

Résultat de la BOURSE L.A.V.E. 2009

Pour la bourse L.A.V.E. 2009, nous avons reçu trois dossiers d'étudiantes avec des objectifs très différents.

Par ordre alphabétique des postulantes :

– le premier dossier est celui de Frédérique LECLERC, étudiante en Master 1 pour un *Volontariat à l'observatoire volcanologique d'Hawaï, le HVO, de juin à septembre 2009*.

Lors de ses deux stages en Martinique, en 2007 et 2008, elle a travaillé sur les bases sismologiques de Martinique et de Guadeloupe, réalisé un modèle 1D des vitesses d'ondes sismiques pour la Martinique, abordé l'imagerie sismique, la sismologie, la surveillance et l'informatique...

Ces expériences lui ont permis d'être acceptée à l'observatoire d'Hawaï, où elle sera intégrée l'été prochain dans les activités de monitoring sismographique, de maintenance du réseau, de suivi des opérations, de catalogage et archivage de l'activité sismique sur ordinateur, de cartographie, de programmation : tout un programme de géophysique théorique et pratique ;

– le second dossier est celui de Julie MORIN(*), qui présente un *projet de solidarité internationale nourri d'activités de recherche scientifique : aléas volcaniques, lahars et moyens de subsistance à Vouvouni (île de Njazidja, Grande Comore, Union des Comores)*.

Cette doctorante à la Réunion a déjà effectué de courts séjours en Grande Comore pour appréhender la gestion des risques et des crises. À partir de ses résultats et à l'aide de méthodes participatives, elle va, entre juillet et octobre prochains, se focaliser sur les aléas volcaniques menaçant le village côtier de Vouvouni, sur l'île de Njazidja, et réaliser une maquette 3D. Son but est de faciliter la participation de la population, d'augmenter la connaissance et la perception qu'elle a de son territoire afin de développer au mieux ses capacités de subsistance et de réponse face à une crise. Cette « cartographie participative en relief » devrait permettre aux habitants du village d'appréhender les aléas volcaniques (coulées de lave, retombées de cendres, lahars) qui les menacent et de trouver des solutions pour répondre aux risques et les réduire ;

– le troisième projet est celui de Solène POUGET, étudiante en 4^e année de cycle ingénieur à l'Institut Polytechnique La Salle Beauvais [master en gestion des aléas et désastres naturels] qui

va étudier *l'Influence de la topographie sur les avalanches de débris volcaniques en Nouvelle Zélande*.

Les avalanches de débris correspondent à un déplacement en masse par écoulement gravitaire rapide et sur de grandes distances d'un volume important (plusieurs km³) d'éléments solides dans des fluides de nature variable résultant de la déstabilisation du flanc d'un édifice amorcée par un glissement de terrain (ex. au St Helens en mai 1980). Elle avait étudié les risques liés à ces avalanches lors de sa mission de quatre mois en 2008.

Cette année, son projet de recherche, prévu sur une durée d'un an et quatre mois, entre juillet 2009 et octobre 2010, a été accepté et se déroulera à l'université de Canterbury, en Nouvelle-Zélande. Son but est de comprendre l'impact de la topographie sur ces avalanches de débris, notamment à partir d'études bibliographiques, statistiques et modélisations, et ce pour affiner les périmètres de sécurité de chaque volcan.

Pour le jury composé de Claude Grandpey, Dominique Decobecq et Simone Chrétien, le choix entre ces trois dossiers intéressants a été difficile. Mais ce sont finalement les deux derniers qui ont retenu notre attention et entre lesquels nous avons décidé de répartir, en deux parts inégales, les 700 € de la bourse L.A.V.E. 2009 :

– pour son projet de solidarité à la fois participative et éducative auprès des populations locales en vue de leur faire appréhender les risques et les solutions à apporter, nous avons décidé d'attribuer 200 € à Julie Morin pour l'aider à réaliser la maquette 3D et bien que son projet classé deuxième ne corresponde pas tout à fait aux projets de recherche aidés par la bourse ;

– pour son important projet de recherche dont les buts sont tout d'abord de chercher à comprendre le rôle de la topographie sur les avalanches de débris – qui peuvent être très meurtrières – et ensuite de définir des périmètres de sécurité autour des volcans pour faire de la prévention, pour ce dossier classé premier, Solène Pouget recevra la part la plus importante de la bourse L.A.V.E. 2009, à savoir 500 €.

Les versements se feront en deux fois : la première moitié dans les prochains jours et la seconde moitié à réception de leurs articles qui seront publiés dans la revue LAVE.

Un grand merci aux trois postulantes et toutes nos félicitations aux deux boursières 2009.

Simone Chrétien

(*) Signalons que Julie Morin a reçu la bourse 2005 pour son projet de *Reconstitution de l'évolution géomorphologique du Vésuve durant le dernier millénaire*, basée sur l'analyse de documents iconographiques, cartographiques et littéraires.

Informations diverses page 3 *Various pieces of information*

L'A.G. 2011 de L.A.V.E. au cœur du stratovolcan cantalien
General Assembly of L.A.V.E., at the heart of the Cantal volcano page 4

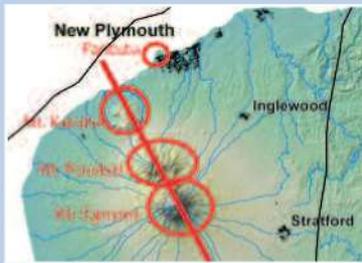
Lav'activités n° 71 page 5

Nouvelles : **Grimsvötn, Etna** page 6 *News*

Le Dallol revisité : entre explosion phréatomagmatique, rifting intracontinental, manifestations hydrothermales et halocinèse

Dallol revisited: among phreato-magmatic explosions, intercontinental rift, hydrothermal phenomena

par **Michel Detay** pages 7 à 19



Expériences en laboratoire et modélisations numériques au service de la volcanologie : cas des dépôts d'avalanches de débris du volcan Taranaki en Nouvelle-Zélande (II)

Lab experiments and digital models in the service of volcanology: study of avalanche deposits of the Taranaki volcano in New Zealand

par **Solène Pouget** pages 20 à 30

« Fanfan », le chercheur et l'homme *« Fanfan », the researcher and the man*
par **Robin Campion** page 31

« Fanfan » à la Soufrière *« Fanfan » at the Soufriere*
par **Marcel Bof** page 31

« Fanfan », ou le petit bonhomme en combinaison d'amiante dans les films de Tazieff
« Fanfan », or the little man seen in an asbestos suit in Tazieff's films
par **Benjamin Morin** page 32

François Le Guern dit « Fanfan » *François Le Guern, known as « Fanfan »*
par **Maddalena Pennisi** page 32

« Fanfan », un accordéoniste hors du commun
« Fanfan », an unparalleled accordionist par **Michel Carouge** page 33

François Le Guern, une vie de recherche
François Le Guern, a life of research pages 33 et 34

François Le Guern
images **Éric Carouge, Marcel Bof** et D.R.
page 35



A.G. 2011 L.A.V.E. au pied du Plomb du Cantal
2011 General Assembly of L.A.V.E., close to the Plomb du Cantal

images de **J. Boyer, D.** et **S. Chéreau, J. Denape**
et **D. Deschatrette** - dessin de **F. Macard**

