



**UNIVERSITÉ  
DE GENÈVE**

FACULTÉ DES SCIENCES



**UNIVERSITÉ  
DE GENÈVE**

FACULTÉ DES SCIENCES  
ÉCONOMIQUES ET SOCIALES

---

Mémoire de certificat complémentaire en géomatique

**Utilisation des systèmes d'informations géo-  
graphiques  
pour la caractérisation des aléas de l'île de  
Vulcano (Italie)**

Présenté par

Bocar SY

Groupe de volcanologie physique et  
de risques géologiques

Université de Genève

janvier 2014

Je certifie que toutes les déclarations continues dans ce texte, qui ne sont pas le résultat de ma réflexion personnelle, sont attribuées à leur source et que tout passage copié à partir d'une source est placé entre guillemets.

Les citations tirées du présent mémoire ne sont permises que dans la mesure où elles servent de commentaires, référence ou démonstration à son utilisateur. La citation doit impérativement indiquer la source et le nom de l'auteur. La loi fédérale sur le droit d'auteur est applicable.

## Résumé

Les objectifs de ce présent mémoire sont d'un côté d'effectuer une analyse multi-aléas en combinant les aléas volcaniques (coulées pyroclastiques), sismiques (effet de sites) et instabilité de terrain. D'un autre côté, il sera question de trouver un centre de ralliement en considérant entre autres des paramètres géologiques. Le modèle obtenu sera discuté par rapports aux différents bâtiments déjà existants. Ces informations sont importantes pour la prévention, la mitigation et la gestion des catastrophes et des secours dans l'île de Vulcano.

L'analyse a été effectuée en utilisant les outils d'analyses spatiales du logiciel **ArcGis 10**. Les données utilisées ont été obtenues via le groupe de volcanologie physique de la section des sciences de la terre et de l'environnement de l'université de Genève, du projet Ensure dirigé par la professeur Constanza Bonadonna, de la littérature et de mon travail de master.

Les résultats de la première partie montrent une carte multi-aléas des zones de danger élevé. Carte, issue de la combinaison des enjeux de coulées pyroclastiques, d'effets de sites et d'instabilité de terrain. Ces zones d'aléas élevés couvrent 64% de la superficie totale de l'île donc une superficie d'environ 13km<sup>2</sup>. Cette vision d'ensemble des aléas permet entre autre une meilleure préparation des catastrophes. Dans cette présente étude, l'analyse multi-aléas n'est pas exhaustive. Par contre, elle peut être plus poussée en considérant les autres zones de danger moyen et faible ainsi que les autres types d'aléas se trouvant dans la région.

La deuxième partie de cette étude décèle que le centre de ralliement est situé au sud de l'île (Piano). Cette portée est obtenue à partir de certains paramètres qui nous ont semblé importants dans le cas d'un scénario hypothétique multi-aléas. En prenant en compte les différents bâtiments essentiels en cas de catastrophes et des différents issus de secours, la localisation dudit centre de ralliement au sud (Piano) pourrait être discutable. Etant donné que la région de Porto accueille le centre touristique et de vacances et le grand port qui peut recevoir de grands bateaux. Dans la même veine, l'unique centre médical se trouve également dans cette région. Ce dernier est important du fait qu'il pourrait être lieu de fournitures de premiers soins en cas de catastrophes. Pour ces raisons, un plan d'urgence intégrant la région de Porto semble intéressant. Toutefois, il faut noter que les 1080 résidents permanent sont distribués de manière homogène au nord (Porto) et au sud (Piano).

3

---

<sup>3</sup> Mots clés : Coulée Pyroclastique, effet de site, instabilité de terrain, centre de ralliement, Vulcano, ArcGis

## Table des matières

TABLE DES MATIÈRES .....	4
1. INTRODUCTION .....	7
1.1. Problématique .....	7
1.2. But de l'étude .....	8
1.3. Cadre de l'étude .....	8
1.4. Organisation du manuscrit .....	9
2. SITUATION .....	10
2.1. Situation géologique .....	10
2.2. Situation volcanique .....	12
2.3. Situation tectonique .....	13
2.4. Situation sismique .....	14
3. DONNEES A DISPOSITION ET METHODOLOGIE .....	17
3.1. Préparation des données.....	17
3.1.1 Création d'un raster d'ombrage.....	18
3.1.2 Création d'une carte de pente.....	18
4. ANALYSE MULTI-ALEAS.....	18
4.1. Les scénarii simultanées probables sur l'île.....	18
4.2. Travail préparatoire .....	19
4.2.1 Coulées pyroclastiques.....	19
4.2.2 Effet de sites.....	20
4.2.3 Instabilité de terrain .....	21
4.3. Juxtaposition des aléas élevés .....	23
5. ANALYSE DE LA LOCALISATION D'UN CENTRE DE RALLIEMENT .....	25

5.1. Identification des bâtiments importants.....	25
5.2. L'emplacement du centre de ralliement selon la distances à certains paramètres .....	26
5.3. Poids des paramètres.....	31
5.4. Sites retenus .....	31
5.3.1 Points hauts.....	33
5.3.2 Densité des bâtiments autour des sites retenus.....	34
5.3.3 Effet de résonance.....	35
6. RESULTATS ET DISCUSSION.....	37
7. CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	38
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	40
ANNEXES.....	42
LEXIQUES .....	45
REMERCIEMENTS.....	46

## Liste des figures

Figure 1: a) localisation géographique des îles éoliennes b) Images satellite de l'île de Vulcano .....	9
Figure 2: Carte géologique de Vulcano .....	11
Figure 3: Dernière éruption (1888-1889) à la Fossa image modifiée de (Di Traglia, 2010) ...	12
Figure 4: Carte structurale de Salina-Lipari-Vulcano (Mazzuoli et al., 1995).....	13
Figure 5: Les îles éoliennes, Italie du sud: la zone de faille Tindari Gardini (atg) (modifié de Falsaperla and Spampinato, 1999).....	15
Figure 6: Epicentre des séismes du système de faille Tindari Letojani (Ventura, 1994).....	15
Figure 7: Epicentre des séismes de 1984 à 1991 (cercles en gras), les répliques de 1978 et 1980 (cercles fin) et les événements de M>5 de 1700 à 1900(carrés). Le secteur étudié 38-39 N et 13.5 à 16 E, la profondeur 0-40km b) Coupe NW-SE des hypocentres utilisant les figurés qu'en a) (Neri et al., 1994) .....	16
Figure 8: Carte montrant les dégâts causés par les coulées pyroclastiques .....	20
Figure 9: Carte d'effet de site de l'île de Vulcano.....	21
Figure 10: Carte montrant les glissements de terrains actifs.....	23

Figure 11: Carte montrant la combinaison des aléas élevés.....	24
Figure 12: Carte montrant les infrastructures importantes .....	26
Figure 13: Carte montrant l'éloignement aux zones de $P_{dyn} > 5 \text{ Kpa}$ .....	27
Figure 14: Carte montrant l'éloignement aux zones à facteur d'amplification = 1.6.....	28
Figure 15: Carte montrant l'éloignement aux glissements de terrain actifs .....	29
Figure 16: Carte montrant la proximité par rapport à la route principale .....	30
Figure 17: Carte montrant les zones probables .....	32
Figure 18: Zoom sur les zones propices.....	33
Figure 19: Carte montrant les zones qui se situent sur une pente $> 20$ degrés.....	34
Figure 20: Carte montrant la densité des bâtiments autour du site A.....	35
Figure 21: Carte montrant la fréquence fondamentale mesurée et la fréquence des bâtiments autour des sites choisis .....	36

## **LISTE DES TABLEAUX**

Tableau 1: Les tremblements de terre historiques des îles éoliennes avec des magnitudes $M_w > 5.0$ durant les 1000 dernières années (Ferri et al., 1988, CPTI, 2004) .....	16
Tableau 2: Tableau montrant la somme des aires des aléas élevés et de Vulcano .....	24
Tableau 3: Tableau montrant le poids de chaque critère .....	31

# 1. Introduction

## 1.1. Problématique

Mes recherches de projet de master s'étaient axées autour des effets induits par la géologie de surface sur l'île de Vulcano. En effet, lors d'un tremblement terre, le glissement sur la faille engendre des ondes sismiques qui vont se propager depuis le foyer du séisme jusqu'à la surface de la terre. Durant ce trajet, ces ondes passent dans des milieux géologiques avec des propriétés géophysiques différentes (densité, vitesse de propagation des ondes sismiques). La propagation des ondes est très fortement affectée par les hétérogénéités de surface ([Bard, 2002](#)). Il est apparu au cours des années que la nature géologique des terrains soumis aux séismes influençait de façon capitale le comportement de ces séismes. C'est ainsi que Mac Murdo notait déjà, en 1824, que lors d'un tremblement de terre, "les édifices situés sur la roche étaient beaucoup moins affectés par les secousses que ceux dont les fondations n'atteignaient pas la couche inférieure du sol".

La configuration géologique de surface peut être à l'origine de la modification du signal sismique. C'est ainsi qu'une amplification du mouvement est noté sur les terrains non consolidés, les dépôts récents etc. La plupart des études d'effets de sites se font sur les zones très sensibles, donc urbanisées et fréquemment construits sur des dépôts sédimentaires récents. Par ailleurs, l'île de Vulcano repose sur un terrain volcanique, il se trouve qu'il n'ait pas beaucoup d'études d'effets de site faites sur ce genre de matériel. Cependant, les études de ([Guéguen et al., 1998](#), [Lombardo & Rigano, 2007](#), [Mora et al., 2006](#), [Mora et al., 2001](#)) montrent que la lithologie des terrains volcaniques est capable d'amplifier le mouvement sismique. En outre, concernant l'île de Vulcano, une première évaluation, du rôle de la géologie locale sur l'aléa sismique, par le projet Ensure ([Bonadonna et al., 2011](#)), a montré que certaines lithologies sont susceptibles d'amplifier les ondes sismiques. Les tremblements de terres tectoniques peuvent conduire à des dégâts, c'est ainsi qu'à Schick en 1981 ([Pomonis et al., 1999](#)) des dommages avec destruction de beaucoup de maisons proches de la source ont été notées.

Actuellement, à la base du volcan il se développe un centre touristique et de vacances sur les dépôts d'alluvions et de plage de la plaine de Porto (Ponente et Levante), donc le risque croît considérablement et varie selon les saisons. Le nombre d'habitants permanent de l'île est de 1080 dont 588 hommes et 492 femmes ([Bonadonna et al., 2011](#)). L'été Vulcano peut accueillir jusqu'à 10000 touristes par jour.

Ce mémoire de certificat en géomatique s'insère dans mes recherches de master en géologie, orientation risques géologiques sur l'île de Vulcano. Il va constituer une prolongation des recherches entamées, que nous allons compléter en insérant d'autres problématiques et en utilisant des méthodes d'analyses spatiales acquises lors du certificat complémentaire en géomatique 2013. Ce choix est motivé du fait que de nos jours, l'utilisation des systèmes d'information à références spatiales semble incontournable pour une meilleure gestion des catastrophes naturelles.

Outre l'aspect aléa sismique (effet de sites) développé au cours de mon master, ce travail va prendre en compte d'autres types d'aléas tels que les coulées pyroclastiques et les instabilités de terrain.

Bien que Vulcano possède des équipements en matière d'évacuation, nous allons à partir des aléas ci-dessus modéliser la localisation d'un centre de ralliement dans le cas d'un scénario multi-aléas.

Ce présent mémoire donne une esquisse sur les immenses opportunités offertes par le SIG notamment le logiciel **ArcGis10** pour l'analyse des problèmes géologiques, en l'occurrence l'étude multi-aléas ainsi que la modélisation d'un centre de ralliement dans la région de Vulcano (Italie)

L'aspect analyse spatiale sera détaillée tout au long de ce travail et occupera une place importante.

## 1.2. But de l'étude

Les principaux objectifs de ce mémoire peuvent être résumés ainsi :

- ❖ Faire une analyse multi-aléa de l'île de Vulcano en se basant sur des données d'aléas disponibles et qui nous semblent intéressantes ;
- ❖ Identifier, localiser un site potentiel d'accueillir un centre de ralliement en cas d'un scénario multi-aléas
- ❖ Discuter de la position géographique du site par rapport aux bâtiments importants tels que le poste de santé, les 2 aérodromes et les 3 Ports.

## 1.3. Cadre de l'étude

L'île de Vulcano appartient à l'archipel des îles éoliennes, situé au nord de la Sicile (Italie) et qui est composé de 7 îles : Lipari, Vulcano, Salina, Panarea, Stromboli, Filicudi et Alicudi.

Cet archipel forme, une structure en forme d'arc qui s'étend de l'île Alicudi dans le secteur ouest, à l'île de Stromboli dans le secteur nord-est. Les îles de Salina, Lipari et Vulcano se sont développées le long d'un axe volcanique orienté perpendiculairement à l'arc ([Ventura, 1994](#)). En plus de ces îles émergées, il existe au moins 6 volcans sous-marins qui prolon-

gent l'arc éolien à la fois vers le nord-ouest et vers l'ouest (GlobalVolcanismProgram, 2010). Tout ce volcanisme est d'âge quaternaire.

L'île de Vulcano, qui est localisée à l'extrême sud des îles éoliennes, sur le côté Sud-est de la mer Tyrrhénienne (Figure 1) et couvre une superficie de 21km<sup>2</sup>. Sa longueur maximale est de 7km et son altitude maximum est d'environ 400m au-dessus de la mer.

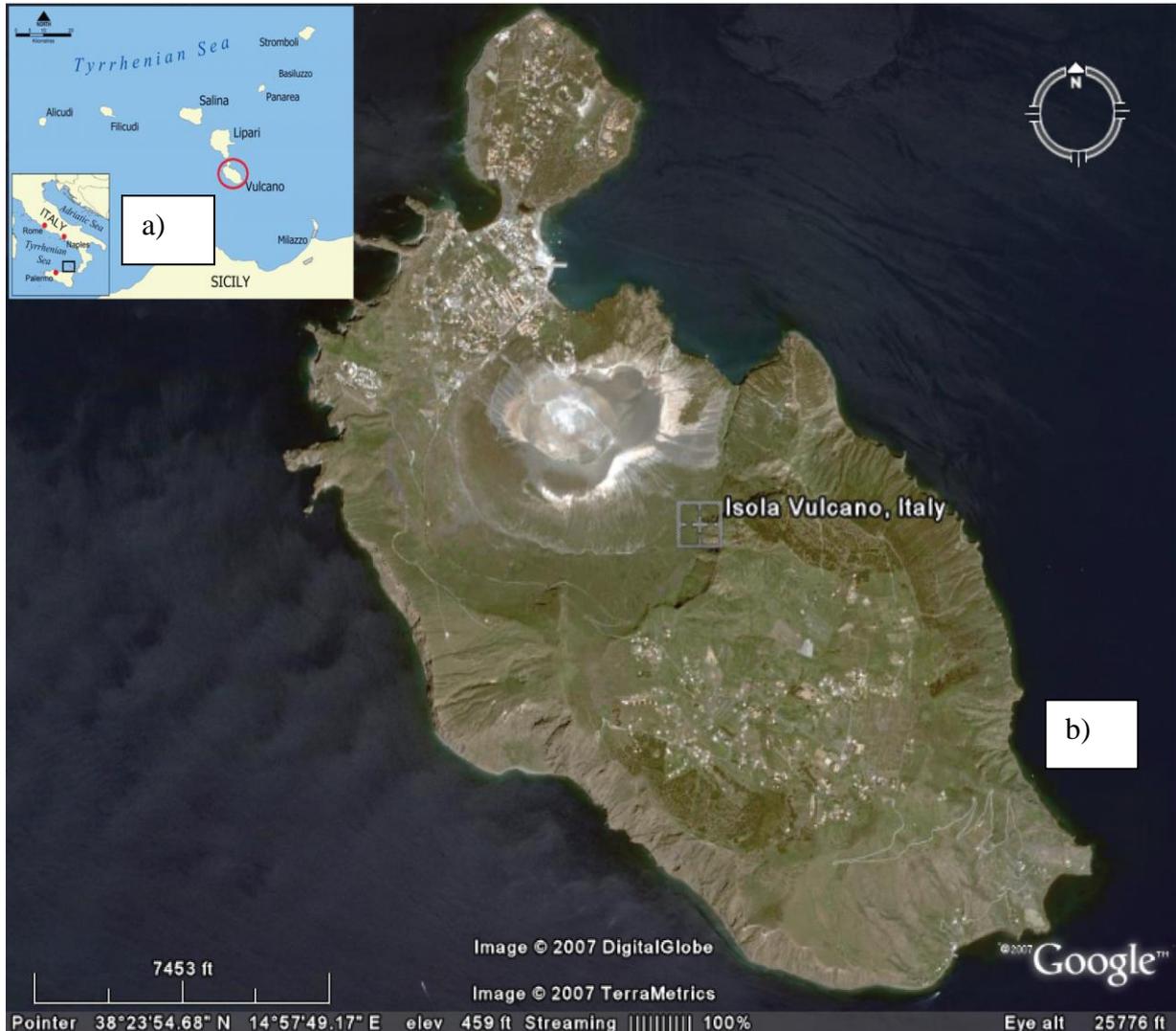


Figure 1: a) localisation géographique des îles éoliennes b) Images satellite de l'île de Vulcano

#### 1.4. Organisation du manuscrit

Ce travail s'articule autour de 4 axes principaux :

- ❖ La première partie de ce manuscrit aborde le contexte de l'île, sur le plan géologique, volcanique, tectonique et sismique.
- ❖ La deuxième partie sera dédiée à une analyse multi-aléas. Il s'agira de reproduire les cartes d'aléas, de les assembler et de les juxtaposer afin de produire une carte multi-aléas des zones de dangers élevés.

