d'une plateforme à Rhodolite équivalente de celle de Maré est une hypothèse qui ne pourra être vérifiée que par sondages carottés.

2.2.4 Formations plaquées (IVp)

Ce sont des formations lenticulaires dont certaines sont construites, d'autres détritiques, que l'on trouve du côté externe du bourrelet périphérique, formant des plaquages tardifs. Les faciès les plus courants sont des récifs frangeant construits et des "beach rock". Ces unités correspondent le plus souvent à des dépôts holocènes soulevés. Les corps peuvent se relayer. Les dimensions moyennes sont de quelques dizaines de mètres en longueur pour quelques mètres en épaisseur. La roche est en moyenne mieux indurée et moins corrodée que son substrat. Elle n'est jamais dolomitique, toujours calcaire, souvent aragonitique, le test de certains organismes étant parfois conservé. La cartographie de ce faciès à l'échelle du 1 / 50 000 n'est possible que pour les unités les plus importantes et les plus continues.

Entre Mu et We sur la côte est, de nombreuses formations plaquées indifférentiables se relayent : récif frangeant construit, "beach rock", plages de sables soulevées. Les accumulations de sable soulevé dans le fond de la baie de We appartiennent à ce cortège. De même l'isthme qui relie la butte du cap des Pins au Sud de Luengoni et l'île principale est constituée par une accumulation de sable non consolidé. D'autres exemples sont accessibles sur la côte ouest entre Xepenehe et Drüelu. La basse terrasse à l'altitude 3 – 4 mètres correspond sur une bonne partie du littoral à ce type de formation.

2.2.5 Les terrasses, replats et encoches

Les pentes externes et internes de l'édifice carbonaté sont entaillées de nombreuses terrasses, replats et encoches, témoins et enregistrements des mouvements relatifs de l'île par rapport au niveau marin, qu'ils soient d'origine tectonique ou eustatique. Ces marques témoignent d'un ancien niveau marin demeuré stable pendant une certaine période.

Les principaux types de façonnement marins de l'île sont :

- les encoches d'érosion. Celles-ci se forment par arrachement mécanique et altération/dissolution microbiologique du substrat carbonaté. Ces encoches peuvent avoir une profondeur métrique à pluridécamétrique et sont souvent tapissées par des concrétions calcitiques. Ces encoches sont très abondantes sur les pentes externes de l'île et peuvent se suivre parallèlement à la côte sur plusieurs kilomètres de long. Les encoches sont parfois postérieurement remplies par de nouvelles constructions ou comblées par des dépôts détritiques, jusqu'à en faire disparaître toute trace morphologique.
- les terrasses d'abrasion subhorizontale varient de quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres en largeur et se poursuivent, parallèlement à la côte, sur plusieurs centaines de mètres. C'est le cas par exemple de la terrasse côtière à +3 m.
- les terrasses d'accumulations sédimentaires correspondent à des constructions récifales se développant en épousant la morphologie d'érosion des terrasses d'abrasion. C'est le cas des terrasses les plus basses de l'île, telle la terrasse de 3 -

4 m ainsi que de la terrasse actuelle sur laquelle se développe un récif fonctionnel. Terrasses d'abrasion et d'accumulation se relaient ainsi avec une morphologie comparable.

Terrasses et encoches se relaient sur une même horizontale. Pour une même période de stabilité du niveau marin, ces repères peuvent légèrement varier en altitude selon leur position morphologique : au vent, sous le vent, interne au lagon ou externe, dans une zone protégée (anse, baie, etc...) ou dans un cap exposé. Les marques ont tendances à se multiplier dans les zones protégées et à s'amalgamer dans les zones exposées. Le dépouillement chronologique de ces repères permet de retracer l'évolution de l'île par rapport au niveau de la mer. La connaissance de la distribution de ces niveaux peut également permettre de prévoir la répartition des zones de karstification dans l'édifice carbonaté. Les terrasses ont des largeurs de 10 à 100 mètres. Elles sont horizontales ou, le plus souvent, inclinées vers la mer. Leur bord externe, tourné vers le large, présente parfois une petite crête ou rebord plus ou moins continu, comparable à celle qu'on trouve à la périphérie du sommet des faros ou au sommet de la couronne principale.

La formation des terrasses se poursuit de nos jours. L'actuel récif frangeant externe repose sur une plateforme d'abrasion entaillée dans l'ancien édifice carbonaté de l'île, de même qu'une encoche se développe au niveau actuel de la mer.

Collot et al. (1975) ont levés avec précision un certain nombre de profil, sur les terrasses de la côte est uniquement, au niveau de la pointe Daussy, au Sud du cap Bernardin (Hnathalo) et de la pointe de Chateaubriand. Les principales caractéristiques des terrasses reconnues par ces auteurs sont données dans le Tableau 1. Des profils synthétisés à partir des coupes de Collot et al. (1975) et des fonds topographiques à l'échelle du 1 / 10 000 sont donnés en Figure 7.

Niveaux (m)	Nature de la trace	Extension reconnue
69 à 91	Couronne récifale avec dépression centrale et crêtes bordières	Générale
70 environ	Grand platier	Générale ?
41,3	Grand platier	Générale ?
30,8 à 32,8	Grand platier	Générale ?
11 à 18	Grande encoche	Générale
13,3 à 14,3	Petit platier	Assez générale
7,8 à 12,7	Grand platier inférieur	Générale
0 à 12	Platier actuellement fonctionnel	Générale

Tableau 1 - Altitudes et caractéristiques des principaux niveaux de façonnement marin à ^{Lifou} Ouvéa (d'après Collot et al., 1975)

Nous avons essayé de réaliser une cartographie des terrasses sur l'ensemble de l'île à partir des données de photographies aériennes et des cartes à l'échelle du 1 / 10 000 de la DI3T. Les caractéristiques des ces principaux niveaux sont résumées dans le Tableau 2.

Niveaux (m)	Nature de la trace
90 à 95	Seulement au Sud
70 à 85	Très constant
60 à 65	Très large et profondément karstifié
50 à 55	Continu
35 à 45	Etroite
20 à 30	Général
13 à 15	Très continu mais seulement dans le Sud
7 à 10	Localisé
3 à 4	Encoche et terrasse très constante, presque omniprésente

Tableau 2 - Altitudes et caractéristiques des principaux niveaux de façonnement marin déterminés par la topographie au 1 / 10 000 (DI3T)

L'ensemble de ces données montrent qu'il y a un grand nombre de marques (terrasses ou encoches) entre 7 et 18 mètres, puis qu'au-dessus les repères deviennent plus espacés.

Plusieurs datations radiométriques par la méthode U/Th ont été faites sur Lifou. Selon Bernat et al. (1976), des échantillons de coraux analysés par la méthode U/Th sur une terrasse à l'altitude de +11 et +12 mètres, ont donné des âges de $120\ 000 \pm 6\ 000$, $122\ 000 \pm 7\ 000$ et $120\ 000 \pm 7\ 000$ ans BP. Un échantillon de corail sur une terrasse à +2,2 m a donné un âge de $90\ 000 \pm 4\ 000$ ans BP. Cependant ces échantillons présentaient des taux de recristallisation en calcite supérieur à 50 % ce qui ne permet pas de valider les résultats.

Selon Marshall & Launay (1977), des prélèvements correspondant à des fragments de corail du genre *Platygyra*, composés à 100% d'aragonite, effectués sur une terrasse à une altitude de +3,5 m, ont donné des âges de $189\ 000 \pm 17\ 000$ ans BP et $174\ 000 \pm 16\ 000$ ans BP.

D'autres datations radiochronologiques par la méthode U/Th ont été tentées par F. Bourrouilh-le Jan (1996, p. 45) mais seuls deux échantillons présentés par cet auteur, se sont révélés aragonitiques à 100 %. Ces deux échantillons ont été récoltés dans des carrières situées à l'Ouest de We, sur le plateau intérieur de l'île, à 20 ou 30 mètres d'altitudes. Les âges sont supérieurs à 200 000 ans et 400 000 ans. Nous n'avons pas tenu compte des résultats relatés par cet auteur pour des échantillons titrant 90 à 95 % d'aragonite seulement.

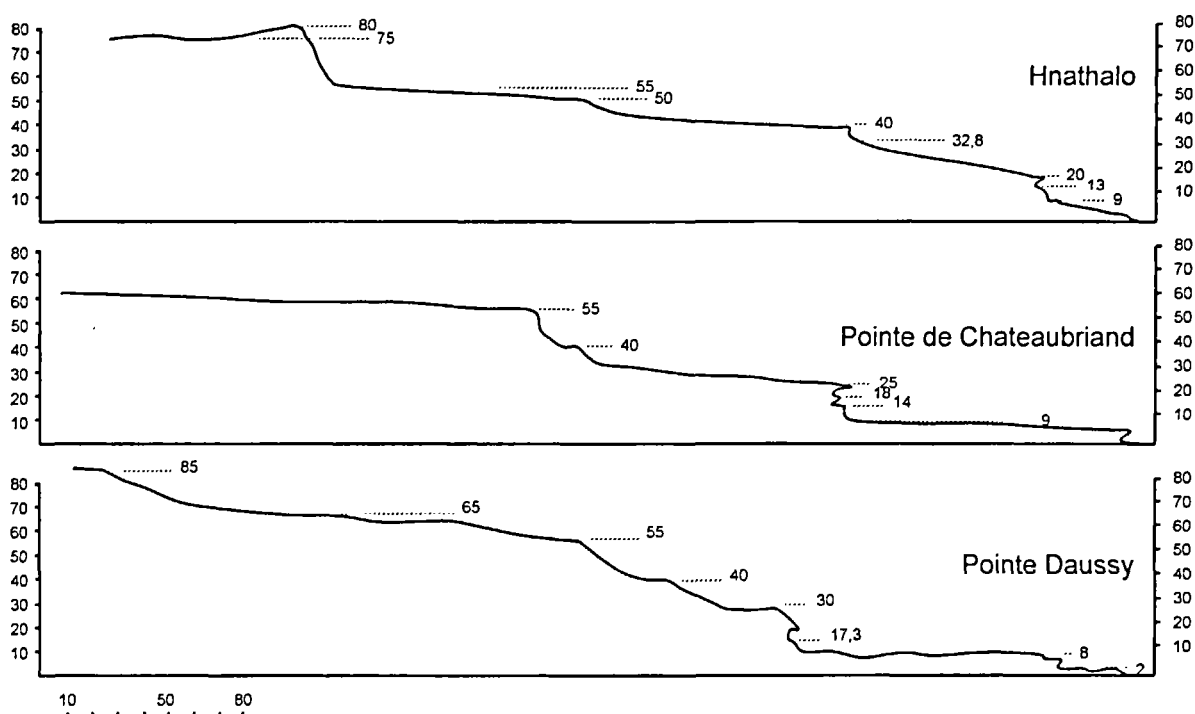


Figure 7 - Coupes synthétiques dans le bourrelet récifal périphérique de la côte est montrant les différents niveaux de façonnements marins (terrasses ou encoches)

2.2.6 Karstification, sédimentation interne et diagenèse

L'évolution de la plupart des édifices carbonatés insulaires du Pacifique s'accompagne de phénomènes diagénétiques complexes, de karstifications emboîtées, et d'une altération pédogénétique avec piégeage de sols phosphato-bauxitiques (Bourrouilh-Le Jan, 1989). Outre les phénomènes karstiques spectaculaires, toutes ces transformations postérieures aux stades de construction – sédimentation modifient profondément l'aspect de la roche mère. Quelques aspects de ces transformations sont présentés ici.

2.2.6.1 Karstification

Les roches carbonatées se distinguent de la plupart des autres types de roches par leur solubilité relativement élevée. La dissolution est à l'origine de traits caractéristiques tels que la rareté des sols, la présence de dépressions fermées, de dolines ou de grottes, et l'absence de cours d'eau aériens. Le drainage se fait par des fractures souterraines et des vides de dissolution, interstices, fissures et chenaux. Le karst est à la fois destructeur (cavités de dissolution) et constructeur par les remplissages (silteux brun ocre) et la cimentation (concrétions).

L'examen des photographies aériennes et images satellites a permis d'identifier la distribution des nombreuses cavités, effondrements, dolines et dépressions subcirculaires. Ces effondrements sont principalement concentrés dans certaines zones et parfois alignés sur des fractures. On constate également une densité importante de cavités au niveau de certaines terrasses.



Figure 8 - Carte synthétique des phénomènes karstiques visibles en surface (inventaire réalisé par D. Huaman, IRD)

Un inventaire spéléologique de l'île de Lifou a été réalisé en 1995 (Lips, 1995). Les principales caractéristiques des cavités karstiques sont présentées dans le Tableau 3. Ces données ne concernent évidemment que les parties aériennes explorées des réseaux. La plupart de ces cavités karstiques se situent sur ou à proximité du bourrelet récifal périphérique. Le réseau le plus important (Hnanawae) se développe sur plus de 8 km. L'ensemble de Wanaham avec ces réseaux annexes se développe sur près de 3 km. La Figure 9 montre le contrôle étroit des réseaux par la fracturation.

N°	Nom (Lieu-dit)	Localité	Développement (m)			Profondeur (m)		
			Partie sèche	Siphon	Total	Partie sèche	Siphon	Total
1	Gouffre de Mexel	Xodre	400		400	-50		50
2	Grotte d'Inegoj	Xodre	1550	160	1710	-47	-12	59
3	Grotte de Luengoni	Luengoni	300	200	500	+35	-31	66
4	Grotte d'Aciope	Mu	85		85	-16		16
5	Grotte de Qanono	Qanono (We)	711	100	811	+18	-42	60
6	Grotte Tony	We	100		100	-10		10
7	Grotte de Hnanawae	Wedrumel	8704		8704	-15		15
8	Grotte de Gojij	Wedrumel	755		755	-10		10
9	Grotte de Pekiepe	Drueulu	93	74	167	-20		35
10	Grotte de Wanaham	Hnathalo	1780		1780	-10	-15	10
11	Grotte de Fetra-He	Hnathalo	1167		1167	-10		10
12	Grotte de Sodi I	Hnathalo	320		320	-12		12
13	Grotte de Sodi II	Hnathalo	140		140	-10		10
14	Iane Wahiobi	Hnathalo	51	207	258	-16	-24	40
15	Grotte de l'Eolienne	Luecila	460		460	-55	-7	62
16	Trou de Bordeaux	Luecila	92	140	232	-19	-14	33
17	Trou de Hunan	Luecila	62		62	-20		20
18	Trou de Luecila	Luecila	40	80	120	-20	-16	36
19	Grotte d'Easo 1	Easo	88		88	-15		15
20	Grotte Easo 2	Easo	120		120	-30	-56	86
21	Grotte de Jokin	Jokin	76		76	-22	-2	24

Tableau 3 - Inventaire des cavités souterraines visitées par l'expédition de 1995 (d'après Lips, 1995)

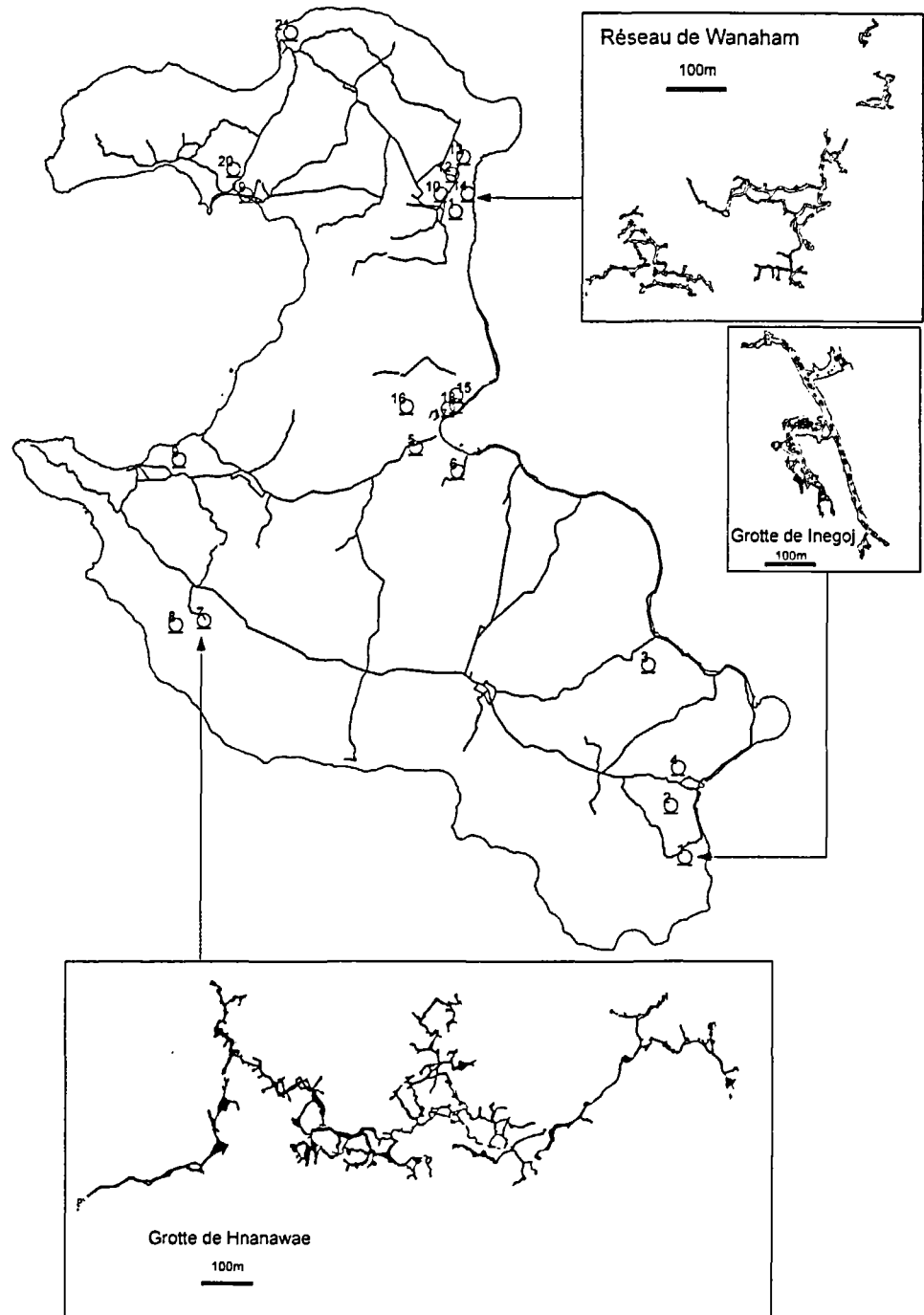


Figure 9 - Carte de situation des principales cavités souterraines reconnues (Lips, 1995) et plans des réseaux les plus importants

2.2.6.2 Sédimentation interne

Les sédiments internes sont des sédiments qui se déposent dans des cavités de toutes tailles, microscopiques, métriques à décamétriques, postérieurement à la phase de sédimentation. Ils représentent une petite part du volume sédimentaire et appartiennent plus à l'histoire diagénétique des sédiments.