page 36

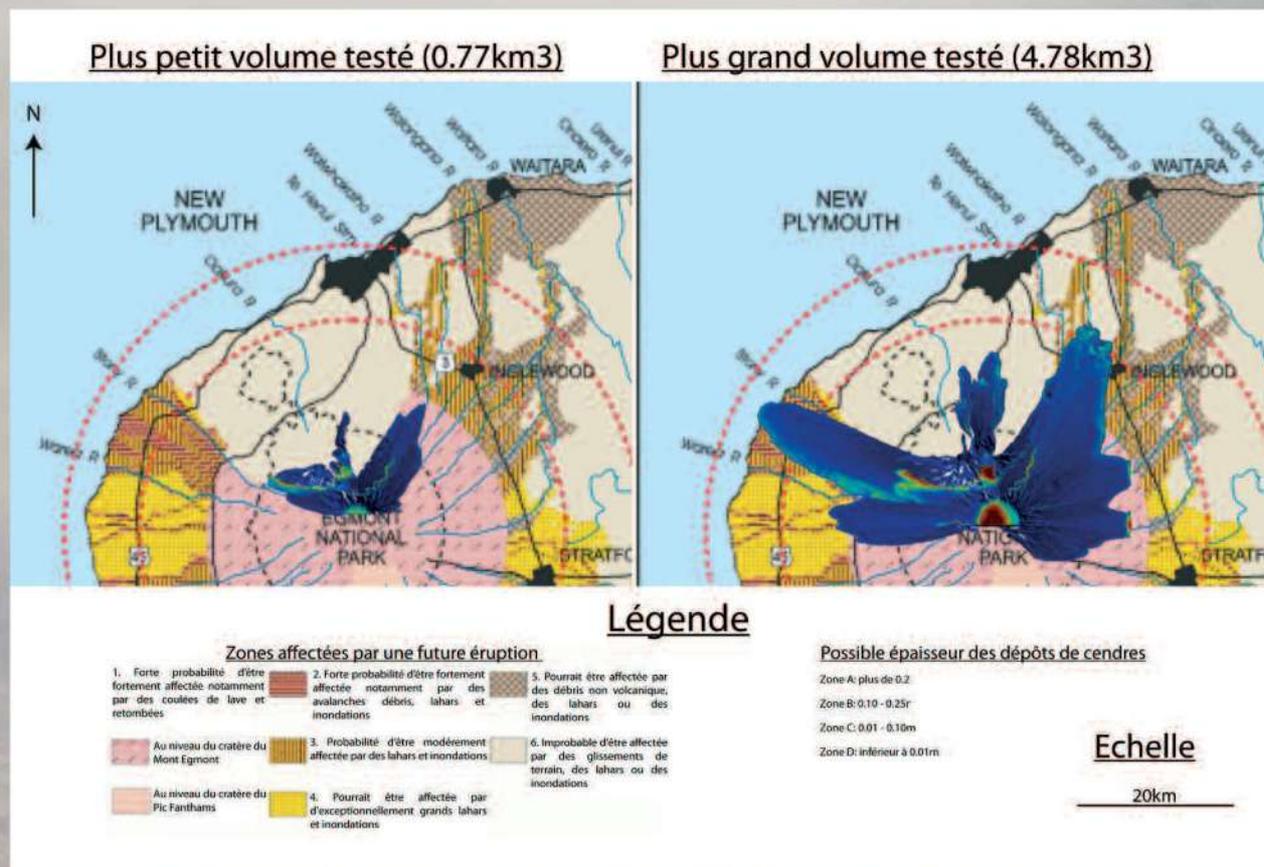


Fig. 10 - Carte des aléas géologiques de la partie nord de la région du Taranaki avec la superposition des dépôts les plus petits et grands des modélisations numériques VolcFlow de cette étude (modifié, d'après le Taranaki Regional Council, 2004) (p. 29).

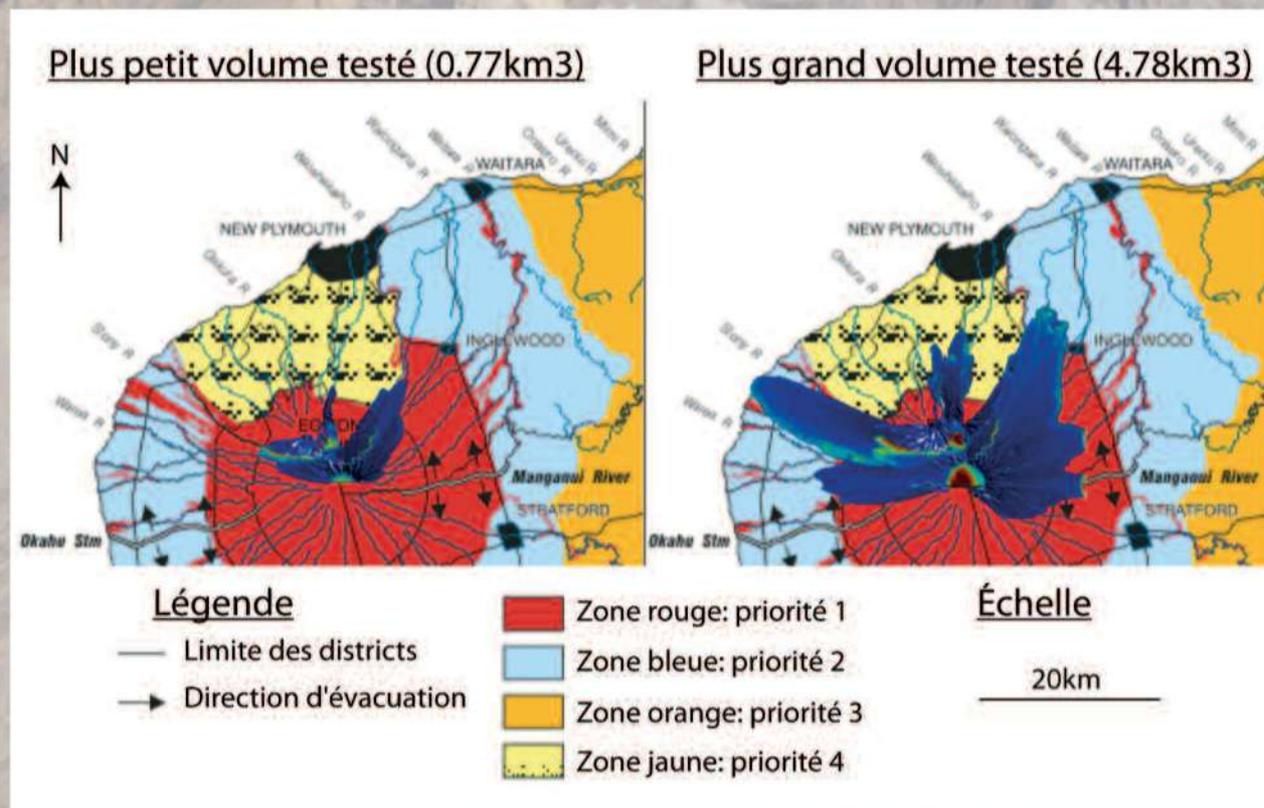


Fig. 11 - Carte des zones d'évacuation de la partie nord de la région du Taranaki avec la superposition des dépôts les plus petits et grands des modélisations numériques VolcFlow de cette étude (modifiée d'après le Taranaki Regional Council) (p. 29).

Bien que de nombreuses découvertes aient été faites, quelques points restent inexplicables, tels que la mobilité. La mobilité mesurée par le coefficient de Heim soit H/L (hauteur de chute verticale/distance horizontale parcourue) est connue pour varier entre 0,2 et 0,06 (Ui et al., 1985). Celle-ci, en fonction des auteurs, est principalement liée au volume de l'avalanche (Hsu, 1975; Davies, 1982) voire à la hauteur de chute (Siebert, 1984). Peu d'auteurs se sont attardés sur l'influence de la topographie (Palmer et al., 1991; Nicoletti et Sorricio-Valvo, 1991), non seulement sur les caractéristiques géométriques du dépôt mais aussi sur la mobilité de l'avalanche de débris.

C'est ce que propose cette étude : analyser l'influence de la topographie, du volume et de la hauteur de chute sur les avalanches de débris. Pour cela, trois aspects de la topographie ont été utilisés : le degré de confinement, la présence d'obstacles sur le chemin de l'avalanche et les angles des zones de rupture et de dépôts. Afin de mener à bien cette recherche, des séries de modélisations en laboratoire ont été réalisées et complétées par des données réelles prélevées sur le terrain par différents scientifiques. Les résultats de cette recherche ont par la suite été testés par la réalisation d'une avalanche de débris sur le flanc nord du Taranaki, en Nouvelle-Zélande, via l'utilisation de simulations numériques.

I. Les expériences en laboratoire

La modélisation en laboratoire, aussi appelée modélisation analogique, est utilisée pour représenter à l'échelle du laboratoire un phénomène naturel, dans notre cas volcanique.

Qu'est-ce que c'est ?

L'objectif d'expériences en laboratoire est de reproduire un phénomène à une échelle expérimentale afin de l'étudier. Pour cette raison et pour réaliser au mieux ces expériences, les paramètres qui affectent le comportement du phénomène sont considérés et une série de variables sans dimension est identifiée. Ces variables doivent être identiques dans les deux milieux (le laboratoire et la nature) et avoir des propriétés similaires

(géométrique, cinématique et dynamique) ainsi qu'un comportement similaire (Sanford, 1959).

En géologie, le souci principal est de représenter un phénomène qui a lieu à des échelles de temps et d'espace très grands à une échelle humaine et de laboratoire plus petite (quelques heures et mètres) tout en respectant les mêmes lois. Les expériences en laboratoire sont maintenant largement utilisées en volcanologie, ainsi que de nombreux autres champs géologiques, afin de tester des théories et hypothèses concernant les processus à partir de données géologiques. Cette méthode permet d'obtenir un aperçu des mécanismes basiques qui ont eu lieu. C'est pour cela que ce type de modélisation (les expériences en laboratoire) implique une simplification plus ou moins importante du phénomène naturel.

