MINISTERE DE L'INDUSTRIE
ET DE L'ENVIRONNEMENT

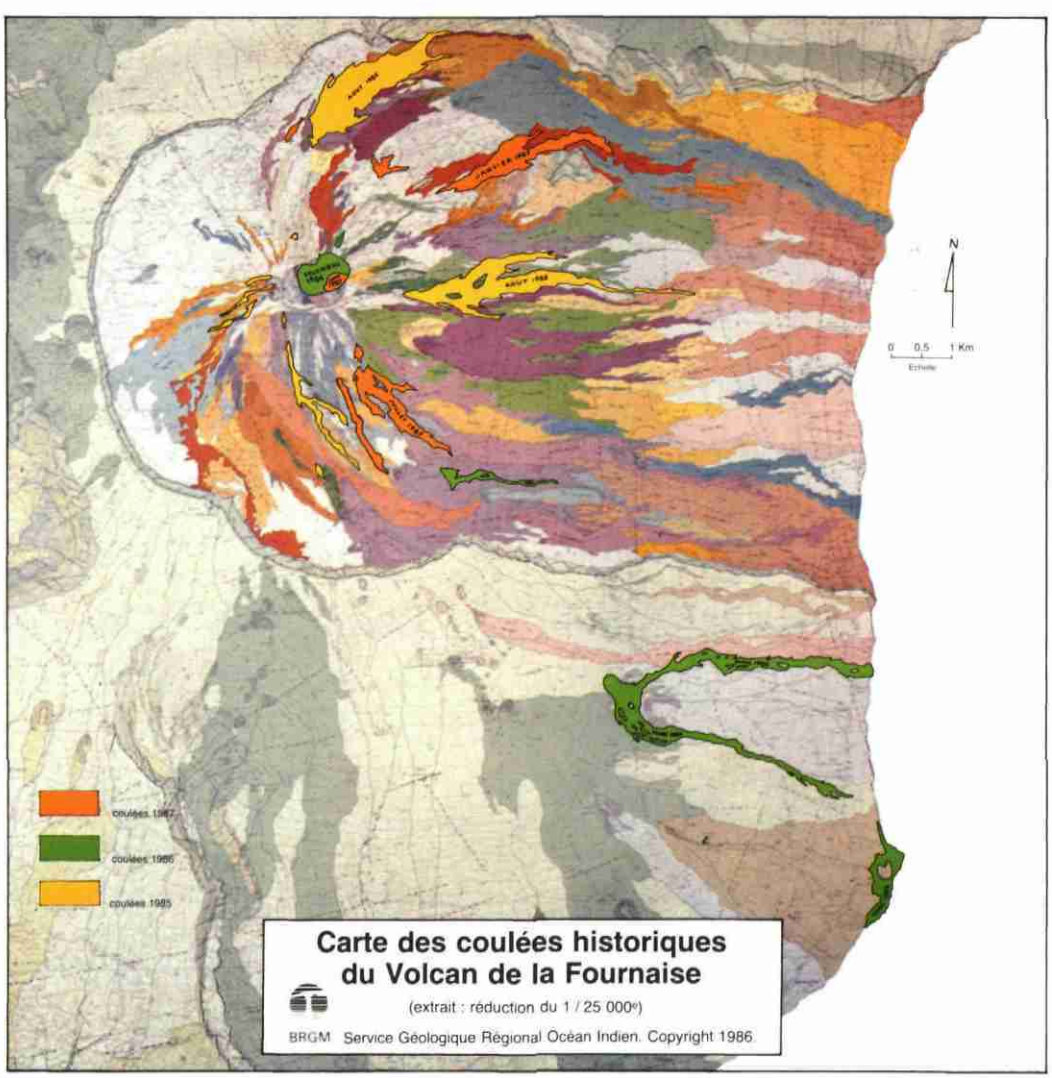
MINISTERE DE LA RECHERCHE
ET DE LA TECHNOLOGIE

B.R.G.M.
25. [illegible] 1992
BIBLIOTHEQUE

89 REU 01
Janvier 1989

BILAN DE L'ACTIVITE DE RECHERCHE AU SGR OCEAN INDIEN, 1980 - 1988

PERSPECTIVES POUR LE Xe PLAN, 1989 - 1993



BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIERES
Etablissement Public à Caractère Industriel et Commercial

SERVICE GÉOLOGIQUE RÉGIONAL
OCÉAN INDIEN

46 Bis, rue de Nice — B.P. 1206
97484 ST DENIS Cédex

Tél. 21-22-14

Télex 916 372 RE

BRGM

BRGM

MINISTERE DE L'INDUSTRIE
ET DE L'ENVIRONNEMENT

MINISTERE DE LA RECHERCHE
ET DE LA TECHNOLOGIE

BILAN DE L'ACTIVITE DE RECHERCHE AU SGR OCEAN INDIEN, 1980 - 1988

PERSPECTIVES POUR LE Xe PLAN, 1989 - 1993

Laurent Stieltjes

BUREAU DE RECHERCHES
GÉOLOGIQUES ET MINIERES
blissement public
aractère industriel
et commercial

RVICE GÉOLOGIQUE RÉGIONAL
OCÉAN INDIEN
46 Bis, rue de Nice
B. P. 1208
97484 ST DENIS Cédex
Tél. 21-22-14
Télex 916 372 RE

89 REU 01
Janvier 1989

89 REU 01
Janvier 1989

BILAN DE L'ACTIVITE DE RECHERCHE AU SGR OCEAN INDIEN, 1980 - 1988

PERSPECTIVES POUR LE Xe PLAN, 1989 - 1993

R E S U M E

L'activité de recherche scientifique a représenté en moyenne 12 % de l'activité globale annuelle du S.G.R. Océan Indien de 1980 à 1988. De 1982 à 1988, elle a oscillé de 12 % à 16 % de l'activité, toujours légèrement supérieure à l'activité de Service Public (7 % à 14 %).

Nous la considérons comme une nécessité au niveau individuel et collectif pour maintenir la qualité des prestations d'ingéniérie , développer l'esprit d'innovation et d'ouverture des ingénieurs, assurer la formation continue du personnel et, par là, conforter l'image de marque du BRGM dans sa connaissance régionale. Par ailleurs, elle nous a donné le recul nécessaire pour contribuer à la réflexion stratégique sur les planifications à moyen et long terme.

Les thèmes de recherche ont couvert les divers domaines de la géologie appliquée en milieu volcanique développés dans nos prestations :

- *volcanologie, de 1980 à 1988,*
- *hydrogéologie, de 1981 à 1988,*
- *géothermie, de 1980 à 1982,*
- *risques naturels, de 1983 à 1988,*
- *géologie régionale, en 1984,*
- *environnement littoral, en 1985.*

Les financements des actions de recherche ont été supportés en majorité par l'Etat (F.P. recherche - Ministère Industrie - ; CORDET - Ministère Recherche et DOM-TOM - ; Ministère Environnement puis des Risques Majeurs ; Ministère Agriculture ;...) mais aussi par les Collectivités Locales (Région essentiellement, et Département).

La collaboration avec les organismes extérieurs a concerné :

- *13 Universités françaises (26 collaborateurs),*
- *3 Ecoles d'Ingénieur (7 collaborateurs),*
- *3 Instituts ou Centres Spécialisés (4 collaborateurs),.*
- l'U.S. Geological Survey (1 collaborateur).

Les publications couvrent une vaste gamme de production :

- *articles dans revues internationales (en anglais) : 3*
- *articles dans revues internationales (en français) : 10*
- *articles dans congrés (en anglais) : 5*
- *thèses : 5.*
- *cartes géologíques (1/25 000e, 1/50 000e et 1/200 000) : 3.*
- *documents de synthèse régionalé (atlas, revue spécialisée): 2.*
- *rapports scientifiques BRGM : 35.*
- *mémoires de maîtrise, DESS, DEA, école ingénieur : 13*

***Les orientations de la recherche pour le Xe Plan** (1989-1993) concernent les thèmes suivants :*

- *le cycle de l'eau en milieu volcanique ;*
- *les risques naturels et anthropiques ;*
- *les matériaux, roches et minéraux industriels en milieu volcanique ;*
- *le développement de méthodologies et d'outils d'aide à la décision : C.A.O., bases de données informatisées, télédétection, synergie des approches méthodologiques.*

SOMMAIRE

RESUME

Pages

1 - DESCRIPTION ET EVOLUTION DU SGR OCEAN INDIEN 1

2 - EVOLUTION DU POTENTIEL SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU SGR OCEAN INDIEN 3

2.1 - Ressources humaines 3

2.2 - Rapports, publications, mémoires et thèses soutenues 4

2.3 - Ressources financières 5

3 - RELATIONS ENTRE LE SGR OCEAN INDIEN ET LES ORGANISMES DE RECHERCHE 6

3.1 - Ecoles, instituts et universités d'origine des stagiaires et des VAT du SGR Océan Indien de 1980 à 1988 6

4 - BILAN DU DEVELOPPEMENT DE L'ACTIVITE DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE DE 1980 à 1988 7

4.1 - Motivations du développement de l'activité de recherche au SGR Océan Indien 7

4.2 - Part de la recherche dans l'activité du SGR 7

4.3 - Thèmes de recherche 9

4.4 - Orientations thématiques futures 10

4.5 - Origines des soutiens financiers 10

4.6 - L'effort de recherche sur la vie du SGR 10

4.7 - La perception par Orléans de l'activité de recherche du SGR Océan Indien 11

5 - THEMATIQUE ET PRIORITES DU SGR OCEAN INDIEN EN MATIERE DE RECHERCHE POUR LE Xe PLAN (1989 - 1993) 12

5.1 - Le cycle de l'eau en milieu volcanique 12

5.2 - Risques naturels et anthropiques 12

5.3 - Matériaux, roches et minéraux industriels 13

5.4 - Développement de méthodologie et d'outils d'aide à la décision 13

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1 : Liste des stagiaires et des VAT du SGR Océan Indien, de 1978 à 1988, et de leur Université ou école d'origine.

ANNEXE 2 : Liste des rapports BRGM portant sur la recherche (1980 - 88).

ANNEXE 3 : Memoires de maîtrise, de DEA, et theses réalisés en relation avec le SGR Océan Indien (1980 - 88).

ANNEXE 4 : Resumés des publications présentées par le SGR Océan Indien (1980 - 88).

1 - DESCRIPTION ET EVOLUTION DU SGR OCEAN INDIEN

Le Service Géologique Régional de l'Océan Indien (SGR/OI) du BRGM a été officiellement implanté à la Réunion en 1974 à la demande des autorités locales pour constituer un appui permanent pour la mise en valeur des ressources, énergie, matériaux et substances utiles, activité volcanique, stabilité des sols et des pentes, équipements routiers et constructions, cartes thématiques, banques de données et fichiers spécialisés, ...

D'abord chargé de *missions ponctuelles* réalisées en prestations de service, l'activité du SGR/OI s'est progressivement étendue à des :

- *opérations pluriannuelles d'envergure régionale : géothermie, animation du Programme des Ressources en Eaux, cartographie des risques naturels (aménagement des cirques, POS, protection civile, ...) ;*

- *missions de réflexion et de planification : élaboration des programmes départementaux des ressources en eau (1980-1984) ; schéma directeur de mise en valeur des eaux souterraines (1984-88) ; Plan Régional Sous-Sol (1984-88) ; IXè Plan sur la recherche (Sciences de la Terre) ; programmes du Comité de l'Eau ;*

- *assistance technique et conseil aux autorités locales dans les domaines de sa compétence : eau, énergie, risques naturels, matériaux du sous-sol, routes et ouvrages, forages, information et documentation sous-sol, recherche, environnement et aménagement ;*

- *activité d'ingénièrie, de conseil et de formation dans l'Océan Indien : Mayotte (eau, matériaux et carrières, carte géologique, Comité de l'Eau, ...) ; Comores (documentation, carte géologique, ...) ; Seychelles (phosphates, eau, transferts de technologie, ...) ; Madagascar (eau, substances utiles, ...) ; Maurice (substances utiles, environnement, ...) ;*

- *programmes de recherche avec Universités, Instituts et Organismes de recherche français et étrangers : activité et risques volcaniques, géologie de l'ingénieur, mise en valeur des eaux souterraines, mécanique des sols en terrains volcaniques, matériaux et substances utiles (pouzzolanes, ponces, ...), exploitation d'images satellites pour le développement de l'aménagement...*

..

..

Depuis 10 ans, le SGR/OI a donc tissé un réseau de relations et de programmes de recherche et de formation avec 9 universités françaises, 3 écoles d'ingénieurs (voir annexe 1) dans le cadre de :

- *l'enseignement universitaire (conférences, séminaires spécialisés),*
- *la formation universitaire ou post-universitaire (postes de VAT),*
- *la recherche (mémoires, thèses, publications),*

et consacre entre 12 à 16% de son budget annuel depuis 3 ans à des activités de recherche qu'il considère comme un prolongement nécessaire à ses activités d'ingénièrie et de conseil pour maintenir la qualité de ses prestations et l'ouverture sur un monde technologique en évolution constante.

1 - *Enseignement universitaire* :

. conférences ou séminaires spécialisés en DEA : géothermie, géologie appliquée, géophysique, Université de Paris XI , de la Réunion

. mémoires de maîtrise (2) et de DEA (4), Universités de la Réunion, de Montpellier, de Paris XI, de Nancy, de Grenoble

2 - *Formation post-universitaire* :

. Postes de VAT (Volontaires à l'Aide Technique) ou de stagiaires après le DEA (1 an à 1 an 1/2), permettant aux jeunes étudiants d'avoir un 1er contact avec les réalités de la vie professionnelle de géologue attaché à une région volcanique.

16 postes de VAT (1977-1986) :
Universités de Clermont Ferrand, Paris IV, Paris XI, Nancy, Grenoble, Montpellier
Ecoles des Mines de Nancy
Ecoles des Mines de Paris

. 4 postes de stagiaires longue durée (plus de 6 mois) :
Universités de Bordeaux III, Grenoble I, la Réunion ,
CESA de Tours

. 3 stages de courte durée (1 à 6 mois) :
Ecole des Mines de Nancy et de Paris, Universités de Bordeaux III, Grenoble, Paris XI

3 - *Recherche* :

. Réalisation de thèses de IIIè cycle
3 thèses soutenues : Universités de Paris XI, Grenoble I, Bordeaux III
2 thèses en cours : Universités de Grenoble I, Paris XI

. Réalisation d'un mémoire libre (transformé en DES) : Université de Toulouse

. Publications diverses dans les revues spécialisées françaises et internationales

. Stages de recherche (1 à 6 mois) : Universités de Bordeaux III. Grenoble I, Paris XI

2 - EVOLUTION DU POTENTIEL SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU SGR OCEAN INDIEN

2.1 - Ressources humaines

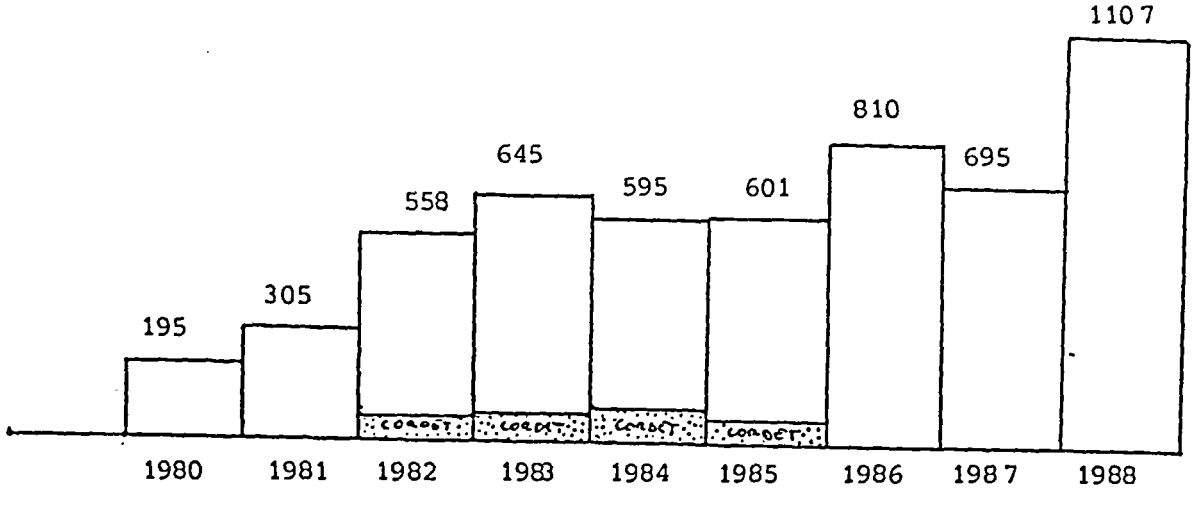
Année	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
Personnel (nombre)									
Ingénieurs BRGM	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Ingénieurs VAT	1	2	2	2	3	3	3	3	3
Thésards	1	1	2	2	1	1	1	1	1
Stagiaires longue durée	-	1	2	2	1	1	2	1	1
Stagiaires (mémoires fin études)	-	1	1	2	-	-	1	1	2

2.1 - Rapports, publications, mémoires et thèses soutenues

Année	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	TOTAL
Publications (nombre)										
Articles dans revues internationales ou congrès (en anglais)	1 (revue) 1 (congrès)	-	1 (revue)	-	2 (congrès)	1 (congrès)	-	-	1 (revue) 1 (congrès)	8
Articles dans revues internationales (en français)	-	1	-	-	3	-	-	-	6	10
Cartes géologiques ou thématiques	-	-	-	-	1	1	1	-	2 en cours	5
Rapports scientifiques	-	5	7	3	4	5	3	5	3	35
Mémoires de maîtrise, de DESS, DEA, d'école d'ingénieurs	-	-	1	3	2	1	2	1	3	13
Nbre Thèses	-	-	1	-	2	-	-	2	-	5
Thème			géothermie		- risque - eau			géothermie risque		
Document de synthèse régionale	-	-	-	-	1 Carte géologie Mayotte 1/50 000	1 carte volcan Fournaise 1/25 000	1 Atlas hydrogéologique	-	1 Numéro spécial revue Hydro-géologie	3

2.3 - Ressources financières

EVOLUTION DES CREDITS AFFECTES A LA RECHERCHE
SGR OCEAN INDIEN, 1980-1988.



3 - RELATIONS ENTRE LE SGR OCEAN INDIEN ET LES ORGANISMES DE RECHERCHE

3.1 - Ecoles, instituts et universités d'origine des stagiaires et des VAT du SGR Océan Indien de 1980 à 1988

ORGANISMES DE RECHERCHE		Nombre de collaborateurs	TOTAL
ECOLES d'INGENIEURS (3)	Mines de PARIS	2	
	Mines de NANCY	4	7
	ESEM d'ORLEANS	1	
INSTITUTS ET CENTRES SPECIALISES (3)	IRGM, GRENOBLE	2	
	CESA, TOURS	1	4
	IFOCOP, LYON	1	
UNIVERSITES (13)	AVIGNON	2	
	BESANCON	1	
	BORDEAUX I	1	
	BORDEAUX III	2	
	CLERMONT-FERRAND	2	
	GRENOBLE I	3	
	LYON	1	26
	MONTPELLIER	4	
	NANCY	1	
	PARIS IV (Jussieu)	1	
	PARIS XI (Orsay)	3	
	PERPIGNAN (IUT)	1	
	LA REUNION	3	
	TOULOUSE	1	
		TOTAL	37

4 - BILAN DU DEVELOPPEMENT DE L'ACTIVITE DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE de 1980 à 1988

4.1 - Motivations du développement de l'activité de recherche au SGR Océan Indien

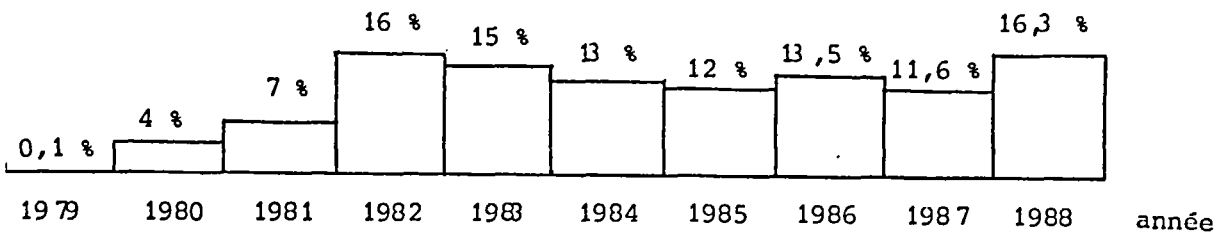
Depuis 1980, nous considérons l'activité de recherche au sein du SGR comme fondamentale pour asseoir notre image de marque sur la connaissance régionale, développer l'esprit d'invention et d'ouverture du personnel en même temps que sa formation continue, maintenir le contact avec les organismes extérieurs (Université, instituts,...) et accroître la qualité de nos prestations.

4.2 - Part de la recherche dans l'activité du SGR

L'activité de recherche scientifique s'est stabilisée depuis 1981 entre 10 et 15 % du volume de l'activité du SGR. C'est l'activité minimum que nous voudrions tenir, visant même une fourchette de 15 à 20 % pour les années à venir.