Le sédiment interne le plus courant est de couleur brune à ôcre. Il se rencontre en remplissage de poches ou de fractures. Sa composition est bauxito-phosphatée. Il y a peu d'affleurements sur Ouvéa, comme du reste dans les autres îles Loyauté qui ne montrent pas la présence de ce type de poche de remplissage de couleur brune. Ces poches de morphologies complexes et irrégulières sont souvent tapissées d'une croûte laminée de quelques centimètres. Le matériel de remplissage provient à la fois de l'érosion de l'encaissant et de son altération. Le remplissage est souvent polyphasé faisant alterner des brèches calcaires, des produits ôcres carbonatés, des oolithes, pisolithes, oncholites, pelletoides et nodules ferrugineux, des concrétions stalagmitiques concentriques. Un liseré noir souligne fréquemment le contact avec l'encaissant. La disposition du remplissage dans les cavités est à la fois géotrope et centrifuge. Le remplissage de couleur brune correspond à une micrite grumeleuse à texture wackestone, à lithoclastes ou bioclastes calcaires en cours de dissolution, partiellement digérés, remplacés progressivement par des structures bulleuses subsphériques. Parfois les anciens lithoclastes sont figurés par des alvéoles vides. Dans certains cas on assiste à leur ferruginisation progressive centripète. Le remplissage est souvent oolithique ou noduleux, emballé par un ciment sparitique drusique. Ce fait avait déjà été mentionné par Koch (1957). On observe des oolithes de tailles millimétriques jusqu'à des nodules et onchoïdes pluri-centimétriques représentant des clastes calcaires diversement ferruginisés de manière centripète.

Sous le microscope la roche est une oosparite ou une pelsparite. Les oolites sont fortement micritisées, la plupart secondairement ferruginisées et noyées dans un liant micritique non ferrugineux. Certaines sont entourées par un encroûtement algobactérien ou bactérien exclusif (Cyanobactéries). On trouve également des agrégats plus ou moins micritisés, de fréquents pellets, de très rares cortoïdes, des débris de phosphates et de poisson. On note la présence de silt vadose et de ciment fibreux autour de certains constituants.

Tout ceci témoigne d'une histoire complexe où ont alterné des périodes d'émersions (concrétions stalagmitiques), des périodes phréatiques marines franches (dépôts géotropes, oolithes) et des périodes de milieu vadose à tendance supratidal (dépôts centrifuges). Les remplissages bauxito-phosphatés bruns s'alignent souvent selon un plan correspondant à une terrasse, preuve de leur genèse à proximité de la zone vadose.

L'aspect géochimique de la genèse de ces remplissages a été abordé par F. Bourrouilh – Le Jan (1996), Tercinier (1971) et Maurizot & Lafoy (2003) sur les îles de Maré et Lifou. Selon Tercinier (1971, 1972), il est difficile d'expliquer la composition des poches à remplissages bruns bauxito-phosphaté présents sur toutes les îles en l'absence d'apports allochtones. En effet, dans la roche mère carbonatée, la teneur en

alumine comme en oxyde de fer et en silice ne dépasse guère 0.01%. Une origine autochtone résiduelle par lessivage complet des carbonates est donc exclue car elle impliquerait la dissolution d'une quantité énorme de calcaire. Les produits bauxito-phosphatés se seraient plutôt formés à partir de produits de contaminations volcaniques, principalement des ponces flottées, identiques à celles que l'on observe actuellement sur le littoral de toutes les îles (Tercinier, 1971, Bonzon *et al.*, 1994). L'analyse géochimique des éléments traces a montré (Bourrouilh-Le-Jan, 1992 – 1996 et Maurizot *et al.*, 2003) qu'une filiation existe entre ces remplissages et les apports volcaniques sous forme de ponces flottées.

L'origine du phosphate et de l'élément Phosphore est objet de débat. Différents modèles ont été résumés dans la thèse de C. Jehl (1995).

Dans le modèle guano la prolifération d'importantes colonies d'oiseaux sur des surfaces réduites se traduit par des accumulations d'excréments sur les sols. Les eaux météoriques percolant à travers le guano se seraient enrichies en acide phosphorique qui auraient précipité sous forme de collophanite (apatite cryptocristalline). La karstification serait causée par l'attaque acide des carbonates par les solutions riches en acide phosphorique.

Dans le modèle des apports volcaniques, des retombées de cendres et l'échouage des pierres ponces sur les plages d'atolls, pourraient recouvrir le substrat carbonaté d'une importante couche de matériel volcanique. La maturation pédologique de ces matériaux accumulés sous climat tropical à équatorial s'accompagnerait, lors de transgressions, d'une remobilisation avec conservation exclusive du phosphate apatitique (Bourrouilh-le-Jan, 1980, 1989). La reprécipitation d'apatite sédimentaire suivrait, piégeant un cortège géochimique d'éléments issus du matériel volcanique. La suite des mécanismes de concentration serait identique à celle invoquée pour le modèle guano.

Dans le modèle de concentration de matière organique, les organismes vivants ont un potentiel de concentration interne du phosphore par rapport au milieu externe. Après leur mort, leur matériel organique va subir des transformations qui peuvent, selon les conditions environnementales, soit libérer, soit concentrer le phosphore. En l'absence d'oxygène, la matière organique pourra s'accumuler, ce qui conduira à augmenter le stock total de phosphore. La phosphatogenèse en atoll serait ainsi due à des accumulations organiques dans les sédiments lagunaires à partir de sources organiques marines (Montaggioni, 1985) ou de débris végétaux. Selon Rodgers (1994), la matière organique en provenance de l'océan apporterait un excès de phosphore tel que les exportations de l'atoll ne suffiraient pas à équilibrer le bilan du phosphore.

Dans le modèle par endo-upwelling géothermique, l'ascension d'eaux interstitielles originaires des eaux situées à partir de -500 mètres dans l'océan profond à travers l'édifice corallien, causerait un enrichissement en phosphore principalement dans les zones à forte porosité de la couronne, et secondairement à l'intérieur du lagon (Rougerie & Wauthy, 1989). La concentration du phosphore dans les eaux interstitielles de sédiments de lagons fermés conduirait à la saturation, puis à la

précipitation d'apatite au sein des carbonates du substrat. Les éléments du cortège géochimique proviendraient, comme le phosphore, de l'eau océanique profonde.

La dernière hypothèse de phosphatogenèse insulaire a été émise par Fikri (1991), à partir de ses travaux sur des phosphates provenant de Makatea, Mataiva, Nauru et Clipperton. Elle fait appel aux processus décrits dans les deux modèles précédents pour attribuer aux phosphates insulaires une origine organique et une source de phosphore en provenance de l'océan profond par le biais de l'endo-upwelling géothermique. Le flux de phosphore débouchant dans un lagon d'atoll fermé entreprendrait la production et l'accumulation d'une biomasse algale et microbienne dans les eaux lagunaires. La décomposition de cette biomasse produirait des solutions riches en phosphore, capables d'induire la précipitation d'apatite. C. Jehl (1995), a décrit plusieurs exemples dans les atolls des Tuamotu d'épais tapis cyanobactériens (kopara) colonisant les lagons fermés et dessalés et les mares saumâtres où affleure la nappe phréatique. Ces mares sont constituées d'associations microbiennes cyanobactériennes et bactériennes. Les teneurs en sels nutritifs, ainsi que les paramètres physico-chimiques dans les eaux au voisinage du kopara indiquent que la productivité de ces maties est liée à un apport de sels nutritifs à la base de la nappe d'eau phréatique, en continuité avec le flux d'endo-upwelling géothermique. La pétrographie des phosphates met en évidence une forte implication des cyanobactéries dans les processus de nucléation des cristaux d'apatite. L'enrichissement des apatites en phosphore et en éléments d'origine marine (tels que les terres rares et les éléments en traces) confirme le rôle du flux d'endo-upwelling en tant que mécanisme d'apport du phosphore à partir des réserves de l'océan profond. Le cycle de la phosphatogenèse serait alors le suivant : apport de phosphore par endo-upwelling, accumulation de mattes cyanobactériennes, dégradation de la matière organique, libération de phosphore, formation d'apatite, enrichissement des dépôts suite aux variations du niveau marin.

3 Conditions de formation des entités géologiques

Le socle probablement volcanique de Lifou nous est inconnu ainsi que l'âge des premiers dépôts qui le transgresse. On peut supposer que, comme à Maré, une plateforme carbonatée miocène constitue la base des premiers dépôts carbonatés de l'île.

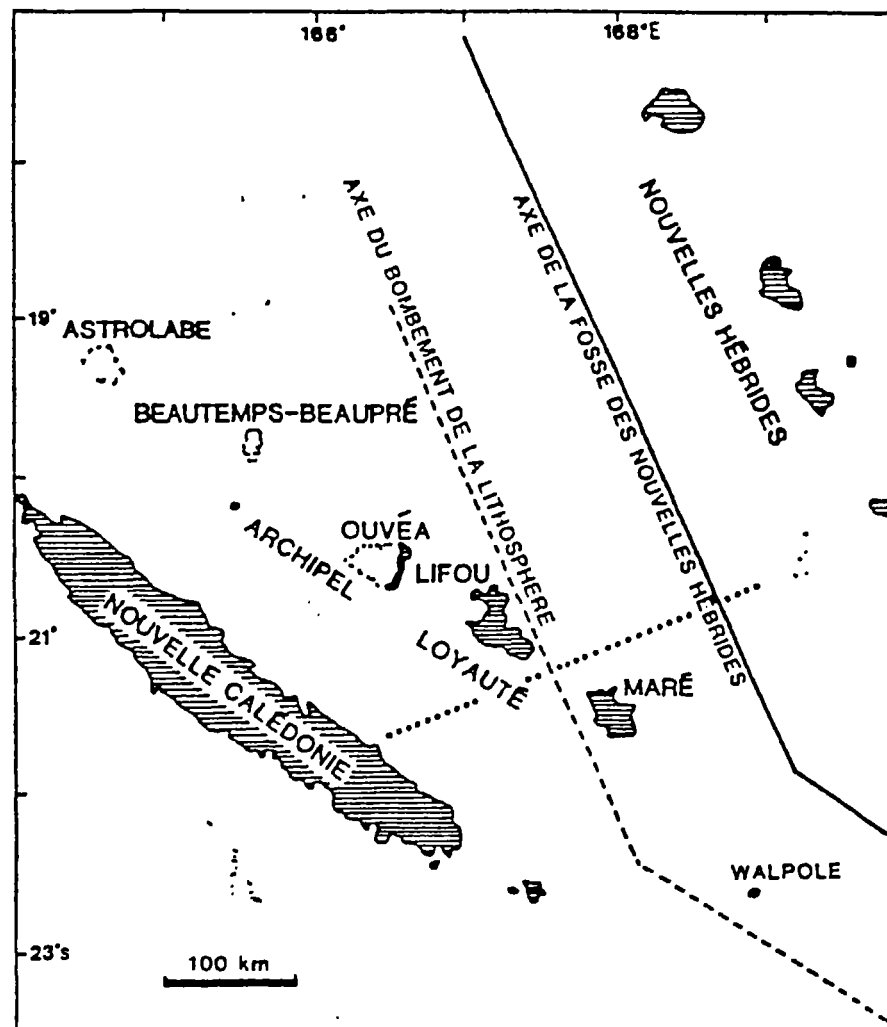


Figure 10 - Localisation des Îles Loyauté par rapport au bombement lithosphérique et à la fosse des Nouvelles-Hébrides (Dubois et al. 1974.)

La construction de l'atoll entre le Pliocène et le Pléistocène s'est probablement faite en plusieurs épisodes par subsidences successives.

Puis la sédimentation de l'île est contrôlée par le bombement de la lithosphère, phénomène régional majeur, se développant à l'avant de la zone de subduction des Nouvelles-Hébrides (Dubois *et al.*, 1973, 1974, 1975, 1977) en réponse au plongement de la plaque Australienne sous la plaque Pacifique.

Les atolls soulevés de l'archipel des Loyauté ont en effet des altitudes décroissantes du SE vers le NW. Maré culmine à 138 mètres (Washoc dans le Sud de l'île), Lifou à 104 mètres (également dans le Sud), Ouvéa à 41 mètres. Beautemps-Beaupré n'est qu'à 4 mètres et les récifs de l'Astrolabe sont des récifs fonctionnels. Dubois (1971, 1974) a expliqué cette émergence progressive du NW vers le SE à l'aide d'un modèle de déformation de la plaque supportant l'archipel avant son plongement au niveau de la fosse des Nouvelles-Hébrides. Les points les plus hauts des différentes îles et leur distance à l'axe de la fosse dessinent un bombement dont le sommet est situé entre Lifou et Maré. Maré est actuellement située à proximité du bombement, sur sa pente NE plongeante vers la fosse (Figure 10), alors qu'Ouvéa n'est qu'à moitié émergée.

L'observation des derniers repères, encoches et terrasses situées sur les flancs de l'île, en dessous du sommet de la plateforme, illustrent l'émergence progressive de l'île et les variations eustatiques.

4 Évolution tectonique

Les manifestations tectoniques sur l'île de Lifou sont essentiellement représentées par de la fracturation. L'expression de ces discontinuités est parfois visible à la périphérie de l'île sur les falaises littorales. Elle n'apparaît que rarement dans les différentes carrières que nous avons visitées. En dehors de ces contextes il faut recourir à la télédétection pour suivre les structures. La fracturation a été abordée lors des études hydrogéologiques par A2EP principalement à partir d'images satellitales (SPOT III) et de photographies aériennes, puis lors du programme SAGE (D. Huaman, IRD et D. Cluzel, UNC, 2002, inédit.) par télédétection (SPOT IV, photographies aériennes DI3T géoréférencées) et relevés sur le terrain.

L'ensemble de ces documents permet d'individualiser deux familles principales de fractures : N 135° et N 45° déjà soulignée par l'orientation des réseaux karstiques connus (Figure 9).

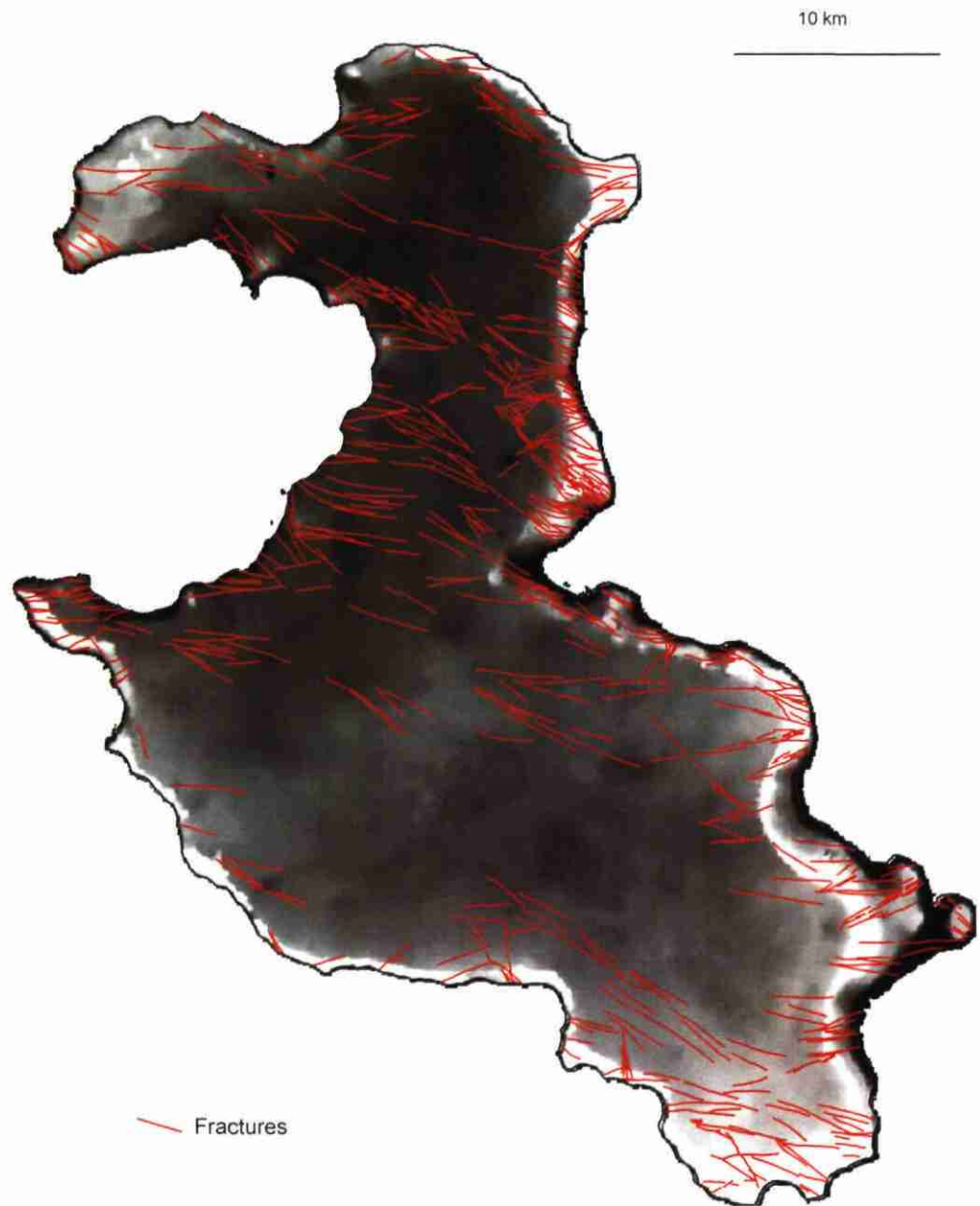


Figure 12 - Relevé de la fracturation sur l'île de Lifou (d'après D. Huaman, Programme SAGE, IRD)

5 Géologie de l'environnement

5.1 ÉLÉMENTS DE GEOTECHNIQUE

Les éléments qui figurent dans ce chapitre ne sont que des indications générales destinées à orienter les études et ne dispensent en aucune manière d'étude à une échelle adaptée aux aménagements envisagés.

Les différents types de calcaires et de dolomie présents sur l'île sont employés couramment comme matériaux de remblais, sous le terme de "Katcha" dans des carrières d'emprunt ouvertes à proximité des zones à aménager, exploitées en tout venant de façon intermittente ou plus rarement concassées et criblées. Au plan qualitatif et quantitatif, il n'y a pas eu d'étude particulière sur ces différents types de matériaux et les caractéristiques géotechniques, si nécessaires, sont déterminées au coup par coup.

Pour des prélèvements de grandes quantités nécessitant une bonne homogénéité, il serait nécessaire de pratiquer des sondages de reconnaissance afin d'éviter toute surprise. Au plan de l'environnement et de la vulnérabilité de la lentille d'eau douce, il est à souligner que le mode d'exploitation disséminé qui prévaut multiplie les points d'infiltration préférentielle vers la nappe d'eau douce et nuit d'une manière générale à sa protection.

5.2 RISQUES NATURELS

L'étude de la sismicité historique et de la chronologie des séismes et des tsunamis ressentis dans la région Vanuatu – Nouvelle-Calédonie a été faite par Louat et Baldassari (1989). Pour les îles Loyauté, les séismes sont plus rarement ressentis que sur la Grande-Terre dont la sismicité est par ailleurs faible.