- ❖ La troisième partie va passer en revue les critères pris en compte pour la détermination du centre de ralliement et la localisation de cette dernière. Pour ce faire, les données d'aléas, de pentes et de densité des bâtiments autour des sites potentiels d'abriter le dit centre et de leur effet de résonance vont être utilisées.
- ❖ La quatrième partie est destinée à l'analyse et la discussion des différents résultats obtenus

## 2. Situation

### 2.1. Situation géologique

L'île de Vulcano a été active durant les derniers siècles avec des éruptions de composition calc-alkaline à shoshonitique (Barberi et al., 1974). L'île de Vulcano peut être divisée en 5 régions principales :

- ❖ La caldera del Piano qui est située au sud. Elle représente la partie la plus vieille de l'île de Vulcano. Cette caldera a été formée par l'écroulement de la partie sommitale du sud de Vulcano. Cette dépression grossièrement subcirculaire a un diamètre de 2.5km. L'activité dans cette partie de l'île a été développée entre – 98.000 et -75 000 ans. Elle est formée d'andésite de basalte de téphrite et de leucite (De Astis et al., 1997).
- ❖ Le complexe Lentia qui est situé à l'ouest. Il constitue un reste d'une structure située au nord de la Caldera de Piano. Il a été formé à la fin de la glaciation Würmienne entre - 25 000 et -15 000 ans. Ce secteur est composé de laves rhyolitiques et de dômes (De Astis et al., 1997).
- ❖ Le cône volcanique La Fossa quant à lui, est situé au centre. Il a été formé entre – 4 000 et - 8 000 ans. La Fossa est constituée de pyroclastes et des laves avec une gamme de composition hautement potassique (De Astis et al., 1997).
- ❖ La péninsule de Vulcanello représente la partie la plus jeune. Elle a été formée entre 1200 et 1660 après JC (Arrighi et al., 2006) et, est constituée d'un cône volcanique latéral. La presqu'île de Vulcanello a été connectée avec Vulcano par l'accumulation de cendre dans la zone d'isthme autour de 1550 après JC. Cette zone est formée de dépôts pyroclastiques reliés à l'activité du cône de Vulcanello (Keller, 1980).
- ❖ La plaine de Porto Vulcano est située au nord ouest. Cette zone est essentiellement composée de dépôts alluviaux et des dépôts de plage (De Astis et al., 1997).

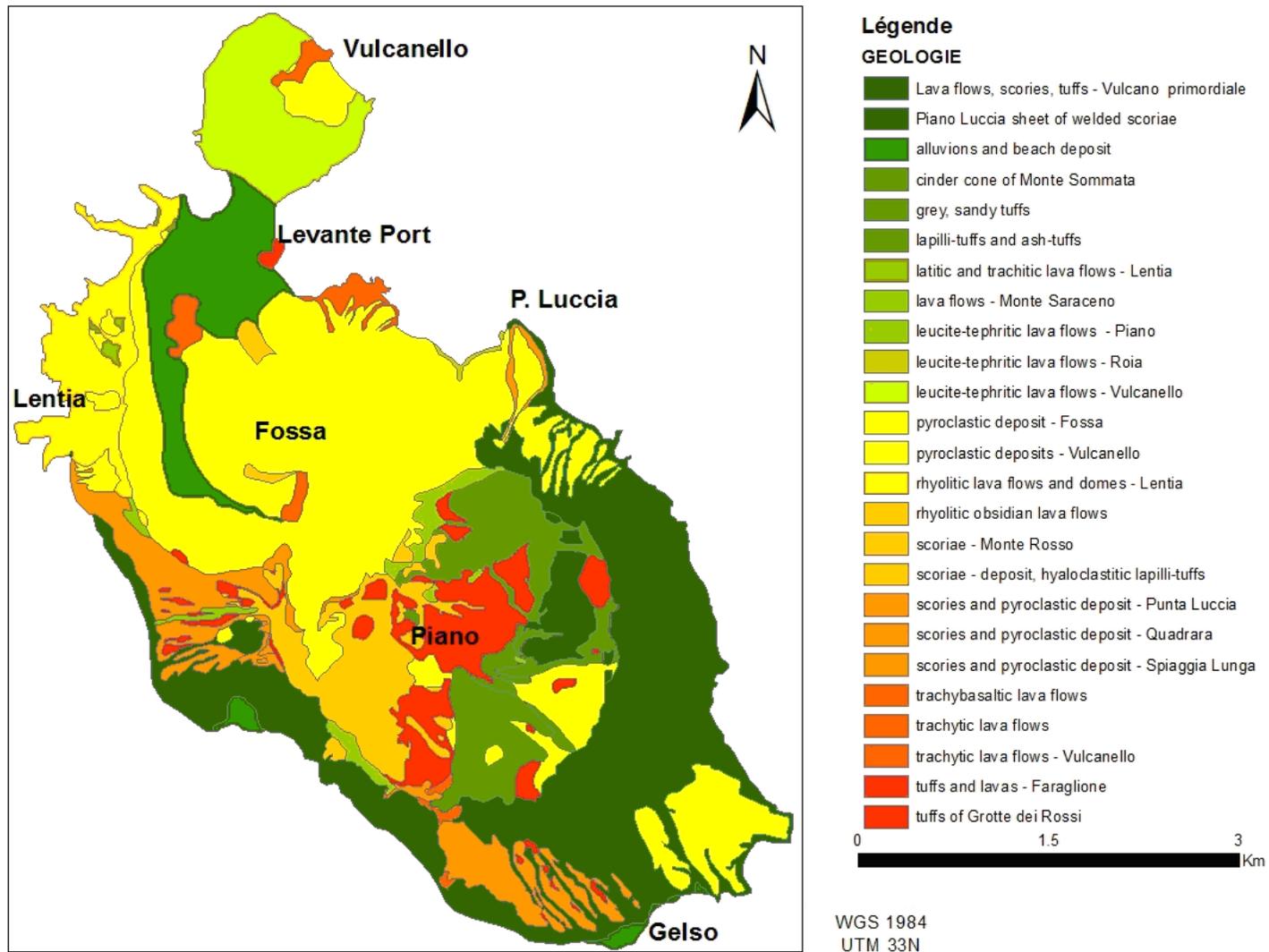


Figure 2: Carte géologique de Vulcano

## 2.2. Situation volcanique

L'île de Vulcano forme la crête d'un volcan émergé, qui diffuse des laves riches en potassium (HKCA) et shoshonitique (SHO) (De Astis *et al.*, 1997, De Astis *et al.*, 2000). Elle dérive de la combinaison de 6 étapes d'activités volcaniques, produites il y a de cela 130'000 ans, juste à la fin de la dernière période d'oscillation du niveau marin (GlobalVolcanismProgram, 2010). Ainsi, le plus ancien et important volcan formé se nomme le «Piano Vulcano », avec une altitude de 350m. Il est situé au sud-est de l'île En revanche, les vestiges les plus vieux forment le « Monté Aria » qui s'élève à 500m et la « Monté Saraceno » dont l'altitude est de 480m. D'un autre côté on distingue les volcans récents qui sont la Fossa di Vulcano ou « Gran cratere » qui se dresse à une hauteur de 380m et Vulcanello qui se hisse à 124m. L'activité volcanique de l'île est généralement explosive (type vulcanien), caractérisée par des jets de bombes et de cendres en grande quantité (Shigeo Okuma, 2006). Il faut aussi noter que les éruptions dans cette partie des îles éoliennes ont des transitions phréatomagmatiques à magmatiques comme en témoignent les données géologiques (Keller, 1980, Frazetta *et al.*, 1984, Barberi *et al.*, 1988, Gioncada & Sbrana, 1991). La dernière éruption s'est produite en 1888-1889 (Arrighi *et al.*, 2006) à la Fossa, le volcan principal de l'île, qui se trouve dans le caldera de la partie nord de la région. L'île de Vulcano présente actuellement une activité fumerolienne (Barberi *et al.*, 1994).



Figure 3: Dernière éruption (1888-1889) à la Fossa image modifiée de (Di Traglia, 2010)

### 2.3. Situation tectonique

Les îles éoliennes sont considérées comme un arc volcanique issu de la subduction du domaine ionien en-dessous de l'arc calabrien (Barberi *et al.*, 1973). Du point de vue structural, les îles éoliennes peuvent être divisées en 3 secteurs principaux :

- ❖ Le secteur occidental (Alicudi, Filicudi) dominé par des linéaments tectoniques orientés NNW-SE,
- ❖ Le secteur oriental (Panera, Stromboli) caractérisé aussi par des linéaments tectoniques orientés NE-SW,
- ❖ Le secteur central (Salina, Lipari, Vulcano) aligné le long de la faille Tindari Letojanni (Figure 4).

L'île de Vulcano est située à l'extrême sud de l'axe volcanique Salina-Lipari-Vulcano. (Figure 4). La direction de l'axe correspond étroitement à une structure de décrochement régional actif depuis le Pléistocène. Cette faille est appelée la faille décrochante Tindari-Letojanni ou Tindari-Gardini (atg) (Figure 4) et elle est perpendiculaire à l'arc Calabro-Peloritani (Barberi *et al.*, 1994).

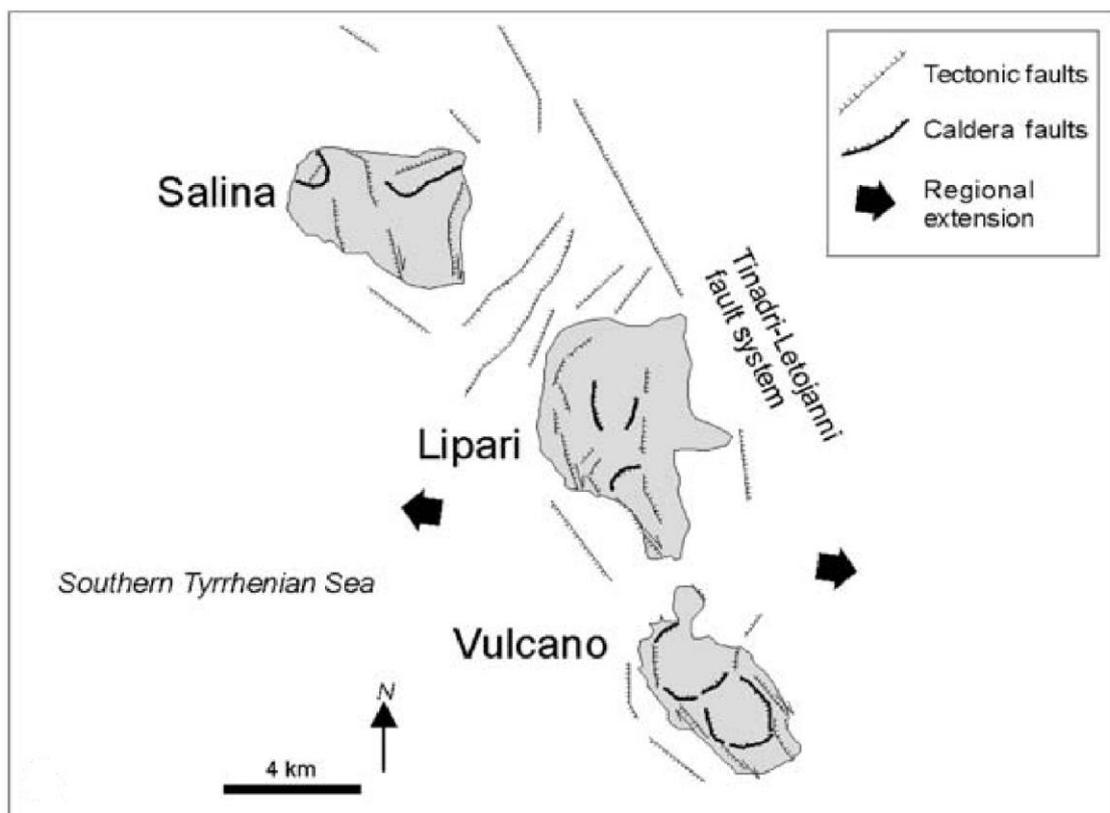


Figure 4: Carte structurale de Salina-Lipari-Vulcano (Mazzuoli *et al.*, 1995)

## 2.4. Situation sismique

Les îles éoliennes ont des séismes récurrents, car elles sont situées à proximité de la zone de subduction. Neri et al (1994) ont montré que la distribution de la sismicité est inhérente au contexte géodynamique de la région . L'activité sismique de l'archipel des îles éoliennes peut être scindé en 2 domaines sismiques distincts, qui sont séparés par le système de faille Tindari-Giardini (atg) (Figure 5). Le premier domaine se localise dans la partie occidentale et australe. Cette portion est caractérisée par une activité sismique crustale, donc constituée des séismes peu profonds. La deuxième zone, qui s'étend dans la partie australe, comporte un grand nombre de séismes intermédiaires et profonds, mais également des séismes crustaux (Falsaperla & Spampinato, 1999). Pour apprécier la sismicité de la de l'île de Vulcano, nous avons répertorié quelques séismes qui ont eu lieu à un rayon de 100km de l'île. De fait, dans la période allant de 1499 à 1978 six principaux séismes avec des magnitudes moments (Mw) allant de 5 à 6 (Tableau1 et Figure 7), avec des profondeurs de 60km ont été inventoriés (CPTI, 2004, Neri *et al.*, 1994). Par ailleurs, entre 1985 et 1991, la profondeur maximale des séismes était de 40km et ils étaient, en général liés à la faille Tindari-Letojanni (Figure 7).(Neri *et al.*, 1994).

Sur la base du catalogue des séismes historiques, l'activité sismique de l'archipel éolien est relativement modérée (Falsaperla & Spampinato, 1999). Le séisme le plus important lié au système faille Tindari-Letojanni est celui du 15 avril 1978 localisé dans le Gulf de Patti (Figure 6). Le dernier séisme ressenti s'est produit le 16 août 2010 avec une magnitude de 4.5, à 6 km de Lipari, l'île située au nord de Vulcano (CPTI, 2004)

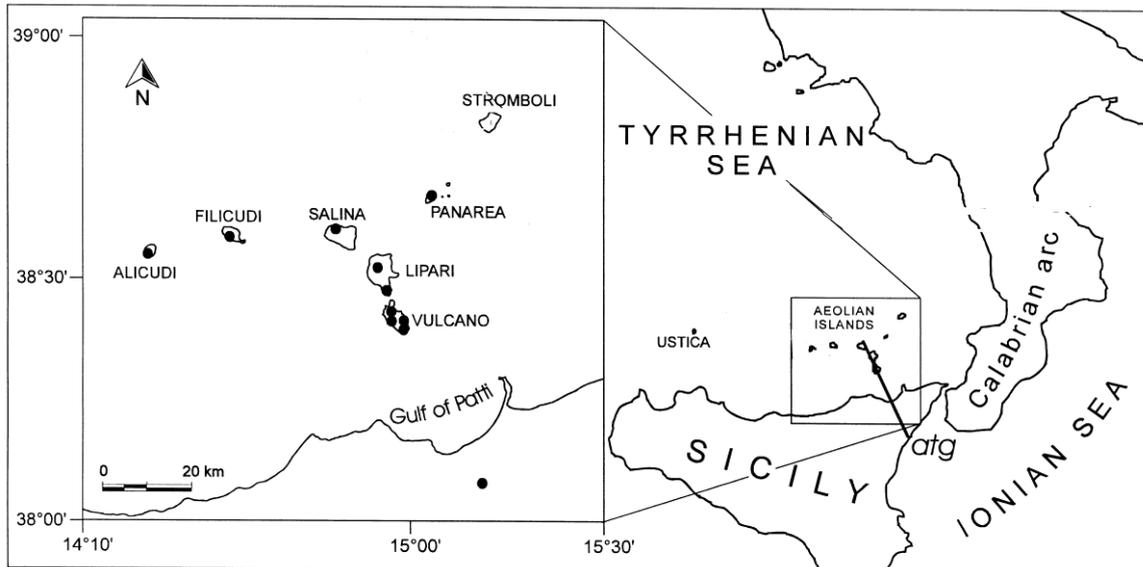


Figure 5: Les îles éoliennes, Italie du sud: la zone de faille Tindari Gardini (atg) (modifié de Falsaperla and Spampinato, 1999)

