



HAL
open science

Quel(s) impact(s) des changements climatiques sur l'occupation du sol en Gaule entre la fin de l'âge du Fer et le début du Moyen Âge ?

Nicolas Bernigaud, Alberte Bondeau, Joel Guiot, Laurent Bouby

► To cite this version:

Nicolas Bernigaud, Alberte Bondeau, Joel Guiot, Laurent Bouby. Quel(s) impact(s) des changements climatiques sur l'occupation du sol en Gaule entre la fin de l'âge du Fer et le début du Moyen Âge ?. Journée d'étude - Sans transition ? Approche comparative des phases d'occupations précoces et tardives des Gaules romaines, Romain Guichon; Marine Lépée, May 2024, Lyon, France. hal-04746774

HAL Id: hal-04746774

<https://hal.science/hal-04746774v1>

Submitted on 21 Oct 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Sans transition ?

Approche comparative des phases d'occupations précoces et tardives des Gaules romaines

Quel(s) impact(s) des changements climatiques sur l'occupation du sol en Gaule entre la fin de l'âge du Fer et le début du Moyen Âge ?

État de la question et perspectives de recherche en modélisation dans le projet ANR MICA

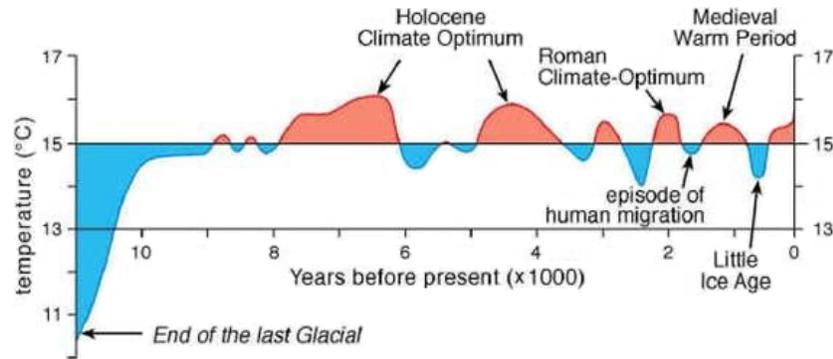
Nicolas Bernigaud (ASM Montpellier),
Alberte Bondeau (IMBE Aix-en-Provence), Joël Guiot (CEREGE Aix-en-Provence),
Laurent Bouby (ISEM Montpellier)

Plan de la communication:

- 1. Caractérisation des changements climatiques de l'Antiquité (Optimum Climatique Romain, petit âge glaciaire de l'Antiquité tardive)
- 2. Quels impacts sur les sociétés antiques ?
- 3. Modèles développés dans le projet pluridisciplinaire RDMed & perspectives de recherche dans l'ANR MICA

L'Optimum Climatique Romain (OCR) & le petit âge glaciaire de l'Antiquité tardive (LALIA)

