

IESO 2026 TURIN
ÉPREUVE ÉCRITE 2 — LA TERRE QUI S'ÉLÈVE
Risque et surveillance dans une caldeira active

Durée : 80 minutes • Questions : 35 • Score : 35 points • Lire toutes les données avant de répondre. Une seule réponse correcte par question.

SECTION A : SYSTÈME VOLCANIQUE ET BRADYSEISME — Questions 1–9

Les Campi Flegrei (CF) constituent une zone volcanique active à l'ouest de Naples, comprenant les communes de Bacoli, Monte di Procida, Pozzuoli, Quarto, Giugliano in Campania et une partie de la ville de Naples. Le nom, issu du grec signifiant « champs brûlants », reflète la nature volcanique de la zone et la présence de nombreuses fumerolles et sources thermales, connues et exploitées depuis l'Antiquité.

Contrairement au Vésuve, les CF ne forment pas un édifice volcanique unique mais un champ volcanique composé de plusieurs zones éruptives et d'une dépression appelée caldeira. La caldeira résulte de l'effondrement répété du toit de la chambre magmatique peu profonde à la suite de sa vidange lors d'au moins deux grandes éruptions : l'éruption de l'Ignimbrite Campanienne (Ignimbrite Campana, IC, il y a 40 000 ans) et le Tuff Jaune Napolitain (Tufo Giallo Napoletano, TGN, il y a 15 000 ans). L'événement IC est l'événement connu ayant libéré le plus d'énergie en Méditerranée : une quantité énorme de cendres a été dispersée dans l'atmosphère, affectant le climat à l'échelle régionale et probablement mondiale.

L'histoire éruptive post-TGN comprend au moins 70 éruptions qui se sont produites durant trois époques d'activité (il y a 15 000–10 600 / 9 600–9 200 / 5 500–3 800 ans) séparées par de longues périodes de calme et de déflation. La dernière éruption, en 1538, a produit le cône de scories de Monte Nuovo.

La zone des Campi Flegrei subit une déformation lente du sol appelée bradyséisme (« mouvement lent du sol »). L'enregistrement historique a été reconstitué grâce au Serapeo de Pozzuoli, un marché romain des Ier–IIe siècles après J.-C. : les perforations de mollusques marins (lithodomes) à différentes hauteurs sur les trois colonnes restantes enregistrent les oscillations du sol par rapport au niveau de la mer au cours des siècles. Certains événements plus récents (tous sans éruption) sont :

- la crise de 1969–1972, avec une surrection maximale d'environ 170 cm ;
- la crise de 1982–1984, avec une surrection d'environ 185 cm en 2,5 ans (environ 40 000 personnes évacuées) ;
- la période actuelle (2005 – toujours en cours aujourd'hui), surrection ~110 cm mesurée jusqu'en 2024.



[Figure 1: Serapeo de Pozzuoli — à droite : perforation de lithodomes]

Tableau 1 — Paramètres des bradyséismes 2020–2024

Année	Surrection (cm/an)	Séismes (nombre/an)	Profondeur moyenne de l'hypocentre (km)	T des fumerolles (°C)	Surrection cumulée depuis 2005 (cm)
2020	~8	~850	2.8	~95	~65
2021	~10	~1,200	2.9	~98	~75
2022	~11	~1,800	3.1	~102	~86
2023	~12	~2,400	3.3	~106	~98
2024	~12	~2,680	3.5	~110	~110

Question 1

En analysant les données 2020–2024 du Tableau 1, quelle relation entre la surrection du sol et la sismicité est la mieux étayée?

- A. La surrection du sol a augmenté tandis que la sismicité n'a montré aucune tendance à long terme.
- B. La surrection du sol a augmenté tandis que la sismicité est restée approximativement constante.
- C. La surrection du sol et la sismicité ont toutes deux montré une tendance générale à la hausse.
- D. La sismicité a augmenté plus rapidement que la surrection du sol.

Question 2

Lors de la crise de 1982–84, la surrection a atteint environ 90 cm/an sans éruption, tandis que le taux actuel de surrection est d'environ 12 cm/an. Quelle conclusion est la mieux étayée par ces observations ?

- A. Des taux de surrection plus élevés indiquent une éruption imminente.
- B. Des taux de surrection plus faibles indiquent un système volcanique en déclin.
- C. La déformation du sol n'est pas suffisante pour prévoir une éruption.
- D. La déformation du sol est suffisante pour prévoir une éruption.