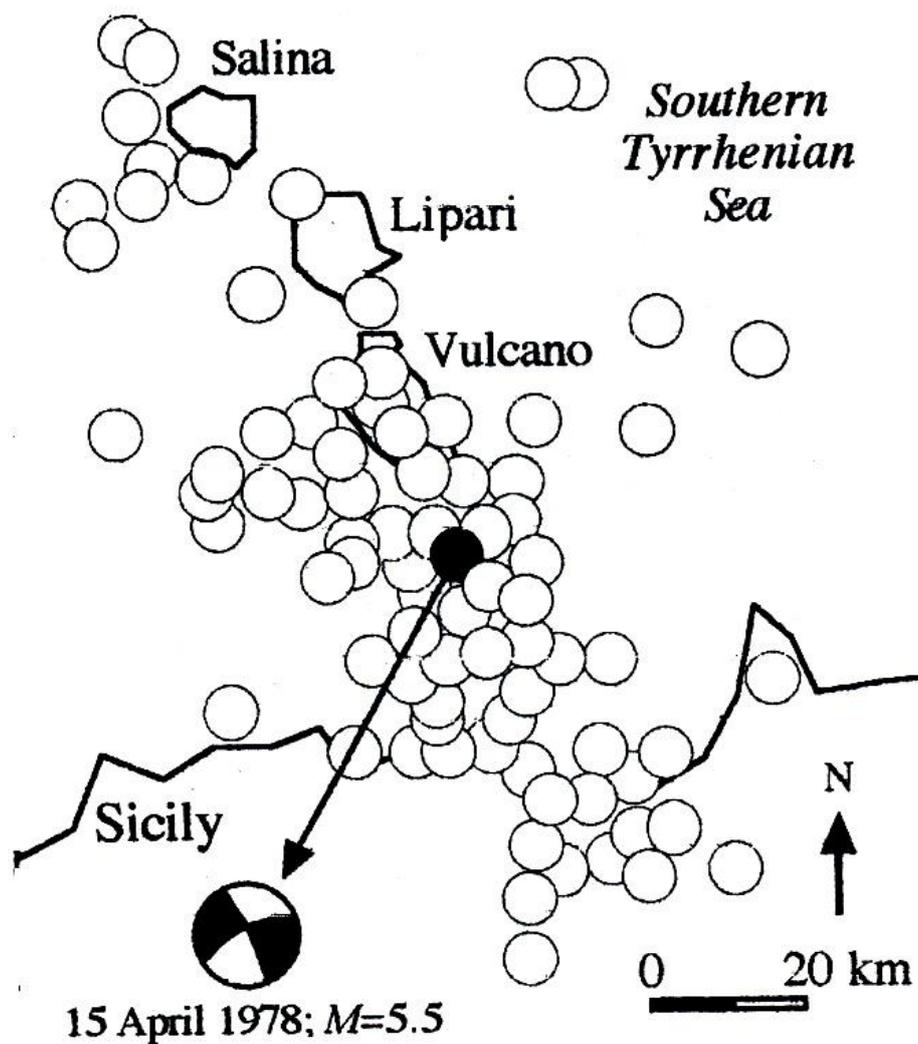


Figure 6: Epicentre des séismes du système de faille Tindari Letojani (Ventura, 1994)

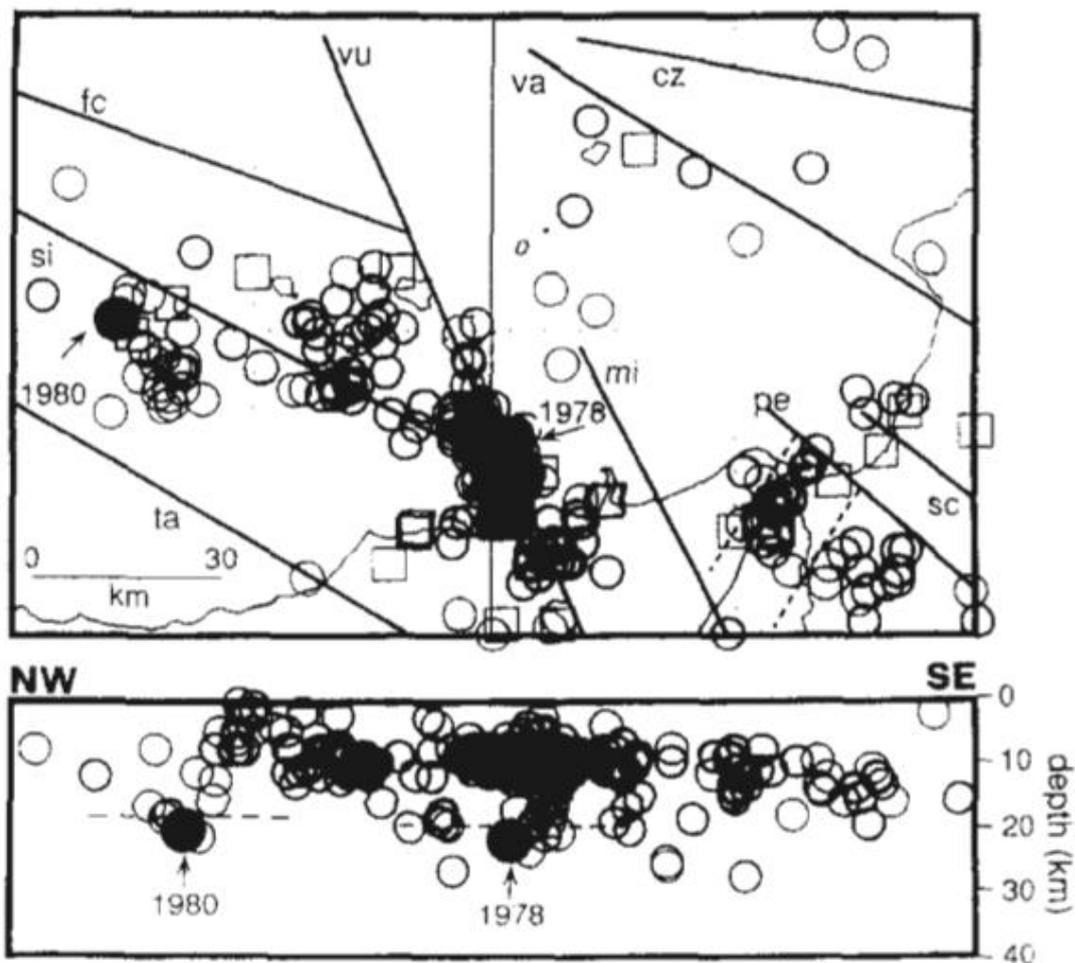


Figure 7: Epicentre des séismes de 1984 à 1991 (cercles en gras), les répliques de 1978 et 1980 (cercles fin) et les événements de  $M > 5$  de 1700 à 1900 (carrés). Le secteur étudié 38-39 N et 13.5 à 16 E, la profondeur 0-40km b) Coupe NW-SE des hypocentres utilisant les figurés qu'en a) (Neri et al., 1994)

Année	Latitude	Longitude	Magnitude moment ( $M_w$ )	Epicentre
1499	38.187	15.549	5.37	Messina
1739	38.1	14.75	5.54	Naso
1834	38.224	15.24	5.03	Milazzo
1848	37.367	15.154	5.48	Augusta
1894	38.55	14.833	5.17	Salina
1978	38.15	14.983	5.50	Golf Patti

Tableau 1: Les tremblements de terre historiques des îles éoliennes avec des magnitudes  $M_w > 5.0$  durant les 1000 dernières années (Ferri et al., 1988, CPTI, 2004)

### 3. Données à disposition et méthodologie

Les systèmes d'informations géographiques (SIG) apportent de nos jours un appui précieux pour les études géologiques et environnementales.

Cette recherche sur l'île de Vulcano en rapport avec l'emploi des systèmes d'information géographiques (SIG) plus particulièrement le logiciel **ArcGis10** va nécessiter l'utilisation des données suivantes :

- Modèle numérique de terrain : MNT ;
- Carte géologique en coordonnées UTM ;
- Carte d'aléa d'effet de sites Ensure version papier ;
- Carte d'aléa de coulée pyroclastique en coordonnées UTM ;
- Carte glissement de terrain version papier ;
- Localisation des bâtiments de l'île en coordonnées UTM ;
- Fréquence fondamentale en coordonnées UTM

Ces données ont été utilisées afin de mener à bien notre analyse. Elles proviennent du groupe de volcanologie physique et de risques géologiques de la section des sciences de la terre et l'environnement, du projet Ensure dirigé par la professeure Costanza Bonadonna, de la littérature et de mon travail de master.

L'analyse multi-aléas a nécessité premièrement la reproduction des cartes d'aléas. Cette reproduction a requis d'un côté des opérations simples (carte d'aléas d'effet de site et de coulées pyroclastiques) et d'un autre côté, de géoréférencement et de la digitalisation de la (carte papier scanné de glissement de terrain). Dans le même sillage, il a été question de combiner les cartes obtenues par le biais de la juxtaposition et de réaliser des calculs de surface.

Concernant la détermination du centre de ralliement, elle a demandé l'utilisation d'un côté des requêtes qui permettent de réaliser des sélections. D'un autre côté, elle a sollicité l'utilisation des opérateurs contextuels et des opérateurs de distances ainsi que des calculs sur les rasters.

Certaines informations sont obtenues en utilisant directement les données énumérées précédemment. D'autres sont acquises en réalisant plusieurs opérations, qui seront détaillées par la suite.

#### 3.1. Préparation des données

Certaines données utiles par la suite seront obtenues à partir de celles existantes en effectuant une ou plusieurs manipulations sur **ArcGis 10**.

A partir du MNT de l'île de Vulcano, il est possible d'obtenir le raster d'ombrage ainsi que la carte des pentes.

### 3.1.1 Création d'un raster d'ombrage

Pour mettre en exergue le relief de l'île, nous avons produit un raster d'ombrage. Il a été créé en utilisant la boîte à outil **Spatial Analyst**, sous surface avec l'outil **Hillshade** (ombrage). Cet outil donne un raster qui illumine une surface à partir d'une source lumineuse, caractérisée par son azimuth et son altitude. Chacun des pixels est fonction de l'illumination produite par les pixels autour. (0= ombre absolue, 255= illumination complète). Le raster ombré obtenu (voir annexe) sera utilisé comme fond de carte dans la suite.

### 3.1.2 Création d'une carte de pente

Une carte de pente est produite à partir d'une fonction de **Spatial Analyst** nommée **Slope** (pente). La carte de pente peut s'exprimer en pourcentage ou degrés. Ici, la pente du pixel est déterminée en degré. La dite fonction calcule les différences d'altitudes entre chaque pixel et leur pixels voisins. Les valeurs originelles ont été reportées à 9 classes par l'outil **Reclassify** (voire annexe).

## 4. Analyse multi-aléas

### 4.1. Les scénarii simultanées probables sur l'île

Ici il sera question de lister quelques scénarii qui peuvent se produire sur l'île de Vulcano :

- ❖ une éruption volcanique explosive peut produire premièrement des coulées pyroclastiques, des retombées de tephra et secondairement des glissements de terrain comme celui de 1988 à Porto avec une rupture du flanc nord ou des tsunamis.
- ❖ l'activité volcanique induit également des séismes, qui en fonction de la faible profondeur et de la magnitude, peuvent également causer des dégâts, comme cela a été le cas lors de l'éruption de l'Etna en 2002 (Neri et al., 2005)
- ❖ Du côté sismique, l'île de Vulcano est traversé par le système de faille décrochant (Tindjari-Letojanni) auquel le séisme de M 5.5 du 15 avril 1978 est rattaché (Ferri et al., 1988). Aussi, le potentiel sismique de cette région est élevé et la récurrence serait de 150-220 ans pour une magnitude  $M \geq 6.5$  (Jenny et al., 2006). Un séisme peut déclencher des glissements de terrain.

Dans la suite du travail, il sera considéré un scénario d'une éruption volcanique (avec les coulées pyroclastiques) qui produirait des instabilités de terrain. Et parallèlement à l'éruption un séisme à quelques km de Vulcano avec effet de sites sur les sédiments non consolidés.

## 4.2. Travail préparatoire

Dans cette partie, il s'agira d'utiliser ou de faire des manipulations sur **ArcGis 10** afin d'obtenir une série de cartes qui permettront d'effectuer une analyse multi-aléas dans la région de Vulcano. Les aléas qui seront pris en compte dans ce travail sont les coulées pyroclastiques, les effets de site (travail de master) et les instabilités de terrain.

### 4.2.1 Coulées pyroclastiques

Les coulées pyroclastiques sont constituées d'un mélange de gaz volcanique de vapeur d'eau et de particules solides (laves, scories, ponces etc.) à haute température. Ce mélange sous l'effet de la gravité s'écoule à plusieurs centaines de km/h (Neri et al., 2003)

Elles représentent l'un des événements les plus dangereux lors d'une explosion volcanique. L'exemple des coulées pyroclastiques qui ont détruits Pompéi est patent. C'est pourquoi dans notre analyse multi-aléas nous avons décidé d'inclure ce phénomène volcanique.

En effet, selon Dellino (2010), la connaissance du comportement du liquide dynamique est fondamentale pour la quantification de son pouvoir destructif plus spécialement sa pression dynamique (pdyn) :

$$P_{dyn} = \frac{1}{2} \eta_f \mu^2$$

$\eta_f$  : représente la densité du flux

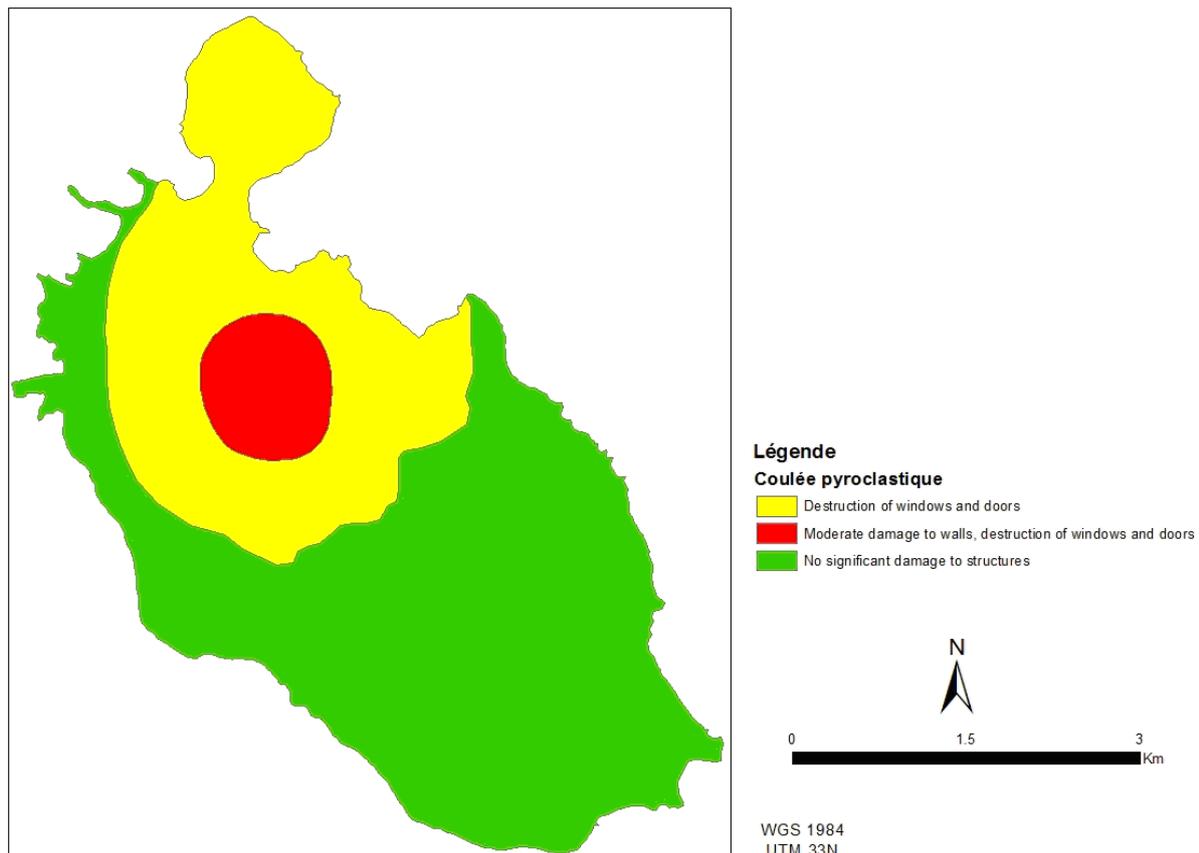
$\mu$  : est la vitesse

$P_{dyn}$  : symbolise la contrainte latérale que le flux exerce sur les structures

Cette contrainte a permis de quantifier les dégâts attendus lors d'une coulée pyroclastique dans l'île de Vulcano :

- ❖ Pdyn (10m) < 2Kpa : Aucun dégâts significatifs sur les structures ;
- ❖ Pdyn (10m) 2-5 Kpa : Destruction des fenêtres et portes ;
- ❖ Pdyn (10m) > 5 Kpa : Dégâts modérés sur les murs, destruction des fenêtres et portes ;

Nous avons obtenu les données vectorielles de la carte de cet aléa via le groupe de recherche de la professeur Constanza Bonadonna (Figure 8).