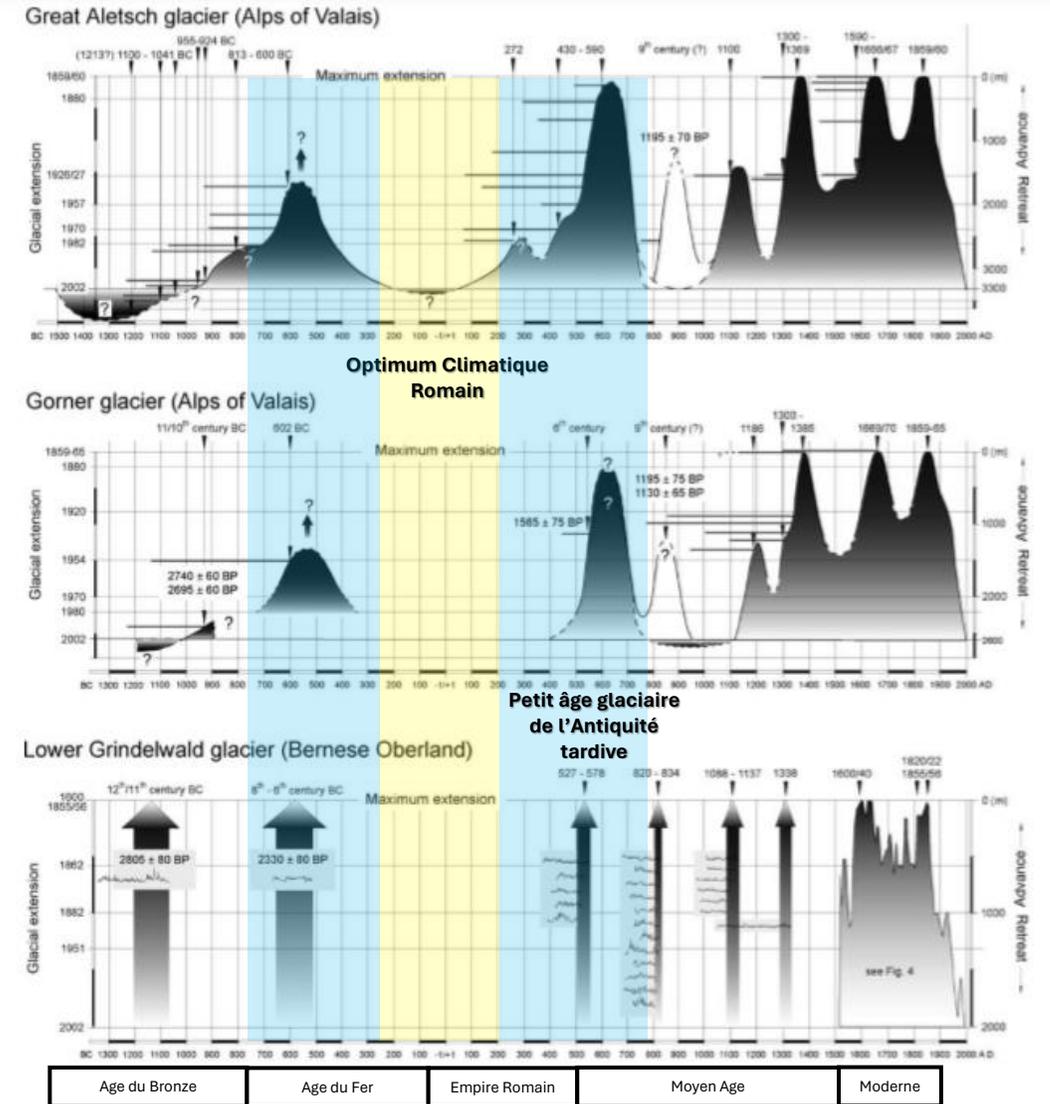
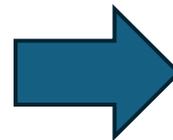
1. Identification des changements climatiques



Average near-surface temperatures of the northern hemisphere during the past 11,000 years, compiled by David Archibald after Dansgaard et al. (1969) & Schönwiese (1995)

- OCR: milieu III^{ème} s. av. J.-C. - II^{ème} s. ap. J.-C.
- LALIA: VI^{ème}-VII^{ème} s. ap. J.-C.

Fluctuations des glaciers suisses



Holzhauser 2005

Érosion et climat dans la vallée du Rhône

- Crise hydrosédimentaire en basse et moyenne vallée du Rhône durant le Haut-Empire (-100 – 250)
- Activité hydrologique réduite pendant le Bas-Empire (250 – 500)
- 2^{ème} crise du haut Moyen Âge