Son évolution dans le temps

Les expériences en laboratoire ont vu le jour au début du XIX^e siècle et ont été, depuis, modernisées. Cette méthode a été très largement utilisée, cependant elle est actuellement considérée comme inférieure à la modélisation numérique de la science moderne. Ceci est regrettable dans un sens puisque les expériences en laboratoire sont toujours contrôlées pour les lois naturelles qui régissent un phénomène identique à grande échelle. Ceci n'est pas le cas des modélisations numériques, puisqu'elles dépendent des variables et lois imposées pour les programmer. Plusieurs géologues ont tenté d'expliquer des structures géologiques observées en réalisant des modèles utilisant du matériel simple. Le premier qui s'est essayé à cet exercice a été James Hall qui, en 1815, essaya de représenter la création de plissement dans des couches sédimentaires provoqués par une force externe. Cependant, le plus populaire de ces pionniers des expériences en laboratoire n'est autre que Henry Cadell, grâce à sa série d'expériences simulant les cônes alluviaux géologiques en janvier 1887 (fig. 1).

Au début de cette nouvelle méthode, aucun ratio dimensionnel n'était utilisé lors des expériences, c'est pour cette raison que les scienti-

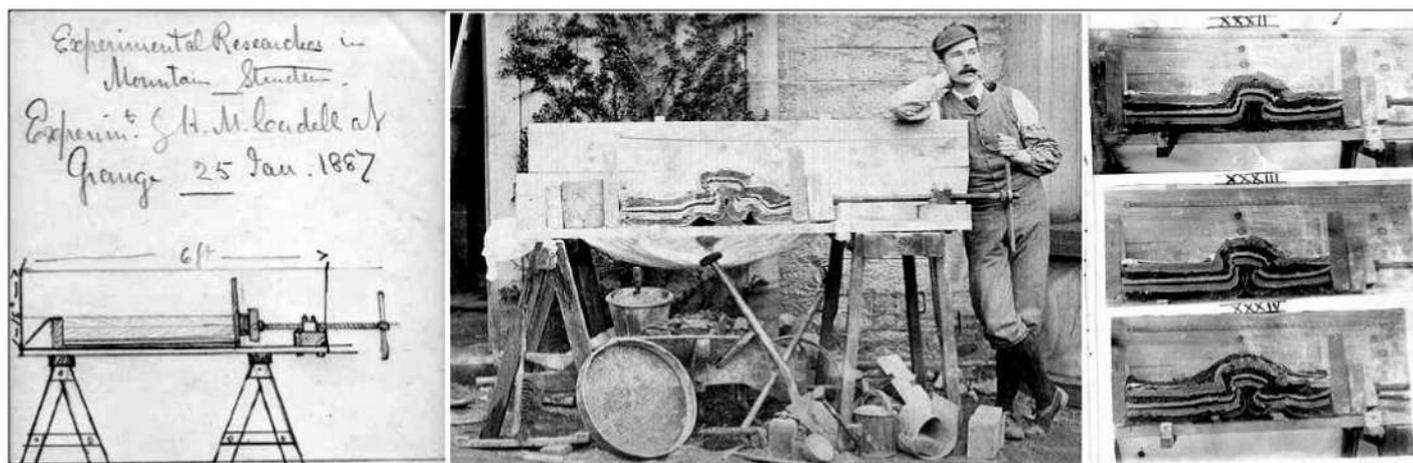


Fig.1 - Illustration des expériences pour montrer la formation des cônes alluviaux par compression (British Geological Survey).

riques utilisent le terme de modélisation analogue au lieu d'expériences en laboratoire.

I.1. Les expériences réalisées pour ces travaux

L'objectif de ces expériences réalisées en laboratoire était d'étudier les variations de la géométrie des dépôts en fonction de différents paramètres topographiques. Ceci afin de voir si une ou des tendances générales peuvent être observées. Pour cela, différentes séries d'expériences ont été réalisées et seront présentées tout comme le matériel utilisé.

Matériels et méthodologie

Cette étude étant centrée sur la géométrie des dépôts (forme et distance parcourue) engendrée par les différentes morphologies de l'environnement, les processus physiques n'ont pas été étudiés. Toutefois, il faut représenter un écoulement granulaire sec descendant une pente solide de par

la force de gravité pour finalement s'étaler et s'étendre sur une surface plane. Afin d'utiliser un modèle le plus proche possible de la topographie en domaine volcanique, celui-ci est composé d'une pente faite d'aluminium qui présente l'avantage de bien simuler les changements d'angles de pente d'un volcan (*modèle développé par Shea, 2006*). En effet, au lieu d'avoir un modèle comportant un unique point de rupture abrupt et net à la limite entre la zone d'écoulement et la zone de dépôt, la pente change graduellement d'angle. Cette pente pouvait être, en fonction de la série d'expériences agrémentée de figures en polystyrène permettant de créer un total de six différents environnements (changement du confinement, présence d'obstacles). L'ensemble étant toutefois consolidé à l'arrière par la présence d'une série de plateformes permettant de réduire les vibrations engendrées lors de l'écoulement (*fig. 2*). Pour modéliser l'avalanche de débris, un mélange de

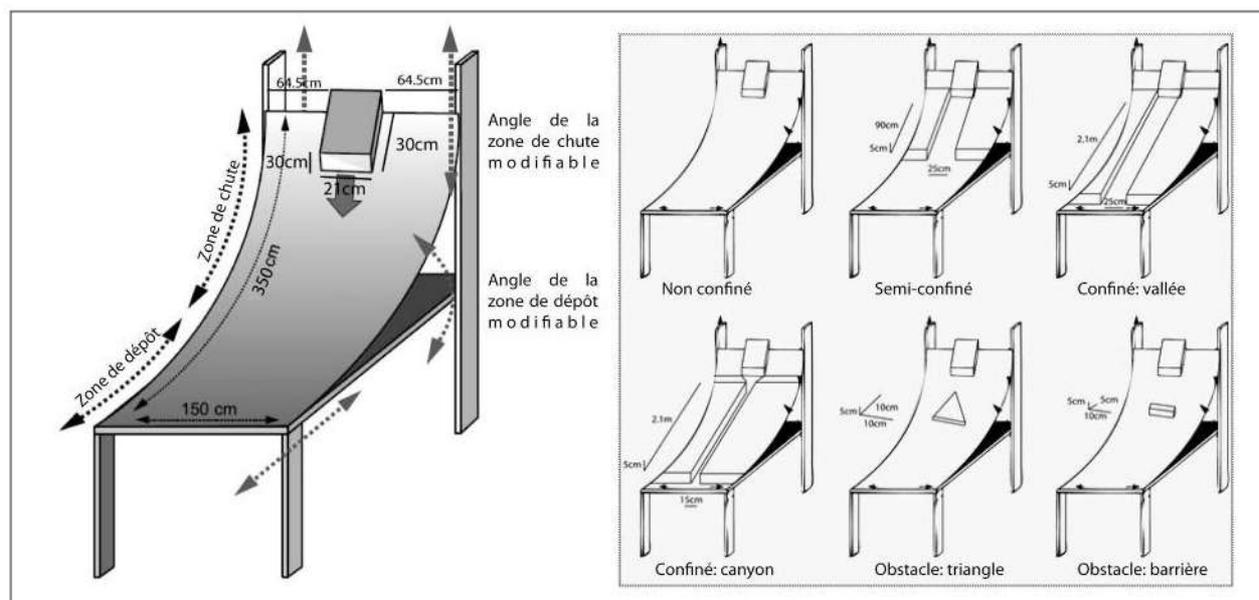


Fig. 2 - Schéma illustrant le dispositif expérimental général ainsi que les différents éléments rajoutés pour la pente pour modifier la morphologie de l'environnement.

sable de granulométrie comprise entre 100 et 600 μm et de plâtre a été utilisé. Ce mélange était placé dans une boîte en plexiglas dont l'ouverture est commandée par un électro-aimant afin de s'assurer d'une vitesse d'ouverture constante.

Une fois le modèle créé et le matériel utilisé pour modéliser l'avalanche choisis, les séries d'expériences ont pu être mises en place en fonction des trois volumes de matériels testés et des trois hauteurs de chute pour chaque environnement. De plus, afin de limiter au maximum les erreurs expérimentales, chaque expérience a été effectuée trois fois sous les mêmes conditions.

Résultats

En reportant dans des graphiques les résultats des expériences, en fonction des différents paramètres testés ainsi que des données réelles prélevées sur divers dépôts d'avalanches de débris, plusieurs tendances sont visibles. Tout d'abord, le fait que les données expérimentales se comportent de façon assez similaire aux données réelles. Cela justifie donc l'utilisation d'un tel modèle au vu de la cohérence entre les deux types de données (même si quelques différences subsistent).

