



COMITE SUPERIEUR D'ÉVALUATION DES RISQUES VOLCANIQUES



# La Gestion du Risque Volcanique en Italie

**MISSION CSERV  
Rapport final**

**Jacques Varet, François Beauducel,  
Franco Barberi**

*(14 – 17 octobre 2004)*

Rapport CSERV remis au MEDD (DPPR / SDPRM)  
Réf. commande MEDD BC04001357  
Section SEC37  
Réf. CIFEG 04R331



COMITE SUPERIEUR D'EVALUATION DES RISQUES VOLCANIQUES

# **La Gestion du Risque Volcanique en Italie**

**MISSION CSERV  
Rapport final**

**Jacques Varet, François Beauducel,  
Franco Barberi**

*(14 – 17 octobre 2004)*

Edition :  
juin 2005

Rapport CSERV remis au MEDD (DPPR / SDPRM)  
Réf. commande MEDD BC04001357  
Section SEC37  
Réf. CIFEG 04R331



# TABLE DES MATIERES

<b>1. RESUME ET CONCLUSIONS</b> .....	<b>5</b>
<b>2. OBJECTIFS ET PROGRAMME DE LA MISSION</b> .....	<b>7</b>
2.1. Rappel des objectifs des missions CSERV de retour d'expérience.....	7
2.2. Participants.....	7
2.3. Programme.....	7
2.4. Les principales institutions italiennes concernées par le risque volcanique.....	9
<b>3. CONTEXTE GEOLOGIQUE DES VOLCANS ITALIENS</b> .....	<b>10</b>
3.1. Le Vésuve.....	11
3.2. Les Champs Phlégréens.....	12
3.3. L'Etna.....	13
3.4. Le Stromboli.....	15
<b>4. GESTION DES RISQUES NATURELS ET DES RISQUES VOLCANIQUES EN ITALIE</b> .....	<b>17</b>
4.1. L'organisation de la protection civile italienne en matière de risques volcaniques et sismiques.....	17
4.2. La gestion des crises.....	18
4.3. Le rôle des instances scientifiques dans la crise.....	19
4.4. Les plans de gestion de crise et d'évacuation.....	21
4.5. Activité législative.....	22
<b>5. LES OBSERVATOIRES DE SURVEILLANCE VOLCANOLOGIQUE DE L'INGV</b> .....	<b>23</b>
5.1. L'INGV.....	23
5.2. La responsabilité d'alerte de l'INGV.....	23
5.3. Diffusion de l'information, publications, éducation.....	23
5.4. L'organisation et les ressources de l'INGV.....	24
5.5. Plan triennal d'activité (2004-2006) de l'INGV.....	24
5.6. Coopération internationale et européenne.....	25
<b>6. LE RISQUE VOLCANIQUE A NAPLES ET ALENTOURS</b> .....	<b>26</b>
6.1. Caractéristiques du risque volcanique du Vésuve.....	26
6.2. Les bases scientifiques du dispositif d'alerte.....	28
6.3. Les signes précurseurs permettant de déclencher l'alerte.....	29
6.4. Dispositif de surveillance.....	30
6.4.1. Le réseau sismique.....	30
6.4.2. Déformations.....	33
6.4.3. Gravimétrie.....	36
6.4.4. Géochimie.....	38
6.4.5. Thermométrie infrarouge.....	40
6.4.6. Sondages géophysiques.....	41

<b>7. DISPOSITIF DE GESTION DE CRISE : ARTICULATION ENTRE OBSERVATOIRE, REGION ET ETAT</b> .....	<b>43</b>
7.1. Le dispositif de la sécurité civile de la Région Campanie à Naples.....	43
7.2. L’alerte : seuils et responsabilité de l’INGV.....	43
7.3. Vulnérabilité et mesures de prévention.....	44
7.4. Les activités éducatives de l’OV.....	45
7.5. Réduction des risques : les travaux d’études de vulnérabilité et de zonages en cours.....	45
7.6. Problèmes restant à résoudre.....	46
<b>8. LES INNOVATIONS ITALIENNES EN MATIERE D’ETUDE DE VULNERABILITE ET DE GESTION DE CRISE</b> .....	<b>47</b>
<b>9. CONCLUSIONS, RECOMMANDATIONS</b> .....	<b>50</b>
9.1. Au plan scientifique.....	50
9.2. Au plan des méthodes de surveillance et de prévention et de l’articulation expertise – décision.....	51
9.3. Autres recommandations à caractère institutionnel.....	51
<b>10. BIBLIOGRAPHIE ET DOCUMENTS REÇUS</b> .....	<b>52</b>
10.1. Notes, brochures et documents généraux.....	52
10.2. Rapports et documents techniques, administratifs et grand public sur les risques.....	52
10.3. Sites web sur les risques naturels en Italie.....	52
10.4. CD-Roms et cassettes.....	52
10.5. Notes et publications scientifiques.....	53

## 1. Résumé et conclusions

Parmi les quelques exemples de gestion du risque volcanique accessibles aux « retours d'expérience » organisés par le CSERV, l'Italie présente l'avantage de la proximité géographique et culturelle. En outre, le système de surveillance et de prévention des risques a fait dans ce pays des progrès fulgurants ces dix dernières années. Le contexte européen, et notamment les programmes de la Commission fournissent enfin des opportunités à saisir.

- 1) L'organisation générale du système de gestion des risques naturels en Italie offre un modèle dont on pourrait utilement s'inspirer, notamment avec la mise en place de groupes d'experts spécialisés dans les différentes catégories de risques (volcanique, sismique, mouvements de terrains, feux de forêts...), pour aider à la décision publique. *Cela reviendrait à dupliquer les comités de type CSERV pour les autres catégories de risques.*
- 2) Le mode de financement du système de surveillance et de prévention pourrait également être une source intéressante d'inspiration pour les choix budgétaires en France. Si les centres italiens de surveillance sismique et volcanique sont partiellement pris en charge au titre de la recherche, c'est au titre du budget de la sécurité civile que sont financés les systèmes opérationnels pour la décision publique. *Un tel choix dans la commande publique présente l'avantage de rendre les services des observatoires beaucoup plus opérationnels.*
- 3) Les systèmes de recueil et de gestion de l'information italiens sont conçus « en ligne », avec un accès direct à l'écran, en temps réel, dans les centres nationaux et régionaux de la sécurité civile, de l'ensemble des données des observatoires. *Cela implique un certain partage de connaissances entre observatoires scientifiques et administrations gestionnaires. De telles évolutions devraient être examinées en France aussi.*
- 4) Si les aléas font l'objet en Italie de programmes de recherche, et d'infrastructures de surveillance particulièrement avancés, la vulnérabilité est aussi un domaine d'investissement important, avec le développement de systèmes de cartographie numérique détaillés, prenant en compte l'ensemble des données humaines (implantations résidentielles, voies d'accès, moyens de transports, etc.). *De tels programmes déjà développés en France dans le cadre Interreg (région de Nice-Vintimille pour le risque sismique) devraient inspirer nos travaux à venir, notamment aux Antilles.*
- 5) Egalement intéressante pour nous est l'expérience très originale développée en Italie en matière de *préparation des populations à la crise* :
  - travail éducatif approfondi à l'égard des enfants des écoles des zones concernées ;
  - transformation de résidences principales en gîtes ruraux pour réduire la population permanente dans les zones à risque sans les désertifier ;
  - jumelages entre villages menacés par les risques et villes d'autres régions d'Italie, au titre de la solidarité entre régions (sous forme active, avec invitation régulière des classes dans les écoles et des enfants dans les familles).

- 6) Le cadre des programmes européens, qu'ils soient de recherche (6° & 7° PCRD) ou plus opérationnels (Interreg, Life...) devraient être beaucoup mieux mis à profit pour développer des approches communes franco-italiennes, et viser non seulement au *développement des échanges dans le cadre de réseaux et de plates-formes*, mais aussi à *une organisation beaucoup plus intégrée de la gestion des risques rares (comme les risques sismiques ou volcaniques)*.
- 7) Enfin, compte tenu de l'expérience exceptionnelle de *Franco Barberi*, aujourd'hui professeur à l'Université de Rome 3, hier secrétaire d'Etat aux risques majeurs, francophone, on ne peut que recommander qu'il soit *invité comme membre du CSERV* à l'occasion de son renouvellement prochain.

## 2. Objectifs et programme de la mission

### 2.1. RAPPEL DES OBJECTIFS DES MISSIONS CSERV DE RETOUR D'EXPERIENCE

Parmi les missions du CSERV figure l'organisation de retours d'expérience en matière de prévention des risques volcaniques en provenance de services compétents opérant sur des volcans étrangers. Après des missions effectuées au Japon, en Indonésie, au Mexique et aux USA, le CSERV a décidé d'organiser une mission en Italie, où l'Etna, le Stromboli et le Vésuve ont connu des éruptions récentes.

Cette mission d'information s'inscrit dans la suite de celles organisées régulièrement depuis 1997 par le CSERV afin d'enrichir sa compétence dans la mise en place de la politique pour l'évaluation et la prévention du risque volcanique.

Elle a pour objectif de s'informer sur les points suivants :

- la politique de l'Italie en matière de prévention du risque volcanique ;
- de l'organisation générale de la surveillance volcanique ;
- de la coordination entre les instituts scientifiques et la Protection civile.

La mise en place de la logistique a été assurée par le CIFEG.

### 2.2. PARTICIPANTS

A l'origine prévue avec la participation de 5 experts (Y. Caristan, Mme Veyret, M. Massinon, F. Beauducel et J. Varet), la mission s'est trouvée réduite à ces deux dernières personnes du fait de raisons diverses (nomination de Y. Caristan dans de nouvelles fonctions, maladies...). Elle a heureusement bénéficié sur place de la préparation et de l'accompagnement de Franco Barberi, qui a bien voulu s'associer à la réalisation de ce rapport en en assurant la relecture. Au total, la mission était composée de :

- M. Franco BARBERI, professeur de Volcanologie et Géothermie de l'Université de Rome 3, qui a organisé la mission ;
- M. François BEAUDUCCEL, Directeur de l'Observatoire Volcanologique et Sismologique de Guadeloupe - IPGP ;
- M. Jacques VARET, Directeur de la prospective du BRGM, membre du CSERV.

### 2.3. PROGRAMME

Menée du 14 au 17 octobre 2004, la mission CSERV en Italie a comporté deux étapes : Rome et Naples.

#### Jeudi 14 octobre 2004, à Rome

Les rencontres se sont déroulées selon le programme suivant :

#### **a) Département de la Protection Civile (DPC), Via Ulpiano 11 :**

- Rencontre avec le responsable de la gestion du risque volcanique.
- Visite du centre opérationnel pour la coordination nationale de gestion des crises (emergency).
- Exposé sur le système de Protection civile en Italie :
  - relations entre le DPC et les structures scientifiques (INGV) chargées de la surveillance volcanologique et de l'évaluation du risque ;

- point sur les récentes éruptions de l'Etna et du Stromboli.

**b) Institut National de Géophysique et Volcanologie (INGV), Via di Vigna Murata 605 :**

- Visite du centre de surveillance sismique.
- Présentation des programmes pluriannuels.
- Entretien avec le directeur.

Vendredi 15 octobre 2004, à Naples

Les visites suivantes avaient été planifiées :

**c) Observatoire du Vésuve (OV)**

L'observatoire du Vésuve, comme les autres observatoires volcanologiques italiens, est une émanation de l'INGV.

- Présentation du système de surveillance volcanique (moyens géophysiques et géochimiques) par Giovanni Macedonio, Directeur OV-INGV et ses collaborateurs.
- Discussion et visite du centre de traitement de données de l'OV.
- Exposés scientifiques :
  - Permanent seismic monitoring (*M. Martini, OV*)
  - Seismic response team (*G. Saccorotti, OV*)
  - Geodesy (*F. Pingue, OV*)
  - Geochemistry (*G. Chiodini, OV*)
  - Numerical simulations (*A. Neri, INGV, Pise*)
  - Floods and lahars (*M.T. Pareschi*)
  - Vulnerability (*G. Zuccaro, Université de Naples*)
  - The Emergency Plan and general conclusions (*F. Barberi*)
- Discussion et conclusions

**d) Département de la Protection civile régionale pour la Campanie**

- Visite du département, exposé sur ses attributions.
- Visite du centre opérationnel pour la coordination régionale des secours.
- Entretiens avec les responsables, notamment sur la coordination Etat-Région.

Samedi 16 octobre 2004

**e) Osservatorio Vesuviano**

- Visite de l'exposition permanente consacrée au Vésuve, au risque volcanique, à l'information et à l'éducation (bâtiment historique de l'Observatoire du Vésuve = Osservatorio Vesuviano, sur les pentes du Vésuve).
- Montée au cratère du Vésuve.

Dimanche 17 octobre 2004

Retour à Paris.

## 2.4. LES PRINCIPALES INSTITUTIONS ITALIENNES CONCERNEES PAR LE RISQUE VOLCANIQUE

Dipartimento delle Protezione Civile (DPC)

<http://www.protezionecivile.it/index.php>

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV)

<http://www.ingv.it/>

Osservatorio Vesuviano (OV)

<http://www.ov.ingv.it/>



### 3. Contexte géologique des volcans italiens

L'Italie est le pays voisin de la France le plus riche en volcans actifs. Cela tient à la position géodynamique de ce pays, dans la zone d'affrontement entre les plaques africaine et eurasiennne. Le système volcanique italien se répartit en plusieurs ensembles :

- les volcans de la chaîne des Apennins, avec le Monte Amiata ;
- les volcans napolitains du Vésuve et des Champs Phlégréens, dans la plaine de Campanie, qui constitue un graben quaternaire au pied Ouest des Apennins ;
- les îles volcaniques de l'arc éolien, qui entoure à l'Est la mer Tyrrhénienne, et comporte 7 îles (Alicudi, Filicudi, Salina, Lipari, Vulcano, Panarea et Stromboli) et 7 volcans sous-marins ;
- l'Etna en Sicile, situé sur une faille majeure de direction NNW-SSE séparant une masse continentale (bloc pélagien) de la croûte amincie de la mer Ionienne ;
- les volcans du Canal de Sicile, et notamment l'île de Pantelleria, situés sur un petit rift entre plaques africaine et européenne.

Ceux qui sont à la fois les plus actifs et les plus significatifs en terme de gestion de risque, du fait de l'importance de la population concernée, sont le Vésuve, les Champs Phlégréens et l'Etna. Le temps alloué à la mission n'a pas permis de traiter plusieurs sujets. *Nous avons de ce fait privilégié la connaissance du dispositif prévalant sur le Vésuve, considérant que ce volcan était celui qui se rapprochait le plus – par la typologie de son activité – de ce qu'on pouvait attendre aux Antilles françaises.* Certes l'Etna est beaucoup plus actif, mais le type d'éruptions (basaltiques) se rapproche plutôt du cas de la Réunion, dont la mission à Hawaii nous a apporté l'an dernier un cas de retour d'expérience plus proche encore.



*Les volcans actifs italiens*

VOLCANO	LAST ERUPTION	POPULATION
Stromboli	persisting activity	500 - 5.000
Etna	ongoing	2.000 - 20.000
Vesuvius	1944	600.000
Pantelleria	1891	7.000
Vulcano	1888-1890	700
Ferdinanda Is.	1831	0
Phlegrean Fields	1538	300.000
Ischia	1302	45.000
Lipari	VI- VII century A.D.	10.000

Comme l'indiquent la figure et le tableau ci-dessus, il existe en Italie de nombreux volcans (triangles bleus sur la carte) situés tout le long de l'arc Apennin, mais qui sont à un stade d'activité peu inquiétant (sources chaudes ou vapeur, sans activité historique connue).

Par contre, on compte 9 volcans actifs (triangles rouges sur la carte), dont 5 sont à la fois parmi les plus actifs et en zone habitée : le Stromboli, l'Etna, le Vésuve, les Champs Phlégréens et Vulcano.

Le tableau figure ces mêmes volcans en rouge, et montre que l'Etna et les Champs Phlégréens, situés à proximité immédiate de Naples, dans une zone très habitée, totalisent une population concernée de près d'un million d'habitants.

### 3.1. LE VESUVE

- Le Vésuve est un volcan complexe, susceptible d'alterner deux types d'éruptions :
- d'une part des éruptions de lave dont l'impact est limité du fait que les coulées se cantonnent sur le cône du volcan ;
  - d'autre part des éruptions de type pliniennes, beaucoup plus violentes, et susceptibles de toucher une zone beaucoup plus large, essentiellement à l'est et au sud-est du cône, compte tenu de la météo.

La dernière éruption, très bien documentée puisque l'on disposait alors déjà d'un observatoire et de moyens de mesure et de surveillance, date de 1944. Elle était du premier type.



*Vue aérienne du Vésuve.*

Les éruptions pliniennes datent des années 1631, 472 (VEI = 4) et 79 a.D. (VEI = 5). Elles ont été particulièrement meurtrières puisqu'elles ont englouti notamment les villes d'Herculanium et de Pompéi. Mais si l'on dispose là des premières descriptions d'éruptions volcaniques (Plin l'ancien pour l'éruption de 79 a.D.), on ne dispose pas de données instrumentales.

De ce fait, il est extrêmement difficile de prévoir, faute de données antérieures, le type d'éruption susceptible de se produire en cas de reprise de l'activité du Vésuve, dont le conduit est actuellement bouché.

La population concernée par une éruption plinienne est de l'ordre de 600.000 personnes. De ce fait, le Vésuve constitue un enjeu considérable pour la sécurité civile italienne. En plus des mesures de surveillance des aléas et des études de vulnérabilité, des initiatives sont prises pour la réduction des risques : établissement de scénario, emergency planning, plan de localisation (voir chapitre 6).

### 3.2. LES CHAMPS PHLEGREENS



Image satellite des Champs Phlégréens.

Ce système volcanique est plus complexe, du fait qu'il ne s'identifie pas par un cône volcanique comme l'Etna ou le Vésuve. C'est néanmoins un ensemble actif, situé dans la baie même de Naples. C'est de ce fait le système volcanique le plus dangereux pour la ville de Naples elle-même. La dernière éruption remonte à 1538 (Monte Nuovo). Mais ce système volcanique est encore mal connu.

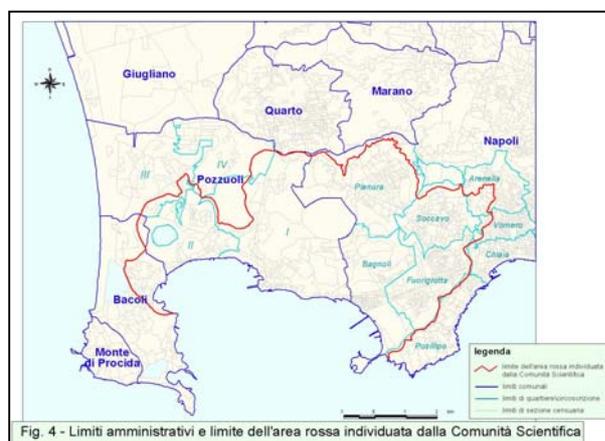


Fig. 4 - Limiti amministrativi e limite dell'area rossa individuata dalla Comunità Scientifica.

Limite de la zone rouge tracée par les scientifiques.

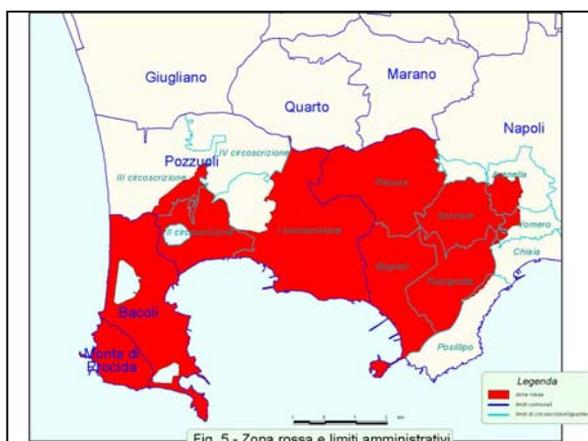


Fig. 5 - Zona rossa e limiti amministrativi.

Limites administratives de la zone rouge.