Concernant les tsunamis (ou raz de marée) générés par la forte activité sismique de l'arc du Vanuatu, les îles Loyauté ne bénéficient pas de l'effet protecteur d'une barrière récifale comme sur la Grande Terre. Les zones les plus exposées sont celles qui sont tournées vers l'Est à une faible altitude sur le littoral. Un raz de marée a été recensé le 28 mars 1875 à Lifou. Il fut la conséquence directe d'un fort séisme généré dans le Sud du Vanuatu et ressenti à Ouvéa et Lifou. Selon les récits de l'époque, il aurait causé la mort de 24 personnes à Mou et Ahmelewedr. Il y aurait eu aussi des dégâts à Luengoni mais pas de victimes. A We lors de cet événement la mer a dépassé la chapelle. Selon Louat & Baldassari, le cycle de retour d'un tel phénomène est certainement beaucoup plus grand que 150 ans.

5.3 RESSOURCES EN EAU

Les aquifères des îles Loyauté répondent à deux caractéristiques essentielles: ils sont de type karstique ; ils forment une lentille dite de "Ghyben-Herzberg" ou "Dupuit-Ghyben-Herzberg" qui surmonte l'eau de mer plus dense. Cette configuration confère à la ressource en eau de ces îles une vulnérabilité aux contaminations et une sensibilité vis-à-vis de l'exploitation, qui nécessite des études et un suivi très spécifique. Les études les plus récentes et les mieux documentées disponibles pour Ouvéa à cet égard sont celle d'A2EP (1993) et des programmes ADAGE (Aide à la Décision en Aménagement et Gestion de l'Environnement, IRD) et SAGE (Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux, IRD, UNC) dont est tiré l'essentiel de ce qui suit et auquel nous renvoyons le lecteur pour des informations plus détaillées.

Aux îles Loyauté, le milieu karstique et la perméabilité de fracture accompagnée du phénomène de dissolution qui le caractérise, expliquent l'infiltration quasi-totale de l'eau douce dans le sous-sol et l'absence de réseau hydrographique individualisé en surface. Il n'y a en effet pratiquement pas de ruissellement en surface, l'eau des précipitations pénétrant dans le sous-sol puis s'écoulant dans les aquifères internes, alimentant la lentille. Ce même type de processus se produit en profondeur et à la périphérie de l'île, avec la pénétration de l'eau de mer dans les roches de son soubassement. L'eau douce infiltrée s'accumule en profondeur dans les cavités et fractures de la roche pour former la lentille d'eau douce, superposée à l'eau de mer plus dense. C'est la zone saturée (ZS) par opposition aux niveaux superficiels (zone non saturée ou ZNS) dans lesquels l'eau ne fait que transiter vers la nappe. Dans un tel système, l'eau douce souterraine est en mouvement depuis les points hauts de la surface piézométrique, vers le centre de l'île, et s'écoule vers le rivage.

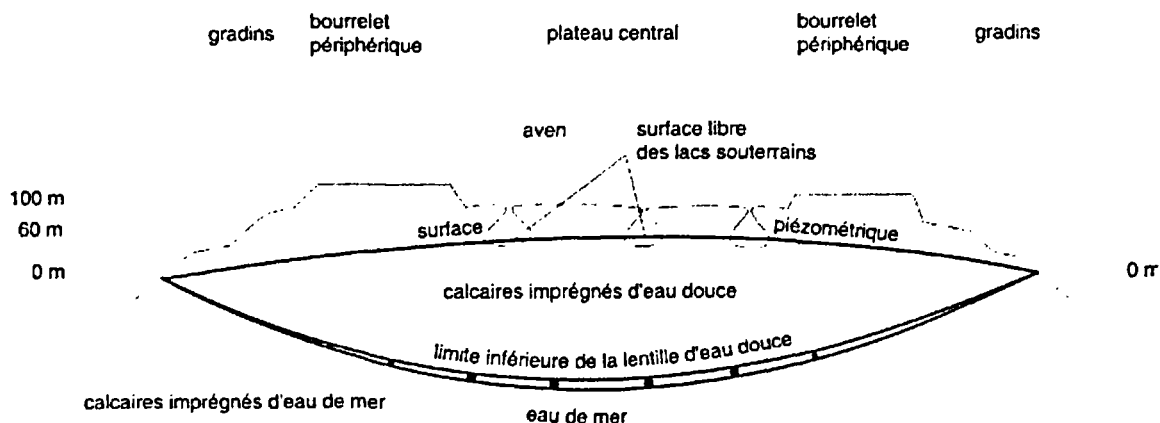


Figure 13 - Schéma de la lentille d'eau douce dans le contexte des îles Loyauté (SEFP, 2001)

Les relations entre l'eau douce et l'eau de mer dans les systèmes côtiers et insulaires sont connues depuis les travaux de Ghyben (1889) et Herzberg (1901). L'eau douce

"flotte" sur l'eau de mer dont la densité est légèrement supérieure, d'environ 1 / 40^{ème}. Elle forme ainsi une lentille de forme biconvexe en équilibre hydrostatique avec le niveau de la mer selon la formule $H = 40 h$, H étant la profondeur de la lentille et h l'altitude de la nappe phréatique. Le rapport entre la hauteur d'eau douce au-dessus et au-dessous du niveau de la mer est empiriquement situé entre 1/25 ou 1/30, d'après les résultats obtenus dans plusieurs îles océaniques. La valeur théorique est de 1/38,5 (formule de Ghyben - Herzberg).

5.3.1 Recharge et ressource

Le climat des îles Loyauté en général est plus homogène que celui de la Grande Terre, du fait des faibles variations altimétriques de l'île. La température annuelle moyenne varie entre 21 et 24 °C avec des maxima de l'ordre de 31 °C (entre janvier et mars) et des minima inférieurs à 10 °C (entre juin et septembre). Il existe toutefois de légères variations entre les divers points d'observations météorologiques, marquées notamment par une amplitude thermique plus faible le long des côtes par rapport à l'intérieur de l'île. La moyenne des précipitations annuelles est de 1 600 mm.

La distribution des pluies montre une certaine variabilité, avec un maximum de précipitation au centre de l'île et une décroissance régulière des hauteurs d'eau lorsqu'on se rapproche des côtes. La comparaison des précipitations et des mesures d'évapotranspiration montre que la pluviométrie est généralement supérieure à cette dernière. Des périodes de déficit hydrique n'apparaissent, en moyenne mensuelle, qu'entre octobre et décembre (Latham et Mercky, 1983). Toutefois, l'irrégularité des pluies est importante, avec de fortes variations spatiales et inter-annuelles. L'absence de cours d'eau et la forme en cuvette de l'île permet à l'excédent des précipitations de servir à la recharge de la nappe d'eau douce.

Le calcul des volumes et l'application d'un coefficient d'emmagasinement tiré des essais réalisés a permis d'approcher les ressources en eau douce de l'île de Lifou. Les volumes extraits représentaient, en 1993, 1.60×10^6 m³/an, soit 0.4% de la recharge moyenne annuelle. La ressource s'avère donc très largement supérieure à la consommation.

5.3.2 Historique des recherches

Les premières études hydrogéologiques sur les îles Loyauté ont été entreprises par le Service des Mines de la Nouvelle-Calédonie entre 1956 et 1957 (Koch, 1958). Koch a été le premier à appliquer le concept de lentille d'eau douce (lentille de Ghyben - Herzberg) aux îles Loyauté. Une étude quantitative de la ressource en eau des îles de Maré et Lifou a été effectuée dans les années 1970 - 1975 par l'ORSTOM. Une deuxième étude portant sur l'évaluation qualitative et quantitative de la ressource, dans le cadre d'un schéma directeur, a été réalisée dans les années 1990, par le BRGM puis A2EP, pour le compte de la Région puis de la Province des Iles. Enfin les programmes ADAGE (Aide à la Décision en Aménagement et Gestion de l'Environnement) et SAGE (Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux), entrepris dernièrement (IRD, UNC), ont eu pour objectif la mise au point d'un outil de

gestion de la nappe phréatique en fonction de son environnement naturel et social et ont permis de développer une connaissance plus fine de la ressource et de ses conditions d'exploitation.

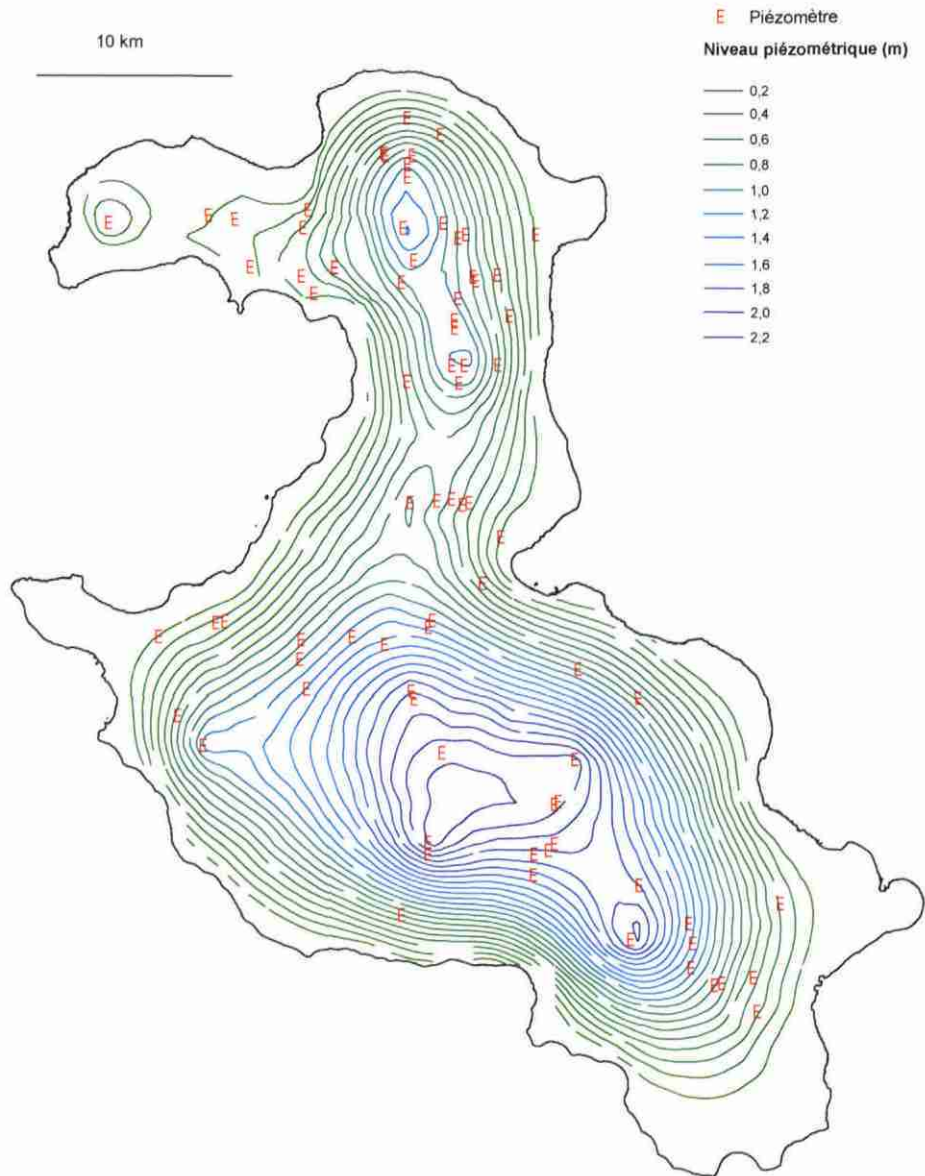


Figure 14 - Niveau piézométrique de la nappe en décembre 1992, basses eaux (source A2EP, 1993)

5.3.3 Caractéristiques principales de l'aquifère

De par sa nature et son histoire géologique, les caractéristiques hydrodynamiques qui régissent les écoulements (perméabilité et emmagasinement) sur Lifou sont de deux types :

- l'un lent, lié au faciès rocheux, avec écoulement concomitant de l'air et de l'eau (perméabilité d'interstices de milieux poreux). L'influence de la pression dans ce dernier cas est non négligeable.
- l'autre rapide, correspondant à un véritable ruissellement dans les fissures ouvertes du milieu karstique (perméabilité de fissure de type karstique), développé tout au long de l'histoire géologique et climatique de la région et caractérisé par la présence de fractures, de chenaux et de cavités.

Ce milieu présente de ce fait un double aspect, lié aux réactions de la matrice d'une part et du réseau de chenaux de l'endokarst d'autre part. Les variabilités locales des paramètres sont donc importantes.

5.3.4 Points d'observation

Les observations et mesures du niveau aquifère ont été faites à partir de cavités naturelles (gouffres), de puits, de forages et de piézomètres. L'ensemble des points d'observation est consigné en Annexe 3. Parmi tous les ouvrages réalisés à Lifou, deux ont été foncés dans un but de connaissance hydrogéologique des aquifères. Il s'agit des piézomètres profonds de Hnacaöm (40-03-12, 91,6 mètres) et Kedeigne (42-09-06, 119,4 mètres). Le nombre de points mesurés régulièrement par A2EP sur Maré, entre 1990 et 1992, s'élève à 63. Cette campagne de mesures avait été précédée d'une campagne de l'ORSTOM entre 1973 et 1974.

5.3.5 Aspects quantitatifs et géométrie de la lentille d'eau douce

L'évolution générale de la piézométrie est homogène sur l'île. Les plus hauts niveaux ont été enregistrés en février et mars 1992, les plus bas en décembre 1992 (Figure 14, A2EP, 1993). La nappe atteint presque 2 mètres au Nord immédiat de Wanaham et dépasse plus de 3 mètres au Nord de Hmelek. Le dôme nord présente une orientation moyenne NNW-SSE. Le dôme sud présente un allongement NW-SE. On observe des montées rapides au moment des pluies qui se résorbent assez vite par étalement et augmentation globale du niveau piézométrique. La courbe 1 m est très proche de la côte sur la périphérie d'ensemble de l'île, mais elle s'interrompt entre We et Drüeulu.

Les piézomètres profonds ont permis de réaliser une série de profils de conductivité et de température à travers toute l'épaisseur de la lentille. Ces mesures permettent d'approcher la forme et la puissance réelle de la lentille. Pour le sondage profond de Hnacaöm, l'épaisseur de la lentille d'eau douce est de 44 mètres au-dessus d'une zone de transition saumâtre épaisse de 22 mètres. La profondeur de l'interface eau douce – eau salée est comprise entre 41 et 44,5 mètres de profondeur. Pour le sondage de

Kedeigne, l'épaisseur de la masse d'eau douce est de 30,7 mètres et celle de la zone de transition de plus de 57 mètres.

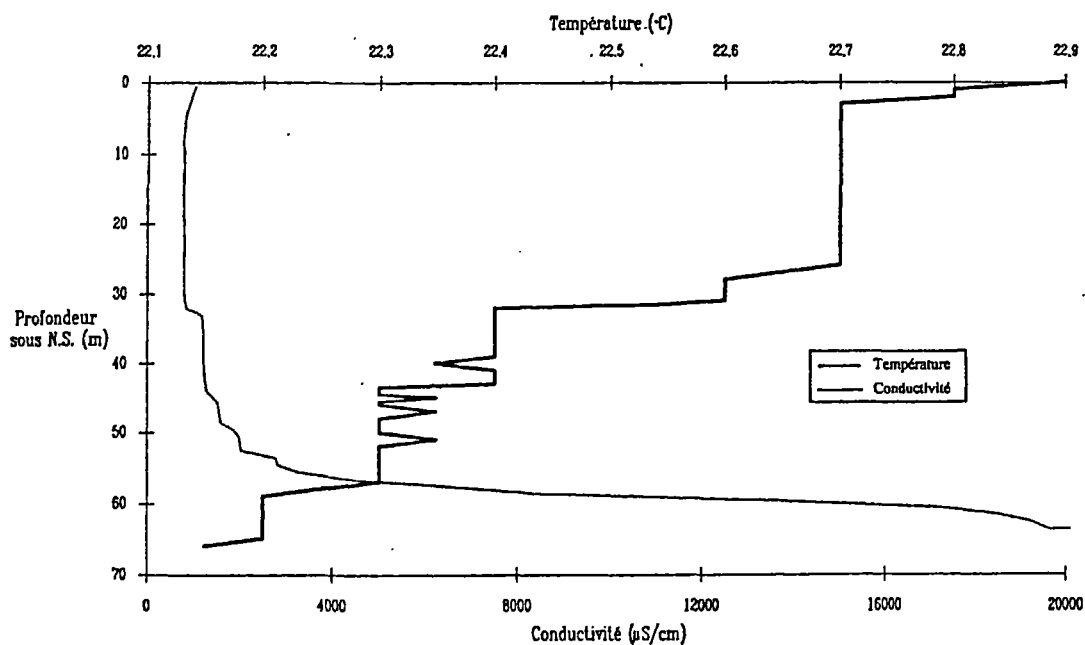


Figure 15 - Piézomètre profond de Hnacaöm (40-03-12), mesure de la conductivité en fonction de la profondeur (12 / 02 / 92)

Les pompages réalisés par A2EP ont permis de caractériser et mesurer quelques paramètres hydrogéologiques. Un pompage sur un forage, ou un puits, a pour effet de provoquer une dépression locale du niveau de la nappe qui, dans le cas d'une lentille d'eau douce reposant sur une masse d'eau salée, engendre une remontée corrélative de l'interface eau douce - eau salée (ou halocline). Un calcul des prélèvements par pompage (A2EP, 1993), au niveau des stations branchées sur le réseau des stations privées à vocation agricole ou domestique, a été réalisé à partir des relevés au compteur ou par enquête. A l'échelle annuelle, le débit global prélevé à la nappe par exploitation (en 1993) est de l'ordre 1 600 000 m³. Les rabattements induits, s'ils sont parfois importants au niveau du forage exploité, ne se font pas sentir loin de l'ouvrage. Aucun cas de rabattement imputable à une exploitation n'a été décelé sur des ouvrages proches. En répartissant de manière théorique ces prélèvements à 90% de l'ensemble de l'île, la baisse théorique en un an sur la piézométrie serait de 0,5 mm sur Lifou.

5.3.6 Paramètres influençant le niveau piézométrique

Les paramètres essentiels influant sur le niveau de la nappe sont la pluviométrie, qui constitue la recharge de l'aquifère, les marées, particulièrement importantes dans le milieu insulaire, et la pression atmosphérique.

5.3.6.1 Influence de la pluviométrie

Dans les périodes de déficit pluviométrique, les niveaux piézométriques ne baissent pas dans des proportions importantes. Dans le cas d'une averse, on observe une forte montée du niveau piézométrique, suivie d'un tarissement rapide. Dans le cas de pluies plus faibles mais continues, on enregistre une augmentation plus durable du niveau de la nappe.

