

IESO 2026 TURIN

ÉPREUVE ÉCRITE 4 — TROP D'EAU, TROP VITE

Hydrosphère, aléas géologiques et interactions entre les systèmes terrestres — Les inondations de mai 2023 en Emilia-Romagna

Durée : 90 minutes • Questions : 35 • Score : 35 points • Lire toutes les données avant de répondre. Une seule réponse correcte par question.

Cette épreuve explore les interconnexions entre l'atmosphère, l'hydrosphère, la géosphère, la biosphère et l'anthroposphère selon les principes du Système Terre à travers l'analyse d'un événement catastrophique réel.

SECTION 1 — L'événement météorologique et le cycle hydrologique — Questions 1–8

Entre le 1er et le 17 mai 2023, l'Emilia-Romagna a été touchée par deux épisodes de précipitations extrêmes sur le même territoire à seulement deux semaines d'intervalle. Le premier (1er–3 mai) a apporté plus de 200 mm en 48 heures dans le centre-est des Apennins. Les 16 et 17 mai, un système basse pression situé au-dessus de du centre de l'Italie a concentré des masses d'air chargées d'humidité depuis l'Adriatique (vent de Sirocco venant du SE) et depuis le nord (vent de Bora venant du NE) vers les versants des Apennins. La surection orographique a intensifié les précipitations sur une même zone pendant de nombreuses heures, touchant des bassins déjà saturés. Les données hydrométéorologiques instrumentales, dont l'enregistrement officiel a commencé entre 1916 et 1918, ainsi que les sources historiques et les archives, dont les données couvrent une période allant du Moyen Âge (il y a environ 500 ans) au début des années 1900, ne rapportent aucun événement de ce type, alors considéré comme « jamais enregistré dans les temps historiques ».

Tableau 1 – Précipitations par station

Stations	Altitude (m)	1–3 mai (mm)	16–17 mai (mm)	Total de mai (mm)	Moyenne de mai (mm)
Trebbio (Modigliana)	480	205	405	610	85
Brisighella	350	185	393	578	80
Tredozio	520	178	350	528	82
S. Benedetto in Alpe	620	195	330	525	90
Forlì (plaine)	35	110	275	385	72

Tableau 2 – Données climatiques

Paramètres	Valeurs	Anomalie par rapport à la période 1991–2020
Température de surface de la mer Méditerranée	20.8 °C	+1.6 °C
Température moyenne de l'air, mai 2023	17.8 °C	+2.1 °C (record)
Précipitations hiver–printemps 2023	–	–25% (deficit)
Précipitations de mai 2023	250.7 mm	+230 %

Question 1

À partir de l'étude des informations fournies, quelle est la période de retour approximative d'un événement tel que celui de mai 2023 en Emilia-Romagna ?

- A. Entre 50 et 100 ans, en accord avec les précipitations du premier événement isolé.
- B. Entre 100 et 200 ans, en accord avec la disponibilité des données hydrométéorologiques instrumentales.
- C. Entre 200 et 500 ans, compte tenu des sources historiques et des archives.
- D. Supérieure à 500 ans, conformément aux rapports disponibles.

Question 2

À partir de l'étude des conditions atmosphériques décrites ci-dessus, quel mécanisme explique le mieux pourquoi les précipitations sont restées intenses sur les versants des Apennins ?

- A. La compression entre les deux masses d'air a réchauffé l'air, provoquant une forte condensation.
- B. Les vents convergents ont produit un air descendant persistant au-dessus des versants.
- C. Le contraste de température a généré des orages brefs, isolés mais intenses.
- D. La surection orographique forcée par la convergence des vents humides de Sirocco et de Bora.

Question 3

L'atmosphère peut contenir environ 7 % de vapeur d'eau en plus pour chaque degré d'augmentation de la température : des températures marines plus élevées signifient davantage d'évaporation et davantage d'humidité disponible pour les précipitations. Les températures de la mer étaient supérieures de +1,6 °C par rapport à la moyenne. La conséquence la plus directe est...

- A. une réduction de l'évaporation, car la mer chaude stabilise l'atmosphère par stratification.
- B. une augmentation de l'humidité atmosphérique qui rend possibles des précipitations plus intenses.
- C. un effet négligeable, car le régime des vents est plus important que la température de la mer.
- D. un réchauffement de l'air côtier qui empêche la condensation et la formation des nuages.

