



<https://doi.org/10.1038/s43247-025-02964-0>

Les changements climatiques dans le commerce des céréales en Méditerranée ont atténué la famine, mais ont introduit la peste noire en Europe médiévale.

Vérifiez les mises à jour

Martin Bauch ¹ et Ulf Büntgen ^{2,3,4}

La première vague de la seconde pandémie de peste, la Peste noire, a décimé une grande partie de la population européenne en quelques années seulement après 1347. Bien qu'il soit admis que la bactérie responsable, *Yersinia pestis*, provenait de populations de rongeurs sauvages d'Asie centrale et a atteint l'Europe par la région de la mer Noire, les raisons du moment d'apparition, de la propagation et de la virulence de la Peste noire font encore débat. Nous soutenons ici qu'un dérèglement climatique post-volcanique et une famine trans-méditerranéenne de 1345-1347 ont contraint les républiques maritimes italiennes de Venise, Gênes et Pise à activer leur réseau d'approvisionnement bien établi et à importer des céréales des Mongols de la Horde d'Or, par la mer d'Azov, en 1347. Ce changement, induit par le climat, dans le commerce des céréales à longue distance a non seulement permis d'éviter la famine à de vastes régions d'Italie, mais a également introduit la bactérie de la peste dans les ports méditerranéens et favorisé sa propagation rapide à travers une grande partie de l'Europe.

Avec des taux de mortalité encore sujets à débat, pouvant atteindre 60 % dans certaines régions 1347 et 1353 CE1, d'Europe, la peste noire est considérée comme l'une des plus grandes catastrophes humaines de l'époque prémoderne^{1–3}. La peste noire fut la première vague de la seconde pandémie de peste, qui eut des conséquences démographiques, économiques, politiques, culturelles et religieuses durables pour l'Europe et l'ensemble de la région méditerranéenne^{4–6}.

Les progrès récents de la recherche paléogénétique démontrent désormais que la peste noire était causée par la bactérie *Yersinia pestis*^{7,8}, qui persiste probablement sous différentes formes dans des réservoirs naturels, notamment chez les populations de rongeurs sauvages⁹. Des études menées sur des populations de grandes gerbilles (*Rhombomys opimus*) au Kazakhstan¹⁰, par exemple, ont montré comment la bactérie peut être transmise d'un hôte mammifère à un autre par des insectes vecteurs hématophages, tels que les puces^{11–13}. Cette zoonose ne se transmet cependant qu'occasionnellement aux mammifères domestiques et à l'homme, et trois pandémies ont été documentées à ce jour : la peste justinienne, d'environ 541 à la seconde moitié du VIII^e siècle apr. J.-C. 14–16 ; la deuxième pandémie, qui a débuté vers 1338 apr. J.-C. en Asie centrale, suivie d'épidémies dans la région méditerranéenne et en Europe jusqu'au début du XI^e siècle apr. J.-C.^{3,4,17} ; et la troisième pandémie de peste qui a pris naissance dans les années 1770 en Chine et qui est sans doute encore répandue dans les populations de rongeurs endémiques dans différentes parties du monde¹⁸.

Une combinaison de données archéologiques, historiques et génomiques anciennes suggère que l'agent causal de la deuxième pandémie de peste est très probablement

L'épidémie de peste noire est apparue dans les contreforts arides des monts Tian Shan, à l'ouest du lac Issyk-Koul, dans l'actuel Kirghizistan^{19–21}. Une souche génétiquement distincte de la bactérie s'est ensuite propagée le long des anciennes routes commerciales et a atteint l'Europe par la région septentrionale de la mer Noire au début des années 1340²². Si l'évolution du commerce maritime de céréales à longue distance a été avancée comme explication possible de l'importation de puces infectées par la peste à Venise et dans d'autres villes portuaires méditerranéennes en 1347²³, cette hypothèse exclut d'autres voies de transmission, telles que la transmission interhumaine ou le transport de rongeurs et de marchandises²³. Le rôle que les changements climatiques et les facteurs environnementaux associés ont pu jouer dans l'apparition et l'établissement de la peste noire demeure, de façon intrigante, controversé parmi les chercheurs en sciences naturelles, sociales et humaines.

Malgré une compréhension toujours plus approfondie de l'évolution, de l'origine et de la transmission de *Yersinia pestis* lors de la seconde pandémie de peste, on ignore encore si la bactérie a été fréquemment réintroduite en Europe¹⁷ ou si des réservoirs naturels de la bactérie y ont jamais existé⁹. Des découvertes récentes sur l'écologie de la peste mettent en lumière la survie prolongée des puces sans hôtes humains ni rongeurs, grâce à la possibilité de se nourrir de poussière de céréales lors du transport de denrées alimentaires sur le long terme. Des données empiriques datant d'environ 1900 peuvent donc être envisagées comme une explication possible de l'arrivée de *Yersinia pestis* en Italie médiévale²³. Bien qu'il n'existe à ce jour aucun argument convaincant permettant de dater son introduction avant le début de la seconde pandémie de

¹Institut Leibniz d'histoire et de culture de l'Europe orientale (GWZO), Département Humains et Environnement, Leipzig, Allemagne.

Université de Cambridge, Cambridge, Royaume-Uni. ³Institut de recherche sur le changement global (CzechGlobe), Académie tchèque des sciences, Brno, République tchèque.

Géographie, Faculté des sciences, Université Masaryk, Brno, République tchèque.

e-mail : martin.bauch@leibniz-gwzo.de ; ulf.buentgen@geog.cam.ac.uk

²Département de géographie,

⁴Département de

XIII^e siècle CE24-28, les changements survenus dans les structures socio-économiques, les institutions politiques et les réseaux commerciaux depuis la seconde moitié du XIII^e siècle ont peut-être influencé le cours de la deuxième pandémie de peste^{5,29,30}.

Nous démontrons ici que des recherches interdisciplinaires sur les interactions entre la météo, le climat, l'écologie et la société, bien avant la peste noire, sont essentielles pour comprendre le niveau exceptionnel de propagation et de virulence qui a rendu la première vague de la seconde pandémie de peste si meurtrière.

En nous appuyant sur des reconstitutions annuelles, datées avec précision, du refroidissement induit par l'activité volcanique, de la famine transrégionale et des changements du commerce maritime céréalier à longue distance entre 1345 et 1347, nous soutenons que le déclenchement de la peste noire résulte très probablement d'une interaction complexe de facteurs et de processus naturels et sociétaux. Bien que cette concomitance spatio-temporelle unique de multiples influences semble rare, nos résultats soulignent la probabilité accrue d'émergence soudaine de maladies infectieuses zoonotiques et de leur transformation rapide en pandémies dans un monde globalisé et plus chaud³¹, la COVID-19 n'étant que le dernier signal d'alarme.

Résultats et discussion. Si l'on s'est

beaucoup intéressé au lien supposé entre volcans, climat et activités humaines au début du Petit Âge glaciaire de l'Antiquité tardive (PAGT) et à l'apparition de la peste justinienne entre 536 et 541 apr. J.-C.³², peu d'efforts ont été consacrés à l'évaluation de la réponse climatique et des conséquences sociétales d'une éruption volcanique tropicale, probablement tropicale mais encore non identifiée – ou d'une série d'éruptions – survenue vers 1345 apr. J.-C.^{33,34} (Fig. 1A). Dépassant largement la production de soufre de l'éruption du mont Pinatubo en 1991, qui a fait l'objet de nombreuses études³⁵, l'injection de soufre stratosphérique d'origine volcanique en 1345 apr. J.-C. est estimée à 14 téragrammes (Tg)³³. L'événement climatique de 1345 apr. J.-C. se classe au 18^e rang des 2 000 dernières années et a été précédé d'au moins trois éruptions volcaniques vers 1329, 1336 et 1341 apr. J.-C. Les injections de soufre reconstituées pour ces événements sont d'environ 3,7, 0,7 et 1,2 Tg, et la première et la dernière éruption se sont probablement produites dans les régions extratropicales de l'hémisphère Nord.

Des observateurs au Japon et en Chine, ainsi qu'en Allemagne, en France et en Italie, ont signalé indépendamment une diminution de l'ensoleillement et une augmentation de la nébulosité.