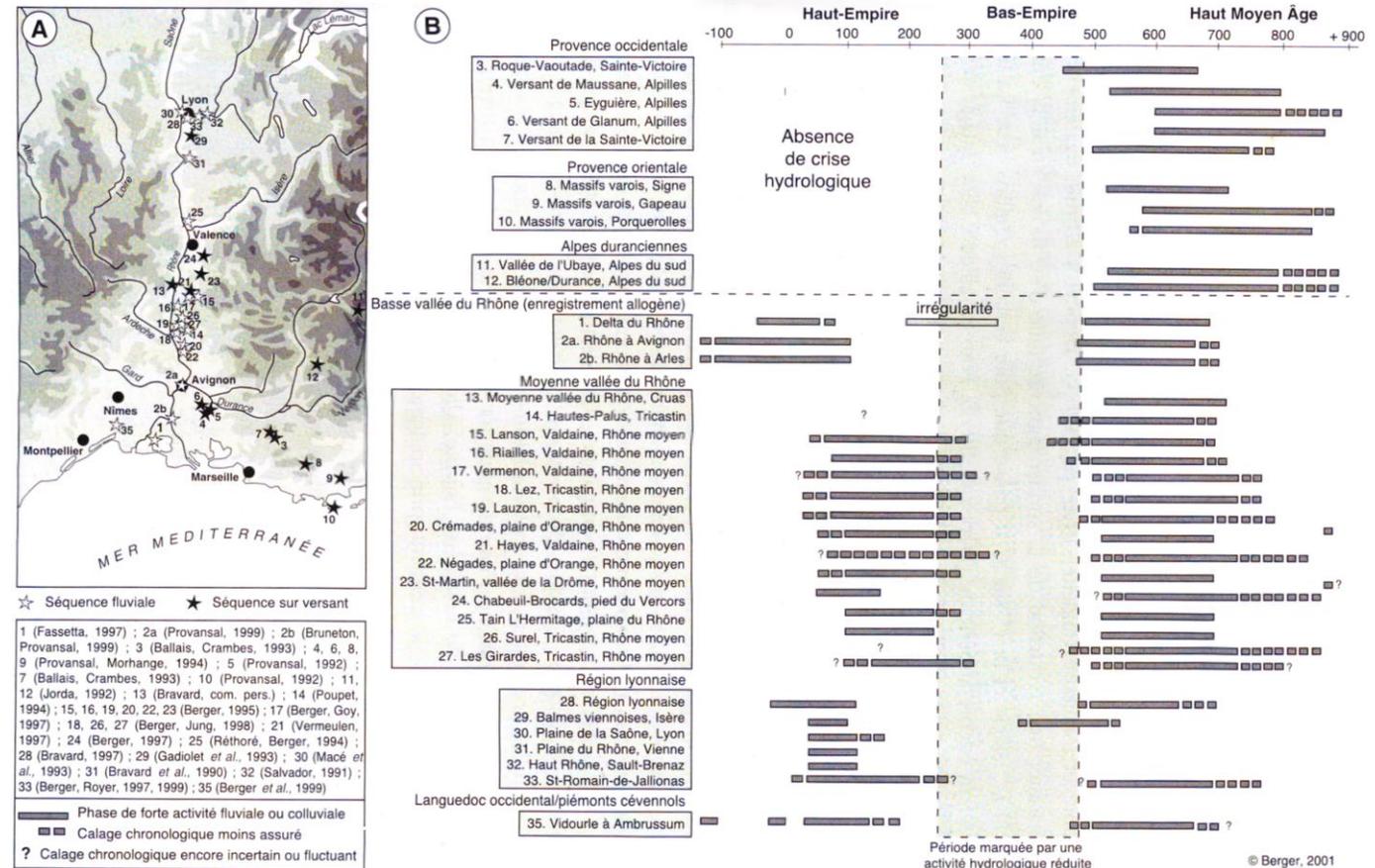


Fig. 12. Corrélation et chronologie des phases de forte activité érosive et fluviale dans le sud-est de la France au cours du 1^{er} millénaire de notre ère ; le Bas-Empire (zone grisée) indique indéniablement une période de rémission des crues et de l'érosion sur les versants.

Berger 2001

« Évolution des agro- et des hydrosystèmes dans la région médio-rhodanienne »
 Berger in Ouzoulias *et al.* 2001

« L'Optimum climatique » de l'Antiquité tardive

« [...] la période des IV^e et V^e siècles de notre ère s'inscrit dans un contexte particulièrement favorable au regard de la combinaison de tous ces facteurs, c'est-à-dire au maximum d'un cycle de réchauffement du climat, à égale distance entre les phases de refroidissement qui ont caractérisé le premier Âge du Fer (phase du Bourget) ou l'époque moderne (phase du Petit Clairvaux ou Petit Âge Glaciaire) »