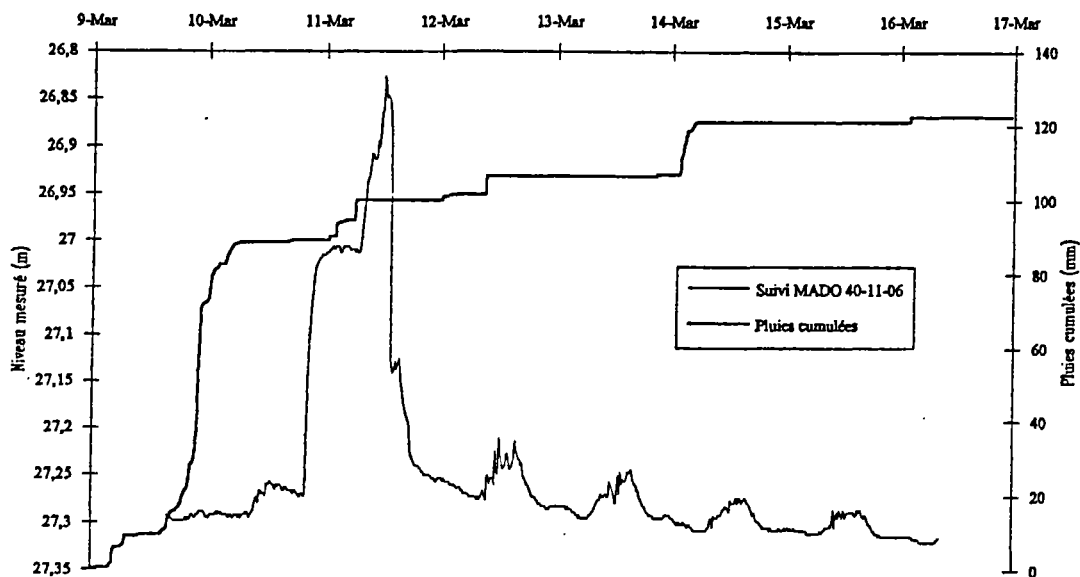


Figure 16 - Corrélation pluies – niveau de la nappe, piézomètre 40-11-06 (A2EP, 1993)

Durant les épisodes pluvieux, la montée semble limitée à un seuil en raison d'une augmentation du débit de fuite en mer. La charge hydraulique liée à la hauteur piézométrique régule donc le débit de la lentille vers la mer. Les fuites en mer se font de façon diffuse à la périphérie des îles. On constate également, après une forte augmentation de niveau, à l'échelle d'une averse comme à l'échelle d'une année, une baisse en dessous du niveau précédent la montée. Cela évoque un phénomène d'isostasie, comme si la lentille d'eau douce, sous l'effet d'une recharge ponctuelle s'enfonçait globalement avant de retrouver un équilibre par réajustement avec la masse océanique, après une période relativement rapide. En période de recharges plus étalées dans le temps, ce phénomène ne serait pas sensible, le rééquilibrage se faisant de façon régulière.

5.3.6.2 Influence de la marée

Au niveau des Iles Loyauté, les marées sont de type semi-diurnes à inégalités diurnes. La superposition des courbes de marées observées et des suivis de niveau de la nappe montre que la marée est un facteur très influent sur la piézométrie. Les allures des suivis de niveau de la nappe coïncident avec les cycles de marée. Les courbes des suivis de niveau de la nappe présentent cependant des cycles d'amplitude atténuée et déphasés (Figure 17). Les amplitudes mesurées se situent, y compris pour des points localisés dans l'intérieur de l'île, dans une gamme d'amplitude constante entre 1 et 3 cm. Ces amplitudes représentent en moyenne moins de 5% de la marée observée. Cette atténuation ne paraît pas liée à la distance à la côte. Il est cependant évident que sur le littoral, dans la zone où la nappe est en contact direct avec la mer, l'influence de la marée est beaucoup plus sensible. Des mesures réalisées à une même distance de la côte présentent des différences de déphasage et d'amplitude, dès lors que ces mesures ne sont pas réalisées simultanément. A l'inverse, l'influence de la marée sur deux forages situés à de grandes distances l'un de l'autre et éloignés de la zone côtière, est sensiblement la même, pour une même période d'observation. Les analyses faites sur l'ensemble des mesures ont mis en évidence que les variations du niveau piézométrique dues aux marées s'étaient dans une gamme d'amplitude quasiment constante et ne dépendaient pas de la seule distance à la côte. Les multiples observations faites en enregistrement ou en suivi à la sonde électrique, et les corrélations avec les fluctuations du niveau océanique, semblent indiquer que l'influence de l'onde de marée ne se propage pas strictement de la côte vers le centre de l'île, mais affecte simultanément l'ensemble de la lentille qui "bat" de façon solidaire avec l'océan.

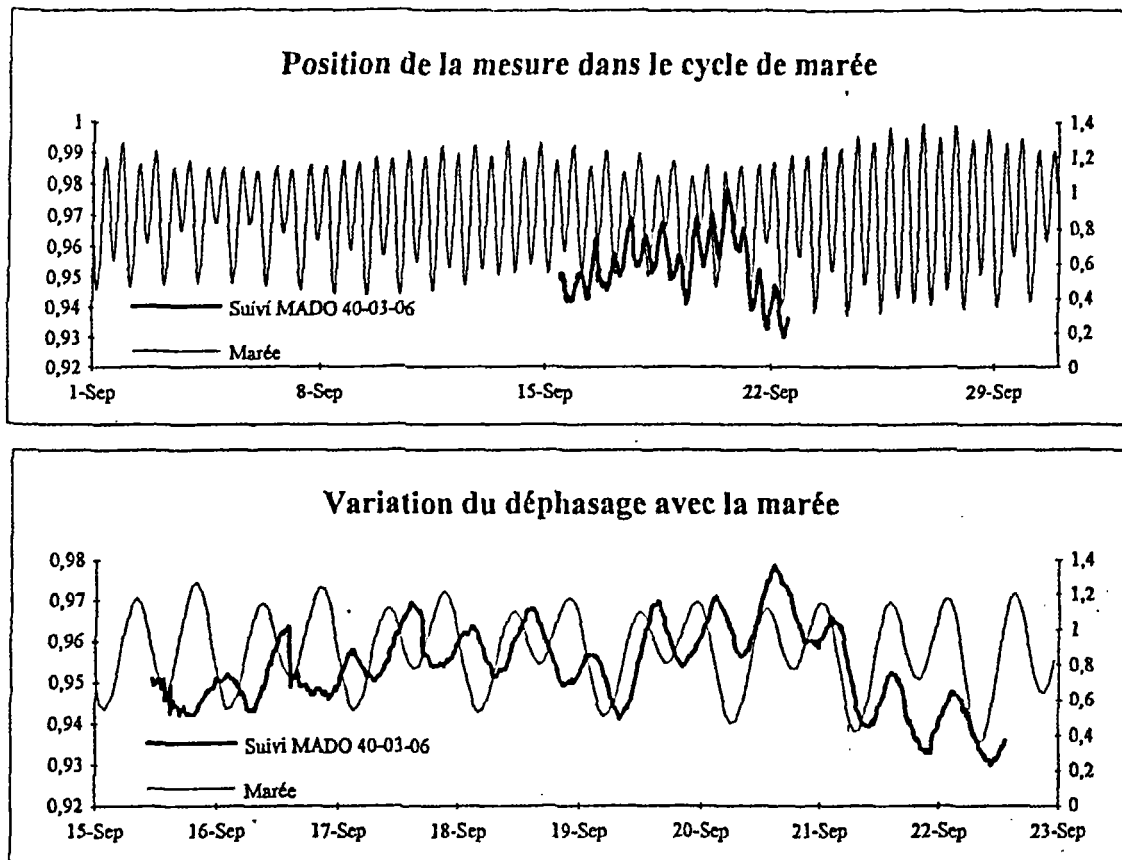


Figure 17 - Influence de la marée sur le niveau de la nappe (A2EP, 1993)

Dans le cycle mensuel de marée, la nappe est en phase avec la marée lors des cycles de faible amplitude, de même elle est en opposition de phase lors des cycles de forte amplitude. A une forte marée basse correspondrait une "vidange" du terrain, le niveau de la nappe baissant au maximum. Lors de la marée haute suivante, le déphasage serait maximum en raison du retard lié à la saturation progressive de la zone "vidangée". A l'inverse, lors des marées de faible amplitude, on assisterait à un effet cumulatif des marées, la vidange totale n'ayant pas le temps d'intervenir. Ainsi, lors du cycle de marée de plus faible amplitude, la nappe serait en phase avec la marée.

5.3.6.3 Influence de la pression atmosphérique

La pression moyenne journalière peut être un des facteurs influant directement sur le niveau moyen des mers et donc sur la hauteur de la lentille d'eau douce. A chaque écart positif ou négatif, correspond une baisse ou une montée du niveau de la nappe. La gamme d'amplitude observée est de l'ordre de quelques centimètres au maximum. Par ailleurs cette variation de niveau piézométrique paraît se produire avec un déphasage dans le temps, estimé à 24 heures. L'amortissement d'amplitude et le

déphasage observés pourraient s'expliquer par la porosité de la zone non saturée, jouant un rôle de tampon pour l'air compressible, par l'inertie de la nappe et par l'équilibre conservé à l'interface de la lentille et du niveau marin.

Vulnérabilité

La vulnérabilité de la ressource en eau des îles est expliquée par plusieurs facteurs parmi lesquels :

- l'absence de couche géologique peu perméable ou imperméable entre la surface du sol et la surface piézométrique (absence d'argile minéralogique),
- la perméabilité élevée des terrains non saturés. Le temps de transit entre le niveau de la surface du sol et la surface piézométrique est très faible et généralement de l'ordre de l'heure ou du jour.
- le cheminement de l'eau à travers la tranche superficielle n'est accompagné que d'une piètre filtration dans la tranche de terrain non saturée du fait de la porosité de fracturation des formations calcaires et de la vitesse du cheminement de l'eau à travers le karst (cavités souterraines).

L'ensemble de ces éléments confère à la lentille d'eau une sensibilité importante vis à vis des polluants de surface (pollution par les eaux usées, les hydrocarbures, les produits utilisés en agriculture pour l'amendement des sols et les déchets agricoles, les lixiviats des décharges...). La sensibilité de la nappe croît avec les facteurs suivants :

- La faible profondeur du toit de la nappe (surface piézométrique) par rapport à la surface du terrain naturel.
- La proximité d'ouvrages de prélèvement de l'eau et notamment le rayon d'influence des forages (ce rayon n'est que de quelques mètres par rapport au point de forage, toutefois, on considère un périmètre de protection de 300 mètres autour de l'ouvrage).
- La destruction des terrains de surface (horizon de calcaire plus ou moins ameubli et altéré) pouvant jouer un rôle de filtre vis à vis de la migration des polluants dans le sous-sol.

Suivant les conditions d'écoulement de l'eau souterraine, on peut définir une zone saturée où les circulations d'eau s'effectuent surtout horizontalement, limitée vers le haut par la surface de la nappe aquifère, et une zone non saturée dans laquelle les eaux s'infiltrant à partir du sol, circulent lentement et verticalement avant de rejoindre la zone saturée. Le transport dans ces conduits s'effectue souvent très rapidement, les variations de débit étant immédiatement en rapport avec celles des apports. Dans tous les cas, et compte tenu de la faible protection assurée par le sol, l'épaisseur de la zone non saturée est un paramètre important. Si l'épaisseur de la zone non saturée atteint plusieurs dizaines de mètres, les probabilités pour le polluant d'être arrêté ou ralenti (avec possibilité de dégradation) par des strates peu perméables, sont plus importantes. Sur l'île de Lifou, l'épaisseur de la zone non saturée, au-dessus de la lentille d'eau douce, varie entre 20 et 30 mètres. Les phénomènes susceptibles de modifier les conditions de circulation locales des eaux aussi bien dans la zone saturée

que non saturée sont d'une grande complexité et, en conséquence, la vulnérabilité ne peut être approchée actuellement qu'à grande échelle.

5.4 SUBSTANCES UTILES, CARRIERES

Les roches carbonatées constituent d'une manière générale une substance utile souvent convoitée. Les principales utilisations sont les granulats et sables ("katcha"), et l'usage en tant que neutralisant des solutions qui seront produites par les grands projets hydrométallurgiques de la Grande-Terre. Dans le cas du katcha, c'est la résistance mécanique qui est la qualité recherchée, dans le cas des neutralisants c'est la composition chimique et la réactivité. L'usage en tant que granulats et sables des différents types de calcaires de l'île est actuellement le plus fréquent. Cet aspect a été abordé au chapitre Géologie de l'environnement – Eléments de géotechnique. Dans une large majorité des cas c'est ce type de matériaux qui est utilisé pour l'aménagement ou la restauration de la voirie. L'ouverture d'une carrière pour usage des calcaires en tant que neutralisant des effluents hydrométallurgiques est peu probable sur Ouvéa, Maré et Lifou offrant des sites beaucoup plus raisonnables à cet égard.

Quelques critères d'exploitabilité sont communs à tous les types de roches carbonatées, quelque en soit l'usage final. Il convient de les rappeler ici. Dans tous les cas, la facilité d'extraction et de broyage est un critère de sélection économique important. L'exploration ainsi que l'évaluation des volumes exploitables et enfin l'exploitation elle-même se heurtent fréquemment au caractère karstique inhérent au milieu calcaire, générant des vides ou des poches de remplissage dont la répartition est souvent aléatoire. La dolomitisation est un aspect important. La modification chimique (CaCO_3 devenant MgCO_3) et physique (en général la dolomie est moins résistante) qu'elle entraîne est pénalisante dans beaucoup d'usages. Enfin, on doit garder à l'esprit que beaucoup d'édifices calcaires sont des sites présentant un caractère sacré ou touristique, et que leur exploitation pose donc problème au niveau social et environnemental.

Les règles applicables aux ouvertures et extensions de sites de carrière à usage d'aménagement relèvent généralement des compétences de la Province. Toutefois, à la date de rédaction du présent travail, la Province des Iles Loyauté n'est pas pourvue d'une réglementation relative à l'ouverture ou l'extension de sites de carrières. En outre, il n'existe aucun règlement d'urbanisme régissant l'implantation des carrières ou plus généralement l'utilisation du sol, à l'exception du droit coutumier. Tout se passe donc comme si le paramètre foncier prédominait sur le paramètre législatif et réglementaire dans le choix des sites d'approvisionnement en granulats.

5.4.1 Granulats

En 2000, la Société d'Etude et de Formations du Pacifique (SEFP) a effectué pour la Province des Iles Loyauté, un recensement des carrières et une étude de leur impact sur l'environnement. Un tableau des principaux sites recensés lors de cette étude est

présenté en Annexe 1. Le nombre de sites inventoriés est de 135, ce qui représente un grand nombre au regard de la surface concernée.

En résumé, l'activité extractive du Katcha se caractérise sur un plan général par une multiplicité de sites de faible superficie au sein desquels de faibles volumes sont généralement extraits. L'emprunt des matériaux se fait généralement avec plus ou moins de continuité dans le temps. La majorité des carrières est laissée à l'abandon après couverture des besoins.

Les sites de carrières sont fréquemment utilisés pour la mise en dépôt des déchets, alors même qu'ils constituent des points d'infiltration privilégiés vers la lentille d'eau douce. Le décapage des sols et terrains de surface, réduit en effet notablement la tranche de terrain susceptible d'assurer l'autoépuration partielle des polluants issus de la surface. La vulnérabilité de la lentille d'eau douce (cf Géologie de l'environnement, Ressource en eau), déjà naturellement importante, en est accrue.

Par ailleurs, les sites créés n'ont, pour une vaste majorité, pas fait l'objet de mesures particulières de réaménagement concomitantes aux travaux d'extraction ou postérieures à ceux-ci.

5.4.2 Neutralisant

L'utilisation en tant que neutralisant des effluents acides de l'industrie hydrométallurgique répond à une demande récente. Précisément, c'est le projet Goro-Nickel pour lequel les besoins annuels sont estimés à 1 250 000 tonnes de calcaire à 95 % de CaCO_3 qui est à l'origine de cette demande. En Nouvelle-Calédonie, seules les îles de Lifou ou Maré sont capables de faire face à une telle sollicitation. Les spécifications demandées correspondent à un produit broyé à partir d'un gravier de 25 mm jusqu'à obtenir un matériau de 45 μ pour former une boue carbonatée ayant une réactivité de 90 %. Il est donc nécessaire de localiser un gisement qui puisse contenir une grande proportion de matériau calcaire friable ou sableux. L'ouverture d'une telle exploitation est contrainte par plusieurs facteurs. Le premier de ces facteurs est d'ordre géologique. Le produit doit être essentiellement calcaire et non dolomitique. La présence de magnésie n'est en effet pas acceptable dans le traitement des effluents. La zone exploitable sur Lifou se réduit donc à la couronne récifale. Le deuxième facteur est d'ordre environnemental. L'exploitation envisagée doit préserver la lentille d'eau douce très vulnérable et ne pas générer un trop grand impact visuel. La partie interne du bourrelet périphérique répond à la plupart de ces exigences. En effet la lentille d'eau douce se biseaute à la périphérie de l'île et la face interne du bourrelet, tournée vers l'ancien lagon, n'est visible que depuis l'intérieur de l'île, couverte en certaines zones d'abondantes forêts. Le troisième facteur est d'ordre logistique. Un site portuaire abrité doit se trouver à proximité de l'exploitation. A cet égard, la côte Est de Lifou, où le bourrelet récifal est le plus large, est le plus souvent exposé au vent. Mais d'autres critères tels que la bathymétrie, doivent être pris en compte. Enfin, la production doit être assurée sur une durée analogue à celle du projet de l'usine hydrométallurgique, c'est-à-dire sur plusieurs décennies. Pour satisfaire au développement continu d'une ou à la rigueur de deux carrières sur une période d'au

moins 20 ans, il sera nécessaire de trouver un plateau dont les dimensions sont de 2 kilomètres de long, 500 mètres de large et 100 mètres de hauteur.

Les premiers échantillonnages effectués par INCO (2000) ont montré la bonne composition chimique (95 à 99 % de CaCO_3) des calcaires du bourrelet périphérique de Lifou. Par la suite un échantillonnage plus serré a été effectué en 2001 avec plus d'une centaine de prélèvements par profil, à l'intérieur et à l'extérieur du bourrelet, au niveau de Hnanemuatra, Tingeting et Ejengen. L'analyse de ces nouveaux prélèvements a donné des moyennes en MgCO_3 de 23 % (de 10 à 30 %) et a montré une grande variabilité des rapports $\text{CaCO}_3 / \text{MgCO}_3$. Ces derniers résultats ont été jugés défavorables. Les sites potentiellement intéressants satisfaisant à l'adéquation garantie de la ressource – préservation de l'environnement, pourraient être selon INCO (2000) : La pointe Lefèvre à l'Ouest (Sud de la baie du Santal), les massifs du Cap Escarpé et du cap Bernardin au Nord, la Pointe de Chateaubriand à proximité de We.

5.5 GITES ET INDICES MINÉRAUX

5.5.1 Ressources en mer

5.5.1.1 Les hydrocarbures

Même si le potentiel pétrolier de la ride des Loyauté est unanimement reconnu comme très faible, des hydrocarbures, possiblement générés dans les parties les plus profondes du bassin des Loyauté jouxtant la ride à l'Ouest, auraient pu migrer selon certains auteurs en direction de la ride vers l'Est. Selon Auzende *et al.* (2000), l'épaisseur des séries sédimentaires en sismique suggère que le bassin des Loyauté s'est formé dès le Crétacé supérieur et par conséquent aurait pu renfermer des roches mères du pétrole. Les parties les plus profondes du bassin auraient pu générer des hydrocarbures liquides en quantité significative. Cependant, outre la profondeur d'eau relativement importante, l'intérêt pétrolier semble diminué du fait du manque de structuration des séries post-Oligocène.