**Figure 8: Carte montrant les dégâts causés par les coulées pyroclastiques**

#### 4.2.2 Effet de sites

La variation spatiale du mouvement sismique en terme d'amplitudes, de fréquences et de durée est communément appelée effet de site (Ansal, 2004). Cet effet varie en chaque site géologique, selon les propriétés physiques, la géométrie des dépôts, et les discontinuités géologiques, induisant une réponse différente aux sollicitations produites par un séisme.

La première évaluation des effets de site pour l'île de Vulcano a été effectuée dans le cadre du projet Ensure (Bonadonna *et al.*, 2011). Dans ce dit projet, afin de déterminer les types de sols capables d'amplifier le mouvement lors d'un séisme, un facteur d'amplification a été assigné à chaque type de sol :

- ❖ Facteur 1.6 : donné aux dépôts d'alluvions et de plages ;
- ❖ Facteur 1.3 : destiné aux scories, pyroclastites, hyaloclastites, lapilli et cendre ;
- ❖ Facteur 1 : affecté aux autres roches par exemple leucite, coulée de laves trachytiques.

Vu que nous avons des facteurs d'amplification attribués aux types de sol et la carte géologique en coordonnées UTM. A cet effet, pour reproduire la carte d'aléa sismique sur **ArcGis**, nous avons à partir de la **table d'attribut** de la dite carte, crée un champ nommé facteur et

chaque type de sol est affecté à son facteur d'amplification correspondant. La reproduction de la carte d'aléa d'effet de sites est montrée à la (Figure 9)

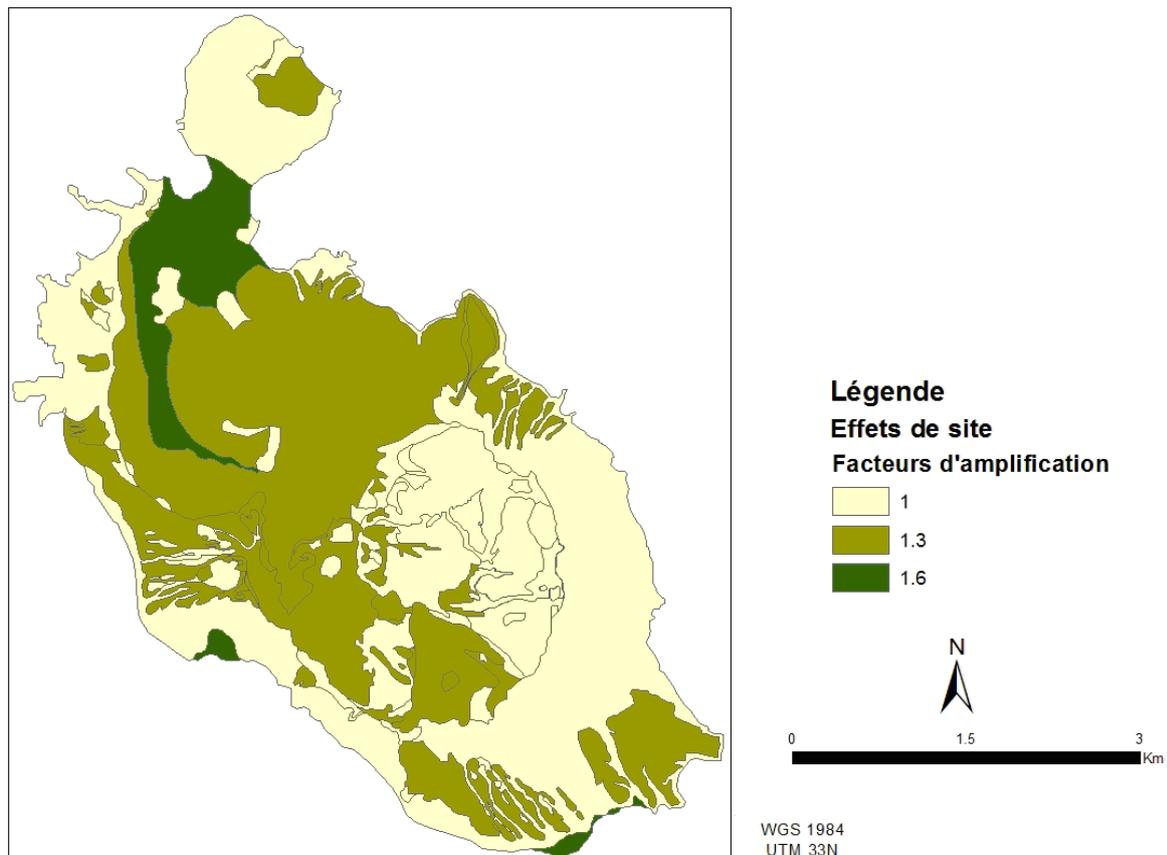


Figure 9: Carte d'effet de site de l'île de Vulcano

#### 4.2.3 Instabilité de terrain

Les dangers d'instabilité de terrain sera basé sur la carte (annexe) produite par « Piano strategico dell'Assetto Idrogeologico » (2004) dans la région de Sicile. Pour obtenir cette carte, ils ont basé leur analyse sur une approche déterministe en se fondant sur les événements passés et présents. Ainsi, les auteurs ont classifié trois événements en s'appuyant sur une évaluation grossière et la vitesse de l'événement :

- ❖ Type T1 : extension latéral lente ;
- ❖ Type T2 : glissement complexe et d'autres phénomènes avec une vitesse modérée ;
- ❖ Type T3 : avalanche et débris flow rapide ;

Finalement 4 classes de dangers ont été identifiées sur la carte créée par ces auteurs « PAI » :

- ❖ Active ;
- ❖ Inactive ;
- ❖ Quiescente ;
- ❖ Stable naturellement ou artificiellement ;

Dans notre travail, uniquement les zones d'instabilité active seront prises en compte. Comme nous avons la carte en version papier, il sera utile de **géoréférencer** et de **digitaliser** les zones d'instabilité active afin de les avoir en coordonnées UTM et de pouvoir les utiliser ultérieurement sur **ArcGis**.

#### ❖ Géoréférencement

Le géoréférencement permet de donner la couche de données (carte scannée) des coordonnées géographiques ou lui affecter le système de coordonnées de nos différents blocs de données. Il va constituer une étape importante dans notre analyse spatiale.

La carte des instabilités de terrain scannée (annexe) pourra être superposée aux autres cartes dans le même référentiel. Ce qui permettra d'appliquer par la suite des traitements spatiaux adéquats.

De manière générale le géoréférencement se fait de 2 manières :

- ❖ Ajout de coordonnées
- ❖ Superposition avec une image déjà géoréférencée.

La première méthode consiste à identifier sur la carte des points de références dont on connaît les coordonnées géographiques. Dans ce cas, il s'avère nécessaire de mettre les bonnes coordonnées aux points de références en degrés décimaux.

La deuxième se fait en utilisant l'outil **Georeferencing**. Nous avons utilisé celle-ci car nous avons le MNT et d'autres cartes déjà géoréférencées à notre disposition. Dans un premier temps, l'image sous forme TIF est importée et affichée sur **ArcGis**. Ensuite des marqueurs visibles tels les centres des cônes de la Fossa et Vulcanello et certains points qui se trouvent sur les extrémités sont repérés sur l'image. Le géoréférencement est plus précis si on tient compte de plusieurs marqueurs. C'est pourquoi nous avons choisi 6 marqueurs bien séparés géographiquement. A présent nos zones d'instabilité active peuvent être superposées aux autres couches.

#### ❖ La digitalisation

Ayant effectué le géoréférencement, il est maintenant possible de digitaliser les zones de d'instabilité active. Pour ce faire, une couche de polygone « Feature class » à été créé dans une **géodatabase** conçu dans **ArcCatalogue**. Après avoir affiché la barre d'édition et créé les polygones, le résultat des zones d'instabilité active superposées au raster d'ombrage est montré sur la figure ci-dessus

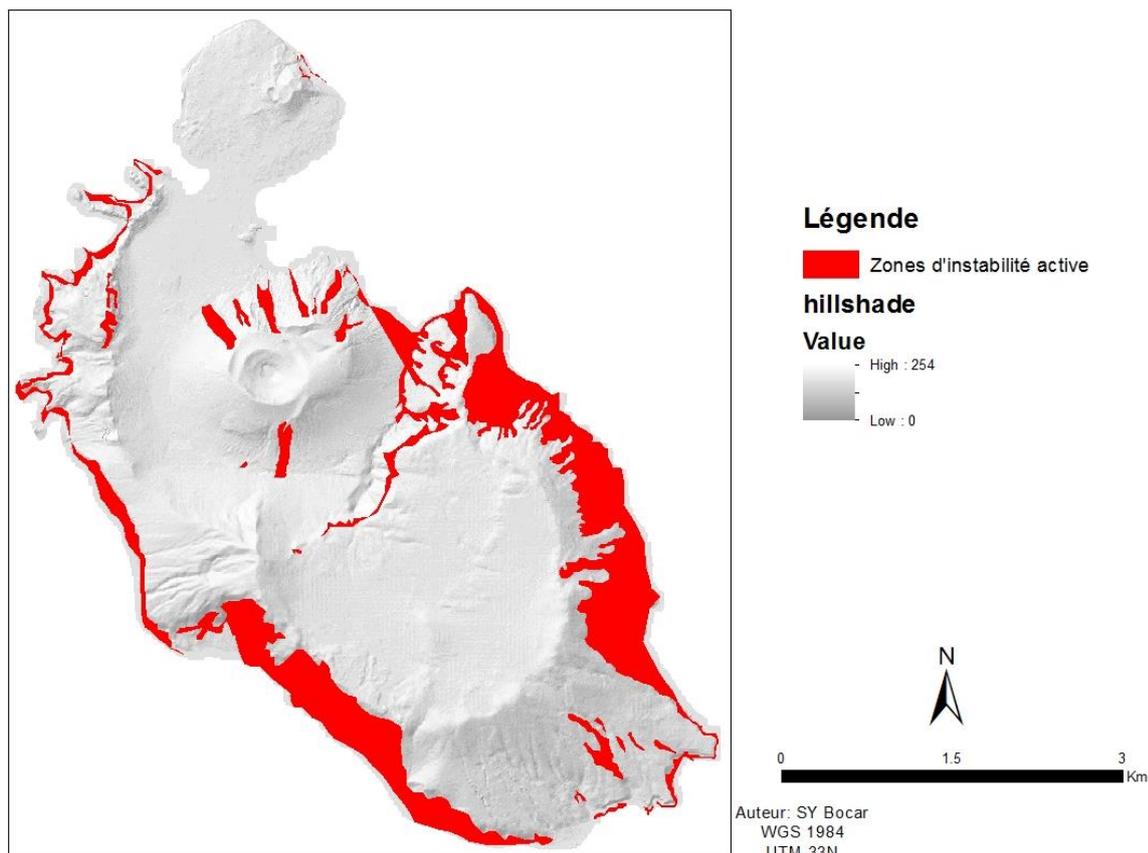
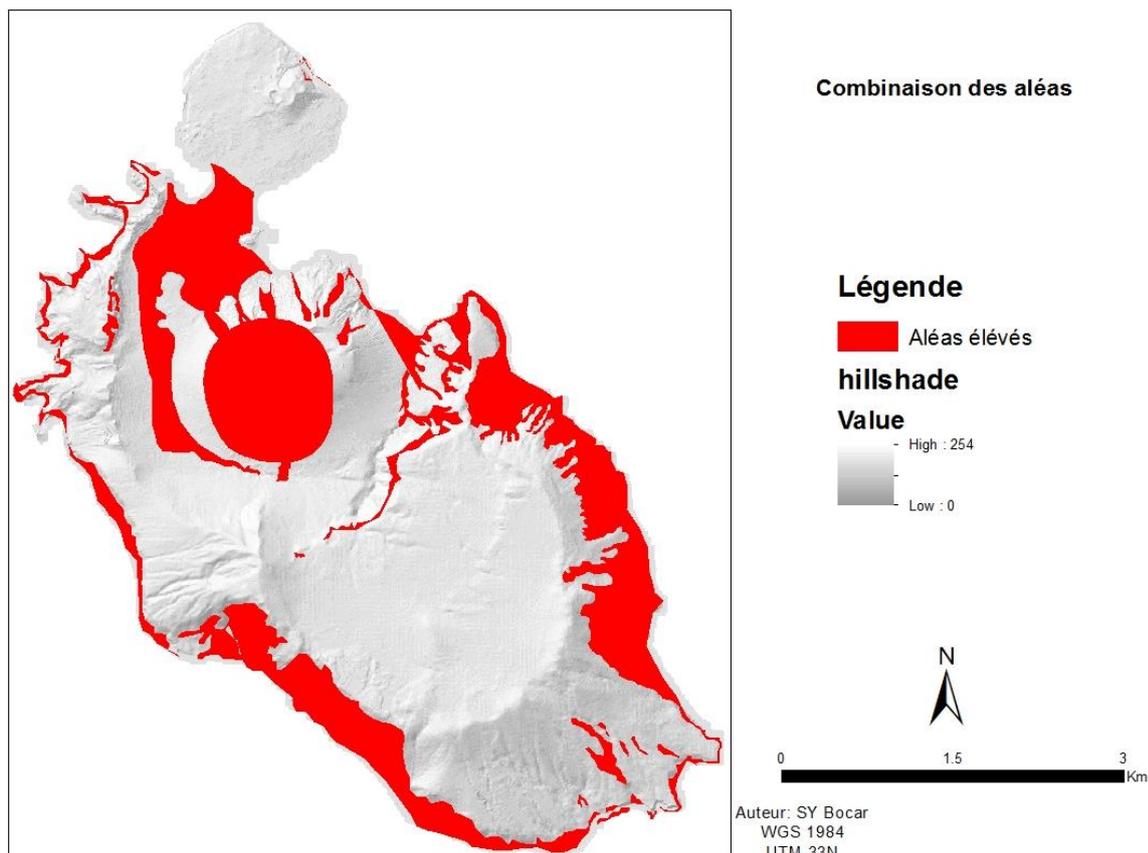


Figure 10: Carte montrant les glissements de terrains actifs (digitalisée par SY)

### 4.3. Juxtaposition des aléas élevés

Les cartes d'aléas ci-dessus donnent un aperçu de la situation de Vulcano par rapport à ces phénomènes naturels. Maintenant ces cartes peuvent être combinées afin d'avoir l'information sur une seule carte. Nous allons considérer dans notre analyse uniquement les aléas élevés. En général, les aléas sont considérés séparément. Ici, il sera question d'avoir une vision d'ensemble des aléas. Cette vision multi-aléas peut aider pour une préparation plus judicieuse des différents événements. La réalisation de la carte des zones d'aléas élevés peut constituer un des prémices pour la prévention et la mitigation des catastrophes naturelles.

Pour l'élaboration de celle-ci, nous avons fusionné les zones de danger élevés des 3 aléas obtenues plus haut via le logiciel **ArcGis 10** en utilisant, l'outil « **Merge** ».



**Figure 11: Carte montrant la combinaison des aléas élevés**

Cette carte permet ainsi d'avoir une vision d'ensemble des zones de danger élevé, utile dans le cas d'un scénario multi-aléa (Coulées pyroclastiques, instabilité de terrain et effet de sites). Maintenant, il s'agira de faire une évaluation quantitative de ces aléas élevés. Cette évaluation va être basée sur un calcul de superficie de ces zones de dangers et leur proportion dans l'île de Vulcano. A partir des tables d'attribues des zones d'aléas élevés et de la carte de Vulcano l'outil **Sum** a été utilisé. Les résultats obtenus ont été assignés sur le tableau ci-dessous.

Zones	Aire
Aléas élevés	3585927
Vulcano	5647149

**Tableau 2: Tableau montrant la somme des aires des aléas élevés et de Vulcano**

Il ressort du tableau que les zones de dangers élevés occupent 64% de la surface totale de l'île. En considérant que l'île couvre une superficie de 21 km<sup>2</sup>, les aléas élevés occuperaient une superficie de 13 km<sup>2</sup>.

En utilisant la même méthode que précédemment il résulte que les zones d'instabilité active occupent une superficie d'environ 9.6 km<sup>2</sup> alors que les coulées pyroclastiques avec ( $P_{dy} > 5Kpa$ ) 2 km<sup>2</sup> et les effets de sites avec un facteur d'amplification élevé 1.4 km<sup>2</sup>.

Ce classement est juste quantitatif.

Cette cartographie obtenue par la synthèse des aléas va permettre d'avoir une vue d'ensemble. Ce qui va aider à une gestion judicieuse en termes de préparation et de prévention. Elle montre également les zones qui méritent un degré d'attention particulier en cas de construction.