Question 3

Le bradyséisme aux Campi Flegrei résulte d'interactions entre les systèmes terrestres. Quelle interprétation explique le mieux ces interactions ?

- A. Les processus de la géosphère entraînent la circulation de fluides hydrothermaux, qui influence le dégazage en surface et les émissions atmosphériques.
- B. Les processus de la géosphère sont principalement contrôlés par la tectonique régionale, avec une influence limitée des fluides hydrothermaux.
- C. Les processus atmosphériques entraînent la circulation hydrothermale, qui à son tour contrôle la déformation du sol.
- D. La circulation des fluides hydrothermaux contrôle la formation du magma, qui entraîne la déformation du système volcanique.

Question 4

Les mesures GPS montrent que le sol se déplace simultanément vers le haut et vers l'extérieur dans toutes les directions, avec un déplacement maximal au centre (Rione Terra). Ce schéma de déformation est le plus cohérent avec :

- A. Une source de pression en profondeur qui s'étend dans toutes les directions.
- B. Un effondrement progressif du plancher de la caldeira vers son centre.
- C. Une compression régionale produisant une surrection uniforme à travers la caldeira.
- D. Un déplacement tectonique régional affectant l'ensemble de la région de Campanie.

Question 5

L'activité post-TGN a produit des éruptions intenses à différentes époques, séparées par de longues périodes de calme. Un volcanologue doit évaluer l'état actuel du système. Quelle interprétation est la mieux étayée par les données géologiques ?

- A. Le bradyséisme actuel aux CF permet de prédire précisément le moment de la prochaine éruption.
- B. Les époques passées indiquent que la réactivation future suit un cycle prévisible.
- C. L'absence actuelle d'éruptions démontre l'épuisement progressif du réservoir magmatique.
- D. L'absence actuelle d'éruptions n'indique pas que les CF sont éteints.

Question 6

Avant l'éruption de Monte Nuovo (1538), une forte surrection du sol a été observée, suivie d'une subsidence pendant l'éruption. Quel processus explique le mieux cette séquence ?

- A. L'accumulation de matériaux éruptifs a créé le nouveau mont, qui s'est ensuite enfoncé plus profondément par isostasie.
- B. La pression exercée par du matériel intrusif avant l'éruption a été libérée lorsque le magma a été émis.
- C. La recharge progressive de la chambre magmatique a provoqué une surrection suivie d'une contraction lorsque le magma s'est déplacé vers une plus grande profondeur.
- D. Le mouvement tectonique régional a d'abord soulevé puis abaissé le plancher de la caldeira.

Question 7

Sur la base des informations fournies sur les crises bradyséismiques récentes aux Campi Flegrei, quel scénario représente le plus grand risque socio-géologique même sans éruption ?

- A. Dégâts sur les bâtiments et les infrastructures dus à des séismes répétés.
- B. Inondation des infrastructures côtières, telles que le port voisin de Pozzuoli.
- C. Accumulation locale de gaz volcaniques toxiques (CO₂, H₂S).
- D. Instabilité locale des pentes après de fortes précipitations.

Question 8

Sur la base des données de surveillance présentées, quelle combinaison d'observations indiquerait une transition vers un état de crise volcanique plus élevé ?

- A. Déformation du sol plus lente, sismicité croissante avec des hypocentres plus profonds.
- B. Déformation du sol stable, sismicité constante, avec formation de nouvelles failles en surface.
- C. Accélération de la déformation du sol, augmentation de la sismicité, changements dans la composition des gaz fumerolliens.
- D. Réduction de la déformation, augmentation de la sismicité superficielle et augmentation de la quantité de gaz fumerolliens.

Question 9

Sur la base de l'histoire éruptive décrite ci-dessus, quel pourrait être le fonctionnement de l'ensemble de la caldeira des Campi Flegrei ?

- A. Une localisation superficielle d'un bassin magmatique qui se déplace verticalement grâce à la plasticité des couches sus-jacentes.
- B. Un nouveau réservoir magmatique indépendant dont l'énergie augmente lentement.
- C. Un point chaud qui reçoit périodiquement une influence des profondeurs du manteau.
- D. Une source primaire profonde de magma qui transfère périodiquement du matériel vers des réservoirs plus superficiels.

SECTION B : SURVEILLANCE MULTIPARAMÉTRIQUE — Questions 10–18

Le tableau suivant présente certains des paramètres les plus pertinents qui sont surveillés en continu par les réseaux de l’Institut national de géophysique et de volcanologie (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - INGV).