D'après Vially et Benard (2001), le système pétrolier du système « bassin-ride des Loyauté » reste totalement à démontrer. La roche mère serait marine avec quelques apports détritiques. Les réservoirs seraient quant à eux silico-clastiques, le matériel détritique provenant de l'érosion des unités allochtones (ophiolites et chaîne centrale). Les couvertures seraient à rechercher dans les niveaux argileux néogènes. Quant aux pièges, ils pourraient être sédimentologiques à l'Ouest, et sur faille au niveau de la retombée orientale de l'archipel des Loyauté.

5.5.1.2 Les Minéralisations ferro-manganésifères sous-marines

En Nouvelle-Calédonie, des minéralisations ferro-manganésifères du type « encroûtements » et « dépôts hydrothermaux fossiles » ont été décrites au niveau des prolongements sous-marins de la ride des Loyauté.

5.5.1.2.1 Les encroûtements polymétalliques

Les encroûtements ferromanganésifères peuvent être présents à diverses profondeurs et au sommet de zones sous-marines élevées telles que les hauts-fonds et particulièrement les structures volcaniques tabulaires de type "guyot". Ils ont une épaisseur moyenne variable entre 1 mm et 10 cm. Les teneurs moyennes en Mn sont comprises entre 20 et 25%. Pouvant être riches en métaux nobles tels que le nickel, le cuivre, le cobalt et les éléments du groupe du Platine (EGP), les encroûtements ferromanganésifères présentent un intérêt économique non négligeable. L'origine des encroûtements reste mal connue et deux origines sont proposées :

- l'origine hydrologique / hydrogénétique, les métaux précipitant à partir de l'eau de mer,
- l'origine hydrothermale basse énergie par endo-upwelling géothermique généré par le volcanisme (Rougerie et Wauthy, 1989; Rougerie *et al.*, 1992).

Des échantillons d'encroûtements formés d'un cortex ferromanganésifère ont été prélevés sur les récifs d'Entrecasteaux et à la terminaison nord et sud de la ride des Loyauté (Lafoy *et al.*, 1996c). L'étude de certains de ces encroûtements (Pichocki et Hoffert, 1987) a permis de mettre en évidence un cortex ferromanganésifère de couleur noire à brune, d'épaisseur variant entre 5 mm et 5 cm qui enrobe un coeur d'origine volcanique, volcanosédimentaire ou sédimentaire. Les échantillons prélevés appartiennent à la famille des encroûtements moyennement cobaltifères (Co = 0,5%), c'est à dire appauvris en Co, Ni et Cu par rapport aux encroûtements cobaltifères, mais enrichis en fer (Mn / Fe = 1) (Pichocki et Hoffert, 1987). Les analyses chimiques, la teneur élevée en terres rares, l'anomalie positive en Césium et la minéralogie des oxydes de manganèse, démontrent une origine hydrogénétique pour ces encroûtements, c'est à dire que les métaux proviennent de l'eau de mer.

Un échantillon particulier de croûte ferromanganésifère a été prélevé durant la campagne GEORSTOM III Nord (1975) sur la bordure nord-orientale de la ride des Loyauté (20°47'S-167°31'E, 1400-1700m de profondeur) au niveau du seuil bathymétrique de Tiga (Lafoy *et al.*, 1996a, c). L'échantillon décrit par Bolton *et al.* (1986) est constitué de matériel ferro-manganésifère lité noir-brun, pouvant atteindre une épaisseur de 2,5 cm. L'ensemble recouvre un sédiment argileux brun à blanchâtre. Les analyses géochimiques révèlent la présence de métaux précieux sous la forme de particules d'argent et d'or (Bolton *et al.*, 1986). Du point de vue minéralogique, l'échantillon de croûte analysé consiste essentiellement en du matériel ferromanganésifère amorphe aux rayons X, la seule phase cristalline d'oxyde de Mn identifiable étant de la vernadite ferrugineuse.

5.5.1.2.2 Les dépôts hydrothermaux fossiles

Des observations en plongée ont été effectuées sur la ride des Loyauté avec la soucoupe Cyana lors de la mission CALSUB (1989). Les plongées en submersible se sont déroulées sur le flanc nord du haut-fond qui relie les îles de Lifou et d'Ouvéa. Ces plongées ont mis en évidence des structures "en tables" ou "en champignons" qui pourraient être liées à des phénomènes hydrothermaux (Vanney *et al.*, 1992). Les analyses faites sur les prélèvements montrent surtout un pourcentage important en fer et manganèse. D'après la composition chimique et le mode de gisement,

l'hydrothermalisme aurait contribué de manière importante à la formation des croûtes ferromanganésifères des « roches champignons » de la ride des Loyauté (Vanney *et al.*, 1992). Selon ces auteurs, des intrusions de laves au sein de la sédimentation calcaire Oligo-Miocène auraient provoqué des circulations hydrothermales responsables des précipitations ferromanganésifères plus ou moins sécantes à la stratification. Le déblaiement par érosion des sédiments meubles pourrait expliquer ces formations de "roches champignons". Ces auteurs attribueraient ces formations, tout d'abord, à l'action d'une induration liée à des circulations hydrothermales, et postérieurement, à l'action des courants. Cependant, il pourrait également s'agir de structures morphologiques résultant de manifestations érosives bathyales (Bourrouilh-Le Jan, 1993).

5.5.2 Ressources à terre

Les seuls gîtes ou indices minéraux connus à terre sur les îles Loyauté concernent le phosphate. Les sols de la Grande-Terre étant notoirement déficitaires en carbonates et phosphates, les engrais phosphatés ont été pendant longtemps importés à 100 % de leur consommation avec une subvention territoriale de soutien. Actuellement les phosphates sont considérés comme substance concessible de compétence provinciale pour la zone de la Province des Iles, mais de compétence territoriale pour l'île de Walpole.

P. Koch a étudié systématiquement les indices de phosphate des îles Loyauté en 1956 et 1957. Il a constaté l'enrichissement progressif des terres de surface en phosphate du NW au SE des Loyauté, Walpole étant l'île la plus riche à cet égard. Il n'existe pas sur l'île d'Ouvéa de gîtes de phosphate de taille économique. En revanche de nombreuses poches karstiques à remplissage brun bauxito-phosphatée sont présentes. La genèse de ces petites concentrations en phosphate a été abordée dans le chapitre relatif à la karstification, sédimentation interne et diagenèse.

Bibliographie

A2EP, 1993 - Présentation générale : Elaboration d'un schéma d'exploitation et de protection de la ressource en eau sur Maré et Lifou, Rapport NOUMEA A2EP NCH 93/03 02, mars 1993, 12p. (*A2EP, Province des Îles*).

A2EP, 1993 - Etude quantitative de la ressource en eau (Rapport I - Chapitre 1) : Elaboration d'un schéma d'exploitation et de protection de la ressource en eau sur Maré et Lifou, Rapport A2EP NCH 93/03 02, mars 1993, 65p. (*A2EP, Province des Îles*).

A2EP, 1993 - Modélisation de la ressource en eau (Rapport I - Chapitre 2) : Elaboration d'un schéma d'exploitation et de protection de la ressource en eau sur Maré et Lifou, Rapport NOUMEA NCH 93/03 02, mars 1993, 65p. (*A2EP, Province des Îles*).

A2EP, 1993 - Etude Qualitative de la ressource en eau (Rapport I - Chapitre 3) : Elaboration d'un schéma d'exploitation et de protection de la ressource en eau sur Maré et Lifou, Rapport NOUMEA NCH 93/03 02, mars 1993, 93p. (*A2EP, Province des Îles*).

A2EP, 1993 - Schéma de gestion et d'exploitation (Rapport II) : Elaboration d'un schéma d'exploitation et de protection de la ressource en eau sur Maré et Lifou, Rapport NOUMEA NCH 93/03 02, mars 1993, 42p. (*A2EP, Province des Îles*).

A2EP, 1993 - Annexes relatives au Rapport I - Chapitre I (Volume1) : Elaboration d'un schéma d'exploitation et de protection de la ressource en eau sur Maré et Lifou, Rapport NOUMEA NCH 93/03 02, mars 1993, 42p. (*A2EP, Province des Îles*).

A2EP, 1993 - Annexes relatives au Rapport I - Chapitre I (Volume 2) : Elaboration d'un schéma d'exploitation et de protection de la ressource en eau sur Maré et Lifou, Rapport NOUMEA NCH 93/03 02, mars 1993, 42p. (*A2EP, Province des Îles*).

A2EP, 1993 - Annexes relatives au Rapport I - Chapitre II : Elaboration d'un schéma d'exploitation et de protection de la ressource en eau sur Maré et Lifou, Rapport NOUMEA NCH 93/03 02, mars 1993, 42p. (*A2EP, Province des Îles*).

A2EP, 1993 - Annexes relatives au Rapport I - Chapitre III : Elaboration d'un schéma d'exploitation et de protection de la ressource en eau sur MARE et LIFOU, Rapport NOUMEA NCH 93/03 02, mars 1993, 42p. (*A2EP, Province des Îles*).

Aitchison, J.C., Clarke, G.L., Meffre, S. et Cluzel, D., 1995 - Eocene arc continent collision in New-Caledonia and implications for regional Southwest Pacific tectonic evolution, *Geology*, 23, 2, 161-164.

Auzende, J.M., Van de Beuque, S., Regnier, M., Lafoy, Y., and Symonds, P.A., 2000 - Origin of New Caledonian Ophiolites based on a French-Australian Transect (FAUST), *Marine Geology*, 162 (2-4), 225-236

Baubron J.C., Guillon J.H. et Recy J., 1976 - Géochronologie par la méthode K/Ar du substrat volcanique de l'île Maré, archipel des Loyautés (Sud-Ouest Pacifique) - *Bull. BRGM*, IV, no3. 1976, p. 165-175.

Bernat M., Launay J., Recy J., 1976 - Datation à l'ionium de quelques formations coralliennes émergées de Nouvelle-Calédonie et des Iles Loyauté. *Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences, Série D: Sciences Naturelles*. 282; 1, Pages 9-12.

Bolton B.R., Ostwald J., Monzier M., 1986 - Precious metals in ferromanganese crusts from the Southwest Pacific. *Nature*, 320, 518-520.

Bourrouilh F.G., 1972, Diagenèse récifale : calcitisation et dolomitisation. Leur répartition dans un atoll soulevé. Île Lifou. Territoire de Nouvelle-Calédonie. *Cahiers ORSTOM, sér. Géol., vol. IV, n°2*, pp. 121-148, 11 pl.

Bourrouilh - Le Jan F., 1979 - Les plateformes carbonatées de haute énergie à Rhodolites et la crise climatique du passage Mio-Pliocène dans le domaine Pacifique - *Bull. Centre Rech. Expl. Prod. Elf-Aquitaine*, 3, 1979, p. 489-495.

Bourrouilh - Le Jan F., 1980 – Phosphates, sols bauxitiques et karsts dolomitiques du centre et SW Pacifique. Comparaisons sédimentologiques et géochimiques. In : *Géologie comparée des gisements de phosphate et de pétrole. Colloque international, Orléans, 6-7 novembre 1979, Documents BRGM n° 24*, pp. 113-128.

Bourrouilh - Le Jan F., 1989 - The oceanic karsts; modern bauxite and phosphate ore deposits on the high carbonate islands (so-called "uplift atolls") of the Pacific Ocean. In: *Paleokarst, a systematic and regional review. Developments in Earth Surface Processes*. 1 page. Bosak-Pavel (editor).

Bourrouilh - Le Jan F., 1996 – Plates-formes carbonatées et atolls du centre et sud Pacifique : Stratigraphie, sédimentologie, minéralogie et géochimie. Diagenèse et émergences : Aragonite, calcite, dolomite, bauxite et phosphate. Document du BRGM N° 249. Editions du BRGM.

Carrière D., 1987 - Enregistrement sédimentaire, diagénétique et morphologique d'un bombement de la lithosphère sur l'atoll soulevé de Maré, Archipel des Loyautés, Nouvelle Calédonie - *C.R.A.S.*, t.306, Série II, p. 975-980.

Chamley H., 1988, *Les milieux de sédimentation*. BRGM Editions.

Chevalier J.P., 1968 - Géomorphologie de l'île de Maré. Les récifs actuels de l'île de Maré. Les Madréporaires fossiles de Maré - Expédition française sur les récifs coralliens de la Nouvelle Calédonie, Edit. Fondation Singer-Polignac, 3 vol.

Clarke W.J., Blow W.H., 1969, The inter-relationship of some late Eocene, Oligocene and Miocene larger foraminifera and planktonic biostratigraphic indices. Proc. 1st Int. Conf. Planktonic Microfossils, II: 82-96.

Cluzel D., Aitchison J., Clarke G., Meffre S., Picard C., 1994 - Point de vue sur l'évolution tectonique et géodynamique de la Nouvelle-Calédonie (Pacifique, France), *C.R. Acad. Sci. Paris*, 319, série IIa, 683-690.

Cluzel D., Aitchison J.C., Black P.M., Picard C., 1999, Origin and fate of Southwest Pacific marginal basins; an appraisal from New Caledonia, In: Baldwin S., Lister G.S., (Eds.), Penrose Conference, Mid-Cretaceous to recent plate boundary processes in the Southwest Pacific, Abstr. Vol. 77- 79

Collot J.Y., Missègue F., Monzier M. et Campillo R., 1975 - Etude géomorphologique et gravimétrique de l'archipel des Loyautés - Rapport interne ORSTOM, 36 p., non publié.

Collot, J.Y. et Missegue, F., 1977. Gravity measurements in Loyalty archipelago, southern New Caledonia and the isle of Pines. In: Technip (Ed), International Symposium on Geodynamics in South-West Pacific, Nouméa, 1976, Paris, 125-134.

Collot J.Y., Missegue F., Malahoff A., 1982 - Anomalies gravimétriques et structure de la croûte dans la région de la Nouvelle-Calédonie : enracinement des péridotites. In: Equipe de Géologie-Géophysique ORSTOM Nouméa (Ed), Contribution à l'étude Géodynamique du Sud-Ouest Pacifique, Trav. Doc. ORSTOM, 147, 549-564.

Collot J.Y., Malahoff A., Récy J., Latham G., Missegue, F., 1987 - Overthrust emplacement of New Caledonia ophiolite : geophysical evidence, *Tectonics*, 6, 3, 215-232.

Collot, J.Y., Greene, H.G., 1992. Proc. ODP, Init. Repts., College Station, TX (Ocean Drilling Program), 134.

Davis W.M., 1925 - Les côtes et les récifs coralliens de la Nouvelle-Calédonie. *Ann. Géogr.*, 34, Pages 244-269, 332-359, 423-441, 521-558, 64 figures.

Dubois J., Guillon J.H., Launay J., Récy J., Trescases J.J., 1973 - Structural and Other Aspects of the New Caledonia - Norfolk Area. In: The western Pacific; island arcs, marginal seas, geochemistry. Pages 223-235. Univ. West. Austr. Press, Nedlands.

Dubois J., Launay J., Récy J., 1973 - Les mouvements verticaux en Nouvelle-Calédonie et aux Iles Loyauté, et l'interprétation de certains d'entre eux dans l'optique de la tectonique des plaques. *Cahiers - ORSTOM, Serie Géologie*. 5; 1, Pages 3-24.

Dubois J., Launay J., Récy J., 1973 - Emersion de traces de niveaux marins quaternaires dans la région de Nouvelle-Calédonie-Iles Loyauté et tentative d'explication du phénomène par un bombement de la lithosphère. In: Quaternaire; Géodynamique; stratigraphie; environnement; 9e. Congr. int. INQUA; Christchurch; 1973. Bulletin de l'Association Française pour l'Etude du Quaternaire. 36; Pages 163-167.

Dubois J., Launay J. et Récy J., 1974 - Uplift movements in New Caledonia, Loyalty islands area and their plate tectonics interprétation - *Tectonophysics*, 24, p. 133-150.

Dubois J., Ravenne C., Aubertin A., Louis J., Guillaume R., Launay J., Montadert L., 1974 - Continental margins near New Caledonia. In: *The geology of continental margins*. Burk-Creighton-A (editor); Drake-Charles-L (editor). Pages 521-535. Springer-Verlag. New York, United States.

Dubois J., Launay J. et Récy J., 1975 - Some new evidence on lithospheric bulges close island arcs - *Tectonophysics*, 26, p. 189-196.

Dubois J., Launay J., Récy J., 1975 - Some new evidence on lithospheric bulges close to island arcs. In: *Inter-Union Commission on Geodynamics; Working Group 1, Geodynamics of the Western Pacific Indonesian Region, Bandung lectures* (Uyeda, Seiya, chairman). *Tectonophysics*. 26; 3-4, Pages 189-196. Elsevier. Amsterdam, Netherlands.

Dubois J., Dupont J., Lapouille A., Récy J., 1977 - Lithospheric bulge and thickening of the lithosphere with age; examples in the South-West Pacific. In: *International symposium on geodynamics in South-West Pacific*. Pages 371-380. Ed. Technip. Paris.

Dupont J., Lafoy Y., Pautot G., Le Suave R., Cluzel D., Missegue F., Grandperrin R., Henin C., Voisset M., Durand-Saint-Omer L., Gautheron L., Butscher J., Mollard L., Rakoia M., 1995, *Etude morphostructurale de la zone sud des rides Nouvelle-Calédonie et Loyauté (zone économique exclusive de Nouvelle-Calédonie, Pacifique sud-ouest)* Translated Title: *Morphostructure of the southern zone of the New Caledonian and Loyalty ridges*, *Ne, Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Série II. Sciences de la Terre et des Planètes*. 320; 3, Pages 211-218. 1995.

Embry A.F., Klovan J.E., 1971, A Late Devonian reef tract on northeastern Banks Island, NWT, *Bull. Canad. Petrol. Geol.*, 19 : 730 – 781.

Fikri A., 1991 – Contribution à l'étude de la géochimie organique des phosphates insulaires. Implication dans la phosphatogenèse. Thèse, Université d'Orléans, 202 p.

Haeberle F.R., 1952 - Coral reefs of the Loyalty Istands - *Amer. Jour. Sc.*, vol. 250, p. 656-666. Kline Geology Laboratory, Yale University. New Haven, CT, United States.

Herzer R.H., Chaproniere G.C.H., Edwards A.R., Hollis C.J., Pelletier B., Raine J.I., Scott G.H., Stagpoole V., Symonds P., Wilson, G.J., Zhu, H., 1997 - Seismic stratigraphy and structural history of the Reinga Basin and its margins, Southern Norfolk Ridge system, *N. Z. Journal Geol. Geophys.*, 40, 425-451.

INCO, 2000, *Etude préliminaire sur les potentialités en calcaire des Îles Loyauté. Potentialités sur île de Lifou*. GNi Geology.

INCO, 2001, *Campagne de prospection, janvier 2001, Massifs calcaires côtiers Cap Escarpé – Cap Bernardin – Ejengen*.