## 5. Analyse de la localisation d'un centre de ralliement

Les caractéristiques géologiques tectoniques de Vulcano forment un système physique complexe où les risques de catastrophes naturelles sont importants. Vulcano est l'un des volcans les plus actifs de l'Italie et l'un des plus dangereux avec un risque potentiel élevé car son histoire passée nous révèle le caractère violent de ses éruptions vulcaniennes. Les analyses démontrent clairement que le volcan montre des signes évidents de réactivation. En termes d'équipements et d'issus en cas de catastrophe, l'île de Vulcano est équipée d'une route qui va du nord à la partie sud en passant à côté du cône de la Fossa. Il y a également 3 ports (Porto Levante-Porto Ponente et Gelso) et aussi deux héliports (Vulcanello et Piano), un centre médical à Porto, une école à Piano, un commissariat de police sur la route principale entre Porto et Piano et deux églises (Porto et Piano). Parmi, les 3 ports cités précédemment, seulement Porto Levante peut recevoir de grands bateaux, les 2 autres sont consacrés aux petites activités.

Ceci dit, dans cette partie afin d'atténuer les dégâts dans le cas du scénario multi-aléas hypothétique (décrit plus haut), il serait pertinent de faire une étude préliminaire afin de trouver un endroit propice pour accueillir un centre de ralliement et de discuter de sa localisation par rapport aux autres issus déjà existants.

Pour ce faire, Il s'agira de considérer un certains nombres paramètres géologiques disponibles et qui nous semblent importants. Dans cette intention, les cartes obtenues dans l'analyse multi-aléas et d'autres informations vont être utilisées.

### 5.1. Identification des bâtiments importants

Tout d'abord, nous allons mettre en exergue les structures importantes. Dans cette partie, il s'agira de créer une couche contenant uniquement ces derniers. A cet effet, l'outil **select by attribut** est exploité dans la couche des bâtiments. Les deux héliports, le centre médical l'église de Porto ainsi que l'école et l'église de Piano vont être sélectionnés. Ils seront ensuite copiés dans un nouveau **shapefile** qui symbolise les infrastructures importantes (Figure 12).

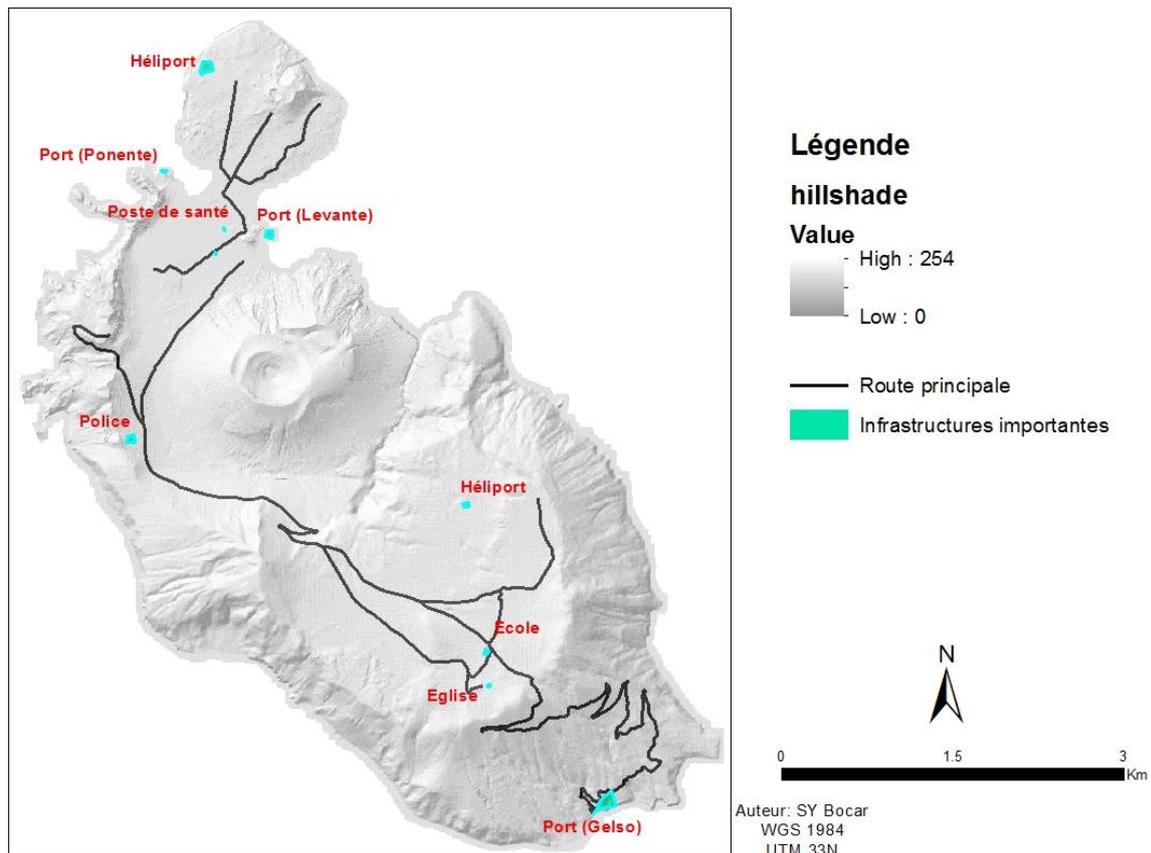


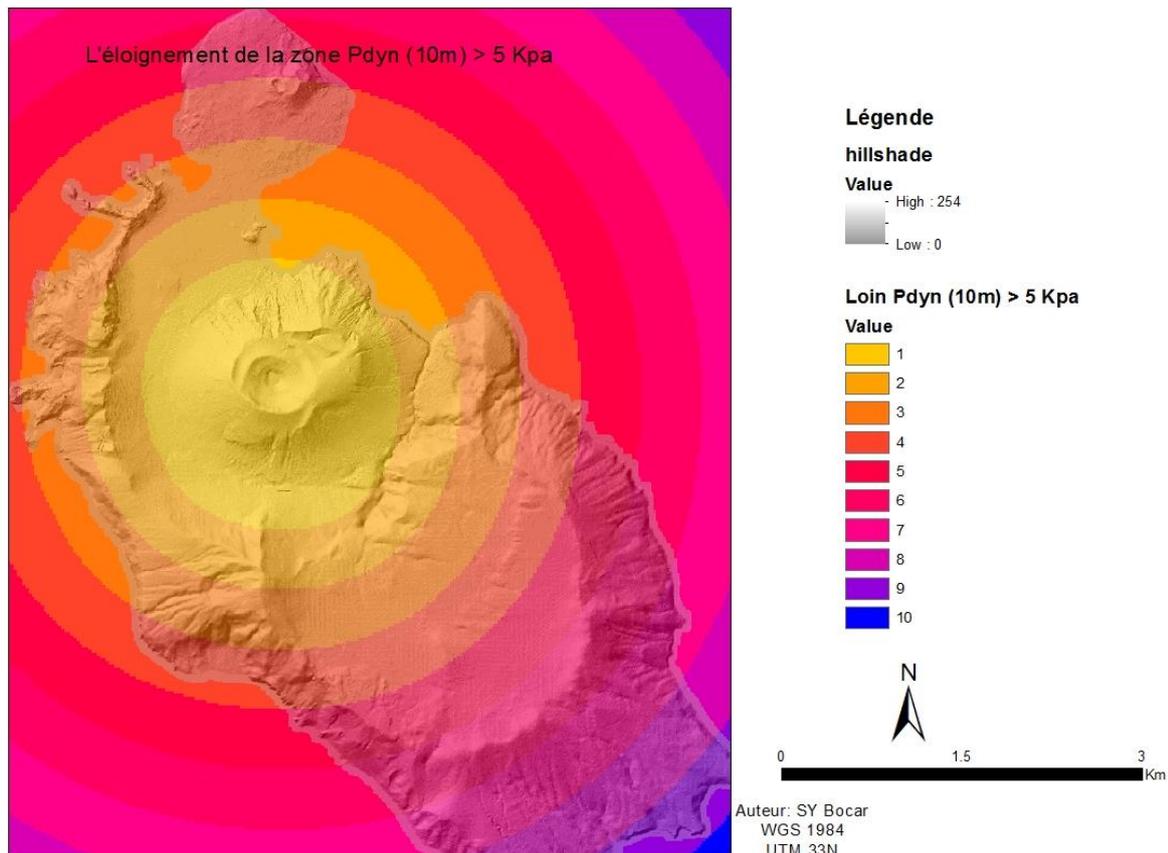
Figure 12: Carte montrant les infrastructures importantes

## 5.2. L'emplacement du centre de ralliement selon la distances à certains paramètres

La détermination du site le plus adapté pour le centre de ralliement nécessite la prise en compte de l'éloignement des zones de dangers élevés et la proximité de la route. L'importance de ces paramètres sera tributaire de leur portée par rapport à notre scénario. Cette portée sera expliquée et discutée subséquemment.

### ❖ L'éloignement du site aux zones à $p_{dyn}(10m) > 5 \text{ Kpa}$

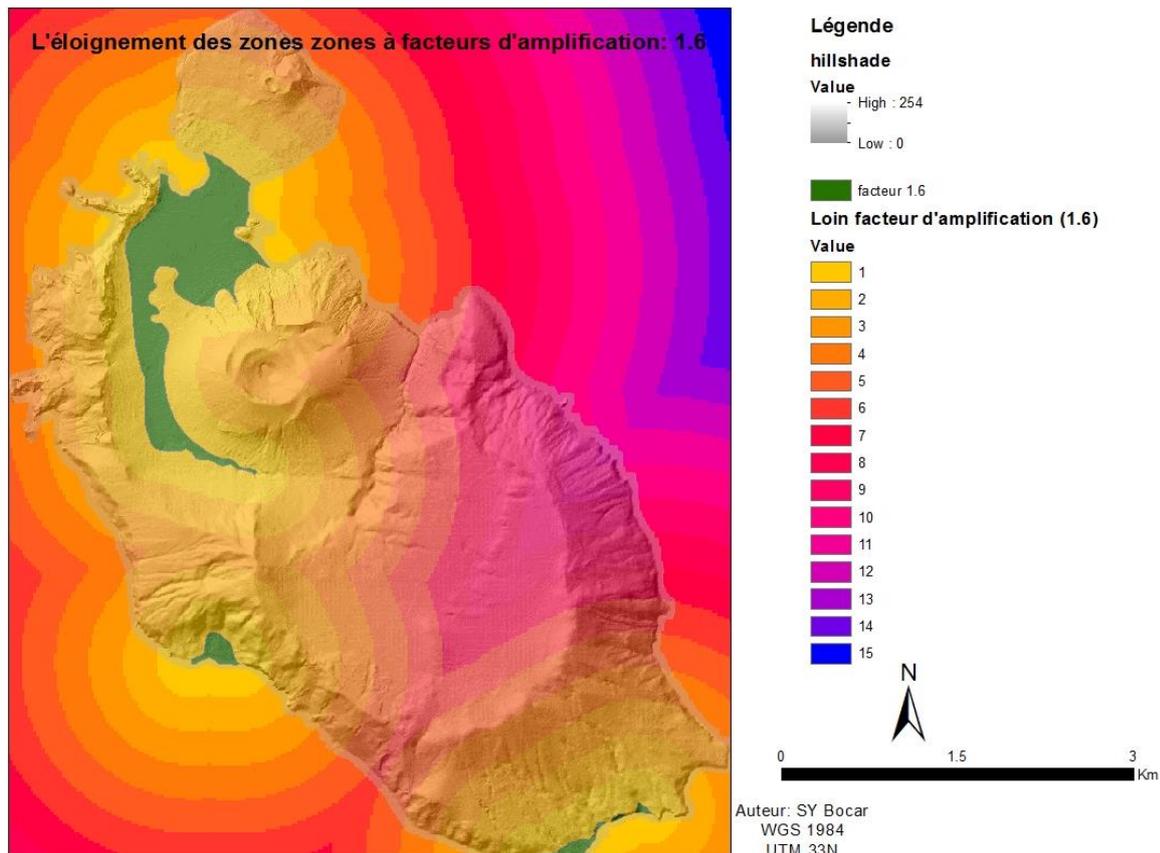
Une éruption volcanique plus particulièrement une coulée pyroclastique constitue un aléa contre lequel on ne peut pas se protéger de façon passive. Néanmoins, des dispositions peuvent être prises afin de minimiser les conséquences. Dans ce sillage, l'éloignement des zones à pression dynamique  $> 5 \text{ Kpa}$  (Figure 13) sera substantiel d'autant plus qu'elles entraînent l'effondrement de fenêtres, portes et des dégâts sur les murs.



**Figure 13: Carte montrant l'éloignement (en mètre) aux zones de Pdyn > 5 Kpa**

❖ **Loin des zones à facteur d'amplification égal à 1.6**

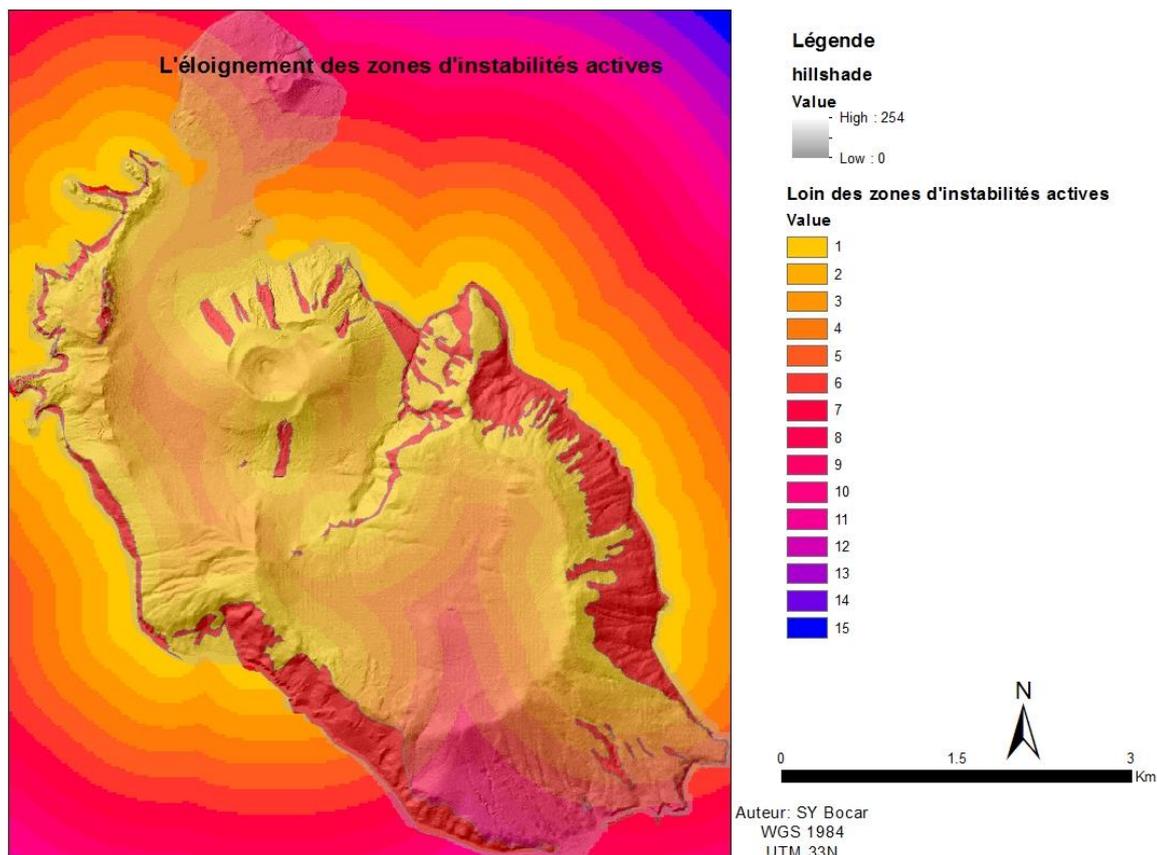
La construction sur les alluvions de Vulcano peut amener à une amplification du mouvement sismique plus importante en cas de séisme. A priori, pour la construction du centre de ralliement la grande proximité des zones à facteur d'amplification 1.6 sera évitée (Figure 14). Etant donné qu'en cas d'effet de site le mouvement du sol peut s'avérer très destructeur ce qui peut conduire à la ruine du bâtiment (Mavoungo & Saffache, 2007)