Les analyses ont montré que les six formes de dépôt des avalanches de débris sont liées à la morphologie de l'environnement. D'autre part, ces formes peuvent être réparties dans deux grandes catégories (confiné et non confiné), chacune composée de trois des formes de dépôt d'avalanche de débris présentées (fig. 3).

Un autre aspect de cette étude statistique a été l'analyse de la mobilité des avalanches de débris. Il a été constaté qu'elles ont une mobilité comprise entre 0,2 et 0,08; une grande majorité des données ayant toutefois une mobilité proche de 0,1. En analysant les résultats en fonction de caractéristiques telles que le volume, il en ressort que plus le volume de l'avalanche est petit, moins la mobilité est forte. Cependant, ceci est à raccorder avec la morphologie de l'environnement étant donné que la présence d'obstacles sur le trajet de l'avalanche de débris réduit la mobilité tandis que le confinement l'augmente. De même que le degré de confinement, l'angle de pente de la zone de dépôt a une influence sur la mobilité. En effet, les fortes valeurs de la mobilité sont associées avec les faibles angles de pente de la zone de dépôt. Le dernier paramètre étudié est la hauteur de chute. Les résultats montrent que les données tendent à s'aligner le long d'une droite représentant $H/L=0,1$ ce qui n'est pas le cas lorsque les caractéristiques géométriques du dépôt sont prises en compte puisque les données sont réparties en fonction de leur hauteur de chute.

Interprétations

Il en ressort donc que la hauteur de chute in-

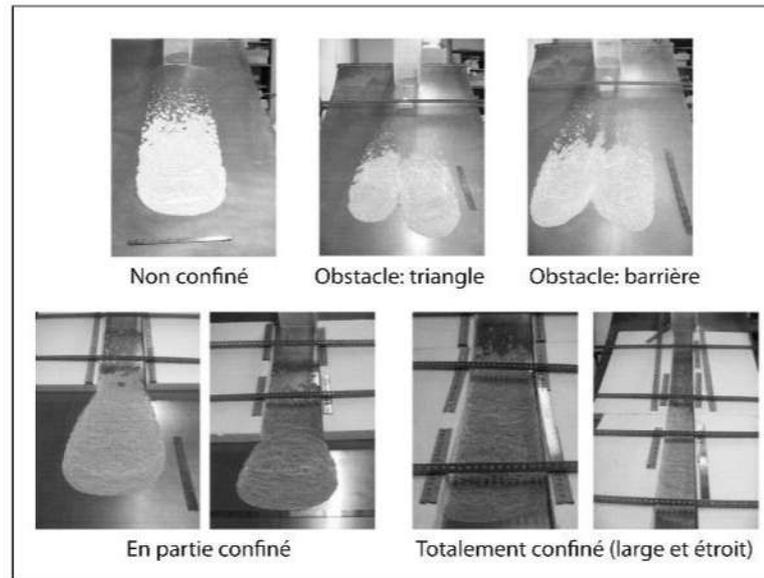


Fig. 3 - Formes géométriques des dépôts obtenus en fonction de la morphologie de l'environnement.

fluence peu, voire pas, la mobilité des avalanches de débris, contrairement au volume. Cependant, le volume n'influence pas directement la mobilité vu que celle-ci dépend essentiellement de la topographie (degré de confinement, présence d'obstacles, angles de pente de la zone de dépôt). En effet, le degré de confinement mais aussi l'angle de pente jouent un rôle important au niveau de la mobilité. La corrélation entre les fortes valeurs de la mobilité avec les faibles valeurs de l'angle de pente de la zone de dépôt peut s'expliquer par le fait que plus la distance par rapport au volcan augmente, plus l'angle de pente est réduit. Ceci, logiquement, provoque une diminution de la mobilité si la hauteur de chute reste inchangée. Ainsi, en moyenne la mobilité des avalanches de débris est de 0,1. Cependant, celle-ci peut être modifiée en fonction des caractéristiques du milieu (topographie). Effectivement, la topographie accentuera ou diminuera la mobilité par le biais du confinement et de zones de dépôt pentues ou la présence d'obstacles. Cependant, cette influence du milieu dépend aussi du volume de l'avalanche. En effet, il est beaucoup plus aisé de dévier, ralentir voire arrêter une avalanche de débris de faible volume face à un obstacle plutôt qu'une avalanche de grand volume. Le ratio entre le volume de l'avalanche et le volume d'un obstacle (ou juste de l'élément topographique) est donc primordial afin d'appréhender le comportement de l'avalanche. Même si la hauteur de chute n'influence pas la mobilité, celle-ci n'en est pas moins importante étant donné que, tout comme la morphologie de l'environnement, elle influence les caractéristiques géométriques du dépôt, notamment le degré d'étalement du dépôt et l'épaisseur du dépôt.

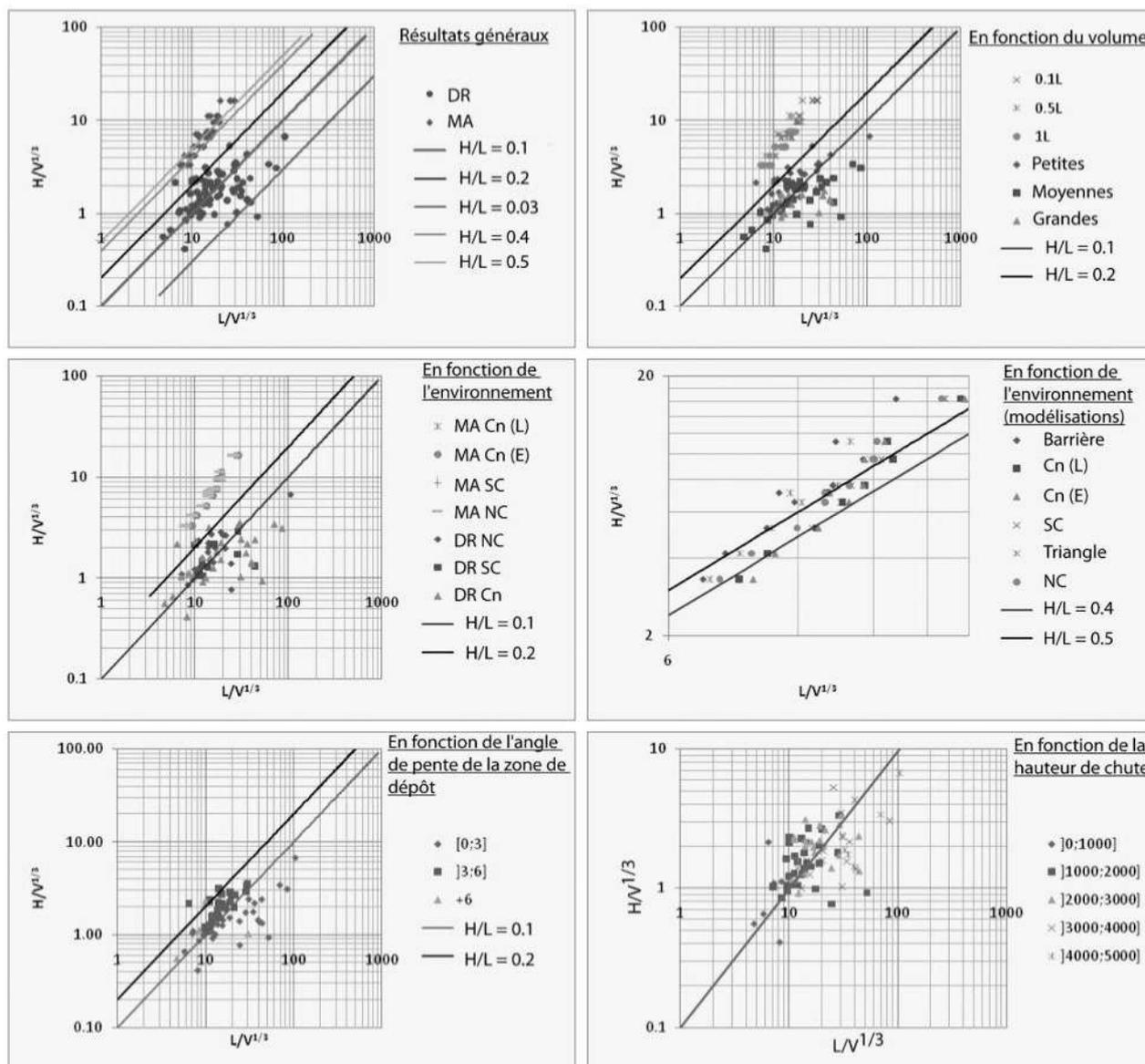


Fig. 4 - Représentation des résultats des expériences expérimentales (MA) ainsi que des données réelles (DR) en fonction du volume (V), de la morphologie de l'environnement (Cn [L] : confiné [large]; SC : semi-confiné; NC : non confiné), de l'angle de la pente de la zone de dépôt et de la hauteur de chute (H).