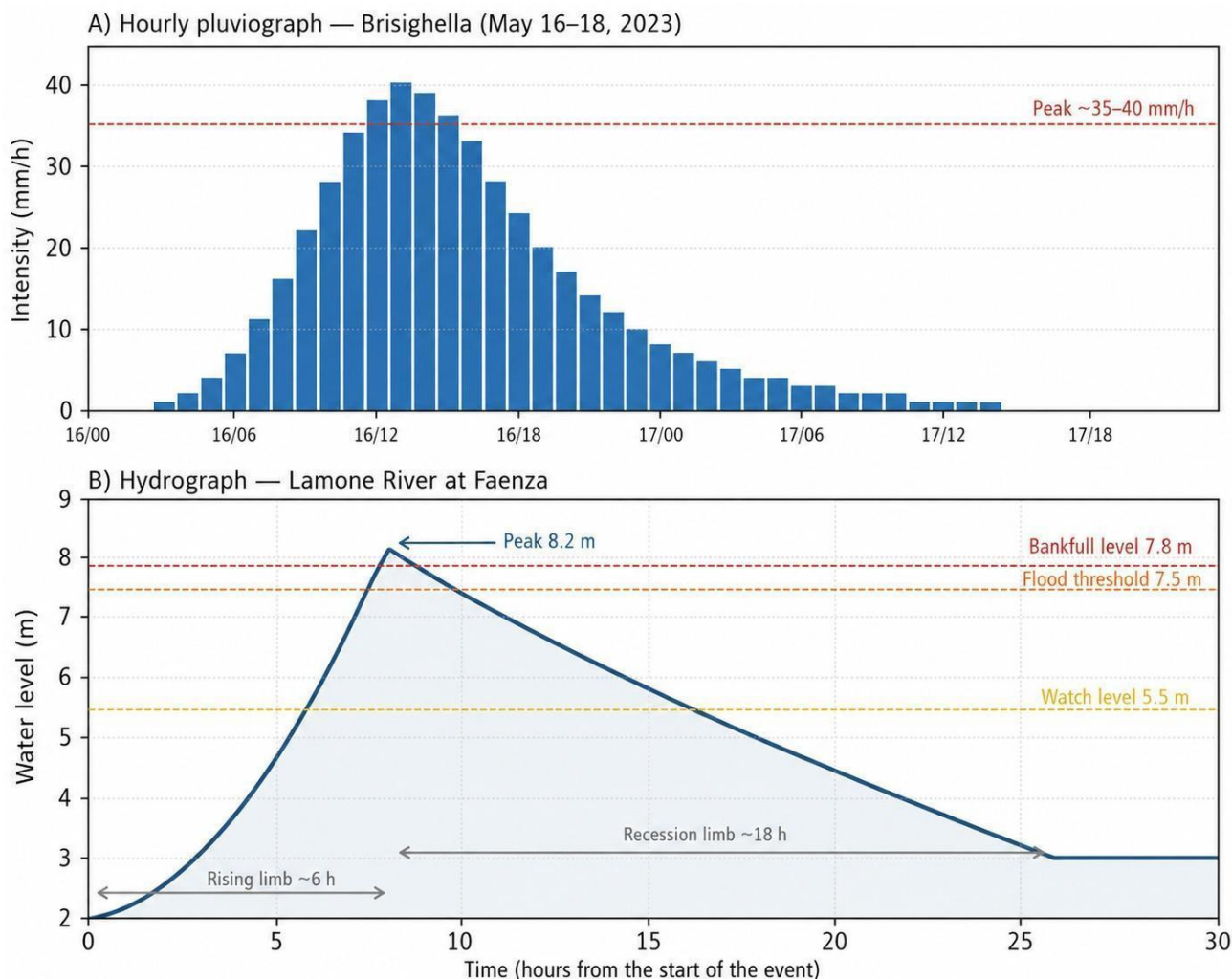


Figure 1 – Pluviographe heure par heure a Brisighella (A) et hydrographe du Lamone à Faenza (B), 16–18 mai 2023.

Bankfull level = niveau de débordement du lit. *Flood threshold* = seuil de crue. *Watch level* = Niveau de surveillance.
Rising limb = partie montante. *Recession limb* = partie descendante. *River* = rivière ou fleuve.

Question 4

Sur la base de la Figure 1B, quelle interprétation explique le mieux la montée rapide et la descente plus lente de l'hydrogramme du Lamone ?

- A. L'asymétrie de l'hydrogramme peut s'expliquer par la forme allongée du bassin.
- B. Une infiltration continue a produit une montée rapide, suivie d'une vidange lente du chenal.
- C. Le ruissellement rapide provenant des versants est entré dans la rivière, tandis que les effets de remous ont ralenti le drainage.
- D. Le bassin a continué à recevoir des apports d'eau provenant de l'amont même après le pic des précipitations locales.

Question 5

Quelle séquence décrit le mieux comment l'eau s'est déplacée à travers les systèmes terrestres pendant l'inondation ?

- A. Atmosphère, puis géosphère de surface et versants, puis hydrosphère fluviale et les plaines.
- B. Géosphère profonde, puis hydrosphère souterraine, puis atmosphère par remontée capillaire.
- C. Hydrosphère marine, puis atmosphère, puis biosphère, puis hydrosphère fluviale.
- D. Biosphère par transpiration, puis atmosphère, puis géosphère par infiltration en profondeur.

Question 6

Les précipitations de l'hiver-printemps 2023 étaient inférieures de 25 % par rapport à la normale, pourtant les sols étaient saturés le 15 mai. Comment cela peut-il s'expliquer ?

- A. Les sols argileux retiennent l'humidité de l'hiver précédent indépendamment des précipitations.
- B. Le déficit de précipitations a maintenu les sols secs, mais les nappes phréatiques ont vu leur taille augmenter sous l'effet d'apports latéraux provenant d'autres bassins.
- C. La fonte tardive de la neige des Apennins a compensé le déficit de précipitations du printemps.
- D. Les précipitations intenses du 1er au 3 mai ont rapidement saturé les sols argileux, ce qui a compensé le déficit.

Question 7

Les cumuls de précipitations vont de 610 mm à 385 mm entre des stations distantes de seulement 40 km. Quel facteur explique cette variabilité ?

- A. La différence d'efficacité des pluviomètres sous de fortes précipitations et des vents forts.
- B. La distribution homogène des orages convectifs, généralement très localisés en Méditerranée.
- C. La différence d'altitude et d'exposition aux vents humides, qui contrôle l'élévation orographique.
- D. La grande distance entre les stations de montagne et la mer, qui réduit l'apport d'humidité.

Question 8

Quelle affirmation décrit le MIEUX la relation entre cet événement et le changement climatique ?