Activité de recherche du SGR/OI

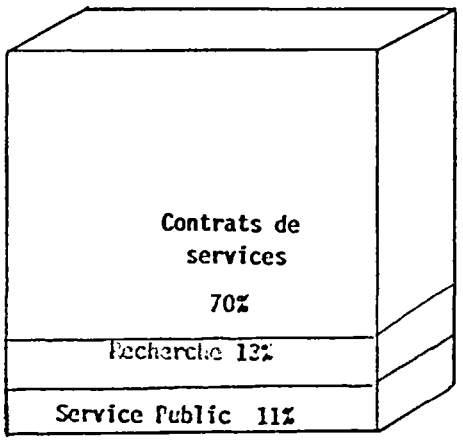
en % du volume global d'activité



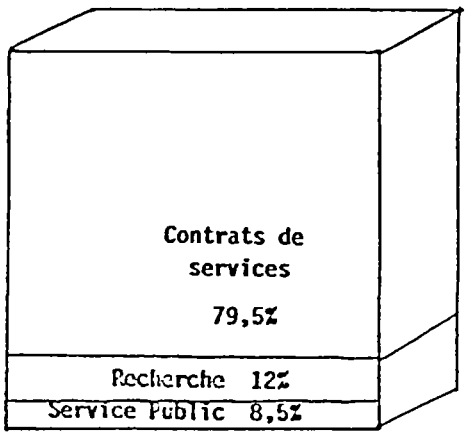
PLAN REGIONAL SOUS SOL 1984-88

Nature des prestations

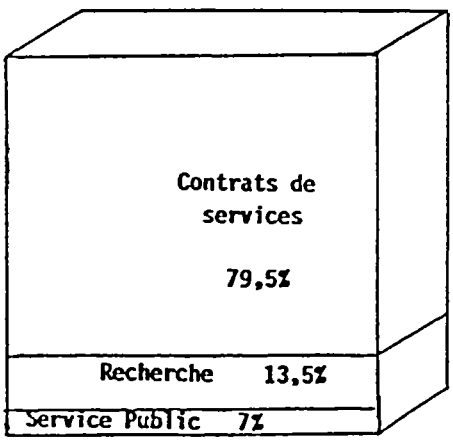
1984



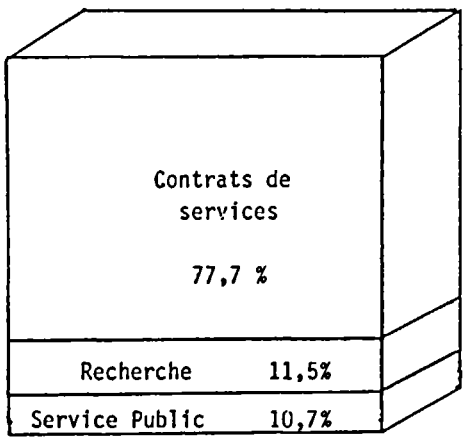
1985



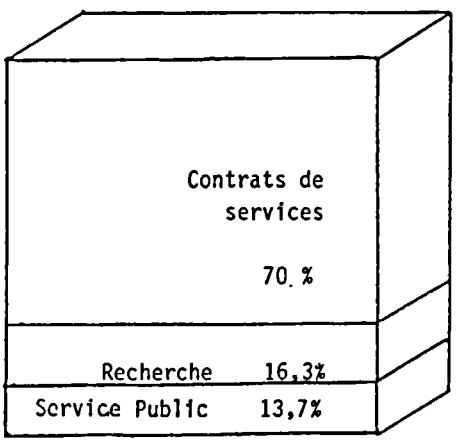
1986

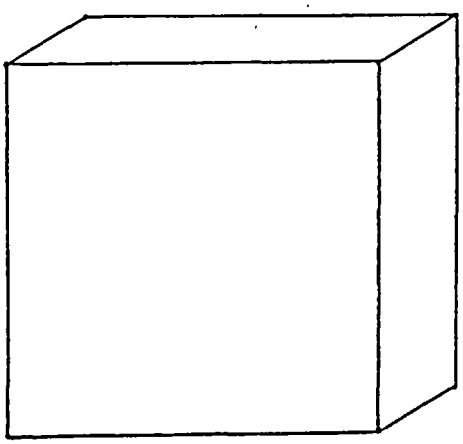


1987



1988





4.3 - Thèmes de recherche

L'action de recherche est diversifiée, organisée autour des grands thèmes développés dans nos prestations pour tiers dont elle doit être un complément. Elle a touché ainsi les principaux domaines de la géologie appliquée ou fondamentale du volcanisme, de manière continue (volcanologie, eau) ou discontinue :

- *volcanologie* *1980-88,*
- *hydrogéologie* *1981-88,*
- *géothermie* *1980-82,*
- *risques naturels* *1983-88,*
- *géologie* *1984,*
- *environnement littoral* *1985.*

Nous avons fait porter l'accent sur des approches nouvelles, parfois originales, des milieux volcaniques : stabilités des versants (2 thèses), évaluation du risque volcanique (une thèse en cours), hydrogéologie volcanique.

4.4 - Orientations thématiques futures

Ces axes de recherche, qui pont pour toile de fond la création sinon l'animation d'un "pôle de recherche sur le volcanisme Océanique" et d'un atelier régional spécialisé sur "l'hydrogéologie en milieu volcanique", seront poursuivis et développés au cours du Xe Plan (1989-93) en liaison plus étroite avec les départements et les ateliers régionaux spécialisés du BRGM.

4.5 - Origines des soutiens financiers

Au niveau du IXe Plan, malgré le contexte favorable, malgré nos propositions précises et considérées comme prioritaires pour certains (eau, énergie), aucun crédit de recherche pour les sciences de Terre n'a été mis en place à la Réunion (seules l'agriculture, la pêche, ont bénéficié du vent favorable), et donc pour le SGR.

Aucune convention pluriannuelle n'a pu être établie avec la Région par aucun des organismes de recherche locaux. Seule, l'Université a bénéficié d'un "contrat de plan Recherche".

Les soutiens financiers se sont donc restreints à des opérations ponctuelles :

- *environ 50 % sur fonds propres, Ministère de l'Industrie*
- *environ 5 % sur crédits CORDET, Ministère des DOM-TOM et Ministère de la Recherche*
- *environ 45 % sur crédits divers, essentiellement Région Réunion mais aussi Etat (DRM)*

4.6 - L'effort de recherche sur la vie du SGR

L'effort consenti sur la recherche pour une petite unité comme la nôtre (et qui plus est très éloignée de la métropole et des lieux scientifiques) est considérable. L'accueil, l'encadrement scientifique, technique administratif et matériel de jeunes chercheurs (VAT, stagiaires) d'une part la définition de programme de recherche cohérents et finalisés, la recherche de financements à notre propre initiative, sont autant de charge très pesantes (plusieurs stagiaires ou thèsards par an pour deux ingénieurs).

4.7 - La perception par Orléans de l'activité de recherche du SGR Océan Indien

Nos actions dans ce domaine, investissements à long terme et sans effets immédiats, mal perçus à Orléans de 1980 à 1982 ont d'abord été critiqués par la DSGN (trop de stagiaires pour un encadrement réduit) et par le Comité Scientifique (dispersion apparente des sujets et des efforts de recherche, concrétisation faible).

Cette mauvaise image a été redressée à l'occasion de la visite de P. SANGNIER (DSGN, décembre 1982), qui a pu juger que le développement de l'activité scientifique avait été menée de front avec le développement global du SGR, ce qui a retardé sa concrétisation sous forme de publications :

- *mise en place de nouvelles structures d'ingénièrie, de service public et de recherche sur l'eau, l'énergie, les risques naturels ;*

- *mise en place de structures originales sur les banques de données : activité volcanique, mouvements de terrains, zones inondables, activité sismique, et cartographie automatique associée.*

En 1984, la tendance générale de considérer la recherche scientifique comme un produit de luxe à réserver aux départements centraux, structurés, s'est inversée. Ceci à l'image nationale où l'on venait de s'apercevoir, alors, que le développement économique et l'emploi étaient liés à des technologies de pointe et à la recherche, et où le budget du Ministère de la Recherche avait pratiquement doublé.

Après avoir été à contre-courant de 1980 à 1982, puis à marée étale, l'effort de recherche du SGR/OI est beaucoup mieux ressenti depuis 1984 : les crédits scientifiques viennent appuyer nos projets, nous avons pu participer à deux congrès et présenter nos résultats (carte géologique évolutive du volcan de la fournaise, par l'utilisation de la C.A.O.). Ces contacts avec des chercheurs étrangers sont particulièrement importants pour des ingénieurs éloignés d'Orléans ou de Paris. Nous espérons en voir renouvellés : ils permettent de ponctuer, guider et concrétiser nos efforts de recherche.

5 - THEMATIQUES ET PRIORITES DU SGR OCEAN INDIEN EN MATIERE DE RECHERCHE POUR LE Xe PLAN (1989 - 1993)

5.1 - Le cycle de l'eau en milieu volcanique

- *connaissance et protection des ressources,*

  * *hydrodynamique des aquifères en milieu volcanique,*
  * *conceptualisation des aquifères volcaniques stratifiés,*
  * *modèles globaux d'écoulements,*
  * *cartes hydrogéologiques,*
  * *conditions structurales d'existence d'aquifères perchés,*
  * *hydrochilie ; pouvoirs filtrants des sols.*

- *gestion de la ressource,*

  * *exploitabilité des eaux douces dans les nappes côtières,*
  * *exploitabilité des nappes internes aux massifs volcaniques,*
  * *rôle régulateur des eaux souterraines dans la ressource.*

*5.2 - **Risques naturels et anthropiques** : mouvements de terrains et inondations, volcanisme et sismicité*

- *Développement de programmes de recherches originaux sur les risques naturels en milieu volcanique :*

  * *surveillance et suivi de l'activité volcanique (méthodes physiques, géologie, cartographie),*
  * *écoulements fluides (laves volcaniques, laves boueuses),*
  * *mécanique des sols et des roches : stabilité des pentes,*
  * *sismicité régionale,*
  * *méthodes de surveillance télémétrée des riques naturels et réseaux.*

- *Développement des efforts scientifiques de suivi de zones particulièrement sensibles*

  * *glissements de grande ampleur,*
  * *écailles rocheuses actives,*
  * *zones faillées actives.*

- *Etude de l'influence de l'homme en tant qu'agent géodynamique : aménagements, agriculture*

5.3 - Matériaux, roches et minéraux industriels

- *Maîtrise de la ressource en matériaux (ravines, carrière) et des conséquences sur l'environnement :*

  * *connaissance géologique et volumétrique des sources d'approvisionnement des matériaux des ravines,*
  * *maîtrise des contraintes (sur l'érosion, les mouvements de terrains, les inondations) de l'exploitation des granulats en ravines et en carrières,*
  * *contrôle de l'exploitation et de la gestion des ressources naturelles en granulats et en substances utiles.*

- *Roches et minéraux industriels (R.M.I.)*

  * *connaissance des matériaux d'origine volcanique :*

    . *caractéristiques intrinsèques,*
    . *géologie.*

5.4 - Développement de méthodologies et d'outils d'aide à la décision

5.4.1 - Cartographie assistée par ordinateur (C.A.O.)

- Cartographie assistée par ordinateur (C.A.O.) des variables géographiques pertinentes à 1/25 000e sur fond cadastral (déjà amorcée par la Région depuis 1985) :

  * hydrogéologie et géologie,
  * risques naturels,
  * population,
  * habitat,
  * réseaux de communication,
  * plan d'aménagement,
  * industrie, agriculture, artisanat,
  * ressources naturels, protection des ressources.

- Etablissement de documents opérationnels d'orientation : (POS, PER,...) aux échelles 1/10 000e, 1/5 000e.

- Réalisation d'un atlas des risques naturels.

5.4.2 - Bases de données informatisées

- *Bases de données régionales sur les risques naturels, les ressources naturelles, leur protection :*

    * *fichier régional spécialisé "inondation" (logiciel "Microfact"),*
    * *ressources sous-sol : eau, matériaux,...*
    * *pollution, vulnérabilité des nappes,*
    * *bilan hydrologique.*

- *Création de bases de données sur l'aménagement compatibles avec la C.A.O.*

    * *cadastre, POS, plans d'aménagement,*
    * *habitat, population,*
    * *réseaux communication,*
    * *industrie, agriculture, artisanat,...*
    * *...*

- *Couplage des fichiers de données à la cartographie assistée par ordinateur (C.A.O.).*

5.4.3 - Télédétection : exploitation d'images satellites

- *Développement et traitement d'image satellite (SPOT, Thématic Mapper,...).*

- *Interprétation géologique des données :*

    * *risques naturels,*
    * *structures géologiques.*

5.4.4 - Synergie des approches méthodologiques

- *Synthèses cartographiques multicritères par mariage de cartes et d'images : couplage du traitement d'objets cartographiques pertinents (CAO, bases de données urbaines - BDU -), et d'images multispectrales (télédétection par satellite).*

A N N E X E S

ANNEXE 1 : Liste des stagiaires et des VAT du SGR Océan Indien, de 1978 à 1988, et de leur Université ou école d'origine.

ANNEXE 2 : Liste des rapports BRGM portant sur la recherche (1980 - 88).

ANNEXE 3 : Mémoires de maîtrise, de DEA, et thèses réalisés en relation avec le SGR Océan Indien (1980 - 88).

ANNEXE 4 : Résumés des publications présentées par le SGR Océan Indien (1980 - 88).

A N N E X E 1

LISTE DES STAGIAIRES ET DES VAT DU SGR OCEAN INDIEN, DE 1978 à 1988, ET DE LEUR UNIVERSITE OU ECOLE D'ORIGINE

BRGM

Service Géologique Régional
OCÉAN INDIEN

V.A.T. et STAGIAIRES*

PERIODE	NOM	QUALIFICATION	UNIVERSITE D'ORIGINE
sept. 77 à déc. 78	TRICOT Bernard	DEA volcanisme	Clermont-Ferrand (labo : Vincent)
sept. 78 à déc. 79	ROBERT Daniel	DEA géologie structurale	Paris VI (labo : Auboin)
déc. 79 à mars 81	RANCON Jean-Philippe	DEA pétrologie-volcanisme	Orsay (labo : Brousse)
	*AMBROSETTI François	DESS Minéralogie	Toulouse
déc. 80 à mars 82	LUSTREMANT Dominique	Maîtrise	Nancy
déc. 80 à mars 82	ROCHER Philippe	Maîtrise	Clermont-Ferrand et Orsay
avril 81 à avril 82 mai 82 à mars 83 juil. 83 à oct. 83	*BARGEAS Alain	DEA hydrogéologie	Bordeaux III
avril 82 à juin 83	PINCHINOT Hervé	DEA géologie appliquée	Grenoble (IRIGM) (labo : Antoine)
mai 82 à juin 82	*RIGAL Didier	MST hydrogéologie	Montpellier (labo : Drogue)
sept. 82 à déc. 83	ROUSSET Philippe	DEA hydrogéologie Thèse IIIe cycle	Grenoble (labo : Sarrot/Reynault)
jan. 83 et juin 83	*GRUCHET Joëlle	DEUG	Réunion (Univ. Chaudron)
juin 83 à déc. 83	*CALICHIAMA Catherine	DEUG	Réunion (Univ. Chaudron)
sept. 83 à déc. 84	LEREBOUR Patrice	DEA volcanologie et géothermie	Orsay Paris IX (labo : Brousse)
sept. 83 à déc. 84	BARRIERE Alain	MST géophysique DEA milieux physiques	Grenoble (IRIGM) (labo : Antoine)
sept. 83 à déc. 84	COURGAND Bernard	DEA hydrogéologie These IIIe cycle	Grenoble (labo : Sarrot/Reynault)
sept. 84 à juin 85	*HAURIE Jean-Louis	DEA géologie appliquée	Grenoble (IRIGM) (labo : Antoine)
déc. 84 à mars 86	DELORME Marc	Ingénieur des Mines	Paris (Ecole des Mines)
déc. 84 à mars 86	MARTY Eric	Ingénieur des Mines	Paris (Ecole des Mines)
déc. 84 à mars 86	MOUTOU Philippe	Ingénieur géologue	Nancy (E.N.S.G.)

BRGM

Service Géologique Régional
OCÉAN INDIEN

V.A.T. et STAGIAIRES*
(suite)

PERIODE	NOM	QUALIFICATION	UNIVERSITE D'ORIGINE
déc. 86 à mars 87	CHAUVEL Laurent	Ingénieur géologue	Nancy (E.N.S.G.)
déc. 86 à mars 87	LAFFORGUE Thierry	DEA matières premières minérales et énergétiques	Orsay Paris IX (labo : Brousse)
déc. 86 à mars 87	POMME Jean-Baptiste	DEA Hydrogéologie	Montpellier (labo : Drogue)
juin 86 à aout 86	*VANDENABELLE Valérie	DUT géologie appliquée Option agronomie	Perpignan (Institut Universitaire de technologie)
juil. 86 à oct. 86	*TYMINSKI Jean	BTS gestion	Rungis (IFOCOP)
déc. 87 à mars 88	AZEMARD Pierre	Ingénieur géologue	Nancy (E.N.S.G.)
déc. 87 à mars 88	MASSELOT Laurent	DEA matières premières minérales et énergétiques	Orsay Paris IX (labo : Brousse)
déc. 87 à mars 88	STREF Philippe	DEA hydrogéologie	Montpellier (labo : Drogue)
février 87	*LOWINSKY J. Fabrice	–	IRFREP (F.O.L.)
février 87	*VINCENT Georges	–	IRFREP (F.O.L.)
26/01 au 14/02/87	*LOPAYER Sosthène	–	GRETA
avril 87 à juil. 87	*CANDOLFI Jean-Marie	Ingénieur	Orleans (ESEM)
juil. 87 à sept. 87	*FLEURIE Constantin	MST géologie pratique	Bordeaux III
déc. 88 à mars 89	JOIN Jean-Lambert	DEA hydrogéologie	Montpellier
déc. 88 à mars 89	VERDIER Philippe	Ingénieur géologue	Nancy (E.N.S.G.)
juin 88 à sept. 89	DENERVAUD Laurent	DESS géologie appliquée	Besancon
janv. 88 à avril 89 juin 88 sept. 88 à dec. 88	*DECELLE Catherine	DESS aménagement du territoire	Tours
juin 88 à juil. 88	*LANDRIEU Patricia	BTS Bureautique	Lycée Butor
juil. 88 à sept. 88	*BOULIN Sophie	Licence gestion de l'eau	Avignon
juil. 88 à août 88	*COURTEAUD Michel	MST géologie pratique	Bordeaux III
déc. 88 à mars 89	DUCHAMPS Jean-Marc	DEA géologie (doctorat de l'Université)	E.N.S.M. Paris

A N N E X E 2

LISTE DES RAPPORTS BRGM PORTANT SUR LA RECHERCHE (1980 - 1988)