Tableau 2 - Tableau de référence (données principales).

sites (INGV)	Stations de sismologie : 27 sites ;	
	Réseau du système géodésique : GPS/inclinomètres/marégraphes/InSAR* ;	
	Stations de géochimie : 6 sites ;	
	Réseau marin MEDUSA (Monitoring Enel Ultramarine Data for Archaeological/Volcanic Sites) ; Pisciarelli (station sismique+acoustique)	
*Le GPS (Global Positioning System) : antennes fixes au sol qui mesurent les mouvements horizontaux et verticaux du sol au millimètre près.		
*Inclinomètres : capteurs insérés dans de petits puits qui mesurent l'inclinaison du sol. Ce sont des capteurs très sensibles : ils détectent si le sol « gonfle » ou « se dégonfle ».		
*Marégraphes : capteurs positionnés le long de la côte qui mesurent le niveau de la mer. Lorsque Pozzuoli monte et descend, le niveau relatif de la mer sur la côte change ; les marégraphes historiques et modernes suivent ce mouvement.		
*InSAR (Satellite Interferometry Radar) : utilisation de satellites spatiaux qui « scannent » les Campi Flegrei depuis le dessus. En comparant les passages radar au fil du temps, ils créent des cartes visuelles de la déformation de l'ensemble de la caldeira à l'échelle du millimètre.		
Paramètre	Valeur / Donnée	Domaine
Magnitude typique	M 0,5–2,5 (max historique M 4,7 : 31/07/2026)	Sismicité
Profondeur hypocentrale	0,5–4,0 km (tectonique > 5 km)	Sismicité
Fréquence dominante	1–5 Hz, longue période (tectonique > 10 Hz)	Sismicité
Système hydrothermal	jusqu'à ~3 km ; 350–400 °C à 2,5–3 km	Fluides
Zone sismique principale	3–4 km	Sismicité
Niveaux d'alerte	VERT / JAUNE / ORANGE / ROUGE - actuel : JAUNE	Protection civile
Dégazage	fumerolle T 95→110 °C; H ₂ O 78.5→74.8%; CO ₂ et SO ₂ en augmentation ; séquence de solubilité CO ₂ →SO ₂ →H ₂ O	Géochimie

Question 10

La surveillance récente montre que les périodes d’augmentation de la sismicité de basse fréquence coïncident avec une intensification de la circulation des fluides hydrothermaux et une augmentation de l’activité des fumerolles. Les séismes d’origine volcanique aux Campi Flegrei ont typiquement des fréquences de 1–5 Hz, tandis que les séismes tectoniques dépassent généralement 10 Hz. Quelle interprétation explique le mieux ces observations en termes d’interactions entre les systèmes terrestres ?

- A. La tectonique régionale est dominante par rapport aux séismes d’origine volcanique.
- B. L’infiltration d’eau de mer dans les fractures réduit la friction et génère des séismes de plus faible magnitude.
- C. Les processus atmosphériques interagissant avec l’activité fumerollienne augmentent la fluidité du magma.
- D. Les interactions entre la géosphère et les fluides hydrothermaux génèrent des ondes sismiques de plus longues périodes.

Question 11

La transition fragile-ductile (Brittle-Ductile-Transition) dans la caldeira des Campi Flegrei se situe à une profondeur exceptionnellement faible, entre 2,5 et 3,5 km, où la température de la roche atteint environ 350 °C - 400 °C, au niveau inférieur du système hydrothermal (voir les Tableaux 1 et 2 pour plus de détails). La plupart des séismes aux CF se produisent en général à une profondeur hypocentrale de 3–4 km. Quelle interprétation explique le mieux ces observations ?

- A. Les roches sous le système hydrothermal sont plus ductiles, donc elles se fracturent moins souvent.
- B. Les explosions de vapeur produites par le système hydrothermal génèrent les séismes les plus profonds.
- C. La température de la roche a peu d'influence sur le déclenchement des séismes.
- D. La surveillance de surface ne peut pas détecter les séismes au sein du système hydrothermal en raison de son effet tampon sur les ondes.

Question 12

Récemment, après des centaines de micro-séismes ($M < 2$) en quelques heures, un événement de $M 3,2$ s'est produit. Quelle est l'interprétation la plus plausible dans la situation des Campi Flegrei ?