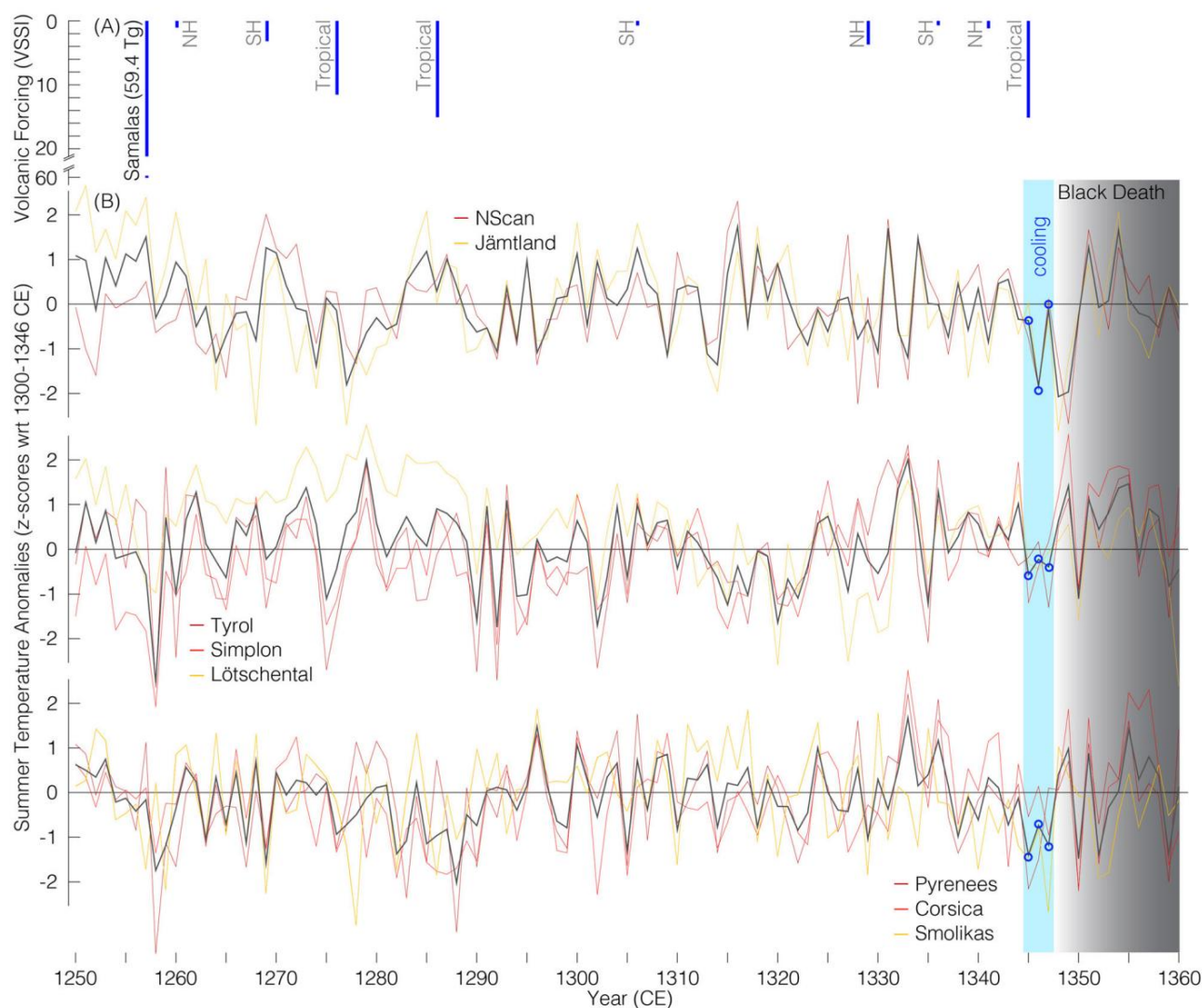


Fig. 1 | Forçage volcanique et refroidissement estival. A Estimations de l'injection stratosphérique de soufre volcanique (ISSV) dérivées de l'analyse géochimique de carottes de glace prélevées en Antarctique et au Groenland (eVolv2k 3 v)³³. L'ISSV est exprimée en téragrammes (1 Tg = 10¹² g). À titre de comparaison, l'ISSV pertinente pour le climat de l'éruption du Pinatubo en 1991 était de 6 Tg. La seule éruption connue entre 1250 et 1360 apr. J.-C. est celle du Samalas, datée de 1257 apr. J.-C., tandis que les neuf autres signaux d'ISSV proviennent de volcans sources non encore identifiés, dont la localisation a été estimée dans les zones extratropicales des hémisphères nord et sud (NH ou SH), ou dans les tropiques. B Comparaison des données estivales résolues annuellement et datées de manière absolue

Les reconstitutions de température sont basées sur les mesures de densité maximale du bois final (MXD) issues de centaines, voire de milliers, d'échantillons de carottes et de disques prélevés sur des arbres vivants et reliques dans huit régions d'Europe (voir le tableau supplémentaire S1 et les données supplémentaires S9 pour plus de détails). Les valeurs individuelles sont exprimées en scores z par rapport à la période précédant la peste noire (1300-1346 apr. J.-C.), soit une moyenne de zéro et un écart-type de un. Les traits noirs plus épais représentent les moyennes régionales. Les trois cercles bleus et la zone bleu clair correspondent aux années 1345, 1346 et 1347 apr. J.-C.

Entre 1345 et 1349 apr. J.-C. (Données supplémentaires S1). La perturbation atmosphérique liée à une possible éruption volcanique riche en soufre vers 1345 apr. J.-C. est corroborée par des signes d'une éclipse lunaire totale peu visible. Associée à un voile de poussière volcanique, cette rare obscurité, caractéristique d'une éclipse lunaire totale normalement brun-rougeâtre, peut être considérée comme un indicateur fiable de la présence de couches d'aérosols, généralement sous-estimées, après de fortes éruptions volcaniques^{³⁶}.

Bien que nous reconnaissions l'incertitude des récits historiques, les nouveaux calculs n'ont pas confirmé les éclipses lunaires signalées en Bohême et en Chine (Données supplémentaires S1). Nous avançons donc que la réduction de la visibilité atmosphérique, combinée aux observations de ciels brumeux en Europe et en Asie, rend très probable la présence d'une vaste couche d'aérosols volcaniques vers 1345.

De plus, l'absence de lignification des parois cellulaires, mise en évidence par la présence de deux cernes bleus consécutifs dans une chronologie dendrochronologique d'arbres de haute altitude des Pyrénées centrales espagnoles, pourrait indiquer au moins deux épisodes de froid éphémères ayant affecté la formation des cernes durant les saisons de croissance de 1345 et 1346 apr. J.-C. (Fig. suppl. 1). Bien que les cernes bleus soient généralement considérés comme des caractéristiques anatomiques distinctes du bois, leur apparition consécutive est extrêmement rare. Malgré les incertitudes persistantes quant à la compréhension des mécanismes à l'origine de la formation des cernes bleus, les exemples suivants provenant des Pyrénées font très probablement référence à des chutes de température estivales exceptionnelles dans cette région, et peut-être aussi dans la péninsule Ibérique, voire dans une grande partie du bassin méditerranéen occidental. Si l'étendue spatiale des anomalies de température importantes est généralement étendue, leur intensité et leur durée restent inconnues.

Un refroidissement estival marqué entre 1345 et 1347 est également mis en évidence par une reconstitution des températures à grande échelle utilisant la densité maximale du bois final (MXD) plutôt que la largeur des cernes (TRW) afin de saisir avec précision les variations interannuelles et sur des périodes plus longues des températures de la saison de croissance^{³⁸} (Fig. S2 en annexe). Ce refroidissement estival consécutif entre 1345 et 1347 a été la période la plus froide enregistrée dans les régions extratropicales de l'hémisphère Nord depuis le froid intense qui a suivi l'éruption du volcan tropical Samalas en 1257. Cependant, les liens possibles entre ce refroidissement estival à grande échelle et l'apparition de la seconde pandémie de peste n'ont été que marginalement abordés jusqu'à présent^{^{29,39,40}}.

La réévaluation de huit reconstitutions de températures estivales basées sur l'analyse MXD, provenant du nord de la Scandinavie (deux enregistrements), des Alpes suisses et autrichiennes (trois enregistrements), et des Pyrénées centrales espagnoles, de la Corse et du nord de la Grèce (un enregistrement pour chaque région), révèle trois étés froids en 1345, 1346 et 1347 (Fig. 1B ; Tableau supplémentaire S1). Le refroidissement est particulièrement marqué dans la région méditerranéenne, où l'été 1345 a été le plus froid (en accord avec les données anatomiques de l'Anneau bleu).