II. Application à une étude de cas

Avant de réaliser une modélisation numérique, il est important de bien sélectionner le lieu d'étude et de bien en comprendre non seulement l'histoire, mais les caractéristiques. C'est pour cela que la zone d'étude sera dans un premier lieu détaillée, et ce en commençant par les caractéristiques géologiques avant de s'intéresser à son aspect matériel et social.

II.1. La géologie du Taranaki

Le mont Taranaki (connu aussi sous son nom anglais Mont Egmont) est, par son volume, le plus grand stratovolcan andésitique de Nouvelle-Zélande. Situé au centre de la région Taranaki, à l'ouest de l'île nord du pays, ce volcan de 2518 m d'altitude a deux noms officiels. En effet, pendant

de nombreux siècles, il a été appelé Taranaki par les Maori puis, lors de l'arrivée du capitaine Cook, il a été décidé par les Anglais de l'appeler Mont Egmont, d'après le premier Lord de l'amirauté John Perceval, deuxième comte d'Egmont.

Géologie générale

La péninsule du Taranaki est un composant aérien du bassin du Taranaki. Il s'agit d'un bassin sédimentaire d'arrière-arc présent le long de la côte ouest de l'île nord, composé de deux blocs structuraux principaux : la plateforme ouest et le graben du Taranaki (fig. 5). Ces deux blocs sont séparés par la zone de faille du Cape Egmont (une série de failles abruptes normales en échelons et de failles inverses). Ce graben actif tectoniquement est limité à l'est par la faille du Taranaki et la

zone de faille Mania. Cette dépression régionale, en accord avec le système de failles prédominant du pays, a eu une histoire tectonique complexe associée à l'évolution de la limite entre les plaques Pacifique et Australienne. Cette région, comprise entre la province est (Patea-Tongaporutu High) et la plateforme ouest, subit depuis la fin du Crétacé (il y a environ 80 Ma) une lente subsidence.

L'activité volcanique

L'activité volcanique de la région du Taranaki a débuté au début du Pléistocène (il y a environ 2 Ma), elle est considérée comme une région active. Cette activité n'est pas le résultat d'un seul et unique édifice volcanique, mais d'une succession de quatre édifices majeurs qui ont été créés depuis le début de cette activité volcanique (fig. 6).

Ces différents cônes de nature andésitiques sont alignés selon une direction NNO-SSE (une ligne de fracture majeure) appelée la *Succession Volcanique du Taranaki*, répartie entre deux zones de failles (Neall, Stewart & Smith, 1986).

Les roches volcaniques sont principalement de nature andésitique riche en potassium. Cependant, il est possible de trouver quelques dacites, des basaltes andésitiques et des basaltes riches en alumine. Le magma est devenu plus riche en potassium avec le temps, et les dernières laves émises ont une teneur en silice très élevée.

Cette progression géographique de l'activité volcanique a conduit à la création de nombreux édifices :

- Paritutu et Sugar loaves, il y a environ 1,75 Ma ;

- Kaitake, à 15 km au sud-ouest de la ville de New-Plymouth (0,57 Ma) ;

- Pouakai, il y a environ 0,25 Ma ;

- finalement, le Taranaki (0,12 Ma) dont la dernière éruption a eu lieu en 1750. Ce volcan peut être divisé en deux zones : la zone haute et la zone basse. La zone haute est composée des coulées de lave, tandis que la zone basse est une large plaine circulaire autour du volcan, principalement composée des dépôts de débris et des lahars, résultat de la déstabilisation de l'édifice volcanique.

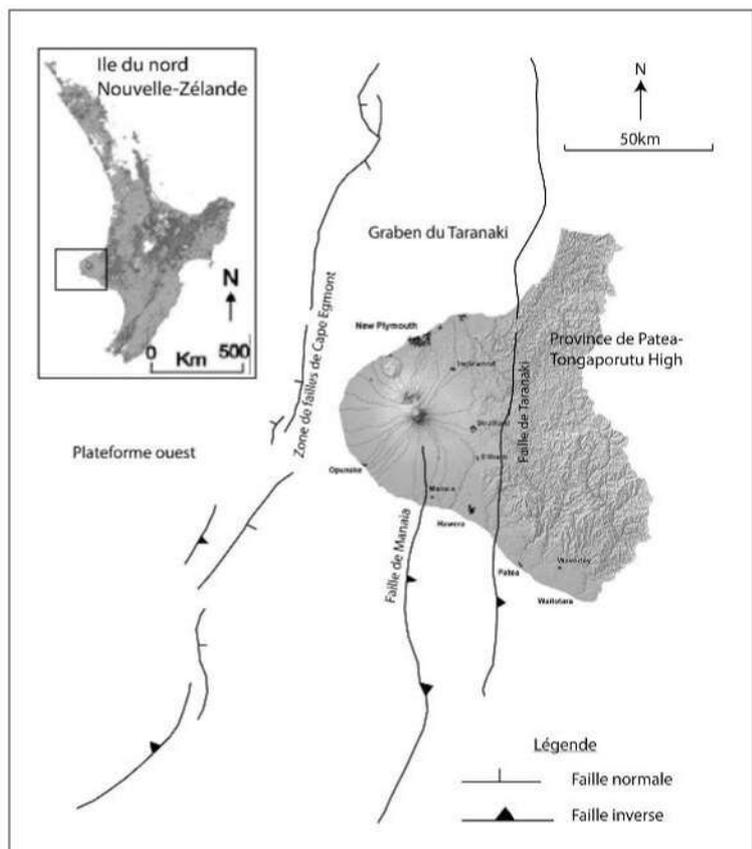


Fig. 5 - Éléments structuraux principaux du bassin du Taranaki (modifié, d'après Pilaar et Wakefield, 1978).

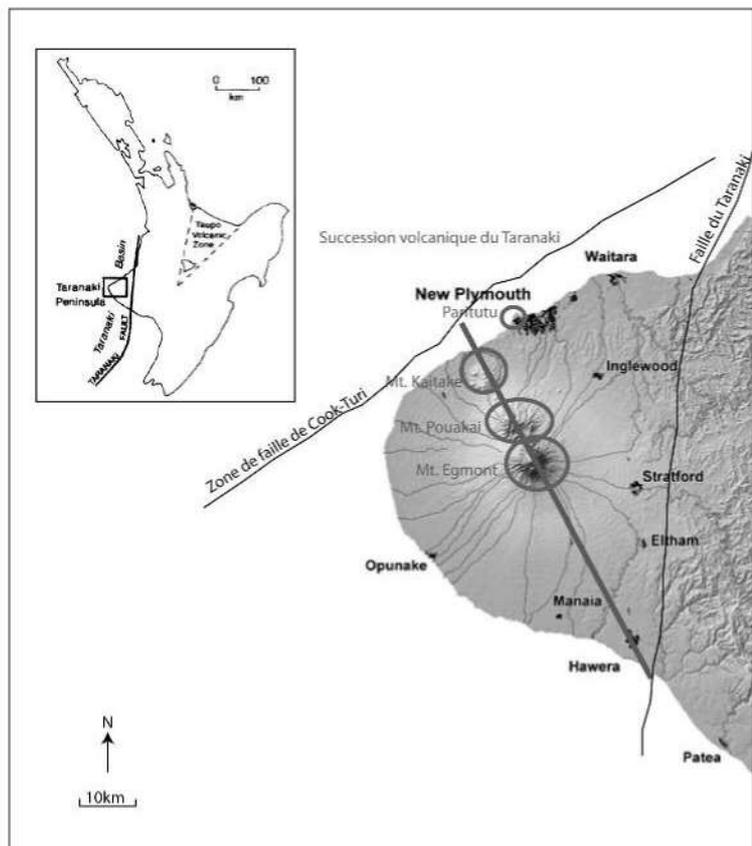


Fig. 6 - Schématisation de la succession volcanique du Taranaki (modifié, d'après Crozier et Pillans, 1991).

Ces effondrements ont créé des caractéristiques morphologiques qui furent décrites puis identifiées comme des dépôts d'avalanche de débris (Neall, Stewart & Smith, 1986).