- A. Migration possible de fluides qui accumule des contraintes avec une fracturation progressive.
- B. Une séquence typique de répliques précédant un événement principal antérieur.
- C. Une détection instrumentale d'un mouvement profond du magma avant la mise en place de la fracture principale.
- D. Une activité ordinaire (bruit de fond) pour une zone volcanique.

Question 13

La surveillance aux Campi Flegrei indique des relations entre la surrection du sol, la circulation des fluides hydrothermaux, le dégazage et les essais sismiques. Quelle rétroaction explique le mieux ces observations ?

- A. Le dégazage réduit progressivement la circulation des fluides hydrothermaux et la déformation sismique.
- B. Une boucle de renforcement progressif du dégazage, de la circulation des fluides et de la déformation.
- C. Le dégazage supprime progressivement la surrection du sol, ce qui diminue positivement la pression interne.
- D. Les processus de surface tels que le dégazage du magma réduisent progressivement la pression en profondeur et limitent les séismes.

Question 14

Les options ci-dessous correspondent à la description des quatre niveaux d'alerte. Sur la base des informations de surveillance présentées pour les Campi Flegrei, quelle description correspond le mieux au niveau d'alerte actuel ?

- A. Paramètres d'une activité ordinaire (bruit de fond) : la surveillance de routine est maintenue.
- B. Accélération significative de plusieurs paramètres : conditions potentiellement pré-éruptives.
- C. Persistance d'anomalies pour différents paramètres : surveillance intensifiée et pré-alerte civile.
- D. Paramètres au-dessus d'une activité ordinaire (bruit de fond) : surveillance intensifiée mais aucune mesure activée.

Question 15

Pour la surveillance des Campi Flegrei, quelle association paramètre=information est la plus appropriée ?

- A. Sismologie=déformation du sol ; géodésie=circulation des fluides ; géochimie=fracturation des roches.
- B. Sismologie=surrection du sol ; géodésie=fracturation des roches ; géochimie=température des fumerolles.
- C. Sismologie=fracturation des roches ; géodésie=déformation du sol ; géochimie=composition des fluides.
- D. Sismologie=mouvement du magma ; géodésie=activité sismique ; géochimie=composition des gaz fumerolliens.

Question 16

Lors de la crise des Campi Flegrei de 1982–84, la profondeur hypocentrale moyenne a augmenté d'environ 1,5 à environ 2,8 km. Quelle interprétation est la mieux étayée par ces observations ?

- A. Le système hydrothermal a migré dans des roches plus froides et plus profondes.
- B. La zone de fracturation fragile s'est étendue à de plus grandes profondeurs à mesure que la pression augmentait.
- C. L'amélioration de la surveillance sismique a détecté des séismes qui étaient auparavant passés inaperçus.
- D. La subsidence régionale a progressivement abaissé les hypocentres des séismes.

Question 17

L'infrastructure marine MEDUSA dans le golfe de Pozzuoli enregistre la déformation du fond marin dans la partie immergée de la caldeira. Quelles informations supplémentaires fournit-elle par rapport au réseau de surveillance terrestre ?

- A. Elle distingue les mouvements verticaux des mouvements horizontaux du sol.
- B. Elle détermine la direction des courants marins profonds influençant l'infiltration phréatique.
- C. Elle améliore la reconstitution de la géométrie et de la localisation de la source de pression.
- D. Elle mesure directement les changements de température du magma sous la caldeira.

Question 18

À la station sismique et acoustique de Pisciarelli, la détection de phases de surrection du sol s'accompagne de la modification de la circulation des fluides et de la libération de gaz. Quelle description explique le mieux la rétroaction observée ?

- A. La libération de gaz réduit progressivement la pression et supprime toute déformation supplémentaire.
- B. L'augmentation de température de surface réduit la pression en profondeur, limitant la remontée du magma.
- C. La surrection du sol stimule la circulation des fluides et le dégazage.
- D. Le dégazage de surface et la pression en profondeur sont des processus indépendants.

SECTION C : GÉOCHIMIE ET DÉGAZAGE — Questions 19–25

Tableau 3 — Composition des gaz fumerolliens (Solfatara di Pozzuoli)

Année	H ₂ O (%)	CO ₂ (%)	SO ₂ (%)	CO ₂ /SO ₂
2020	78.5	17.8	2.1	8.5
2021	77.2	19.1	2.3	8.3
2022	76.0	20.5	2.6	7.9
2023	75.2	21.8	3.1	7.0
2024	74.8	22.4	3.9	5.8

Question 19

Les températures des fumerolles ont augmenté de 95 °C à 110 °C entre 2020 et 2024 (voir également le Tableau 2). Quel mécanisme explique le mieux cette tendance ?