- A. Le réchauffement augmente l'énergie et l'humidité dans le système, rendant les événements extrêmes plus probables.
- B. L'événement prouve directement que le climat régional a changé par rapport au passé récent.
- C. Le changement climatique ne peut être évalué que sur des tendances décennales et n'a aucun rapport avec un événement météorologique unique.
- D. Le changement climatique modifie les trajectoires du système basse-pression en Méditerranée.

SECTION 2 — Réponse hydrologique et dynamique fluviale — Questions 9–17

La zone considérée est caractérisée par les Argille Scagliose (complexe d'argiles écailleuses), dans lesquels la capacité d'infiltration après le premier événement était tombée sous les 5 mm/heure. Avec des précipitations de 35 mm/heure lors du deuxième événement, presque toute l'eau s'est transformée en ruissellement de surface. Vingt-trois rivières ont débordé simultanément.

Tableau 3 – Débit des principales rivières (16–17 mai)

Rivières	Bassin (km ²)	Maximum (m ³ /s)	Moyenne de mai (m ³ /s)	Maximum/moyenne	Temps jusqu'au maximum (h)
Lamone	620	1,850	15	123	7
Senio	270	850	8	106	5
Montone	580	1,520	12	127	8
Savio	650	1,350	18	75	6
Reno	4,060	2,800	45	62	18

Auparavant, entre 1950 et 2023, les rivières ont été endiguées sur 800 km, leur largeur a été réduite de 30–50 %, et l'extraction de gravier a abaissé leur lit de 2–4 m. Les surfaces imperméables de la plaine côtière sont passées de 5 % à 43 %, les zones humides sont passées de 15 % à 2 %.

Tableau 4 – Caractéristiques des bassins

Bassins	Superficie (km ²)	Altitude maximale (m)	Pente moyenne (%)	% Argille Scagliose	% Forêt	Précipitations 16–17 mai (mm)
Lamone	620	960	8	55	68	380
Senio	270	850	10	45	72	350
Montone	580	1,100	7	50	65	330
Savio	650	1,250	9	48	75	310
Reno	4,060	1,500	5	35	55	280

Question 9

Quel est le lien de causalité probable entre les deux événements qui ont conduit à la catastrophe environnementale décrite ?

- A. Le premier événement a supprimé la végétation riveraine, éliminant la protection naturelle des berges.
- B. Le deuxième événement a érodé des chenaux fluviaux déjà fragilisés par le premier événement.
- C. Le premier événement a fortement réduit la capacité d'infiltration lors du second.
- D. Le deuxième événement a touché des sédiments de fond de vallée compactés par le premier, provoquant un ruissellement vers des zones non protégées.

Question 10

Si la pluie tombe à 35 mm/h sur des sols ayant une capacité d'infiltration de 5 mm/h, quelle quantité d'eau devient du ruissellement de surface chaque heure ?

- A. 40 mm, car les sols saturés rejettent même l'eau précédemment infiltrée dans les pores.
- B. 30 mm, ce qui est égal à la différence entre l'intensité des précipitations et la capacité d'infiltration résiduelle du sol.
- C. 15 mm, car environ la moitié de l'eau est de toute façon retenue par la végétation et la litière.
- D. 5 mm, ce qui correspond uniquement à la composante qui ne peut pas s'écouler plus profondément à travers les macropores.

Question 11

Les temps jusqu'au 'maximum' (Tableau 3) vont de 5 à 18 heures. À partir du Tableau 4, indiquer quel facteur, entre autres, semble avoir un effet plus direct sur les différents temps de réponse des rivières ?

- A. La superficie des bassins qui recueillent l'eau de pluie provenant d'affluents convergents.
- B. L'importante couverture forestière qui canalise l'eau le long des troncs jusqu'au sol sous-jacent.
- C. La forte pente des bassins versants des Apennins qui accélère le ruissellement de surface vers l'aval.
- D. Le pourcentage d'argiles écailleuses dans le substrat qui influence le drainage.

Question 12

Vingt-trois rivières ont débordé simultanément. Pourquoi la simultanéité a-t-elle aggravé la catastrophe ?

- A. Elle a fait converger les ondes de crue vers l'aval, avec des niveaux d'eau combinés plus élevés et plus longs.
- B. Elle a provoqué une hausse anormale du niveau de la mer Adriatique due à l'excès d'eau douce.
- C. Elle a saturé la capacité d'absorption des sols de la plaine en un temps beaucoup plus court que d'habitude.
- D. Elle a dilué le débit des rivières individuelles, réduisant la hauteur de chaque onde de crue.

Question 13

La rivière Reno a un temps jusqu'au 'maximum' de 18 heures, ce qui est bien plus long que les autres. Pourquoi ?

- A. Le débit moyen en mai de la rivière Reno est plus élevé, ce qui retarde le moment du débordement.
- B. La Reno s'écoule sur un sol plus perméable en raison d'une teneur réduite en argiles écailleuses.
- C. Les précipitations sur le bassin de la Reno ont touché une altitude plus élevée, mettant plus de temps à atteindre l'exutoire.
- D. Les eaux provenant de différentes zones d'un bassin plus vaste atteignent l'exutoire à des moments différents.

Question 14

Le débordement de la digue de la rivière Lamone a commencé à 7,8 m, tandis que le pic de la crue a atteint 8,2 m. Quelle conclusion est directement étayée par ce constat ?

- A. Le pic de la crue a dépassé de manière inattendue la système de digues.
- B. La digue avait perdu de la hauteur sous l'effet d'une érosion locale.
- C. La digue a subi une défaillance structurelle avant que l'eau n'atteigne sa crête.
- D. La digue a été conçue pour une période de retour à la normale spécifique qui n'était pas prévue par les données disponibles.