Bien que la situation soit moins claire pour l'hydroclimat (Fig. S3 et Tableau S2 en annexe), les étés en Europe centrale ont probablement été plus secs que la moyenne entre 1345 et 1347. Une structure dipolaire ouest-est prolongée au sud de l'arc alpin suggère des conditions plus humides en Grèce, mais une aridité modérée au Maroc. La prudence est de mise, car les reconstitutions hydroclimatiques tendent à refléter des signaux régionaux plutôt que synoptiques et présentent une intensité de signal moindre que les relevés de température^{⁴¹}. L'examen d'une série de cartes annuelles de reconstitutions spatialement explicites, basées sur les données TRW, de l'humidité et de la sécheresse estivales en Europe et dans le bassin méditerranéen révèle des conditions de saison de croissance relativement sèches en 1346 et 1347 sur une grande partie des îles Britanniques, du nord de la France, des Pays-Bas, de l'Allemagne et du sud de la Scandinavie^{⁴²} (Fig. S4 en annexe). En revanche, une grande partie de la péninsule Ibérique, de l'Italie et des Balkans a bénéficié de précipitations printanières et estivales supérieures à la moyenne dans les années précédant la peste noire. Cependant, ce modèle ne correspond pas entièrement aux rapports météorologiques historiques de l'Italie⁴³ (Données supplémentaires S2).

Pour compléter nos connaissances paléoclimatiques obtenues à partir des données dendrochronologiques, nous avons évalué les sources narratives et administratives disponibles contenant des informations sur les conditions météorologiques à des périodes sub-

Résolution saisonnière (Données supplémentaires S1-S7). Des documents suggèrent que les changements climatiques et les facteurs environnementaux dans différentes régions d'Europe et du bassin méditerranéen ont influencé la productivité agricole à partir de l'automne 1345 (Données supplémentaires S3). En conséquence, des récoltes de raisins mauvaises et des rendements extrêmement faibles ont été signalés.

Nord-ouest de l'Italie (Données supplémentaires S8). L'automne 1345, ainsi que les printemps 1346 et 1347, furent caractérisés par de fortes précipitations qui provoquèrent de graves inondations et une érosion des sols en Italie, notamment dans la plaine du Pô et les régions italiennes de Toscane et du Latium. Tandis que l'hiver 1344-1345 fut particulièrement froid et neigeux au Moyen-Orient, des épisodes de sécheresse et des invasions de criquets pèlerins affectèrent l'agriculture au Levant durant les hivers 1345-1346 et 1347-1348 (Données supplémentaires S2).

De manière convaincante, la plupart des observateurs contemporains français et italiens, y compris d'éminents universitaires parisiens, ont rapporté indépendamment une série d'étés exceptionnellement froids et humides, ainsi que des anomalies météorologiques générales inhabituelles, avant que la peste noire n'atteigne l'Europe en 1347 (Données supplémentaires S1). Bien que des conditions estivales plus fraîches que la moyenne en 1348 puissent expliquer les pics de mortalité anormalement élevés liés à la peste en Italie, aucune preuve de ce type n'est apportée par les reconstitutions basées sur les cernes des arbres pour l'Europe centrale et la région méditerranéenne (Fig. 1B). De plus, les descriptions météorologiques détaillées sont rares après 1347, car les épidémies de peste émergentes ont captivé l'attention des contemporains.

L'Italie de la fin du Moyen Âge était fortement urbanisée^{⁴⁴}, et l'essor des cités-États autonomes entre le milieu du XII^{^e} siècle et environ 1350 apr. J.-C. a nécessité un système complexe d'approvisionnement en céréales pour garantir la sécurité alimentaire. Ces cités-États créèrent des institutions et commencèrent à importer des céréales sur de longues distances, en raison de la croissance démographique rapide et des possibilités limitées d'accroître la productivité de leurs systèmes agricoles. Seules Milan et Rome étaient largement autosuffisantes, tandis que Bologne, Florence, Gênes, Sienne et Venise, ainsi que de nombreuses villes plus petites, dépendaient des importations de céréales^{^{45,46}}. Il n'est donc pas surprenant que les premiers greniers communaux d'Italie aient été développés en réponse aux mauvaises récoltes et à la nécessité de constituer des réserves pour les conflits militaires. Les nouvelles autorités céréalières employaient des fonctionnaires pour faire appliquer la réglementation, gérer les greniers, acheter et transporter les céréales et organiser les ventes. La principale mesure réglementaire consistait en une interdiction d'exporter des céréales hors du territoire de la ville. Des prélèvements obligatoires, des primes à l'importation et diverses réglementations relatives à la vente et au stockage furent également imposés, les infractions étant punies de lourdes amendes et de confiscation des biens. Les importations collectives de céréales étaient organisées par l'intermédiaire de marchands, financées par des prêts volontaires ou forcés et des prélèvements indirects sur le commerce des céréales, les moulins et la production de pain^{⁴⁷}. Après les dépenses militaires, la gestion des céréales constituait le deuxième poste de dépenses le plus important pour de nombreuses cités-États italiennes. Dès les années 1250, de grandes républiques maritimes comme Venise, Gênes et Pise conclurent des traités avec des régions exportatrices de céréales telles que les Pouilles, la Sicile, la Sardaigne et diverses puissances politiques d'Afrique du Nord. Une dizaine d'années plus tard, Venise et Gênes commencèrent à établir des comptoirs commerciaux sophistiqués et des réseaux proto-coloniaux afin d'accéder aux céréales des régions de la mer Égée et de la mer Noire et ainsi prévenir les famines de masse en cas de régimes de famine suprarégionaux d'origine climatique dans une grande partie du bassin méditerranéen occidental et central^{^{23,47}}.

Une grave famine, survenue en 1346-1347, frappa simultanément une grande partie de l'Espagne, le sud de la France, le nord et le centre de l'Italie, l'Égypte et le Levant. Les chroniques font état de pics de prix importants pour les céréales dans la Catalogne actuelle, le nord et le centre de l'Italie, l'Égypte et même le Hedjaz, dans la péninsule arabique (Fig. 2A). Les prix du blé les plus élevés depuis au moins huit décennies furent enregistrés dans toutes les régions en 1347 (Données supplémentaires S6-7). Cette famine trans-méditerranéenne entraîna probablement une forte mortalité dans de nombreuses villes du nord de l'Italie, touchées par la malnutrition et les épidémies, mais pas encore par la peste causée par la bactérie *Yersinia pestis*^{²⁹}. La réglementation du commerce des céréales débuta en 1346 et fut en partie accompagnée, voire imposée, par des troubles civils. Les mesures politiques associées dans le centre-nord de l'Italie atteignirent leur niveau le plus élevé en 1347 depuis au moins un siècle (Fig. 2B). Bien que ce ne soit pas nécessairement le cas, mais cela pourrait être lié à la famine généralisée et au début de la peste noire, la plus faible activité de construction en Europe centrale depuis le Moyen Âge a été reconstruite pour 1348-1350 [CE48](#).

La synchronisation spatiale des famines signalées en 1346/47 suggère une prédominance d'un facteur climatique plutôt que socio-économique régional. Cette hypothèse est corroborée par des données sur les vendanges, sensibles à la température, dans le nord-ouest de l'Italie^{⁴⁹}, qui révèlent une succession de rendements extrêmement faibles entre 1345 et 1350 (Données supplémentaires S8). Alors que les céréales étaient initialement...

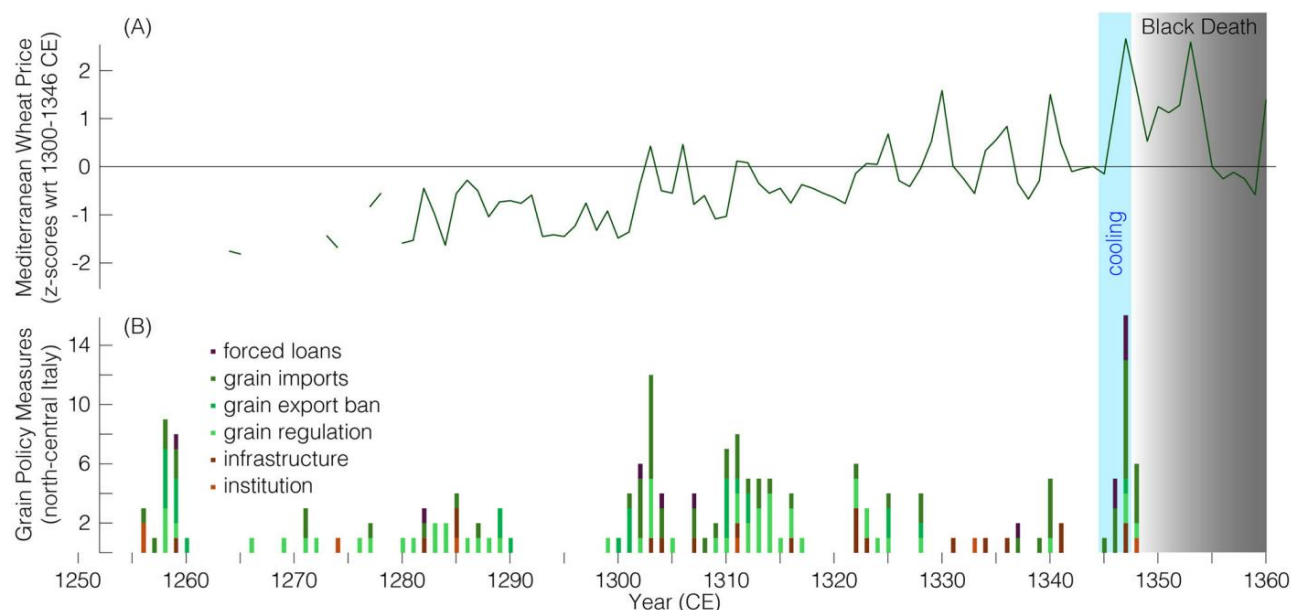


Figure 2 | Prix du blé et mesures politiques. Prix du blé en Méditerranée, établi à partir de reconstitutions individuelles des prix des céréales (blé et millet) en Catalogne, en Toscane (Florence, San Miniato, Sienne), dans la plaine du Pô (Bologne et Parme), au Caire et à La Mecque céréalière dans le centre-nord de l'Italie⁴⁷.