Jehl C., 1995, Les mattes algaires cyanobactériennes (kopara) des atolls des Tuamotu : biochimie, productivité et signification écologique. Insertion dans un modèle de phosphatogénèse. Thèse ORSTOM - UFP.

Koch P., 1957 - Analyses de phosphates de Lifou, Maré, Ouvéa, Chesterfield. Bull. analyses Service des Mines.

Koch P., 1957 - Hydrogéologie de l'île Ouvéa - Courte note sur l'île Eo (Beautemps-Beaupré). Rapp. interne Service des Mines.

Koch P., 1957 - Hydrogéologie des Iles Loyauté. Service des Mines de Nouvelle Calédonie. Rapp. interne Service des Mines.

Koch P., 1957 - Iles coralliennes et minéralisation en phosphate. Nouvelle-Calédonie et dépendances. In : Rapport annuel Service des Mines et Géologie, Page 7, Nouméa.

Koch P., 1958 - Prospection des îles de Lifou, Maré et Ouvéa. Rapp. interne Service des Mines.

Koch P., 1958 - Introduction à la géologie de la Nouvelle Calédonie et dépendances - Bull. Géol. Nouvelle Calédonie, France, n°1, p. 10-22.

Koch P., 1958 - Hydrogéologie des îles Loyautés - Bull. géol. Nouvelle Calédonie, France, n°1, p. 135-188.

Koch P., 1958 - Les ressources minérales de la Nouvelle-Calédonie. Rapport interne du Service des Mines, 34 p. + Annexes.

Kroenke L.W., Rodda P., 1984 - Cenozoic tectonic development of the Southwest Pacific, In: L.W. Kroenke (Ed), Committee for co-ordination of joint prospecting for mineral resources in South Pacific offshore areas (CCOP/SOPAC) Tech. Bull., New Zealand, 122 p.

Lafoy Y., Dupont J., Missègue F., Le Suave R., Pautot G., 1995a - Effets de la collision "ride des Loyauté - arc des Nouvelles-Hébrides" sur la terminaison sud de l'ensemble "Nouvelle-Calédonie-Loyauté". Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Serie II. Sciences de la Terre et des Planetes. 320; 11, Pages 1101-1108.

Lafoy Y., Missègue F., Cluzel D., Voisset M., Saget P., Lenoble J.P., Rigaut F., Lanckneus J., Lehodey P., Bouniot E., Cornec J, de Souza K., Gallois F., Garioud N, Grenard P., N'diyae M., Perchoc Y., Perrier J., 1995b - Morphostructure du segment septentrional du système bassin et ride des Loyauté, SW Pacifique; résultats de la campagne ZoNeCo 2. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Série II. Sciences de la Terre et des Planètes. 321; 11, Pages 1009-1016.

Lafoy Y., Missègue F., Cluzel D., Le Suave R., 1996a - The Loyalty-New Hebrides arc collision; effects on the Loyalty ridge and basin system, Southwest Pacific (first results of the ZoNeCo Programme). In: Seafloor mapping in the West, Southwest and South Pacific; results and applications. Marine Geophysical Researches. 18; 2-4, Pages 337.

Auzende J.M. (editor); Collot J.Y. (editor), D. Reidel Publishing Company. Dordrecht, Netherland

Lafoy Y., Auzende J.M., Missegue F., Van de Beuque S., 1996b - Bilan des connaissances sur l'évaluation du potentiel pétrolier de la Nouvelle-Calédonie et de ses dépendances, Rapport ZoNéCo, Mars 1996, 72 p.

Lafoy Y., Van de Beuque S., Perrier J., Auzende J.M., 1996c - Synthèse des connaissances sur les potentialités en ressources minérales profondes de la Zone Economique Exclusive de Nouvelle-Calédonie, Rapport ZoNéCo, 57 p. + Annexes, Juin 1996

Lafoy Y., Van de Beuque S., Bernardel G, Missègue F., Nercessian A., Auzende J.M., Symonds P.A., Exon N.F., 1998 - Scientists study deep geological structure between New Hebrides Arc and eastern Australian Margin. Eos, Transactions, American Geophysical Union. 79; 50, Pages 613-614. American Geophysical Union. Washington, DC, United States.

Lapouille A., 1974 - Esquisse d'une étude structurale de la chaîne des Loyautés par son champ magnétique - Rapport interne ORSTOM, non publié.

Lapouille A., 1978 - Southern New Hebrides basin and Western South Fidji basin as a single marginal basin, Bull. Aust. Soc. Explor. Geophys., 9, 3, 130-133.

Latham M.; Mercky P., 1983, Etudess des sols des îles Loyauté. Carte pédologique et carte d'aptitude culturale et forestière à 1 / 200 000. ORSTOM.

Launay J., Récy J., 1972 - Variations relatives du niveau de la mer et néotectonique en Nouvelle-Calédonie au Pléistocène supérieur et à l'Oligocène - Rev. Géogr. Phy. Géol. Dyn., vol.XIV, 1, p. 47-66.

Lips B., 1995, Expédition en Nouvelle-Calédonie – Lifou 95. FFS et FFESSM

Louat R., Baldassari C., 1989 - Chronologie des séismes et des tsunamis ressentis dans la région du Vanuatu - Nouvelle-Calédonie (1729 - 1989), Rapports Scientifiques et Techniques ORSTOM, Centre de Nouméa, Sciences de la Terre, Géophysique, N° 1, 48 p.

Maillet P., Monzier M., Selo D., Storzer D., 1983 - The d'Entrecasteaux zone (southwest Pacific). A petrological and geochronological reappraisal, Marine Geology, 53, 179-197.

Marshall J.F., Launay J., 1978 - Uplift rates of the Loyalty Islands as determined by $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ dating of raised coral terraces. Quaternary Research (New York). 9; 2, Pages 186-192.

Maurizot P., Lafoy Y., 2003, Carte géologique de la Nouvelle-Calédonie (1 / 50 000), feuille Maré, Îles Loyauté. Nouméa : Service des Mines et de l'Energie, Bureau de Recherches Géologiques et Minières. Notice explicative par P. Maurizot *et al.* (2003) .

Maurizot P., Lafoy Y., 2003, Notice explicative, Carte géologique de la Nouvelle-Calédonie (1 / 50 000), feuille Maré, Îles Loyauté. Nouméa : Service des Mines et de l'Energie, Bureau de Recherches Géologiques et Minières. Carte géologique par P. Maurizot *et al.* (2003).

Meffre S., 1991 - Terrane analysis of New Caledonia with special reference to the Koh area, B.S. honors thesis, Sydney, Australia, University of Sydney, 113 p.

Meffre S., 1995 - The development of arc-related ophiolites and sedimentary sequences in New Caledonia, Thèse, University de Sydney, 236 p.

Montagioni L., 1985, Makatea island, Tuamotu Archipelago. 5th International Reef Congress, Tahiti, 1985, Guide Book.

Monzier M., Daniel J., Maillet P., 1989 - La collision ride des Loyauté/arc des Nouvelles Hébrides (Pacifique Sud-Ouest), *Oceanologica Acta*, 10, 43-56.

Monzier M., 1993 - Un modèle de collision arc insulaire-ride océanique. Evolution sismotectonique et pétrologie des volcanites de la zone d'affrontement arc des Nouvelles-Hébrides ride des Loyauté. ORSTOM, Thèse, Nouméa, Université Française de Pacifique, 322 p.

Paris J.P., 1981 - Géologie de la Nouvelle-Calédonie, Thèse, Mém. N° 113, Bureau Rech. géol. min., 278 p.

Pelletier B., Louat R., 1989 - Mouvements relatifs des plaques dans le Sud-Ouest pacifique, *C.R. Acad. Sci. Paris*, 308, série II, 123-130.

Pichocki C. et Hoffert M., 1987 - Etude de quelques encroûtements ferromanganésifères et de quelques sédiments provenant du domaine océanique de la Nouvelle-Calédonie. *Rapp. Int. Univ. L. Pasteur, Strasbourg*, 10 tab., Pl; Phot. H.T., 33 p.

Ravenne C., de Broin C.E., 1975 - Campagne Austradec II-zone océanique entre Nouvelle-Calédonie et Nouvelle-Zélande, rapport centre ORSTOM Nouméa, p. 1-50.

Rigolot P., 1989 - Origine et évolution du "système" ride de Nouvelle-Calédonie / Norfolk (Sud-Ouest Pacifique) : synthèse des données de géologie et de géophysique marine, étude des marges et bassins associés, Thèse de Doctorat, Université de Bretagne Occidentale, 319 p.

Rodgers K.A., 1994, The cycle of phosphorus in an atoll ecosystem. *Appl. Geochem.*, Vol. 9, pp. 311-322

Rougerie F. Wauthy B., 1989 - Une nouvelle hypothèse sur la genèse des phosphates d'atolls: le rôle du processus endo-upwelling. *C.R. Acad. Sc. Paris*, 308, série II p. 1043-1047.

Rougerie F. Wauthy B., Rancher J., 1992 - Un récif barrière ennoyé des îles Marquises et l'effet d'île par endo-upwelling. C.R. Acad. Sc. Paris, 315, série II, p. 677-682.

SEFP, 2001, Programme de réhabilitation des sites de carrière, Phase I : Inventaire et diagnostic. Service Environnement de la Direction Etude et Aménagement de la Province des Iles Loyauté, Société d'Etudes et de Formation du Pacifique.

SEFP, 2001, Programme de réhabilitation des sites de carrière, Phase II : Réhabilitation des sites. Service Environnement de la Direction Etude et Aménagement de la Province des Iles Loyauté, Société d'Etudes et de Formation du Pacifique.

Tercinier G., 1971 - Sols des karsts de l'atoll surélevé de Lifou (îles Loyauté, Territoire de la Nouvelle-Calédonie) et problème de la bauxitisation. C.R. Acad. Sci., D. Fr., 272, n° 16, Pages 2067-2070, 1 figure.

Tercinier G., 1972 - La crandallite, phosphate naturel répandu dans les sols et souvent abondant dans les produits de remplissage des karsts. Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences, Série D: Sciences Naturelles. 274; 10, Pages 1445-1448.

Van de Beauque, S., 1999 - Evolution géologique du domaine péri-calédonien, Thèse de Doctorat de l'Université de Bretagne Occidentale, 265 p.

Vaney J.R., Rio M., Roux M., Guerin H., 1992 - Morphologie sous-marine particulière liée à des circulations hydrothermales sur la ride des Loyauté (Nouvelle-Calédonie, SW Pacifique). Bulletin de la Société Géologique de France, Huitième Série. 163; 3, Pages 255-262.

Vially R., Benard F., 2001 – Potentiel pétrolier de l'offshore de Nouvelle-Calédonie (et évaluation des hydrates de gaz dans le bassin de Fairway), Rapport régional d'évaluation pétrolière (Regional Report) - Nouvelle-Calédonie (New Caledonia), 169 Pl., V annexes, 1 Pl. HT, Avril 2001, Institut Français du Pétrole.

Auteurs

Cette notice a été réalisée par P. Maurizot, ingénieur géologue au Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM). Il en a assuré la rédaction ainsi que la réalisation de la maquette de la carte géologique.

Y. Lafoy, ingénieur géologue au Service des Mines et de l'Energie, a réalisé la partie correspondant à la géodynamique régionale et aux ressources minérales en mer.

Annexe 1

Sites de carrières recensées (SEFP, 2001)

N° carrière	Xutm	Yutm	Xrgnc91	Yrgnc91	District	Vulnérabilité de la nappe	Dans le périmètre de protection d'un forage
40K6	732931	7685483	528641	363882	Gaïca	Moyenne	Non
40K8	733228	7688246	528921	366646	Wetr	Moyenne	Non
42O3	730091	7680274	525833	358658	Lösi	Moyenne	Non
42T12	731399	7675207	527172	353600	Lösi	Moyenne	Non
42U11	738352	7675500	534120	353936	Lösi	Moyenne	Non
42U12	742159	7667347	537976	345809	Lösi	Moyenne	Non
42N5	724928	7682930	520656	361281	Gaïca	Moyenne	Oui
40F5	724527	7701159	520146	379503	Wetr	Moyenne	Non
40F7	723358	7702070	518972	380406	Wetr	Moyenne	Non
42M6	716408	7683212	512137	361512	Gaïca	Moyenne	Non
40G6	731809	7703663	527411	382049	Wetr	Moyenne	Non
40C5	730220	7706400	525806	384776	Wetr	Moyenne	Non
42O7	731443	7677077	527204	355470	Lösi	Moyenne	Oui
40F4	722860	7701716	518476	380050	Wetr	Moyenne	Non
40K7	732892	7688307	528585	366705	Wetr	Moyenne	Non
40N2	719563	7684186	515285	362505	Gaïca	Moyenne	Non
40H4	735600	7696700	531242	375111	Wetr	Peu	Non
40K3	732603	7692911	528268	371305	Wetr	Peu	Non
42O5	730296	7681788	526029	360172	Lösi	Peu	Non
42T4	730310	7671960	526103	350348	Lösi	Peu	Non
42W1	751426	7670594	547219	349111	Lösi	Peu	Non
40G4	728398	7701171	524016	379538	Wetr	Peu	Non
40G10	732193	7696718	527836	375109	Wetr	Peu	Oui
42U8	735954	7672302	531743	350724	Lösi	Peu	Oui
40H3	735350	7697100	530990	375509	Wetr	Peu	Non
42V1	746980	7674993	542748	353481	Lösi	Peu	Non
42U9	736587	7672911	532372	351337	Lösi	Peu	Non
42U10	737905	7674718	533678	353151	Lösi	Peu	Non
42V4	747363	7675239	543129	353729	Lösi	Peu	Non
40H1	736204	7703735	531804	382147	Wetr	Peu	Oui
42O6	731054	7683365	526777	361753	Gaïca	Peu	Oui
40C1	725977	7709876	521544	388226	Wetr	Peu	Non
42P7	739085	7682510	534811	360947	Lösi	Peu	Oui
40P2	739521	7684251	535236	362690	Lösi	Peu	Non
42V2	746658	7675014	542426	353500	Lösi	Peu	Non
40K1	725650	7685955	521360	364310	Gaïca	Moyenne	Non
42V10	745644	7667221	541460	345704	Lösi	Moyenne	Non
42P2	740591	7677052	536349	355500	Lösi	Moyenne	Non
42P1	739412	7676380	535175	354822	Lösi	Moyenne	Non
40G13	727291	7702794	522899	381154	Wetr	Moyenne	Non
40N1	717619	7684632	513339	362939	Gaïca	Moyenne	Non
42AA8	743420	7666745	539240	345215	Lösi	Moyenne	Non

N° carrière	Xutm	Yutm	Xrgnc91	Yrgnc91	District	Vulnérabilité de la nappe	Dans le périmètre de protection d'un forage
42O1	726524	7682643	522253	361004	Gaïca	Moyenne	Non
42T2	727548	7673083	523335	351454	Lösi	Moyenne	Non
40G2	726977	7702636	522586	380994	Wetr	Moyenne	Non
40C4	729500	7704600	525097	382972	Wetr	Moyenne	Non
42O8	730372	7679651	526118	358036	Lösi	Moyenne	Non
42P4	738435	7676873	534195	355308	Lösi	Moyenne	Non
42V9	745460	7667054	541277	345536	Lösi	Moyenne	Non
40N3	723385	7683768	519108	362110	Gaïca	Moyenne	Non
40N4	723930	7683794	519653	362139	Gaïca	Moyenne	Non

Annexe 2

Nomenclature des faciès carbonatés

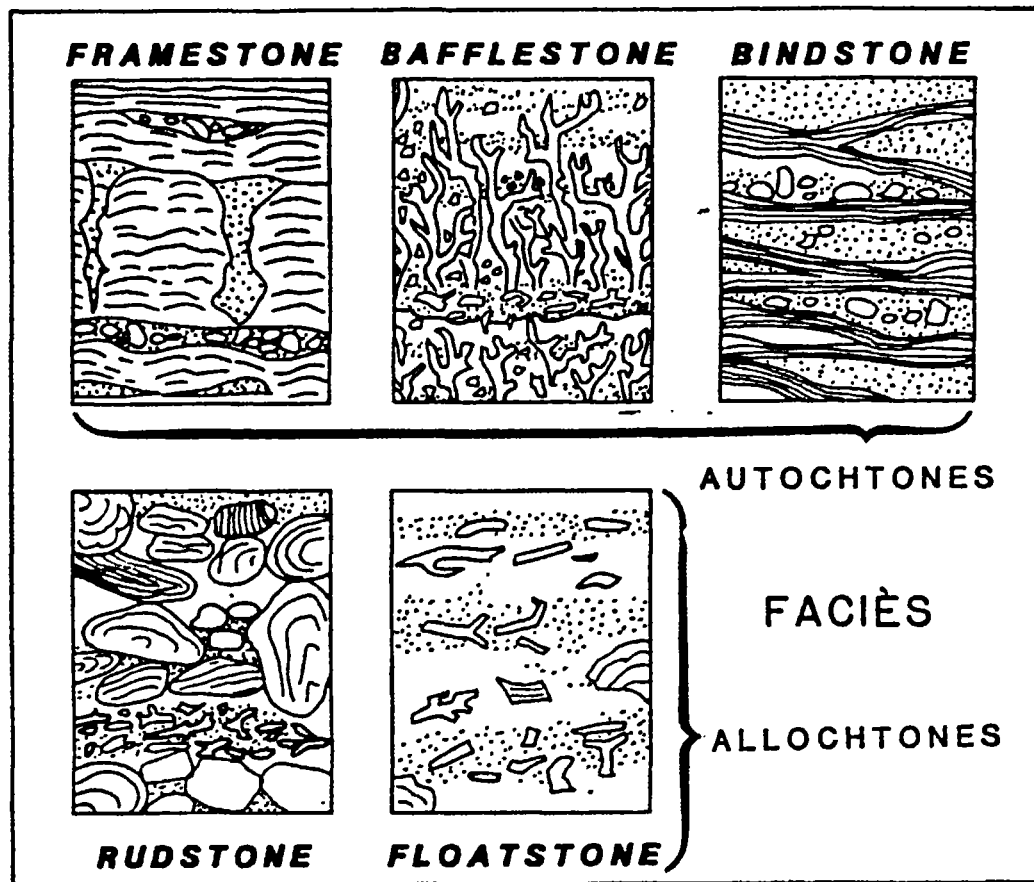


Figure 18 - Principales textures des faciès construits de calcaires récifaux autochtones et allochtones (d'après Embry et Klovan, 1971, in Chamley, 1987)

Framestone : Organismes formant une armature, en position de vie.

Bafflestone : Organismes dressés et piègeurs de sédiments, dispersés, en position de vie.

Bindstone : Organismes jointifs, tabulaires ou lamellaires, formant des encroûtements, en position de vie.

Rudstone : Organismes en débris, jointifs.

Floatstone : Organismes en débris, non jointifs, dont plus de 10 % ont une taille supérieure à 2 mm.

Autres termes utilisés, classification de Dunham (1962) :

Grainstone : Grains jointifs sans ciment.

Boundstone : Calcaires construits à éléments liés entre eux.

Wackestone : Eléments non jointifs et moins de 10 % de ciment.

Packstone : Eléments jointifs non liés et réunis par un ciment.