L'ensemble constitue une vaste caldera en partie sous-marine, dont seuls les flancs nord et ouest sont émergés. Il existe des incertitudes sur le centre éruptif, comme sur le type d'éruption possible (explosif sans doute). Outre une activité fumerolienne continue (Solfatara), ce volcan est le siège de phénomènes répétés appelés « bradyséisme », se traduisant par des déplacements verticaux importants (plusieurs mètres dans la ville de Pozzuoli au centre de la caldera) accompagnés d'une intense sismicité. La dernière crise s'est produite entre 1983 et 1985 et a entraîné l'évacuation de la population du centre de Pozzuoli touché par de nombreux tremblements de terre. Des travaux récents (Beauducel et al., 2004) indiquent une probable chambre magmatique à moins de 4 km de profondeur.

La population concernée est au moins de 300.000 personnes, mais il est possible que ce chiffre soit plus élevé car une éruption toucherait probablement aussi la ville de Naples. L'ensemble fait l'objet d'une surveillance attentive (cf. § 6), et malgré ces incertitudes, des initiatives sont prises en matière de réduction des risques : établissement de cartes, de scénario, et de planification de crise.

### 3.3. L'ETNA

Situé en Sicile, l'Etna est le volcan italien le plus spectaculaire, du fait de son activité volcanique soutenue. Il était en activité lors de notre visite. Il s'agit d'une activité de type strombolienne, avec émission de coulées de laves et de cendres peu abondantes. Outre qu'il s'agit d'un type d'activité beaucoup moins dangereux du fait de son extension limitée et de la nature même des produits, la population concernée est bien plus faible que dans les cas précédents. Elle atteint néanmoins 2.000 personnes situées sur les flancs exposés du volcan, et 20.000 personnes en cas d'éruptions paroxysmiques.

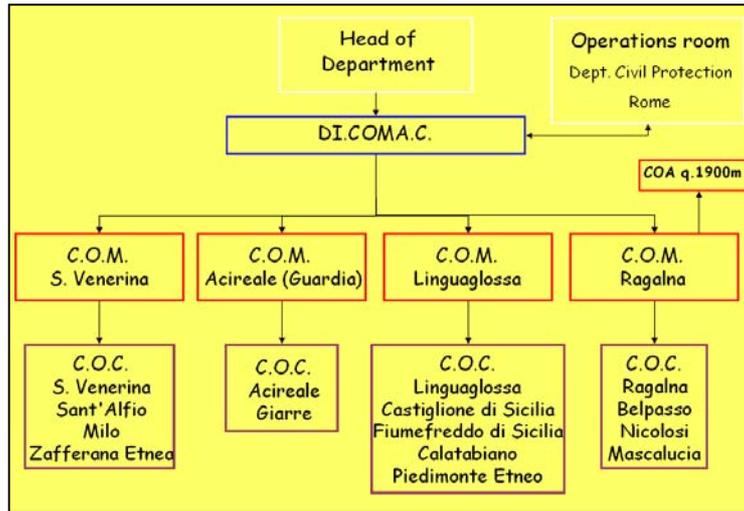
La dernière éruption qui a préoccupé la sécurité civile s'est déroulée du 27 octobre 2002 au 29 janvier 2003. Quatre communes ont été concernées par les coulées de laves, et 58 communes par les dépôts de cendres.



*Vue aérienne de l'Etna.*

L'activité sismique est aussi un risque à prendre en compte simultanément. Dans le cas cité, la séquence sismique a commencé le 27 octobre 2002 et s'est achevée en janvier 2003. Le choc principal s'est produit le 29 octobre 2002 ; d'une magnitude de 4.4 et d'intensité maximale VIII-IX (MCS), il a touché 14 communes.

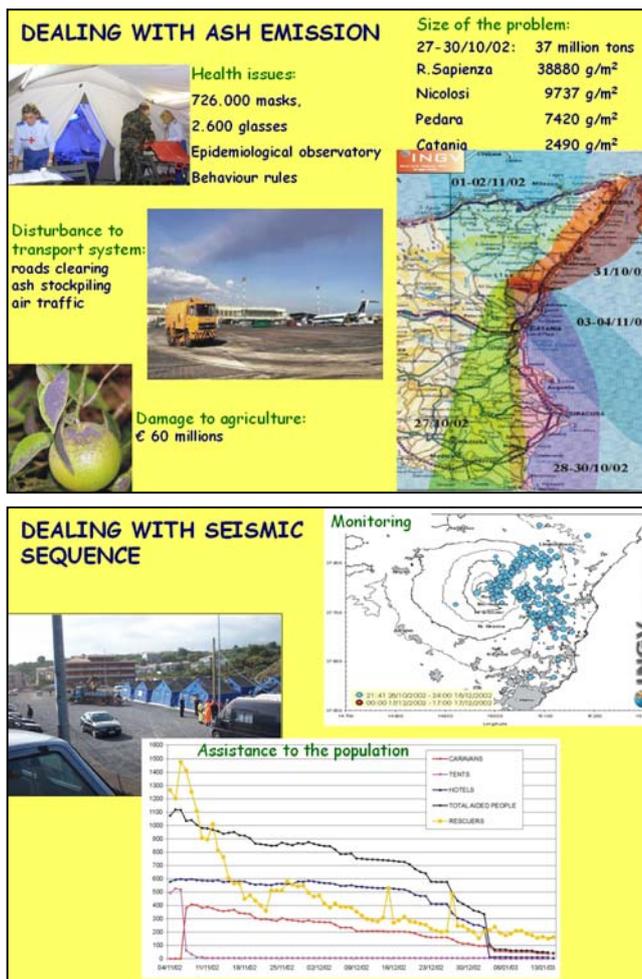
L'organisation qui existe pour l'Etna est décrite dans le tableau suivant ; elle implique le centre de Rome, les structures régionales et les communes concernées.



Organisation de la Protection civile italienne pour l'Etna.

Les deux figures ci-dessous illustrent :

- les impacts des pluies de cendres (37 millions de tonnes émises lors de la dernière éruption, avec des dépôts variant de 250 g/m<sup>2</sup> à 30 kg/m<sup>2</sup> selon l'exposition),
- la surveillance sismique et l'assistance aux populations concernées, dont la répartition est déterminée à partir des données instrumentales.



Les risques volcaniques pour l'Etna :  
– les pluies de cendres et leur impact ;  
– les risques sismiques et l'assistance aux populations.

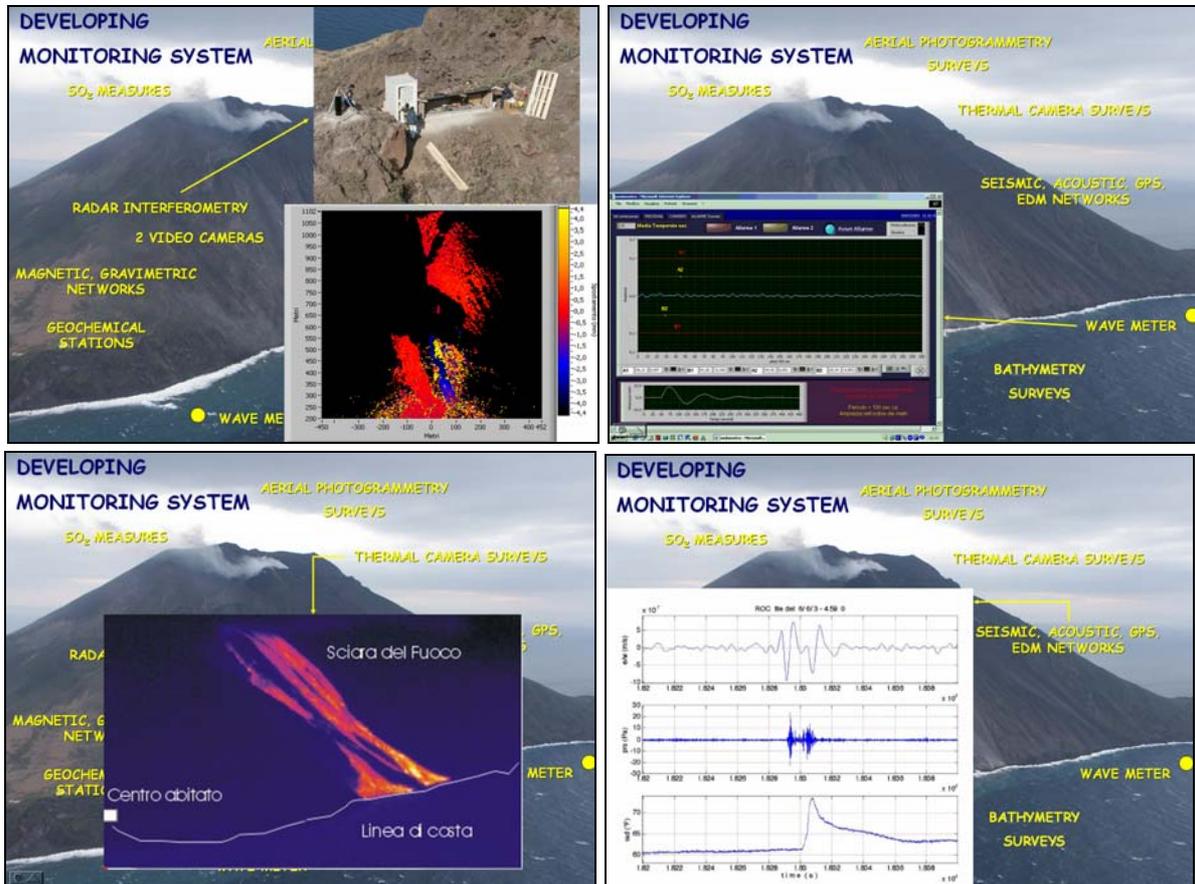
### 3.4. LE STROMBOLI



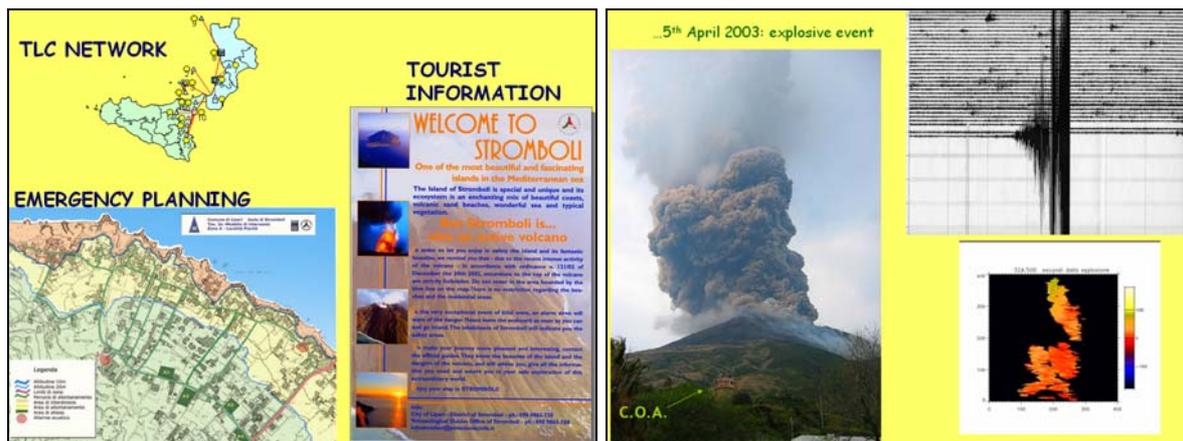
Vue aérienne  
du Stromboli.

Le Stromboli est le plus actif des volcans italiens. L'activité strombolienne est persistante, et le volcan donne aussi des coulées de laves de manière épisodique (la dernière période d'activité effusive s'est observée en 2002-2003). Les risques principaux sont liés à des paroxysmes explosifs et à des tsunamis produits par effondrement du flanc du volcan (Sciara del Fuoco ; le dernier a eu lieu en décembre 2002).

La population concernée est beaucoup plus modeste : de 500 à 5.000 personnes, mais compte tenu du fait que le volcan lui-même est une attraction touristique, il convient de développer une stratégie adaptée : réseau de chemins balisés, abris, points d'information touristiques. En outre, les initiatives plus classiques en matière de réduction de risques incluent la production de cartes de risques, de scénario, et planification de crise.

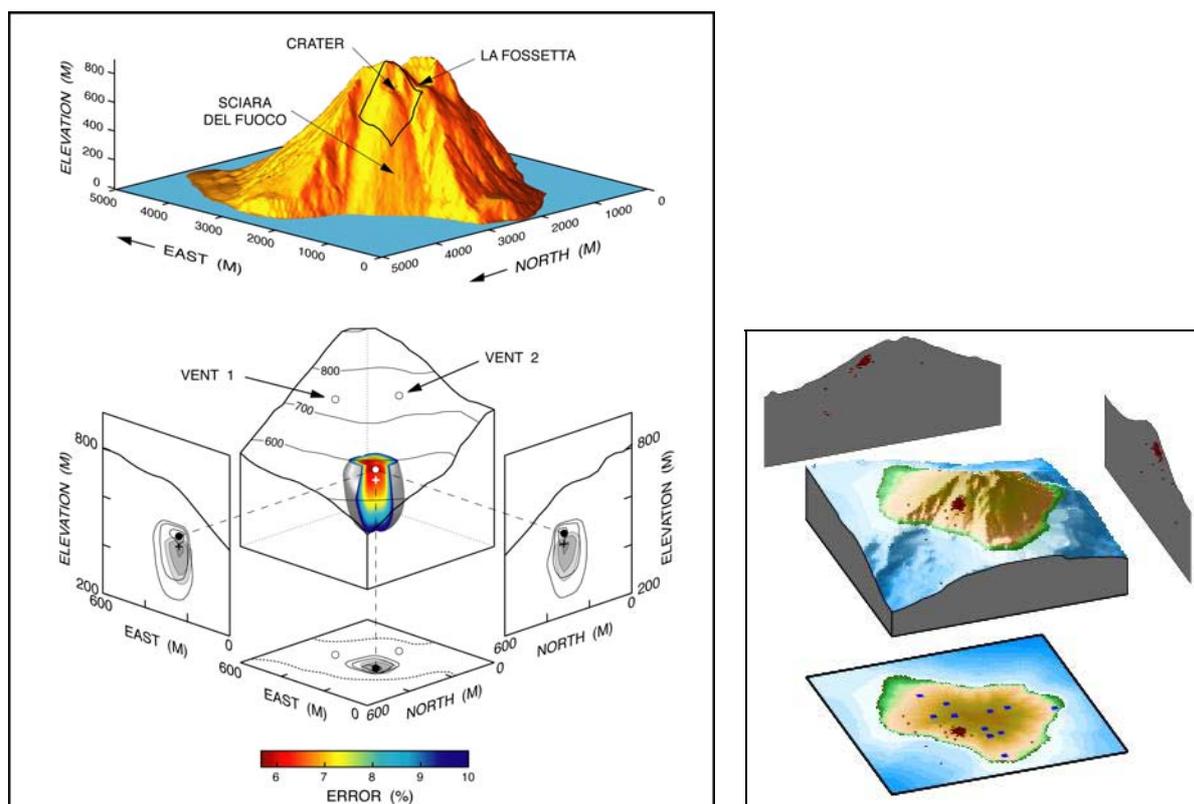


Développement des réseaux de surveillance du volcan Stromboli.



*Volcan Stromboli. Planification des risques (ici détails sur des risques de tsunamis), information du public, et illustration d'activité explosive.*

Outre les progrès réalisés en matière de protection civile sur ce volcan particulièrement actif, les recherches fondamentales menées ces dernières années permettent de préciser les caractéristiques du système magmatique. A partir des enregistrements des ondes sismiques de très longues période (B. Chouet et al., 2004), il a été possible de déterminer les caractéristiques géométriques du conduit en 3D.



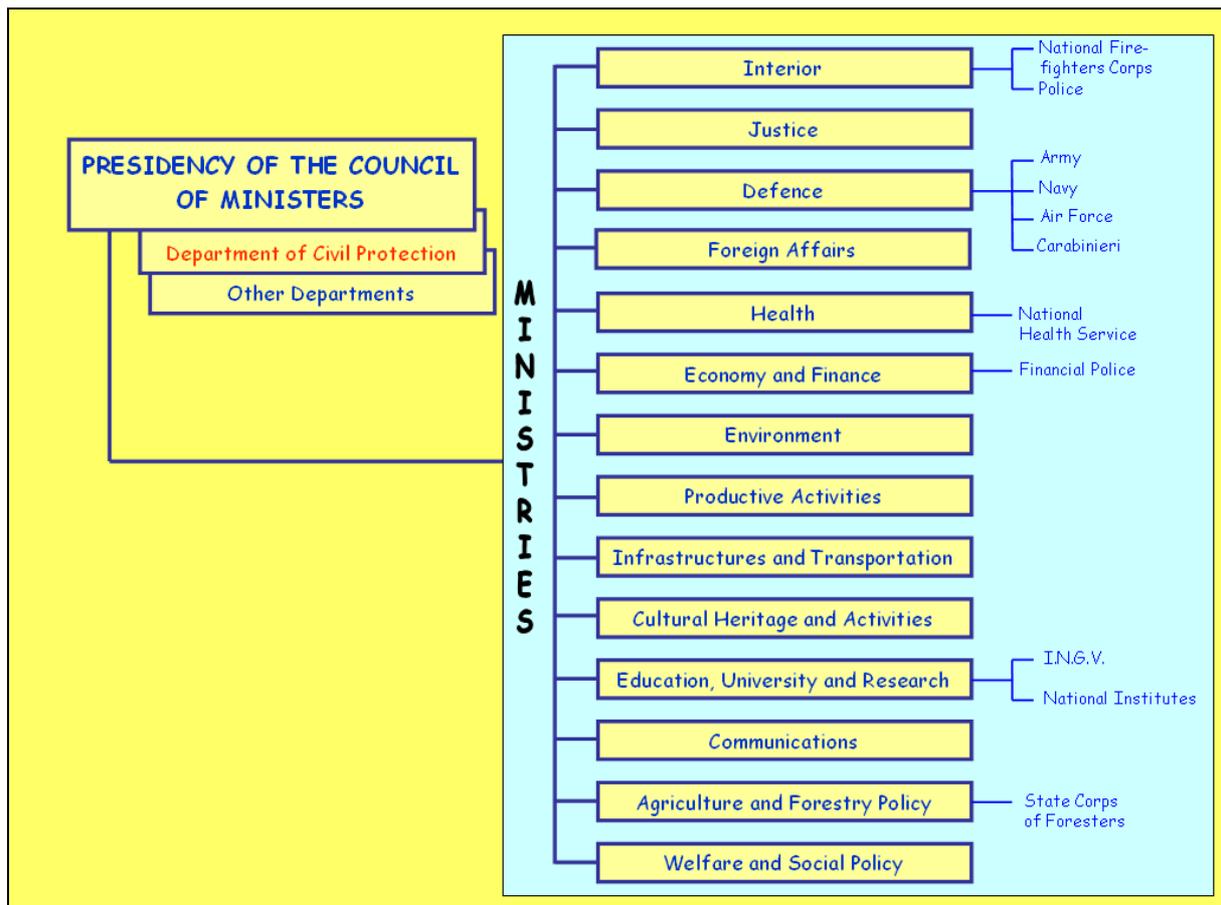
*Modélisation 3D de la source sismique au Stromboli par analyse des signaux longue période : l'une des applications les plus spectaculaires des récentes avancées scientifiques des équipes italiennes.*

## 4. Gestion des risques naturels et des risques volcaniques en Italie

### 4.1. L'ORGANISATION DE LA PROTECTION CIVILE ITALIENNE EN MATIERE DE RISQUES VOLCANIQUES ET SISMIQUES

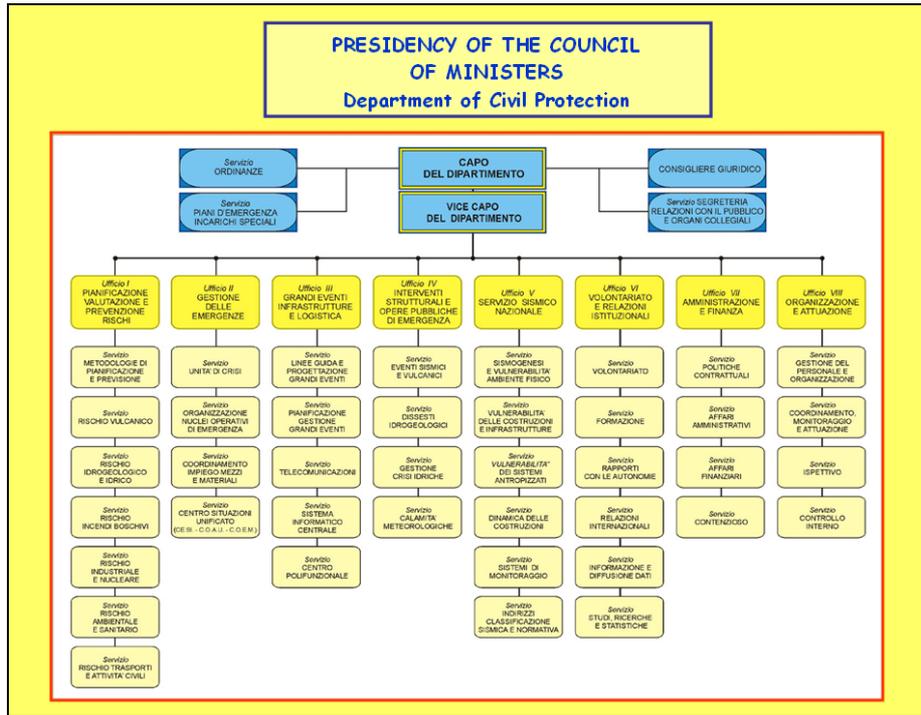
Le Département de la Protection Civile dépend en Italie de la Présidence du Conseil des Ministres. Au plan historique, la création de ce Département remonte à 1981, à la suite d'un séisme meurtrier qui a affecté le sud de l'Italie en novembre 1980, produisant 3 000 morts et plus de 10 000 blessés. Le département est le siège du Service National de la Protection Civile italienne, qui a été institué par la Loi (N°225/1992), et implique de nombreuses institutions publiques (gouvernement, ministères, municipalités, corps opérationnels, etc.), ainsi que des institutions scientifiques (universités, instituts de recherche, etc.) et des partenaires privés (essentiellement des volontaires).