(Données supplémentaires S6-7). Les données sont exprimées en scores z par rapport à la période 1300-1346 (moyenne de zéro et écart-type de un). B Mesures de politique

Importées du sud de l'Italie (Données supplémentaires S4), les récoltes désastreuses nécessiteront des importations supplémentaires par voie maritime (Fig. 3), et Gênes et Venise furent incitées à conclure un cessez-le-feu dans le conflit qui les opposait aux Mongols de la Horde d'Or. En 1349, des sources vénitiennes affirmèrent a posteriori que c'était le grain de la mer Noire qui avait sauvé la ville de la famine. Cette affirmation est corroborée par des rapports faisant état de pénuries alimentaires à Venise et de la nécessité d'importer du grain de la mer Noire à tout prix en avril et août 1347 (Données supplémentaires S4). Bien que la transmission maritime à longue distance de la bactérie de la peste *Yersinia pestis* via les navires céréaliers ait pu se produire tôt ou tard, c'est le refroidissement et l'humidité du climat en 1345 et 1346, possiblement causés par une ou plusieurs éruptions volcaniques, ainsi que les pénuries alimentaires qui ont suivi, qui peuvent fournir une explication mécaniste du déclenchement synchronisé de la deuxième pandémie de peste dans de nombreux grands ports maritimes italiens en 1347 et de sa propagation (ou de l'absence d'épidémies) en 1348 à travers l'Italie et les régions voisines du bassin méditerranéen (Fig. 4).

La levée de l'embargo sur les céréales imposé à la Horde d'Or en avril 1347 permit aux navires marchands italiens d'atteindre la côte nord de la mer Noire et la mer d'Azov. Le contact maritime avec cette région leur donna accès aux centres commerciaux locaux et aux importantes zones de production céréalière du nord, qui n'étaient vraisemblablement pas affectées par un climat défavorable à cette époque⁵¹, car, sans cela, elles n'auraient pas pu approvisionner l'Italie en céréales. À leur retour, au cours du second semestre 1347, les flottes marchandes italiennes ramenèrent cependant non seulement des céréales dans les ports méditerranéens, mais transportèrent également la bactérie de la peste, *Yersinia pestis*, très probablement par le biais de puces se nourrissant de poussière de céréales durant leur long voyage (Fig. 3, 4A ; Tableau 1) (Données supplémentaires S5). Les premiers cas de peste humaine à Venise ont été signalés moins de deux mois après l'arrivée des derniers navires chargés de céréales^{23,52} (Fig. 4B). Ce mécanisme permet également de mieux comprendre la propagation ultérieure de la peste noire en Italie continentale (Fig. 4A-C). La reprise des exportations de céréales vénitiennes vers Padoue en mars 1348 explique, dans un ordre chronologique parfait, l'épidémie de peste qui s'y est déclarée par la suite (Fig. 4C ; Données supplémentaires S4-5). Une telle synchronisation temporelle est plus difficile à démontrer pour Florence et Sienne, bien que la nécessité de reconstituer les stocks de céréales alors que la famine s'atténuait déjà soit clairement visible (Données supplémentaires S4-5). Les grandes villes italiennes comme Rome et Milan, les grandes villes de la plaine du Pô sous domination milanaise, ainsi que les villes des régions céréalères comme Vérone, Ferrare, Ravenne et Bari, n'ont pas participé aux importations de céréales de provenance de la région de la mer Noire.

En 1347/48, ces villes furent épargnées par la première vague d'épidémies de peste (Fig. 4D ; Données supplémentaires S4-5). En revanche, d'autres villes portuaires importantes de la Méditerranée, comme Marseille et Palma de Majorque, connurent des épidémies dès la fin décembre 1347^{4,53}, probablement importées par des navires génois transportant, comme convenu, des céréales. Un schéma similaire se dessine lors des épidémies secondaires d'avril 1348 dans des ports plus petits tels que Savone, Vintimille et Tunis⁴, qui auraient pu recevoir des cargaisons de céréales après que les Génois eurent reconstitué leurs propres stocks. Un surplus de céréales à Venise, conjugué aux exportations ultérieures destinées à remplir les greniers vides, comme cela avait été le cas à Padoue, a probablement propagé la peste à Trente, puis de là à différentes régions des Alpes européennes au cours du second semestre 1348⁴.

L'allègement d'un embargo commercial papal décennal, en vigueur depuis 1344, permit également aux marchands italiens de renouer leurs relations avec les Mamelouks au Moyen-Orient^{54,55}, et un immense navire de charge fut construit à Venise pour exporter des céréales vers Alexandrie. Les accords commerciaux latins avec l'Égypte et la Syrie prospérèrent également entre 1345 et 1347, des marchands mamelouks étaient présents dans les ports de Crimée, et des céréales d'Anatolie et de certaines îles de la Méditerranée orientale étaient très probablement expédiées en Égypte (Fig. 3 ; Tableau 1) (Données supplémentaires S4). Bien qu'il soit impossible de retracer précisément les expéditions de céréales, de solides indices économiques et politiques suggèrent que les navires céréaliers de la mer Noire ont non seulement propagé la peste noire en Italie (c'est-à-dire transporté la bactérie *Yersinia pestis*), mais aussi au Moyen-Orient et en Afrique du Nord (Fig. 3, 4C ; Tableau 1). Cela devient encore plus probable puisque nous savons que le sultanat mamelouk a importé des céréales lors d'autres crises d'approvisionnement alimentaire de la fin du XIIIe et du XIVe siècle^{CE56}.

Notre étude démontre que les importations de céréales sur de longues distances, induites par le climat pendant et après une famine suprarégionale, ont non seulement empêché la famine de vastes régions du sud de l'Europe et du Moyen-Orient, mais ont également introduit la peste dans de nombreux ports méditerranéens et facilité sa propagation rapide à travers l'Ancien Monde. L'ampleur et la virulence de la peste noire sont probablement liées à la fois à des structures d'approvisionnement en céréales bien établies et durables, et aux effets dévastateurs des famines précédentes qui ont affaibli les populations européennes juste avant l'arrivée de la bactérie. Autrement dit, le système sophistiqué de sécurité alimentaire italien, qui a permis de résister à de nombreuses famines pendant au moins un siècle, est paradoxalement devenu une porte d'entrée pour un danger mortel dans l'Europe prémoderne. Nous considérons donc la peste noire non seulement comme un