FICHIER DOCUMENTATION
REUNION

NUMERO DE RAPPORT	AUTEURS	THEME	SOUS-THEME	TITRE	DEMANDEUR	LIEU GEOGRAPHIQUE
81REU03	L.STIELTJES	RISQUES GEOLOGIQUES,ECONOMIE,SYNTHESE RE	EROSION	Aspects techniques et socio-économiques de l'érosion accélérée des terrains volcaniques de l'Ile de la Réunion	FONDS PROPRES,RECHERCHE	REUNION
81REU05	D.LUSTREMANT	RISQUES GEOLOGIQUES	MOUVEMENT TERRAIN	L'éboulement d'extension catastrophique de Grand Sable, cirque de Salazie - Etude bibliographique	FONDS PROPRES,RECHERCHE	REUNION,SALAZIE
81REU17	J.VOGT	RISQUES GEOLOGIQUES,SYNTHESE REGIONALE	SISMICITE	Sismicite des Mascareignes. Premiers éléments de sismicite historique	FONDS PROPRES,RECHERCHE	REUNION,MAURICE
81REU24	A.BARGEAS	EAU	METHODOLOGIE,HYDROLOGIE	Utilisation d'une calculatrice de poche programmable pour resoudre des problèmes hydrologiques	FONDS PROPRES,RECHERCHE	
82REU02	A.BARGEAS	EAU	BILAN HYDROLOGIQUE,CLIMATOLOGIE	Inventaire et collecte des données hydroclimatologiques et appréciations de la pluie efficace sur l'ensemble de l'Ile	FONDS PROPRES,RECHERCHE,SERVICE PUBLIC	REUNION
82REU03	C.CALICHIANA,J.GRUCHET,P.ROCHE	BANQUE DE DONNEES,RISQUES GEOLOGIQUES	FICHIERS SPECIALISES,ACTIVITE VOLCANIQUE	Inventaire chronologique des évènements volcaniques historiques du Piton de la Fournaise de 1640 a 1981 (Ile de la Réuni	FONDS PROPRES,RECHERCHE	REUNION,FOURNAISE,PLAINE PALMISTES,ST JOSEPH,
82REU17	D.RIGAL	EAU,SYNTHESE REGIONALE	HYDROLOGIE	Approche hydrologique de l'Ile de Mayotte	DIRECTION EQUIPEMENT MAYOTTE,FONDS PROPR	MAYOTTE
82REU32	D.RIGAL	EAU	HYDROLOGIE	Hydrologie des cours d'eau de Mayotte à la saison sèche 1982	FONDS PROPRES,RECHERCHE	MAYOTTE
82REU35	L.STIELTJES	RISQUES GEOLOGIQUES	ACTIVITE VOLCANIQUE	Fournaise Volcano Activity	FONDS PROPRES,RECHERCHE	REUNION,FOURNAISE
83REU14	J.P.RANCON	ENERGIE,GEOLOGIE	GEOTHERMIE,MINERALOGIE	Les paragenèses hydrothermales dans différents champs géothermiques mondiaux. Application au suivi d'un forage profon	CORDET,FONDS PROPRES,RECHERCHE	TERRE,REUNION
83REU18	H.PINCHINOT	RISQUES GEOLOGIQUES	EROSION,MOUVEMENT TERRAIN	Erosion et mouvements de terrains du secteur de Grand Ilet (cirque de Salazie) - rapport préliminaire	CORDET,FONDS PROPRES,RECHERCHE	REUNION,SALAZIE
83REU20	C.CALICHIANA,J.GRUCHET	RISQUES GEOLOGIQUES	MOUVEMENT TERRAIN	Inventaire des mouvements de terrains à la Reunion depuis 1718 d'après les recherches d'archives	REGION,FONDS PROPRES,RECHERCHE	REUNION
83REU21	F.AMBROSETTI	GEOLOGIE	MINERALOGIE,PETROLOGIE,STRATIGRAPHIE	Essai de caractérisation minéralogique des séries des phases volcaniques III et IV. Exploitation de données de sondages	FONDS PROPRES,RECHERCHE	REUNION,ST PAUL,TROIS BASSINS,ST LEU
83REU23	L.STIELTJES	RISQUES GEOLOGIQUES	MOUVEMENT TERRAIN	Eboulement de grande extension du Piton des Neiges (Rond du Bras Rouge)	FONDS PROPRES,RECHERCHE	REUNION,CILAOS
84REU15	A.BARGEAS	EAU	RESSOURCES,BILAN HYDROLOGIQUE,MODELISATION	Evaluation globale de la ressource en eau de l'Ile de la Reunion. Apports de la simulation par modèles hydrologiques	FONDS PROPRES,RECHERCHE	REUNION
84REU25	H.PINCHINOT	RISQUES GEOLOGIQUES	EROSION,MOUVEMENT TERRAIN	Etude géologique des formations superficielles du proche substratum de Grand Ilet (cirque de Salazie). Applications a	FONDS PROPRES,RECHERCHE,CORDET	REUNION,SALAZIE
84REU33	P.LEREBOUR,Ph.MOUTOU	RISQUES GEOLOGIQUES	ACTIVITE VOLCANIQUE	L'activité volcanique du Piton de la Fournaise de décembre 1983 à février 1984	FONDS PROPRES,RECHERCHE	REUNION,ST PHILIPPE,STE ROSE
84REU34	J.L.HAURIE	GEOLOGIE,GENIE CIVIL	CARTOGRAPHIE,STABILITE PENTE	Cartographie géologique du secteur Mare à Vieille Place - Mare à Citrons (cirque de Salazie). Ebauche du comportement g	FONDS PROPRES,RECHERCHE	REUNION,SALAZIE
85REU19	L.STIELTJES,M.STEENHOUDT,M.DAE	EAU	BILAN,GESTION,RESSOURCES	Bilan des ressources, besoins et de la gestion de l'eau à la Reunion	FONDS PROPRES,RECHERCHE	REUNION
85REU29	M.DELORME	RISQUES GEOLOGIQUES,ENVIRONNEMENT	EROSION,MOUVEMENT TERRAIN,ETUDE D'IMPACT	Erosion accélérée dans le Cirque de Cilaos : l'éboulement de grande ampleur du Rond du Bras Rouge ; transports solides	FONDS PROPRES,RECHERCHE,CORDET	REUNION,CILAOS
85REU33	M.DAESSLE,E.MARTY	EAU	HYDROCHIMIE,RESSOURCES	Evaluation de la ressource renouvelable des nappes perchées. Suivi de la source Barrois (St Paul). Etude hydrochimique	FONDS PROPRES,RECHERCHE	REUNION
85REU35	Ph.MOUTOU	BANQUE DE DONNEES,RISQUES GEOLOGIQUES	FICHIERS SPECIALISES,ACTIVITE VOLCANIQUE	Notice d'emploi du fichier "activité volcanique"	FONDS PROPRES,RECHERCHE	REUNION,FOURNAISE,ST PHILIPPE,STE ROSE
85REU36	H.PINCHINOT	GEOLOGIE,RISQUES GEOLOGIQUES	CARTOGRAPHIE,EROSION,MOUVEMENT TERRAIN	Etude géologique des formations superficielles et du proche subs- tratum à Grand Ilet	FONDS PROPRES,RECHERCHE	REUNION,SALAZIE
86REU03	K.ISHIHARA,M.IOUCHI,K.KAMO	RISQUES GEOLOGIQUES	RISQUE VOLCANIQUE	Une simulation numérique de lave en 1983 du volcan Miyakejima	FONDS PROPRES,RECHERCHE	JAPON
86REU11	Ph.MOUTOU	RISQUES GEOLOGIQUES	RISQUE VOLCANIQUE,METHODOLOGIE	Description probabiliste du comportement temporel du Piton de la Fournaise	FONDS PROPRES,RECHERCHE	REUNION,FOURNAISE
86REU12	Th.LAFFORGUE	RISQUES GEOLOGIQUES	RISQUE VOLCANIQUE,METHODOLOGIE	Etude sur l'écoulement des coulées de lave - Mécanismes de simulation	FONDS PROPRES,RECHERCHE,DELEGATION RISQU	REUNION,FOURNAISE
86REU21	L.STIELTJES	RISQUES GEOLOGIQUES,ENERGIE,RECHERCHE	RISQUE VOLCANIQUE,GEOTHERMIE	Approche statistique et probabiliste des risques volcaniques pour l'implantation de forages et de centrale géothermique	FONDS PROPRES,RECHERCHE	REUNION,FOURNAISE,ST PHILIPPE,STE ROSE
87REU05	B.GOURGAND,L.STIELTJES	EAU	SYNTHESE REGIONALE	Hydrogéologie du volcan de la Fournaise	FONDS PROPRES,RECHERCHE	REUNION,FOURNAISE
87REU24	M.DAESSLE,J.COUDRAY,J.L.JOIN,J	EAU	HYDRODYNAMIQUE	Comportement hydrodynamique d'une nappe cotière à l'arriere d'un lagon	FONDS PROPRES,RECHERCHE,CORDET	REUNION,ST PAUL
87REU42	L.STIELTJES	GEOLOGIE	GEOLOGIE GENERALE	Mayotte, volcan bouclier du plancher de l'Ocean Indien Occidental (archipel des Comores)	FONDS PROPRES,RECHERCHE	MAYOTTE
88REU10	L.STIELTJES,L.MASSELOT	RISQUES GEOLOGIQUES	ACTIVITE VOLCANIQUE	Bilan annuel 1987 de l'activité volcanique du Piton de la Fournaise	FONDS PROPRES,RECHERCHE	REUNION,FOURNAISE,ST PHILIPPE,STE ROSE
88REU39	L.STIELTJES	RISQUES GEOLOGIQUES	RISQUE VOLCANIQUE	Compte-rendu de participation au congrès : Kagoshima Conference on Volcanoes.	FONDS PROPRES,RECHERCHE	TERRE,REUNION,FOURNAISE

A N N E X E 3

MEMOIRES DE MAITRISE, DE DEA, ET THESES REALISES EN RELATION AVEC LE SGR OCEAN INDIEN (1980 - 1988)

MEMOIRES DE LICENCE ET MAITRISE

SUJET	AUTEURS	DATES	UNIVERSITE
Inventaire des mouvements de terrains et autres risques géologiques naturels à la Réunion d'après les recherches d'archives. Rapport BRGM 83 REU 20	J. GRUCHET C. CALICHIAMA	1983-1984	La Réunion Département de Géographie Prof. : R. Robert
Pompage d'essai au puits SAMY Saisie informatique du fichier point d'eau de la Réunion. Rapport BRGM 87 REU 54	C. FLEURIE	Sept 1987	Bordeaux III MST Géologie Appliquée Prof. : Pélissier-Hermitte
Analyse préliminaire de la ressource en eau et des réseaux d'alimentation en eau potable (AEP) des communes de Bras-Panon, Saint-Benoît et Salazie (La Réunion). Constitution d'un fichier "points d'eau" et d'une cartographie des réseaux AEP. Rapport BRGM 88 REU 51	S. BOULIN	Sept 1988	Avignon Licence de Gestion de l'eau Prof. : Mudry
Eléments de diagnostic sur la ressource et l'exploitation de l'eau sur la commune de Saint-Paul. Constitution d'un fichier "points d'eau" et d'une cartographie des réseaux d'alimentation en eau potable (AEP) de la commune. Rapport BRGM 88 REU 43	M. COURTEAUD	Sept 1988	Bordeaux III MST Géologie Appliquée Prof. : Pélissier-Hermitte

MEMOIRES DE DUT, DESS, ECOLE D'INGENIEUR

SUJET	AUTEURS	DATES	UNIVERSITE
Essai de caractérisation minéralogique des séries des phases volcaniques III et IV du Piton de la Fournaise (île de la Réunion). Exploitation des données de sondages et de terrain de la côte "sous-le-vent" de l'île. Rapport BRGM 83 REU 23	F. AMBROSETTI	Mai 1984	Toulouse DESS Minéralogie
Diagnostic du réseau d'alimentation en eau potable de la commune du Tampon. Rapport BRGM 87 REU 06	V. VANDENABEELE	Août 1986	IUT Perpignan Avignon
Interprétation géophysique de sondages électriques appliquée à la connaissance hydrogéologique des flancs d'un volcan bouclier basaltique. Zone littorale de Sainte-Marie. La Réunion. Rapport BRGM 87 REU 55	J.M. GANDOLFI	Sept 1987	Orléans La Source Ecole Supérieure de l'Energie et des Matériaux (ESEM)
Historique des inondations à la Réunion (de 1657 à 1987) Origines et conséquences. Constitution d'un fichier régional informatisé "Inondations". Cartographie des événements (1/25 000e). Rapport BRGM 88 REU 17	C. DECELLE	Avril 1988	Tours, CESA DESS Aménagement du Territoire Prof. : Leroy

MEMOIRES DE DEA

SUJET	AUTEURS	DATES	UNIVERSITE
Approche hydrologique de l'île de Mayotte.	D. RIGAL	1982	Montpellier MST Hydrogéologie
Inventaire chronologique des événements volcaniques historiques du Piton de la Fournaise (île de la Réunion) de 1940 à 1981. Première exploitation systématique d'archives et d'ouvrages divers.	Ph. ROCHER	1983	Orsay DEA de Pétrologie-Volcanologie
Synthèse des données hydrogéologiques de la Plaine du Gol.	D. LUSTREMANT	1983	Nancy DEA d'Hydrogéologie
Analyse détaillée des mouvements de terrain dans le secteur de Mare à Vieille Place et la rive droite de la Rivière Fleurs Jaunes (cirque de Salazie).	J.L. HAURIE	1984	Grenoble DEA Géologie Appliquée

THESES

SUJET	AUTEURS	DATE SOUTENANCE	UNIVERSITE
Contribution à l'étude des minéralisations hydrothermales liées à un système géothermique récent dans l'île de la Réunion.	J. Ph. RANCON	Avril 1982	Paris XI (Orsay) Prof. : Brousse
Evaluation globale de la ressource en eau de l'île de la Réunion. Apports de la simulation par modèles hydrologiques	A. BARGEAS	Juin 1984	Bordeaux III Prof. : Clin
Etude géologique des formations superficielles et du proche substratum à Grand Ilet (cirque de Salazie - La Réunion. Application à la cartographie du risque de mouvements de versants.	H. PINCHINOT	Octobre 1984	Grenoble I, IRIGM Prof. : Antoine
Etude du forage du Grand Brûlé - (Piton de la Fournaise: île de la Réunion) : Lithostratigraphie, Pétrologie: Minéralogies primaire et secondaire. Conséquences sur l'évolution volcano-structurale du massif du Piton de la Fournaise.	P. LEREBOUR	Février 1987	Paris XI (Orsay) Prof. : Brousse
Géodynamique des cirques de la Réunion. Implications géotechniques et stabilité de versants.	J.L. HAURIE	Décembre 1987	Grenoble I, IRIGM Prof. : Antoine

THESES

SUJET	AUTEURS	DATE SOUTENANCE	UNIVERSITE
Prévention des risques volcaniques : simulation numérique de l'écoulement de coulées de lave et de boue.	Th. LAFFORGUE	En cours 1987-90	Paris XI (Orsay) Prof. : Brousse
Caractérisation hydrodynamique des aquifères du versant ouest du Piton des Neiges.	J.L. JOIN	En cours 1988-90	Réunion, Montpellier Prof. : Coudray (Réunion) Drogue (Montpellier)

A N N E X E 4

RESUMES DES PUBLICATIONS PRESENTEES PAR LE SGR OCEAN INDIEN
(1980 - 1988)

PUBLICATIONS PRESENTEES PAR LE SGR OCEAN INDIEN

1980 - 1988 (résumés)

ANNEE 1980

AUTEURS	TITRE	ORGANE DE PUBLICATION
L. Stieltjes D. Westercamp J. Varet	L'évaluation et le zonage des risques volcaniques dans les départements français d'outre-mer (Antilles, île de la Réunion)	26è Congrès Géologique International, Paris 1980
W. Duffield L. Stieltjes J. Varet	Geological and geothermal studies of la Réunion : comparaison with some features of Hawaiian volcanoes	Hawaii Symposium on intraplate volcanism and submarine volcanism, Hilo, Hawaii, july 1979

L'évaluation et le zonage des risques volcaniques dans les départements français d'outre-mer (Antilles, île de la Réunion)

L. STIELTJES, D. WESTERCAMP, J. VARET, BRGM, BP 6009, 45018 Orléans, FRANCE

Depuis la crise sismo-phréatique de la Soufrière (Guadeloupe) en 1976-1977, un programme d'évaluation et de zonage du risque volcanique a été lancé sur les volcans de la Soufrière (Guadeloupe) en 1976 puis de la Montagne Pelée (Martinique) en 1977, et se poursuit en 1980 sur le Piton de la Fournaise (la Réunion).

Le programme repose sur une étude géologique détaillée des manifestations préhistoriques récentes du volcan (moins de 10 000 ans) donc sur la description et la cartographie de ses éruptions historiques.

On distingue les risques directs (téphras, coulées...), les risques indirects (déformations du sol, fissuration, glissements de terrain, coulées de boue, séismes, raz-de-marée...).

1- Le degré du risque est d'abord déterminé pour chaque phénomène à l'échelle du volcan, en fonction de sa fréquence et de son intensité

Les zones susceptibles d'être affectées par un phénomène donné sont caractérisées par une même intensité du risque.
- les régions sont dites à risque élevé, si la fréquence du phénomène craint est élevée (1 par siècle ou plus)
- les régions sont respectivement du risque modéré à faible, si la fréquence du phénomène en question est modérée (environ 1 tous les 500 ou 1 000 ans) à faible (inférieure à 1 tous les 2 000 - 3 000 ans).

2- Le degré du risque ainsi déterminé à l'échelle du volcan, est ensuite modulé par secteur géographique

Chaque fois qu'un phénomène volcanique sera contrôlé sur le terrain par des facteurs fixes, naturels, les limites qui pourront être tracées entre les zones seront des limites physiques (par exemple, les grands traits morphologiques régionaux pour les risques de coulée). Lorsque des facteurs variables, volcaniques ou non volcaniques interviendront (fondés sur des hypothèses de base non contrôlables, telles, les conditions climatiques ou le degré d'explosivité d'un phénomène), les limites tracées entre les zones seront des limites de jugement.

Cette méthodologie est illustrée par une application à deux volcans d'arc océanique (Soufrière et Montagne Pelée), caractérisés par la zonage des divers types de nuées ardentes (type St Vincent, péléen, Mérapi) et d'éruptions pliniennes, ainsi qu'à un volcan intraplaque océanique (Piton de la Fournaise) caractérisé par un volcanisme basaltique effusif.

Congrès Géologique International 1980

GEOLOGIC AND GEOTHERMAL STUDIES OF LA REUNION : COMPARISON WITH SOME FEATURES OF HAWAIIAN VOLCANOES

W. DUFFIELD, U.S. Geological Survey, Menlo Park, CA., 94025, U.S.A., L. STIELTJES and J. VARET, B.R.G.M. B.P. 6009, 45018, Orléans, Cédex, France

The island of La Réunion consists of two basaltic shield volcanoes. Piton des Neiges, the older volcano, rises from about 4000 meters below sea level to a summit elevation of 3069 meters. The subaerial part grew between about 2 m.y. ago and 0.07 m.y. ago and comprises a sequence of shield-building, olivine basalt flows, which in turn are overlain on the flanks of the shield by up to a few hundred meters of feldspar-phyric basalt, hawaiite, and mugearite, the differentiated series. This evolution of contrasting lava types is analogous at that of a typical Hawaiian shield volcano, that has passed beyond the tholeiitic basalt, shield-building stage. Unlike its Hawaiian counterparts, however, considerable pyroclastic rocks, including a welded ash-flow tuff and an unwelded, pumiceous ash flow, were emplaced during the period of eruption of the differentiated series. Moreover, erosion has exposed a family of syenitic cone sheets, one of which served as a feeder for a flow that is among the youngest lavas on the volcano. A locally thick (>900 meters) sequence of lavas of the differentiated series at the epicentral focus of the cone sheets appears to fill a late-stage, 6-km-wide caldera. Evidence of any earlier caldera is as yet undiscovered. A concentration of dikes and parasitic cones in small, radial topographic ridges on the flanks of the volcano may mark two rift zones with N10W and N130W trends. The roughly circular shape of the volcano, as defined by little-eroded constructional flanks, however, suggests that rift zones are not well developed. Perhaps most radial dikes were emplaced more or less evenly throughout the flanks in response to a gravity-induced stress field of similar symmetry that existed during the growth of a free-standing shield, similar to Fiske and Jackson's suggestion for the island of Kauai. Three major rivers incise the shield, and head in partly coalesced, 6-km-wide, 2-km-deep cirques that are floored by zeolitized basalt. Concentric zonation of suites of zeolite minerals suggests a pattern of paleo-isotherms that focus on the center of the volcano and that may record the former existence of a convecting hydrothermal system at least 10 km wide. The central part of this area, where thermal springs are localized, is under study for possible geothermal development.

Piton de la Fournaise began to grow on the southeast flank of Piton des Neiges at least 0.35 m.y. ago and has remained active to the present time. Most historic eruptions have occurred in the summit caldera within which a growing lava shield rises to 2631 meters elevation. At least five flank eruptions have occurred during the last 270 years, the most recent of which partly buried a coastal village in 1977. Piton de la Fournaise, like Kilauea Volcano, is in the olivine basalt, shield-building stage of growth. Also, like Kilauea, Fournaise is characterized by a structural asymmetry that probably results from the huge, buttressing mass, against which and upon which the smaller volcano is built. The present caldera, for example, is apparently the third of a series that has migrated several kilometers east-southeastward, away from Piton des Neiges. Moreover, a 7-km-wide, east trending graben (?) connects with the caldera and extends to the seacoast and presumably beyond, perhaps reflecting Kilauean- style mobility of the unbuttressed, seaward side of the volcano. Northeast and southeast trending, historically active rift zones that radiate from the summit caldera bound a sector of the volcano that opens toward the unbuttressed, sea ward side, in Kilauean fashion. Geodetic measurements of ground deformation have not yet been attempted at Piton de la Fournaise, but judged by the broad structural similarities with Kilauea and the frequency of historic eruptions, such measurements might quickly prove fruitful, as they have in Hawaii.

A N140E trending ridge that is underlain by scoria and cinder cones and lava flows that predate recorded history yet are clearly young, marks a zone of apparent dike injection, alined with the summits of the two volcanoes. Though the surface lavas are olivine basalt and of Fournaise affinity, we speculate that this ridge may in part consist of a buried, third rift zone of Piton des Neiges. The youthfullness of vents and lava flows along the ridge and the record of historic eruptions on the northeast and southeast rift zones of Fournaise render all three areas as favorable targets for geothermal evaluation. Gravity, geoelectric, and geologic field studies are underway.

Reunionnaise and Hawaiian volcanoes represent voluminous outpourings of principally basaltic magma in intra-plate, oceanic environments. The extent and characteristics of geothermal systems associated with such volcanoes are largely unknown, but accumulating information seems favorable for the existence of exploitable systems. During recent drilling on the east rift zone of Kilauea Volcano, approximately 300°C water was encountered at about 1200 meters depth and estimates derived from the study of zeolites at Piton des Neiges suggest that 300°C water was present, within the last 1.2 m.y. at a depth of roughly 1500 meters, well within the range of current drilling technology. A similar geothermal system may exist within Piton de la Fournaise. Young and active, intra-plate, oceanic shield volcanoes may someday provide relatively inexpensive energy in areas that are isolated from more conventional energy sources.

presented " Hawaii Symposium on intraplate Volcanism and submarine Volcanism "
Hilo, Hawaii , 16-22 july 1978

PUBLICATIONS PRESENTEES PAR LE SGR OCEAN INDIEN

1980 - 1988 (résumés)

ANNEE 1981

AUTEURS	TITRE	ORGANE DE PUBLICATION
L. Stieltjes	Aspects techniques et socio-économiques des conséquences de l'érosion accélérée des terrains volcaniques de l'île de la Réunion (Océan Indien)	Séminaire National "La gestion régionale des sédiments", Propriano, mai 1981 Documents BRGM n° 30

SÉMINAIRE NATIONAL

PROPRIANO (Corse du Sud) 27 - 29 mai 1981

LA GESTION RÉGIONALE DES SÉDIMENTS

Communications

organisé par le

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU CADRE DE VIE

et le

SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL

Bureau de recherches géologiques et minières

Documents BRGM, n° 30

ASPECTS TECHNIQUES ET SOCIO-ECONOMIQUES DES CONSEQUENCES DE L'EROSION ACCELEREE DES TERRAINS VOLCANIQUES DE L'ILE DE LA REUNION (OCEAN INDIEN)

par

Laurent STIELTJES

B.R.G.M.-S.G.N. Service géologique régional La Réunion, Saint-Denis

RESUME - L'île de la Réunion, formée par deux volcans juxtaposés, est située dans la zone intertropicale de l'océan Indien (21° S). Elle est soumise annuellement à une saison cyclonique de 5 mois ; les précipitations violentes et abondantes marquent très profondément le relief accentuant les traits de la morphologie volcanique : effondrements, caldera. Trois cirques coalescents de plusieurs kilomètres de diamètre chacun et profonds d'un millier de mètres sont en particulier le siège d'une érosion et d'un transport colossal : glissements, arrachements, coulées de boues, tassements, écroulement rocheux de petite et grande ampleur. Le travail de l'eau souterraine affecte souvent, à retardement, les falaises rocheuses dont les effondrements s'opèrent même hors de la saison cyclonique.

Outre les pertes humaines en période de crise, l'évolution des sols est telle que le plan d'aménagement des terres cultivables, des implantations humaines, touristiques et d'équipement (routes, pylônes...) tiennent désormais compte de ces facteurs. La cartographie des risques de mouvement du sol a été commencée en 1980 par le B.R.G.M. à la suite du cyclone Hyacinthe ; elle se poursuivra jusqu'en 1982 et incluera des risques volcaniques.

o
o o

I - INTRODUCTION

Le cyclone "Hyacinthe" est passé près de la Réunion le dimanche 27 janvier 1980, après 12 jours et nuits de pluies indiscontinues qui avaient déjà complètement gorgé d'eau les sols. Certaines stations météorologiques ont enregistré des précipitations de 7 mètres en 12 jours, ce qui est un record mondial des valeurs répertoriées.

Les dégâts ont de ce fait été considérables : ponts, routes, lignes électriques et téléphoniques, canalisations, habitations emportées ; inondations des zones basses ; rivières ayant repris leur ancien lit au défi des aménagements urbains réalisés depuis 15 ans ; érosion très forte des rivières, de leur lit et de leur berge, érosion des pentes. Les pertes humaines se sont élevées à 25 morts pendant cette période.

Il a été remis en mémoire, si besoin en était, l'existence d'évènements cycloniques exceptionnels qui démobilisent, plus que de coutume encore, des quantités colossales de sédiments, provoquant une érosion extrêmement profonde et une évolution géomorphologique particulièrement rapide. Les cyclones de 1948 et de 1875, pour ne citer qu'eux deux, ont ainsi laissé des traces ancrées dans les paysages et dans les mémoires. Les processus de mise en mouvement, de transports et de sédimentation sont si amples qu'ils affectent la gestion de ces sédiments certes, mais surtout la gestion des terres des "Hauts" de l'île pour l'agriculture, l'aménagement, l'habitat et les communications.