Magny 2001

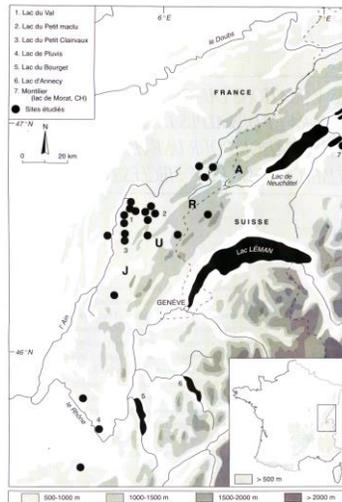


Fig. 1. Localisation de la zone d'étude et des séquences sédimentaires analysées.

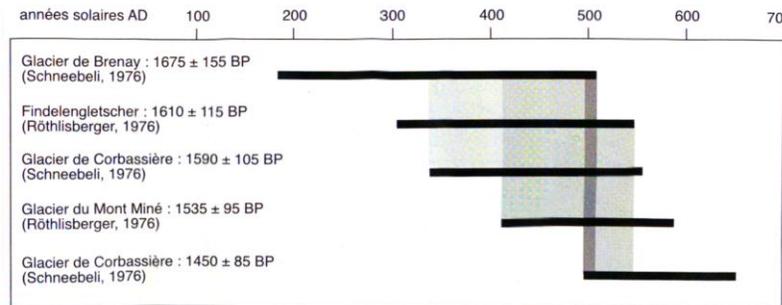
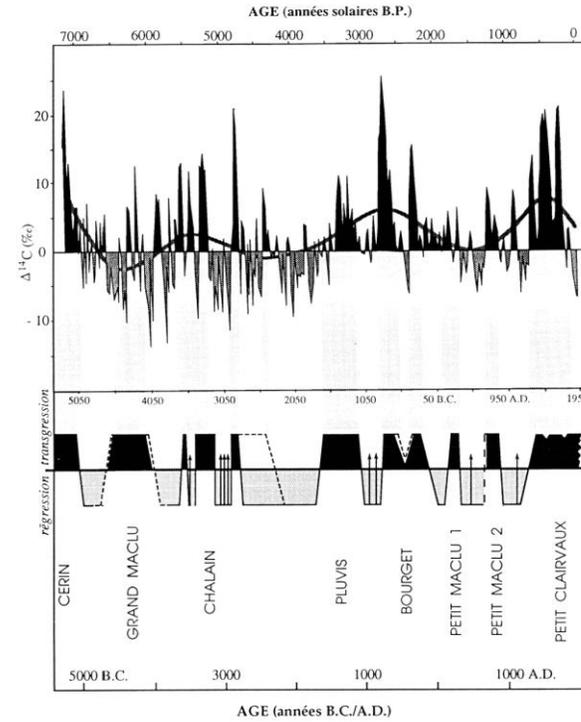


Fig. 3. Dates radiocarbone calibrées de sols intra-morainiques dans les Alpes suisses. D'après H. Holzhauser (1984).