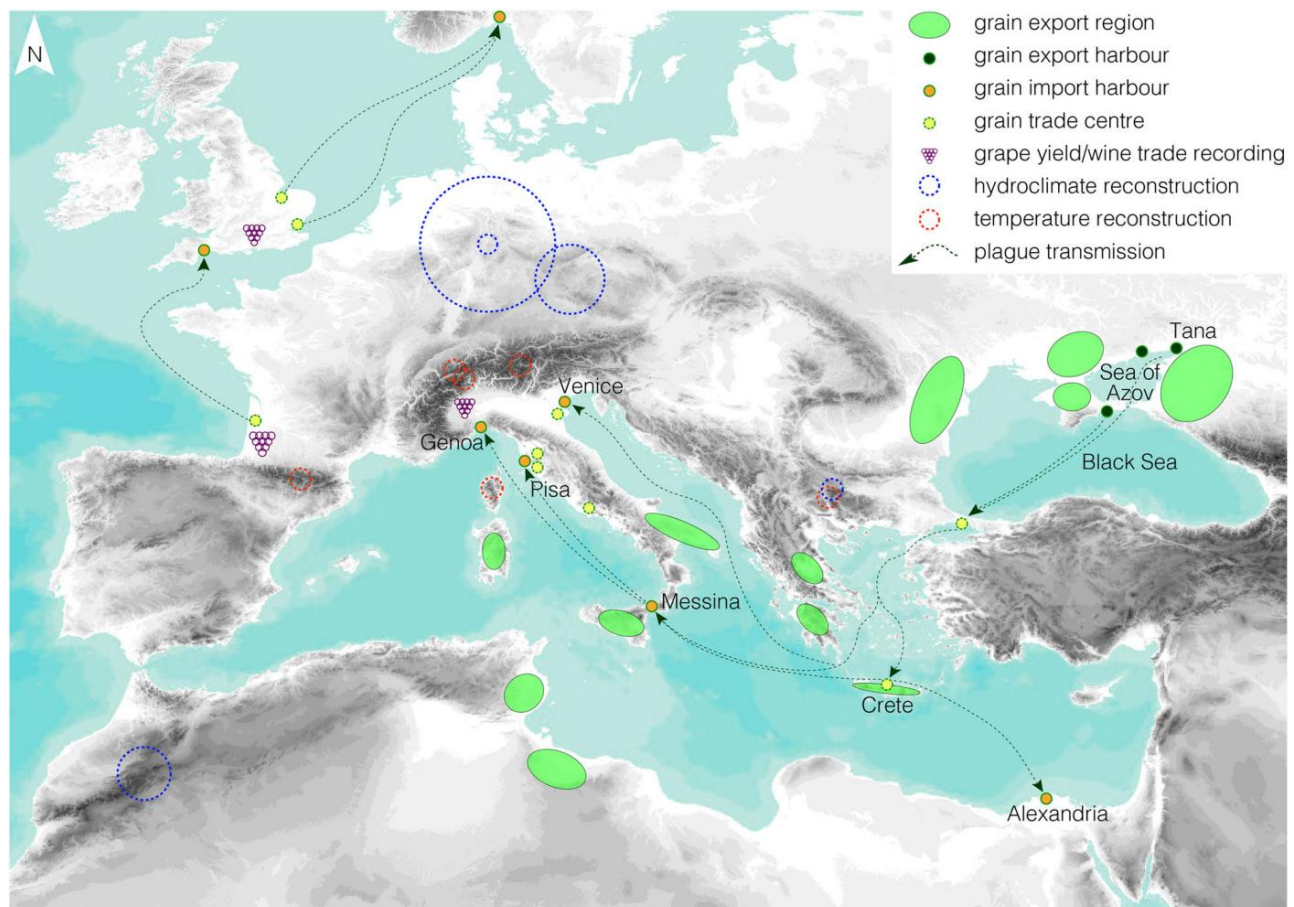


Fig. 3 | Commerce des céréales et propagation de la peste. Principaux aspects du réseau commercial céréalier vénitien, génois et pisan qui a permis d'éviter la famine dans une grande partie de l'Italie en 1347, mais qui a également introduit la bactérie de la peste, *Yersinia pestis*, à Venise et dans d'autres ports méditerranéens durant le second semestre de 1347 (Tableau 1), d'où elle s'est propagée.

La propagation a été rapide. La localisation des reconstitutions climatiques basées sur les cernes des arbres est indiquée (deux sites en Scandinavie ne sont pas représentés). La carte est une projection de Mollweide pseudo-cylindrique équivalente, les niveaux de gris correspondant à l'altitude.

L'interaction frappante entre le climat, la famine et les maladies, reconnue à juste titre comme l'apogée de la crise du XIV^e siècle, mais aussi comme une des premières conséquences de la mondialisation, est un exemple frappant d'interactions entre le climat, la famine et les maladies. Les évaluations modernes des risques peuvent donc intégrer les connaissances issues des interactions bien documentées entre le climat et les maladies qui ont affecté les sociétés passées.

Nos résultats suggèrent que le déclenchement de la Peste noire, la plus grande pandémie de peste connue de l'histoire de l'humanité, qui a décimé une grande partie de la population européenne en quelques années seulement après 1347, résulte très probablement d'une interaction unique, bien qu'aléatoire, de paramètres naturels et sociétaux, directs et indirects, opérant à différentes échelles spatio-temporelles. Ces paramètres vont d'événements locaux et de courte durée, tels que des éruptions volcaniques et des actions militaires, à des pertes de récoltes importantes mais de courte durée, ainsi qu'à des évolutions à long terme comme le système d'approvisionnement céréalier pan-méditerranéen. Nous expliquons le calendrier et la propagation de la Peste noire par l'activation de mesures d'urgence bien établies, entraînant des conséquences imprévues et imprévisibles au sein d'un système socio-écologique complexe. Le commerce maritime de céréales à longue distance, de la région de la mer Noire à Venise et aux autres ports méditerranéens, reposait sur des structures socio-économiques développées depuis plus d'un siècle et constituait pourtant une réponse directe à la famine généralisée causée par les conditions climatiques froides et humides entre 1345 et 1347.

Le déclenchement de la seconde pandémie de peste doit être compris comme une rare coïncidence de circonstances naturelles et sociétales, notamment des modifications des importations de céréales par voie maritime, induites par l'activité volcanique et le climat, constituant une voie unique de propagation des puces infectées par la peste. Bien que limitée aux années 1340, notre étude propose un mécanisme possible pour expliquer les réintroductions ultérieures de la peste dans les ports méditerranéens. Des recherches interdisciplinaires supplémentaires sont toutefois nécessaires pour comprendre si des réintroductions de la peste se produisent de manière récurrente.

Les épidémies de peste en Europe entre le milieu du XIV^e siècle et le début du XIX^e siècle ont été facilitées par les importations de céréales par voie maritime sur de longues distances ou par d'autres voies d'acheminement. En recherche paléoclimatique, la priorité devrait être accordée à l'évaluation des reconstitutions à haute résolution des températures et des précipitations en Eurasie intérieure. En effet, on ignore encore si la variabilité climatique du fonctionnement et de la productivité des systèmes écologiques a affecté la dynamique des réservoirs naturels de *Yersinia pestis* et la probabilité de transmission de la bactérie aux mammifères domestiques, voire aux populations humaines. D'un point de vue historique, il est primordial d'améliorer la connaissance et la précision des archives relatives aux épidémies de peste passées, ainsi que l'étude des changements spatio-temporels du commerce prémoderne des céréales, à courte et longue distance, afin d'établir un lien entre la dispersion de la bactérie de la peste et la zoonose.

Bien que la conjonction de différents facteurs environnementaux et sociétaux au début de la peste noire semble rare, la probabilité d'émergence de maladies infectieuses zoonotiques et de leur transformation en pandémies est susceptible d'augmenter dans un monde globalisé et plus chaud. Au vu de l'impact récent de la COVID-19, il est évident que garantir et améliorer la résilience sociétale exige des approches holistiques pour appréhender et maîtriser le large éventail des [risques sanitaires](#) ^{58–60}.

Conclusions : Nous avons

utilisé des indicateurs climatiques indirects et des archives documentaires écrites pour suggérer qu'une éruption volcanique encore non identifiée, ou une série d'éruptions aux alentours de 1345, a contribué à des conditions climatiques froides et humides entre 1345 et 1347 dans une grande partie de l'Europe méridionale. Cette anomalie climatique et la famine transrégionale qui s'en est suivie ont contraint les républiques maritimes italiennes de Venise, Gênes et Pise à réorganiser leur réseau d'approvisionnement et à importer des céréales.