Question 15

Pendant la crue, une érosion et un transport sédimentaire intenses se sont produits. Lors de quelle phase le transport est-il le plus grand ?

- A. Au 'maximum' du débit, lorsque la vitesse et la turbulence atteignent leurs valeurs maximales sur toute la section.
- B. Dans la phase de montée, lorsque l'accélération de l'écoulement commence à mobiliser les sédiments du lit.
- C. Pendant les faibles débits, lorsque le contact prolongé avec le lit mobilise les fines particules.
- D. Pendant la phase de décrue, lorsque l'écoulement ralentit et concentre les sédiments au centre du chenal.

Question 16

Les surfaces imperméables de la plaine côtière sont passées de 5 % à 43 %. Quel effet cela a-t-il sur l'hydrologie ?

- A. Cela améliore le drainage des rivières grâce à des réseaux qui acheminent l'eau de manière plus contrôlée.
- B. Cela réduit l'évapotranspiration, laissant davantage d'eau disponible pour recharger les systèmes souterrains et augmentant les zones humides.
- C. Cela réduit l'infiltration et augmente le volume de ruissellement, ce qui rend plus précoces et plus hauts les pics de crue.
- D. Cela peut réduire significativement l'érosion lorsqu'il est associé à la rectification des cours d'eau.

Question 17

L'extraction de gravier a abaissé certains lits de rivières de 2–4 m. Quelle conséquence est la plus directement associée à cette incision du chenal ?

- A. Élimination permanente du risque d'inondation le long des tronçons incisés.
- B. Fragilisation des structures telles que les fondations des ponts et des digues.
- C. Augmentation de la recharge des eaux souterraines dans tout le bassin.
- D. Dépôt accru de sédiments fins en aval.

SECTION 3 — Géologie, roches et mouvements de masse — Questions 18–25

La zone touchée se situe là où les Apennins du nord rencontrent la plaine du Pô. Les Apennins sont une chaîne plissée et chevauchante formée pendant l'orogénèse alpine.

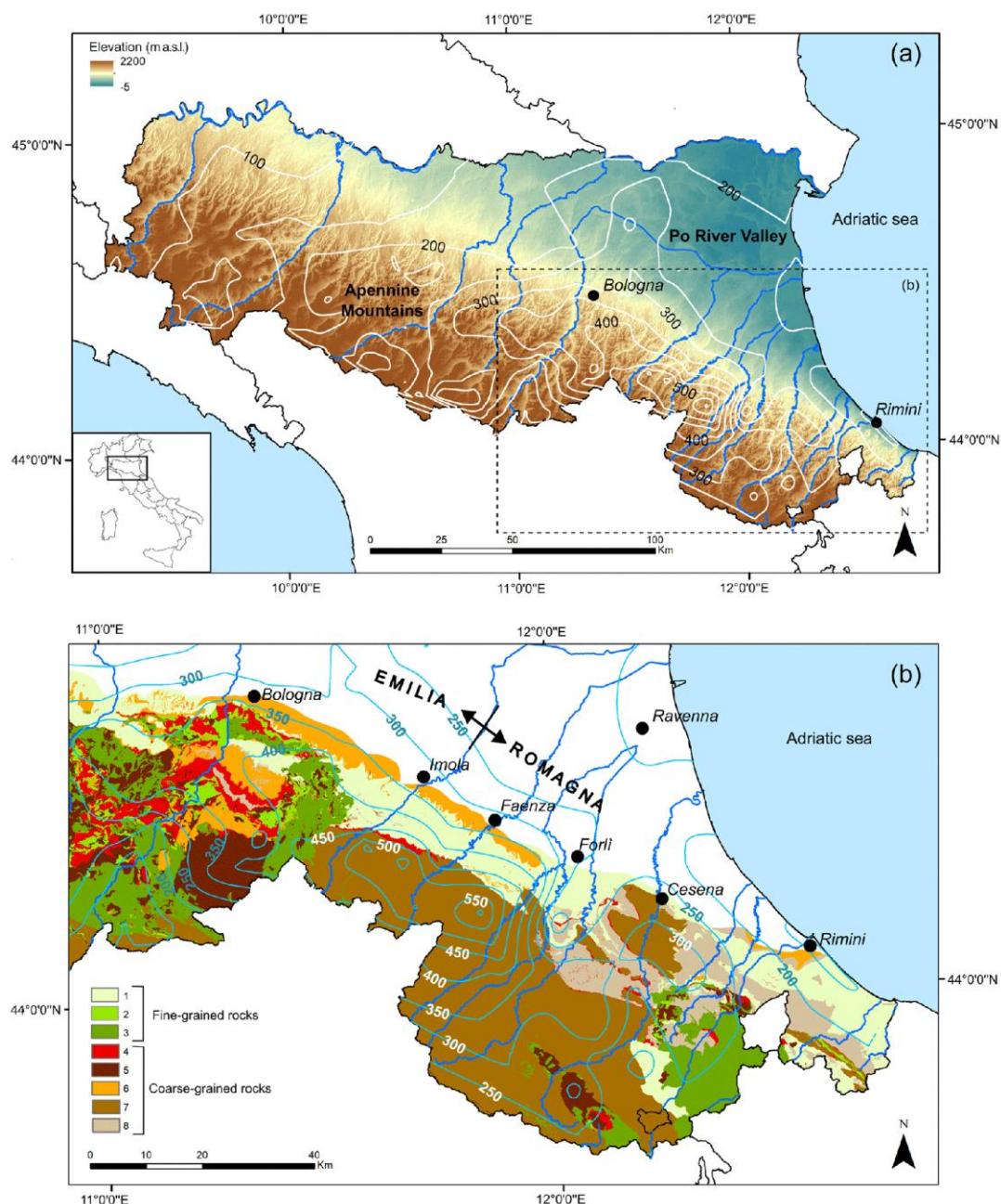


Figure 2 – (en haut) Carte des altitudes et des isohyètes cumulés
et (en bas) carte géologique simplifiée avec les isohypsés.