- A. Le réchauffement climatique régional a augmenté les températures du sol dans toute la zone.
- B. La vapeur surchauffée et les gaz chauds venant de dessous percent l'aquifère peu profond.
- C. L'oxydation de minéraux sulfurés proches de la surface a généré de la chaleur supplémentaire.
- D. La diminution des précipitations due au réchauffement climatique a réduit la dilution par l'eau météorique.

Question 20

Le CO₂ est le gaz le moins soluble parmi les principaux gaz volcaniques. Si les fumerolles montrent une augmentation soudaine du CO₂ sans changements similaires de SO₂ et de H₂O, quelle interprétation est la plus cohérente avec ces observations ?

- A. Le magma profond a commencé à libérer du CO₂ avant les gaz plus solubles.
- B. L'activité magmatique diminue et le CO₂ est libéré par le refroidissement des roches.
- C. Le magma se rapproche rapidement de la surface et les gaz volcaniques tels que le CO₂ augmentent.
- D. Les gaz SO₂ et H₂O ont été précédemment éliminés par les processus volcaniques.

Question 21

Lors d'une intensification volcanique, quelle séquence de changements géochimiques des gaz fumerolliens est la plus probable ?

- A. Augmentation initiale du CO₂, puis du SO₂, puis du H₂O.
- B. Diminution rapide et simultanée de la concentration de tous les gaz volcaniques.
- C. Augmentation des gaz atmosphériques (O₂, N₂) aspirés dans les fractures.
- D. Augmentation du H₂O comme premier signal, suivie du CO₂ et enfin du SO₂ dans l'ordre de solubilité croissante.

Question 22

En considérant une grande éruption explosive des Campi Flegrei (à l'échelle de l'ignimbrite Campanienne, IC), quels systèmes terrestres les principaux gaz volcaniques (CO₂, SO₂ et H₂O) et les aérosols affectent-ils directement ?

- A. Hydrosphère (acidification de l'eau) et Biosphère (toxicité de l'air et des eaux) à l'échelle locale ; Atmosphère (dispersion des gaz volcaniques) à une échelle potentiellement étendue ; Géosphère (altération des roches) à une échelle plus globale.
- B. Atmosphère (dispersion des gaz volcaniques), Géosphère (altération des roches), Hydrosphère (acidification de l'eau) et Biosphère (effets sur les organismes vivants) uniquement à l'échelle locale.
- C. Atmosphère (effets climatiques) à l'échelle mondiale ; Géosphère (altération des roches), Hydrosphère (acidification de l'eau) et Biosphère (toxicité de l'air et des eaux) uniquement à l'échelle locale.
- D. Atmosphère (effets climatiques), Hydrosphère (acidification de l'eau), Biosphère (effets sur les organismes vivants) et Géosphère (altération des roches) à une échelle potentiellement étendue.

Question 23

A partir de l'étude des tendances présentées dans le Tableau 2, qu'indiquent la diminution observée du H₂O et l'augmentation du CO₂ et du SO₂ ?

- A. Les fumerolles s'épuisent.
- B. La contribution de l'eau météorique augmente.
- C. La contribution des gaz magmatiques augmente.
- D. Le système hydrothermal se refroidit.

Question 24

Dans le cycle géochimique du carbone volcanique, quelle source de CO₂ des fumerolles est PEU PROBABLE ?

- A. Dégazage magmatique profond.
- B. Circulation hydrothermale.
- C. Décarbonatation des roches carbonatées.
- D. Décomposition de matière organique.

Question 25

Les tendances des gaz présentées dans le Tableau 3 montrent une augmentation progressive à la fois du CO₂ et du SO₂, mais une réduction progressive du rapport CO₂/SO₂. Cela pourrait s'expliquer par l'interaction entre ces gaz et l'eau de l'aquifère peu profond. Quelle interaction explique la tendance du rapport CO₂/SO₂ ?

- A. Le SO₂ se dissout de plus en plus dans l'eau à un taux supérieur à celui du CO₂.
- B. Le SO₂ réagit avec l'eau, acidifiant l'aquifère peu profond et produisant du soufre.
- C. Des minéraux précipités tels que des sulfates et des carbonates sont produits par l'altération des roches environnantes et l'extraction de cations.
- D. Le flux de SO₂ devient plus puissant et rapide, et l'interaction avec les eaux thermales est réduite.