Les avalanches de débris

Plusieurs dépôts d'avalanches de débris ont été identifiés dans la plaine volcanique et au moins huit formations ont été cartographiées. Ces dépôts sont caractérisés par la présence du faciès à blocs, du faciès mélangé et d'un faciès marginal dont la proportion en matrice est dominante (plus de 90 %), ainsi que la présence d'hummocks, généralement au début des dépôts. Stratigraphiquement, ces dépôts peuvent être divisés en deux unités principales : l'ancienne plaine circulaire pour les dépôts mis en place avant 24 ka et la nouvelle plaine circulaire pour les dépôts mis en place entre 24 et 8 ka.

Ces dépôts affectent une surface d'environ 250 km² et ont des volumes individuels d'au moins 3,5 km³. La topographie de la région a affecté certains dépôts qui ont été bifurqués (comme la formation Okawa) ou canalisés (telle que la formation Ngaere).

Deux avalanches de débris ont eu lieu dans la partie nord de ce linéament volcanique et ont affecté la région de New-Plymouth. Il s'agit des formations Maitahi et Motunui. La première est le résultat d'un effondrement du volcan Pouakai, cependant la deuxième formation a des origines moins claires. Il pourrait s'agir d'un effondrement dû à la dégradation active (altération/érosion) du volcan Pouakai ou à un effondrement du jeune volcan Taranaki (Stewart et al., 2006).

Les volcans de la région du Taranaki ont une histoire parsemée d'effondrements à travers les temps géologiques. Il a été calculé, à partir de la méthode de Stirling et Wilson, que des effondrements d'un volume inférieur à 0,15 km³ ont lieu tous les 2 000 ans alors qu'un effondrement d'un volume supérieur à 7,5 km³ a lieu tous les 21 000 ans.

Une avalanche de débris peut être le résultat d'une activité magmatique, cependant elle peut aussi être initiée par une activité non magmatique. Ainsi, la région du Taranaki est une zone sismique active. Un autre élément caractéristique de cette région est la quantité des précipitations. En effet, entre 8 000 et 2 400 mm d'eau de pluie tombent sur cette région annuellement, ce qui donne un écoulement de 28 millions de m³ par semaine depuis tous les ruisseaux et rivières dans un rayon de 12 km. Ainsi, beaucoup d'eau est présente sur les flancs du volcan, ce qui peut être à l'origine d'un effondrement (notamment par les transformations chimiques et les modifications physiques) sans pour autant pouvoir saturer l'avalanche.

Nous sommes en droit de nous demander maintenant pourquoi concentrer cette étude au niveau de la ville de New-Plymouth sur la partie nord. La partie suivante consacrée à la vulnérabilité de cette zone apportera des éléments de réponse.

II.2. La vulnérabilité

La vulnérabilité n'a rien à voir avec la présence d'aléas, il s'agit en fait de la présence d'éléments (faune, flore, infrastructures...) pouvant être affectés. La vulnérabilité est donc plus ou moins importante en fonction de ce qui se trouve dans la zone pouvant être affectée par le volcan. C'est pour cette raison que nous étudierons la démographie, l'importance économique et les infrastructures présentes dans la région du Taranaki.

La démographie

La région du Taranaki est peuplée depuis plusieurs siècles. Tout a commencé avec l'arrivée des Maoris vers 800 après J.-C. qui furent suivis par les Européens début 1840. Cette région est divisée en trois districts principaux (New-Plymouth, Stratford et South Taranaki) qui comprennent plus de 100 000 habitants. La population a tendance à se concentrer dans le district de New-Plymouth qui regroupe pas moins de 66 % de la population locale (soit 69 000 personnes). La population de ce district est majoritairement âgée entre 15 et 64 ans et d'origine européenne. Cependant, 36,6 % de cette population est dépendante car elle n'est pas en âge ou apte à se déplacer par ses propres moyens. C'est cette tranche de la population qui sera la plus vulnérable en cas de catastrophe. De plus, 80,6 % de cette population ne fait pas partie d'une tribu maorie, cela peut signifier que si leur migration est récente, ils ne sont pas forcément familiarisés avec les risques volcaniques et/ou que l'anglais n'est pas forcément leur langue maternelle. Ceci n'est pas le cas des 15,8 % des personnes qui sont Maoris et ont une relation très proche avec le volcan. En effet, celui-ci est presque considéré comme un proche (un grand-parent, un parent ou un enfant en fonction de notre âge) et leur culture est composée d'histoires relatives au volcan.

L'industrie et l'économie de la région

L'économie de la région est basée sur différents secteurs utilisant en majorité des ressources naturelles. En effet, l'agriculture, la sylviculture, l'horticulture, la botanique et l'élevage sont très développés dans cette région. Plus de 2 800 fermes sont présentes avec plus de 1,3 million de bêtes. Il convient de ne pas oublier les secteurs de transformation, de service et de tourisme. Le secteur le plus connu dans la région est celui du pétrole, avec la présence d'usine permettant de traiter le brut extrait ainsi qu'un réseau de pipelines reliant les différentes régions du pays.

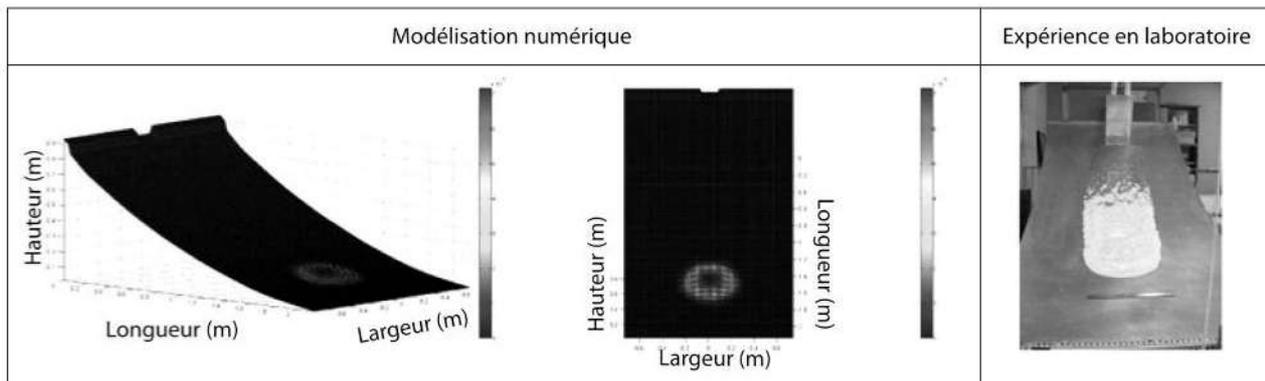


Fig. 7 - Représentation numérique d'une expérience non confinée réalisée en laboratoire lors de cette étude.

Les biens immobiliers

La démographie et l'économie sont supportées par la présence d'infrastructures qui joue un rôle important puisqu'elle a un impact direct sur la population. Cette infrastructure peut être purement liée à l'activité économique (usines, pipelines...), ou vitale (hôpitaux, réseaux électriques, écoles, transports...) mais aussi plus accessoires (centres commerciaux, stades...). Dans le district de New-Plymouth, l'infrastructure ne cesse de se développer depuis les cinq dernières années et d'agrandir les zones résidentielles. L'héritage historique est un aspect souvent oublié des infrastructures. Dans le cas de New-Plymouth, ce district ne regroupe pas moins de 60 % des bâtiments historiques et 41 % des sites archéologiques de la région.

En cas d'un phénomène volcanique majeur affectant le district de New-Plymouth, l'impact sera dévastateur sur plusieurs aspects (économique, industriel, démographique et écologique) et rendra les déplacements difficiles et limités (il y a peu de routes principales et beaucoup de ponts).

III. Les simulations numériques

Dans cette partie, un rapide historique de l'évolution des simulations numériques sera présenté avant de s'attarder sur les simulations réalisées pour cette étude.

III.1. Quand la science et la technologie se rencontrent

La modélisation numérique, aussi appelée simulation numérique, est une autre technique pour reproduire un phénomène mais, contrairement aux expérimentations en laboratoire, cette représentation est « artificielle » et dépend du réalisme du logiciel numérique.

Qu'est-ce que c'est ?

Une simulation numérique est une production « artificielle » d'un phénomène sur un ordinateur. Cet outil est utilisé dans nombreux domaines tels que les simulations de vol pour entraîner les pilotes. Cependant, dès que cet outil est utilisé

pour la recherche afin de représenter des phénomènes complexes, le terme adéquat n'est plus « simulation » mais « modélisation ». Globalement, cette technique peut être définie comme l'adaptation de modélisation mathématique d'un modèle théorique dont le résultat est souvent visualisé dans une interface graphique (fig. 7).