Le schéma ci-dessous récapitule les ministères et les institutions impliqués dans le Service National de la Protection Civile italienne. Il est présidé par le responsable de la protection civile *au niveau politique*. Ceux qui y sont délégués *doivent disposer d'un pouvoir décisionnel (pour décision immédiate)*.



Organisation de la Protection Civile : ministères concernés.

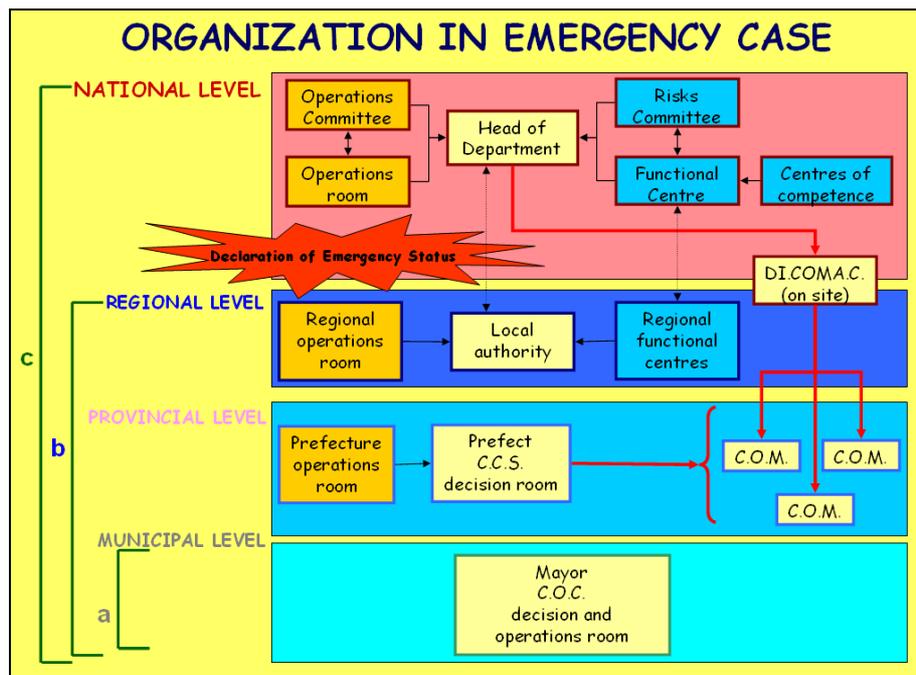
L'organisation interne du département de la Protection Civile est la suivante (8 bureaux) :



Protection Civile italienne : organisation interne.

#### 4.2. LA GESTION DES CRISES

L'organisation de la sécurité civile italienne en période de crise mobilise les divers niveaux de responsabilité du système territorial : national, régional, provincial et local, qui tous concourent à l'action pilotée par l'Etat (CCS = Centre Coordination Secours) ; (COM = Centre Opérationnel Mixte) ; (COC = Centre Opérationnel Municipal).



Gestion des crises : niveaux d'intervention.

Les diverses fonctions support sont également sollicitées :



*Gestion des crises : les fonctions support.*

En outre, un “Comité des Opérations” opère la salle des opérations (bien équipée en systèmes d’information, avec liaisons multiples avec les centres techniques d’informations d’une part, et les opérateurs de terrain d’autre part) et traite directement avec ces opérateurs, dont :

- les corps de sapeurs pompiers nationaux ;
- l’armée ;
- la police ;
- les services de santé nationaux ;
- la Croix Rouge italienne ;
- l’organisation forestière nationale ;
- le corps de secours alpins (organisation de volontaires) ;
- la compagnie nationale d’Electricité ;
- la compagnie des Téléphones ;
- les compagnies des Transports (autoroute, chemin de fer).

#### **4.3. LE ROLE DES INSTANCES SCIENTIFIQUES DANS LA CRISE**

Pour préparer les politiques de prévention et appuyer les décisions d’intervention en période de crise, il est fait appel à des *comités consultatifs d’experts*, sur le modèle du CSERV, mais ceux-ci existent en Italie *pour les différentes catégories de risques*. Chaque comité est composé de 7 à 8 personnes. La protection civile s’est ainsi dotée de 8 *sections thématiques* par catégorie de risque :

- Section 1 : sismique
- Section 2 : hydrogéologique
- Section 3 : volcanique
- Section 4 : industriel, nucléaire, chimique
- Section 5 : transport, activités civiles et infrastructures
- Section 6 : feu de forêt
- Section 7 : environnement et santé
- Section 8 : héritage culturel.

Dans ce dispositif, des centres fonctionnels sont identifiés, qui opèrent pour le compte de la sécurité civile sur une base contractuelle permanente :

- INGV (GNV & GNDT)
- CNR (GNDCI & GNDRICIE – Instituts de Recherche)
- Universités.



Les centres INGV sont indiqués par des cercles bleus, et les volcans actifs par des triangles rouges.

L'INGV joue un rôle clé. Placé sous la tutelle de la sécurité civile et de la recherche (et financé à parité par ces deux instances), c'est lui qui est responsable de la surveillance et d'avertir la protection civile en cas de crise. Il dispose de bureaux à Rome (siège central), Milan (sismicité des Alpes), Naples (volcans du Vésuve et des Champs Phlégréens), Catane (Etna) et Palerme (îles éoliennes) ; ces centres contrôlent le réseau sismique national et les observatoires situés sur chacun des volcans.

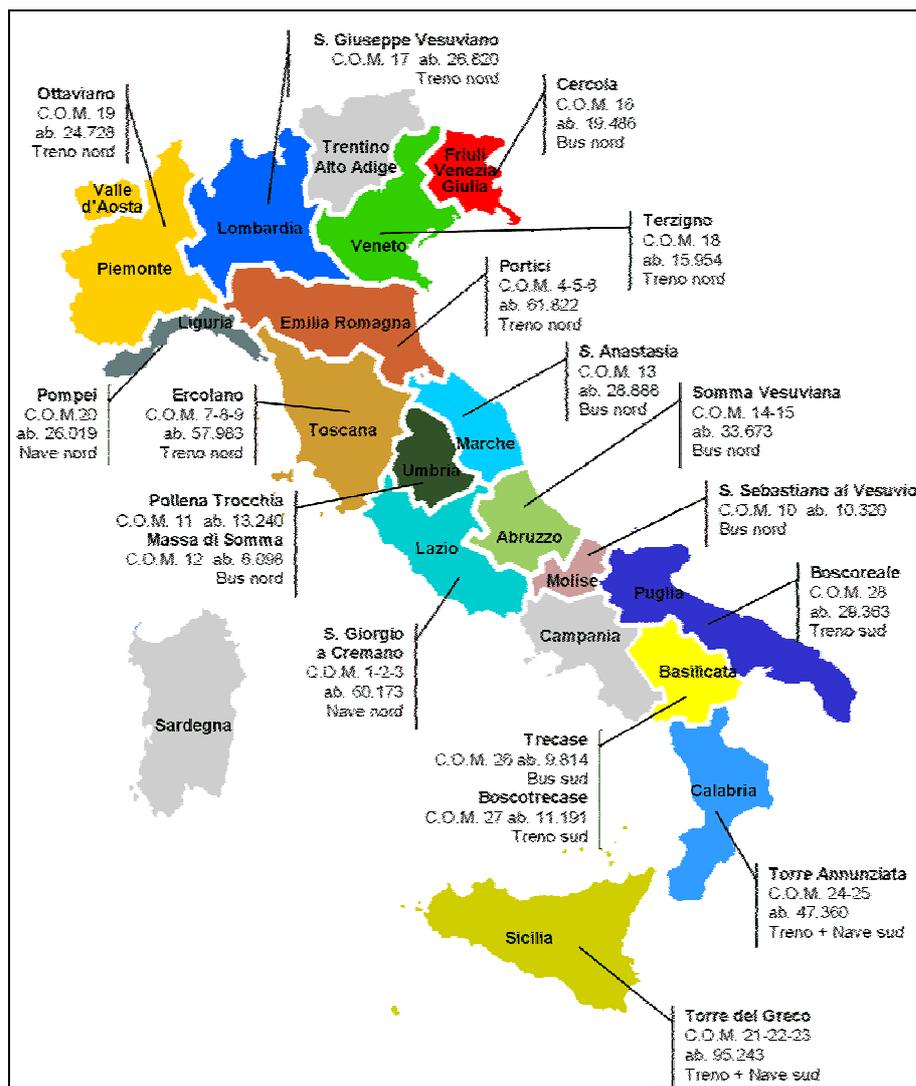
Quatre niveaux d'alerte sont prédéfinis pour chacun des volcans :

- **Vert** : situation normale de veille.
- **Jaune** : niveau d'attention : mobilisation de la protection civile, des réseaux de surveillance, pas d'information de la population.
- **Orange** : niveau de pré-alerte : la protection civile se prépare à évacuer la population.
- **Rouge** : évacuation des populations.

Voir ci-dessous l'exemple du Vésuve. Pour éviter les alertes ratées, un niveau d'alerte élevé est nécessaire, mais il faut tenir compte du temps d'évacuation, qui a pu être mesuré par des exercices. Il est de 7 jours. Il a été conclu de ce délai qu'il valait mieux évacuer même en cas de situation incertaine (i.e. ne pas hésiter à prendre le risque de la fausse alarme).

#### 4.4. LES PLANS DE GESTION DE CRISE ET D'EVACUATION

Concernant le Vésuve, chaque région d'Italie est jumelée avec une commune à évacuer. Cette organisation a été mise en place dans le cadre d'une "conférence Etat-Régions". Chaque région est tenue de s'organiser pour l'accueil. Des essais ont été faits, en modèle réduit de quelques milliers de personnes, et sont engagés régulièrement dans un cadre décentralisé au niveau des écoles. L'avantage de la formule est que l'administration évacuée continue à fonctionner avec la même structure, et la population avec la même organisation sociale.



Collectivités locales et population concernées par les risques volcaniques en Italie :			
Zone	Communes	Province	Habitants
Rouge	18	NA	600.000
Jaune	96	NA, AV, BN, SA	1.100.000 (10%)
Bleue		NA	180.000

NB : il est curieux de constater que, dans les deux plans de gestion de crise du Vésuve et des Champs Phlégréens, la ville de Naples a été exclue de la zone à risque.

Il existe une commission nationale chargée d'actualiser les plans de gestion de crise.

Elle comporte 4 groupes de travail :

- scénarios et niveaux d'alerte ;
- réseau routier, transport et logistique ;
- information et éducation ;
- les plans de crise communaux.

Dans ce cadre, une étude de vulnérabilité des bâtiments a été engagée en zone rouge pour déterminer ceux dans lesquels on pouvait conserver des affaires.

Les partenaires suivants sont impliqués dans ces travaux d'actualisation :

- le Département de la Protection Civile ;
- les ministères de l'éducation, de la recherche et les universités ;
- l'INGV et ses observatoires ;
- la région Campanie ;
- la Préfecture de Naples
- la province de Naples ;
- les chemins de fer italiens ;
- les sociétés d'autoroute ;
- les ponts et chaussées ;
- le bureau national de contrôle des activités aériennes ;
- les autorités portuaires ;
- la police ;
- les pompiers ;
- la radio-télévision nationale (RAI) ;
- les communes situées en zone rouge.

La sécurité civile dispose de moyens matériels spécifiques pour faire face aux crises volcaniques : 77 structures préfabriquées et 5 structures textiles.

#### **4.5. ACTIVITE LEGISLATIVE**

L'activité législative a été particulièrement intense ces trois dernières années :

- DPCM 29/10/02
- DL n.245 du 4/11/02 convertie en L n.286 du 27/12/02
- Ordonnance n.3254 du 29/11/02
- Ordonnance n.3260 du 27/12/02
- DPCM 28/3/03
- Ordonnance n.3278 du 04/04/03
- DPCM 12/3/04

## **5. Les observatoires de surveillance volcanologique de l'INGV**

### **5.1. L'INGV**

L'Institut National de Géophysique et de Volcanologie (INGV), établi par un décret du 29 septembre 1999, en application de la loi du 15 mars 1997 par laquelle le parlement a demandé au gouvernement de réorganiser la R&DT dans ce domaine, est aujourd'hui la plus grosse entité de cette spécialité en Europe. L'INGV rassemble et valorise la compétence et les ressources de cinq instituts spécialisés en géophysique et volcanologie, qui étaient antérieurement pour deux d'entre eux des entités autonomes et pour les 3 autres des centres du CNR italien. Il s'agit de :

- l'Institut National de Géophysique (ING) fondé par G. Marconi en 1936 ;
- l'Observatoire du Vésuve (OV), qui surveille la région de Naples depuis 1845 ;
- l'Institut International de Volcanologie de Catane (IIV créé par Rittmann et Tazieff) ;
- l'Institut de Géochimie des Fluides (IGF) de Palerme ;
- l'institut pour la Recherche sur les Risques Sismiques (IRRS) de Milan.

L'INGV, en plus de sa mission de recherche, est en charge de la surveillance de la sismicité sur la totalité du territoire italien et des volcans actifs, i.e. le Vésuve, l'Etna, le Stromboli, Vulcano, Ischia et les Champs Phlégréens. Les signaux mesurés sur le terrain par un réseau, soit réparti sur la totalité du territoire italien concernant le risque sismique, soit concentré sur les volcans actifs, sont transmis et traités en temps réel dans les salles d'opération de Rome, de Naples et de Catane, où un personnel spécialisé est présent 24 h sur 24.

### **5.2. LA RESPONSABILITE D'ALERTE DE L'INGV**

Lorsqu'un tremblement de terre significatif ou des anomalies de comportement de l'un des volcans sont identifiés, la salle opérationnelle avertit immédiatement les autorités de la protection civile, en précisant la nature de l'événement, sa localisation géographique, et l'aire concernée par l'impact potentiel. Des équipes d'intervention spécialisées sont susceptibles de se déplacer sur le site pour effectuer des relevés de détails ou mettre en place des instruments de mesure disponibles sous forme d'équipements mobiles.

L'INGV est en outre chargé de coordonner les groupes nationaux placés auprès de la sécurité civile, concernant les risques volcaniques et sismiques. L'INGV bénéficie en effet du soutien financier de la sécurité civile, tant pour ses travaux de surveillance de routine que pour ses capacités d'intervention en période de crise (équipements mobiles).

### **5.3. DIFFUSION DE L'INFORMATION, PUBLICATIONS, EDUCATION**

L'INGV assure une tâche permanente d'information et de formation. Il édite ou co-édite plusieurs revues scientifiques, comme les annales de géophysique ou les rapports techniques de l'INGV. Il publie aussi des brochures pour le grand public et les scolaires. Le site de l'INGV donne en outre accès à de nombreuses publications et informations en ligne.

Le site de l'INGV est le suivant : <http://www.ingv.it>

#### 5.4. L'ORGANISATION ET LES RESSOURCES DE L'INGV

L'INGV est présidé par le Prof. Enzo Boschi, qui nous a reçus à Rome. Il est à la tête d'un conseil de direction de 7 personnes, désignées par diverses entités concernées, dont le CNR, la sécurité civile et la conférence Etat-Régions. Il est assisté par un conseil scientifique de 7 personnes, qu'il préside également. La gestion est assurée par un directeur général et réunit un collège de 12 personnes, directeurs des divers groupes scientifiques composant l'INGV. Les structures de contrôle incluent un collège de révision des comptes de 8 personnes (fonctionnaires des ministères), un comité interne d'évaluation scientifique (de 5 personnes), et un comité d'évaluation et de contrôle stratégique (de 3 personnes).

Le budget total de l'INGV en 2003 était de 75 M€, dont 52 M€ au titre des fonds ordinaires, et 23 M€ au titre des ressources contractuelles. Les fonds ordinaires proviennent des ministères et des régions :

- 30 M€ au titre de la recherche ;
- 18 M€ au titre de la sécurité civile ;
- 3 M€ au titre de la région Sicile ;
- 0,6 M€ au titre du Ministère de l'Economie et des Finances.

Les ressources contractuelles proviennent pour l'essentiel du Ministère de la Recherche et du CNR italien, mais aussi d'autres ministères comme l'Environnement (2 M€), les régions et l'UE (pour 4,4 M€).

Au total, en 2004, les moyens humains de l'INGV atteignent 639 personnels permanents, dont 334 chercheurs et techniciens, auxquels s'ajoutent 106 boursiers de thèses.

#### 5.5. PLAN TRIENNAL D'ACTIVITE (2004-2006) DE L'INGV

Les objectifs du plan triennal sont au nombre de 5. Le rapport précise, pour chaque ligne de programme, les entités en charge, la durée et les dates de début et de fin, les moyens mis en œuvre (en hommes mois) dans la période de 3 ans, les bailleurs et les collaborations externes. Il ne précise pas les montants alloués.

##### **1. Développement des systèmes d'observation**

Porte sur les divers réseaux de mesure : sismique, magnétique, géochimique, géodésie, réseau sous-marin...

Ce programme est largement pris en charge par la sécurité civile.

##### **2. Activité expérimentale et laboratoires**

Il s'agit de la prise en charge de 5 laboratoires, en géologie, paléomagnétisme, minéralogie et géochimie.

Ce programme est essentiellement pris en charge par la recherche.

##### **3. Etudes pour comprendre le système terre**

Porte sur 3 sujets : structure et dynamique de l'intérieur de la terre, sciences de l'atmosphère, du climat et de l'environnement, et calculs scientifiques avancés.

Prise en charge assurée par le Ministère de la Recherche.

##### **4. Comprendre et affronter les risques naturels**

Subdivisé en 3 objectifs : les risques sismiques, volcaniques et les risques liés aux facteurs environnementaux.

Prise en charge assurée pour l'essentiel par la sécurité civile.

### **5. Obligations à l'égard des institutions et de la société**

Ce programme inclut :

- les banques de données ;
- l'expertise scientifique ;
- la formation et l'information.

#### **5.6. COOPERATION INTERNATIONALE ET EUROPEENNE**

L'INGV assure la représentation de l'Italie dans les instances concernées des Nations Unies : Organisation mondiale des observatoires volcanologiques (WOVO) et Association internationale de volcanologie (IAVCEI). Il représente aussi le gouvernement italien dans le CTBT et les instances de la convention climat (GIEC). Il intervient à l'étranger à la demande des organisations internationales, comme au Nyiragongo (RDC) en 2002. Depuis cette date, il a constitué une « *task force* » capable d'intervenir à la demande des organisations internationales en cas de crise volcanique.