Nous brosserons un aperçu de la façon dont sont perçus et vécus les aspects socio-économiques de cette érosion, après avoir esquissé les facteurs et les processus naturels d'érosion et de sédimentation.

PUBLICATIONS PRESENTEES PAR LE SGR OCEAN INDIEN

1980 - 1988 (résumés)

ANNEE 1982

AUTEURS	TITRE	ORGANE DE PUBLICATION
J.Ph. Rançon	Contribution à l'étude des minéralisations hydrothermales liées à un système géothermique récent dans l'île de la Réunion.	Thèse 3è cycle, Université de Paris-Sud, Centre d'Orsay, 16 avril 1982
W. Duffield L. Stieltjes J. Varet	Huge landslide blocks in the growth of Piton de la Fournaise, la Réunion, and Kilauea volcano, Hawaii	Journal of Volcanology and Geothermal Research, 12 (1982), pp 147-160

THÈSE

présentée

A L'UNIVERSITÉ DE PARIS - SUD

CENTRE D'ORSAY

pour obtenir

LE TITRE DE DOCTEUR 3ème CYCLE

Spécialité : VOLCANOLOGIE - GÉOTHERMIE

par

Jean-Philippe RANÇON

Sujet de la Thèse :

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DES MINÉRALISATIONS HYDROTHERMALES LIÉES A UN SYSTÈME GÉOTHERMIQUE RÉCENT DANS L'ILE DE LA RÉUNION

Soutenue le 16 Avril 1982, devant la Commission d'examen

M. R. BROUSSE	*Président*
M. L. STIELTJES	*Rapporteur*
M. B. BONIN	*Examinateur*
M. P. NATIVEL	*"*
M. J. VARET	*"*

RESUME

L'île de la Réunion représente un exemple unique de volcan océanique où l'importance des échancrures ménagées par l'érosion est telle qu'il est possible de suivre l'histoire volcano-structurale et pétrologique de l'édifice depuis son émersion jusqu'aux derniers termes de son évolution aérienne (> 2,1 MA à actuel).

Les formations du massif du Piton des Neiges, dont les plus récentes sont datées de 22.000 ans, sont, de plus, abondamment colonisées par des minéralisations hydrothermales. Certaines laves du massif du Piton de la Fournaise sont également affectées par ce type d'altérations.

C'est cette spécificité post-magmatique que représente l'hydrothermalisation des séries volcaniques de l'île de la Réunion, qui est ici examinée.

Les études minéralogiques (rayons X, microscope électronique à balayage, microsonde électronique, ...) mettent en évidence un nombre important d'espèces hydrothermales. Les zéolites représentent l'essentiel de la population hydrothermale et parmi elles, cinq sont décrites pour la première fois à la Réunion (gonnardite, levyne, érionite, garronite, herschelite).
D'autres minéraux secondaires, comme les silicates de calcium hydratés (tobermorite, réyérite, érionite, xonotlite), le feldspath potassique (adulaire) l'apophyllite, le pectolite, ... sont également l'objet d'une première description.

Les différents paramètres (température, pression, composition de la roche et des fluides, ...) qui interagissent lors des processus hydrothermaux sont discutés dans le cas de l'île de la Réunion. Il ressort de cet examen que le facteur prédominant intervenant dans la cristallisation des minéraux hydrothermaux est la température.

Six faciès minéralogiques symptomatiques d'un métamorphisme de faible degré (anchimétamorphisme) sont définis : faciès à chabazite - phillipsite, faciès à natrolite - thomsonite, faciès à analcime - thomsonite, faciès à laumontite - thomsonite, faciès à albite - prehnite, faciès à prehnite - pumpellyite.
La gamme de paléo-températures couverte par l'ensemble de ces faciès s'étend de 0 à 380°C.

Sur la base de ces données, des études ponctuelles sont réalisées, en particulier, dans les trois cirques du Piton des Neiges. Elles montrent le rôle prédominant joué par le gradient géothermique régional, dans la néogenèse minérale, tout au long de l'histoire du massif.

Aux effets de l'anchimétamorphisme régional caractérisés par une zonation radiale des faciès minéralogiques autour du Piton des Neiges, se superposent localement : les effets de drainage des fluides hydrothermaux véhiculés aux épontes ou au sein des intrusions filoniennes (dykes et sills) ; le thermométamorphisme provoqué par l'installation d'une intrusion massive, circonscrite (massif de syénite quartzifère de la rivière du Bras Rouge) ; la mise en place d'un système convectif favorisée par un réseau de fracturation et une source de chaleur localisée.

Trois grandes phases hydrothermales ont pu être recalées sur les coupures chrono-stratigraphiques : elles se sont succédées depuis plus de deux millions d'années dans le massif du Piton des Neiges. Leur extension et les faciès minéralogiques qui les fossilisent sont discutés en relation avec les structures volcano-tectoniques : l'extension des différentes phases hydrothermales est directement liée à l'évolution du massif du Piton des Neiges : le resserrement progressif, au cours du temps, des manifestations hydrothermales sur l'actuel Piton des Neiges, se fait parallèlement à l'individualisation d'un volcanisme centralisé sur ce même relief.

A partir de ces considérations une reconstitution de l'histoire hydrothermale de l'île est tentée. Enfin, quelques applications de la minéralogie hydrothermale à l'exploration géothermique ainsi que de nouvelles voies de recherche sont envisagées.

-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-

Cette thèse a été réalisée dans le cadre du programme d'évaluation du potentiel géothermique de l'île de la Réunion, mené par le B.R.G.M. entre 1978 et 1981.

Journal of Volcanology and Geothermal Research, 12 (1982) 147—160
Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam — Printed in The Netherlands

HUGE LANDSLIDE BLOCKS IN THE GROWTH OF PITON DE LA FOURNAISE, LA RÉUNION, AND KILAUEA VOLCANO, HAWAII

WENDELL A. DUFFIELD[1], LAURENT STIELTJES[2] and JACQUES VARET[2]

[1] *U.S. Geological Survey, Menlo Park, CA 94025 (U.S.A.)*
[2] *Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Orléans (France)*

(Received October 28, 1980; revised and accepted July 10, 1981)

ABSTRACT

Duffield, W.A., Stieltjes, L. and Varet, J., 1982. Huge landslide blocks in the growth of Piton de la Fournaise, La Réunion, and Kilauea volcano, Hawaii. J. Volcanol. Geotherm. Res., 12: 147—160.

Piton de la Fournaise, on the island of La Réunion, and Kilauea volcano, on the island of Hawaii, are active, basaltic shield volcanoes growing on the flanks of much larger shield volcanoes in intraplate tectonic environments. Past studies have shown that the average rate of magma production and the chemistry of lavas are quite similar for both volcanoes. We propose a structural similarity — specifically, that periodic displacement of parts of the shields as huge landslide blocks is a common mode of growth. In each instance, the unstable blocks are within a rift-zone-bounded, unbuttressed flank of the shield. At Kilauea, well-documented landslide blocks form relatively surficial parts of a much larger rift-zone-bounded block; scarps of the Hilina fault system mark the headwalls of the active blocks. At Fournaise, Hilina-like slump blocks are also present along the unbuttressed east coast of the volcano. In addition, however, the existence of a set of faults nested around the present caldera and northeast and southeast rift zones suggests that past chapters in the history of Fournaise included the slumping of entire rift-zone-bounded blocks themselves. These nested faults become younger to the east southeast and apparently record one of the effects of a migration of the focus of volcanism in that direction. Repeated dilation along the present set of northeast and southeast rift zones, most recently exemplified by an eruption in 1977, suggests that the past history of rift-zone-bounded slumping will eventually be repeated. The record provided by the succession of slump blocks on Fournaise is apparently a relatively detailed part of a migration of magmatic focus that has advanced at least 30 km to the east-southeast from neighboring Piton des Neiges, an extinct Pliocene to Pleistocene volcano.

INTRODUCTION

Piton de la Fournaise (Fournaise), on the island of La Réunion in the Indian Ocean, and Kilauea, on the island of Hawaii in the Pacific Ocean, are active, basaltic shield volcanoes growing in intra-plate environments. Each volcano lies in a tropical climate that is characterized by an annual average rainfall of as much as 500 cm on the windward (northeast) flank. Moreover, each is built

0377-0273/82/0000—0000/$02.75 © 1982 Elsevier Scientific Publishing Company

PUBLICATIONS PRESENTEES PAR LE SGR OCEAN INDIEN

1980 - 1988 (résumés)

ANNEE 1984

AUTEURS	TITRE	ORGANE DE PUBLICATION
M. Steenhoudt J. Chemin B. Gourgand	Protection des ressources en eaux souterraines par barrage hydraulique face à l'impact d'un rabattement de nappe en fouille sur le chantier du nouveau port en Baie de la Possession (La Réunion)	Hydrogéologie - Géologie de l'Ingénieur, 4, 1984, pp 355 - 365
L. Stieltjes M. Steenhoudt	Ground water research in an oceanic basaltic strato volcano under tropical climate in Reunion island (western Indian Ocean)	27è Congrès Géologique International, Moscou 1984
L. Stieltjes	Historical volcanic activity of Piton de la Fournaise (Reunion Island, (western Indian Ocean) : Statistical data and geological implications	27è Congrès Géologique International, Moscou, 1984
A. Bargeas	Evaluation globale de la ressource en eau de l'île de la Réunion. Apports de la simulation par modèles hydrologiques	Thèse 3è cycle, Université de Bordeaux III, juin 1984
H. Pinchinot	Etude géologique des formations superficielles et du proche substratum à Grand Ilet	Thèse 3è cycle, Université de Grenoble I, IRIGM, 12 octobre 1984
L. Stieltjes	Carte Géologique de l'île de Mayotte (Archipel des Comores) à 1/50 000e	Carte Géologique de la France

Hydrogéologie - Geologie de l'ingenieur
4, 1984, pp 355-365, 7 fig , 1 tabl

Protection des ressources en eaux souterraines par barrage hydraulique face à l'impact d'un rabattement de nappe en fouille sur le chantier du nouveau port en Baie de la Possession (La Réunion)

par

Michel Steenhoudt, José Chemin, Bernard Gourgand*

Mots-clés : Barrage, Hydraulique, Rabattement nappe, Fouille Génie Civil
Ile Réunion

Résumé

Pour protéger des ouvrages servant à l'alimentation en eau potable (menacés par un rabattement de nappe en fouille lors du creusement du nouveau port en baie de la Possession, la Réunion), le Service géologique régional (BRGM) a proposé la mise en place d'un barrage hydraulique entre les ouvrages menacés et la fouille, par injection en lagunes d'une partie des débits pompés. Dans le même temps, un dispositif de surveillance (2 piézomètres) a contrôlé l'efficacité du système et a évité que l'eau injectée dans la nappe, de composition proche de celle de l'eau de mer, ne vienne polluer les ouvrages menacés.

Bien que la configuration géométrique et les contraintes à respecter aient été assez strictes (puits servant à l'AEP implantés à proximité de la fouille, faibles variations du niveau piézométrique imposées lors de la réalisation du barrage hydraulique, injection d'eau salée) le but recherché a été atteint en modulant simplement les débits de lagunage. Mieux, ce dispositif dont le prix de revient est très faible au regard des sommes engagées pour le chantier, a permis d'atténuer, dans le secteur concerné par le barrage hydraulique, les effets de la sécheresse exceptionnelle de 1983 à la Réunion.

Abstract

To protect works supplying drinking water that are threatened by the lowering of groundwater caused by flow into the excavations for a new port in the La Possession Bay, Reunion Island, the Regional Geologic Survey (BRGM) proposed the building of a hydraulic barrage between the threatened works and the excavations by injecting part of the pumped water into lagoons. At the same time, a surveillance system of 2 observation wells checked the efficiency of the system, so that pollution of the threatened works by the water injected into the aquifer, whose composition is similar to that of sea water, was avoided.

Even though the geometric configuration and the constraints to be respected were strict (potable water-supply wells located near the excavation, small variation in piezometric level occurring during the building of the hydraulic barrage, injection of salt water) the objective desired was attained simply by modulating the lagoon discharge. In addition, this method, whose cost is minimal in comparison to the cost of building the port, helped to allieviate the effects of the 1983 drought in the area affected by the barrage.

* Service géologique Océan Indien, Bureau de recherches géologiques et minières, B P. 1206, 97484 Saint-Denis-de-la-Réunion.

GROUND WATER RESEARCH IN AN OCEANIC BASALTIC STRATO-VOLCANO UNDER TROPICAL CLIMATE IN REUNION ISLAND (WESTERN INDIAN OCEAN)

Laurent Stieltjes, Michel Steenhoudt - BRGM, Service Géologique La Réunion, BP 1206, 97484 St Denis, La Réunion, France

The island of la Reunion (3 069 m) is the emerged part of a huge strato-volcano (7 000 m high) lying on the Indian ocean floor (21°S, 55°30'W) ; it consists of two basaltic shield volcanoes - the older and main one, Piton des Neiges, grew, for its subaerial part, between 2 m.y. and 0,02 m.y. ago, hollowed by three large coalescent erosional cirques, 1 000 to 2 000 m deep, 10 km wide each. Other erosional features have deeply stigmatized the flanks of the volcano (gorges, mini cirques, ...) towards the sea. The more recent one, Piton de la Fournaise, began to grow on the southeastern flank of Piton des Neiges at least 0,35 m.y. ago and has remained active up to the present time. It is also deeply marked by erosion, particularly along ist volcanic structures (calderas, ...). In both volcanoes, erosion has hollowed down to the water-tables.

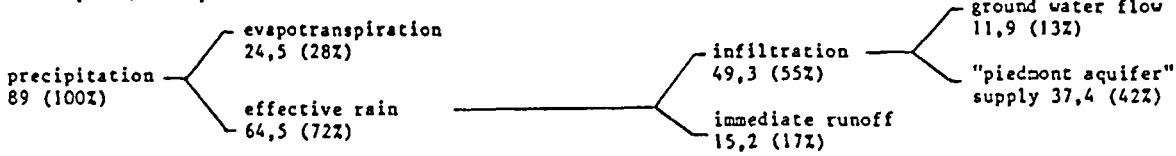
Both volcanoes are built up by a monotonous sandwich-like pile of "lava-scoriae" partitioned by dikes, several thousand meters thick, and dipping from 5° to 12° toward the sea (except between the two volcanoes where both series overlap). Shallow and deep aquifers are trapped in these divergent series. Inner parts of cirques are partially occupied by thick detritic series lying on the usually waterproof hydrothermalised volcanic basement. Under this basement very deep aquifers occur (geothermal reservoirs). Three thick alluvial plains stretch at the outlet of the cirques.

Hydrogeology of the flanks of the strato-volcanoes is complicated :

- *by specific drains, such as intrusive vertical systems of dikes (parallel, oblique or perpendicular to the stratification), or lava-tubes (reaching several meters in section and several km in length) which give a karstic-like flowing, or fossile valleys and their alluvium,*

- *by local impermeable horizons such dikes and sills (vertical or horizontal dams), pyroclastic deposits (compressed or weathered), ancient soils, hydrothermalised lavas.*

Although the island is under influence of tradewinds and monsoon which determine a windward and a leeward coast where the hydrological characteristics are quite different, the water balance can be summarized, for the wole island, as follows (in l/s/km²).



Ground water prospecting carried out by Reunion Geological Survey (BRGM) as technical and scientific leader of the Departmental Water Research Program, involved 4 hydrogeological contexts : 1) *discontinuous volcanic or detritic superficial aquifers* ; 2) *volcanic or detritic deep aquifers* ; 3) *littoral aquifers collected under the term "piedmont aquifer"* ; 4) *Alluvial plains.*

Littoral zones contain plentiful resources, which are relatively easy to mobilize but irregularly distributed. The delimitation of the salt water wedges can be well detected by means of *resistivity profiles* going from the shore toward the land. Electric methods are also suitable for detecting generalized impermeable horizons. Consequently, *rotary drillings* have been undertaken : 1) in large diameter, to define hydrodynamical parameters through pumping tests ; 2) in narrow diameter, for piezometry. However, very little is known about littoral aquifers of la Reunion apart from the alluvial plain of one the circus (Plaine des Galets), where an *analog model* was elaborated ; it allows the mining of three superposed aquifers for the planning of inhabited and industrial areas, and of digging of a new harbour.

In upper zones, groundwater can be easily mobilized only in case of shallow aquifers. The prospecting methods in volcanic strata environment have to detect impermeable horizons which are generally thin. But the efficiency of geophysical *electric methods* is limited deeper than 50 meters. It is then necessary to compare *borehole diagraphics* (drilling-rate, gamma-ray, resistivity, thermography). Moreover, a detailed *geological study* is therefore essential. With this aim, *air-drilling* (bottom hole hammer) and *foam-drilling* (rotary) have been used to point out every single aquifer (the hammer drilling efficiency is limited by the collapsing of scoriaes). Superposed thin aquifers are mined through the same borehole.
As to deeper aquifers, difficulties in using suitable prospecting methods limit their mining for the time being.

The main problem in la Reunion is the supply of water to the upper zones (several meters of precipitations but hardly any storing). It is now partially solved by means of storage dams combined with backflow from littoral aquifers. But in such permeable formations storage dams are very difficult to build.

* *
*

Hydrogeology in volcanic series (discontinuous environment) should not be approached through the methods used in continuous environments. So, more specific and more suitable ones are quite obviously required and have to be determined. Original hydrogeological maps and surveys of volcanic areas have to be devised.

INSTITUT DE RECHERCHES INTERDISCIPLINAIRES DE GÉOLOGIE ET DE MÉCANIQUE

THÈSE

présentée à

L'UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE ET MÉDICALE
DE GRENOBLE

pour obtenir le titre de

DOCTEUR DE 3e CYCLE DE GÉOLOGIE APPLIQUÉE

par

Hervé PINCHINOT

SUJET

ÉTUDE GÉOLOGIQUE DES FORMATIONS SUPERFICIELLES ET DU PROCHE SUBSTRATUM A GRAND ILET

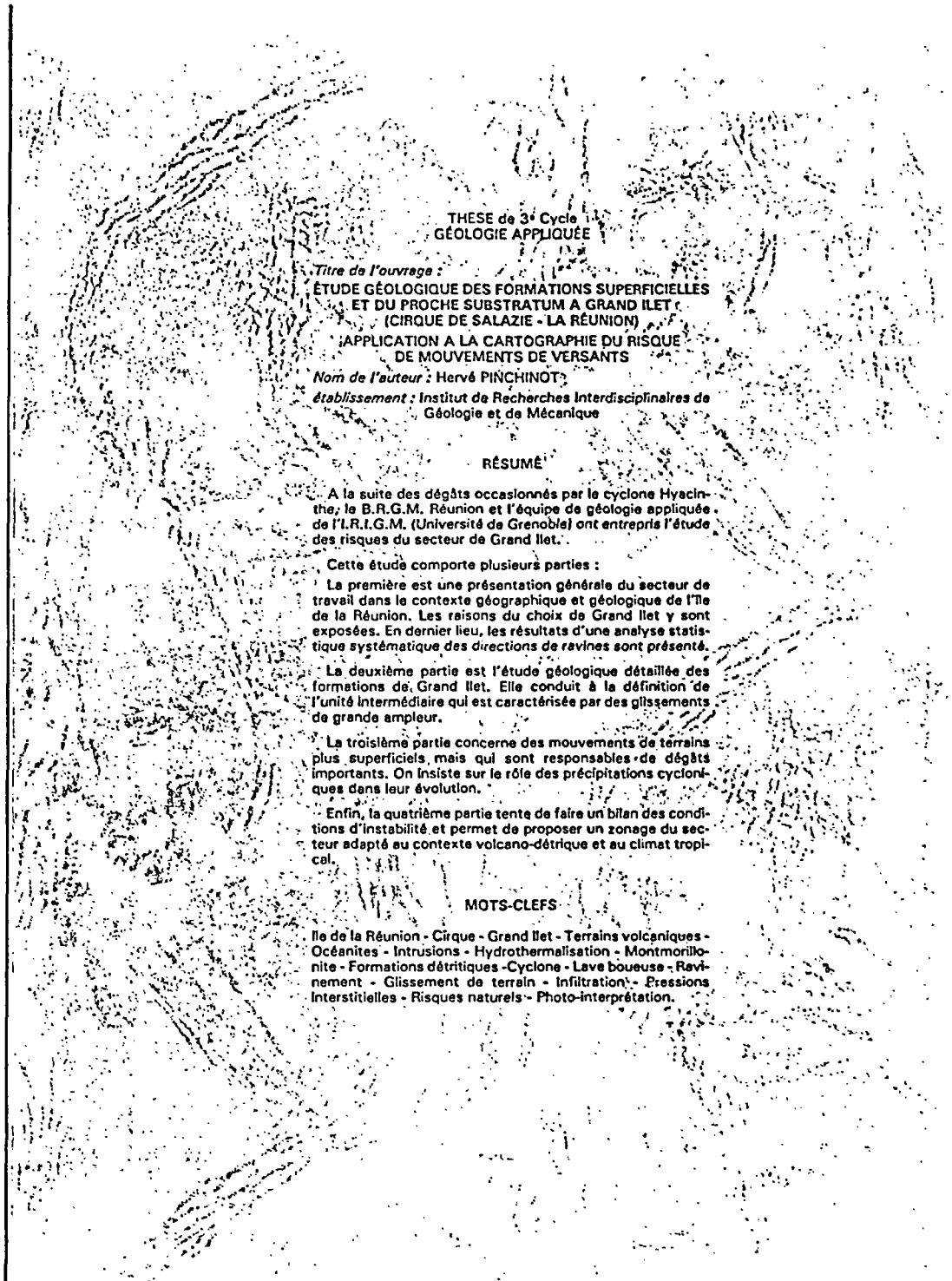
(CIRQUE DE SALAZIE - LA RÉUNION)

APPLICATION A LA CARTOGRAPHIE DU RISQUE DE MOUVEMENTS DE VERSANTS

Soutenue le 12 octobre 1984 devant la Commission d'Examen

M. P. VIALON	Président
M. P. ANTOINE	Rapporteur
M. M. HUMBERT	
M. L. STIELTJES	Invités
M. J. LETOURNEUR	

GRENOBLE



THESE de 3e Cycle
GÉOLOGIE APPLIQUÉE

Titre de l'ouvrage :
ÉTUDE GÉOLOGIQUE DES FORMATIONS SUPERFICIELLES ET DU PROCHE SUBSTRATUM A GRAND ILET (CIRQUE DE SALAZIE - LA RÉUNION)
APPLICATION A LA CARTOGRAPHIE DU RISQUE DE MOUVEMENTS DE VERSANTS

Nom de l'auteur : Hervé PINCHINOT
établissement : Institut de Recherches Interdisciplinaires de Géologie et de Mécanique

RÉSUMÉ

A la suite des dégâts occasionnés par le cyclone Hyacinthe, le B.R.G.M. Réunion et l'équipe de géologie appliquée de l'I.R.I.G.M. (Université de Grenoble) ont entrepris l'étude des risques du secteur de Grand Ilet.