-passer à la page suivante-

SECTION D : PROCESSUS MAGMATIQUES, PRODUITS ÉRUPTIFS ET GESTION DES RISQUES — Questions 26–31

Le district volcanique Campanien (voir Figure 2) se situe en bordure de l'arc tyrrhénien, dans un contexte de subduction de la plaque Adriatique sous les Apennins. La fusion partielle du manteau génère des magmas qui remontent, se différencient dans des chambres crustales et alimentent le volcanisme explosif des CF et du Vésuve. Ce contexte géodynamique produit les processus et matériaux volcaniques résumés dans le Tableau 4.

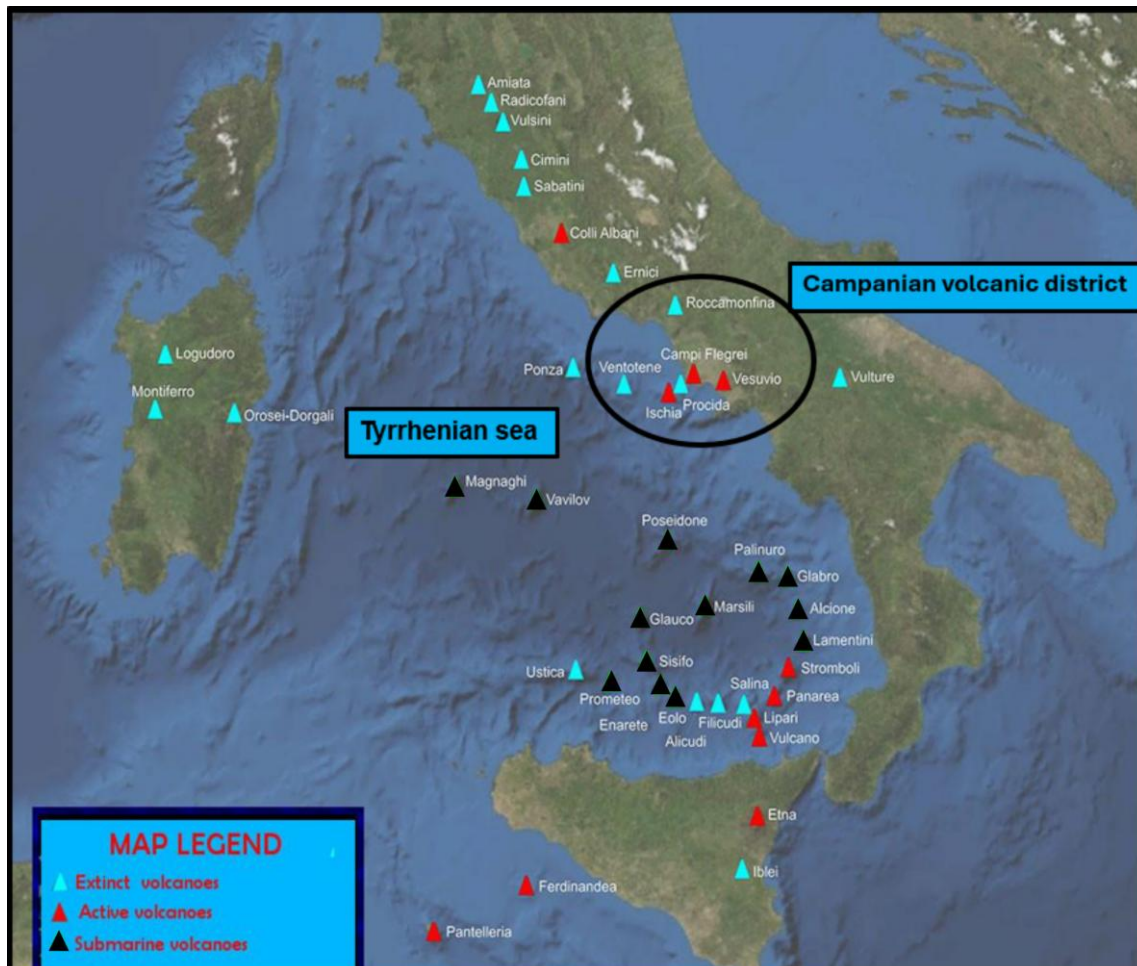


Figure 2 : Volcans d'Italie

Tableau 4 processus et matériaux volcaniques de la région Campanienne

Produits éruptifs		
Type	Description	
téphra	cendre volcanique (<2 mm)	
lapilli	scorie volcanique (2–64 mm)	
bombes et blocs	fragments plastiques et solides (>64 mm)	
ponce	roche vésiculée (porosité >70 %)	
ignimbrite	dépôt de coulée pyroclastique, un mélange de gaz et de fragments produit à 300–800 °C, vitesse 100–700 km/h.	