Mudstone : plus de 10% de ciment et une proportion variable d'éléments non jointifs.

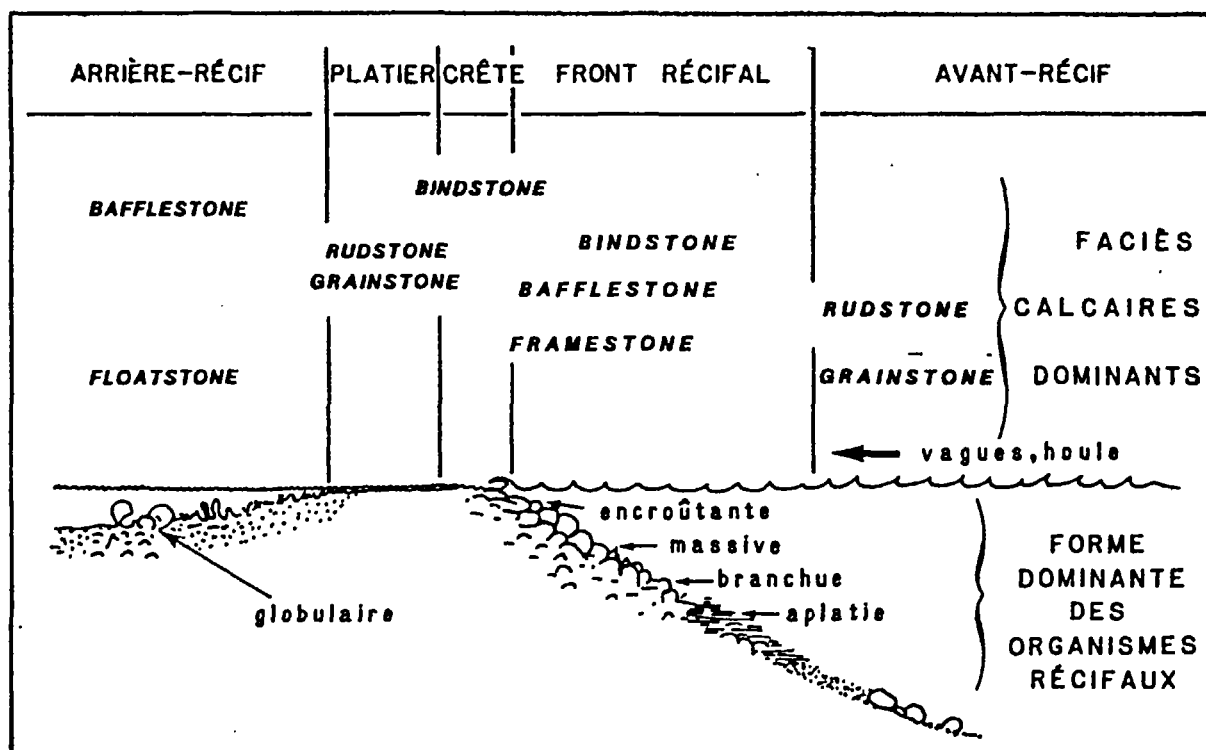


Figure 19 - Coupe schématique d'un récif et disposition générale des organismes constructeurs et des principaux faciès calcaires (d'après James in Walker, 1984, Chamley, 1987)

Annexe 3

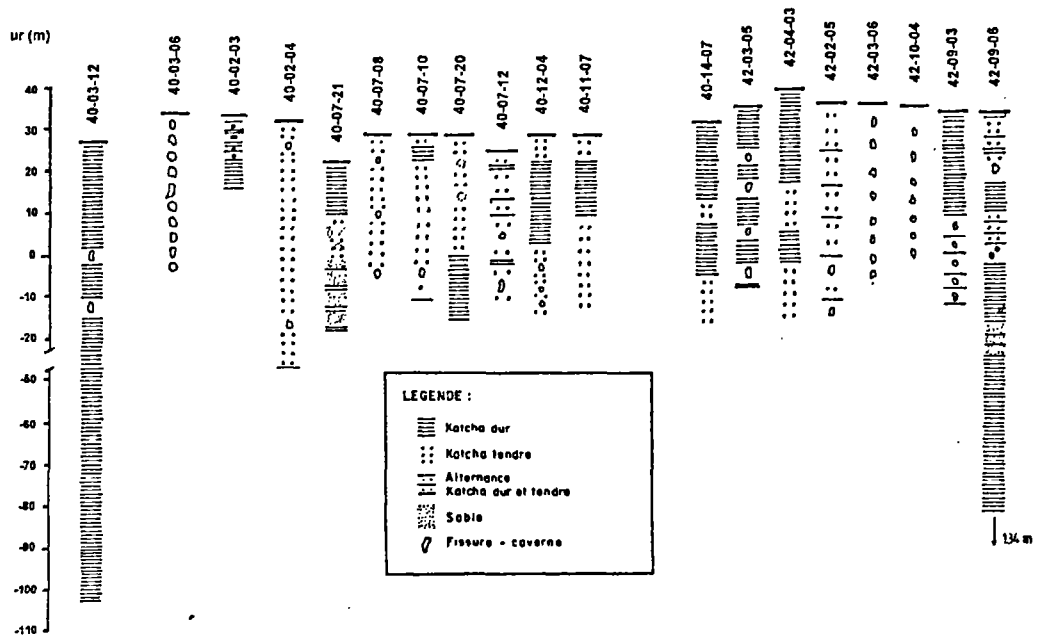
Ouvrages hydrogéologiques (A2EP, 1993)

N°	Localité	Xutm	Yutm	Xlamb	Ylamb	Z	Type	Diamètre	Prof	Débit
4001A001	Hunete	714700	7704400	510301	382683	49,00	Forage	160,00	54,00	
4002A003	Mutchawen	724900	7705000	520495	383344	34,00	Station	180,00	46,00	10,3
4002A004	Siloam	719800	7704750	515398	383064	32,00	Station	180,00	58,00	12,4
4002A005	Siloam	721129	7704550	516728	382872	35,00	Piézomètre	75,00	49,00	0
4002A006	Siloam	724603	7704103	520203	382445	30,00	Forage	225,00	49,00	
4003A004	Hnanemutr	731700	7708750	527271	387133	25,00	Puits	1350,00	25,00	
4003A006	Hnacaom	730000	7709600	525566	387973	35,00	Forage	180,00	41,00	
4003A007	Dockin	728900	7707700	524478	386067	31,00	Station	180,00	46,00	9,8
4003A008	Hnacaom	730000	7707250	525580	385623	27,00	Puits	1800,00	28,00	
4003A009	Hnacaom	730250	7707700	525828	386075	28,00	Station	180,00	37,00	11
4003A010	Dropeng	729700	7704000	525300	382373	24,00	Forage	112,00	32,00	
4003A011	Kep	731750	7704250	527348	382635	25,00	Puits	1900,00	24,00	
4003A012	Hnacaom	730250	7707700	525828	386075	27,00	Piézomètre	75,00	92,00	
4003A013	Dockin	728800	7707800	524377	386166	30,00	Station	225,00	50,00	15
4003A014	Hnatcaom	730000	7706600	525584	384974	25,00	Forage	180,00	42,00	0
4006A004	Eacho-Che	721900	7702100	517513	380427	37,00	Station	180,00	39,00	16,8
4006A005	Chepenche	725150	7700750	520770	379096	25,00	Puits	1050,00	25,00	
4006A006	Chepenche	724500	7701650	520115	379992	20,00	Puits	2900,00	24,00	
4007A004	Chepenche	726200	7702000	521813	380352	22,00	Forage	160,00	21,00	
4007A006	Kumo	729600	7701250	525216	379623	24,00	Forage	160,00	28,00	
4007A008	Kumo	732300	7698900	527929	377290	29,00	Station	180,00	38,00	9,5
4007A009	Nang	732150	7697000	527790	375389	29,00	Puits	1200,00	28,00	
4007A010	Nang	732150	7697000	527790	375389	30,00	Station	180,00	39,00	12
4007A012	Cila	729850	7696200	525496	374576	25,00	Forage	180,00	28,00	
4007A013	Wanaham	733250	7701500	528863	379894	27,00	Forage	150,00	32,00	
4007A014	Wanaham	733400	7701300	529014	379695	28,00	Ex Pompe	160,00	34,00	
4007A016	St.Elev.W	732900	7703650	528501	382042	23,00	Ex Pompe	160,00	32,00	0
4007A017	Nang Sud	732500	7696100	528146	374492	30,00	Forage	140,00	31,00	
4007A018	Hnaete	730250	7702350	525859	380726	25,00	Forage	180,00	35,00	
4007A019	Kep	732500	7703500	528102	381889	24,00	Forage	180,00	36,00	
4007A020	Kirinata	732800	7697000	528440	375393	29,00	Forage	180,00	46,00	3,9
4007A021	Honegae-X	726200	7702050	521812	380402	22,00	Station	180,00	36,00	15
4007A022	Hnathalo	732500	7700400	528120	378790	27,00	Forage	225,00	40,00	25
4007A023	Koumo	732300	7699300	527927	377690	28,00	Forage	225,00	46,00	25
4008A002	Tingeting	736450	7703650	532050	382063	39,00	Station	180,00	44,00	10,3
4008A004	Wanaham	734500	7701600	530112	380002	30,00	Station	180,00	35,00	14,8
4008A006	Kirinata	734500	7697000	530140	375403	32,00	Puits	1900,00	31,00	
4008A007	Hnathalo	735100	7699500	530725	377906	31,00	Station	180,00	34,00	13
4011A004	Waihmene	731350	7690100	527032	368487	29,00	Station	180,00	43,00	19

N°	Localité	Xutm	Yutm	Xlamb	Ylamb	Z	Type	Diamètre	Prof	Débit
4011A005	We	733650	7685900	529357	364302	40,00	Puits	1350,00	41,00	
4011A006	Garderie	733000	7690000	528682	368397	29,00	Forage	160,00	38,00	
4011A007	Waihmene	732100	7690200	527781	368591	29,00	Forage	180,00	42,00	25
4011A010	Waihmene	730000	7690000	525683	368379	27,00	Forage	160,00	30,00	
4011A011	Waihmene	732650	7689900	528333	368295	26,00	Forage	180,00	41,00	0
4012A003	Luecila	734600	7688250	530292	366657	35,00	Forage	160,00	39,00	
4014A005	Dueulu	720500	7684050	516222	362373	30,00	Forage	160,00	35,00	
4014A007	Dueulu	720050	7684000	515772	362321	32,00	Forage	180,00	46,00	20
4015A001	Malakapo	731100	7684000	526819	362387	32,00	Station	160,00	36,00	18
4015A002	Malakapo	730900	7683650	526621	362036	31,00	Station	180,00	40,00	18
4202A001	Dueulu	717100	7683300	512827	361603	33,00	Station	160,00	42,00	10
4202A002	Hapetra	724400	7683100	520127	361447	29,00	Station	160,00	0,00	18
4202A003	Wedrumel	719300	7677750	515061	356068	33,00	Puits	1900,00	32,00	
4202A005	Wedrumel	718000	7679250	513752	357559	36,00	Station	180,00	46,00	14,4
4202A006	Hnagathot	724650	7680600	520392	358949	30,00	Piézomètre	52,00	34,00	
4202A007	Hapetra	724329	7682107	520062	360454	31,00	Forage	225,00	46,00	
4202A008	Hapetra	727000	7683200	522725	361563	30,00	Forage	180,00	49,00	0
4203A003	Hnadro	730000	7680400	525741	358782	38,00	Piézomètre	52,00	39,00	
4203A005	Hnaman	728650	7682800	524377	361173	36,00	Station	180,00	45,00	16,4
4203A006	Hnadro	731500	7677250	527260	355642	37,00	Station	180,00	42,00	7,4
4203A007	Hnadro	730100	7680000	525843	358383	39,00	Forage	180,00	45,00	
4204A001	Traput	738500	7681500	534231	359933	40,00	Station	160,00	48,00	9,8
4204A002	Hnai-Thua	738250	7676900	534009	355333	33,00	Forage	150,00	39,00	
4204A003	Dozip	741500	7680000	537239	358452	40,00	Forage	180,00	54,00	12
4209A002	Kedeigne	730750	7672100	526541	350489	33,00	Puits	1250,00	32,00	
4209A003	Kedeigne	730750	7672700	526538	351089	35,00	Station	180,00	43,00	10,4
4209A005	Kedeigne	729400	7669000	525211	347382	40,00	Piézomètre	52,00	39,00	
4209A006	Kedeigne	730750	7672700	526538	351089	35,00	Piézomètre	75,00	119,00	
4210A003	Thuahaik	737400	7674750	533173	353179	32,00	Puits	1350,00	29,00	
4210A004	Thuahaik	737200	7674600	532974	353028	35,00	Station	180,00	44,00	8
4210A006	Hmelek	736900	7672250	532688	350677	32,00	Station	160,00	36,00	12
4210A008	Hmelek	736100	7671000	531896	349423	0,00	Piézomètre	75,00	0,00	
4210A009	Hmelek-Wi	741020	7667700	536834	346154	43,00	Piézomètre	52,00	42,00	
4210A010	Inagod	741472	7670448	537269	348904	36,00	Forage	225,00	54,00	
4210A011	Hmelek	736148	7672053	531938	350475	32,00	Forage	225,00	47,00	
4210A012	Hmelek	737200	7672600	532986	351029	30,00	Forage	180,00	50,00	0
4211A002	Luengoni	748700	7669500	544500	348000	48,00	Station	160,00	51,00	10,3
4211A004	Huiwatul	744200	7667500	540014	345974	40,00	Piézomètre	50,00	48,00	
4211A005	Wiwatoul	744000	7668500	539808	346972	38,00	Forage	180,00	55,00	0
4215A005	Wiwatoul	744100	7666250	539922	344724	43,00	Station	180,00	51,00	12,6
4215A006	Mou	745700	7665450	541526	343934	46,00	Station	160,00	50,00	9,7
4215A007	Mou	745300	7665350	541127	343831	46,00	Station	180,00	51,00	16,4
4215A008	Xodre	747500	7664000	543334	342495	52,00	Forage	180,00	61,00	
4215A009	Mou	747305	7665736	543128	344229	48,00	Forage	225,00	66,00	

Annexe 4

Coupes lithologiques sommaires de quelques sondages (A2EP, 1993)



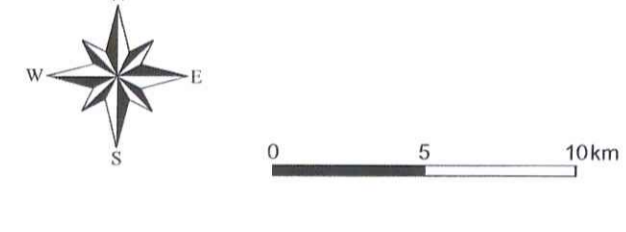
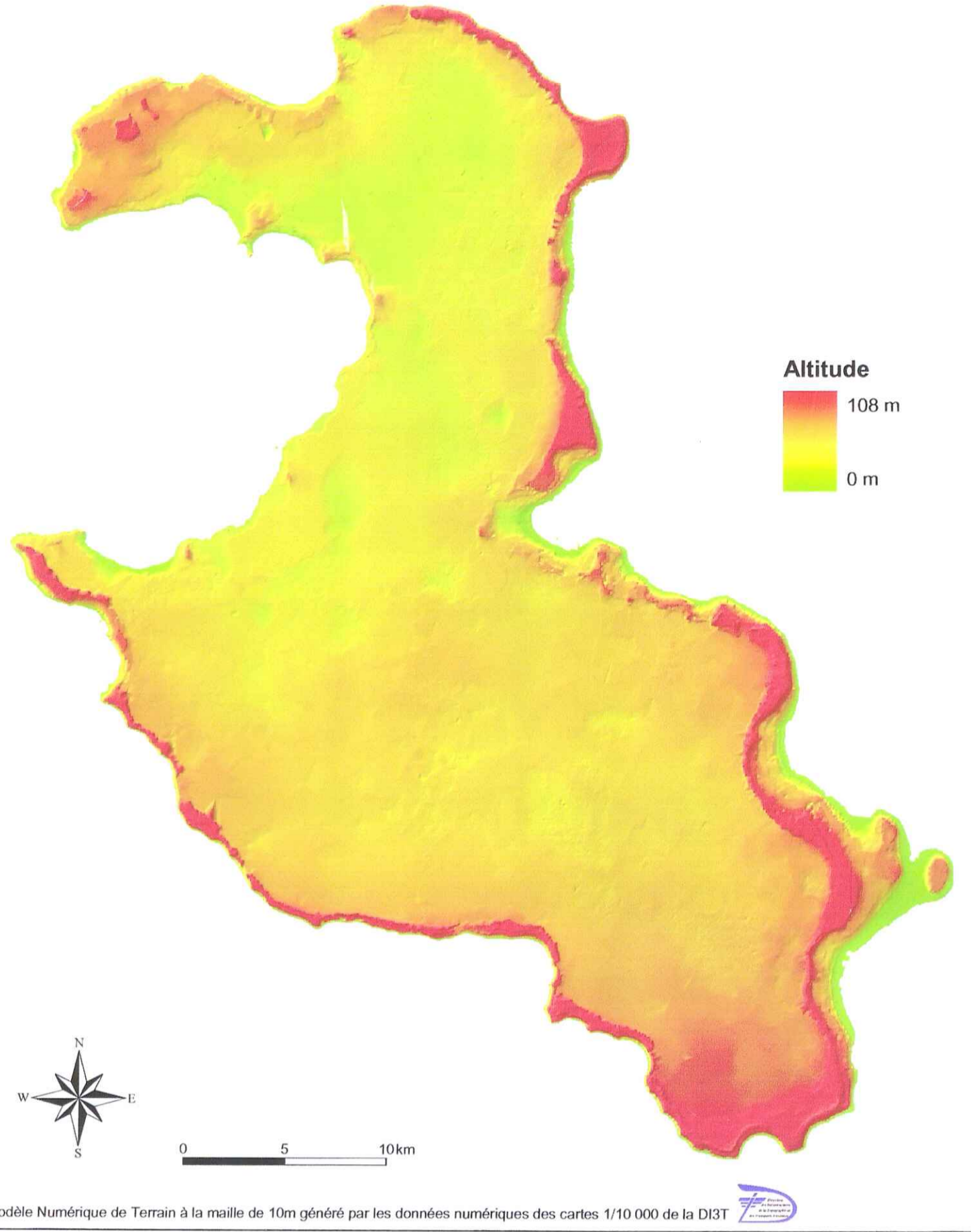