Cette étude comporte plusieurs parties :

La première est une présentation générale du secteur de travail dans le contexte géographique et géologique de l'île de la Réunion. Les raisons du choix de Grand Ilet y sont exposées. En dernier lieu, les résultats d'une analyse statistique systématique des directions de ravines sont présenté.

La deuxième partie est l'étude géologique détaillée des formations de Grand Ilet. Elle conduit à la définition de l'unité intermédiaire qui est caractérisée par des glissements de grande ampleur.

La troisième partie concerne des mouvements de terrains plus superficiels, mais qui sont responsables de dégâts importants. On insiste sur le rôle des précipitations cycloniques dans leur évolution.

Enfin, la quatrième partie tente de faire un bilan des conditions d'instabilité et permet de proposer un zonage du secteur adapté au contexte volcano-détrique et au climat tropical.

MOTS-CLEFS

Ile de la Réunion - Cirque - Grand Ilet - Terrains volcaniques - Océanites - Intrusions - Hydrothermalisation - Montmorillonite - Formations détritiques -Cyclone - Lave boueuse - Ravinement - Glissement de terrain - Infiltration - Pressions interstitielles - Risques naturels - Photo-interprétation.

Revue "L'Ingénieur Constructeur ETP" - n° 301 - mai 1984

LES PARTICULARITÉS DE LA GÉOLOGIE DE L'INGÉNIEUR DANS UNE ILE VOLCANIQUE TROPICALE



par Laurent STIELTJES,
directeur du Service Géologique
de l'océan Indien (BRGM)*

Le milieu terrestre concerne très directement la vie et l'activité de l'homme, même si celui-ci en a rarement conscience.

La structure du sol et du sous-sol conditionne en effet *la disponibilité des ressources naturelles* (minérales, mais aussi alimentaires) qui sont au départ de la plupart des activités économiques; elle *modèle le cadre de vie*, naturel ou artificiel, des populations.

Il est nécessaire de gérer une ressource naturelle, considérée comme un bien commun de la collectivité : l'eau, l'espace, les ressources minérales, l'énergie. La géologie de l'ingénieur, de l'aménagement, sont des interventions quotidiennes fondues à l'activité économique d'une région, d'un milieu particulier comme celui d'une île volcanique dont la nature et le comportement des sols et du sous-sol tout à fait spécifiques.

LES GRANDS TRAITS GÉOLOGIQUES DE LA RÉUNION

L'île de La Réunion (3 069 m) est la partie émergée d'un énorme strato-volcan (7 000 m de hauteur), posée sur le plancher de l'océan Indien. L'île est formée de deux cônes basaltiques, jumellés. Le plus ancien (et principal), le Piton des Neiges, s'est construit, pour sa partie aérienne, entre 2 millions d'années et 20 000 ans. Il est creusé par l'érosion en trois grands cirques coalescents, de 1 000 à 2 000 m de profondeur et larges de 10 km environ chacun. D'autres formes d'érosion ont profondément creusés les flancs de ce volcan jusqu'à la mer (gorges, mini cirques,...). Le plus récent, le Piton de la Fournaise, est apparu sur le flanc sud-est du Piton des Neiges; il a 0,35 millions d'années et reste actif à l'heure actuelle (1 éruption tous les 18 mois en moyenne). Ce volcan récent est également profondément marqué par l'érosion, particulièrement le long de ses structures volcaniques (calderas). Dans ces deux massifs volcaniques l'érosion a creusé jusqu'au niveau de base.

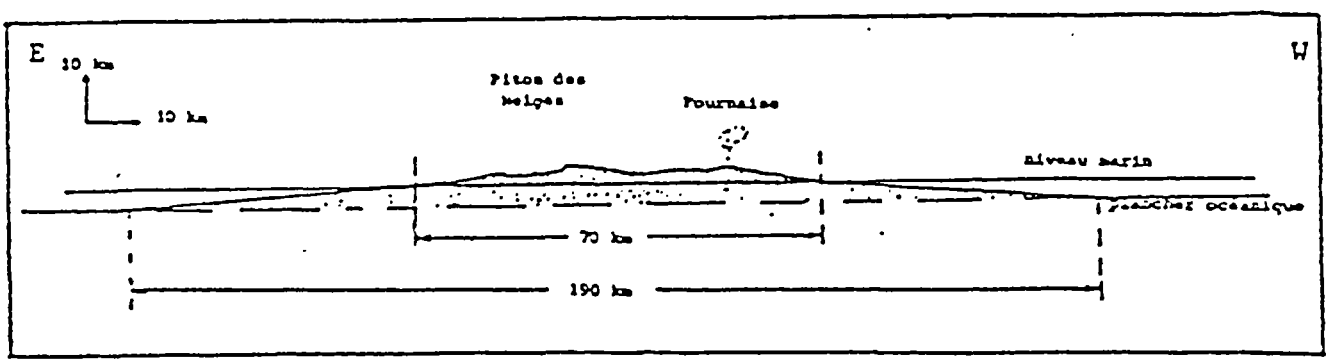


Fig. 1. — Coupe d'ensemble de l'appareil volcanique dont la partie émergée constitue l'île de La Réunion, la partie immergée représente les 9/10 du volume total

* BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières), Service Géologique de l'océan Indien, B.P. 1206, 97484 St-Denis Cedex, La Réunion.

Revue Ingénieurs Constructeurs ETP n° 301 - mai 1984

LE PITON DE LA FOURNAISE
VOLCAN ACTIF

LE VOLCAN...

Le Piton de la Fournaise (2 635 m) est le volcan bouclier basaltique actif de l'île de la Réunion, construit sur le flanc Est du volcan Piton des Neiges.

Sa forme de vaste bouclier est profondément échancrée par des rivières soulignant des enveloppes successives d'effondrement de type « Caldera ». La dernière en date, l'Enclos, est une vaste dépression en forme de U qui se développe de 2 200 m d'altitude jusqu'à la mer. Le dôme central qui la domine (2 635 m) est couronné par 2 cratères d'effondrements en forme de puits, le cratère Bory et le cratère Dolomieu. La presque totalité des éruptions se cantonne au sein de l'Enclos qui est une des rares zones inhabitées de l'île, nombre de coulées descendant jusqu'à la mer, coupant occasionnellement la route du tour de l'île. Quelques éruptions sortent périodiquement du domaine réservé de l'Enclos pour aller s'épancher jusqu'aux villages de la côte. La dernière en date est celle de 1977 qui est venue traverser le village de Piton Sainte-Rose, détruisant des champs de canne à sucre, quelques habitations, et arrêtant miraculeusement une de ses langues à la porte de l'église.

... domaine touristique...

Ces manifestations très régulières du volcan font partie de la vie des Réunionnais qui y montent en procession familiale, de jour comme de nuit, dès que le frère volcan décide de s'ébrouer un peu; on a dénombré jusqu'à 4 000 personnes par week-end en 1981 et 1983, montant pique-niquer avec les enfants, les grands-parents et les chiens et participer à la grande fête qu'offre la terre aux hommes.

... et scientifique.

La Fournaise, bien que volcan très actif, est un lieu touristique certes mais aussi un laboratoire scientifique.

Le Service géologique régional (B.R.G.M.) a suivi l'activité volcanique depuis 1974 (fiches d'éruptions, réseau mondial de surveillance...) et a lancé une recherche d'archives complète en liaison avec les Archives départementales et l'Université (géographie). En 1980, l'Observatoire volcanologique (I.P.G.) a mis en place un laboratoire d'étude et de surveillance du volcan.

Aujourd'hui, *l'Observatoire volcanologique* dispose d'un réseau de surveillance de paramètres physiques (en particulier sismicité et déformations du sol) opérationnel dans le cadre de sa mission de surveillance. Son efficacité a été montrée au cours des 2 dernières phases éruptives de 1981 et 1983. Il assure désormais la responsabilité de la surveillance de l'activité volcanique vis-à-vis des autorités locales et nationales.



par Laurent STIELTJES,
directeur du Service géologique
de l'océan Indien (B.R.G.M.)

Le Service géologique régional a, de son côté, mis au point un fichier informatisé sur l'activité volcanique historique assorti d'une cartographie automatisée à 1/2500, ce qui est une originalité au niveau de l'activité volcanique dans le monde : la mise à jour de sa cartographie géologique du volcan se fait ainsi à chaque éruption, de plus ce programme garde en mémoire les contours des coulées ou cratères antérieurs, même s'ils ont été recouverts et ont disparu.

Le Service géologique poursuit par ailleurs sa mission de cartographie (la carte des coulées historiques à 1 25000 doit sortir en 1984) d'exploitations d'archives de banques des données du sous-sol, et de géologie appliquée à la mise en valeur du sous-sol et à la géologie de l'aménagement : géothermie, hydrogéologie, génie et risques géologiques, substances utiles, environnement...).

Dans le cadre de son activité de recherche scientifique, une étude statistique vient d'être menée à partir des données d'archives sur la fréquence et la durée des éruptions.

Statistique sur la durée des éruptions et des phases de calme dans la période historique; évolution du mode éruptif au cours des derniers siècles.

Les premières archives sur l'activité du volcan fournies par des marins datent de 1644, soit à peine 340 ans d'activité historique. Les recherches d'archives menées depuis 1980 par le Service géologique régional (B.R.G.M.) font apparaître 156 événements repertoriés, soit une moyenne de 1 tous les 2 ans, qui en fait l'un des volcans les plus régulièrement actifs au monde. Son taux d'effusion au cours des 50 dernières annees est d'environ 4 m³/s (supérieur à ceux du Kilauea et de l'Etna) et il tend à augmenter à 6 m³/s pour les dernières annees.

Pratiquement 97 % de l'activité historique est localisée à l'intérieur de la caldera en forme de U (8 × 13 km) nommée l'Enclos, au cœur duquel se trouve un double cratère d'effondrement; depuis 3, 4 siècles, seules 5 éruptions se sont produites hors de l'Enclos (3 % des événements éruptifs).

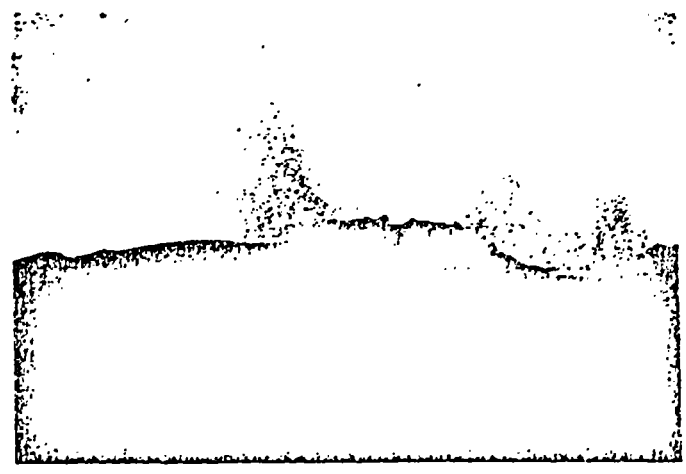


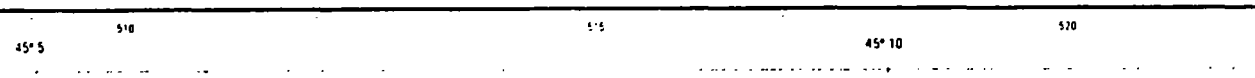
Photo Roland Bénard.

COLLECTIVITÉ TERRITORIALE DE MAYOTTE

CARTE GÉOLOGIQUE DE L'ÎLE DE MAYOTTE

(ARCHIPEL DES COMORES)

par Laurent Stieltjes



12° 50

d'après, les levers de terrains et études géologiques de L. Stieltjes (B R G M) de 1979 à 1980 ;
les mesures d'âge absolu (K, Ar) de J.M. Cantagrel (C.N R S., Clermont-Ferrand), 1980-1981 ;
les études pétrologiques de J. Nougier (Université Avignon), J.M. Cantagrel (C.N.R.S.), P. Watelet et N. Vatin-Pérignon (Université Grenoble), 1981, et de L. Stieltjes (B.R.G.M), 1980-1981.

8560

Echelle 1:50 000

1000 m 500

0 1 2 3 4 5 km

LÉGENDE

FORMATIONS SÉDIMENTAIRES

Récif corallien (émergeant aux plus basses marées) = récif barrière et récif frangeant : calcaire récifal construit

Mangrove (limon sableux)

Ds c Dc — Formations de plage : sable (Ds), cordons littoraux (Dc), cave de sable corallien (C)

8575 — CJ — Formations de rivières = alluvions et petites accumulations de déjection (blocs, limons, argiles, accumulations détritiques, souvent ferrallitiques)

F — Plaines alluviales ou littorales (alluvions fines, généralement limoneuses, souvent ferrolitiques)

CV — Colluvions de versants (peut comporter des blocs atteignant plusieurs m^3) alimentés par les formations volcaniques voisines

FORMATIONS VOLCANIQUES

Holocène ou Pléistocène
0.5 MA

e-pT — Cinérites et ponces trachytiques de Pamandzi

β — Scories basaltiques prépondérantes (cônes) (pouzzolanes) et basaltes massifs

12° 55

Pléistocène
0.5 MA = épisode différencié explosif au Nord

ppT — Anneaux de pyroclastites trachytiques (tuff-ring) de Kawéni, quelques coulées associées

1,4 à 1,8 MA = série différenciée au Nord

β — Laves différenciées de fond de vallée du M' Sapéré (1,4 à 1,5 MA) et massif de Digo

φ — Phonolite (φ) et téphrites phonolitiques (φ_τ) du M' Sapéré dôme-coulées et lambes (1,5 à 1,8 MA)

Pliocène
2 à 2,2 MA = axe basaltique Nord

8570 — Basanites à olivine

βπ — Basaltes andésitiques et basaltes à hornblende

2,4 à 2,6 MA = extrusion phonolitique au Nord

φN — Phonolites alcalines : pitons, dômes, dômes coulées, coupoles, lambes

2,4 à 3,5 MA = série différenciée Sud

COLLECTIVITÉ TERRITORIALE DE MAYOTTE

BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES

CARTE GÉOLOGIQUE DE LA FRANCE

MAYOTTE

(Archipel des Comores)

Echelle : 1/50 000

NOTICE EXPLICATIVE

par

Laurent STIELTJES

1988

Éditions du BRGM – BP 6009 – 45060 ORLÉANS CÉDEX 2 – FRANCE

SOMMAIRE

Pages

CONTEXTE DE LA RÉALISATION DE LA CARTE GÉOLOGIQUE DE MAYOTTE ET SES OBJECTIFS 5

PRÉSENTATION GÉOGRAPHIQUE ET GÉODYNAMIQUE DE MAYOTTE ET DE L'ARCHIPEL DES COMORES 7
MAYOTTE ET LES COMORES DANS LES STRUCTURES GÉODYNAMIQUES DE L'OCÉAN INDIEN OCCIDENTAL 7
PRÉSENTATION GÉNÉRALE DE MAYOTTE 15

GRANDS TRAITS GÉOLOGIQUES DE MAYOTTE 20
CARACTÉRISTIQUES GÉOLOGIQUES MAJEURES 20
STRATIGRAPHIE 20
ÉVOLUTION DES STRUCTURES VOLCANIQUES DU MIO-PLIOCÈNE A AUJOURD'HUI 23
ALTÉRATION, ÉROSION ET MORPHOLOGIE 37
STRUCTURES TECTONIQUES PROFONDES ET SUPERFICIELLES 47
PÉTROLOGIE DES LAVES, ÉVOLUTION DES MAGMAS ET INTERPRÉTATIONS 59
LE LAGON ET LES FORMATIONS MARINES 67

APPLICATION DES CONNAISSANCES GÉOLOGIQUES A L'AMÉNAGEMENT RURAL ET URBAIN, AU DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUE DE L'ÎLE 75
PARTICULARITÉS DU MILIEU INSULAIRE VOLCANIQUE ET CONTRAINTES ÉCONOMIQUES 75
HYDROLOGIE ET HYDROGÉOLOGIE ; MISE EN VALEUR ET PROTECTION DES RESSOURCES EN EAU 77
MATÉRIAUX ET SUBSTANCES UTILES 98

BIBLIOGRAPHIE 125

PETIT LEXIQUE DES TERMES PÉTROLOGIQUES 134

HISTORICAL VOLCANIC ACTIVITY OF PITON DE LA FOURNAISE (REUNION ISLAND, WESTERN INDIAN OCEAN) : STATISTICAL DATA AND GEOLOGICAL IMPLICATIONS

Laurent STIELTJES, BRGM, Service Géologique la Réunion, BP 1206, 97484 St Denis, la Réunion, France

The Piton de la Fournaise (2635 m) is the active basaltic shield volcano of Réunion island (55°43'E, 21°17'S), built up the Eastern flank of the Piton des Neiges volcano (whose activity dates back 22 000 years B.P.).

The oldest data on the Fournaise's activity, given by seamen, date from 1644 ; its historical activity is then 340 years. Archives investigations carried out since 1980 by Reunion Geological Survey (BRGM) have brought to light 156 recorded events (i.e. an average of 1 event every 2 years) ; Fournaise is one of the most regularly active volcano in the world. Moreover, its effusion rate is 4 m^3/s for the last 50 years (higher than Kilauea and Etna), increasing to 6 m^3/s for the last 30 years.

97% of the historical activity occured inside the last U-shaped caldera (8 x 13 km) called Enclos towered by the twinned collapsed craters. For 3,5 centuries, only 5 eruptions occured outside the Enclos (3% of the activity).

Although the number of known events is great (156), we may not put forward statistical process or hypotheses about vocano's behavior on a variable (= duration of eruption, interval between eruptions,...) under 500 significant events, particularly for previsions or volcanic hazards. We may only look for correspondances between these 156 events, giving information which only applies to the last 340 years in a Poisson process. In terms of quality and precision of archives data, we only took into account the events of the last 150 years (the 1844-1984 period). It should be noted that the data collected are not exhaustive : numerous events, in particular shorter events, are not recorded.

The duration of eruptions is generally short :

$d < 2$ *days* : 25%
$d < 1$ *week* : 39%
$d < 1$ *month* : 75%
$d < 3$ *months* : 88%

The duration of eruptions considerably increased these last 50 years, with 12 out of 16 eruptions lasting more than 2 months (75%), as well as 21 out of 27 eruptions lasting more than 1 month (78%), and especially these last 30 years, which correlate with an increase of the effusivity rate. This seems to indicate an evolution in the recent volcanic activity.

The duration of intervals between eruptions vary from 2 weeks to 8 years, and are divided in 4 classes of intervals centered around the "2,5 - 18 months" class (57%). Gaps shorter than 2,5 months are common (22%) as well as "1,5 - 3,5 years" gaps (16%). Some intervals (3%) are particularly long "5,5 - 8 years", without any clear connection with the duration of previous activity or the volume of magma emitted. Relations between the duration of intervals and the importance (volume, duration) of volcanic activity are not simple.

The representation of intervals on a semi-log diagram shows that the fonction is not linear, then the probality of eruption is not constant and the eruptive phenomenon is not hazardous. The eruptive process of la Fournaise is neither a simple renewal process nor a superposition of point processes but a simple semi-markov process.

In spite of the fact that, for the whole historical period, this type of activity suggest an actual recharging of high level magma at a roughly constant rate, a detailed study of the succession of eruptions and pediods of rest shows that the relations between them are not simple. We cannot consider we have a recharging of a single reservoir but probably several little reservoirs. Moreover, we cannot consider there is a single factor determining a volcanic eruption but several ones (and not only factors of recharging) which must interact to bring about such a phenomenon.

27e Congrès Géologique International ; Moscow, août 1984

ÉVALUATION GLOBALE DE LA RESSOURCE EN EAU DE L'ILE DE LA RÉUNION

Apports de la simulation par modèles hydrologiques

par

A. BARGEAS

RESUME

Les modèles globaux de simulation hydrologique permettent, à partir des données climatiques de hauteurs de pluie et d'évapotranspiration, de calculer des lames d'eau écoulées sur les bassins étudiés. La comparaison des séries de débits calculées et mesurées (bassins jaugés) permet de juger de la qualité de l'ajustement obtenu. Le pas de temps de ces études, mensuel ou journalier, leur donne plus de crédit que la simple confrontation de valeurs annuelles.

La qualité de l'ajustement témoigne d'une relative précision dans l'évaluation des données d'entrée et dans la définition des différents paramètres du modèle qui interviennent dans la schématisation du comportement hydrologique du bassin (lois régissant l'alimentation et la vidange successive de différents réservoirs).

Ces modèles nous permettent donc d'apprécier, à l'échelle des bassins étudiés, la qualité de l'évaluation de la pluie efficace que nous calculons par ailleurs sur l'ensemble de l'île.

* * *

Aussi, après une présentation rapide de l'île de la Réunion, nous reprenons l'inventaire des différentes données hydroclimatiques disponibles, qui nous a permis de définir le cadre spatio-temporel de notre étude et la méthode d'approche globale de la ressource en eau.

L'île de La Réunion est ainsi découpée en mailles régulières de 3 km de côté. En chacune de ces mailles, on évalue sur la chronique retenue, la période 1971-1981, les valeurs mensuelles des apports en eau constituées par les pluies et des reprises par évapotranspiration, ainsi que la capacité de rétention en eau du sol. Ces différentes données sont ensuite confrontées pour définir des apports mensuels nets, disponibles, pour l'écoulement.

* * *

Bien qu'abondamment mesurées (environ 130 postes pluviométriques), les hauteurs de précipitation à La Réunion n'en sont pas moins extrêmement variables, tant dans l'espace que dans le temps. L'extension de ces données doit reposer sur une bonne compréhension préalable de leur répartition que les facteurs physiques, tels l'exposition au vent et l'altitude, ne suffisent à résumer. L'analyse en composantes principales (ACP) réalisée sur ces données permet de dégager 5 types de comportements pluviométriques à La Réunion. La transformation préalable des données (profilage) permet de s'affranchir de l'effet d'abondance lié à la pluviosité différentielle des différents mois sur l'ensemble de l'île et facilite l'interprétation de l'ACP. Les résultats de cette analyse servent de support à l'extension des données (application des relations réciproques entre les variables et les composantes).