Styles éruptifs	Description	Exemples
Explosif	magma siliceux visqueux (~60–65 % SiO ₂) et gaz piégé ;	Campi Flegrei (CF), Vésuve
Effusif	magma basaltique fluide (~50 % SiO ₂) et dégazage continu ;	Etna
Phréatomagmatique	interaction magma–eau et expansion volumique (~1000×).	Ignimbrite Campanienne

Question 26

L'Ignimbrite Campanienne (IC, il y a 40 000 ans) a déposé environ 300 km³ de matériaux. En utilisant les informations données, quel processus géodynamique a alimenté la chambre magmatique ?

- A. Un contexte extensif similaire à ce qui se produit au niveau des dorsales médio-océaniques.
- B. Fusion partielle du manteau dans un contexte de subduction.
- C. Chauffage radioactif crustal local, suffisant pour produire une fusion partielle en 40 000 ans.
- D. Compression glaciaire au pléistocène qui a généré de la chaleur par friction dans la croûte profonde.

Question 27

Une coulée pyroclastique (ignimbrite) peut être très destructrice parce qu'elle :

- A. Combine température, vitesse, gaz asphyxiant et particules.
- B. Génère des ondes de choc à basse température qui détruisent tout.
- C. Est composée principalement de gaz toxiques et se déplace lentement mais de manière inarrêtable.
- D. Elle peut modifier l'atmosphère pendant très longtemps.

Question 28

En comparant le magma des CF avec celui de l'Etna, quelle(s) propriété(s) change(nt) et gouverne(nt) le style éruptif ?

- A. La viscosité et la capacité à piéger le gaz influencent l'éruption.
- B. La teneur en gaz des deux types provoque de fortes pressions dans les deux cas.
- C. Les températures plus élevées, qui favorisent des éruptions plus explosives.
- D. La densité empêche la remontée du magma et limite les éruptions.

Question 29

Contrairement au Vésuve, les Campi Flegrei contiennent de nombreux événements éruptifs potentiels répartis le long de la caldeira. Quelle est la principale implication pour la gestion du risque volcanique ?

- A. Les futures éruptions seront probablement plus petites parce que l'activité volcanique est répartie sur une zone plus vaste ; par conséquent, la planification d'urgence est fragmentée en zones d'alerte plus petites.
- B. La localisation de l'événement a peu d'influence sur la planification d'urgence car en cas de risque, toute la zone d'alerte doit être évacuée.
- C. La planification d'urgence est plus complexe car elle doit prendre en compte l'incertitude sur la localisation des futurs événements éruptifs et une zone d'alerte plus étendue.
- D. La planification d'urgence n'est pas possible à l'échelle mondiale car la localisation de l'événement ne peut pas être prédite.

Tableau 5 — Comparaison des volcans italiens

Volcan	Type	Composition	Style	Dernière éruption	Population exposée
Campi Flegrei	Caldeira	Trachytique/phonolitique	Explosif	1538	~500,000
Vesuve	Stratovolcan	Téphrite/phonolite	Explosif/Plinien	1944	~700,000
Etna	Volcan-bouclier	Basaltique	Effusif	2026	limitée
Stromboli	Stratovolcan	Basaltique	Strombolien persistant	permanente	~500

Question 30

Le Stromboli (voir également la Figure 2) maintient une activité explosive mineure persistante (toutes les 10–20 minutes) depuis des millénaires. Cet équilibre dynamique découle de :

- A. Conditions météorologiques sur l'île qui favorisent la condensation du magma de surface.
- B. Un point chaud profond avec un apport continu de lave fluide.
- C. Un équilibre continu entre l'apport profond de gaz et le dégazage.
- D. Une fracture profonde qui connecte tous les réservoirs magmatiques profonds des volcans italiens.

Question 31

A partir des informations du Tableau 5, où se situe le plus grand risque volcanique global ?