L'INGV est actif dans de nombreux programmes européens (les partenaires français sont seuls cités, lorsqu'ils sont mentionnés) :

- ORION-GEOSTAR (Ifremer)
- ASSEM (Ifremer, IPGP)
- SAFE (UPMC, BRGM, IPGS)
- RELIEF (IPGS)
- SPICE (ENS, IPGP)
- MERSEA
- SESAME (Univ. Grenoble)
- LessLoss (BRGM)
- E-Ruption
- Exploris (IPGP)
- Multiplo



*Salle de surveillance sismologique de l'INGV à Rome.*

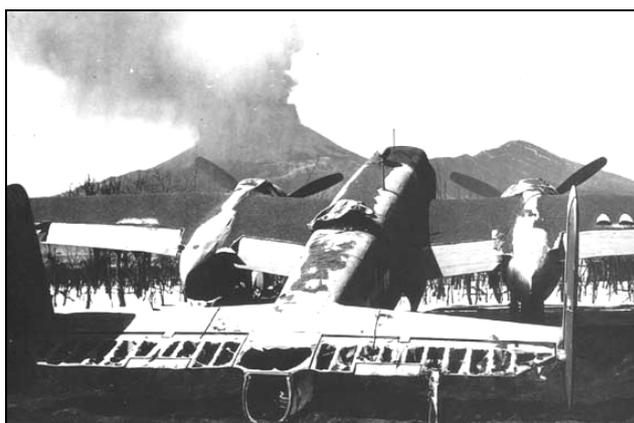
## 6. Le risque volcanique à Naples et alentours

En Italie, Naples et ses environs constituent un ensemble particulièrement sensible au risque volcanique du fait de la coexistence, de part et d'autre de cette agglomération importante, de deux ensembles volcaniques actifs : le Vésuve et les Champs Phlégréens.

### 6.1. CARACTERISTIQUES DU RISQUE VOLCANIQUE DU VESUVE

Le risque volcanique concernant le Vésuve présente deux particularités :

- en terme d'aléa, le volcan présente une forme d'activité mixte, alternant des éruptions de type stromboliennes (pluies de cendre et de lapilli, coulées de laves) et de type pliniennes (émissions explosives de nuées ardentes, de ponces et de cendres) ; les premières sont d'extension limitée au voisinage du cône ; les secondes peuvent avoir une extension beaucoup plus grande, la répartition des dépôts étant fonction des vents dominants.
- En terme de vulnérabilité, la ville de Naples a connu un développement important, avec une densification de l'habitat en ville, et une extension de la périphérie, jusque sur les flancs du Vésuve. Ce développement largement illégal (constructions réalisées sans permis de construire) n'a pas bénéficié de plans d'urbanisme, et notamment pas d'une voirie adaptée à un trafic élevé (comme il faudrait en disposer en cas d'évacuation).

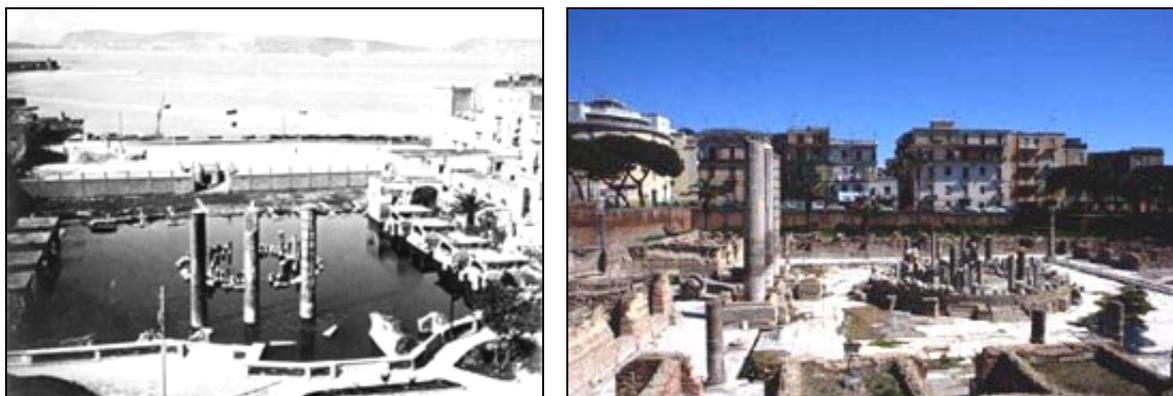


*Quelques-uns des effets de l'éruption de 1944, qui s'est produite peu après le débarquement américain. Les avions de l'US Air Force ont été en partie neutralisés par les pluies de cendres et de lapilli.*



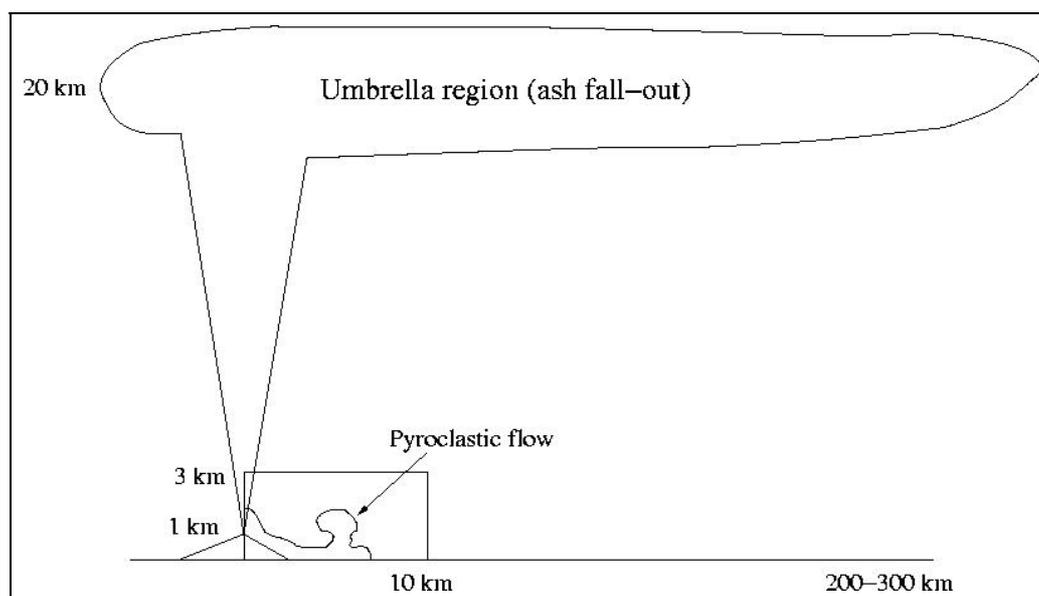
*Comparaison des paysages urbains lors de la dernière éruption du Vésuve, en 1944, et aujourd'hui : observer l'extension de l'urbanisation, dans la plaine et jusqu'aux flancs du cône.*

*De même concernant les Champs Phlégréens, ci-dessous :*



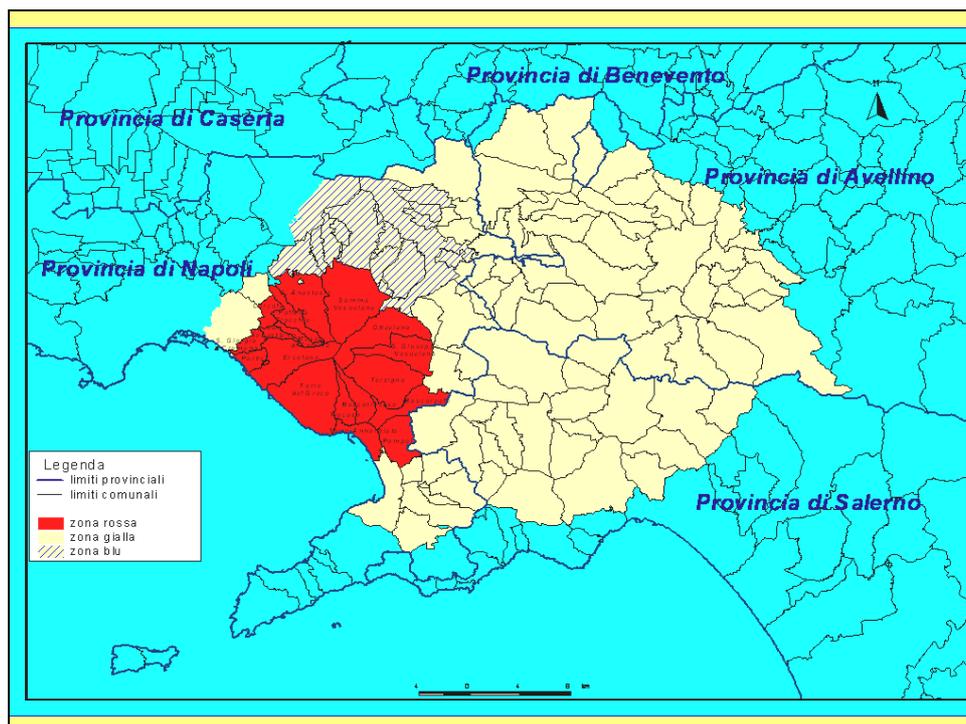
*Pozzuoli : les ruines de Serapeo en 1929 et aujourd'hui (voir la croissance de l'urbanisme alentour !)*

Les caractéristiques du phénomène éruptif attendu au Vésuve sont résumées dans le schéma ci-dessous, élaboré à partir des travaux réalisés par cartographie des éruptions pliniennes antérieures et par modélisation à partir de comparaisons avec des éruptions actuelles analogues. Le schéma précise les dimensions verticales du panache (3 km pour le "gas thrust", 30 km pour la colonne plinienne) et horizontales des retombées (10 km pour les coulées pyroclastiques, 200 à 300 km pour les pluies de cendres). De plus, la mobilisation des pyroclastites par la pluie peut produire des coulées de boue (lahar) très dangereuses.



*Simulation d'une éruption volcanique au Vésuve : les dimensions.*

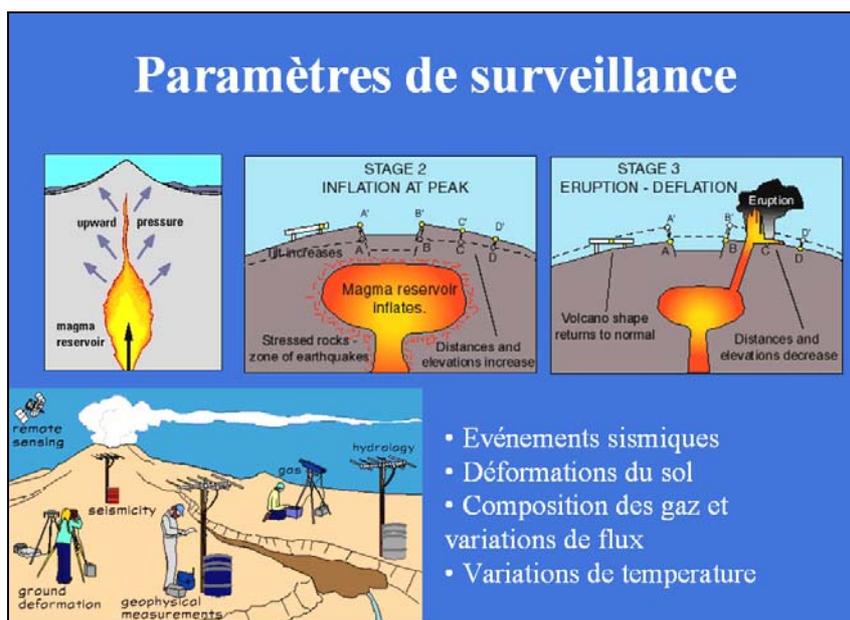
On déduit de ce schéma, et des travaux de cartographie et de modélisation tenant compte des paramètres météorologiques actuels (voir ci-dessous), une cartographie des aléas du Vésuve en trois teintes : rouge, jaune et bleue. Les limites provinciales sont indiquées en rouge et les limites communales en noir.



## 6.2. LES BASES SCIENTIFIQUES DU DISPOSITIF D'ALERTE

Le dispositif d'alerte repose sur la conceptualisation des phénomènes volcaniques attendus au Vésuve en cas de reprise de l'activité volcanique : remontée d'une masse magmatique dans le réservoir, produisant plusieurs phénomènes induits mesurables :

- des événements sismiques,
- des déformations du sol (inflation),
- des variations de la composition des gaz et des variations de flux,
- des augmentations de température.



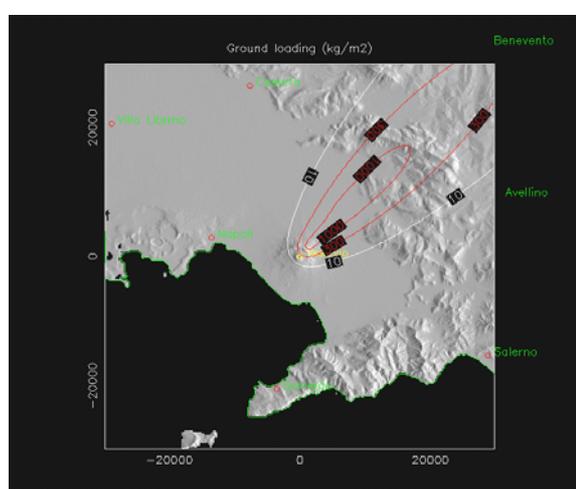
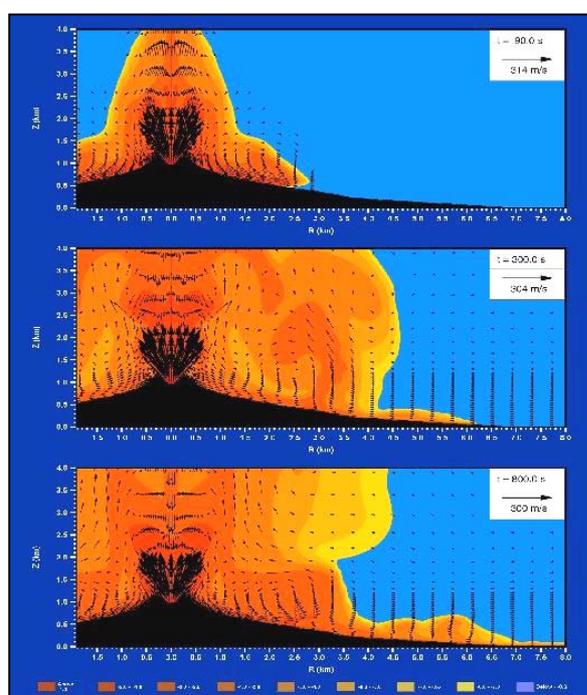
### 6.3. LES SIGNES PRECURSEURS PERMETTANT DE DECLENCHER L'ALERTE

Il découle de ce qui précède que les *signes précurseurs* suivants sont attendus en cas d'éruption à venir :

- augmentation de la sismicité (événements de type LP/VLP),
- déformations du sol (bombement),
- émissions de gaz d'origine volcanique (SO<sub>2</sub>, HF, HCl).

**Ce sont ces signes qui permettront à l'OV de l'INGV de donner l'alerte à la Direction de la Sécurité civile.**

Concernant l'éruption elle-même, des travaux de modélisation mathématique de l'équipe de A. Neri ont permis de proposer des modèles de simulation d'une éruption pyroclastique au Vésuve.



De même, prenant en compte les données météorologiques, il a été possible d'assurer une modélisation probabiliste des pluies de cendres au Vésuve (ci-dessus à droite pour une éruption plinienne moyenne, la flèche indique la direction des vents).

On déduit de ces travaux d'observation et de modélisation les effets attendus d'une éruption du Vésuve :

- émission d'une colonne de cendres,
- pluies de cendres (zone jaune),
- coulées pyroclastiques (zone rouge),
- coulées de lave (au stade avancé de l'éruption) (probabilité faible en cas d'éruption plinienne),
- lahars et coulées de boues à la suite de fortes pluies (zone bleue).

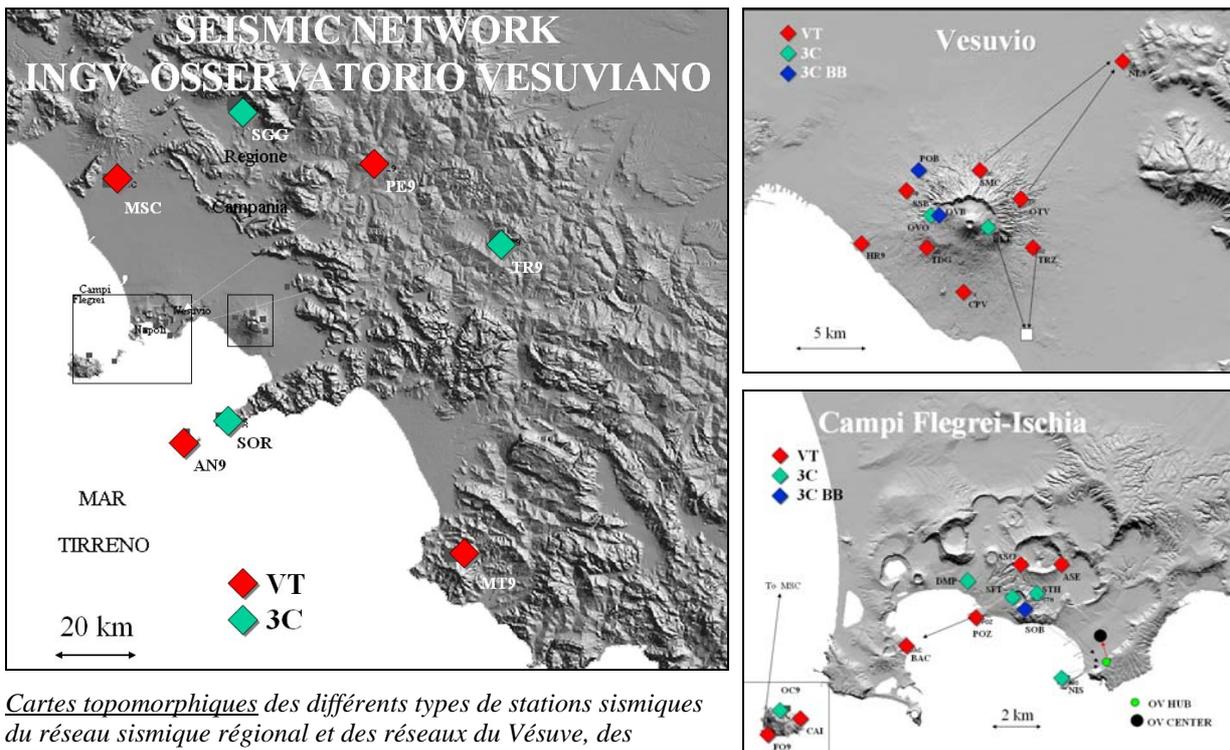
## 6.4. DISPOSITIF DE SURVEILLANCE

L'Osservatorio Vesuviano, s'il est l'observatoire volcanologique le plus ancien au monde, est aussi sans doute l'un des mieux équipés. Ces dernières années, grâce à la création de l'INGV, les moyens humains et matériels ont considérablement augmenté, ce qui s'est traduit par des innovations et développements technologiques et scientifiques tout à fait exceptionnels. Les dispositifs de surveillance que nous avons pu visiter sont en ce sens tout à fait remarquables.

### 6.4.1. Le réseau sismique

Le réseau sismique est bien entendu un élément clé du dispositif de surveillance. Il permet de suivre différents types de signaux sismiques : tectoniques, longue période (LP), très longue période (VLP), explosions, tremor. Composé de stations courtes périodes et large-bande, il comprend un réseau d'intervention mobile de 6 stations large-bande et 32 stations permanentes réparties en quatre sous-réseaux :

- Vésuve : 12 stations (7 sismomètres verticaux et 5 à 3 composantes) ;
- Champs Phlégréens : 10 stations (4 sismomètres verticaux et 6 à 3 composantes) ;
- Ischia : 3 stations (2 sismomètres verticaux et 1 à 3 composantes) ;
- Régional : 7 stations (3 sismomètres verticaux et 4 à 3 composantes).