Unités 1 à 3 à grains fins, avec Argille scagliose = unité 3 ; unités 4-8 à gros grains, avec Marnoso-Arenacea = unité 7

Source : Berti, M. et al. (2025), *Earth System Science Data*, Fig. 1b. © Les auteurs. Reproduite et adaptée pour cette épreuve sous licence Creative Commons Attribution 4.0 (CC BY 4.0), <https://doi.org/10.5194/essd-17-1055-2025>.

Elevation = altitude. Coarse-grained rocks = roches à grains grossier.

Informations complémentaires

- Complexe des Argille Scagliose (argiles écaillées ; Crétacé–Paléogène) : matrice argileuse déstructurée contenant des blocs incorporés de calcaire, de grès et d'ophiolite. Perméabilité extrêmement faible ; forte susceptibilité aux glissements de terrain lorsqu'il est saturé. Sols sur les Argille Scagliose : riches en argiles, peu profonds (20–80 cm), infiltration <5 mm/h lorsqu'ils sont saturés
- Formation Marnoso-Arenacea (Miocène) : flysch, alternance rythmique de bancs de grès et de marnes. Sujette aux glissements translationnels le long des plans de stratification. Sols sur la Marnoso-Arenacea : limono-argileux, plus profonds (50–120 cm), infiltration 10–30 mm/h.
- Succession Épi-Ligurienne (Oligocène–Miocène) : grès et conglomérats plus résistants à l'érosion ; forme les crêtes les plus élevées.
- Dépôts quaternaires : colluvions sur les versants, cônes alluviaux, alluvions de plaine.

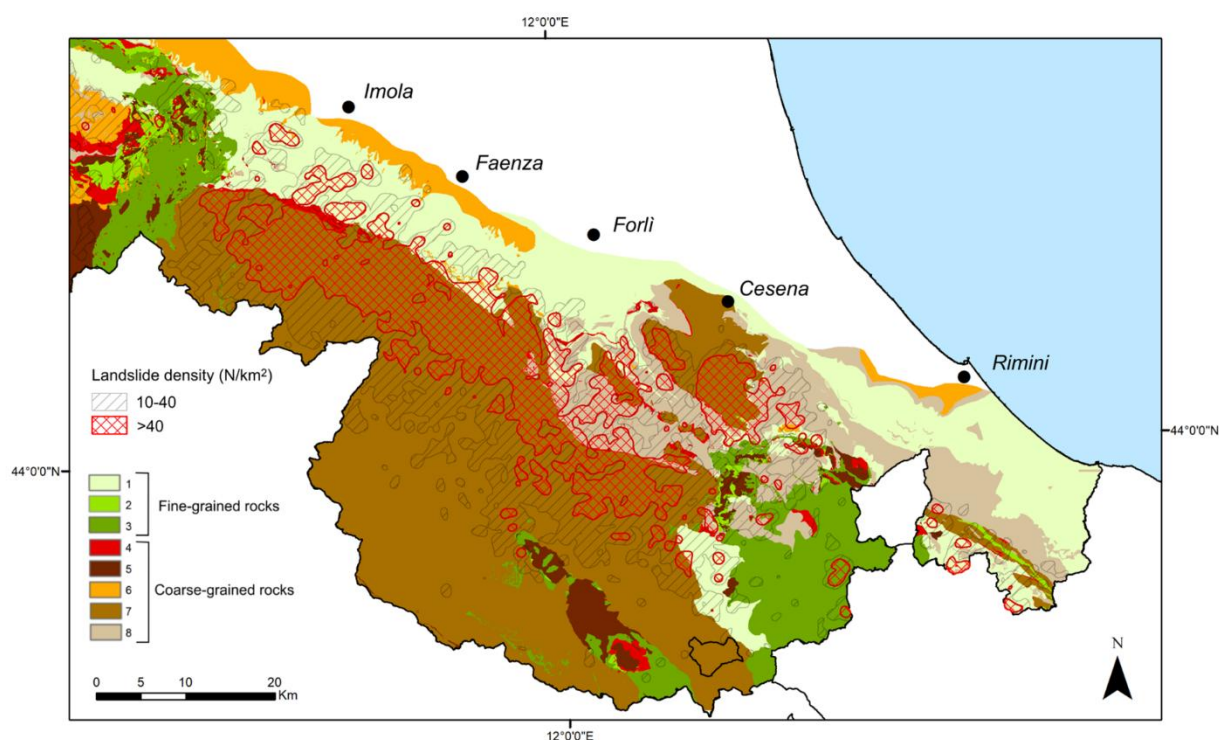


Figure 3 – Saturation des sols et répartition des glissements de terrain (carte de densité des glissements en surimpression sur les informations géologiques).

Source: Berti, M. et al. (2025), Earth System Science Data. ©

The authors, licensed under CC BY 4.0, <https://doi.org/10.5194/essd-17-1055-2025>.

Landslide = glissement de terrain. Coarse-grained rocks = roches à grains grossier.