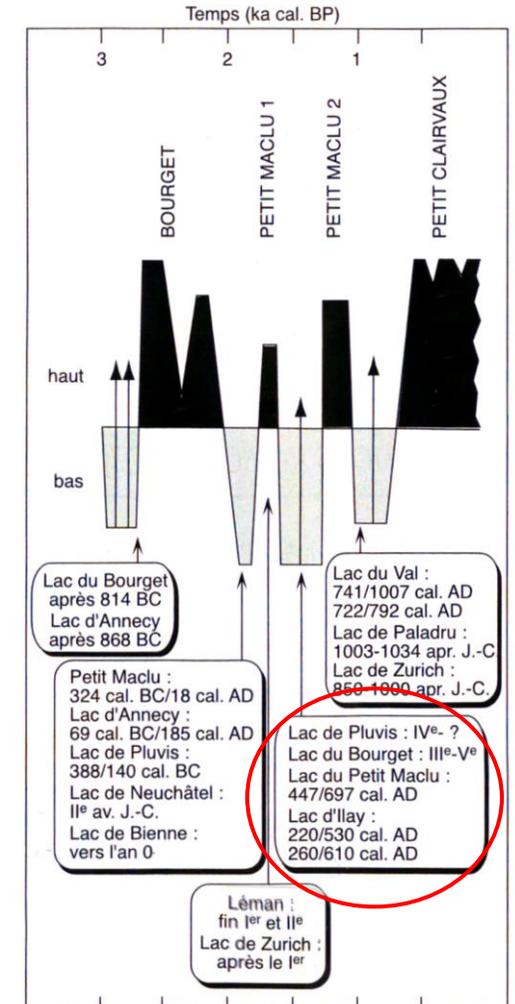


Fig. 2. Variations du niveau des lacs du Jura et des Alpes françaises du nord au cours des trois derniers millénaires. Les cartouches présentent les principales données utilisées pour la chronologie des différentes phases décrites dans cet article.

Le Petit Âge Glaciaire de l'Antiquité tardive

Cooling and societal change during the Late Antique Little Ice Age from 536 to around 660 AD

Ulf Büntgen^{1,2,3*}, Vladimir S. Myglan⁴, Fredrik Charpentier Ljungqvist^{5,6}, Michael McCormick⁷, Nicola Di Cosmo⁸, Michael Sigl^{2,9}, Johann Jungclauss¹⁰, Sebastian Wagner¹¹, Paul J. Krusic¹², Jan Esper¹³, Jed O. Kaplan¹⁴, Michiel A. C. de Vaan¹⁵, Jürg Luterbacher¹⁶, Lukas Wacker¹⁷, Willy Tegel¹⁸ and Alexander V. Kirdvanov^{4,19}

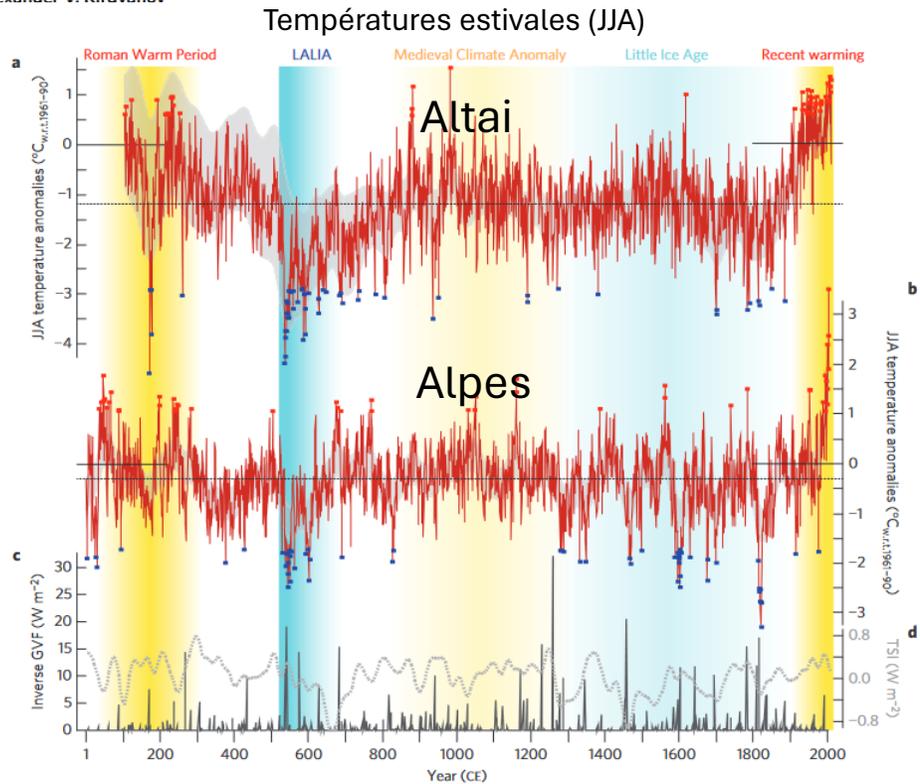


Figure 2 | Eurasian summer temperature variability. **a, b**, Reconstructed temperatures from the Russian Altai (**a**) and the European Alps⁵ (**b**), with blue and red squares indicating (51/47) positive and (53/57) negative annual extremes (>2 standard deviations), respectively. Grey background shadings denote reconstruction uncertainty after 80-year low-pass filtering (Supplementary Fig. 9). **c, d**, Ice-core-derived global estimates of volcanic¹⁴ (GVF; dark grey; **c**) and total solar irradiance¹⁷ (TSI; light dashed grey; **d**) forcing. Black dashed lines refer to the long-term reconstruction mean of the Common Era.