THESE IIIe CYCLE, Université de Bordeaux III

Juin 1984 Professeur: M. CLIN

En fonction des données disponibles, l'évapotranspiration potentielle est calculée par la formule mensuelle de Turc. L'extension des données de température repose sur l'application des régressions linéaires définies mensuellement entre ce facteur climatique et l'altitude (très bonne liaison vérifiée à chaque pas de temps). L'insolation, par contre, n'obéit pas à de telles relations, le minimum d'insolation annuel est mesuré dans les zones d'altitude moyenne (1000 à 1500 m) de la côte "sous le vent". Nous avons utilisé les résultats d'une ACP qui s'avère cependant beaucoup moins fructueuse que pour les pluies. La relative incertitude locale sur l'évaluation de ces facteurs climatiques, température et insolation, entraîne sur la valeur de l'ETP une incertitude de l'ordre de précision de la formule considérée (10 à 20 %).

* * *

Le bilan d'eau mensuel réalisé au sol à partir des différentes données (pluie, ETP, capacité de rétention en eau du sol) nous permet de constituer un fichier des précipitations efficaces mensuelles aux 304 mailles retenues. La répartition de ces pluies efficaces apparaît grossièrement homothétique à celle des pluies tant dans l'espace que dans le temps. L'étude fréquentielle montre que la côte "sous le vent" est nettement défavorisée par rapport à la côte "au vent". Une année sur dix, cette région ne reçoit pas de pluie efficace, donc pas de recharge des différents réservoirs tant naturels qu'artificiels, d'où des problèmes importants pour l'alimentation en eau des populations. C'est dans ces régions que la définition des différentes valeurs d'ETP, de capacité de rétention en eau du sol, demande le plus de précision.

L'approche d'un bilan global considérant les valeurs moyennes, à l'échelle d'une unité donnée, de lame d'eau, de hauteur d'eau reprise par évapotranspiration et de réserve en eau du sol, donne des valeurs très proches de celles obtenues par l'étude du bilan en chacune des mailles constituant cette unité. Par contre, l'évaluation de la pluie efficace, par application de régressions linéaires établies avec la pluie, reste très grossière.

* * *

Les lames d'eau estimées par cette approche globale sur l'île permettent de réaliser de bonnes simulations avec les modèles globaux utilisés, et, si quelques incertitudes demeurent, elles sont liées à des insuffisances du réseau pluviométrique. Il n'a pas été possible, par contre, d'améliorer la précision dans l'évaluation de l'ETP qui reste de l'ordre de 10 à 20 %, ni de définir la capacité de rétention de la réserve en eau du sol, même si la majorité des exemples étudiés aboutissent à des valeurs comprises entre 50 et 150 mm.

Ces modèles permettent de mieux comprendre le fonctionnement hydrologique des bassins. Ils montrent la prépondérance de tel ou tel type d'écoulement. Ils mettent en évidence des phénomènes de fuite par infiltration profonde ou de transfert d'eau souterraine entre bassins. Il apparaît que la nature géologique des formations affleurantes joue un rôle déterminant dans le transfert de l'eau au niveau des bassins.

Les principaux contrastes climatiques étant d'ordre saisonnier, il s'avère que les modèles à pas de temps mensuel sont tout-à-fait aptes à décrire le fonctionnement hydrologique des bassins de La Réunion, même si les précipitations intenses et les crues associées sont plutôt d'ordre journalier.

PUBLICATIONS PRESENTEES PAR LE SGR OCEAN INDIEN

1980 - 1988 (résumés)

ANNEE 1985

AUTEURS	TITRE	ORGANE DE PUBLICATION
L. Stieltjes	Statistical and probabilist approach of volcanic hazards for settlement of geothermal drillings and plant in Fournaise active volcano (Reunion Island, western Indian Ocean)	International Symposium on Geothermal Energy, Geothermal Courcel, 9th Annual Meeting, Hawaii, August 1985
L. Stieltjes	Carte des coulées historiques du volcan de la Fournaise à 1/25 000e	Carte Géologique de la France, 1985

STATISTICAL AND PROBABILIST APPROACH OF VOLCANIC HAZARDS FOR SETTLEMENT OF GEOTHERMAL DRILLINGS AND PLANT IN FOURNAISE ACTIVE VOLCANO (REUNION ISLAND, WESTERN INDIAN OCEAN)

Laurent STIELTJES

B.R.G.M. SERVICE GEOLOGIQUE REGIONAL OCEAN INDIEN
B.P. 1206, 97 484 SAINT-DENIS - LA REUNION (FRANCE)

ABSTRACT

The Piton de la Fournaise (2,635 m) is the active basaltic shield volcano of Reunion Island (55°43'E, 21°17'S) in the Western Indian Ocean. As Kilauea, this active volcano built up on the western flank of an older volcano, Piton des Neiges (3,069 m) whose activity dates back 22 000 years B.P.

Geothermal investigations by BRGM (1978-1983) lead to a drilling program in 1985-1986 inside the last U-shaped caldera (8 x 13 km) called Enclos, beside the sea-shore, on historical lava flows (20 to 100 years old).

Carefull archives investigations on historical volcanic activity for 3 centuries have been carried out since 1980 by Indian Ocean Geological Survey (BRGM) in La Reunion for evaluate the hazards for drilling first and for further equipments funneling steam toward geothermal plant, planned to be set up on the external rim of the caldera.

INTRODUCTION

Piton de la Fournaise (Fournaise), on the island of La Réunion in the Indian Ocean is active, basaltic shield volcano growing in intra-plate environment. This volcano lies in a tropical climate that is characterized by an annual average rainfall of as much as 500 cm on the windward (Southeast) flank. Moreover, it is built against and upon the south to southeast flank of a much larger basaltic shield volcano, Piton des Neiges and has erupted hundreds of times within the past two and one-half centuries, providing abundant opportunities for direct observations and study of a variety of volcanic activity. Upton and Wadsworth (1965) and Ludden (1978) demonstrated a general parallelism in chemical composition of lavas of Fournaise and Kilauea volcanoes, although lavas of Fournaise are generally somewhat more alkalic than their Kilauean counterparts, and Ludden (1977) concluded that the average rate of magma production has been nearly identical for the two volcanoes during recent historic time. Duffield, Stieltjes and Varet (1982) suggested a structural comparison on gravitational slumping of large parts of each volcano as an important mode of structural evolution.

Geothermal drilling program is planned in 1985-1986 within the caldera, in Grand Brulé (Fig.1). The abundant volcanic activity within this caldera since 3 centuries (Fig.2) lead us to carefully study the occurrences and evolution of volcanic activity these last decennies.

STRUCTURE OF FOURNAISE VOLCANO

The principal structural features of Fournaise are : (1) a summit caldera and adjoining downfaulted trough, (2) a family of broadly curving faults that are nested around the caldera, to the west, and (3) three rift zones (Fig.1). The caldera is an 8 km-wide collapse depression within which a roughly 400 m-high lava shield has grown around the principal intra-caldera vent. The top of this lava shield is indented by Dolomieu and Bory craters, nearly interconnected and roughly 1,000 m and 250 m wide, respectively. The caldera is breached on the east, where it connects with an 8 km-wide, east-trending, downfaulted trough that extends to the sea coast and presumably beyond. The walls of this composite depression range from about 100 m to 300 m in height and have effectively contained all historic and recent prehistoric lava flows that originated within the caldera. The caldera is called the Grand Enclos, in reference to its part in enclosing many of these lavas ; the name Grand Brulé is applied to the lower part of the east-trending trough, in reference to the burned, devastated character of the landscape that has resulted from repeated encroachment of young lava flows from the caldera.

The caldera is nested within a family of broadly curving, steep-walled canyons and in ward-facing escarpments. The largest canyons, those of Rivière des Remparts and Rivière de l'Est are as deep as 1100 m and 600 m, respectively, and are characterized by outer walls that are notably steeper than inner walls. The monotonous, homogeneous nature of the sequences of lava flows exposed in opposing walls has, to date, precluded any documentation of fault offset across the river canyons. There can be little doubt, however, that the rivers initially took their courses along the base of generally east-facing fault scarps because, except in their lowermost reaches, the rivers trend at a large angle to the direction of widespread consequent drainage developed on constructional slopes of the volcano. The lowermost reaches may parallel

1985 International Symposium on Geothermal Energy
9th annual meeting, Hawaii 26-30 august 1985
Geothermal Resources Council

Notice explicative

de la

CARTE DES COULÉES HISTORIQUES

DU VOLCAN DE LA FOURNAISE

(Ile de la Réunion, Océan Indien)

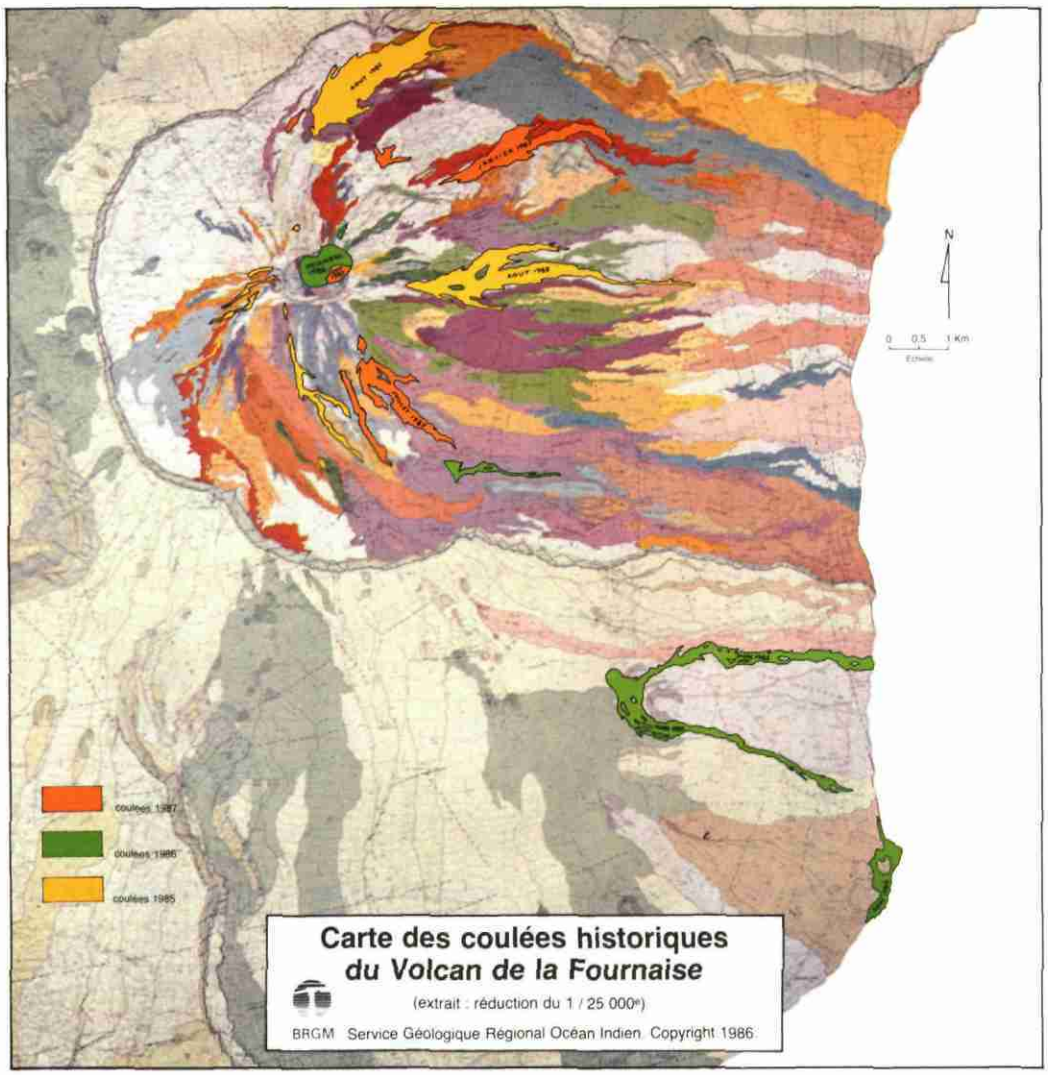
1/25.000e

Laurent Stieltjes (1)

avec la collaboration de : Patrick Bachélery (2), André Bacquet (5), Auguste de Villèle (5), Michel Kasser (3), Jean-François Lénat (4), Philippe Moutou (1)

(1) Service Géologique Régional de l'Océan Indien (BRGM)
(2) Université de la Réunion
(3) Institut Géographique National (IGN)
(4) Observatoire Volcanologique de la Réunion (IPG de Paris)
actuellement: Centre de Recherches Volcanologiques (IOPG de Clermont-Ferrand, Univ. Clermont II)
(5) Fidèles passionnés du volcan, cinéastes.

IMPRIMERIE AGM - ST-DENIS LA RÉUNION


N
0 0,5 1 Km
Echelle
coulées 1987
coulées 1986
coulées 1985
Carte des coulées historiques
du Volcan de la Fournaise
(extrait : réduction du 1 / 25 000e)
BRGM Service Géologique Régional Océan Indien Copyright 1986

Notice explicative

de la

CARTE DES COULÉES HISTORIQUES

DU VOLCAN DE LA FOURNAISE

(Ile de la Réunion, Océan Indien)

1/25.000e

Laurent Stieltjes (1)

avec la collaboration de : Patrick Bachélery (2), André Bacquet (5), Auguste de Villele (5), Michel Kasser (3), Jean-François Lénat (4), Philippe Mouton (1)

(1) Service Geologique Régional de l'Océan Indien (BRGM)
(2) Université de la Réunion
(3) Institut Géographique National (IGN)
(4) Observatoire Volcanologique de la Réunion (IPG de Paris)
actuellement Centre de Recherches Volcanologiques (IOPG du Clermont-Ferrand, Univ. Clermont II)
(5) Fideles passionnés du volcan, cinéastes

IMPRIMERIE AGM - ST-DENIS LA RÉUNION

Le volcan de la Fournaise est l'un des plus régulièrement actifs dans le monde avec, en moyenne, une eruption, tous les 10 mois. Les Reunionnais vivent au rythme de ses fréquentes palpitations et montent en nombre, en famille, entre amis, participer à la fête que leur offre leur volcan.

Comprendre, se repérer dans l'Enclos, donner un âge ou une date à la coulée «en gratons» ou «en tripes» que l'on traverse avec difficultés, situer la nouvelle éruption qui vient d'être annoncée et envisager son excursion..., tels sont les buts de cette carte et de sa notice explicative rédigés par des chercheurs, spécialistes du volcan mais qui en sont aussi des amoureux, y mettant leur science et leur enthousiasme.

La cartographie des coulées historiques (et préhistoriques) de la Fournaise présente l'originalité d'être évolutive grâce à la mémorisation des coulées par ordinateur. Chaque nouvelle éruption est ainsi cartographiée, mais la trace des évènements qui viennent d'être recouverts, parfois vieux d'un an à peine ou moins encore, est gardée en mémoire et peut ainsi être retracée au lieu de se perdre dans l'oubli des hommes et de l'histoire géologique.

Mais cette fête amicale et fascinante du feu terrestre, ce laboratoire scientifique vivant, tournent parfois au drame lorsque le volcan sort de ses gonds, sort de l'Enclos, pour aller traverser de ses laves, forêts, champs, routes et villages des zones côtières ou projeter au loin, par le vent, ses cendres ou cheveux de Pélé. Ainsi, plusieurs fois par siècle, le Piton de la Fournaise nous rappelle que dans sa fraternité, il reste avant tout l'expression discrète mais présente des formidables forces internes de la Terre, créatrice des océans et du mouvement relatif des continents, des chaines de montagnes, des séismes destructeurs.

Sommaire

Avant-propos ..... Page 5
Présentation générale de la carte ..... Page 7
Histoire de l'observation du volcan de la Fournaise ..... Page 9
Le volcan de la Réunion dans le contexte géodynamique de l'océan Indien ..... Page 11
L'environnement géologique de la Réunion ..... Page 13
Failles, fissures actives et calderas, leur explication et leur rôle ..... Page 17
L'activité sismique et les mouvements profonds de magma ..... Page 21
Les déformations du volcan: leurs mesures et leurs significations ..... Page 23
L'activité volcanique historique du volcan de la Fournaise ..... Page 25
Les divers types d'éruptions du Piton de la Fournaise ..... Page 33
Histoire de l'évolution récente du dôme central et des cratères sommitaux ..... Page 37
Le fichier informatisé «activité volcanique» de la Fournaise ..... Page 39
Petit lexique volcanologique du Piton de la Fournaise ..... Page 41

PUBLICATIONS PRESENTEES PAR LE SGR OCEAN INDIEN

1980 - 1988 (résumés)

ANNEE 1986

AUTEURS	TITRE	ORGANE DE PUBLICATION
L. Stieltjes M. Steenhoudt B. Gourgand M. Daesslé	Atlas hydrogéologique de la Réunion	Ouvrage imprimé Ministère de l'Agriculture, Conseil Général de la Réunion Référencé BRGM 86 REU 30

CONSEIL GÉNÉRAL DE LA RÉUNION

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

Atlas hydrogéologique de la Réunion

Préface de Monsieur Auguste LEGROS, Président du Conseil Général

Réalisé par le Service Géologique Régional de l'Océan Indien

Responsable scientifique et de la réalisation ..... L. STIELTJES
Appui, données scientifiques ..... M. STEENHOUDT
Réalisation scientifique et technique ..... B. GOURGAND
Suivi scientifique et technique ..... M. DAESSLE

Imprimé en octobre 1986 pour le compte du Conseil Général de la Réunion
Tirage limité à 400 exemplaires.

Tout droit de reproduction et d adaptation réservé (textes, cartes, images satellite...)

Dépôt légal octobre 1986

BRGM

En collaboration avec les services compétents

du Conseil Général de la Réunion,
de la Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales,
de la Direction Départementale de l'Agriculture,
de la Direction Départementale de l'Équipement,
de la Direction Régionale de l'Industrie et de la Recherche,
du Service Régional de la Météorologie Nationale,
de l'Université de la Réunion

Document référencé 86 REU 30

Image de couverture. vue oblique de la Réunion, obtenue par traitement spécifique d'une image LANDSAT par le BRGM (Division Télédétection)

Maquettes et Impression AGM ST-DENIS (La Réunion)

SOMMAIRE

PREMIÈRE PARTIE

Illustration n°1: Le problème de l'eau à la Réunion. Situation géographique.
Illustration n°2: Morphologie et paysages.
Illustration n°3: Les sols de la Réunion. Les grands traits économiques et sociaux de la Réunion à la fin de 1985.
Illustration n°4: Aperçu sur la climatologie de l'île de la Réunion.
Illustration n°5: Les phénomènes météorologiques exceptionnels à la Réunion.
Illustration n°6: Géologie de l'île de la Réunion.
Illustration n°7: Le Piton de la Fournaise, volcan actif de la Réunion.
Illustration n°8: Répartition des compétences en matière de police des eaux.

DEUXIÈME PARTIE

Illustration n°9: Les ressources en eau. Le cycle de l'eau dans le contexte volcanique de l'île de la Réunion.
Illustration n°10 } Bilan hydrologique. Évaluation globale de la ressource en eau.
Illustration n°11: }
Illustration n°12: Les eaux superficielles: débits et régimes des rivières de la Réunion.
Illustration n°13: Exploitation de la ressource en eau superficielle.
Illustration n°14: Modes de gisement et exploitabilité de la ressource en eau souterraine.
Illustration n°15: Les sources de la Réunion: exploitation de la ressource en eau souterraine par captage des émergences (exutoires des nappes perchées).
Illustration n°16: Exploration du sous-sol. Prospection des eaux souterraines à la Réunion.
Illustration n°17: Exploitation et utilisation des nappes d'eau souterraine par pompage.
Illustration n°18: Exemple de ressources en eau souterraine contenues en milieu alluvial: La Plaine des Galets.
Illustration n°19: Exemple de ressources en eau souterraine contenues en milieu volcanique basaltique: les pentes de St-Denis.
Illustration n°20: Exemple de ressources en eau souterraine contenues en milieu alluvial et en milieu basltique: la Plaine du Gol.
Illustration n°21: Qualité des eaux souterraines. Préservation de la qualité des eaux.
Illustration n°22: Les grands projets dans le domaine de l'eau à la Réunion.
Illustration n°23: Bilan des ressources en eau de la Réunion: utilisation,prospection et gestion.

TROISIÈME PARTIE

Illustration n°24: Bibliographie

PRÉFACE

L'eau est un élément fondamental du développement. Son absence ou sa brutale abondance constituent par ailleurs, dans notre contexte hydroclimatique, un facteur de risque pour l'hygiène et la sécurité des personnes et des biens.

Dans l'Île de la Réunion, où les conditions topographiques induisent une répartition des ressources très contrastée entre la côte est, au vent, et la côte ouest, la satisfaction des besoins en eau pour les usages domestiques, agricoles ou industriels a toujours nécessité la réalisation d'ouvrages complexes et coûteux. Le Département s'est engagé depuis de nombreuses années dans des programmes d'études et de travaux pour mobiliser de nouvelles ressources en eau: les premières mesures de débit datent des années 1950 et le premier bilan hydrologique a été réalisé par l'O.R.S.T.O.M. en 1960. Le programme d'étude atteint annuellement 4.000.000 F. Le Département a doté la Régie Départementale des Travaux Agricoles et Ruraux d'équipes de puisatiers (1963) puis de foreurs (1970) et d'outils de forage performants. Les programmes annuels d'alimentation en eau potable des Communes dépassent 120.000.000 F, et les investissements réalisés dans le domaine de l'irrigation (Bras de la Plaine, Bras de Cilaos...) sont considérables. Dans le même temps, le programme pluriannuel d'endiguement des ravines situe, à hauteur de 26.000.000 F, le rythme annuel des travaux de protection des lieux habités.

Ces efforts ont connu une accélération notoire depuis 1984 (qui fut pour notre Assemblée «l'année de l'eau», doivent être poursuivis pour assurer la satisfaction des besoins des générations futures, l'intensification de notre agriculture, notamment sur la côte ouest, le développement énergétique et industriel et la sécurité des populations. La mise à l'étude et la réalisation prochaine du transfert vers Saint-Paul de l'eau disponible dans le cirque de Mafate, et peut-être plus tard de l'eau du cirque de Salazie, marquent nos préoccupations.