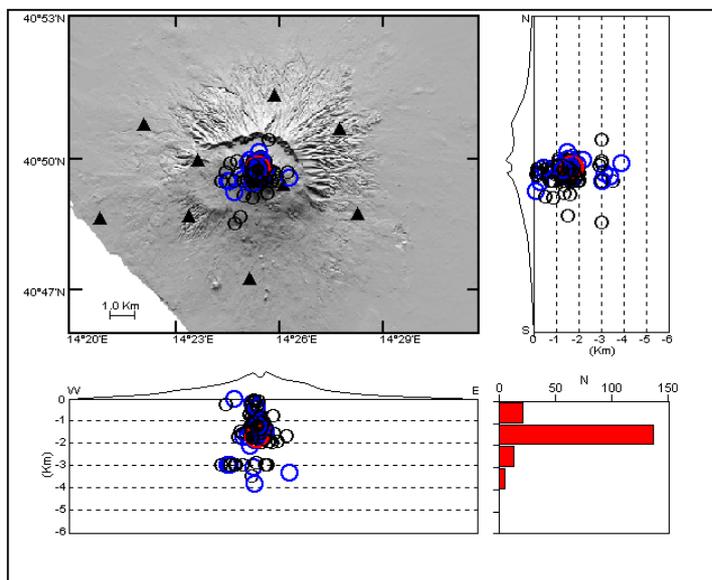
*Cartes topographiques des différents types de stations sismiques du réseau sismique régional et des réseaux du Vésuve, des Champs Phlégréens et d'Ischia.*

L'acquisition et les traitements des données sismiques reposent sur le dispositif suivant :

- filtrage et numérisation A/D ;
- échantillonnage des signaux à 100 Hz, 16 bits ;
- pointé automatique temps réel des phases P et localisation des hypocentres ;
- calcul de spectrogrammes, surveillance des signaux ;
- visualisation graphique continue des signaux ;
- archivage des données sous forme de fichiers (format SUDS).

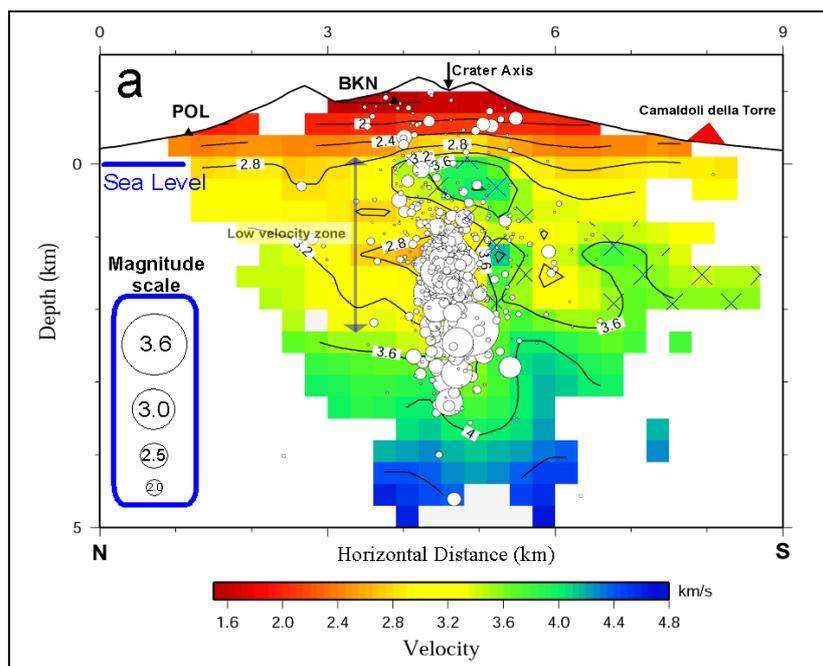


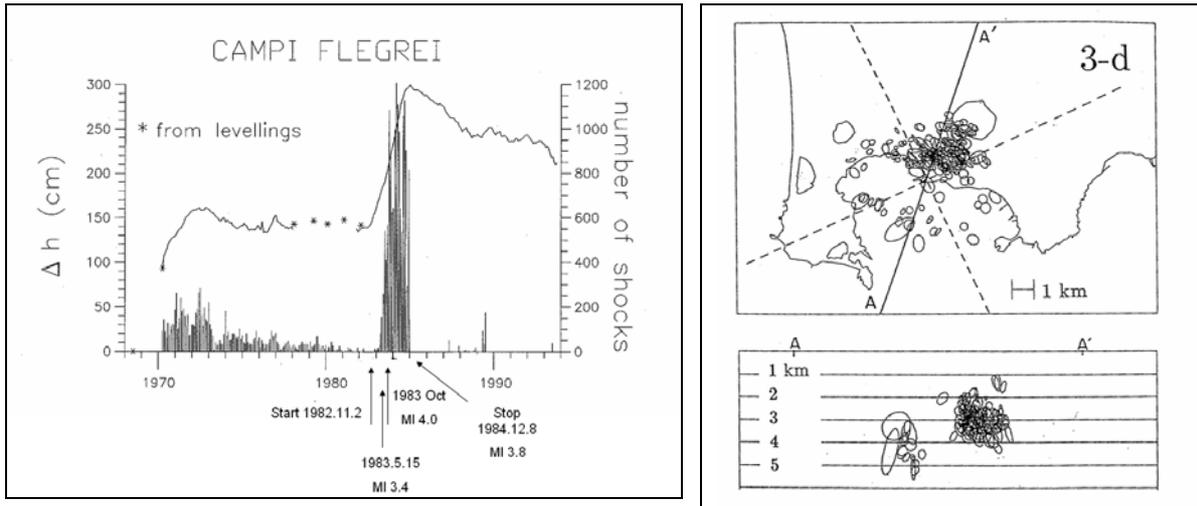
*Salle de surveillance sismique à l'OV. Chaque station est affichée en temps réel sur un écran individuel. Le passage du sismographe papier au « tout numérique » n'a ainsi aucun inconvénient en terme de visualisation.*



*Vésuve : Réseau sismique (triangles) et interprétation des résultats des enregistrements avec localisation des événements sismiques (cercles) en projection sur la surface et en profondeur.*

*Synthèse des données sismiques concernant les Vésuve : répartition des séismes en profondeur avec indication de leur amplitude. Les couleurs indiquent les caractéristiques des terrains déterminées par les vitesses de propagation des ondes sismiques.*

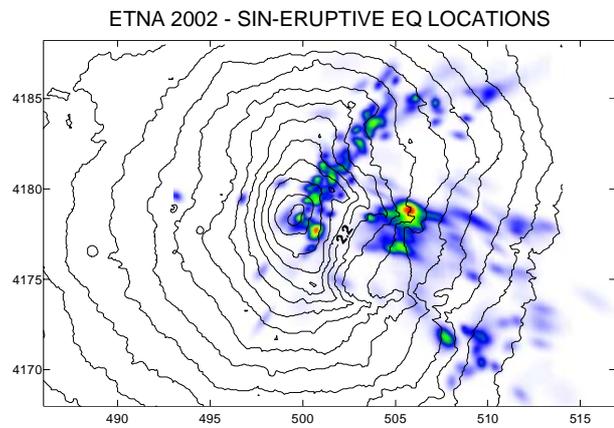




*Interprétation des résultats des données de levés topographiques  
et des événements sismiques pour les Champs Phlégréens entre 1970 et 2000.*

*La première figure indique la corrélation entre sismicité et soulèvement (1,8 mètre, voir ci-dessous) en 1984 ;  
la seconde indique la localisation des événements sismiques dans la même période, avec un foyer  
entre 2 et 4 km de profondeur centré sur la côte, et une ligne sismique SE-NW plus profonde (3 à 5 km).*

Le réseau permanent est complété par un parc de 6 stations large-bande (GURALP CMG-40T) utilisé pour le réseau d'intervention mobile.



Ci-dessus les récentes campagnes d'utilisation du réseau d'intervention, et un exemple d'application sur l'Etna : grâce à l'ajout de stations supplémentaires, les séismes liés à l'éruption de 2002-2003 ont pu être relocalisés par une méthode 3D probabiliste plus fine, et faire apparaître clairement le système de fracturation activé lors de l'éruption.

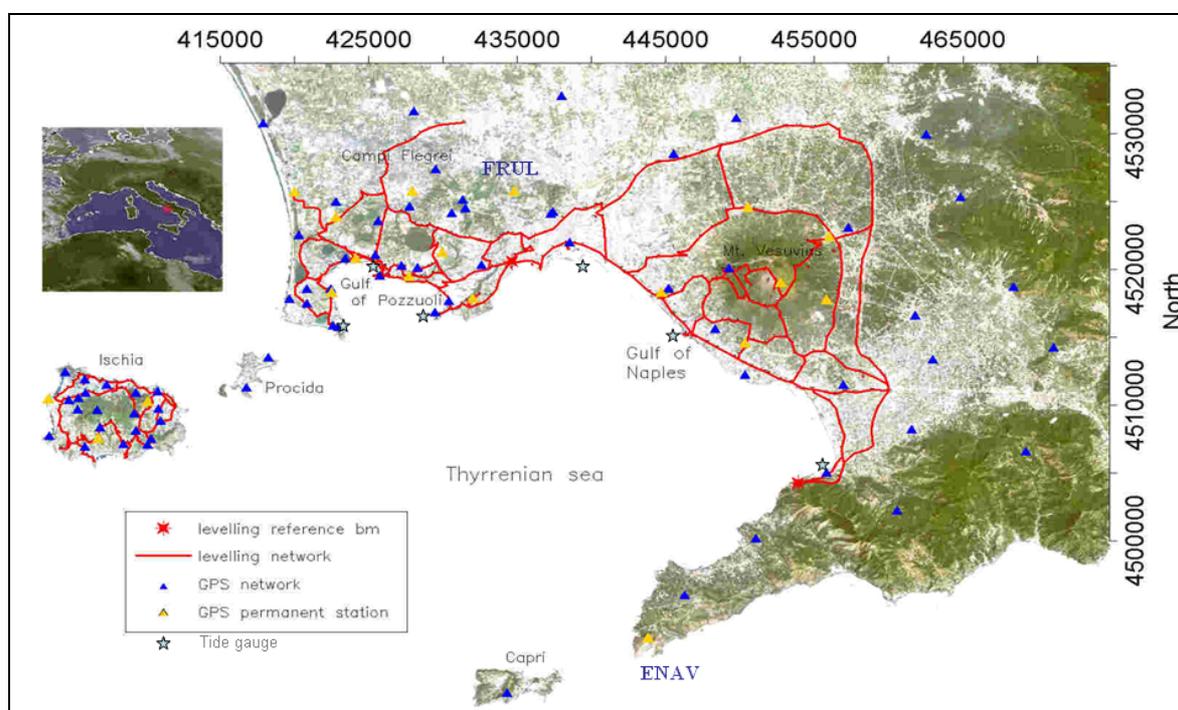
Malgré une instrumentation et un réseau finalement assez classiques, les points forts de la surveillance sismologique réalisée à l'Osservatorio Vesuviano sont de toute évidence :
 

- l'aspect visualisation des données numériques (cf photo salle de surveillance) ;
- l'exploitation temps-réel des données en terme de localisation, et notamment pour les LP et VLP issus des stations large-bande (procédé d'inversion unique) ;
- une évolution constante des modèles d'interprétation (notamment le modèle de vitesse), grâce à une équipe scientifique exploitant les données de façon soutenue (voir la liste impressionnante des publications).

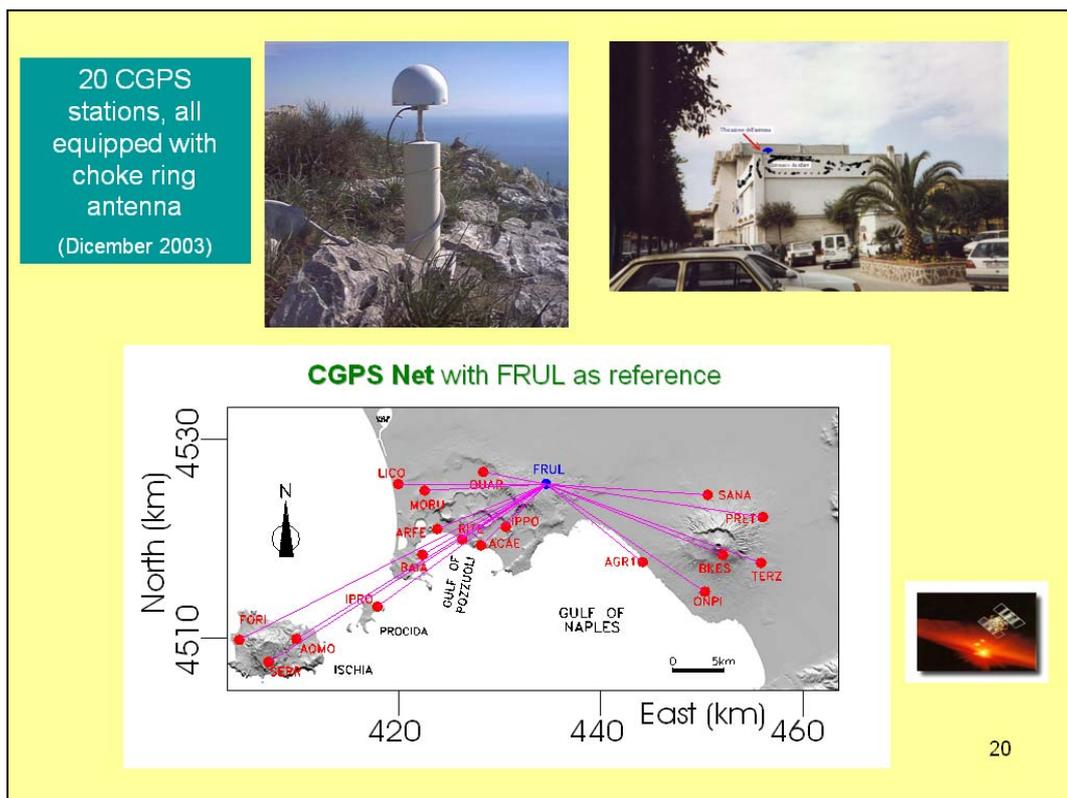
#### 6.4.2. Déformations

Les réseaux de surveillance des déformations comprennent toutes les grandes techniques disponibles pour obtenir une bonne densité spatiale et temporelle du champ de déformation avec une précision maximale. Ces réseaux sont constitués de :

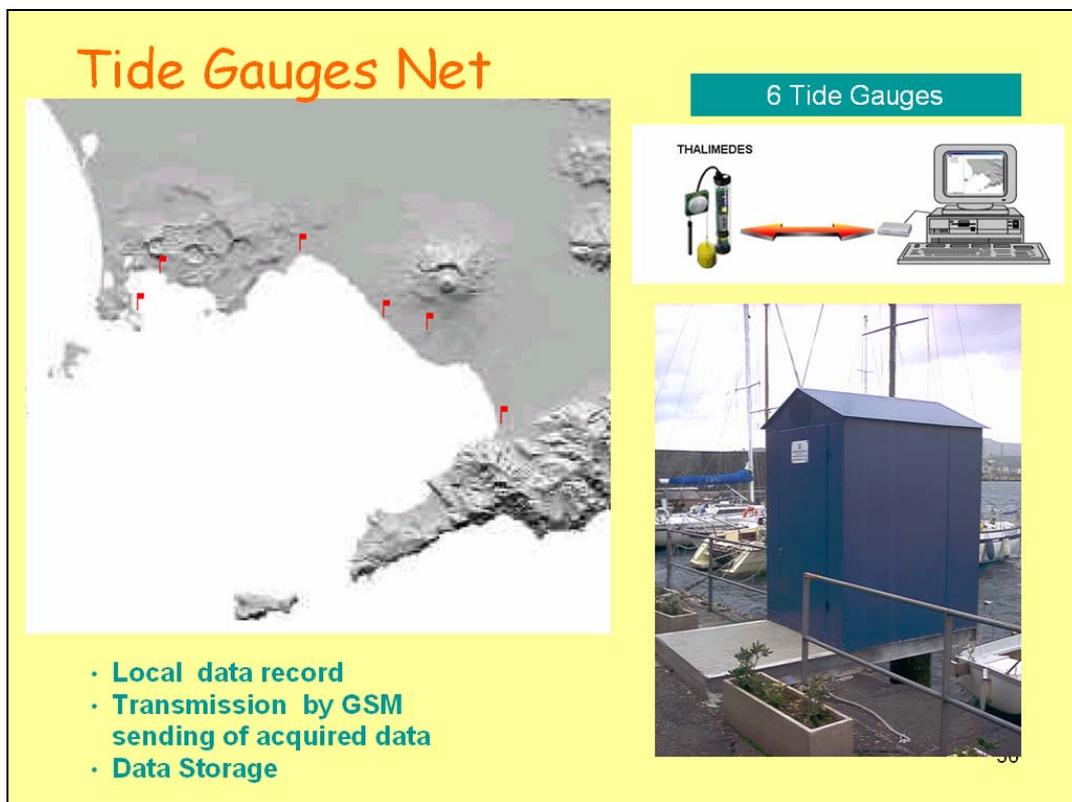
- Repères de nivellement (325 sur le Vésuve, 330 sur les Champs Phlégréens, 250 sur Ischia) : mesurés manuellement tous les ans environ, ils permettent un suivi des déplacements verticaux avec une précision de 0,5 mm.
- Repères de distancemétrie EDM (21 sur le Vésuve et 10 sur les Champs Phlégréens, dont 5 sur la Solfatara) : mesurés par trilatération tous les ans, ils assurent le suivi des composantes horizontales du déplacement, en complément indispensable des mesures de nivellement.
- Repères GPS (90 sur l'ensemble de la zone) : mesurés tous les ans par stationnement manuel, ils permettent une bonne couverture spatiale des déplacements 3D avec une résolution d'environ 5 millimètres.
- Stations GPS continu (4 sur le Vésuve, 8 aux Champs Phlégréens et 3 à Ischia) : traitées en temps-réel, ces données offrent une résolution millimétrique.
- Stations d'inclinométrie (3 sur le Vésuve, 5 aux Champs Phlégréens) : transmises en temps réel, ces stations installées en forage permettent la meilleure précision de mesure et donc le meilleur niveau de détection ( $10^{-8}$ ).
- Marégraphes (7 stations permanentes) : également transmis en temps réel, ils permettent un contrôle absolu des déplacements verticaux.
- Interférométrie radar (InSAR) : données mensuelles achetées et traitées régulièrement par des routines semi-automatiques ; cette technique permet d'observer, sous certaines conditions, des déplacements sub-millimétriques avec une forte densité spatiale.



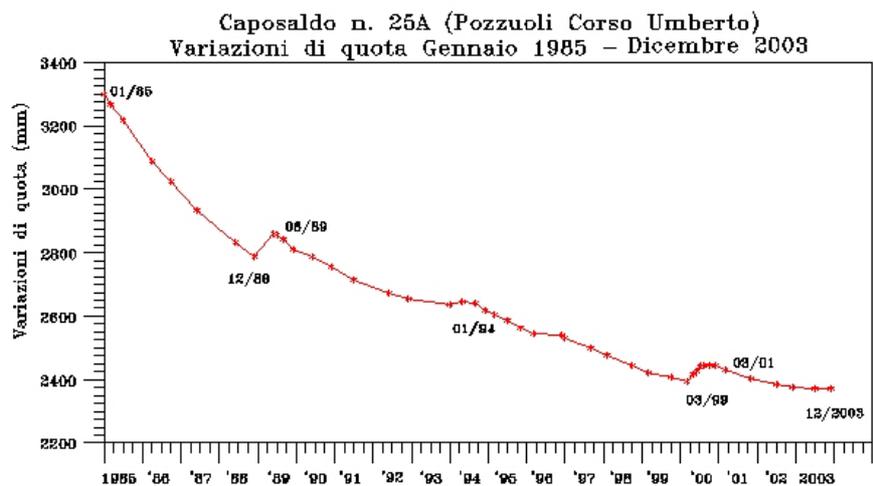
*Carte des réseaux de déformations (itinéraires de nivellement, stations GPS, EDM, marégraphes et inclinomètres) pour le Vésuve et les Champs Phlégréens.*



*Réseau de GPS continu.*

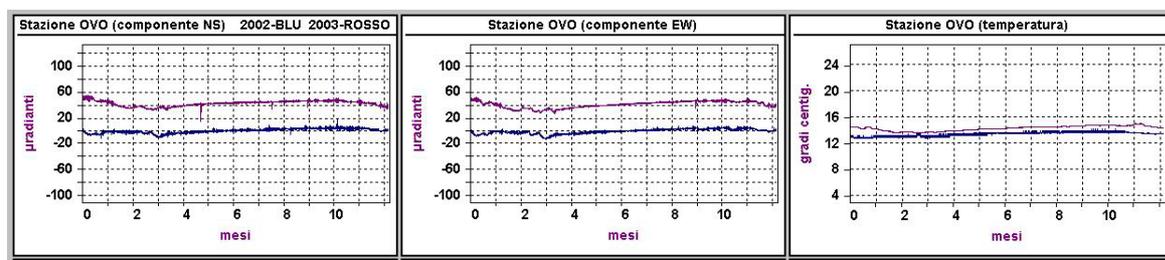


*Réseau de marégraphes permanents.*



*Le réseau de nivellement des Champs Phlégréens.*

On observe une subsidence régulière depuis 1985, avec toutefois de légers soulèvements en 1989, 1994 et 2001.  
NB : Entre 1982 et 1984, on a mesuré un soulèvement de 1,8 mètre, et 40.000 personnes ont été évacuées.