Il existe trois catégories de simulations numériques :

- la *simulation continue* : l'objectif est d'analyser le modèle à l'aide de variables qui ont une variation continue dans le but de prévoir le système à un moment donné dans le futur ;

- la *simulation discrète* : cette simulation, utilisée généralement pour des principes simples dans un système à grande échelle, est composée d'une succession d'événements qui modifient le modèle. Il peut s'agir d'un modèle découpé en tranches de temps dont uniquement l'unité de temps est modifiée, ou d'une séquence de phénomènes qui sont simulés les uns après les autres ;

- la *simulation par agents* : le système est dans ce cas divisé en plusieurs entités qui interagissent entre elles. Cette simulation est généralement utilisée pour les sciences économiques et sociales.

Cet outil est pratique de par sa rapidité d'exécution, sa facilité de modification, son gain d'espace (pas besoin de 20 m³) et son relatif faible coût.

Cependant, il s'agit de résultats obtenus à partir de variables supposées et de modèles mathématiques. Cela suppose donc que si le raisonnement n'est pas correct dans le cas, le modèle mathématique sera faux et les résultats de la modélisation incorrects. Cet outil ne représente pas nécessairement la réalité et un esprit critique est essentiel afin d'évaluer et par la même occasion contrôler les résultats de tels modèles.

Son évolution dans le temps

La première modélisation numérique, réalisée pendant la Seconde Guerre Mondiale, avait pour objectif de modéliser le processus de la détonation nucléaire du projet Manhattan. Ce type de

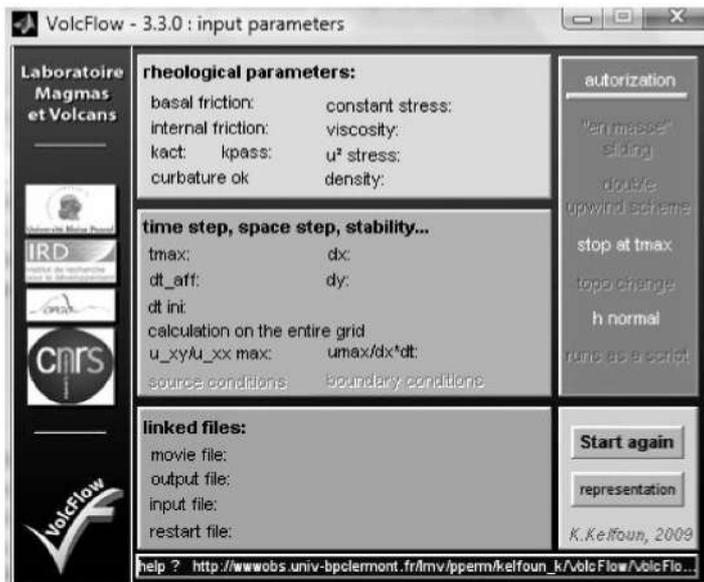


Fig. 8 - L'interface du code numérique *VolcFlow*.

modélisation n'a été possible que grâce aux découvertes et avancées faites dans le domaine informatique. Toutefois, la première modélisation « civile » de cette méthode a été réalisée en 1953 dans le domaine de la recherche nucléaire. Cette modélisation, appelée Fermi-Pasta-Ulam, avait pour objectif d'explorer les processus thermiques des solides par le biais de l'utilisation d'un ordinateur MANIAC (*Analyseur Mathématique, Intégrateur Numérique*) afin de démontrer un nouveau champ en physique : le champ non linéaire.

Depuis cette date, de nombreux codes ont été créés, notamment en géosciences, tel que le code *VolcFlow* qui a été utilisé pour cette étude et qui sera rapidement introduit.

III.2. Les expériences réalisées

L'objectif est d'utiliser le code *VolcFlow* pour tester différents scénarios d'avalanches de débris sur le flanc nord du Taranaki. *VolcFlow* est un code numérique, utilisant le langage informatique C, qui a été développé en 2005 par Kelfoun dans le but de modéliser les écoulements volcaniques (coulée de lave, avalanches de débris, écoulements pyroclastiques...). Toutefois, d'autres phénomènes géologiques peuvent être représentés avec ce code tels que les coulées de boues ou les tsunamis (fig. 8).

Ce code est fondé sur l'hypothèse que la masse de l'avalanche glisse sur une mince couche basale (ce qui est généralement assumé pour l'écoulement granulaire) et que n'importe quel excès dans la pression des fluides dans les pores est négligeable. Cette approximation moyenne de la profondeur est représentée par un système de coordonnées lié à la topographie, avec x et y en tant que points horizontaux (parallèle sur la surface locale

du sol) et h en tant que point vertical (altitude). Après chaque incrémentation du temps, les nouvelles épaisseurs, vitesse, coordonnées x et y sont calculées (Kelfoun & Druitt, 2005).

Différentes rhéologies peuvent être utilisées (friction, Bingham, visqueux) ou être créées par simple modification du code initial. Ce code peut être utilisé pour la détermination du comportement rhéologique d'un écoulement, ou la représentation du secteur affecté par l'écoulement.

Cette dernière utilisation est la plus intéressante par rapport aux objectifs de notre étude, puisque les résultats des formes géométriques des dépôts pourront être comparés avec les cartes d'aléas connues et peut-être avoir un impact sur des études futures et la gestion de catastrophes naturelles.

Méthodologie

Quand le code numérique a été sélectionné pour l'étude, il convient de rajouter les caractéristiques propres à l'étude réalisée (topographie du milieu, volume de l'avalanche...). Pour cela, un modèle numérique de terrain (la topographie) de la région du Taranaki a été utilisé et centré sur le volcan et le district de New-Plymouth. Ce modèle est composé de courbes de niveaux tous les 50 m pour les données sur terre. Les données marines n'ont pas été utilisées mais représentées par une surface plate pour différentes raisons. La première étant de pouvoir permettre de localiser rapidement les villes ainsi que la côte, la seconde est que la version de *VolcFlow* utilisée ne représente pas les tsunamis. La dernière raison est que plus la zone d'étude est grande et détaillée, plus la simulation sera longue.

Une fois la topographie créée, il ne reste plus qu'à définir la cicatrice d'effondrement de l'avalanche et à la positionner géographiquement. Puisqu'il n'y a actuellement aucune large cicatrices d'effondrement connues sur le Taranaki, il a été décidé d'utiliser par simplicité une simple cicatrice en forme de bol.

Les dimensions de la cicatrice ont par la suite été modifiées afin d'obtenir quatre volumes différents. Ces volumes (0,77, 2,19, 3,67 et 4,78 km³) ont été choisis afin d'être réalistes compte tenu de la forme actuelle de l'édifice volcanique et des volumes des dépôts d'avalanche de débris du volcan. Aucun mécanisme déclencheur particulier n'a été utilisé pour engendrer la formation de l'effondrement. Une constante de résistance basale de 50 kPa a été utilisée lors de la simulation (valeur précédemment utilisée pour les simulations de Socompa). Cette rhéologie simule bien les avalanches de débris, mais ne prend pas en compte le stade initial de l'avalanche. En effet, il est supposé un effondrement immédiat des parties du volcan composant l'avalanche.

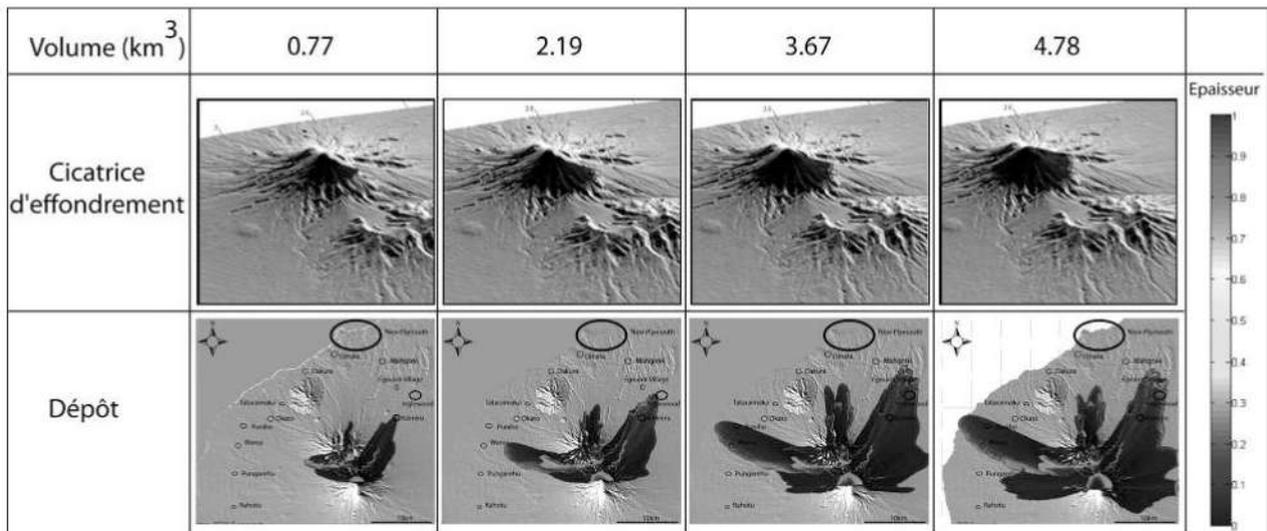


Fig. 9 - Résultats obtenus pour les modélisations numériques d'une avalanche de débris sur le flanc nord du Taranaki en fonction des différents volumes testés.