1. Nature des changements climatiques

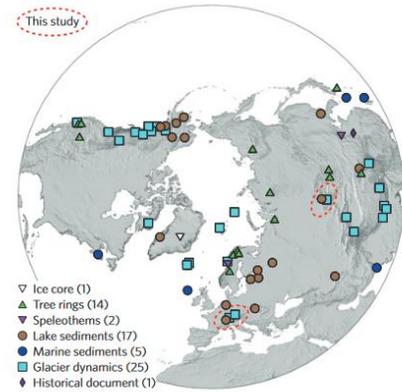


Figure 3 | Multi-proxy large-scale evidence of the LALIA. Compilation of 65 temperature-sensitive records from seven different types of proxy archive distributed over the extra-tropical Northern Hemisphere (>20° N). All proxy records either contain below-average values between 536 and ~660 AD or mention of a distinct cooling during this interval has been published (Supplementary Table 3).

Largeur des
cernes d'arbre →

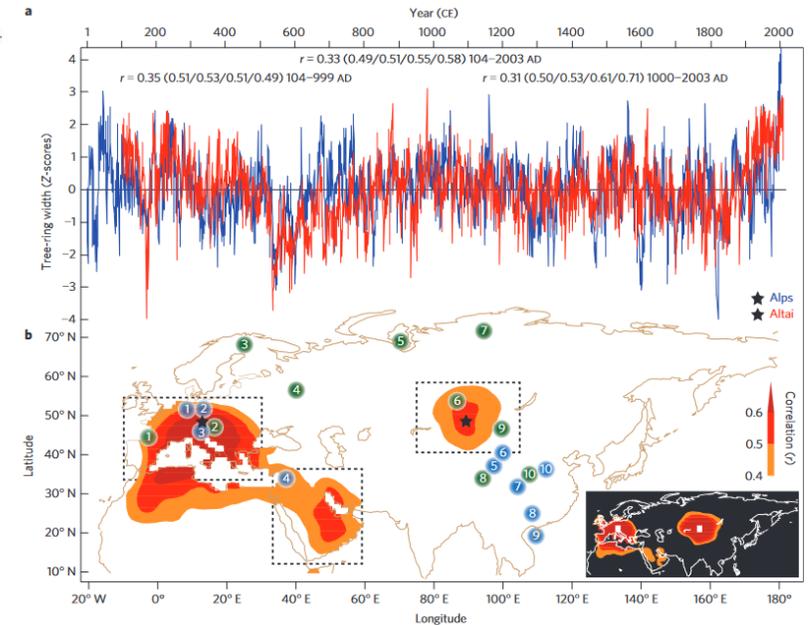
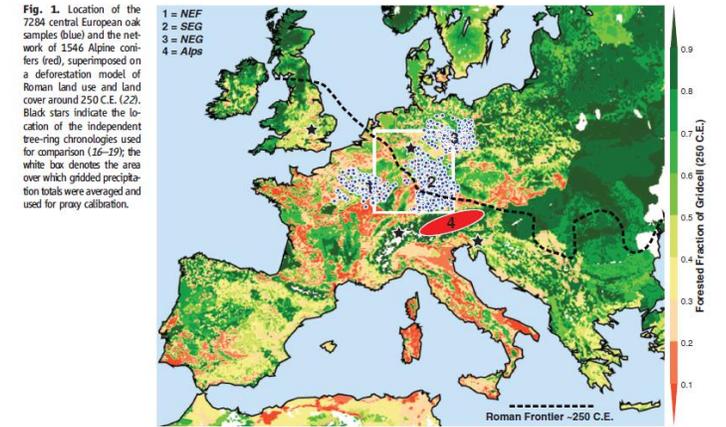