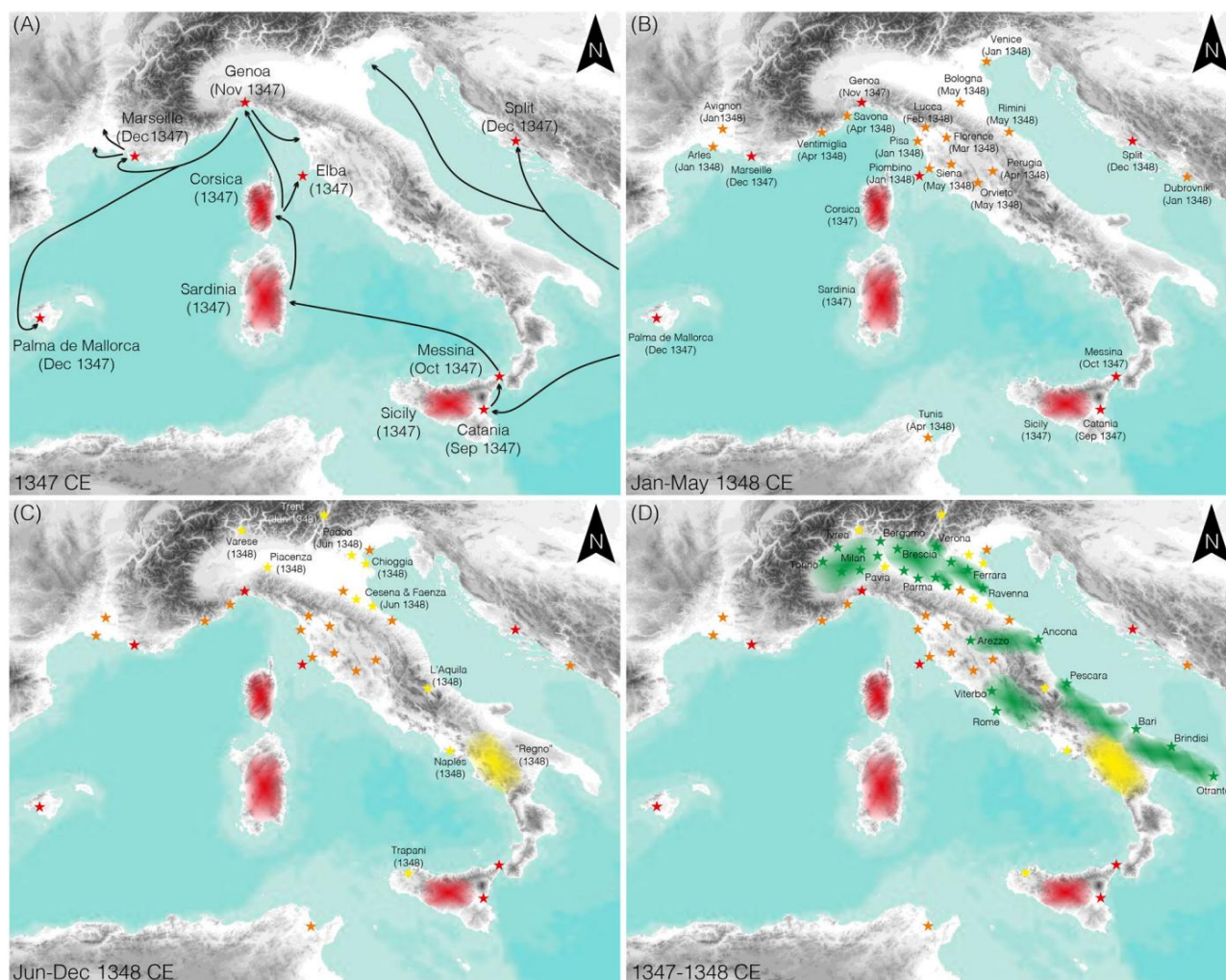


Fig. 4 | Début de la peste noire en Europe du Sud. A Les premiers foyers de peste signalés en 1347 en Europe du Sud (étoiles rouges), ainsi que les itinéraires supposés des navires céréaliers vénitiens et génois (traits noirs). B Foyers de peste signalés ultérieurement entre janvier et mai 1348 (étoiles orange), ainsi que les foyers antérieurs (étoiles rouges). C Foyers de peste signalés en juin 1348 ou à une date indéterminée de la même année (étoiles jaunes), superposés aux foyers antérieurs (étoiles orange et rouges). D Tous les foyers de peste connus en 1347 et 1348 (étoiles rouges,

Les étoiles orange et jaunes indiquent les principales villes et régions italiennes probablement épargnées par la peste noire durant cette période, tandis que les étoiles vertes représentent les grandes villes et régions. Les données supplémentaires S4-5 (et la référence 4) fournissent des informations détaillées sur les épidémies de peste. Les étoiles désignent les villes, les zones moins précises sont indiquées par des nuances de la même couleur. La carte utilise une projection Mollweide pseudo-cylindrique équivalente, l'échelle de gris correspondant à l'altitude.

Les Mongols de la Horde d'Or aux alentours de la mer d'Azov en 1347. Ce changement inhabituel dans le commerce maritime de céréales à longue distance a empêché de vastes régions d'Italie de mourir de famine et a propagé la bactérie de la peste *Yersinia pestis* via des puces infectées présentes dans les cargaisons de céréales à travers une grande partie du bassin méditerranéen, d'où est née la deuxième pandémie de peste, qui a engendré la plus grande crise de mortalité des temps prémodernes.

Méthodes

Enregistrement dendrochronologique

Nous avons compilé des reconstructions de température estivale de pointe qui ont utilisé des mesures de densité maximale du bois final (MXD) provenant de centaines et de milliers d'échantillons de carottes et de disques d'arbres vivants et reliques collectés sur des sites proches de la limite des arbres dans huit régions différentes d'Europe (voir les tableaux supplémentaires S1 et S2 et les données supplémentaires S9 pour plus de détails)⁶¹. Les enregistrements dendrochronologiques résolus annuellement et datés de manière absolue ont été exprimés sous forme de scores z par rapport à la période pré-peste noire de 1300 à 1346 apr. J.-C. (moyenne de zéro et écart-type de un), et comparés à des estimations à haute résolution de l'injection de soufre stratosphérique volcanique (VSSI) dérivées de l'analyse géochimique de carottes de glace collectées en Antarctique et au Groenland (eVol2k 3 v)³³, qui ont été exprimées en téragrammes (1 Tg = 1012 g).

Archives historiques

Des sources narratives provenant de toute l'Eurasie, notamment des chroniques, des annales historiographiques, des traités et même de la poésie (Données supplémentaires S1 à S8), ont été analysées à plusieurs fins. Premièrement, elles apportent des preuves de phénomènes atmosphériques et optiques qui peuvent être plausiblement liés aux voiles de poussière volcanique entre 1345 et 1350 apr. J.-C. (Données supplémentaires S1). Elles rendent également compte des conditions météorologiques et économiques en Eurasie entre 1345 et 1349 apr. J.-C., en soulignant les événements climatiques extrêmes (Données supplémentaires S2) et les récits de disette ou de famine (Données supplémentaires S3). Ces citations d'auteurs contemporains proviennent d'éditions et de documents d'archives sélectionnés selon les normes historico-critiques.

Les informations proviennent de documents administratifs et épistolaires relatifs au commerce trans-méditerranéen des céréales entre 1345 et 1348 (Données supplémentaires S4). Ces documents sont classés par origine géographique afin de refléter la situation dans les différentes villes italiennes et leurs efforts pour s'approvisionner en céréales au-delà de leurs frontières. Une chronologie révisée des épidémies de peste en Italie est basée sur une analyse approfondie des chroniques (Données supplémentaires S5).

Les données relatives aux prix des céréales pour différentes cultures en Italie ont été collectées à partir de sources narratives sur une base saisonnière (Données supplémentaires S6). Ces données ont été converties en moyennes annuelles (Données supplémentaires S7), ainsi que

Tableau 1 | Activités socio-économiques liées aux premières épidémies de peste au début de la Peste noire

Date	Ville	Activité
1344	Venise	Le commerce avec les Mamelouks a repris avec l'approbation du pape ; un immense navire de transport de céréales est en construction.
1345/05-08	Venise	Importations de céréales en provenance de Ferrare, de Crète et de Libye
1346/03-04	Florence	Négociations avec les négociants en céréales génois : seule la moitié des céréales payées (30 000 florins) arrive effectivement à Florence, Pise et Gênes en confisquant une partie. pour leurs propres besoins
1346/06	Sienne	Emprunt forcé (10 000 florins) pour nourrir 20 000 personnes pendant un an avec des céréales
1346/04-08	Venise	Importations de céréales en provenance de Crète
1346/07	Florence	Nouvelles négociations céréalières avec Pise ; amélioration des infrastructures de transport fluvial ; sécurisation d'une somme importante pour les importations en provenance de Sicile et d'outre-mer (20 000 florins).
1346/09-10	Sienne	Les céréales arrivent par le port de Talamone et depuis l'arrière-pays jusqu'à la ville.
1346/09	Florence	Nouveaux prêts pour l'importation de céréales (45 000 florins)
1347/01-03	Florence	Prêts pour l'importation de céréales : les 30 000 premiers florins ne sont pas disponibles, puis un prêt forcé de 20 000 florins s'impose.
1347/03-05	Sienne	Prêt forcé pour importer des céréales pour 20 000 florins.
1347/03	Venise	Le blé est importé de Sicile.
1347/03	Orvieto	Importation de céréales par voie maritime via le port d'Orvieto
1347/04	Venise	L'embargo commercial contre la Horde d'Or a été levé.
1347/05	Venise	Des navires vénitiens se dirigent vers Tana et l'Asie Mineure pour s'approvisionner en céréales.
1346-47	Alep	Présence de marchands mamelouks dans la région de la mer Noire et en Crimée
1347/07	Venise	Les Génois retiennent le grain florentin pour leurs propres besoins
1347/08	Venise	Importations de céréales de Sicile ; les autorités vénitiennes déclarent l'état d'urgence alimentaire et réquisitionnent des navires privés, donnant ordre à Constantinople. Des agents seraient chargés d'acquiescer du grain à tout prix, de n'importe où, afin de le faire parvenir à Venise avant la fin du mois de novembre 1347.
1347/09-12	Sienne	Commande de céréales pour 12 000 ml, mais les céréales n'arrivent finalement pas.
1347/09	Venise	Les demandes de céréales des Milanais sont refusées ; un prêt supplémentaire est accordé pour financer les importations de céréales ; davantage d'expéditions de céréales en provenance de Crète
1347/10	Florence	Négociations avec les Génois et les Pisans au sujet des céréales
1347/11-12	Florence	Les prix des céréales augmentent dans la ville car toutes les céréales sont destinées à Venise.
1347/12	Sienne	Accord secret avec des marchands catalans
1347/12	Crète	Un navire vénitien chargé de céréales jette l'ancre en Crète et met le cap sur Venise.
1348/01	Épidémie de peste à Venise/Pise	
1348/01	Sienne	Achat de céréales auprès des régions avoisinantes (Grosseto/Maremma)
1348/02-03	Venise	Les exportations de céréales du territoire vénitien vers Padoue sont autorisées.
1348/04-06	Padoue	Épidémie de peste
1348/06	Venise	On peut vendre les vieilles céréales de Trévise et en acquiescer de nouvelles à Venise.
1348/06	Trente	Épidémie de peste