**Figure 14: Carte montrant l'éloignement (en mètre) aux zones à facteur d'amplification = 1.6**

❖ **Loin des zones d'instabilité terrain active**

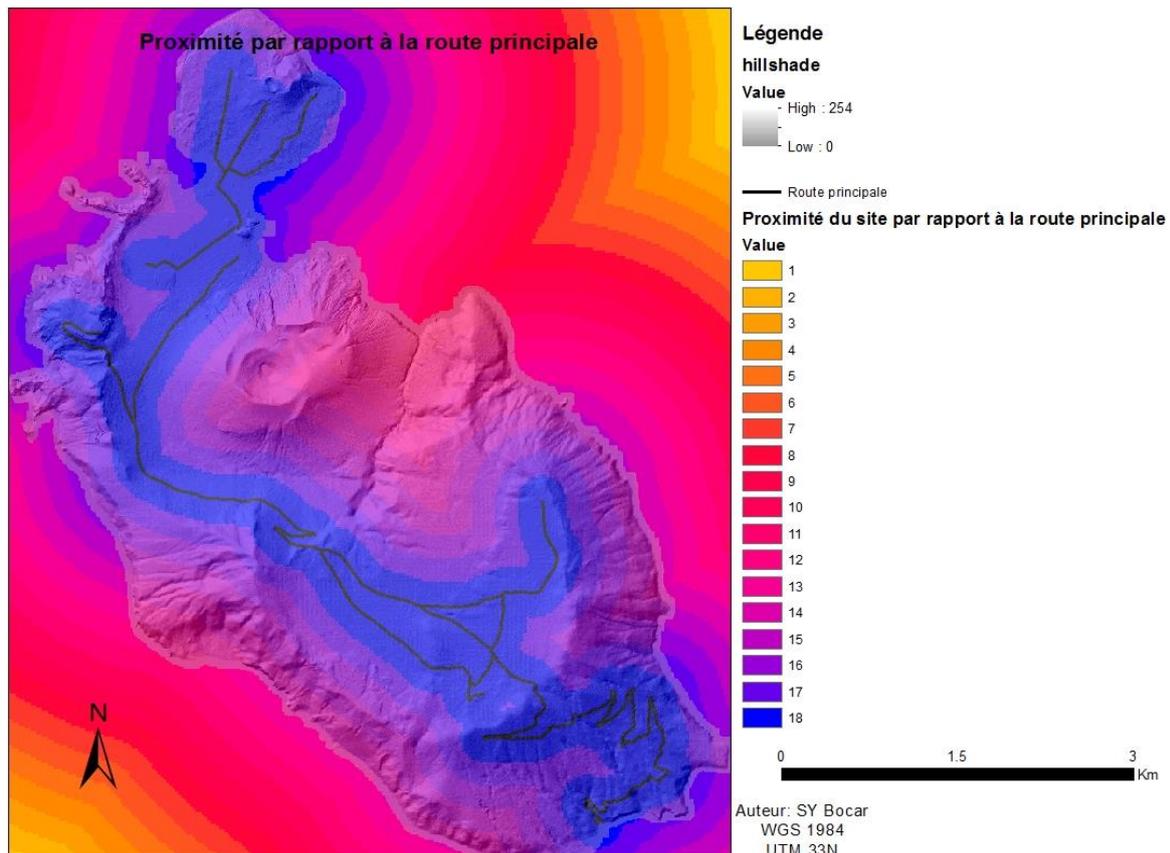
Bien entendu, la première précaution pour se protéger des mouvements de terrain consiste à ne pas construire sur les zones sensibles. C'est pourquoi les zones d'instabilité active seront dans la mesure du possible contournées (Figure 15). Un bâtiment peut résister à de petits mouvements de terrain, en revanche subit des fissures intenses en cas d'instabilité de quelques cm. Les instabilités de terrains importantes peuvent conduire à la dégradation totale d'un bâtiment.



**Figure 15: Carte montrant l'éloignement (en mètre) des zones d'instabilités actives**

❖ **Proche de la route principale**

La proximité du centre de ralliement par rapport à la route principale (Figure 16) nous semble non négligeable car elle permet une bonne accessibilité. Certaines personnes pourraient être évacuées sans problème vers le centre ou de celui-ci à d'autres structures importantes.



**Figure 16: Carte montrant la proximité (en mètre) par rapport à la route principale**

Diverses opérations ont été effectuées pour obtenir les cartes de l'emplacement du centre de ralliement selon la distance aux différents aléas (élevés) et la route principale.

- ❖ La première manipulation que nous avons fait est de sélectionner « **By attribut** » les pressions dynamiques  $> 5$  Kpa, les facteurs d'amplification élevé (1.6) et la route principale respectivement sur les **shapefiles** des cartes d'aléas de coulée pyroclastique, d'effet de sites et sur les routes.
- ❖ La deuxième opération consistait à utiliser l'outil **Euclidean distance**. Cet outil sert à faire un calcul de distance linéaire à partir des paramètres choisis.
- ❖ La troisième tâche a permis de reclassifier les différents résultats obtenus par l'outil **Reclassify** d'après la méthode des pas constant (**Equal Interval**).

Les classes suivantes ont été assignées à chaque objet :

- ❖ Zones à  $P_{dyn} > 5$  Kpa (15 classes) ;
- ❖ Zones à facteur d'amplification élevé (10 classes)
- ❖ Zones à glissement de terrain actif (15 classes)
- ❖ Zone à proximité de la route principale (10 classes)

La détermination du nombre de classe s'est faite de façon arbitraire. Elle dépend du nombre d'éléments que nous avons trouvé à l'intérieur de la couche en calculant la distance linéaire.

Dans le cas où le choix de l'emplacement du centre ralliement est basé sur l'éloignement du paramètre, la valeur la plus petite est assignée aux zones remplissant moins les critères. A contrario, dans le cas où l'emplacement est basé sur la proximité, plus la valeur est grande mieux le critère est rempli.

### 5.3. Poids des paramètres

Le choix de la localisation du centre ralliement en cas d'événements multiples nécessite la prise en compte de bon nombre de critères. Il s'agit maintenant de voir l'importance que nous allons leur accorder. L'éloignement des zones d'aléas élevés de coulées pyroclastiques ( $P_{dyn} > 5 \text{ Kpa}$ ) sera plus important que l'éloignement des zones d'instabilité de terrain. Ce dernier à son tour aura plus de poids que les zones à facteur d'amplification élevé. La pondération de ces paramètres est inhérente de l'importance de ces derniers dans notre scénario. Scénario selon lequel, une éruption volcanique avec des coulées pyroclastiques ( $p_{dyn} > 5 \text{ Kpa}$ ) qui provoquerait destruction des portes et fenêtres et fissures des murs des bâtiments. Cette éruption produirait secondairement des instabilités de terrain actives. Conjointement à cette éruption, un séisme à quelques km de Vulcano engendrerait des effets de sites sur les alluvions de Porto et du sud.

Toutefois, la valeur exacte du poids de chaque critère s'est faite de manière subjective.

Le poids assigné à chaque paramètre est montré sur la table ci-dessous

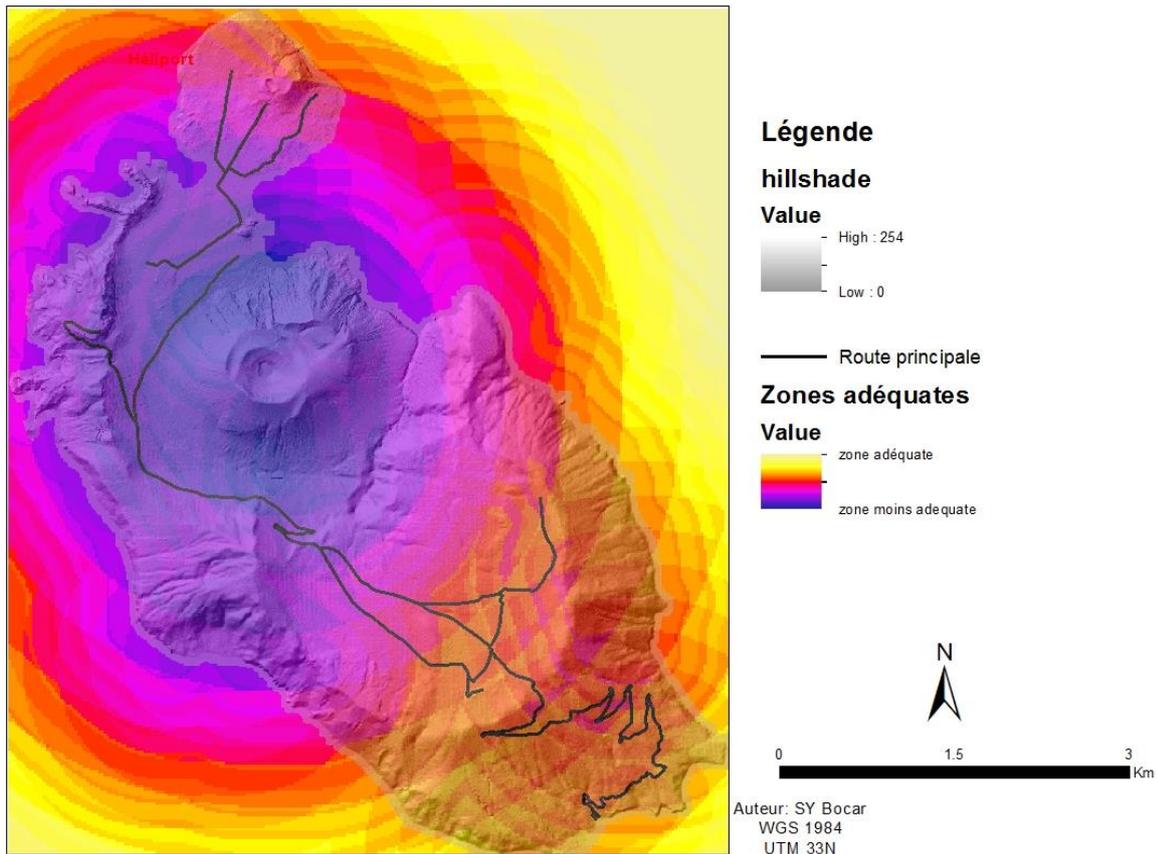
Facteurs	Jauge (%)
$P_{dyn} > 5 \text{ Kpa}$	35
Instabilités actives	30
Facteur d'amplification = 1.6	15
Route principale	20

**Tableau 3: Tableau montrant le poids de chaque critère**

A présent que la reclassification et la pondération pour chaque aléa est fait. Nous allons dans la boîte **Map Algebra** choisir l'outil **Raster Calculator** afin de produire une carte avec les zones qui répondent plus aux paramètres indiqués pour la localisation du centre de ralliement.

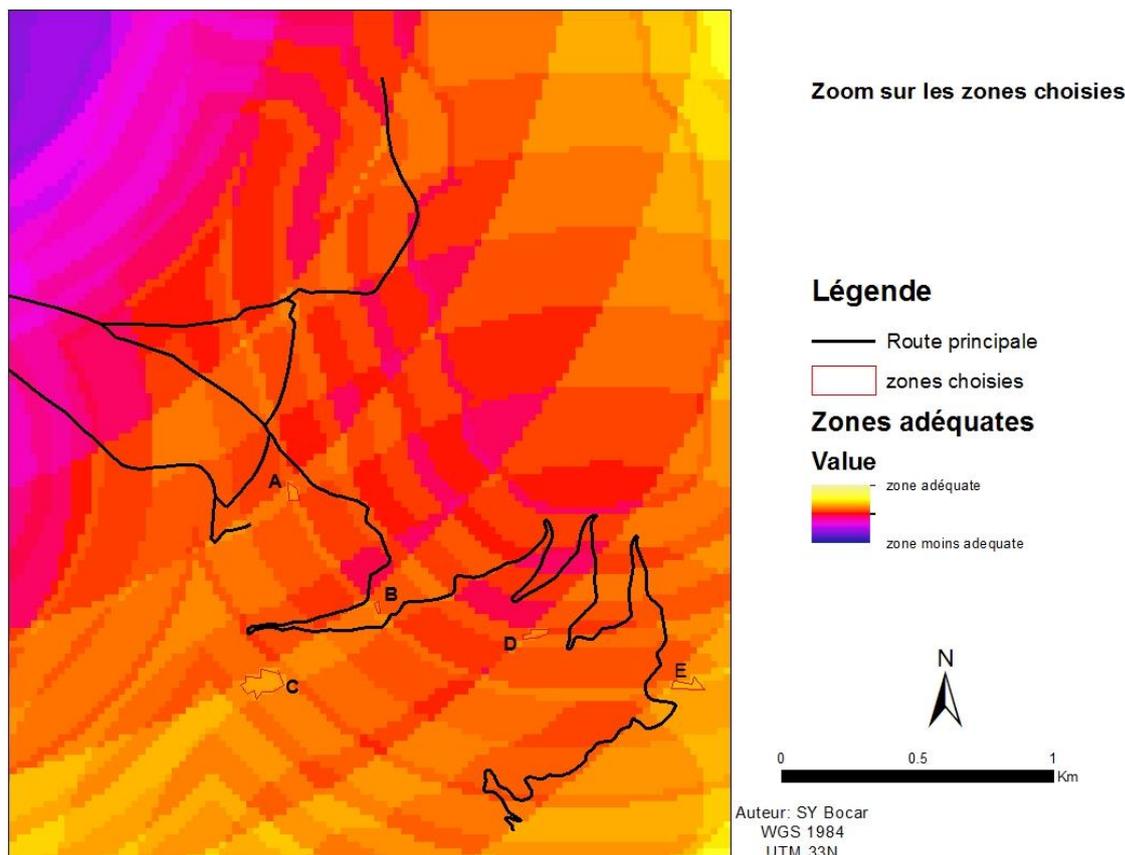
### 5.4. Sites retenus

L'immatriculation des sites choisis est obtenue en se basant sur le croisement des critères préétablis. La carte obtenue (Figure 17) montre des couleurs allant du jaune clair au violet foncé.



**Figure 17: Carte montrant les zones probables**

Nous allons maintenant choisir des sites potentiels en ne perdant pas de vue le critère proche de la route et le dégradé de couleur jaune qui symbolisent des zones les plus propices. A la lumière de notre analyse 5 zones émergent (Figure 18). Ces zones se situent au sud de l'île. La détermination pour le choix du centre de ralliement au sud sera discutée dans la suite. Maintenant nous allons nous concentrer sur les 5 zones retenues (A, B, C, D, et E) et les discuter en fonction d'autres critères



**Figure 18: Zoom sur les zones propices**

L'examen du choix du site retenu pour la construction du centre ralliement dépendra de l'altitude de la densité des bâtiments autour et de l'effet de résonance probable.

### 5.3.1 Points hauts

Le choix de notre site se fera dans une zone de pente un peu élevé car en cas d'instabilité de terrain, il est conseillé de manière générale de gagner un peu en hauteur. Pour cela nous aimerions que notre site soit localisé sur une pente supérieure à 20 degrés. C'est pourquoi nous avons effectué une requête sur notre raster de pente obtenue dans la préparation de nos données. Premièrement avec l'outil **Raster Calculator**, nous avons sélectionné les pentes supérieures à 20 degrés et le résultat obtenu est un raster binaire (0 ou 1) ou 1 correspond aux zones de pentes supérieures à 20 degrés en bleu (Figure19). Afin de connaître parmi les 5 zones choisies celles qui remplissent ces critères nous allons convertir le **shapefile** les contenant en format raster et les combiner avec les pentes dont les valeurs sont supérieures ou égale à 20 degrés

Sur la colonne count de la **table d'attribut** (Figure 19) du **raster** obtenu la valeur 0 correspond aux sites dont la pente est inférieure à 20 degrés.

Il ressort de l'analyse que 2 sites remplissent ce critère. Le site B qui est totalement situé sur une pente de 20 degrés, le point C qui contient juste un petit nombre de pixel se trouvant sur une pente inférieure à 20 degrés.

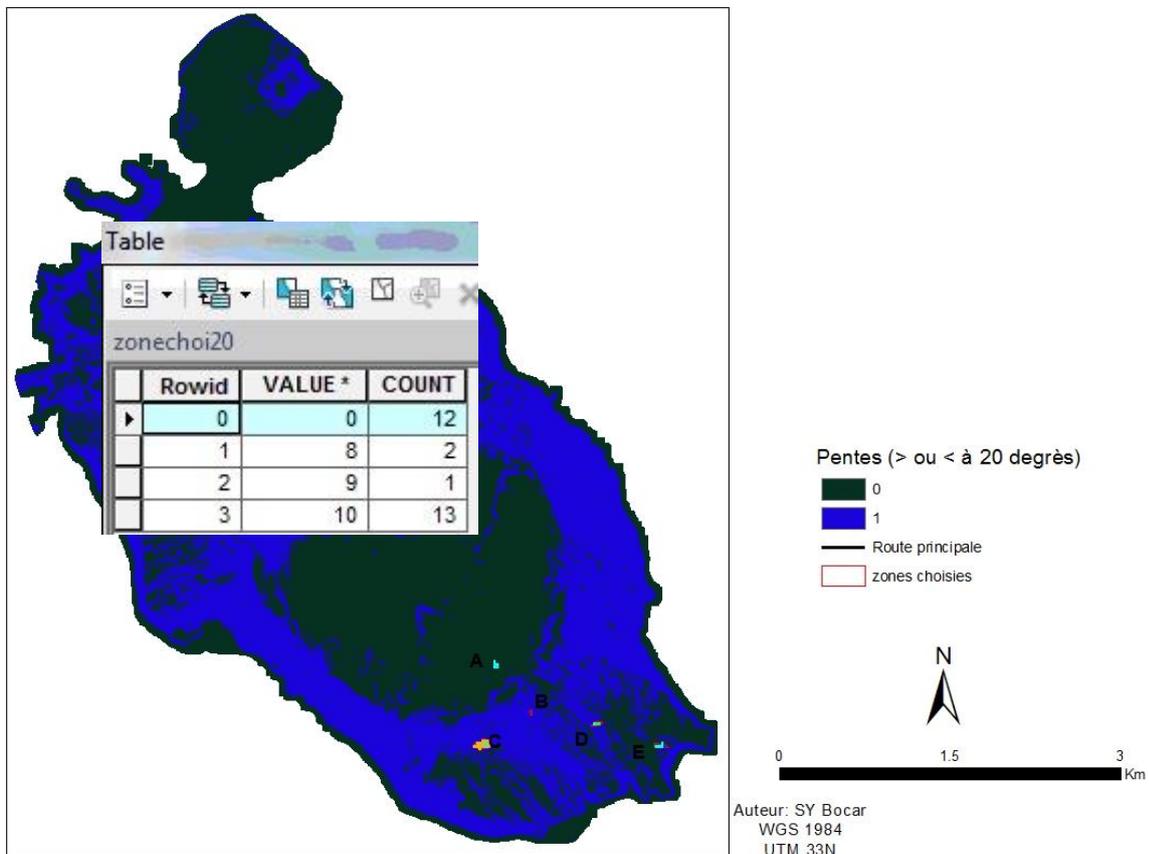


Figure 19: Carte montrant les zones qui se situent sur une pente > 20 degrés

### 5.3.2 Densité des bâtiments autour des sites retenus

Dans cette partie, il s'agira de trouver la densité des bâtiments par rapport aux sites retenus. Etant donné que la localisation du centre doit être stratégique. Elle doit être plus proche des populations que possible.