La réalisation de cet atlas hydrogéologique a pour but de faire un état de nos connaissances actuelles dans le domaine de l'eau et plus particulièrement dans celui des eaux souterraines. Il présente, dans sa première partie, les caractéristiques générales de l'Île: géographie, climat, géologie. Dans sa seconde partie, il détaille les ressources superficielles et souterraines, leurs qualités, leurs modalités d'exploitation avec indication des ouvrages existants, et tente une approche par secteurs géographiques du bilan des exploitations vis à vis des ressources. La dernière partie, plus spécialisée, fait l'inventaire des études réalisées à ce jour dans le domaine de l'eau à la Réunion.

Je tiens à remercier les différents services qui ont contribué à la rédaction de ce document: la Météorologie Nationale pour la partie climatique, la Direction Départementale de l'Agriculture pour les ressources en eau superficielle, l'eau potable et l'irrigation, la Direction Départementale de l'Équipement pour les travaux d'endiguement des ravines, la Direction des Affaires Sanitaires et Sociales pour la qualité des eaux, la Direction Régionale de l'Industrie et de la Recherche pour la protection des eaux souterraines et des eaux thermales, l'Université pour son concours, et le Service Géologique Régional du B.R.G.M. pour la géologie, les eaux souterraines, la synthèse des données, la conception et la réalisation du document.

Cet atlas est présenté de manière claire, évolutive et moderne, utilisant des images satellite, des informations traitées par informatique et un support cartographique de conception nouvelle pour la géologie.

Il servira d'outil de réflexion pour les élus et pour tous ceux qui ont des responsabilités dans le domaine de l'eau, et permettra à la Réunion de jouer le rôle de pilote que l'on peut attendre de ce Département éloigné dans l'océan Indien.

J'espère que vous prendrez, en le consultant, de l'intérêt et du plaisir, et qu'il contribuera à la protection de cette précieuse ressource.

LE PRÉSIDENT DU CONSEIL GÉNÉRAL
AUGUSTE LEGROS

PUBLICATIONS PRESENTEES PAR LE SGR OCEAN INDIEN

1980 - 1988 (résumés)

ANNEE 1987

AUTEURS	TITRE	ORGANE DE PUBLICATION
P. Lerebour	Etude du forage du Grand Brûlé (Piton de la Fournaise, île de la Réunion - Lithostratigraphie, pétrologie, minéralogie primaire et secondaire	Thèse de 3è cycle Université de Paris-Sud, Centre d'Orsay, 24 février 1987
J.L. Haurie	Géodynamique des cirques de la Réunion - Implications géotechniques et stabilité des versants	Thèse de Spécialité Université de Grenoble IRIGM, 22 décembre 1987

ORSAY
N° d'ordre : 4086

UNIVERSITE DE PARIS - SUD

CENTRE D'ORSAY

THESE

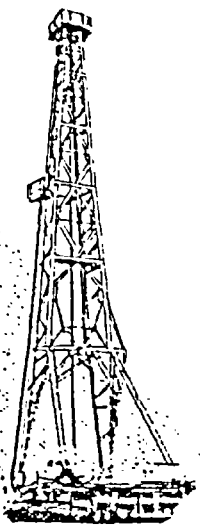
présentée

pour obtenir

LE TITRE DE DOCTEUR 3e CYCLE

Par

Patrice LEREBOUR



ÉTUDE DU FORAGE DU GRAND BRULÉ (Piton de la Fournaise, Ile de la Réunion) : LITHOSTRATIGRAPHIE, PÉTROLOGIE, MINÉRALOGIES PRIMAIRE ET SECONDAIRE

CONSÉQUENCES SUR L'ÉVOLUTION VOLCANO-STRUCTURALE DU MASSIF DU PITON DE LA FOURNAISE

soutenue le 24 février 1987 devant la Commission d'examen

MM R. BROUSSE	Président
J P. RANÇON	Rapporteur
T. AUGE	Examinateur
J M. BARDINTZEFF	Examinateur
J F LENAT	Examinateur
P. NATIVEL	Examinateur
D. WESTERCAMP	Examinateur

RESUME

Le matériel récolté (carottes et déblais) lors du forage profond (3003,5 m) d'exploration géothermique, réalisé de Juin à Octobre 1985 sur le flanc est du Piton de la Fournaise dans l'île de la Réunion a été exploité en vue d'établir la colonne lithologique et d'étudier la pétrographie et la minéralogie des différentes formations.

La colonne lithologique est caractérisée par deux grandes séquences. De 0 à 1010 m le forage a recoupé un empilement de produits volcaniques basaltiques dont le chimisme à caractère transitionnel a déjà été reconnu dans les produits de surface du Piton de la Fournaise. Dans cet empilement les premiers dépôts mis en place en milieu sous-marin apparaissent à la cote 440 m (-268 m sous le niveau de la mer) ; en intercalation dans des formations sous-marines, des laves mises en place en contexte aérien ont été recoupées entre les cotes 620 et 890 m. La deuxième séquence, entre les cotes 1010 et 3003 m correspond à un complexe intrusif lité avec, de haut en bas, la succession suivante : gabbro à olivine, wehrlite, dunite.

Les laves (0-1010 m), à proximité de drains chauds (fractures et intrusions filoniennes), ont été affectées par une altération hydrothermale. Le complexe intrusif (1010-3003 m) présente d'une part des minéraux tardimagmatiques, et d'autre part des serpentines et des minéraux hydrothermaux ; les deux groupes de minéraux représentent deux étapes du refroidissement de ce complexe intrusif : $900 \leq T \leq 600°C$, et $T \leq 350°C$.

L'étude pétrologique et minéralogique conduit à regarder les roches du complexe intrusif comme des cumulats appartenant à une chambre magmatique. L'interprétation des levés aéromagnétiques de la zone du Grand Brûlé permet d'estimer que l'âge de cette chambre est supérieur à 0,7 Ma.

L'existence d'un édifice ancien, -la Protofournaise-, et ses conséquences sur l'évolution structurale du Massif de la Fournaise, sont discutées à partir des données du forage et de la réinterprétation des données de surface. Cet appareil, partiellement érodé puis recouvert par des dépôts de la Fournaise, serait responsable de la subsidence du flanc est du Massif de la Fournaise. Les "calderas" des Remparts et des Sables, ainsi que la Plaine des Palmistes en seraient les conséquences.

INSTITUT DE RECHERCHES INTERDISCIPLINAIRES DE GÉOLOGIE ET DE MÉCANIQUE

THÈSE

présentée à

l'UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE, TECHNOLOGIQUE
ET MÉDICALE DE GRENOBLE

pour obtenir le grade de

DOCTEUR
Spécialité :

Géologie du Génie Civil

par

Jean - Louis HAURIE

SUJET

GEODYNAMIQUE DES CIRQUES DE LA REUNION
IMPLICATIONS GEOTECHNIQUES ET STABILITE DES VERSANTS

Soutenue le 22 Décembre 1987 devant la Commission d'Examen

M. P. ANTOINE	Président
MME. N. VATIN PERIGNON	Rapporteurs
M. J. COUDRAY	
M. J. LETOURNEUR	Examinateurs
M. M. HUMBERT	
M. A. GIRAUD	

GRENOBLE

Titre de l'ouvrage :

GEODYNAMIQUE
DES CIRQUES DE LA REUNION
IMPLICATIONS GEOTECHNIQUES
ET STABILITE DES VERSANTS

Nom de l'auteur : Jean-Louis HAURIE

Etablissement : Institut de Recherches Interdisciplinaires
de Géologie et de Mécanique

RESUME

Ce travail analyse l'ensemble des paramètres nécessaires à la compréhension du mécanisme de la formation des cirques et des mouvements de versants actuels qui s'y rattachent, ceci en vue d'y définir les conditions géotechniques indispensables au zonage du risque, comme à tout projet d'aménagement.

« La première partie présente les traits généraux de l'île, l'occupation du sol des cirques et souligne les particularités hydro-météorologiques.

« La deuxième partie concerne tous les événements géologiques qui se sont produits avant l'arrêt de l'activité volcanique du Piton des Neiges, vers 25 000 ans BP. On y expose le contexte géotectonique, puis les données lithostratigraphiques et structurales, ainsi que l'altération hydrothermale subie par les matériaux originels, en faisant ressortir les faits géologiques qui ont une incidence marquée sur les caractéristiques géotechniques globales du massif.

« La troisième partie analyse les modalités de l'action des principaux agents morphogénétiques présidant à l'évolution des reliefs, lors des périodes de calme éruptif, et aboutit à une interprétation des mécanismes de la naissance et du développement des cirques.

« la quatrième partie exploite le schéma de distribution spatiale et temporelle issu des analyses précédentes pour une analyse de la dynamique et de l'érosion des versants, une classification géotechnique des terrains et une méthodologie de zonage du risque.

MOTS-CLEFS

Ile de la Réunion - Cirque - Salazie - Terrains volcaniques - Océanites - Brèches - Laves différenciées - Hydrothermalisation - Smectites - Zéolites - Caldeiras - Intrusions - Formations détritiques - Mouvements de terrain - Coulées boueuses - Ravinement - Risques naturels - Pyroclastites - Coulées boueuses - Plans d' Occupation des Sols - Erosion -

PUBLICATIONS PRESENTEES PAR LE SGR OCEAN INDIEN
1980 - 1988 (résumés)

ANNEE 1988

AUTEURS	TITRE	ORGANE DE PUBLICATION
L. Stieltjes Ph. Moutou	A statistical and probabilistic study of the historic activity of Piton de la Fournaise, Indian Ocean (Reunion Island)	Journal of Volcanology and Geothermal Research, 36, (1989)
L. Stieltjes	Natural hazards on Piton de la Fournaise volcano (Reunion Island, western Indian Ocean)	Kagoshima International Conference on Volcanoes, juillet 1988
Numéro spécial de la revue "Hydrogéologie" sur les îles volcaniques		
L. Stieltjes M. Steenhoudt B. Gourgand M. Daesslé	L'Altas hydrogéologique de la Réunion	Hydrogéologie n° 2, 1988, pp. 81-82
L. Stieltjes B. Gourgand M. Steenhoudt	Modes de circulation et de gisement de l'eau souterraine dans un volcan bouclier basaltique. Exemple de l'île de la Réunion, milieu océanique tropical	Hydrogéologie n° 2 1988, PP. 83-94
B. Gourgand L. Stieltjes	Hydrogéologie du volcan de la Fournaise (île de la Réunion)	Hydrogéologie n° 2, 1988, pp 95-105
J.L. Join J.B. Pommé J. Coudray M. Daesslé	Caractérisation des aquifères basaltiques en domaine littoral. Impact d'un récif coralien	Hydrogéologie n° 2, 1988, pp. 107-115
B. Gourgand L. Stieltjes M. Daesslé	Ile de la Réunion : exploitation des eaux souterraines. Bilan des prélèvements effectués en 1985 par puits et forages	Hydrogéologie n° 2, 1988, pp. 117-123
L. Stieltjes	Hydrogéologie de l'île volcanique océanique de Mayotte (archipel des Comores, océan Indien occidental)	Hydrogéologie n° 2, 1988, pp. 135-151

Journal of Volcanology and Geothermal Research, 36 (1989)
Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam— Printed in The Netherlands

A STATISTICAL AND PROBABILISTIC STUDY OF THE HISTORIC ACTIVITY OF PITON DE LA FOURNAISE, INDIAN OCEAN (REUNION ISLAND)

LAURENT STIELTJES and PHILIPPE MOUTOU

BRGM Service Géologique Régional Océan Indien, BP 1206, 97484 St Denis, La Réunion, France

(Received and accepted for publication March 31, 1988)

Abstract

Stieltjes, L. and Moutou, P., 1989. A statistical probabilistic study of the historic activity of Piton de la Fournaise, Réunion Island, Indian Ocean. In: A.R. McBirney (Editor), Piton de la Fournaise Volcans, Réunion Island. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 36:

The Piton de la Fournaise (2,635 m) is the active basaltic shield volcano of Reunion island (55°43'E, 21°17'S) in the western Indian Ocean. This volcano has been built up on the western flank of an older volcano, Piton des Neiges (3069 m), whose activity dates back 22,000 y. B.P.

The statistical and probabilist approach to Fournaise volcanic activity for the last 150, 50, and 15 years is based on careful investigations of archives (from 1980 to 1983). Historical periods of volcanic activity and inactivity have a statistical behaviour linked to a Poisson-law process: Fournaise's eruptions are then linked to internal phenomena due to refilling of different magma reservoirs.

Three major volcanic cycles for the last 50 years have lasted between 15 and 30 years each. The main lava out-put for this last half century is 0.16 m^3/s; but the lava outputs for the eruptions vary from 0.32 m^3/s to 10 m^3/s.

While the internal processes (activity of magma chambers) essentially determine the duration and the types of activity or inactivity of Fournaise volcano, it is the external processes, such as earth tides (due to the different moon phases) which have a determinant effect on the triggering of eruptions. The earth's tides are determinant within a two weeks period due to the transfer of magma to the shallow reservoir (1-2 km depth).

KAGOSHIMA INTERNATIONAL CONFERENCE
ON VOLCANOES
鹿児島国際火山会議 1988

ABSTRACTS
要旨集

NATURAL HAZARDS ON PITON DE LA FOURNAISE VOLCANO (REUNION ISLAND, WESTERN INDIAN OCEAN)

Laurent STIELTJES

BRGM - Service Géologique Régional Océan Indien
BP 1206 - 97484 ST DENIS, LA REUNION, FRANCE

The Piton de la Fournaise (2,635 m) is the active basaltic shield volcano of Reunion island (55°43'E, 21°17'S) in the western Indian Ocean. It is one of the most regularly active volcanoes in the world (an average of one event every 10 months) ; moreover, its effusion rate has increased in the last 30 years to 0.3 m3/s.

The oldest data on the Fournaise's historical activity given, by seamen, date from 1644. Archives investigations have brought to light about 200 recorded subaerial events. No historical or prehistorical submarine eruptive center is known.

The flanks of Fournaise volcano are scarcely inhabited by scattered rural, cosmopolitan and multireligious populations (christians, muslims, tamouls, hindus, shintoists, animists) which behavior in front of eruptions is yet badly known. This population is stretched over on both sides of the littoral road in two major linespread villages (9 000 inhab.) in the vicinity or on the spots of the northeast and southeast active lateral rift zones outside the caldera, where 5% of the eruptions occur. Nobody live inside the caldera where 95% of the eruptions occur ; it is only crossed by the road and occupied by some bush plantations growing on recent lava flows and scoriaes : vanilla, cardamom. A small town (24 000 inhab.) lies far from these active zones. No industry, no regional interest building (hospital, ...) are set up on these volcano flanks.

The principal type of eruption is "hawaiian" providing mainly fluid lava flows of oceanic basalts running downhill toward the sea (v : 400 m/day to 60 km/h). Sugar cane and vanilla plantations, forests, roads, electric lines, water pipes, building and houses are episodically destroyed by lava flows (decennial frequency). Creeks fullfilled by lavas change their bed and the surface run off with some major risks for the population.

Lava fountains may produce Pele's hairs (decennial frequency) widespread by tradewinds over the immediate surrounded areas (115 000 inhab.), and sometimes over the whole island (500 000 inhab. concerned). Cattle and market-garden may be then respectively killed and spoilt. Phreatic eruptions produce cinders which way be scattered over the whole island (1802 ; 1812 ; 1861). Sulfur can be exhausted in significant quantities from vents (50 to 100 T/day) during an eruption ; its consequenses are unknown.

In addition to the direct volcanic hazards, we have to reckon with indirect hazards : slumpings occur on the ancient collapsed structures walls, deeply eroded by rivers ; they may be triggered by water charge (world record of rainfalls between 12 hours to 15 days) or by rare regional seisms (1927). Landslides dams and mud flows also occur (1927 ; 1962), determining significant risks for about 15 000 inhab. As Kilauea volcano (Hilina fault zone) in Hawaii, Fournaise volcano is threatened by huge landslide blocks with the slumping of entire rift-zone-bounded blocks themselves, concerning about 4 000 persons.

An alert plan (plan ORSEC) is set at work for each eruption by the chief administrator (Prefect), supported by scientific survey provided by the IPG Volcanological Observatory (sismic, deformation, magnetic permanent networks), University of la Réunion (geology), and BRGM-Service Géologique Régional (geology, computered mapping, computered data banks, landslides). No evacuation plan or special permanent rules are extant.

For natural hazards, a new research field in progress (BRGM) deal with volcanic and mud lava flows simulation, out from computer 1/25 000e lava flows mapping, and with the development of original calculation program.

KAGOSHIMA INTERNATIONAL CONFERENCE
ON VOLCANOES
鹿児島国際火山会議 1988

ABSTRACTS
要旨集

PITON DE LA FOURNAISE（ピトンドラフルネーズ）火山の自然性危険

Laurent Stieltjes
BRGE-Service Geologique Regional Ocian Indien
BP 1206-97484 ST DENIS, LA REUNION, FRANCE

Piton de la Fournaise (2,635 m) は、西インド洋にあるレユニオン島の玄武岩質楯状地の活火山 (55°43′E, 21°17′S) である。世界で最も定期的に活動している火山の1つである（平均10ケ月ごとに1回）。さらにその噴出率はここ30年間で 0.3㎥／sまで増大した。

1644年に初めて、船員が Fournaise火山の歴史的活動に関する情報をもたらした。古い記録と調査した結果、 200件もの地表事象記録が明らかになった。歴史的な海底噴火の中心地や有史以前の海底噴火の中心地は、わかっていない。

Fournaise火山の山腹には、村落やコスモポリタン集団や多数の宗教集団（キリスト教、イスラム教、タミル教、ヒンズー教、精霊崇拝教）の集落がまばらにあるだけで、噴火に直面した場合の行動については残念ながらわからない。これらの集落は、カルデラの外側の北東及び南東の活発な横地割れ地帯の地点やその付近にある線状に拡がる2つの大部落（人口 9,000人）の沿岸道路の内側に伸びている。この地域では噴火の5%が発生している。噴火の95%が発生しているカルデラの内側には誰も住んでいない。ただ道路が走っており、最近の溶岩流とスコリアの上に低木が植込まれ成長している。小さな町（人口24,000人）まではこの活火山地帯からは遠い。この火山山腹には産業もなく地域の利益となる建物（病院など）もない。

噴火の主な種類は、「ハワイアン」型であり、海洋玄武岩の流動性溶岩流が海に向かって山腹を流れ下る（速度： 400m／日～60km／時）。サトウキビやバニラの農園、森林、道路、電力線、水道管、建物、家などは溶岩流により時たま破壊される（10年に1回の割合）。溶岩で満たされたクリークはその底を変化させ、表面を流出させ、住民に大きなリスクをもたらす。

溶岩の噴出は、直ぐ周辺の地域（人口 115,000人）や時には島全体（関連人口 500,000人）に、貿易風により広く火山灰（10年に1回）を作ることがある。その際、牛は死に、菜園は害を受ける。溶水噴火は噴石を放出し、島全体に分散した（1802年；1812年；1861年）。相当な量の硫黄が噴火中に火道から排出されることがある。その重大性についてはわかっていない。

直接的な火山性危険の他に、間接的な危険についても考慮しなければならない。地すべりが、川により深く浸食された、古い崩壊構造壁に起きる。地すべりの原因は大雨（12時間から15日間の世界的降雨記録）や稀な地域地震（1927年）である。山くずれによる堰止めや泥流も起き（1927年；1962年）、約15,000人の住民に相当なリスクをもたらす。ハワイのキラウェア火山（Hi-lina 断層地帯）と同様に、 Fournaise火山は、地割れ地帯を境界とする区画全体の地すべりを伴う大規模な山崩れによる地塊の脅威があり、 4,000人を巻き込むことになる。

警報発令計画（計画ＯＲＳＥＣ）は、主任管理者（長官）により噴火ごとに配備され、IGG Volcanological Observatory（地震、変形、磁気永久網）、レユニオン大学（地質学）、BRGM-Service Geologique Regional(地質学、コンピューターによる地図作成、コンピューターデータバンク、地すべり）が行う科学調査がサポートする。避難計画や特殊な永久規則はない。

自然性危険については、現在進められている新しい研究分野（BRGM）は、コンピュータ1／25000e溶岩泥流地図から、火山と溶岩泥流シミュレーションについて研究しており、最初の計算プログラムも策定している。

Hydrogéologie, n°2, 1988, pp. 81-82.

CONSEIL GÉNÉRAL DE LA RÉUNION MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

L'atlas hydrogéologique de la Réunion

L. STIELTJES *, M. STEENHOUDT **, B. GOURGAND ***, M. DAESSLÉ *

Mots-clés : Cartographie, Hydrogéologie, Ile Réunion

L'île de la Réunion (département français ; 550 000 habitants en 1986 ; 2 511 km^2) est une île volcanique située dans le sud-ouest de l'océan Indien, à 300 km au nord du tropique du Capricorne, par 21° de latitude sud et 55°30 de longitude est.

L'île qui culmine à 3 069 m, constitue la partie émergée d'un énorme stratovolcan (7 000 m de hauteur) posé sur le plancher de l'océan Indien. Elle est formée de deux cônes basaltiques jumelés; le plus ancien et principal, le Piton des Neiges, s'est construit pour sa partie aérienne entre 2 millions d'années et 20 000 ans et est aujourd'hui creusé par l'érosion en trois grands cirques coalescents de 1 000 à 2 000 m de profondeur et de 10 km environ chacun de largeur. Le plus récent, le Piton de la Fournaise, est apparu sur le flanc sud-est du Piton des Neiges il y a 350 000 ans et reste actif à l'heure actuelle (1 éruption tous les 12 mois en moyenne). Ces deux volcans sont formés d'un empilement "en sandwich" de plusieurs milliers de mètres d'épaisseur, constitué d'une alternance "lave-scories", compartimenté par des dykes, et dont le pendage moyen est de 5° à 18° vers la mer, sauf entre les deux volcans où les laves des deux appareils s'interpénètrent.

La Réunion, au climat tropical océanique humide, reçoit annuellement plusieurs mètres d'eau à sa surface, essentiellement en raison du passage de décembre à mai, au voisinage de l'île, de cyclones et de dépressions tropicales. Ces apports sont cependant très inégalement répartis :

- la côte au-vent, la côte est, est abondamment arrosée (plus de 9 m d'eau en moyenne par an sur certains secteurs);
- la côte sous-le-vent, la côte ouest, présente un déficit en eau très prononcé.