- A. Davantage d'informations sont nécessaires pour évaluer le risque le plus élevé entre les Campi Flegrei et le Vésuve.
- B. Près du Stromboli, car son activité explosive persistante en fait le volcan le moins prévisible.
- C. Près du Vésuve car il combine un aléa relativement faible avec une population exposée importante.
- D. Près de l'Etna, car c'est le plus grand volcan européen et ses éruptions fréquentes produisent le plus grand aléa volcanique.

SECTION E : GÉOLOGIE MÉDICALE ET SYSTÈMES TERRESTRES — Questions 32–35

La géologie médicale étudie comment les processus et matériaux géologiques affectent l'atmosphère et l'hydrosphère, et par conséquent la santé humaine. Dans les zones volcaniques qui contiennent des fumerolles et des eaux thermales, les gaz et les aérosols (SO_2 , CO_2 , H_2S , particules fines $\text{PM}_{2.5}$) peuvent affecter la santé respiratoire ; un autre exemple important est le fluorure dissous, qui a une forte affinité pour le calcium et peut modifier la disponibilité biologique de cet élément.

Tableau 6 — Zones d'exposition autour d'une zone de dégazage active

Zone	Distance (km)	SO_2 dans l'air (ppm)	$\text{PM}_{2.5}$ dans l'air ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Fluorure dans l'eau (mg/L)	Contexte dominant
A	0.5	2.8	42	4.5	Près des fumerolles, sous le vent
B	2.0	1.4	36	2.5	Marge urbaine, sous le vent
C	4.0	0.9	18	0.8	Plateau, vent transversal
D	6.0	1.2	28	1.8	Bassin en depression, stagnation de l'air

Question 32

Sur la base des informations du Tableau 6, pourquoi la Zone D présente-t-elle des concentrations de SO_2 et des valeurs de $\text{PM}_{2.5}$ plus élevées que la Zone C malgré le fait qu'elle soit plus éloignée des fumerolles ?

- A. La différence résulte des ajustements de mesure, car la distance doit être relativisée.
- B. Une plus grande distance des fumerolles augmente la durée d'exposition aux gaz.
- C. Les gaz volcaniques deviennent plus dangereux lorsqu'ils sont concentrés par des vents transversaux plus loin de la source.
- D. Le contexte topographique de la Zone D favorise l'accumulation des gaz volcaniques.

Question 33

Le seuil recommandé de fluorure dans l'eau potable est d'environ 1,5 mg/L. Quelle conséquence sanitaire est la plus cohérente avec l'observation des teneurs en fluorure dans la Zone A ?

- A. Maladie respiratoire aiguë causée par l'inhalation de particules de fluorure.
- B. Possibles dommages dentaires et squelettiques (fluorose) par l'eau potable.
- C. Effets corrosifs sur le tractus digestif des humains et de la faune, en particulier si des gaz atmosphériques acidifiants (tels que le SO_2) sont également impliqués.
- D. Effets sanitaires temporaires sur la bioaccumulation minérale, qui diminue lorsque la distance aux fumerolles diminue.

Question 34

A partir des informations données, quelle interprétation explique la relation entre le dégazage volcanique et la santé humaine dans les zones étudiées ?

- A. Les zones sous le vent subissent principalement une exposition atmosphérique et hydrosphérique, indépendamment de la distance.
- B. Les différents types de produits du dégazage volcanique peuvent avoir des chemins et des échelles de temps différentes dans le fait d'impacter la santé humaine.
- C. L'exposition urbaine à l'hydrosphère et à l'atmosphère contaminées par les gaz détermine ensemble les pires impacts sur la santé humaine.
- D. La topographie de la zone et la direction du vent depuis les fumerolles limitent les effets du dégazage volcanique sur la santé humaine.

Question 35

D'après ce qui précède, comment les systèmes terrestres sont-ils liés lorsque l'on considère la géologie médicale ?

- A. Les activités humaines ont un impact sur la géosphère, l'hydrosphère et l'atmosphère, qui se répercute finalement sur l'environnement humain.
- B. La géosphère influence l'atmosphère et l'hydrosphère, qui ont ensuite un impact sur la biosphère et l'environnement humain.
- C. L'eau de l'hydrosphère produit des effets géothermaux, exploités par l'environnement humain qui influence l'atmosphère et la biosphère.
- D. L'érosion atmosphérique influence les événements géologiques et hydrologiques, qui ont un effet ultime sur la biosphère et l'environnement humain.