Tableau 5 – Glissements de terrain par province et données de géologie lors de l'événement de mai 2023 (données : Berti et al., 2025)

Province	Superficie (km ²)	Nb de glissements	Densité (/km ²)	% Arg. Scagl.	% Marn.-Aren.	Type prédominant
Bologna	3,700	22,000	5.9	55	35	Translationnels superficiels
Forlì-Cesena	2,380	28,500	12.0	45	40	Coulées + translationnels
Ravenna	1,860	11,000	5.9	50	35	Translationnels superficiels
Rimini	860	5,500	6.4	48	38	Translationnels superficiels
Reggio Emilia	2,120	13,000	6.1	35	30	Mixte

Question 18

D'après l'étude de la Figure 3, quelle formation géologique a la plus faible perméabilité ?

- A. Les alluvions de plaine quaternaires, constituées d'alternances de sables et d'argiles stratifiés.
- B. Le complexe des Argille Scagliose, avec sa matrice argileuse déstructurée.
- C. Le flysch de la formation Marnoso-Arenacea, avec ses bancs de marnes imperméables entre les grès.
- D. Les grès et conglomérats de la succession Épi-Ligurienne, compacts et bien cimentés.

Question 19.

La formation Marnoso-Arenacea est un « flysch » à alternance de grès et de marnes. Dans quel environnement s'est-elle probablement formée ?

- A. Dans une plaine continentale traversée par des rivières en tresses avec une sédimentation cyclique.
- B. Sur le plateau continental peu profond, sous l'action des courants de marée et de tempête.
- C. Dans un bassin lacustre de rift, avec des alternances de phases arides et humides contrôlant le dépôt.
- D. Dans un environnement marin profond, par dépôt à partir de courants de turbidité chargés en sédiments.

Question 20

Les Argille Scagliose sont considérées comme une formation intrinsèquement instable, sujette aux glissements de terrain et aux réactivations récurrentes. Quelle propriété l'explique ?

- A. Leur teneur en argile les rend presque imperméables : lorsqu'elles sont saturées par une lente absorption d'eau, elles perdent de leur résistance.
- B. Leur très grand âge les a rendues cassantes sous l'effet de cycles répétés de chargement tectonique sur des milliers d'années.
- C. Les blocs d'ophiolite incorporés créent des surfaces internes de faiblesse qui favorisent le glissement lorsqu'ils sont saturés.
- D. La faible couverture végétale sur les terrains argileux expose les versants à une érosion pluviale importante.

Question 21

La zone de collines contient de nombreuses Argille Scagliose et Marnoso-Arenacea, tandis que les unités Épi-Liguriennes forment de nombreux sommets de crête. Quelle interprétation explique le mieux la concentration des glissements de terrain à 200–600 m d'altitude ?

- A. Le ruissellement provenant des sommets rocheux s'accumule dans la zone de collines, augmentant localement la saturation.
- B. Les précipitations sont plus intenses aux altitudes intermédiaires en raison d'un soulèvement orographique partiel.
- C. Des formations moins résistantes et sujettes aux glissements dominent les versants des collines.
- D. Les sommets de crête contrôlent l'instabilité des versants en raison d'une lithologie plus jeune.

Question 22

60 % des glissements de terrain étaient « translationnels superficiels ». Ces glissements sont caractérisés par...

- A. une fine couche de sol glissant parallèlement au versant le long d'une surface plane.
- B. une surface de rupture profonde et courbe impliquant de grands volumes de roche ou de sol.
- C. un mouvement extrêmement lent se développant progressivement sur des décennies.
- D. un détachement soudain de blocs de roches compactes qui roulent le long du versant en chute libre.

Question 23

Un glissement translationnel dans la formation Marnoso-Arenacea possède une surface de glissement...

- A. à travers la roche intacte, suivant des fractures tectoniques orientées aléatoirement.
- B. au contact entre la couche superficielle du sol et le substratum rocheux, indépendamment de la stratification.
- C. le long des plans de stratification, où les bancs de marnes agissent comme des surfaces faibles et glissantes.
- D. le long de surfaces de rupture profondes et courbes impliquant de grands volumes de roches compactes.

Question 24

Pendant l'événement, certains glissements de terrain saturés se sont transformés en coulées de débris se déplaçant rapidement. Quel processus explique le mieux cette transformation ?

- A. L'augmentation de l'humidité a favorisé la cohésion entre les particules fines et accéléré le mouvement.
- B. L'eau supplémentaire a réduit le frottement interne et permis au matériel ayant rompu de s'écouler.
- C. Les éléments grossiers ont augmenté l'accélération gravitationnelle et le glissement.
- D. Le substratum rocheux sous pression a augmenté les écoulements d'eau interstitielle.