Caractéristiques temporelles et spatiales d'une série d'activités socio-politiques et économiques entre 1344 et 1348 de notre ère qui ont contribué aux premières épidémies de peste recensées en Italie et ont marqué le début de la peste noire (la source supplémentaire fait référence aux données supplémentaires qui contiennent les informations correspondantes).

séries de prix publiées pour la région méditerranéenne élargie. Bien que Les preuves étant fragmentaires et souvent biaisées en faveur des périodes de pénurie ou de réglementation, il suffit de reconstituer les épisodes de fortes fluctuations transrégionales des prix. épis. Enfin, des données sensibles au climat sur les rendements des vendanges provenant de Pinerolo, dans le Piémont, sert à contextualiser les reconstructions des prix des céréales. et d'autres preuves documentaires (Données supplémentaires S8).

Disponibilité des données
Toutes les données pertinentes pour cette étude sont fournies dans les fichiers de données supplémentaires.
et disponible gratuitement sous <https://doi.org/10.5281/zenodo.17441026>.

Reçu le 1er juillet 2025 ; Accepté le 30 octobre 2025 ;
Published online: 04 December 2025

Références

1. Izdebski, A. et al. Les données paléocéologiques indiquent des changements d'utilisation des terres à travers l'Europe, lié à l'hétérogénéité spatiale de la mortalité pendant la Pandémie de peste noire. *Nat. Ecol. Evolution* 6, 297–306 (2022).

2. Aberth, J. La Peste noire : une nouvelle histoire de la grande mortalité en Europe, 1347–1500. (Oxford University Press, 2021).

3. Belich, J. Le monde façonné par la peste : la peste noire et l'essor de Europe. (Princeton University Press, 2022).

4. Benedictow, OJ. L'histoire complète de la peste noire. (Boydell & Brewer Incorporated, Melton, 2021).

5. Campbell, BMS La Grande Transition : Climat, Maladie et La société dans le monde de la fin du Moyen Âge. (Cambridge University Press, 2016).

6. Cohn, SK La peste noire transformée, Maladie et culture au début L'Europe de la Renaissance. (Arnold, 2003).

7. Haensch, S. et al. Des clones distincts de Yersinia pestis ont causé le noircissement décès. *PLoS Pathog.* 6, e1001134 (2010).

8. Bos, KI et al. Un génome préliminaire de Yersinia pestis provenant de victimes de la peste. *Peste noire. Nature* 478, 506–510 (2011).

9. Stenseth, NC, Yuxin, T., Zhang, C. et Xu, L. Aucune preuve de Réservoirs naturels persistants de peste dans l'Europe historique et moderne. *Actes de l'Académie nationale des sciences des États-Unis* 119, e2209816119 (2022).

10. Stenseth, NC et al. La dynamique de la peste est déterminée par les variations climatiques. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 103, 13110 (2006).

11. Sebbane, F. et al. Réponse adaptative de Yersinia pestis aux activités extracellulaires effecteurs de l'immunité innée au cours de la peste bubonique. *Proc. Natl. Acad. Sci. États-Unis* 103, 11766-11771 (2006).

12. Kausrud, KL et al. Stenseth, Modélisation de l'histoire épidémiologique de La peste en Asie centrale : influence paléoclimatique sur un système de maladies au cours du dernier millénaire. *BMC Biol.* 8, 112 (2010).

13. Ben Ari, T. et al. Peste et climat : l'échelle compte. *PLoS Pathog.* 7, e1002160 (2011).

14. Wagner, DM et al. Yersinia pestis et la peste de Justinien 541- 543 ap. J.-C. : une analyse génomique. *Lancet Infect. Dis.* 14, 319–326 (2014).

15. Harper, K. La première pandémie de peste en Italie : les preuves écrites. *Speculum* 98, 369–420 (2023).

16. Zonneveld, KAF et al. Changement climatique, société et pandémie maladie en Italie romaine entre 200 av. J.-C. et 600 apr. J.-C. *Sci. Adv.* 10, eadk1033 (2024).

17. Schmid, BV et al. Introduction de la peste noire en Europe sous l'effet du climat et réintroductions successives de la peste. *Proc. Natl. Acad. Sci. États-Unis* 112, 3020–3025 (2015).

18. Ben Ari, T. et al. La peste humaine aux États-Unis : l'importance du régionalisme et le climat local. *Biol. Lett.* 4, 737–740 (2008).

19. Spyrou, MA et al. Krause, La source de la peste noire dans Eurasie centrale du XIVe siècle. *Nature* 606, 718–724 (2022).

20. Slavin, P. La naissance de la peste noire : biologie, climat, environnement, et les débuts de la deuxième pandémie de peste dans l'Asie centrale du début du XIVe siècle. *Environ. Hist.* 28, 300–334 (2023).

21. Hansen, DW, DeWitte, SN & Slavin, P. Mourir de la peste : stature et mortalité dues à la peste noire au Kirghizistan du XIVe siècle. *Am. J. Biol. Anthropol.* 185, e25009 (2024).

22. Slavin, P. Du Tian Shan à la Crimée : dynamique de la propagation de la peste au cours des premières étapes de la peste noire, 1338-46. *J. Economic Soc. Hist. Orient* 66, 513–627 (2023).

23. Barker, H. Laying the Corpses to Rest: Grain, Embargoes, and Yersinia pestis in the Black Sea, 1346-48. *Speculum* 96, 97–126 (2021).

24. Green, MH Les quatre pestes noires. *Am. Historical Rev.* 125, 1601–1631 (2020).

25. Fancy, N. & Green, MH La peste et la chute de Bagdad (1258). *Med. Hist.* 65, 157–177 (2021).

26. Slavin, P. Out of the West: Formation of a Permanent Plague Reservoir in South-Central Germany (1349-1356) and its Implications. *Present* 252, 3–51 (2021).

27. Green, MH. De l'Est (ou du Nord ou du Sud) : une réponse à Philip Slavin. *Présent* 256, 283–323 (2022).

28. Brack, J., Biran, M. et Amitai, R. La peste et la conquête mongole de Bagdad (1258) ? Une réévaluation des sources. *Medical History* 1–19, (2024).

29. Bauch, M. & Engel, A. Die 1340er Jahre als Schlüsseljahrzehnt der, Grande transition ». Une perspective historique climatique auf den Vorabend des Noirs Todes. Dans *Pest! Sonderausstellung des LWL-Museums für Archäologie - Westfälisches Landesmuseum Herne*, (Eds. Berner, A., Leenen, S. et Maus, S.) 76-82 (WBG, 2029).

30. Campbell, BMS Les crises de mortalité européennes de 1346-1352 et l'avènement du Petit Âge glaciaire. Dans *Famines pendant le « Petit Âge glaciaire » (1300-1800), Enchevêtrements socio-naturels dans les sociétés prémodernes*, (éd. Collet, D. & Schuh, M.) 19-41 (Springer, 2027).

31. McMichael, AJ, Woodruff, RE et Hales, S. Changement climatique et Santé humaine : risques actuels et futurs. *Lancet* 367, 859–869 (2006).

32. Büntgen, U. et al. Refroidissement et changement sociétal pendant le Petit Âge glaciaire de l'Antiquité tardive, de 536 à environ 660 après J.-C. *Nat. Geosci.* 9, 231–236 (2016).

33. Toohey, M. et Sigl, M. Injections de soufre stratosphérique volcanique et profondeur optique des aérosols de 500 av. J.-C. à 1900 apr. J.-C. *Earth Syst. Sci. Data* 9, 809–831 (2017).