Géosciences pour une Terre durable

brgm

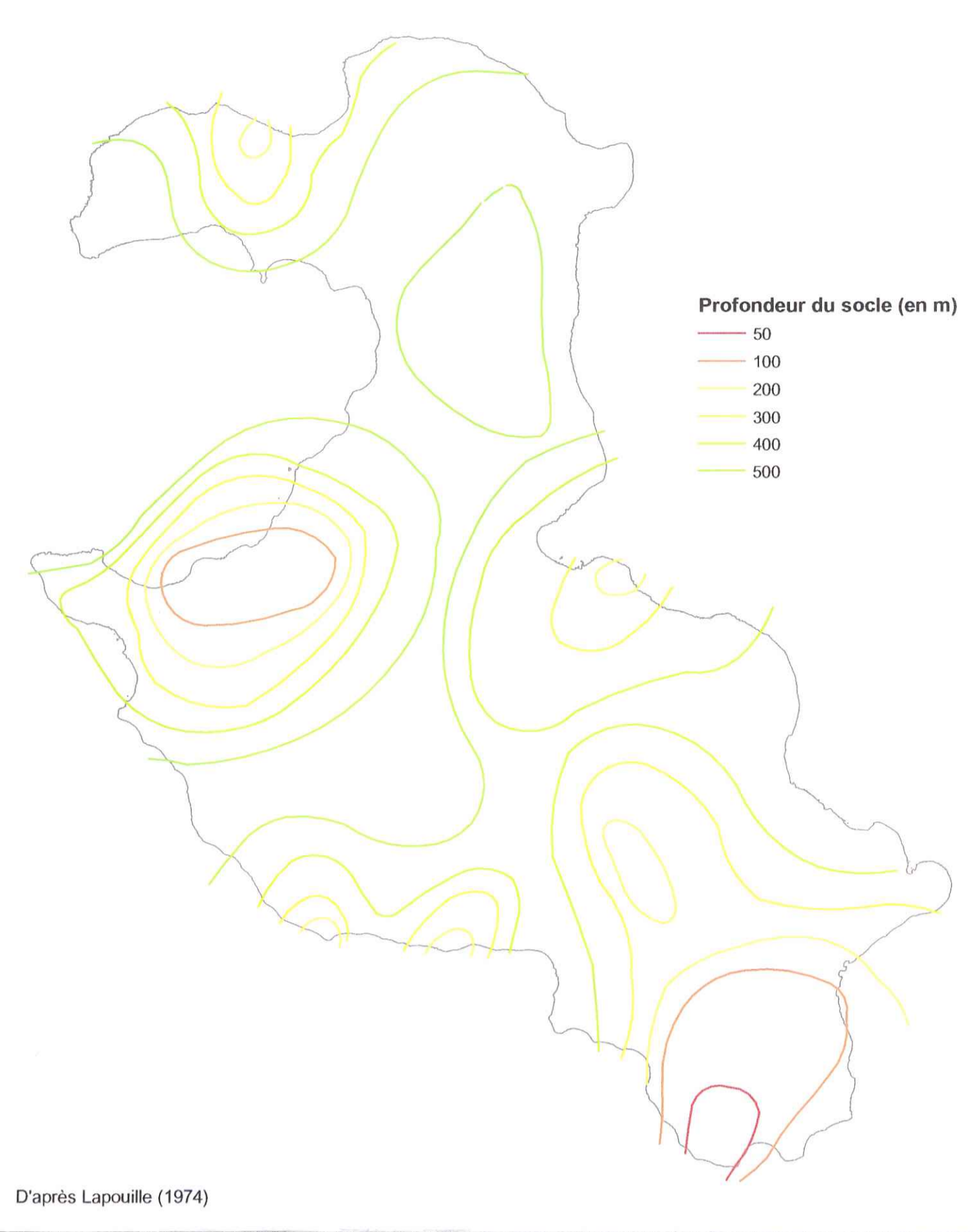
Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemain
BP 6009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

BRGM antenne Nouvelle-Calédonie
Service des Mines et de l'Energie
BP 465
98 845 – Nouméa Cédex - Nouvelle-Calédonie
Tél. : (687) 27 02 36



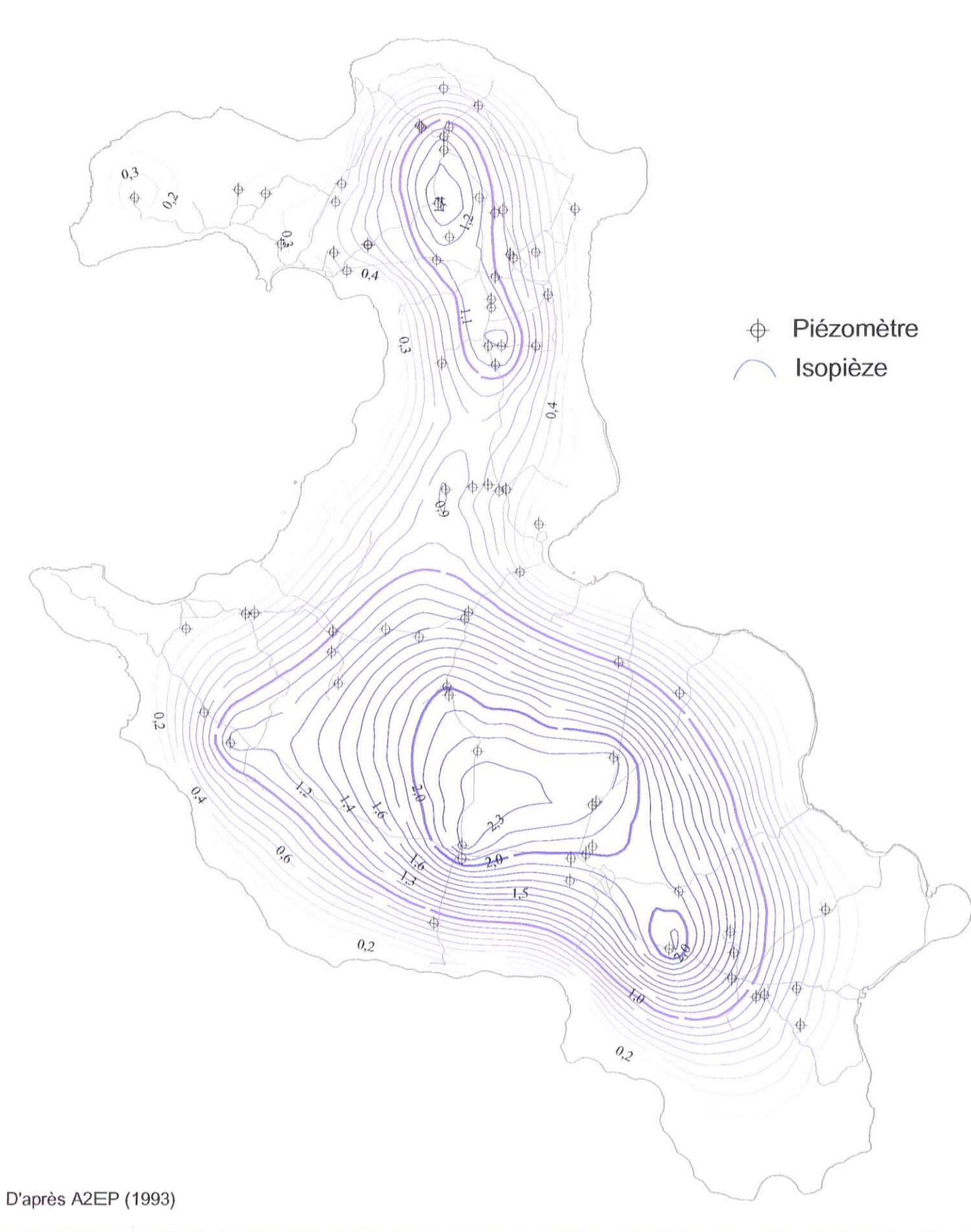
Modèle Numérique de Terrain à la maille de 10m généré par les données numérisées des cartes 1/10 000 de la DDT

Profondeur du socle volcanique



D'après Lapouille (1974)

Données hydrogéologiques

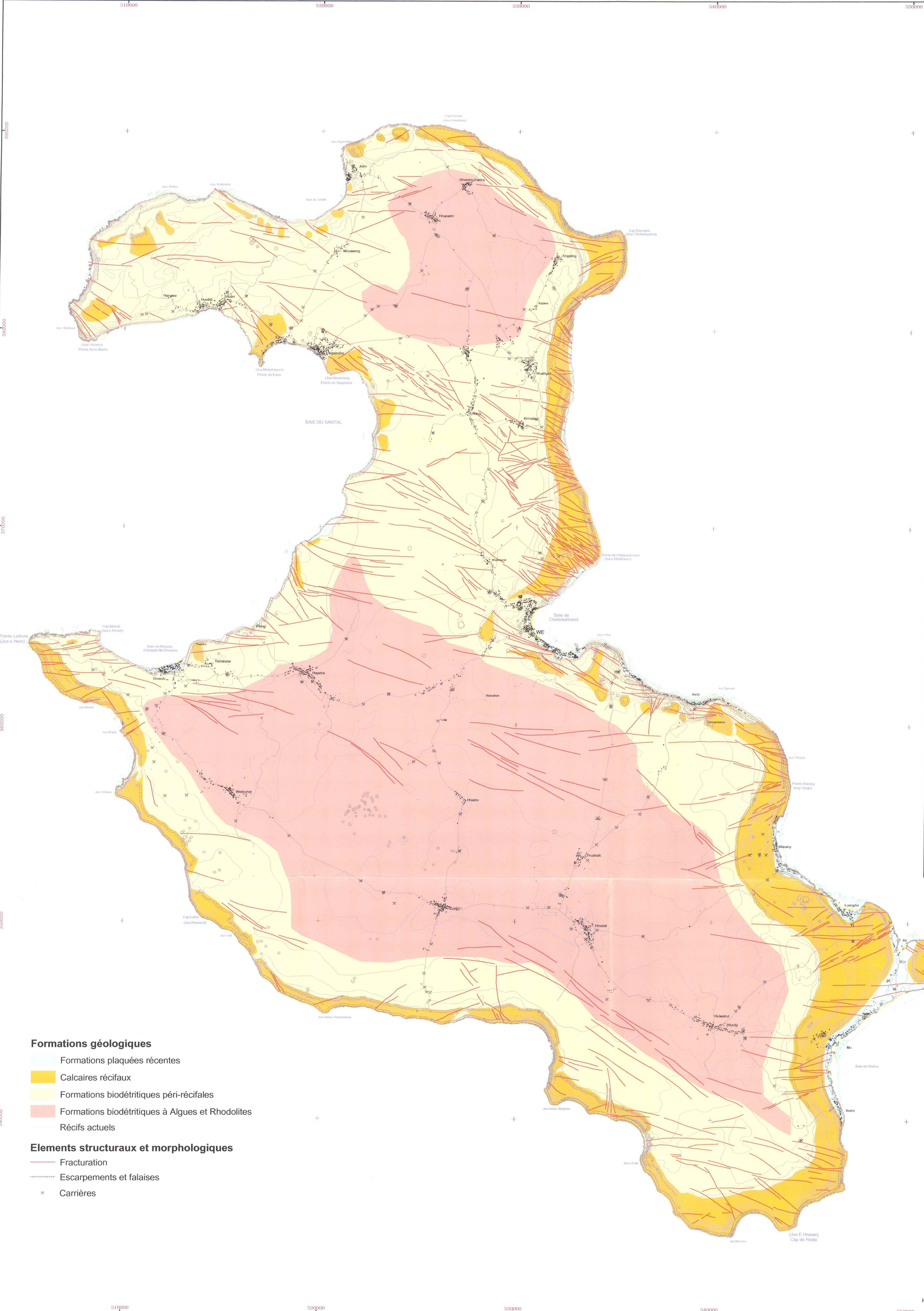


D'après AZEP (1993)

Zones karstiques et cavités souterraines



D'après D. Huaman, IRD (Programme SAGE, inédit)



- Formations géologiques**
- Formations plaquées récentes
 - Calcaires récifaux
 - Formations biodétritiques péri-récifales
 - Formations biodétritiques à Algues et Rhodolites
 - Récifs actuels
- Elements structuraux et morphologiques**
- Fracturation
 - Escarpements et falaises
 - Carrières

Terrasses

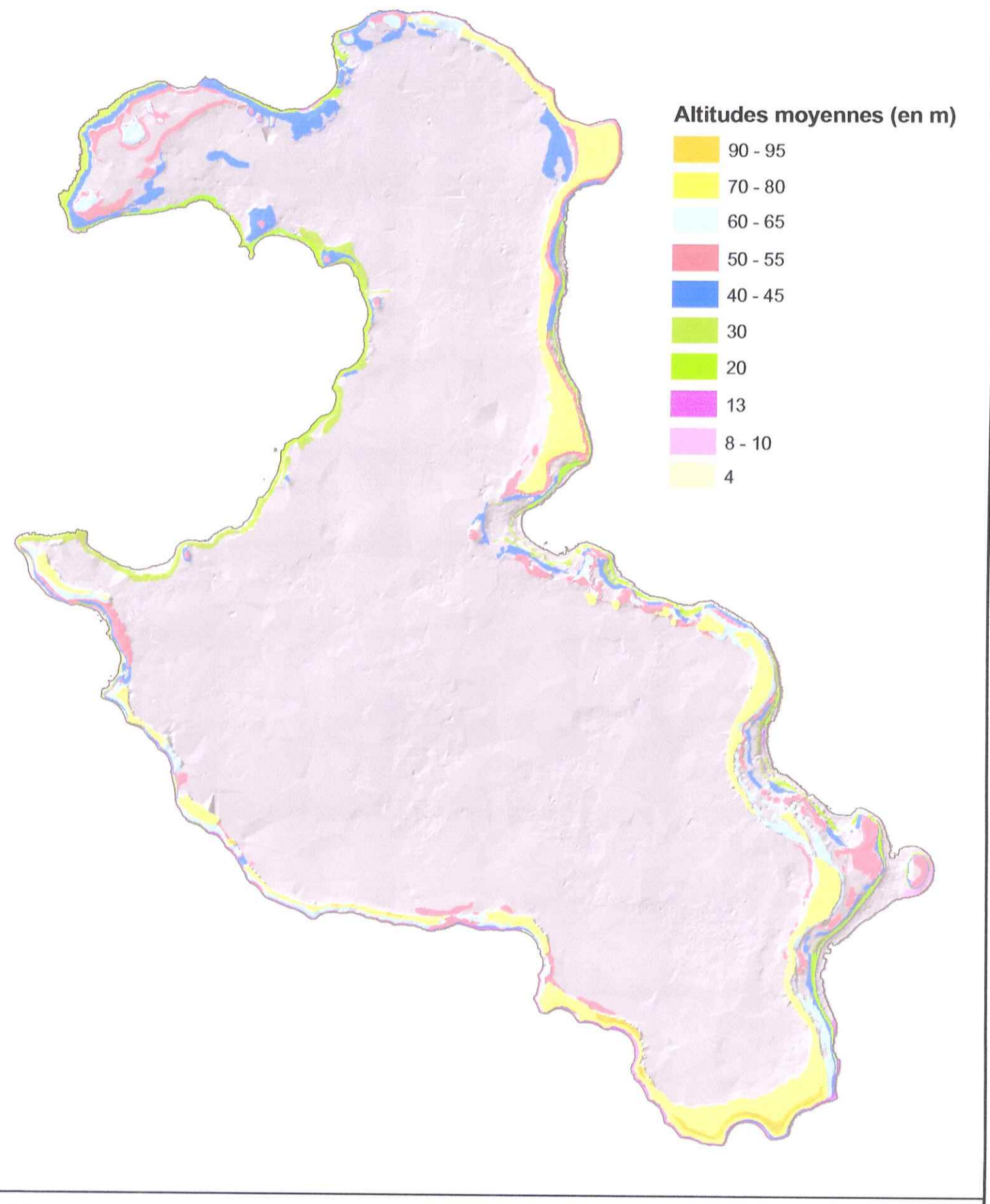


Image satellite

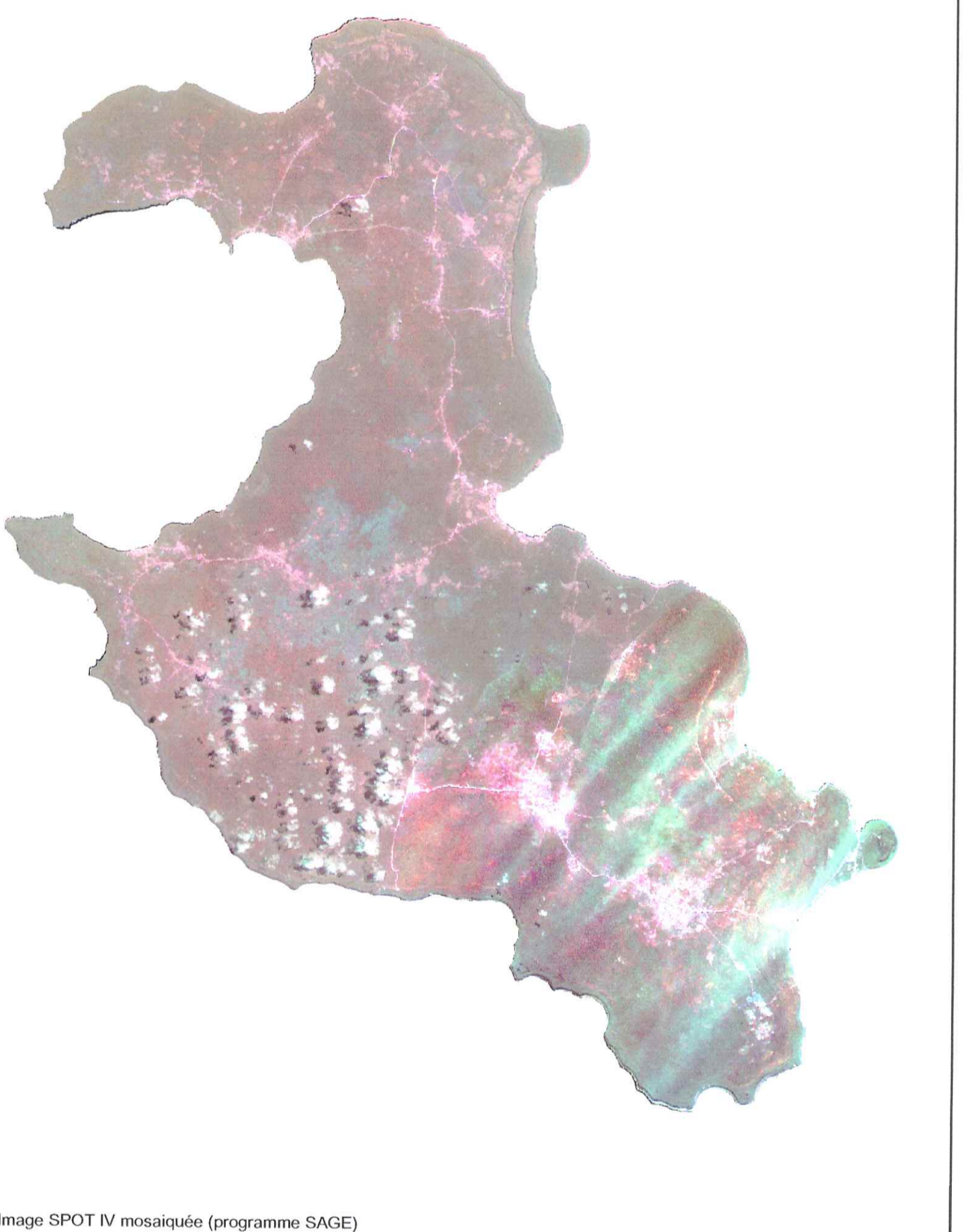


Image SPOT IV mosaïque (programme SAGE)