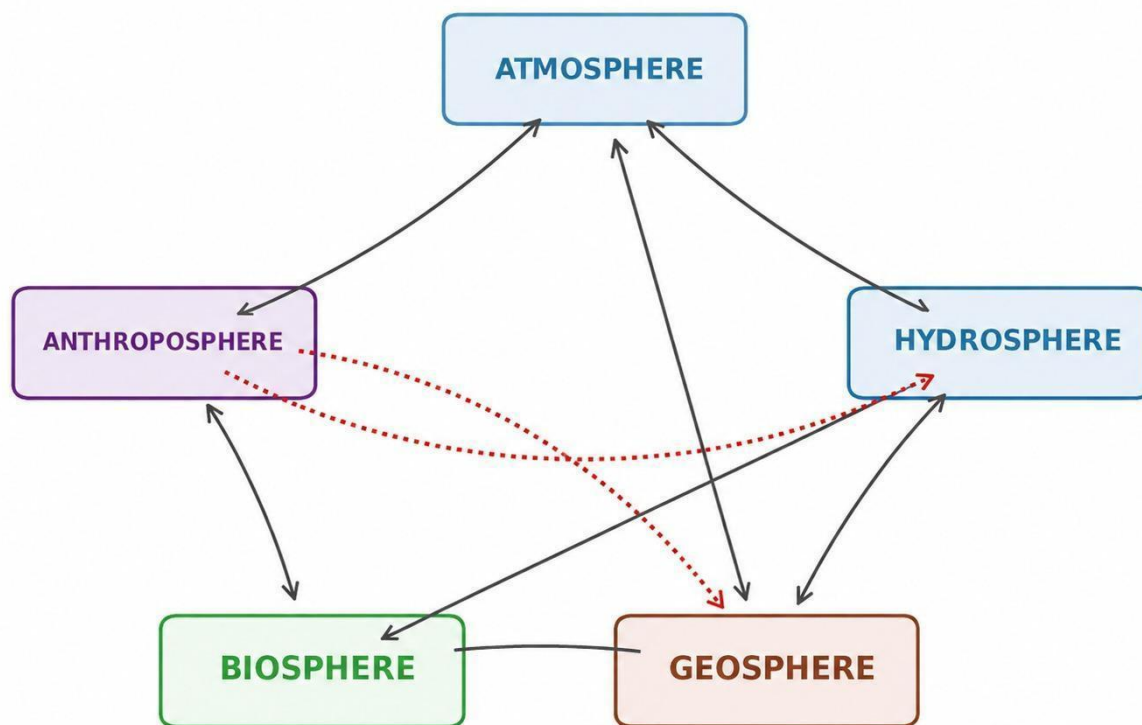
Question 25

Les coulées de terre se sont concentrées dans les zones à Argille Scagliose. Pourquoi ?

- A. Les Argille Scagliose se trouvent à des altitudes où les pentes sont en moyenne plus raides.
- B. Les colluvions argileux produits par les Argille Scagliose se liquéfient facilement lorsqu'ils sont hydratés.
- C. Les Argille Scagliose contiennent des blocs d'ophiolite qui s'altèrent rapidement, générant des débris.
- D. Les Argille Scagliose se trouvent à des altitudes plus basses où les précipitations étaient plus abondantes.

SECTION 4 — Interactions entre les systèmes, facteurs humains et gestion des risques — Questions 26–35

Interactions among Earth systems — May 2023 flood



Grey arrows = bidirectional flows of matter/energy • Dotted arrows = anthropogenic amplification feedbacks

Figure 4 – Diagramme des interactions entre les sous-systèmes terrestres pendant l'événement de mai 2023.

Arrow = flèche. Grey = gris. Dotted = en pointillés. Flows of matter/energy = flux de matière/énergie.
Feedback = rétroaction.

L'événement de mai 2023 montre comment tous les sous-systèmes terrestres sont interconnectés : l'atmosphère a fourni l'eau, la géosphère a conditionné les endroits où les glissements de terrain ont été déclenchés, l'hydrosphère a transporté l'eau et les sédiments, la biosphère a subi des dommages sur ses habitats, et l'anthroposphère avait modifié le territoire au cours des décennies précédant l'événement. Conséquences : 17 décès, plus de 20 000 personnes déplacées, des dommages dépassant 10 milliards d'euros, 45 000 hectares de terres agricoles inondés.

Question 26

La corrélation entre le pourcentage d'Argille Scagliose et la densité des glissements de terrain présentés dans le Tableau 5 n'est pas directe. Quel facteur décrit dans le Tableau 4 aide à expliquer les différences observées ?

- A. L'altitude différente et la superficie de chaque province surveillée.
- B. Le pourcentage de couverture forestière, qui stabilise les versants grâce aux racines.
- C. Les différentes longueurs de chaque cours d'eau, qui pourraient réduire l'effet.
- D. La pente moyenne des versants et la quantité des précipitations reçues pendant l'événement.

Question 27

Quel était le principal mécanisme physique déclencheur des 80 000 glissements de terrain de mai 2023 ?

- A. L'augmentation de la pression de l'eau interstitielle qui a réduit la résistance au cisaillement dans les versants saturés.
- B. Les vibrations mécaniques produites par le passage des ondes de crue le long des fonds de vallée des Apennins.
- C. L'érosion du pied des versants par les rivières en crue, qui a retiré le soutien basal.
- D. La suppression de la couverture végétale par le vent fort associé à la tempête.

Question 28

Quelle interaction entre les glissements de terrain (géosphère) et les rivières (hydrosphère) a produit un effet immédiat sur la biosphère ?

- A. L'apport de sédiments a créé de nouveaux habitats favorables à la colonisation par des espèces pionnières.
- B. Le dépôt de sable sur les champs a causé des dommages agricoles.
- C. L'excès de dépôt de sédiments a modifié les habitats et les écosystèmes fluviaux.
- D. L'augmentation du débit d'eau a revitalisé les zones humides côtières en voie d'assèchement.

Question 29

La rectification des rivières et la construction de digues étaient destinées à améliorer le système fluvial.

Laquelle des propositions suivantes n'explique probablement PAS l'augmentation inattendue des inondations en aval ?

- A. Ils ont accéléré la sédimentation en aval, ensablant les canaux de sortie vers la mer.
- B. Ils ont augmenté l'énergie de l'écoulement dans des chenaux étroits.
- C. Ils ont empêché les rivières de s'étendre dans les zones de plaine inondable en amont.
- D. La réduction de la section du lit de la rivière a concentré l'eau dans le système de chenaux.

Question 30

Les zones humides côtières sont passées de 15 % à 2 %. Quelle fonction hydrologique a été modifiée ?