34. Sigl, M., Toohey, M., McConnell, JR, Cole-Dai, J. et Severi, M. Injections de soufre stratosphérique volcanique et profondeur optique des aérosols au cours de l'Holocène (11 500 dernières années) à partir d'un réseau de carottes de glace bipolaires. *Données scientifiques des systèmes terrestres* 14, 3167–3196 (2022).

35. Dhomse, SS et al. Évaluation des forçages radiatifs simulés, Propriétés des aérosols et réchauffements stratosphériques dus aux nuages d'aérosols volcaniques du mont Agung en 1963, d'El Chichón en 1982 et du mont Pinatubo en 1991. *Atmos. Chem. Phys.* 20, 13627–13654 (2020).

36. Guillet, S. et al. Les éclipses lunaires éclairent le calendrier et l'impact climatique des volcanisme médiéval. *Nature* 616, 90–95 (2023).

37. Piermattei, A. et al. Une chronologie millénaire de l'anneau bleu des Pyrénées espagnoles révèle un refroidissement estival éphémère sévère après les éruptions volcaniques. *Environ. Res. Lett.* 15, 124016 (2020).

38. Schneider, L. et al. Révision des températures estivales des latitudes moyennes jusqu'à l'an 600 après J.-C. sur la base d'un réseau de densité du bois. *Geophys. Res. Lett.* 42, 4556–4562 (2015).

39. Fell, HG, Baldini, JU, Dodds, B. & Sharples, GJ Volcanisme et pandémies mondiales de peste : vers une synthèse interdisciplinaire. *J. Géographie historique* 70, 36–46 (2020).

40. Büntgen, U. et al. Rôle important du volcanisme dans la variabilité climatique de l'ère commune et dans l'histoire humaine. *Dendrochronologia* 64, 125757 (2020).

41. Ljungqvist, FC et al. Classement des hydroclimats basés sur les cernes des arbres reconstructions du millénaire passé. *Quat. Sci. Rev.* 230, 106074 (2020).

42. Cook, ER et al. Mégasécheresses et méga-pluviales dans l'Ancien Monde durant les Ère commune. *Sci. Adv.* 1, e1500561 (2015).

43. Bauch, M., Labbé, T., Engel, A. et Seifert, P. Un préquel au dantesque Anomalie. *Climat* 16, 2343–2358 (2020).

44. Jones, P. La cité-État italienne : de la commune à la seigneurie. (Clarendon Press, 1997).

45. Magni, SG Politica degli approvvigionamenti e controllo del commerce des céréales dans l'Italie des communes des XIIIe et XIVe siècles : certaines questions préliminaires. *Mélanges de l'École française de Rome - Moyen Âge* 127-1 (2015).

46. Dameron, G. Nourrir la cité-État italienne médiévale : céréales, guerre et légitimité politique en Toscane, v. 1150-v. 1350. *Speculum* 92, 976–1019 (2017).

47. Bauch, M. Famine et ville : sécurité alimentaire, fluctuations climatiques et le commerce suprarégional des céréales en Italie jusqu'à la peste noire (1250-1350 apr. J.-C.). Dans *Oxford Handbook of Resilience in Climate History*, (éd. Degroot, D., McNeill, JR & Walker, A.) (Oxford University Press, 2025).

48. Ljungqvist, FC et al. Modèles régionaux de l'activité de construction européenne à la fin du Moyen Âge et au début de l'époque moderne révélés par les dates d'abattage. *Front. Évolution écologique* 9, 825751 (2022).

49. Labbé, T. et al. La plus longue série homogène de dates de vendanges, Beaune 1354-2018, et son importance pour la compréhension du climat passé et présent. *Climate* 15, 1485–1501 (2019).

50. Di Cosmo, N. & Pubblici, L. Venezia ei Mongoli, Commercio e diplomazia sulle vie della seta nel medioevo (secoli XIII-XV). (Vielle, 2022).

51. Fleitmann, D. et al. Chronologie et impact climatique du Groenland Interstades enregistrés dans des stalagmites du nord de la Turquie. *Géophys. Res. Lett.* 36, L19707 (2009).

52. Grinberg, M. Le dernier siège de Caffa par Janiberg (1346-1347) et la peste noire. *Turkological Stud.* 1, 19–32 (2018).

53. Michaud, F. Travail et mouvements migratoires avant et après la Peste Noire à Marseille. *Provence Historique* 49, 367-383 (1999).

54. Carr, M. Franchir les frontières en Méditerranée : les licences commerciales papales du Registra supplicationum du pape Clément VI (1342–52). *J. Medieval Hist.* 41, 107–219 (2015).

55. Stantchev, SK Rationalité spirituelle : l'embargo papal comme facteur culturel Pratique. (Oxford University Press, 2014).

56. Lev, Y. Le régime et le marché urbain du blé : la famine de 662/ 1263–64 au Caire. *Mamlūk Stud. Rev.* 8, 149–161 (2004).

57. Bauch, M. et Schenk, GJ La crise du XIVe siècle : Téléconnexions entre changement environnemental et changement sociétal ? (De Gruyter, 2019).

58. Semenza, JC, Rocklöv, J. & Ebi, KL Changement climatique et risques en cascade liés aux maladies infectieuses. *Infect. Dis. Ther.* 11, 1371–1390 (2022).

59. Tsui, JL et al. Impacts des migrations humaines liées au changement climatique sur les maladies infectieuses. *Nat. Clim. Change* 14, 793–802 (2024).

<https://doi.org/10.1038/s43247-025-02964-0>

60. Carlson, C.J. et al. Le changement climatique augmente le risque de transmission virale entre espèces. *Nature* 607, 555–562 (2022).
61. Büntgen, U. et Esper, J. Signification physiologique de l'arbre bimodal
Modèles de réponse croissance-climat. *Int. J. Biometeorol.* 68, 1897–1902 (2024).

Remerciements : UB a bénéficié du soutien de la Fondation tchèque pour la science (23-08049S ; Hydro8), du projet AdAgriF – Méthodes avancées de réduction et de séquestration des émissions de gaz à effet de serre dans les paysages agricoles et forestiers pour l'atténuation du changement climatique (CZ.02.01.01/00/22_008/0004635), de la bourse ERC Advanced Grant (882727 ; Monostar) et de la bourse ERC Synergy Grant (101118880 ; Synergy-Plague). MB a bénéficié du soutien de la Fondation Volkswagen (bourse Freigeist « L'anomalie dantesque »), de même qu'Undine Ott (Halle/Wilhelmshaven) qui a aimablement fourni des données documentaires sur le Moyen-Orient et la littérature associée. Nous remercions tous les collègues qui ont contribué à cette discussion.

Contributions des auteurs : MB et UB ont conçu l'étude, compilé les données, effectué les analyses et a écrit l'article.

Conflits d'intérêts : Les auteurs déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêts.

Informations complémentaires Informations supplémentaires La version en ligne contient des documents supplémentaires disponibles à l'adresse <https://doi.org/10.1038/s43247-025-02964-0>.

Toute correspondance et demande de matériel doit être adressée à Martin Bauch ou à Ulf Büntgen.

Informations sur l'évaluation par les pairs Communications Earth & Environment remercient Nous remercions les relecteurs anonymes pour leur contribution à l'évaluation par les pairs de ce travail. Éditeurs responsables principaux : Jiaoyang Ruan et Alice Drinkwater. Un dossier d'évaluation par les pairs est disponible.

Les informations relatives aux tirés à part et aux autorisations sont disponibles sur <http://www.nature.com/reprints>

Note de l'éditeur : Springer Nature reste neutre quant aux revendications territoriales figurant sur les cartes publiées et aux affiliations institutionnelles.

Cet article est publié en libre accès sous licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0), qui autorise toute utilisation, partage, distribution et reproduction non commerciale sur tout support et dans tout format, à condition de citer correctement l'auteur ou les auteurs originaux et la source, de fournir un lien vers la licence Creative Commons et d'indiquer si l'œuvre a été modifiée. Cette licence ne vous autorise pas à diffuser des adaptations de cet article ou d'extraits de celui-ci. Les images et autres éléments tiers présents dans cet article sont inclus dans la licence Creative Commons de l'article.

Sauf indication contraire dans la légende de la source, le contenu est soumis à la licence Creative Commons. Si le contenu n'est pas couvert par la licence Creative Commons de l'article et que votre utilisation prévue n'est pas autorisée par la réglementation en vigueur ou dépasse les limites de l'utilisation autorisée, vous devrez obtenir l'autorisation directement du titulaire des droits d'auteur. Pour consulter une copie de cette licence, rendez-vous sur <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>.

© Les auteurs 2025