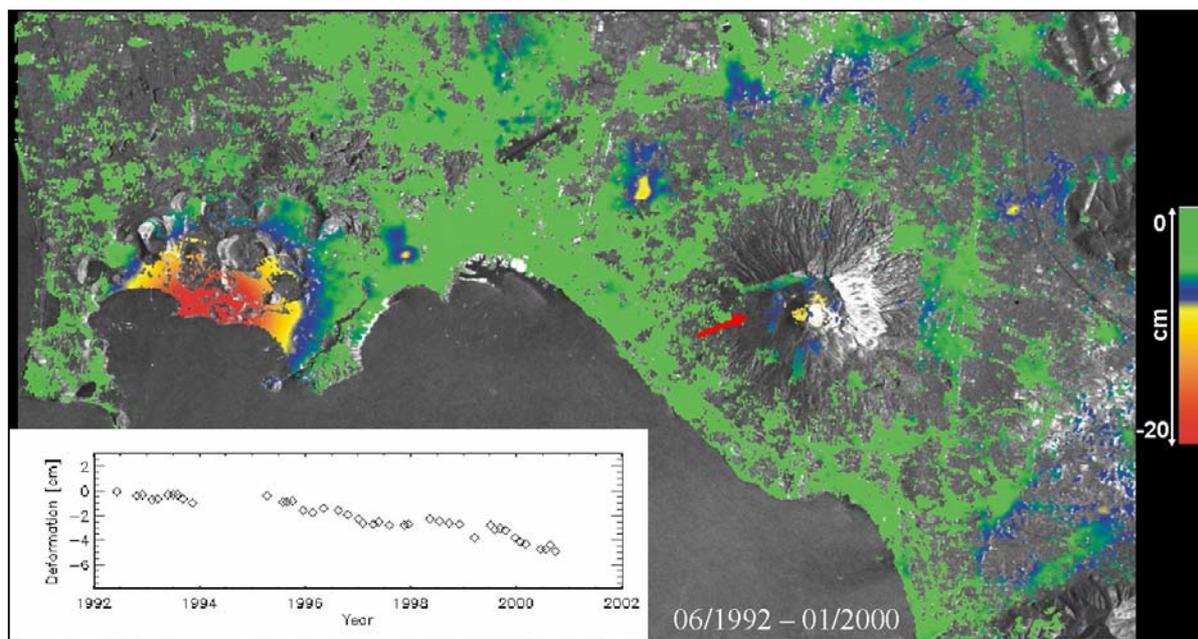
*Visualisation temps-réel des données inclinométriques.*

OVO est l'une des 3 stations permanentes installées sur les flancs du Vésuve.



*Salle de surveillance des déformations (inclinométrie et GPS continu).*

Les données sont transmises en temps réel et traitées pour visualisation immédiate.



*Interférogramme radar (InSAR).*

*On observe des déformations très visibles dans le centre des Champs Phlégréens ; outil de recherche, l'interférométrie radar est en passe de devenir un outil de surveillance opérationnel.*

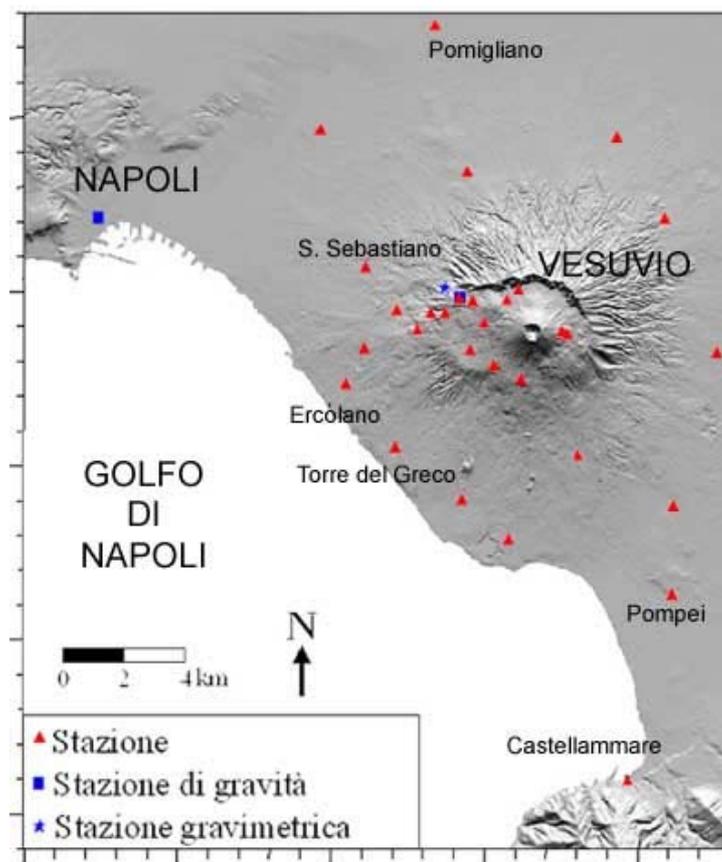
Le réseau de surveillance des déformations maintenu par l'Osservatorio Vesuviano présente les particularités suivantes :

- pratiquement tous les types de mesures existants sont réalisés ; ceci permet d'offrir une vision très globale des déformations du sol à différentes échelles spatiales, temporelles et à des niveaux de précision très différents et surtout complémentaires.
- Le calcul d'interférogrammes SAR en routine est un aspect innovant ; il faut noter que la zone de Naples et en particulier les Champs Phlégréens présentent de très bonnes conditions pour cela (forte cohérence due à une faible couverture végétale et une forte urbanisation).
- Le point faible est indéniablement l'absence de compilation de ces diverses données dans une optique de surveillance et l'absence de modélisation d'un niveau équivalent à ce qui est réalisé en sismologie (inversion de source en milieu 3D par exemple).

**6.4.3. Gravimétrie**

L'OV dispose également d'un réseau de répétition microgravimétrique. Celui-ci est constitué de 20 repères sur le Vésuve, 18 sur les Champs Phlégréens et 25 sur Ischia, mesurés tous les ans. Les repères coïncident pour la plupart avec les repères de nivellement, puisqu'un contrôle des variations d'altitude est obligatoire en microgravimétrie. Un gravimètre absolu est également installé dans l'observatoire historique.

Ce réseau est classique et a fait l'objet de plusieurs publications fort intéressantes, sur les Champs Phlégréens, mais ne présentant pas de particularité innovante.



*Carte du réseau gravimétrique du Vésuve.*



*Reale Osservatorio Vesuviano : Observatoire historique du Vésuve,  
point de référence des mesures gravimétriques absolues.*

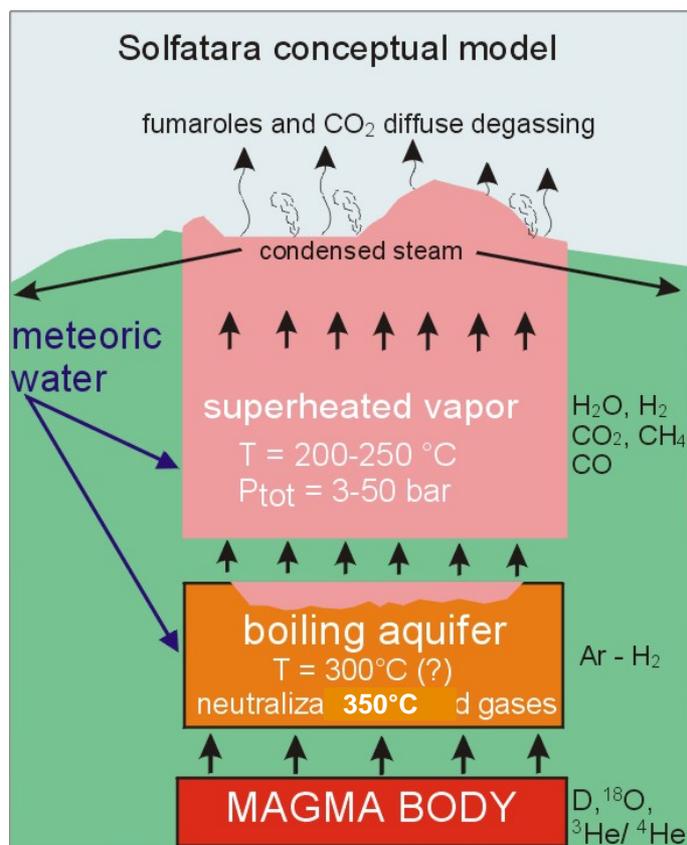
#### 6.4.4. Géochimie

Les mesures de géochimie sont réalisées par échantillonnage des gaz et des eaux, par des mesures de température, de composition chimique et isotopique. La surveillance se base sur les méthodes suivantes :

- analyses manuelles : gaz fumeroliens, gaz dissous, condensats fumeroliens, eaux, isotopes (oxygène, carbone, hélium et azote) ;;
- stations permanentes : flux de CO<sub>2</sub> et atmosphère, météorologie, infrarouge.



Stations automatiques permanentes de mesure de CO<sub>2</sub> à la Solfatara.



Modèle conceptuel du système hydrothermal de la Solfatara

Les principaux éléments du modèle conceptuel du système hydrothermal de Solfatara incluent :

- une source de chaleur (en rouge) constituée d'une chambre magmatique relativement superficielle (quelques kilomètres de profondeur) ;
- un aquifère à haute température (350°C) localisé au-dessus de la chambre magmatique (en orange) et qui dégaze par ébullition de la partie supérieure ;
- une zone fracturée superficielle (en rose) occupée par une phase vapeur (vapeur surchauffée) émise à partir de l'aquifère précédent.

Le modèle retenu, basé sur l'évolution des rapports CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O au cours du temps, indique une ré-alimentation en phases riches en CO<sub>2</sub> après chaque événement sismique.

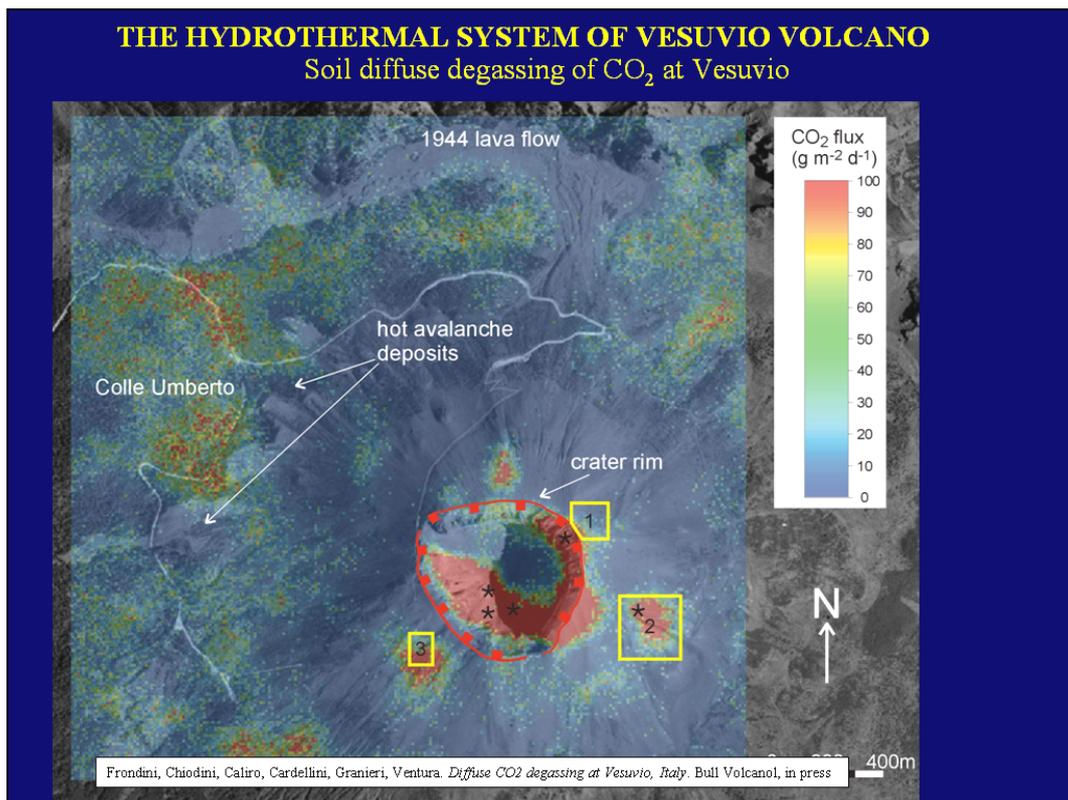
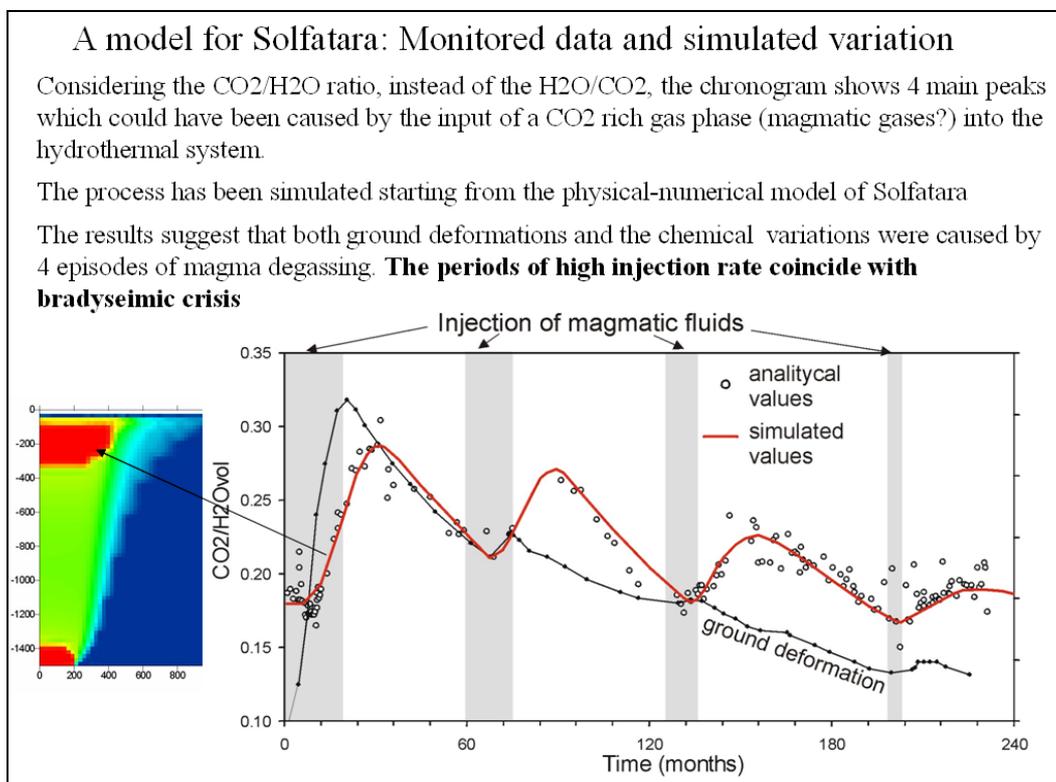


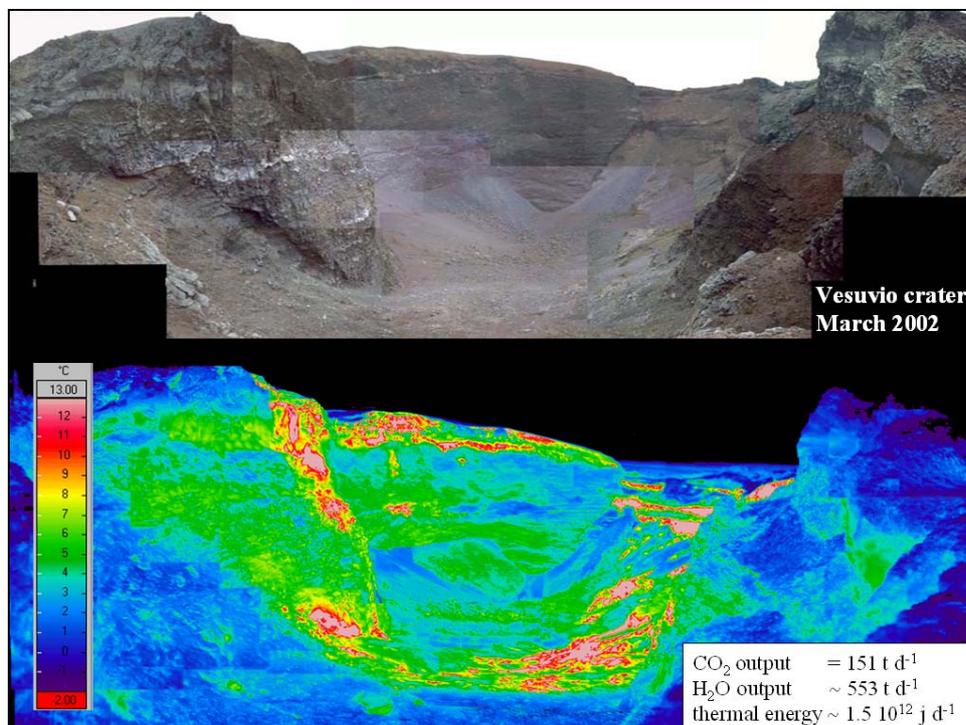
Image du dégazage diffus de CO<sub>2</sub> au Vésuve.



Modèle récent des phénomènes observés à la Solfatara (Chiodini et al.) : appuyées par des simulations numériques, les mesures de CO<sub>2</sub> et de déformations du sol sont expliquées d'une façon élégante et originale.

#### 6.4.5. Thermométrie infrarouge

Un dispositif de mesures télémétrées (TIIM : Thermal Infrared Imagery Monitoring) est installé depuis juillet 2004 et les mesures sont réalisées en continu sur le Vésuve, ainsi que sur la principale zone d'émanations des Champs Phlégréens.

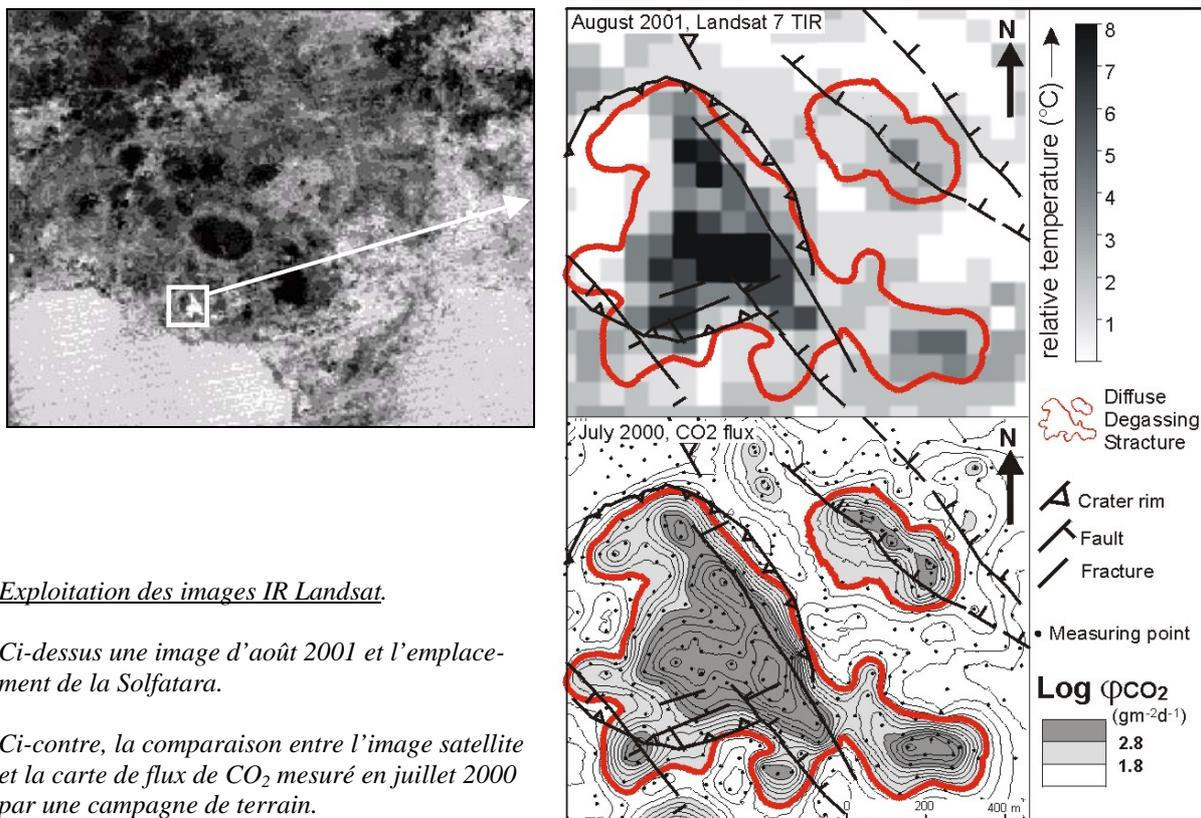


*Imagerie visible et infrarouge du cratère du Vésuve : mesure des émanations de CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O et estimation de l'énergie thermique libérée.*



*Système de surveillance en continu de la Solfatara par caméra infrarouge.*

Ce dispositif est complété également par l'analyse des télémesures satellites IR de type Landsat.