Pour résoudre ce problème nous avons essayé de voir par exemple combien de bâtiments se trouvent à 300m de chaque site. La sélection par localisation (**are within a distance of**) est utilisée entre la couche des bâtiments et chaque site retenu (**use select feature**).

La sélection montre que le site A regroupe 20 bâtiments se localisant à 300m autour (Figure 20). Parmi lesquels bâtiments, se trouvent l'église et l'école de Piano. Par contre, les sites D et E ont un faible nombre de bâtiments autour respectivement 1 et 2. Les sites B et C quant à eux n'ont pas de bâtiments situés à 300m.

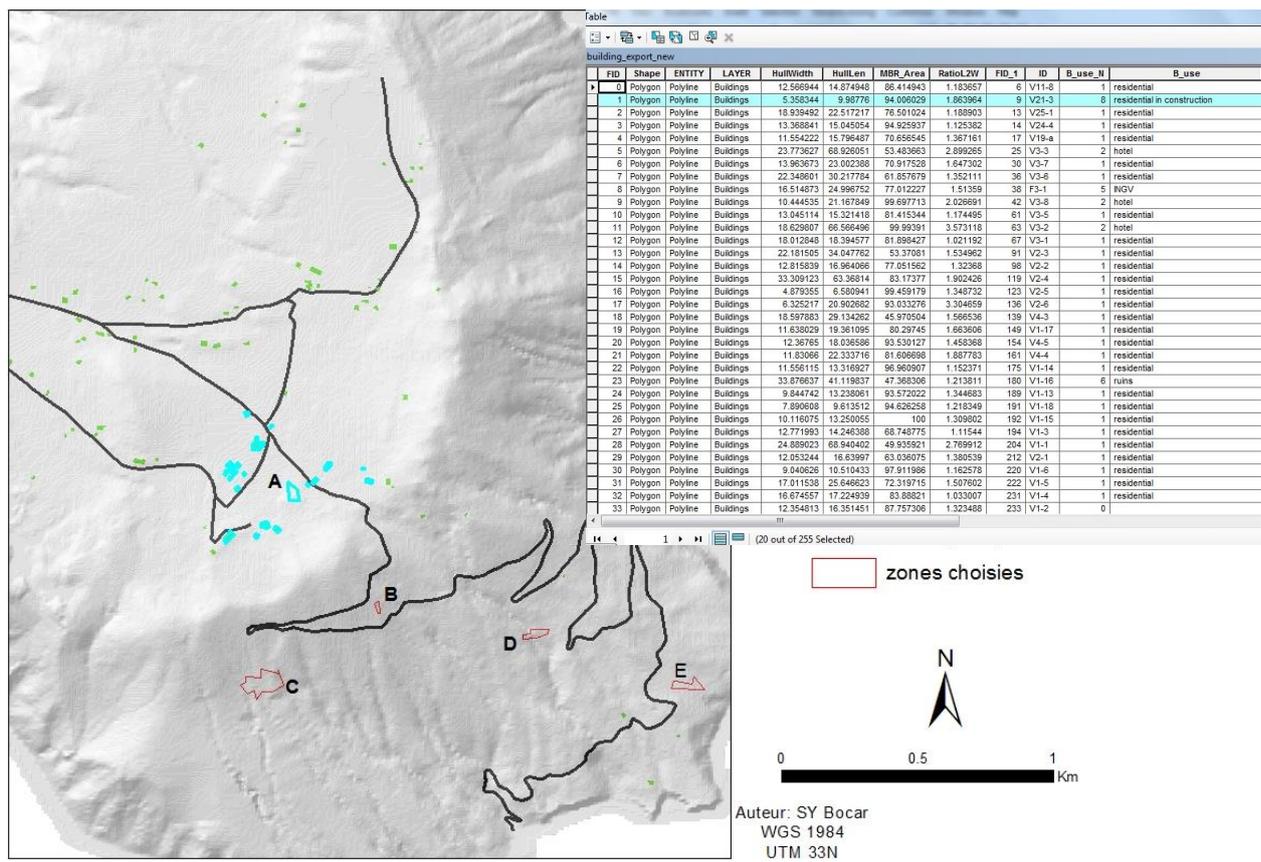


Figure 20: Carte montrant la densité des bâtiments autour du site A

### 5.3.3 Effet de résonance

Pour éviter les phénomènes de résonance en cas de tremblement de terre, la fréquence propre des bâtiments doit différer de la fréquence fondamentale du sol. En effet, lorsque les 2 fréquences sont identiques ou très proches, le bâti soumis à un séisme entre en résonance avec le sol et subit des déformations amplifiées pouvant conduire à l'effondrement, suivant la qualité de la construction. De fait, il existe, des relations approximatives qui reconnaissent un lien entre la fréquence propre d'un bâtiment et certains paramètres de la structure tels que la largeur, le nombre d'étages. Le dernier cité représente un paramètre important pour l'évaluation de la vulnérabilité (Widmer et al., 2003). C'est dans ce cadre que (Jongmans, 1991) établis une relation liant la fréquence fondamentale d'un bâtiment et le nombre d'étages :

$$f_0 = \frac{10}{N}$$

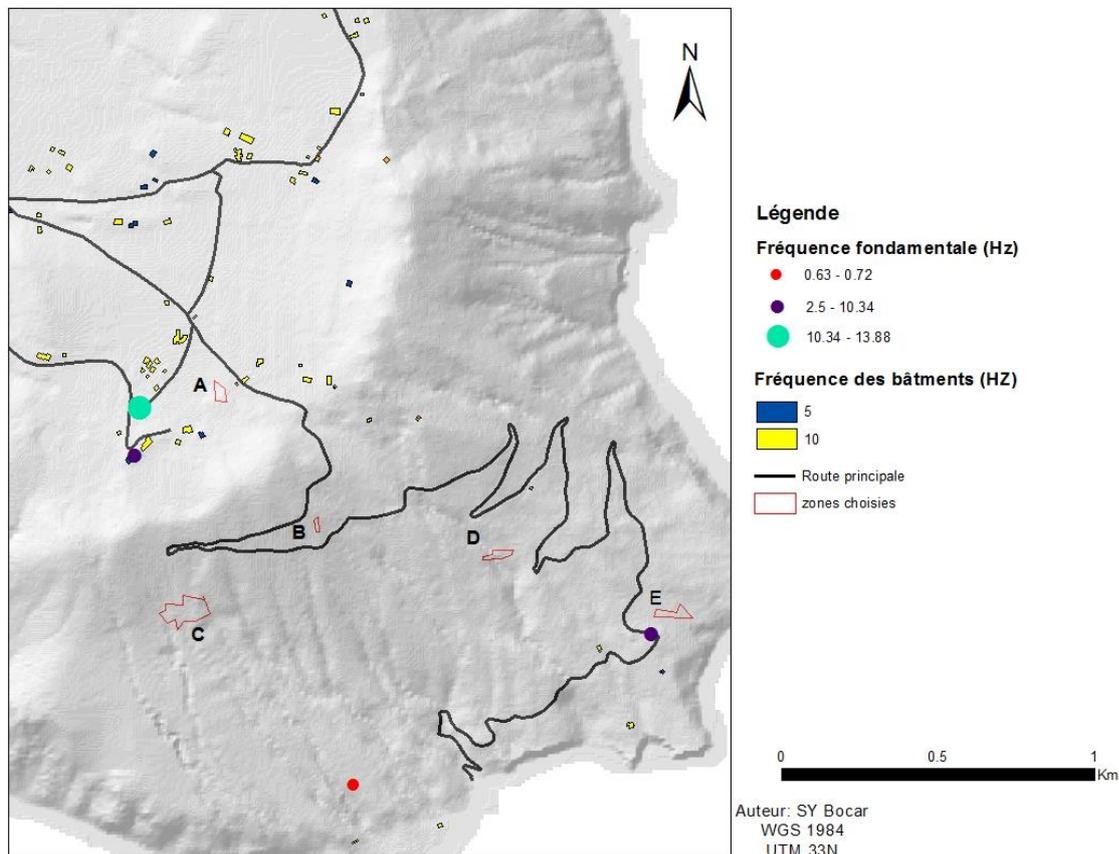
$f_0$  = fréquence propre du bâtiment

$N$  = nombre d'étages

Il est clair que cette formule ne tient pas compte d'autres paramètres comme la forme, la rigidité de la structure (Widmer et al., 2003).

Les mesures de fréquences fondamentales ont été obtenues lors de mon travail de master. Dans cette étude un focus sera fait uniquement sur la partie de l'île qui regroupe nos sites potentiels.

Si un bâtiment présente une fréquence fondamentale similaire ou proche de celle du sol, il faut prendre des mesures appropriées pour son dimensionnement parasismiques afin d'éloigner la fréquence propre du sol à la fréquence fondamentale du bâtiment. L'investigation de 254 bâtiments de l'île de Vulcano (Bonadonna *et al.*, 2011,) montre que ces derniers sont constitués de 0, 1, 2 à 3 étages. Les bâtiments qui sont proches de la zone A ont des fréquences proches des fréquences fondamentales mesurés à côté (Figure 21). Cette information donne aux ingénieurs un outil utile pour le dimensionnement des bâtiments notamment l'église qui constitue un bâtiment important en cas de catastrophe. Elle permet aussi d'avoir des informations (dimensionnement) sur la probables construction du centre de ralliement sur le site A.



**Figure 21: Carte montrant la fréquence fondamentale mesurée et la fréquence des bâtiments au tour des sites choisis**

Afin de confirmer ces résultats plus de mesures de fréquences fondamentales devraient être prises sur Piano notamment sur le site A et au alentour. D'un autre côté, pour plus d'efficacité, les autres paramètres des bâtiments tels que la rigidité et la structure devraient être intégrés dans l'analyse.

## 6. Résultats et discussion

Le premier chapitre a permis de dresser une carte multi-aléa des zones de dangers élevés de coulées pyroclastiques, d'effets de site et d'instabilité de terrain. Cette cartographie obtenue par la synthèse des aléas va permettre d'avoir une vue d'ensemble. Ce qui va aider à une gestion judicieuse en termes de préparation et de prévention. Elle montre également les zones qui méritent un degré d'attention particulier en cas de construction. Ces zones représentent environ 13 km<sup>2</sup> sur une île qui a une superficie d'environ 21 km<sup>2</sup>. Ici, seulement l'enjeu est considéré. Or pour la réduction du risque il faut non seulement prendre en compte l'enjeu mais aussi la vulnérabilité. Du fait que l'homme n'est pas capable d'agir sur l'aléa, cependant des mesures pour réduire les effets des phénomènes sur les biens et les personnes sont possibles.

Par contre, l'analyse multi-aléas pourrait être plus poussée en intégrant les autres zones de danger moyen et faible. Il serait aussi important d'évaluer la proportion de dégâts que pourrait causer chaque type d'aléa en considérant les scénarii probables. Un classement qualitatif pourrait être fait, basé sur la fréquence, la probabilité d'occurrence et les effets probables de chaque aléa considéré.

Les différentes étapes du deuxième chapitre ont permis d'avoir un certain nombre d'informations qui vont aider à faire un choix pour notre centre de ralliement.

Concernant la localisation sur une zone de pente élevée, le site B et C répondent mieux à ce critère.

La zone A regroupe plus de bâtiment autour de lui. Qui dit nombre de bâtiment parle de concentration humaine or la densité de la population autour du centre de ralliement est un paramètre très important en cas catastrophe naturel.

Le dimensionnement parasismique de la zone A sera également plus aisé car nous avons quelques données de fréquence fondamentale à côté. Ceci sera utile quant au nombre étage que doit contenir le bâtiment.

En plus, un coup d'œil sur les zones choisies montre que le site A est situé plus au nord donc plus proche du centre de santé et des autres issus tels que hélicoptères et le grand port de Porto Levante.

Ceci dit, notre choix sur l'installation d'un centre de ralliement s'est porté sur la zone A.

Cependant, il faut souligner que la formule utilisée pour obtenir la fréquence des bâtiments est approximative. Elle ne tient pas compte des paramètres tels que la structure, la rigidité etc. D'un autre côté les données de fréquences obtenues lors de mon master ne sont pas nombreuses sur ces zones, leur densité ne nous semble pas suffisante. C'est pourquoi il faudrait beaucoup plus de mesures pour confirmer notre hypothèse sur les grandes fréquences mesurées qui induirait des effets de résonance sur les bâtiments à 1 étage. Dans la

même optique, pour plus de clarté, il serait utile d'affiner l'analyse sur la structure et les matériaux de construction

Par ailleurs, une importance particulière doit être accordée à la localisation du site retenu par rapport aux autres infrastructures importantes de l'île.

En effet, les 1080 résidents permanents sont distribués de manière homogène au nord (Porto) et au sud (Piano). Par contre, la région de Porto accueille le centre touristique et de villégiature et le grand port qui peut accueillir de grands bateaux. Egalement, le poste de santé qui pourrait accueillir d'éventuels blessés et donner les premiers soins se localise sur cette partie. Tout ceci fait que le modèle obtenu pour la localisation du centre de ralliement en cas d'une catastrophe multi-aléas dans la région de Piano pourrait être discutable.

Parmi, les 3 ports cités précédemment, seulement Porto Levante peut recevoir de grands bateaux, les 2 autres sont consacrés aux petites activités. Par contre ils peuvent servir en cas de catastrophe. La question se pose maintenant est ce qu'il ne devait pas exister un centre de ralliement proche de ce grand port ce qui pourrait être efficace du reste en cas d'évacuation. .

D'un autre côté aussi au lieu de construire ce centre de ralliement faudrait-il pas regarder les bâtiments autour du site A retenu, par exemple l'église ou l'école qui peuvent à la fois servir en cas normal et en cas de catastrophes. Ce qui éviterait les problèmes de coûts liés à la construction.

## **7. Conclusion et perspectives**

Ce travail a permis d'explorer les multitudes possibilités offertes par les SIG en particulier le logiciel ArcGis 10 dans le domaine de la prévention et la gestion des catastrophes naturelles et de l'organisation des secours. Ces outils sont aujourd'hui de plus en plus utilisés pour résoudre des questions d'ordre géologiques. Le but de cette étude n'est pas d'utiliser l'ensemble des possibilités offertes mais juste à partir de mon travail de master et quelques données tirées du groupe de recherche de volcanologie physique et la littérature de faire une analyse d'ensemble sur les aléas et un modèle pour la localisation d'un probable centre de ralliement dans le cas d'une catastrophe multiple.

Par l'analyse spatiale nous avons reproduit quelques cartes d'aléas et élaboré une carte d'aléa (élevé) de l'île de Vulcano. Ces cartes ainsi obtenues prises séparément ou combinées permettent d'identifier et de mettre en place des mesures préventives. Toutefois il est important de noter dans ce travail:

- ❖ Seulement l'aléa a été mis en exergue or la réduction des dégâts causés par les catastrophes ne peut être efficace si l'on tient compte des 2 aspects qui interviennent dans la catastrophe à savoir : l'aléa et la vulnérabilité dont l'analyse n'est pas prise en compte dans cette présente étude ;

- ❖ Pour l'étude d'aléas volcanique, nous avons pris en compte que les coulées pyroclastiques. Or il existe d'autres aléas tels que les lahars, les retombées de tephras, les gaz et les ballistiques en cas d'éruption volcanique.

La prise en compte appuyée de l'aspect vulnérabilisé pourrait aboutir à l'élaboration de cartes de risque

La localisation du centre de ralliement peut juste être considérée comme une étude préliminaire et pourrait dans ce sens être améliorée.

La région de Porto situé au nord avec son grand port pourrait abriter un centre de ralliement.