- A. Le rôle de barrière physique contre l'intrusion d'eau salée dans les aquifères côtiers.
- B. La capacité à atténuer les inondations en absorbant et en libérant lentement les volumes d'eau excédentaires.
- C. La production de sédiments fins nécessaires à la stabilisation naturelle des berges des rivières.
- D. La génération de vapeur d'eau par évapotranspiration qui alimentait les précipitations locales.

Question 31

Quelle affirmation correspond le mieux à l'approche systémique nécessaire pour comprendre cette catastrophe ?

- A. Les sous-systèmes ont agi selon une séquence linéaire — d'abord la pluie, puis les versants, puis les rivières — chacun transmettant l'effet au suivant dans une seule direction.
- B. Les interactions et rétroactions entre les sous-systèmes ont amplifié les effets au-delà de la somme des seules parties individuelles.
- C. L'anthroposphère était le facteur déterminant, tandis que les systèmes naturels jouaient un rôle secondaire, en arrière-plan.
- D. L'événement est la somme des réponses indépendantes des systèmes individuels, chacune pouvant être évaluée et prédite séparément.

Question 32

Compte tenu de la relation mentionnée entre le réchauffement et la capacité de l'atmosphère à contenir de la vapeur d'eau, quel changement futur augmenterait le PLUS vraisemblablement le risque hydrogéologique dans la région méditerranéenne ?

- A. Des événements météorologiques plus fréquents et plus sévères.
- B. Un déplacement saisonnier des précipitations, avec des épisodes de précipitations plus intenses en hiver.
- C. Davantage d'humidité disponible pour des précipitations prolongées et diffuses, augmentant le risque d'inondation et de glissement de terrain.
- D. Des versants argileux s'asséchant à long terme avec une stabilité plus faible.

Question 33

Les systèmes d'alerte aux glissements de terrain utilisent des seuils de précipitations. Quelle information améliorerait les prévisions ?

- A. La pression atmosphérique locale, car les changements barométriques influencent la stabilité des versants.
- B. La température de l'air en altitude, car les glissements de terrain ne se déclenchent qu'en dessous de certains seuils thermiques.
- C. L'humidité antérieure du sol, car des sols déjà saturés nécessitent moins de pluie pour déclencher des glissements de terrain.
- D. Le débit de la rivière en aval, car les crues des rivières sont le principal déclencheur des glissements de terrain.

Question 34

Quelle stratégie à long terme réduit le MIEUX le risque d'inondation en traitant ensemble l'aléa, l'exposition et la vulnérabilité ?

- A. Rehausser les digues dans toute la région et étendre les réseaux de drainage urbain.
- B. Construire des bassins de rétention en amont et procéder à un large reboisement.
- C. Organiser la restauration des plaines inondables et des zones humides et limiter le développement anthropique dans les zones exposées aux inondations.
- D. Déplacer les établissements et les activités hors des zones à risque en laissant la nature restaurer la stabilité hydrogéologique.

Question 35

Sur la base des Figures 2 à 5, quelle interprétation du risque d'inondation explique le mieux la relation globale entre zone habitée et réponse aux inondations ?

- A. L'exposition et la vulnérabilité aux inondations reflètent les niveaux des zones habitées.
- B. L'aléa d'inondation est corrélé aux zones fortement peuplées.
- C. Les comparaisons entre les bassins montrent que le risque n'a pas de relation cohérente avec la densité de population.
- D. Le risque d'inondation n'est pas influencé par l'utilisation des terres.

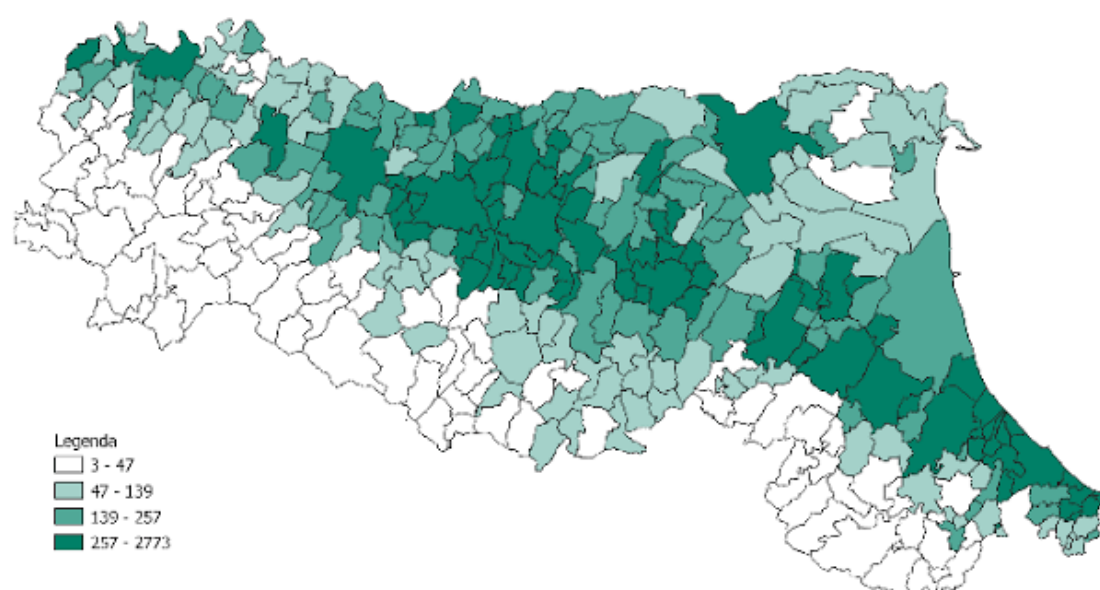


Figure 5 : Densité de population (habitants/km²)