Exploitation des images IR Landsat.

*Ci-dessus une image d'août 2001 et l'emplacement de la Solfatarata.*

*Ci-contre, la comparaison entre l'image satellite et la carte de flux de CO<sub>2</sub> mesuré en juillet 2000 par une campagne de terrain.*

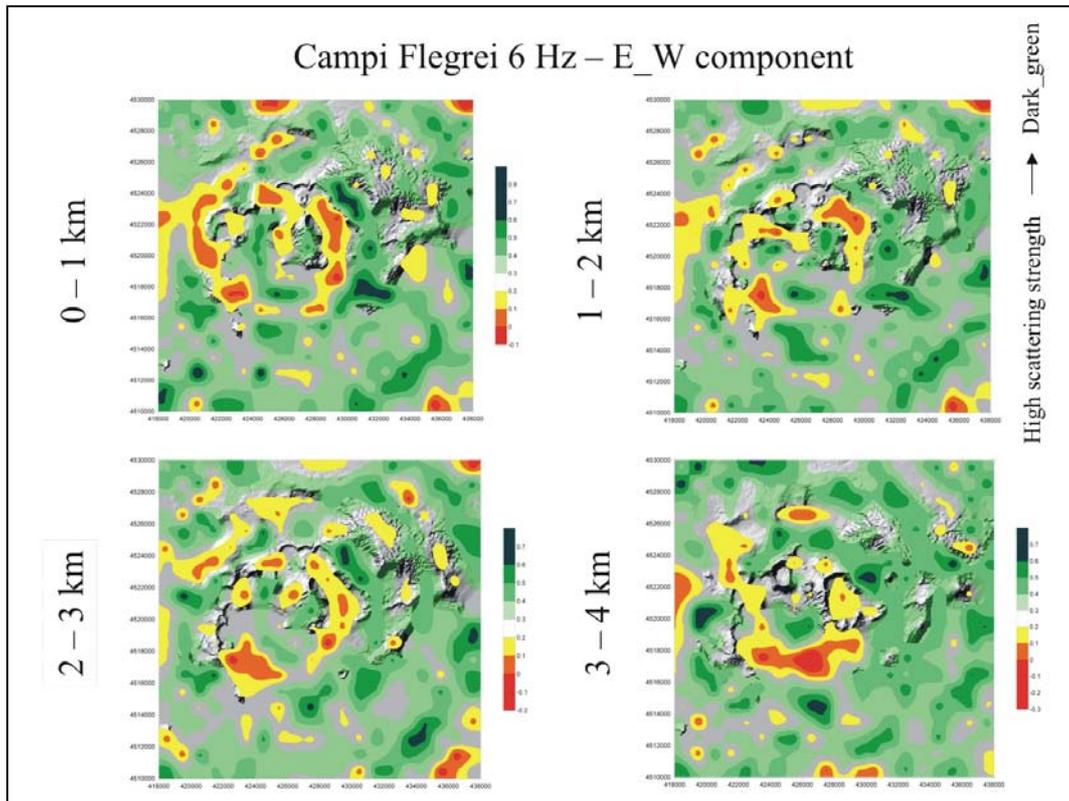
Les réseaux de mesures physico-chimiques nous apparaissent parmi les plus innovants de l'ensemble des techniques de surveillance de l'OV. La combinaison des analyses géochimiques classiques, de stations permanentes mesurant le flux de CO<sub>2</sub>, des mesures thermiques par infrarouge et d'une modélisation numérique de pointe font un ensemble des plus performants et parfaitement adapté à l'étude de ce type de volcanisme. Ils permettent d'estimer les flux de gaz et de chaleur émis par le volcan, de localiser spatialement les points d'émission et de suivre l'énergie thermique libérée par le système volcanique.

Ceci nous semble une approche indispensable pour aborder l'étude complexe des systèmes hydrothermaux.

**6.4.6. Sondages géophysiques**

- Les sondages géophysiques réalisés sont de trois types :
- tomographie sismique ;
  - magnéto-tellurique ;
  - géo-électrique.

Ci-dessous un exemple de résultats obtenus par tomographie sismique, notamment grâce à l'utilisation du réseau sismique d'intervention :



*Tomographie sismique aux Champs Phlégréens : distribution des hétérogénéités 3D.*

### Observation générale sur le dispositif de surveillance du Vésuve et des Champs Phlégréens

Il s'agit d'un dispositif très complet, bénéficiant des systèmes les plus à jour, du fait d'une activité de recherche et de modélisation extrêmement développée. Néanmoins, on s'étonne que la salle de centralisation des données reçoive aujourd'hui exclusivement les données sismiques et non les données des autres réseaux ou dispositifs de mesures. La synthèse des données pluridisciplinaires (en particulier la sismologie, les déformations et la géochimie constituant les principaux paramètres d'alerte) ne se fait qu'au niveau de l'exploitation scientifique des données (publications) et non en temps réel de façon semi-automatique.

## 7. Dispositif de gestion de crise : articulation entre Observatoire, Région et Etat

### 7.1. LE DISPOSITIF DE LA SECURITE CIVILE DE LA REGION CAMPANIE A NAPLES

Nous avons vu que des niveaux d'alerte avaient été établis conjointement entre l'INGV et les autorités de la Protection Civile, tant au niveau national à Rome qu'au niveau de la région Campanie à Naples. On retrouve d'ailleurs à Naples, comme à Rome, une salle d'opération fonctionnant 24h/24, disposant des mêmes systèmes d'information, avec :

- systèmes de vidéo-conférences,
- centre d'appel téléphonique de 150 lignes étendu à 1000 lignes en période de crise,
- système de télésurveillance, en temps réel, des parties du territoire à risque (68 télé cameras),
- 22 postes opérationnels du réseau LAN,
- 3 postes cartographiques connectés en ligne avec le SITerritorial de protection civile,
- des connections directes avec les centres météo, hydro-pluviométriques,
- des connections directes avec les centres INGV (OV) pour accès direct aux données des réseaux de surveillance des activités volcaniques et sismiques.

### 7.2. L'ALERTE : SEUILS ET RESPONSABILITE DE L'INGV

En fonction des niveaux d'alerte, les actions à prendre par l'OV vis-à-vis de la Protection Civile sont résumées dans le tableau ci-dessous :

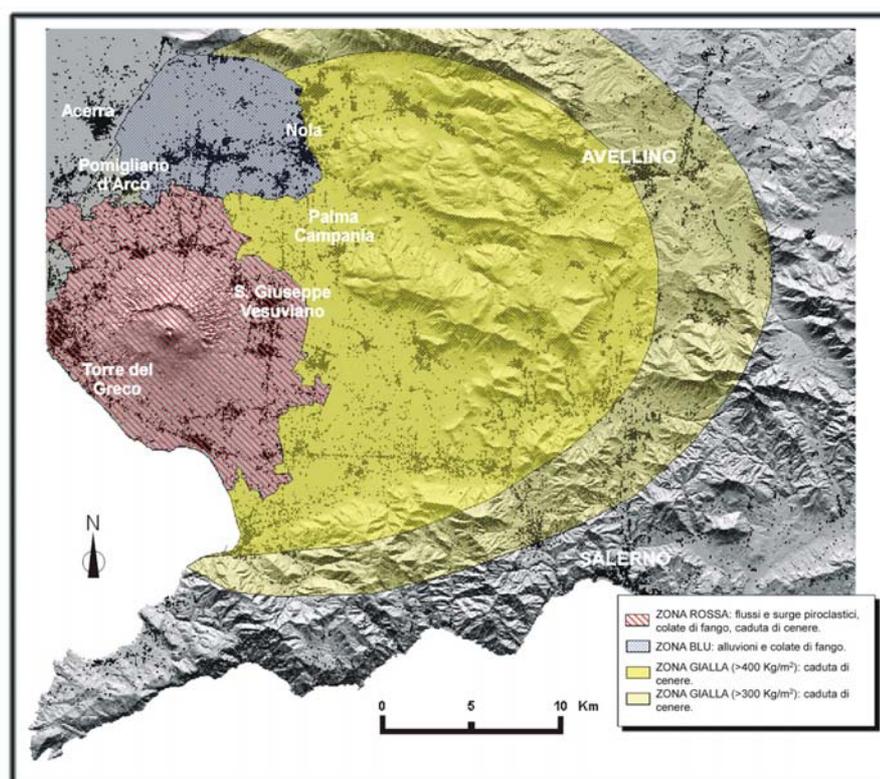
LIVELLI DI ALLERTA					
LIVELLI DI ALLERTA	STATO DEL VULCANO	PROBABILITÀ DI ERUZIONE	TEMPO DI ATTESA ERUZIONE	AZIONI	COMUNICAZIONI
Base	Nessuna variazione significativa di parametri controllati	Molto bassa	Indefinito, comunque non meno di diversi mesi	Attività di sorveglianza secondo quanto programmato	L'Osservatorio Vesuviano produce bollettini semestrali sull'attività del vulcano
Attenzione	Variazioni significative di parametri controllati	Bassa	Indefinito, comunque non meno di alcuni mesi	Stato di allerta tecnico scientifico ed incremento dei sistemi di sorveglianza	L'Osservatorio Vesuviano quotidianamente produce un bollettino e comunica le informazioni sullo stato del vulcano al Dipartimento della Protezione Civile
Preallarme	Ulteriori variazioni di parametri controllati	Media	Indefinito, comunque non meno di alcune settimane	Continua l'attività di sorveglianza, simulazione dei possibili fenomeni eruttivi	L'Osservatorio Vesuviano comunica continuamente le informazioni sullo stato del vulcano al Dipartimento della Protezione Civile
Allarme	Comparsa di fenomeni e/o andamento di parametri controllati che indicano una dinamica pre-eruttiva	Alta	Da giorni a mesi	Sorveglianza con sistemi remoti	L'Osservatorio Vesuviano comunica continuamente le informazioni sullo stato del vulcano al Dipartimento della Protezione Civile

Nous avons vu que l'INGV était doté d'un système d'astreinte 24h/24, et était tenu d'avertir la Protection Civile en temps réel. Nous avons également vu que la Protection Civile, tant au niveau national à Rome qu'au niveau régional à Naples, était également tenue par un dispositif d'astreinte 24h/24. Les actions entreprises par la Protection Civile en réponse à l'alerte ont été décrites dans le chapitre 2.

### 7.3. VULNERABILITE ET MESURES DE PREVENTION

Le premier plan de crise de 1995 était basé sur l'éruption de référence de 1671, qui avait dévasté la partie méridionale au voisinage du Vésuve, mais non la partie Nord. Les travaux de modélisation réalisés depuis, qui prennent en compte les données statistiques de météorologie et un modèle de panache de 30 km de hauteur, ont amené à réviser les périmètres, et à étendre les zones à risque au nord du Vésuve.

Actuellement, les travaux italiens portent sur l'éruption « la plus probable », ce qui amène à prendre en compte les données de l'éruption de 1671 (de type « sub-plinienne »), mais aussi les données des éruptions pliniennes historiques, dont les risques d'occurrence ne sont pas nuls. Dans les deux cas, outre les pluies de cendres, on doit prendre en compte les émissions de coulées pyroclastiques et de lahars, qui donnent des résultats très semblables en terme de risques (particulièrement dévastateurs).



*Carte des zones de risques pour le Vésuve. On y distingue :*  
*la zone rouge, affectée par des coulées pyroclastiques, des coulées de boues (lahars) et des pluies de cendres ;*  
*la zone bleue, affectée par des alluvions et des coulées de boues (pas d'émission à haute température) ;*  
*la zone jaune, affectée par des pluies de cendres, avec deux sous-ensembles, l'un à plus de 400 kg/m<sup>2</sup>,*  
*et l'autre à plus de 300 kg/m<sup>2</sup>.*

Les travaux italiens portent aussi sur les séquences des éruptions, leur chronologie et leur durée. On distingue ainsi :

- une phase d'ouverture, phréato-magmatique, d'une durée de quelques minutes à quelques heures, affectant une zone limitée (10 à 20 km<sup>2</sup>) ;
- une phase convective de la colonne éruptive, qui est la phase paroxysmale en terme d'extension (surface affectée de 200 à 300 km<sup>2</sup>), avec éruption de cendres, mais pas encore de pyroclastites et émission de trémors ; sa durée se compte en heures.

- la phase paroxysmale en terme de risque destructif, caractérisée par la formation de coulées pyroclastiques, de coulées de débris, avec tremblements de terre violents, et tsunamis induits. Elle se compte également en heures.
- la phase de récession se caractérise par les événements phréato-magmatiques et les coulées de boues et lahars, notamment en cas de pluviosité élevée. Cette phase se compte en jours, en mois ou même en années concernant les coulées de boues, qui sont liées aux phénomènes hydro-météorologiques.

#### Sequence of events of the MEE (Santacroce et al. 1998)

Eruptive phase	Phenomena	Duration	Area interested (km <sup>2</sup> )
Phreatomagmatic opening	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Multiple explosions</li> <li>• Medium and strong earthquakes</li> <li>• Ballistic ejection (2-3 km from the vent)</li> <li>• Downwind ash fallout</li> </ul>	From minutes to hours	10- 20
Convective eruptive column	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formation eruptive column (12-15 km)</li> <li>• Ash and lapilli fallout</li> <li>• Ballistic ejection (3-5 km from the vent)</li> <li>• Continuous tremor</li> </ul>	Hours	200-300
Emplacement of pyroclastic flows	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unstable eruptive column – column collapse</li> <li>• Formation pyroclastic flows and surges</li> <li>• Possible structural collapse of the upper cone</li> <li>• Strong earthquakes</li> <li>• landslide and debris flows</li> <li>• tsunami</li> </ul>	Hours	50
Phreatomagmatic waning	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Explosions due to magma-water interaction in the conduit</li> <li>• fallout of ash and mud</li> <li>• heavy rains, lahars, floods</li> <li>• isolated earthquakes</li> </ul>	From days to months	50-100

#### 7.4. LES ACTIVITES EDUCATIVES DE L'OV

Comme l'ensemble de l'INGV auquel il appartient, l'OV assure une tâche permanente de formation, d'information et d'éducation (brochures, site Internet...). Il gère notamment un musée permanent à Ercolano, qui reçoit 10.000 étudiants par an (du lundi au vendredi) et est ouvert au grand public le samedi et le dimanche (2.000 visiteurs par an).

#### 7.5. REDUCTION DES RISQUES : LES TRAVAUX D'ETUDES DE VULNERABILITE ET DE ZONAGES EN COURS

Les travaux de Giulio Zuccaro et de Maria Teresa Pareschi qui nous ont été présentés montrent les progrès en cours en terme d'études de vulnérabilité. Les premiers portent sur les biens des personnes, en liaison avec les caractéristiques des bâtiments. Ils montrent l'importance des couvertures et des ouvertures. Des mesures peuvent être prises pour réduire le risque.

Sous l'impulsion de Franco Barberi, la région Campanie s'est mise depuis un an à s'intéresser au problème de la réduction des risques. Les mesures prises portent notamment sur les points suivants :

- réduction du nombre d'habitants dans la zone rouge (où l'on compte un grand nombre de constructions illégales) ;
- aide à la conversion de logements permanents en « bed & breakfast » ;
- mise en place d'un fonds de lutte contre les constructions illégales ;
- interdiction formelle de toute construction nouvelle dans la zone rouge ;
- développement de la viabilité (élargissement des routes) ;
- investissement de 600 M€ en travaux de prévention.

## **7.6. PROBLEMES RESTANT A RESOUDRE**

En conclusion de la journée d'exposés organisée à l'OV, F. Barberi nous a fait part des questions qui restent à résoudre pour mieux affronter le risque volcanique :

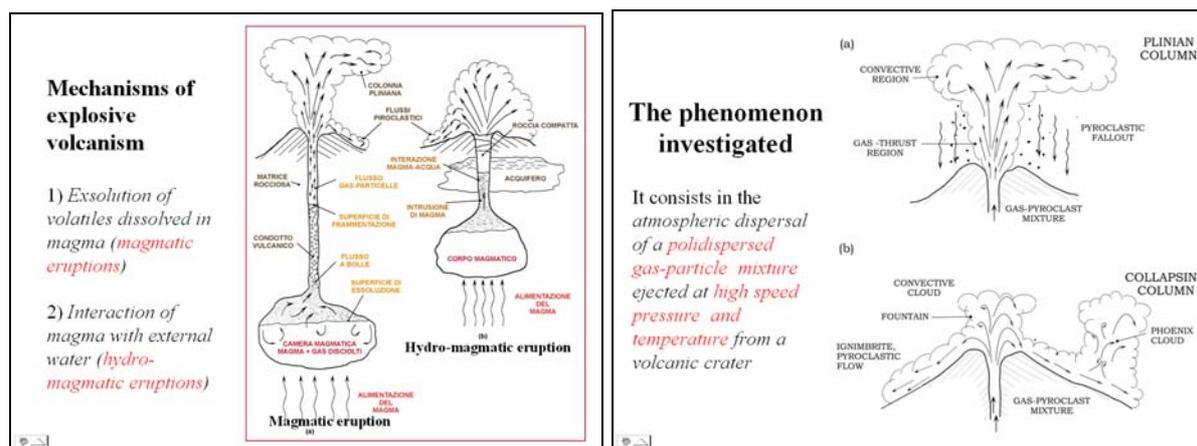
- 1) *Réussir à rapatrier et disposer en temps réel de toutes les données* (de toute origine : BD existantes, données de mesures au sol, météo, satellites...) sur un même site : c'est un challenge en matière de NTIC, mais aussi en terme d'acquisition préalable, et de normes d'inter-opérabilité.
- 2) *Connaître les signaux précurseurs et gérer l'alerte* : saurons-nous prévoir l'événement ? Comment fixer des seuils d'alerte précis ? Comment être en mesure d'évaluer l'évolution des processus ? Comment savoir si le système observé est réversible ou non
- 3) *Accepter le risque d'informer* : il vaut mieux développer l'information préalable de tous, faire connaître aussi les difficultés de la prévision, de façon à savoir gérer aussi la fausse alarme. Le parti pris est d'accepter la fausse alarme, plutôt que de risquer le manque d'alarme.