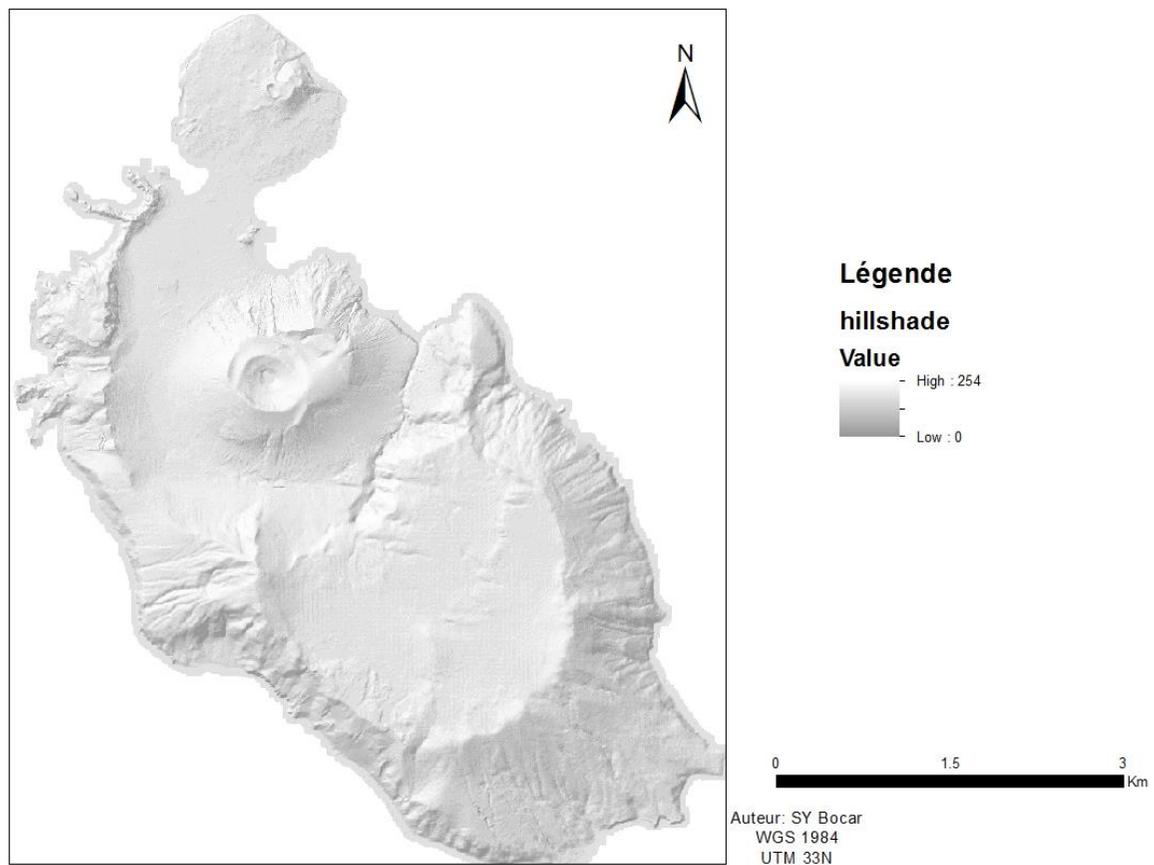
Il serait aussi pertinent grâce à l'extension d'ArcGis « Network analyst » d'étudier l'accessibilité des infrastructures importantes et des sites retenus par rapport aux différents ports et la route principale. Ceci en mettant en valeurs les paramètres de temps de parcours et distances et de coûts.

## Références bibliographiques

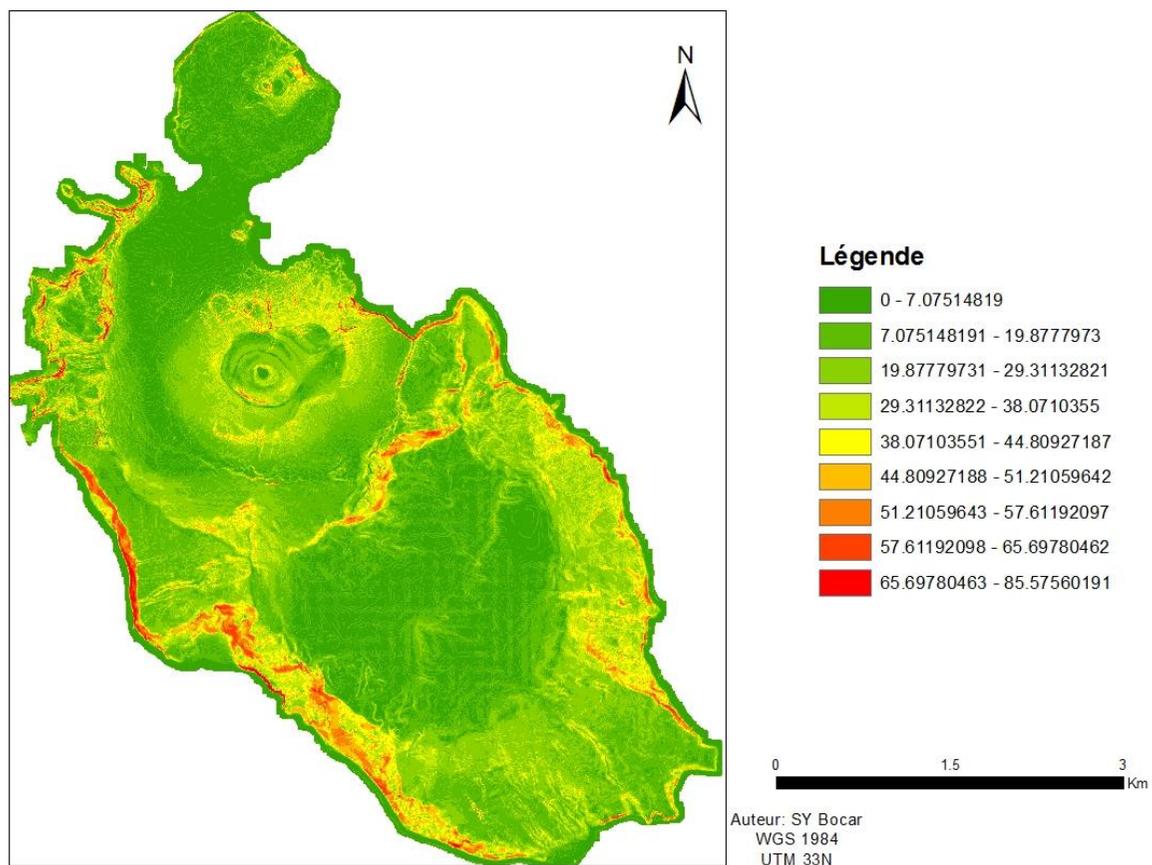
- Ansal, A. (2004). *Recent Advances in Earthquake Geotechnical Engineering and Microzonation*. Springer.
- Arrighi, S., Tanguy, J.-C. & Rosi, M. (2006). *Physics of the Earth and Planetary Interiors* **159**, 225-233.
- Barberi, F., Gandino, A., Gioncada, A., La Torre, P., Sbrana, A. & Zenucchini, C. (1994). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **61**, 189-206.
- Barberi, F., Gasparini, P., Innocenti, F. & Villari, L. (1973). *J. Geophys. Res.* **78**, 5221-5232.
- Barberi, F., Innocenti, F., Ferrara, G., Keller, J. & Villari, L. (1974). *Earth and Planetary Science Letters* **21**, 269-276.
- Barberi, F., Navarro, J., Rosi, M., Santacroce, R. & A, S. (1988). *Rend Soc It Miner Petrol* **43**, 901-926.
- Bard (2002). Report Risques Infos n°13. Laboratoire de Géophysique Interne et Tectonophysique (Observatoire de Grenoble) et Laboratoire Central des Ponts-et-Chaussées.
- Bonadonna, C., Biass, S., Manzella I & C, F. (2011). Report Contract n° 212045.
- CPTI (2004). *Catalogo perimetico dei terremoti italiani*, [http://emidius.mi.ingv.it/CPTI04/finestra217\\_1690.html](http://emidius.mi.ingv.it/CPTI04/finestra217_1690.html).
- De Astis, G., Dellino, P., De Rosa, R. & La Volpe, L. (1997). *Bulletin of Volcanology* **59**, 87-102.
- De Astis, G., Peccerillo, A., Kempton, P. D., La Volpe, L. & Wu, T. W. (2000). *Contributions to Mineralogy and Petrology* **139**, 684-703.
- Dellino, P., Büttner, R., Dioguardi, F., Doronzo, D. M., La Volpe, L., Mele, D., Sonder, I., Sulpizio, R. & Zimanowski, B. (2010). *Earth and Planetary Science Letters* **295**, 314-320.
- Di Traglia, F. (2010). Thesis, unpublished thesis, Università degli Studi di pisa
- Duval, A. M. (1996). *Bull. des laboratoires des Ponts et Chaussées*, 75-90.
- Falsaperla, S. & Spampinato, S. (1999). *Earth and Planetary Science Letters* **173**, 425-437.
- Ferri, M., Grimaldi, M. & Luongo, G. (1988). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **35**, 141-150.
- Frazetta, Gillot, G., P, V., LaVolpe, L. & and Sheridan, M. F. (1984). *Bulletin Volcanologique* **47**.
- Gioncada & Sbrana (1991). *Acta Vulcanologica* **1**, 115-125.
- GlobalVolcanismProgram (2010). Les Eoliennes - situations géographique et tectonique.
- Guéguen, P., Chatelain, J.-L., Guillier, B., Yepes, H. & Egred, J. (1998). *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* **17**, 329-334.

- Jenny, S., Goes, S., Giardini, D. & Kahle, H. G. (2006). *Tectonophysics* **415**, 81-101.
- Jongmans, D. (1991). *L' influence des structures géologiques sur l'amplification des ondes sismiques: mesures in situ et modélisation*.
- Keller, J. (1980). *Rend.Soc.It.Miner.Petrol* **60**.
- Lombardo, G. & Rigano, R. (2007). *Engineering Geology* **94**, 38-49.
- Mavoungou, J. & Saffache, P. (2007). *Les Risques Naturels Majeurs Dans la Caraïbe*. Editions Publibook.
- Mora, M. M., Lesage, P., Dorel, J., Bard, P., Yves, Métaxian, J., Philippe, Alvarado, G. E. & Leandro, C. (2001). *Geophys. Res. Lett.* **28**, 2991-2994.
- Mora, M. M., Lesage, P., Valette, B., Alvarado, G. E., Leandro, C., Métaxian, J.-P. & Dorel, J. (2006). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **152**, 121-139.
- Neri, A., Esposti Ongaro, T., Macedonio, G. & Gidaspow, D. (2003). *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* **108**, 2202.
- Neri, G., Caccamo, D. & Montalto, A. (1994). *Tectonophysics* **258**, 233-249.
- Neri, M., Acocella, V., Behncke, B., Maiolino, V., Ursino, A. & Velardita, R. (2005). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **144**, 235-255.
- Pomonis, A., Spence, R. & Baxter, P. (1999). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **92**, 107-131.
- Shigeo Okuma, T. N., Robert Supper, and Masao Komazawa (2006). *Bull. Geol. Surv. Japan* **57 (5/6)**, 177-190.
- Sicilia, R. (2004).
- Ventura, G. (1994). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **60**, 207-224.
- Widmer, F., Duvernay, B., Fäh, D. & Parriaux, A. (2003).

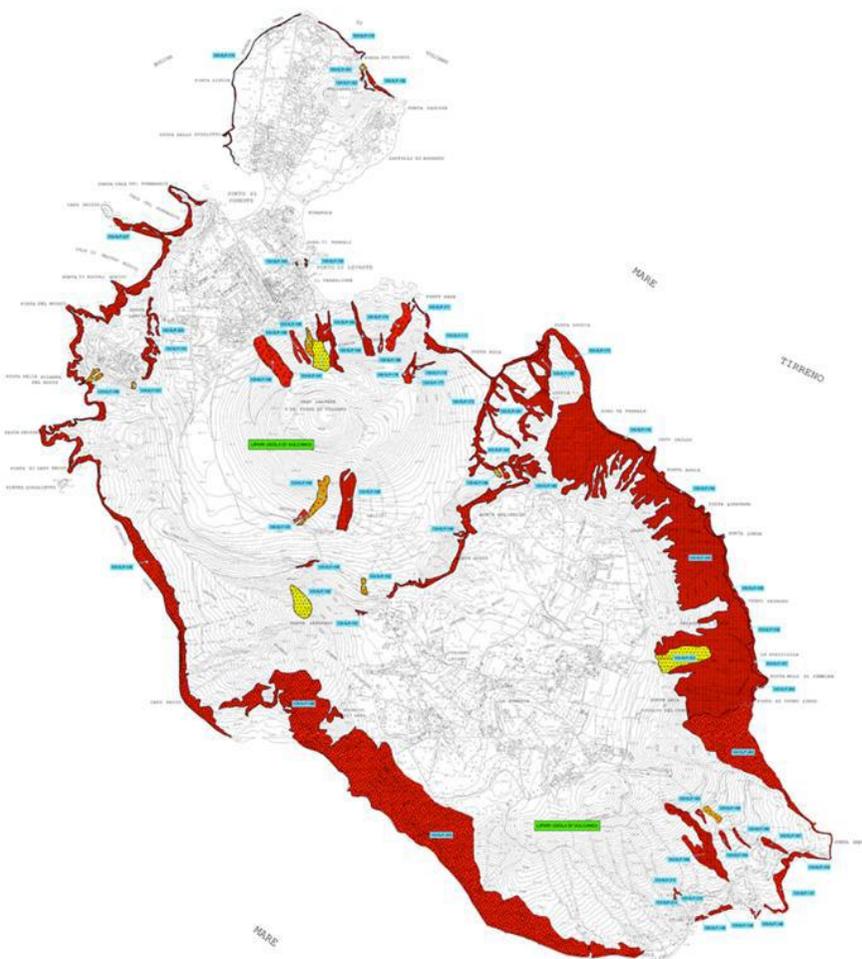
**Annexes**  
**I Hillshade**



## II Carte des pentes



### III Carte des instabilités de terrains



## Lexiques

**ArcGis 10** : logiciel de visualisation d'organisation et d'analyse de données géoréférencées. Il contient 3 programmes de bases ArcMap, ArcCatalog et ArcToolbox.

**ArcMap** : permet la superposition, le traitement des tableaux, l'analyse spatiale et la mise en page.

**ArcCatalog** : aide à organiser et à répertorier les données à disposition et de visualiser rapidement le contenu des couches et d'afficher les métadonnées.

**ArcToolbox** : regroupe un panel de fonction et d'opérations (cartographie, modélisation et projection).

**Couche** : affiche la classe d'objets spatiaux source (données, géométrie et description) et définit les propriétés d'affichages des données géométriques.

**Shapefile** : format de fichier SIG, 3 fichiers distincts sont nécessaires (.shp, .shx, .dbf), si un seul manque ou est mal renommé, l'essentiel des données devient inutilisable.

**Raster** : désigne des données images où l'espace est partitionné de façon régulière à chaque petit rectangle (pixel) est associé un ou plusieurs valeurs décrivant les caractéristiques de l'espace.

**Table d'attribut** : répertorie les blocs de données des couches.

**Select by attribut** : sélectionne les objets en fonction des valeurs de leur attribut.

**Select by location** : sélectionne les objets en fonction de leur emplacement par rapport aux objets d'autres couches.

**Géodatabase** : constitue la plateforme commune de stockage et de gestion des données.

**Spatial Analyst** : désigne l'ensemble des outils d'analyse et de modélisation spatiale. Il permet entre autre d'apparier, d'analyser les rasters et d'obtenir de nouvelles informations sur les données existantes.

**Merge** : sert à combiner plusieurs données d'entrée du même type dans un nouveau jeu de donnée en sortie unique. Il permet de combiner des tables ou des classes d'entité ponctuelles, linéaires ou surfaciques.

**Euclidean distance** : ou distance à vol d'oiseau permet de calculer la distance à un ou plusieurs objets cibles. Le résultat est une image dans laquelle une valeur de distance est attribuée à chaque pixel.

**Map : algébra** : sert à appliquer les fonctions algébriques pour l'obtention de nouveaux résultats.

## Remerciements

Je tiens à remercier Gregory Guilliani d'avoir accepté de superviser mon travail . Je remerci aussi Adrea de bono d'avoir accepté de faire partir du jury lors de la soutenance..

Je remercie le groupe de recherche de volcanologie physique particulièrement Sebastien Biass de m'avoir fourni les données d'aléas de coulées pyroclastiques et Corine Frischknecht pour sa disponibilité et sa gentillesse. .

Je remercie également l'ensemble des enseignants qui ont participé au programme du certificate complémentaire de géomatique 2013.

Je voudrais aussi remercier chaleureusement Birane Niane pour ces feed-backs.

Je remercie de tout mon cœur mes parents qui m'accompagnent partout où je vais avec leur prière.

J'exprime toute ma gratitude à mon épouse pour son soutien moral.