Résultats

Toutes les simulations montrent qu'une avalanche de débris sur le flanc nord du Taranaki affecte trois directions principales : nord, est et ouest (fig. 9). Remarquons que, pour le plus petit volume, la majorité de l'avalanche a tendance à se concentrer entre le sommet du volcan et la barrière naturelle formée par la chaîne montagneuse Pouakai.

Cependant, une distance maximale de 12 km en direction de la ville d'Inglewood est tout de même atteinte et une toute petite partie de l'avalanche se dépose après la chaîne de Pouakai. Si le volume passe de 0,77 km³ à 2,19 km³, la distance parcourue augmente de 5 km et la ville d'Inglewood est en partie affectée. La distance maximale parcourue est de 24 et 25 km pour un volume respectif de 3,67 km³ et 4,78 km³.

Interprétations

Avant d'interpréter ces résultats, il est important de connaître les limites d'une telle simulation. Tout d'abord, le dépôt d'une avalanche de débris dépend de la forme géométrique de la cicatrice d'effondrement ainsi que de sa localisation. Comme ces simulations ont été réalisées sans la connaissance de zone particulière de faiblesse ni de forme géométrique de cicatrices d'effondrement ayant eu lieu sur ce volcan, il est peu probable qu'une future avalanche de débris ait les mêmes caractéristiques que celles utilisées pour les simulations.

De plus, si la cicatrice est légèrement plus orientée vers l'est ou l'ouest, la proportion de l'avalanche se dirigeant vers l'une des trois directions principales sera modifiée.

Toutefois, plusieurs résultats peuvent être tirés de ces simulations. Tout d'abord, la ville de New-Plymouth ne serait pas affectée par une avalanche

de débris grâce à la chaîne Pouakai qui arrête ou détourne une bonne partie de l'avalanche. Tandis que d'autres villes, telles Inglewood, pourraient être affectées par l'avalanche ainsi qu'une bonne proportion du district de New-Plymouth.

Cependant, la protection qu'apportent ces chaînes montagneuses a des limites. En effet, une petite proportion de l'avalanche passerait outre la chaîne Pouakai, et ce même pour un volume inférieur à 1 km³ (fig. 10, p. 20).

Ceci implique que la gestion en cas de crise doit être légèrement modifiée afin de prendre en compte cette zone qui n'avait jamais été considérée comme affectable par l'avalanche (fig. 11, p. 20).

Des études plus poussées permettront de quantifier et qualifier cette menace ainsi que le taux d'érosion annuel de cette chaîne puisque ceci influence le ratio par rapport au volume de l'avalanche. La simulation numérique a permis de mettre en avant des zones qui requièrent une attention particulière.

Conclusion

Ce projet de recherche a été l'occasion de réaliser une synthèse des connaissances actuelles sur les avalanches de débris volcaniques, mais surtout de réaliser des séries d'expériences en laboratoire couplées avec des données réelles afin de voir l'impact de la topographie, du volume et de la hauteur de chute.

Les modélisations analogiques ainsi que les données réelles ont permis de montrer que la topographie (morphologie de l'environnement, angle de pente de la zone de dépôt) a un impact majeur sur la mobilité des avalanches de débris. Cette influence qui dépend du volume de l'avalanche engendre une augmentation ou une diminution de la mobilité, mobilité qui est en moyenne

égale à 0,1. Le ratio entre le volume de l'avalanche de débris et le volume de l'élément topographique est donc primordial pour déterminer le comportement de l'avalanche de débris. La hauteur de chute, quant à elle, n'influence pas grandement la mobilité. Cependant, tout comme la topographie, la hauteur de chute a une forte influence sur les caractéristiques géométriques du dépôt, notamment sur l'étalement de celui-ci. Il a été aussi montré que la forme du dépôt est liée à la morphologie de l'environnement, formes qui peuvent être classées dans deux catégories principales.

Il en ressort l'importance de la prise en compte de la topographie (morphologie de l'environnement et angles des zones de rupture et de dépôts) lors d'études.

De nouvelles études devront être réalisées afin de mieux quantifier cette influence en vue d'améliorer les connaissances actuelles mais aussi la détermination des zones à aléas. Ceci peut supposer de réétudier des zones qui pourraient être potentiellement affectées par des avalanches de débris étant donné l'importance de la topographie.

Remerciements

Je tiens à remercier l'association L.A.V.E. pour son soutien financier qui m'a permis de rendre possible ce travail de recherche dans le but d'obtenir un double diplôme, ainsi que mes responsables de Master II : Hervé Leyrit (La Salle Beauvais), Tim Davies et Ben Kennedy (université de Canterbury-Nouvelle-Zélande) et Karim Kelfoun (Laboratoire Magmas et Volcans). □

Références

- CROZIER M.J. & PILLANS B.J., 1991 - *Geomorphic events and landform response in south-eastern Taranaki, New Zealand*. CATENA, 18: 471-487.
- DAVIES T.R.H., 1982 - *Spreading of rock avalanche debris by mechanical fluidization*. Rock Mechanics, 15, pp. 9-24.
- HSÜ K.J., 1975 - *Catastrophic debris stream (sturzstroms) generated by rockfalls*. Geol. Soc. Amer. Bull., 86: 129-140.
- KELFOUN K. & DRUITT T.H., 2005 - *Numerical modeling of the emplacement of Socompa rock avalanche, Chile*. J. Geophys. Res., 110(B12202) : 1-13.
- NEALL V.E., STEWART R.B. & SMITH I.E.M., 1986 - *History and Petrology of the Taranaki Volcanoes*. In: I.E.M. Smith (Ed), *Late Cenozoic Volcanism In New Zealand*. Royal Society of New Zealand Bull. pp. 251-263.
- NICOLETTI P.G. & SORRICO-VALVO M., 1991 - *Geomorphic controls of the shape and mobility of rock avalanches*. Geological Society of America Bulletin, 103: 1365-1373.
- PALMER B., ALLOWAY B. & NEALL V., 1991 - *Volcanic debris-avalanche deposits in New Zealand-Lithofacies organization in unconfined, wet-avalanche flows*. In: FISHER R.V., SMITH G. A. (ed), *Sedimentation in volcanic settings*. SEPM Special Publication, 45: 89-98. Oklahoma, USA, Tulsa GA.
- PILAAR W.F.H. & WAKEFIELD L.L., 1978 - *Structural and stratigraphic evolution of the Taranaki Basin, offshore North Island, New Zealand*. The APEA Journal, 93-101.
- POUGET S., 2008 - *Recherche sur le volcanisme andésitique (Nouvelle-Zélande et Vanuatu)*. La Salle-Beauvais 4^e année rapport de stage, Beauvais, France, 42p. Non publié.
- SANFORD A.R., 1959 - *Analytical and experimental study of simple geologic structures*. Geological Society of America Bulletin, 70: 19-52.
- SHEA T., 2006 - *Cinématique et dynamique des grandes avalanches rocheuses: analyses et modélisation des structures*. Master II recherche, Université Blaise Pascal Clermont-Ferrand II, 48p.
- SIEBERT L., 1984 - *Large volcanic debris avalanches: characteristics of source areas, deposits, and associated eruptions*. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 22: 163-197.
- STEWART R.B., ZERNACK A.V., PROCTER J.N. & ALLOWAY B.V., 2006 - *Field Trip 5 Taranaki*. In: LECOINTRE J.A., STEWART R.B. & WALLACE C. (Eds.). Geosciences'06 Our Planet, Our Future. Geological Society of New Zealand Miscellaneous Publication, pp. 42- 71.
- UI T., YAMAMOTO H. & SUZUKI-KAMATA K., 1985 - *Characterization of debris avalanche deposits in Japan*. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 29(1986) : 231-243.

Découvrez le site internet de notre association :

<http://www.lave-volcans.com>

avec le référentiel et les fiches volcans, la photothèque, toute l'actualité (livres, films, conférences, émissions de radio et télé), les grandes figures de la volcanologie française, tous les bulletins info-L.A.V.E. et... de nombreux liens !