## 8. Les innovations italiennes en matière d'étude de vulnérabilité et de gestion de crise

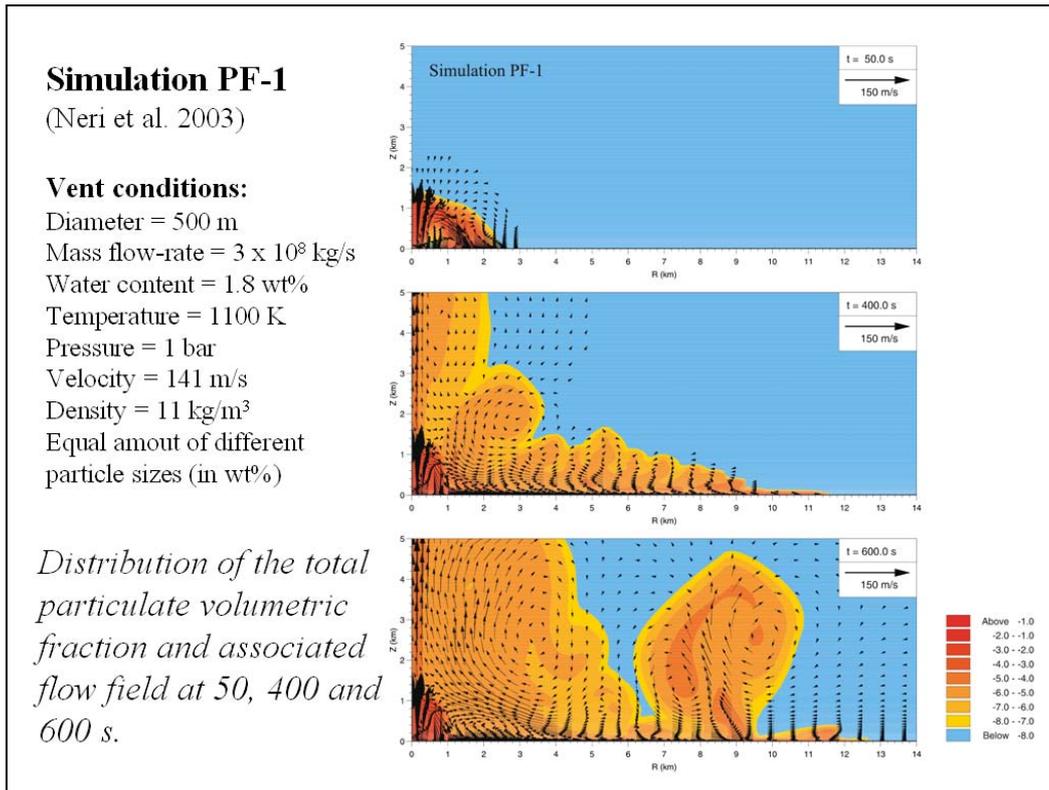
Au total, la concentration des moyens scientifiques opérée dans le cadre de l'INGV depuis plus de dix ans, le recrutement de scientifiques de premier plan, la création d'une atmosphère de travail orienté vers le service du bien commun et l'excellence, avec une forte interaction avec les autorités civiles en charge des politiques de prévention et de protection au niveau national, régional et local ont permis non seulement de mettre en place un dispositif opérationnel efficace, mais aussi d'assurer un transfert rapide des résultats de la recherche vers le service public.

Il n'est pas possible de détailler toutes ces innovations. Nous retiendrons seulement quelques exemples :

- l'exploitation des données sismiques larges bandes pour la cartographie 3-4D des mouvements magmatiques et phréatiques, application à la localisation temps-réel des sources sismiques sur le Stromboli (travaux menés en partenariat avec Bernard Chouet, USGS) ;
- l'utilisation des données d'interférométrie radar en routine pour la mesure et la connaissance de la cinématique des déformations ;
- la géochimie en temps réel (TIIM) basée sur des modèles conceptuels permettant une interprétation prévisionnelle des données ;
- la modélisation des processus volcaniques et la simulation des propriétés et systèmes magmatiques, de la dynamique de remontée des magmas, de la dynamique des panaches volcaniques et des retombées, qui sont en train de passer en modèles 3D (travaux de Augusto Neri) ;
- les travaux de simulation de l'effet des éruptions pour le génie civil et la construction ;
- les systèmes d'information géographiques assemblant les données d'occupation des sols et les travaux de cartographie spécifiques (M.T. Pareschi) ;
- la constitution d'un réseau sismique d'intervention très efficace, permettant d'installer à la demande des autorités locales un réseau de qualité (stations large-bande) pour compléter les réseaux permanents.



Analyse des mécanismes responsables des éruptions explosives  
et description des caractéristiques à étudier des phénomènes destructeurs induits.



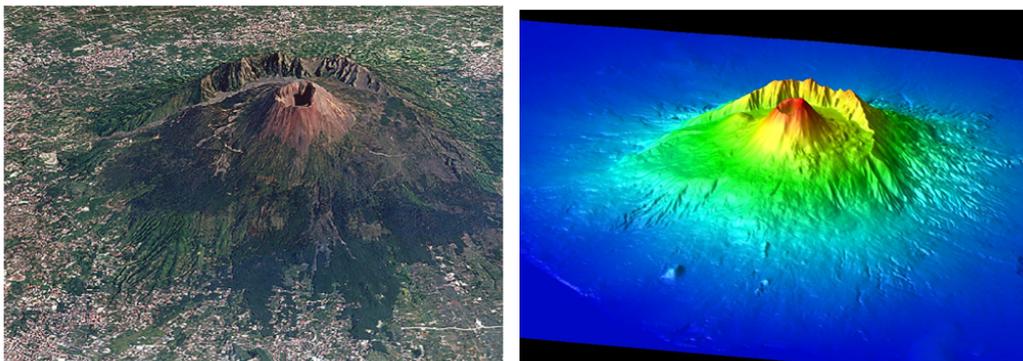
*Simulation de nuée ardente en milieu bi-phasique (gaz + particules).*

The next step:

**To extend the multiphase flow simulation to 3D**

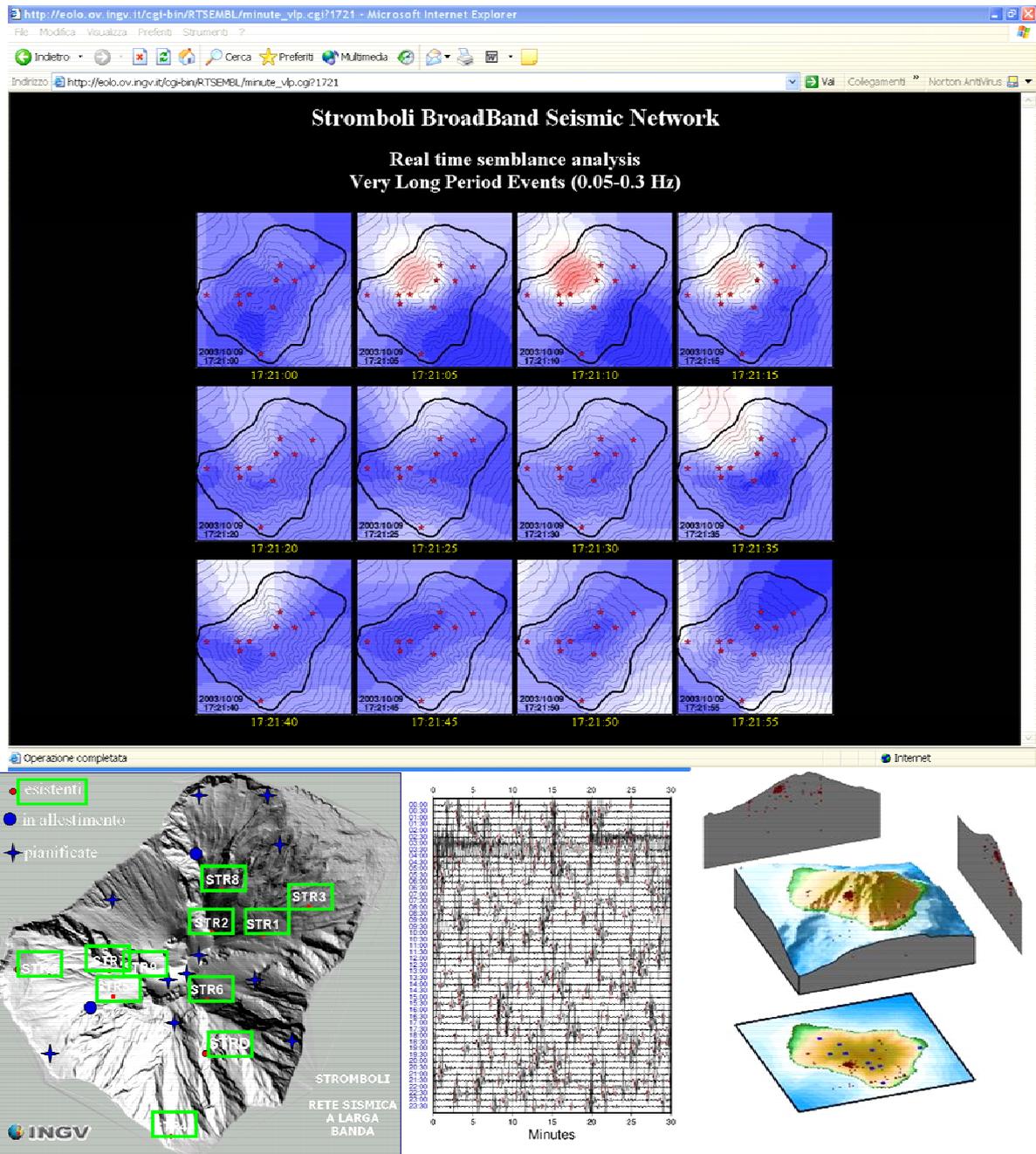
This possibility has required the development of a **new parallel code** able to exploit the computing power of modern supercomputers (simulation time of the order of **weeks** by using **128 processors**)

**First results of scalability tests were presented at CCP04 last month**



(DEM from Pareschi et al. 2002)

*Après avoir exploré les modèles multiphases en 2-D, la prochaine étape des recherches des équipes italiennes est la simulation 3-D des coulées pyroclastiques, tenant compte de la topographie et permettant le croisement avec les informations géographiques de vulnérabilité.*



*L'un des développements innovants les plus spectaculaires des équipes de l'INGV :  
la localisation temps-réel des sources de signaux LP sur le Stromboli.*

## 9. Conclusions, recommandations

Parmi les quelques exemples de gestion du risque volcanique accessibles aux « retours d'expérience » organisés par le CSERV, l'Italie présente l'avantage de la proximité géographique et culturelle. En outre, la recherche scientifique comme le service public de surveillance et de prévention des risques a fait dans ce pays des progrès fulgurants ces dix dernières années.

Au delà du simple retour d'expérience, objet de cette mission CSERV et de ce rapport, la proximité géographique, le contexte européen, et notamment les programmes (de recherche, d'environnement et interrégionaux) de la Commission fournissent des opportunités à saisir pour développer un partenariat actif.

### 9.1. AU PLAN SCIENTIFIQUE

Nous avons souligné au chapitre précédent quelques-unes des percées scientifiques les plus remarquables des équipes italiennes en matière de recherches appliquées à la gestion du risque volcanique :

- a) l'exploitation des données sismiques larges bandes pour la cartographie 3-4D des mouvements magmatiques et phréatiques ;
- b) l'utilisation des données d'interférométrie radar pour la mesure et la connaissance de la cinématique des déformations ;
- c) la géochimie en temps réel (TIIM) basée sur des modèles conceptuels permettant une interprétation prévisionnelle des données ;
- d) la modélisation des processus volcaniques et la simulation des propriétés et systèmes magmatiques, de la dynamique de remontée des magmas, de la dynamique des panaches volcaniques et des retombées, qui sont en train de passer en modèles 3D ;
- e) les travaux de simulation de l'effet des éruptions pour le génie civil et la construction ;
- f) les systèmes d'information géographiques rassemblant les données d'occupation des sols et les travaux de cartographie spécifiques.

Le cadre des programmes européens, qu'ils soient de recherche (6<sup>e</sup> & 7<sup>e</sup> PCRD) ou plus opérationnels (Interreg, Life...) devrait être beaucoup mieux mis à profit pour développer des approches communes franco-italiennes, et viser non seulement au *développement des échanges dans le cadre de réseaux et de plates-formes*, mais aussi à *une organisation beaucoup plus intégrée de la gestion des risques rares (comme les risques sismiques ou volcaniques)*.

## 9.2. AU PLAN DES METHODES DE SURVEILLANCE ET DE PREVENTION ET DE L'ARTICULATION EXPERTISE – DECISION

- a) Si les aléas font l'objet en Italie de programmes de recherche, et d'infrastructures de surveillance particulièrement avancés, la vulnérabilité est aussi un domaine d'investissement important, avec le développement de systèmes de cartographie numérique détaillés, prenant en compte l'ensemble des données humaines (implantations résidentielles, voies d'accès, moyens de transports, etc.). *De tels programmes déjà développés en France dans le cadre Interreg (région de Nice-Vintimille pour le risque sismique) devraient inspirer nos travaux à venir, notamment aux Antilles.*
- b) Les systèmes de recueil et de gestion de l'information italiens sont conçus « en ligne », avec un accès direct à l'écran, en temps réel, dans les centres nationaux et régionaux de la sécurité civile, de l'ensemble des données des observatoires. A l'amont du simple accès à l'information, *cela implique un certain partage préalable des connaissances entre observatoires scientifiques et administrations gestionnaires. De telles évolutions devraient être examinées en France aussi.*
- c) Egalement intéressante pour nous est l'expérience très originale développée en Italie en matière de *préparation des populations à la crise* :
- travail éducatif approfondi à l'égard des enfants des écoles des zones concernées ;
  - transformation de résidences principales en gîtes ruraux pour réduire la population permanente dans les zones à risque sans les désertifier ;
  - jumelages entre villages menacés par les risques et villes d'autres régions d'Italie, au titre de la solidarité entre régions (sous forme active, avec invitation régulière des classes dans les écoles et des enfants dans les familles).

## 9.3. AUTRES RECOMMANDATIONS A CARACTERE INSTITUTIONNEL

- a) L'organisation générale du système de gestion des risques naturels en Italie offre un modèle dont on pourrait utilement s'inspirer, notamment avec la mise en place de groupes d'experts spécialisés dans les différentes catégories de risques (volcanique, sismique, mouvements de terrains, feux de forêts...), pour aider à la décision publique. *Cela reviendrait à dupliquer les comités de type CSERV pour les autres catégories de risques.*
- b) Le mode de financement du système de surveillance et de prévention pourrait également être une source intéressante d'inspiration pour les choix budgétaires en France. Si les centres italiens de surveillance sismique et volcanique sont partiellement pris en charge au titre de la recherche, c'est au titre du budget de la sécurité civile que sont financés les systèmes opérationnels pour la décision publique. *Un tel choix dans la commande publique présente l'avantage de rendre les services des observatoires beaucoup plus opérationnels.*
- c) Enfin, compte tenu de l'expérience exceptionnelle de *Franco Barberi*, aujourd'hui professeur à l'Université de Rome 3, hier secrétaire d'Etat aux risques majeurs, francophone, on ne peut que recommander qu'il soit *invité comme membre du CSERV* à l'occasion de son renouvellement prochain.

## 10. Bibliographie et documents reçus

### 10.1. NOTES, BROCHURES ET DOCUMENTS GENERAUX

- INGV : dépliant de présentation
- INGV : la sismicita in Italia e in Campania... Conosciamo i terremoti della nostra regione. Dépliant OV
- INGV : l'Osservatorio Vesuviano : ricerca scientifica, sorveglianza, divulgazione. Dépliant OV
- INGV : I vulcani attivi in Campania. Dépliant OV
- Regione Campania. Settore Protezione Civile. Sala operative regionale unificata. Dépliant Regione Campania
- Regione Campania. Settore Protezione Civile. Controllo del territorio. Dépliant Regione Campania

### 10.2. RAPPORTS ET DOCUMENTS TECHNIQUES, ADMINISTRATIFS ET GRAND PUBLIC SUR LES RISQUES

- INGV (2004) : Piano Triennale d'Attività 2004-2006, 200 p.
- Dipartimento della Protezione Civile : Elementi di base per la pianificazione nazionale di emergenza dell'area Flegrea. Rapport, 18 p. + Carte, 2001
- Dipartimento della Protezione Civile : Proposta di aggiornamento della pianificazione nazionale d'emergenza dell'area vesuviana. Rapport, 55 p., 2001

### 10.3. SITES WEB SUR LES RISQUES NATURELS EN ITALIE

- Dipartimento della Protezione Civile (DPC)  
<http://www.protezionecivile.it/index.php>
- Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV)  
<http://www.ingv.it/>
- Osservatorio Vesuviano (OV)  
<http://www.ov.ingv.it/>

### 10.4. CD-ROMS ET CASSETTES

- « Un viaggio attraverso la terra » (INGV)
- Dossiers et documents grand public et pédagogiques sur les risques volcaniques et sismiques
- Carta Geologica del Vesuvio. Provincia di Napoli, 2000
- Carta Geologica dell'isola d'Ischia, CNR, 1986
- « Vesuvio : 2000 anni di osservazioni ». Brochure du Dt. de la Protection Civile, 2000, 36 p.
- « Il Vesuvio negli occhi » Storie di osservatori. L.Civetta et al., INGV, 2004, 48 p.
- « I vulcani Napoletani : pericolosità e rischio. » Osservatore Vesuviano, 2001, 48 p.

- « Dicchi e Pomix alla scoperta dei vulcani : Un viaggio fantastico. » INGV, brochure (36 p.) et jeu de l'oie
- « Se arriva il terremoto », ouvrage INGV à l'usage des écoles
- Cartes géologiques, guides d'excursions, et autres
- Geology and volcanism of Stromboli, Lipari, and Vulcano (Aeolian islands). Field trip guide book P42, 32nd International Congress, Florence, 2004, 40 p.
- The Napolitan active volcanoes (Vesuvio, Campi Flegrei, Ischia): science and impact on human life. Field trip guide book B28, 32nd International Congress, Florence, 2004, 44 p.
- Volcanic activity at Mt. Etna (Sicily). Field trip guide book P32, 32<sup>nd</sup> International Congress, Florence, 2004, 16 p.

## 10.5. NOTES ET PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

- F.Beauducel et al. (2004) – 3-D Modelling of Campi Flegrei Ground Deformation: Role of Caldera Boundary Discontinuities. – *Pure Appl. Geophys.*, 161, p. 1329-1344.
- A.B.Clarke et al. (2002) – Transient dynamics of vulcanian explosions and column collapse. – *Nature*, 415, p. 897-901.
- Di Muro et al. (2004) – Contemporaneous convective and collapsing eruptive dynamics : the transitional regime of explosive eruptions. – *Geoph. Res. Letters*, 31, L10607, 4 p.
- A.Neri and G.Macedonio (1996) – Physical modeling of collapsing volcanic columns and pyroclastic flows. – in : *Monitoring and mitigation of volcano hazards*, Scarpa/Tilling ed., Springer Verlag, p. 389-427.
- T.E.Ongaro et al. (2002) – Pyroclastic flow hazard assessment at Vesuvius (Italy) by using numerical modeling. II Analysis of flow variables. – *Bull. Volc.*, 64, p. 178-191.
- M.T.Pareschi et al. (2000) – May 5, 1998, debris flows in circum-Vesuvian areas (southern Italy) : Insight for hazard assessment. – *Geology*, 28/7, p. 639-642.
- M.T.Pareschi et al. (2002) – Volcaniclastic debris flows in the Cliano Valley (Campania, Italy): insight for the assessment of hazards potential. – *Geomorphology*, 43, p. 219-231.
- S.M.Petrazzuoli & G.Zuccaro (2003) – Structural resistance of reinforced concrete buildings under pyroclastic flows: a study of the Vesuvian area. – *J.V.G.R.*, 133, p. 353-367.
- L.Picarelli (2003) – Fast slope movements prediction and prevention for risk mitigation. – Patron Ed., Bologna.
- R.J.S.Spence et al. (2004) – Resistance of buildings to pyroclastic flows: analytical and experimental studies and their application to Vesuvius. – *Natural Hazards Review*, ASCE, p. 50-59.
- R.J.S.Spence et al. (2004) – Building vulnerability and human casualty estimation for a pyroclastic flow: a model and its application to Vesuvius. – *J.V.G.R.*, 133, p. 321-343.
- M.Todesco et al. (2002) – Pyroclastic flow hazard assessment at Vesuvius (Italy) by using numerical modeling. I. Large-scale dynamics. – *Bull. Volc.*, 64, p. 155-177.
- G.Zanchetta et al. (2004) – Characteristics of May 5-6, 1998 volcaniclastic debris flows in the Sarno area (Campania, southern Italy): relationships to structural damage and hazards zonation. – *J.V.G.R.*, 133, p. 377-393.
- G.Zanchetta et al. (2004) – Volcaniclastic debris flows in the Clanio valley (Campania, southern Italy). – in : *Fast slope movements prediction and prevention for risk mitigation*, Patron Ed., Bologna.
- G.Zuccaro & D.Ianniello (2004) – Interaction of pyroclastic flows with building structures in an urban settlement: a fluid-dynamic simulation impact model. – *J.V.G.R.*, 133, p. 345-352.