Dans un contexte aussi contrasté, les problèmes de ressources en eau sont encore importants à la Réunion, particulièrement sur la côte sous-le-vent, où est concentrée la majorité de la population et des besoins en eau.

Bien qu'une vingtaine de rivières seulement soient pérennes sur l'île, les eaux superficielles sont largement sollicitées, notamment pour l'irrigation et la production électrique. Leurs débits à l'étiage dépassent rarement 1 m^3/s, alors que leurs débits de crues, souvent plusieurs centaines de fois supérieurs, représentent un réel danger pour les biens et les personnes.

* BRGM, Service géologique régional de l'océan Indien (SGR/OI), 46bis rue de Nice, 97484 Saint Denis Cedex, La Réunion
** BRGM, Service géologique national, Département eau, environnement, énergie (anciennement SGR/OI)
*** Conseil général de la Réunion, Division infrastructures et transports (anciennement SGR/OI)

Les eaux souterraines, dont la mise en valeur n'a réellement débuté à la Réunion que dans les années 1970, sont elles aussi inégalement réparties, et leur prospection est rendue délicate en raison des conditions hydrogéologiques complexes, liées à la discontinuité du milieu volcanique. Ainsi, distingue-t-on :

– la zone des "Hauts", marquée par l'absence de structures géologiques de stockage et la superposition, conformément à l'empilement du "sandwich" lave-scories, d'aquifères perchés de faible puissance ;

– la zone littorale où les ressources souterraines du "complexe aquifère de base" peuvent être importantes : sous le niveau de la mer, les terrains sont saturés à la fois par les eaux douces venues des flancs des volcans et par les eaux marines infiltrées latéralement. La mobilisation de ces ressources doit être conduite avec précaution afin de ne pas rompre l'équilibre eau douce/eau salée.

L'atlas hydrogéologique de la Réunion fait la synthèse de toutes ces connaissances acquises dans le domaine de l'eau depuis 25 années. Il regroupe à la fois des inventaires, des données ponctuelles et des analyses plus poussées menées en hydrologie et en hydrogéologie.

Réalisé en 1986 à l'initiative du Département de la Réunion, cet atlas est devenu un outil de réflexion et une référence essentielle pour les techniciens de l'eau, mais également pour tous ceux qui ont en charge, dans notre île, de choisir et de décider des options principales pour la mise en valeur de la ressource en eau, élément fondamental de développement économique et social.

En collaboration avec les services compétents :
– du Conseil général de la Réunion
– de la Direction départementale des affaires sanitaires et sociales
– de la Direction départementale de l'agriculture
– de la Direction départementale de l'équipement
– de la Direction régionale de l'industrie et de la recherche
– du Service régional de la météorologie nationale
– de l'Université de la Réunion.

Hydrogéologie, n°2, 1988, pp. 83-94, 6 fig. dont 1 dpl. coul., 1 tabl.

Modes de circulation et de gisement de l'eau souterraine dans un volcan bouclier basaltique

Exemple de l'île de la Réunion, milieu océanique tropical

Laurent STIELTJES*, Bernard GOURGAND**, M. STEENHOUDT***

Mots-clés : Hydrodynamique, Eau souterraine, Volcan, Basalte, Etude cas, Zone tropicale, Ile
Ile Réunion

Résumé

Située par 21° de latitude sud et 55°30 de longitude est, l'Ile de la Réunion est la partie émergée d'un énorme stratovolcan (7 000 m de hauteur), posé sur le plancher de l'océan Indien. Elle est constituée de deux cônes basaltiques jumelés; le plus ancien s'est construit entre 2 millions d'années et 20 000 ans et le plus récent : le Piton de la Fournaise, reste actif à l'heure actuelle. Ces deux volcans sont formés d'un empilement en sandwich de plusieurs milliers de mètres d'épaisseur, composé d'une alternance "lave-scories", compartimenté par des dykes, et dont le pendage moyen est de 5° à 18° vers la mer, sauf entre les deux volcans où les laves des deux appareils s'interpénètrent.

La Réunion, au climat tropical océanique humide, reçoit annuellement plusieurs mètres d'eau à sa surface, mais essentiellement en raison du passage, au voisinage de l'Ile de cyclones et de dépressions tropicales. Ces apports sont cependant très inégalement répartis entre l'est et l'ouest de l'Ile.

Les eaux souterraines sont, elles aussi, très inégalement réparties et la prospection est rendue délicate en raison des conditions hydrogéologiques complexes liées à la discontinuité du milieu volcanique et au caractère insulaire.

Ainsi distingue-t-on :

- la zone des Hauts marquée par l'absence de structures géologiques de stockage et la superposition, conformément à l'empilement lave-scories, d'aquifères perchés à faibles réserves, portés par des horizons imperméables ou semi-perméables discontinus (coulées massives, paléosols, pyroclastites à matrice cendreuse ...). Les écoulements se font à la faveur des fractures et fissures des coulées basaltiques; les paléo-réseaux hydrographiques et les tunnels de lave peuvent constituer des axes privilégiés de circulation. Ces nappes perchées donnent naissance à des sources dont les débits, à quelques exceptions près, sont de l'ordre de quelques l/s à l'étiage. Les eaux sont faiblement minéralisées et le faciès hydrogénocarbonaté magnésien-calcique est le plus courant ;

- la zone littorale où les ressources souterraines du "complexe aquifère de base" peuvent être importantes : sous le niveau de la mer, l'empilement lave-scories est saturé à la fois par les eaux douces venues des flancs des volcans et par les eaux marines infiltrées latéralement.

La géométrie du "biseau salé", liée à la plus ou moins bonne alimentation des horizons aquifères et à la transmission des terrains, conditionne en grande partie la chimie des eaux : selon les secteurs, le faciès est hydrogénocarbonaté, calcique et magnésien, à chloruré sodique.

Les nappes d'accompagnement des principales rivières constituent des réservoirs à très forte potentialité, surtout en zone littorale où elles font partie intégrante du "complexe aquifère de base".

Les sources minérales et thermales sont essentiellement confinées au coeur du Piton des Neiges, siège d'un gradient géothermique important.

Abstract

Situated at 21°N and 55° 30'E, Reunion Island is the exposed part of a huge stratovolcano (7 000 m high), resting on the floor of the Indian Ocean. It consist of twin basalt cones, the oldest formed between 2 million and 20,000 years ago and the most recent, Piton de la Fournaise, still active. The two volcanoes are formed of alternating layers of lava and scoria several metres thick cut by dykes. The average slope is between 5° and 18° towards the sea,

* BRGM, Service géologique régional océan Indien - 46 bis rue de Nice, 97484 Saint Denis Cedex, la Réunion
** Conseil général de la Réunion
*** BRGM, Service géologique national, Département eau, environnement, énergie (anciennement SGR/OI)

except between the volcanoes where lavas from the 2 cones are intercalated. Because of its humid, tropical oceanic climate, several metres of rain fall on Reunion Island annually, mainly from the tropical cyclones and depressions that pass close by the island. The rainfall is very unevenly distributed between the east and west of the island.

The groundwater is also unevenly distributed and prospecting is difficult because of the complex hydrogeological conditions resulting from the discontinuities in the volcanic environment and from its insular nature.

The following can be distinguished:

- the highlands area, marked by the absence of geological structures that could form reservoirs and by the superposition, due to the alternation of lava and scoria layers of poorly stocked perched aquifers on impermeable or semi-permeable discontinuous layers (massive flows, palaeosols, pyroclastics with a cindery matrix, etc.). Flow occurs along fractures in the basalt; palaeo-drainage networks and lava tunnels may form preferred channelways. These perched aquifers give rise to springs virtually all of which have flowrates of several l/s at periods of low water level. The water is weakly mineralised, the bicarbonate magnesian-calcic facies being the most common.

- the coastal zone where there can be considerable groundwater in the "basal aquifer complex". Below sealevel, the lava scoria layers are saturated both by fresh water from the flanks of the volcanoes and by sea water that has infiltrated laterally. The geometry of the salt-water wedge, linked to the supply of fresh water to the aquifers and to the transmissivity of the ground, largely determines the chemistry of the water; according to the sector, the facies is bicarbonate, calcic and magnesian to sodic chloride.

The aquifers accompanying the major rivers are reservoirs with high potential, especially in coastal zones where they are an integral part of the basal aquifer complex. Mineral and thermal springs are mainly confined to the centre of the Piton des Neiges, where there is a high geothermal gradient.

Hydrogéologie, n°2, 1988, pp. 95-105, 7 fig.

Hydrogéologie du volcan de la Fournaise (île de la Réunion)

Bernard GOURGAND* et Laurent STIELTJES**

Mots-clés : Nappe perchée, Système multicouche, Source, Zone tropicale, Volcan, Ile
Ile Réunion (La Fournaise)

Résumé

Le Piton de la Fournaise (2 635 m) est le volcan bouclier basaltique actif de l'île de la Réunion (55°43' E, 21°17' S), construit sur le flanc est du volcan Piton des Neiges (dont la dernière activité date de 22 000 ans).

Les deux volcans sont formés d'un empilement en sandwich constitué d'une alternance lave-scories, compartimenté par des dykes, sur une épaisseur de plusieurs milliers de mètres, dont le pendage moyen est de 5 à 18° vers la mer.

L'île de la Réunion, soumise à un climat tropical humide, est très inégalement arrosée. Le massif de la Fournaise, situé sur le versant est, forme un gigantesque contrefort faisant écran aux alizés et reçoit en moyenne 5 à 9 m d'eau par an.

Le potentiel d'alimentation de cette région de l'île (= pluie efficace = quantité d'eau infiltrée et/ou ruisselée) correspondrait à un débit spécifique de 120 l/s / km² (7 fois supérieur à celui du versant ouest).

La perméabilité particulièrement importante des coulées et des projections récentes du massif de la Fournaise favorise l'infiltration plutôt que le ruissellement (débit spécifique d'infiltration estimé entre 70 et 100 l/s/km²).

Les circulations d'eau souterraine au sein de l'édifice volcanique apparaissent très complexes en raison de la grande hétérogénéité de détail qui marque l'empilement des séries. Le caractère stratifié des terrains induit une superposition d'aquifères perchés (niveaux de scories non altérées, coulées fissurées,...) portés par des horizons semi-perméables ou imperméables (coulées massives, niveaux de cendres, de scories et paléosols argilisés,...), mais dont l'existence est également liée à des réseaux de fractures et fissures capables de drainer les écoulements ou bien d'y faire écran (dykes, sills), de paléovallées et de tubes de laves.

Ces nappes perchées sont à l'origine de sources dont la majorité émerge à la faveur des remparts des calderas d'effondrement soulignées par les seules rivières permanentes du massif de la Fournaise (rivières de l'Est, Langevin et des Remparts), dont les cours sont sécants à la ligne de plus grande pente.

Les sources du massif de la Fournaise ont des débits très importants (plusieurs centaines de l/s), en raison des énormes quantités d'eau infiltrée alors que, à quelques exceptions près, les sources de la Réunion ont de faibles débits (quelques l/s à l'étiage). Ce sont elles qui garantissent la pérennité des rivières qui peuvent alors être captées pour la production hydroélectrique.

Abstract

The Piton de la Fournaise (2 635 m) is the active basaltic shield volcano of Réunion Island (55°43' E, 21°17' S), on the eastern flank of the Piton des Neiges volcano, which has been inactive for 22 000 years. The two volcanoes, with a slope of 5° to 18° towards the sea, consist of alternating layers of lava and scoria several meters thick, intersected by dykes. Reunion Island has a humid tropical climate, in which the rainfall is very unevenly distributed. The Fournaise massif on the eastern slopes forms a barrier against the trade-winds and receives an average of 5 to 9 m of rainfall annually. The potential supply in this region of the island (effective rainfall = quantity of water infiltrated and/or run-off) would give a specific flowrate of 120 l/s / km² (7 times greater than on the western flank).

The considerable permeability of the recent flows and pyroclastic deposits of the Fournaise massif favour infiltration rather than run off (specific infiltration flowrate estimated at between 70 and 100 l/s / km²). Circulation of groundwater within the volcano appears to be very complex because of the detailed inhomogeneity of the layers. The stratified nature of the terrain gives rise to perched aquifers (unweathered scoria levels, fractured flows) resting on semi-permeable or impermeable layers (massive flows, intervals of ash scoria and argillised palaeosols) but whose origin is also linked to fracture systems which channel the water or dykes and sills forming screens and networks of palaeovalleys and lava tubes.

These perched aquifers are the sources of springs, most of which emerge at the walls of cauldrons marked by the only permanent rivers of the Fournaise massif (the East, Langevin and Remparts Rivers) which flow at an angle to the maximum slope.

* Conseil général de la Réunion (anciennement SGR/01)
** BRGM, Service géologique régional océan Indien, 46bis rue de Nice, 97484 Saint-Denis Cedex, La Réunion

Hydrogéologie, n°2, 1988, pp. 107-115, 9 fig., 1 tabl.

Caractérisation des aquifères basaltiques en domaine littoral. Impact d'un récif corallien

Jean-Lambert JOIN*, Jean-Baptiste POMMÉ**, Jean COUDRAY***, Materne DAESSLÉ**

Mots-clés : Nappe eau, Basalte, Milieu littoral, Milieu récifal, Hydrodynamique
Ile Réunion

Résumé

A la Réunion, 85 % des prélèvements d'eau souterraine sont réalisés en zone littorale, dans les aquifères volcaniques et la majorité des forages sont influencés par les marées océaniques. Dans ce contexte, l'étude de la propagation des ondes de marée pour le calcul des diffusivités apparaît comme une approche privilégiée pour la connaissance de ces aquifères. Cette méthode est appliquée ici sur l'aquifère côtier de Saint-Gilles à l'arrière du lagon récifal. L'analyse du fonctionnement hydraulique du lagon et de son influence sur les nappes a permis d'appliquer le modèle de Boussinesq pour le calcul des diffusivités et de leur évolution dans l'espace. Les résultats obtenus ont montré le caractère prépondérant de la fissuration pour l'aquifère basaltique, le rôle des alluvions côtières dans la mise en charge de ce dernier et son émergence au-delà de la barrière récifale.

Abstract

In the Reunion's island, the withdrawal of groundwater occurs mostly in volcanic aquifers and this in the coastal area. The basal groundwater body, which is developed in volcanic rocks and sedimentary formations (fluviatil and marine alluviums) stays in hydraulic equilibrium with the salt water encroachment and is under tidal efficient. The ratio of water level in wells to the tidal amplitude is used to obtain hydraulic diffusivity in application of Boussinesq's model. In this case the method is applied in the volcanic aquifer of "Saint-Gilles", back side a coral reef. Hydraulic relations between lagoon, ocean and aquifer have been analysed for determining the particular influence of the lagoon. The results show preponderant roll of basaltic fracturation (high diffusivity), as well existence of a confined area under marine alluviums and submarine outcrop of the aquifer beyond the reef.

Hydrogéologie, n°2, 1988, pp. 117-123, 7 fig. dont 1 dpl. coul.

Ile de la Réunion : exploitation des eaux souterraines

Bilan des prélèvements effectués en 1985 par puits et forages

Bernard GOURGAND*, Laurent STIELTJES**, Materne DAESSLÉ**

Mots-clés : Bilan (1985), Pompage, Eau souterraine, Puits eau, Forage, Ile
Ile Réunion

Résumé

La Réunion, île volcanique de la zone intertropicale sud de l'océan Indien, reçoit annuellement des précipitations de plusieurs mètres d'eau à la surface, ce qui assure des rivières pérennes ainsi que d'importantes réserves en eau souterraine. Si, globalement, les ressources sont suffisantes pour les consommations domestique, agricole ou industrielle, la répartition de la ressource est parfois inverse de celle de la population, ce qui ne fait qu'amplifier les problèmes d'approvisionnement en eau et de développement économique de l'île.

La répartition de la ressource en eau est liée à un double problème géographique et géologique :

- la distinction entre les conditions climatologiques de précipitations, intenses à l'est et déficitaires à l'ouest ;
- la distinction entre les conditions altimétriques d'occurrence des nappes, en zones littorales ou dans les zones des "Hauts".

Dans le milieu des années 1980, la Réunion se trouve à une charnière de l'histoire de la recherche et de l'exploitation de l'eau dans ses deux volcans jumeaux :

- l'alimentation en eau potable est assurée à parts égales par les eaux superficielles et les eaux souterraines ;
- les usages de l'eau, jusqu'alors essentiellement domestiques, deviennent à prépondérance agricole et industrielle ;
- le développement et l'exploitation de l'eau souterraine seront les éléments majeurs des années à venir.

Les 52 Mm^3 d'eau souterraine prélevés en 1985 par 61 puits ou forages, bien que ne représentant que 8,5 % de la ressource exploitée, ne cesseront de croître compte tenu de la demande des trois secteurs concernés : eau potable, irrigation et industrie. Une exploitation intégrée des eaux superficielles et souterraines pour les grands projets d'irrigation a été un élément nouveau récemment mis en place dans la gestion du potentiel en eau de la Réunion.

Abstract

Reunion Island, a volcanic island in the southern tropical zone of the Indian Ocean, receives several meters of rainfall annually, ensuring the existence of permanent rivers as well as of considerable groundwater reserves. Although the resources on the whole are sufficient for domestic, agricultural and industrial consumption, the abundance of the resources is, in places, inversely proportional to the density of population, which aggravates water supply problems and the economic development of the island.

The distribution of water resources is linked to a double geographical and geological problem:

- the different climatic conditons, with rainfall high in the east and low in the west,
- differing elevations of aquifers in coastal zones in the highlands.

In the mid-1980's, Reunion Island reached a turning point in the exploration for and exploitation of the water in its twin volcanoes:

- potable water was supplied equally by surface and ground water,
- water hitherto used essentially for domestic purposes was now becoming widely used in industry + agriculture,
- development and exploitation of groundwater will become the major elements in the future.

Production, although representing only 8.5 % of the exploited resource (52 Mm^3 of water in 1985 from 61 wells) will continue to grow, taking account of the demands for potable water, irrigation and industry. Integrated exploitation of ground and surface water for irrigation projects in a new approach, recently adopted in the management of Reunion Island's water potential.

* Conseil général de la Réunion (anciennement SGR/01)
** BRGM, Service géologique régional de l'océan Indien, 46bis rue de Nice, 97484 Saint-Denis Cedex, La Réunion

Hydrogéologie, n° 2, 1988, pp. 135-151, 18 fig.

Hydrogéologie de l'île volcanique océanique de Mayotte

(archipel des Comores, océan Indien occidental)

Laurent STIELTJES*

Mots-clés : Nappe eau, Bassin versant, Cycle eau, Stratovolcan, Ile Comores (Mayotte)

Résumé

L'île de Mayotte (archipel des Comores) est formée par les restes de deux strato-volcans accolés, largement altérés et entamés par l'érosion, posés sur le fond océanique du bassin de Somalie (océan Indien occidental), en milieu intraplaque océanique. Située dans la zone de convergence intertropicale (ZCIT), elle n'est pas soumise à l'influence directe des alizés ; elle n'est que rarement exposée aux cyclones tropicaux.

Les 96 cours d'eau de l'île se répartissent sur 27 bassins versants dont la superficie varie de 2 à 24 km². Les débits instantanés mesurés à ce jour (une seule mesure en général) varient de 0,5 à 67 l/s/km². Près de 90 % de l'écoulement s'effectuent dans la partie nord et le centre de l'île (23 bassins), pour 10 % dans le sud. Les débits spécifiques sont très faibles (0,5 à 2 l/s/km²), le reste étant du ruissellement linéaire qui joue un rôle néfaste d'érosion par ravinement.

Le régime des eaux souterraines est déséquilibré entre le volcan nord (plus récent) et le volcan sud (plus ancien, fortement altéré et érodé), où les réserves sont respectivement de 90 % et 10 % pour les nappes d'altitude. Dans le nord et le nord-ouest de Mayotte, 6 bassins versants ont un débit spécifique instantané allant de 4 à 6,8 l/s/km² à l'étiage, ce qui représente des potentiels aquifères non négligeables. Au niveau de la nappe de base littorale, la formation d'un biseau salé n'est pas du tout systématique. Lorsqu'elles existent, les nappes littorales d'eau douce sont très peu épaisses (0 à 15 m).

En règle générale, l'infiltration est très limitée (11 %) comparée au ruissellement (33 %) et surtout à l'évapotranspiration (56 %). Le potentiel d'alimentation est estimé à 300 millions m³/an. Les nappes se rechargent de janvier à mars, puis le bilan hydrique devient déficitaire (7 à 8 mois).

Le renouvellement des eaux souterraines semble suivre un cycle très court (une à quelques années) ; leur vulnérabilité aux pollutions de surface en est accentuée. Les eaux souterraines sont faiblement minéralisées ; l'influence marine (chlorures) diminue avec l'altitude.

La désertification des sols s'accélère depuis la fin des années 1970 (défrichage, routes,...), ce qui réduit encore l'infiltration et la recharge des nappes et conduit au tarissement de sources et à la baisse du débit d'étiage des rivières.

Abstract

Mayotte island (Comoros archipelago) is built on two twinned alcaline strato-volcanoes, deeply weathered and eroded, lain on the Somali basin oceanic floor (western Indian ocean), in an intraplate oceanic environment. Located in the intertropical convergence zone, Mayotte is no more under the influence of the tradewinds ; it is rarely affected by cyclones.

The ninety six creeks are scattered on twenty seven catchment basins which extention vary from 2 km² to 24 km². The mesured instant outflows (only one measurement) vary from 0,5 to 67 l/s/km². About 90 % of the run-off occur in the north and the center of the island (23 basins), 10 % only in the south were 4 basins have a very weak specific capacity (0,5 to 2 l/s/km²), the remnant slopes being furrowed by run-off.

The groundwater regime is disbalanced between the northern volcano (recent) and the southern volcano (older, weathered, eroded), where the storage of perched aquifers are respectively 90 % and 10 % : in the north, the specific capacity of the six major catchment basin is quite significant (low water : 4 to 6,8 l/s/km²). For the basal coastal aquifer, the salt water wedge does not occur systematically. When existing, coastal aquifers are rather thin (0 à 15 m).

* BRGM, Service géologique régional de l'océan Indien, BP 1206, 97484 Saint-Denis Cedex, La Réunion