Figure 1 | Growth coherency and climate sensitivity. **a**, Normalized Alpine⁵ and Altai regional-curve-standardized TRW chronologies (blue and red, respectively). Correlation coefficients refer to original and smoothed (20/40/80/120 yr) records plus full and split (</>1000 AD) periods. **b**, Corresponding spatial correlations (1900–2003) against gridded JJA temperatures (green) and hydroclimatic (blue) proxies (Supplementary Table 5), with frames indicating regions for which anthropogenic land-use changes were modelled (Supplementary Fig. 15). Inset reveals spatial correlations of gridded JJA temperatures from the Alpine (45°–50° N and 10°–15° E) and Altai (45°–50° N and 85°–90° E) records against the same gridded data set over Eurasia (Supplementary Fig. 8).

2. Quels impacts des changements climatiques sur les sociétés ?

L'OCR favorable à la vigne et à l'olivier

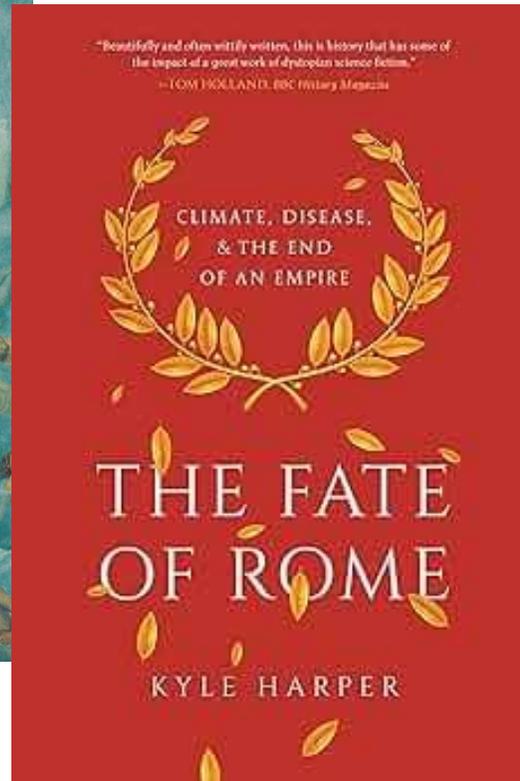
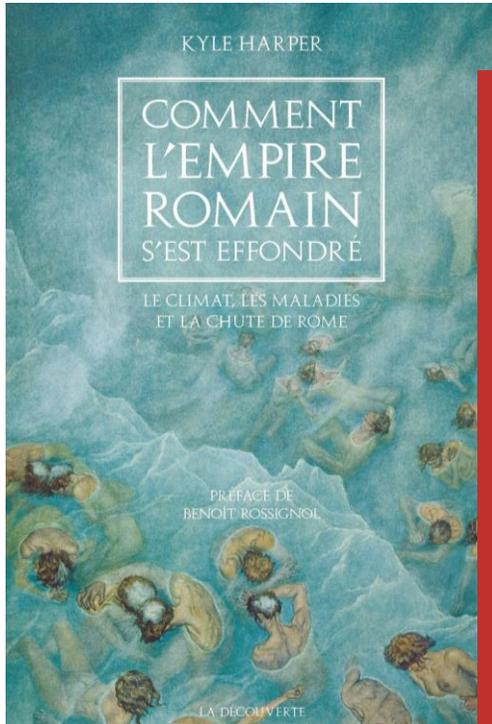
COLUMELLE, *De Re Rustica* I, 1,5

« J'ai trouvé plusieurs auteurs estimables qui étaient persuadés que l'état et la nature de l'atmosphère avaient changé par le laps d'un long temps ; ils disaient qu'Hipparque, leur grande autorité comme professeur d'astrologie, avait découvert qu'il viendrait une époque où les pôles du monde se déplaceraient : cette opinion paraît même avoir été accréditée par **Saserna**, auteur non méprisable d'une *Économie rurale*.

En effet, dans ce livre qu'il a laissé sur l'agriculture, il conclut que la situation du ciel a éprouvé des changements tels, que les contrées qui jadis ne pouvaient, à cause de la longue rigueur de l'hiver, conserver un seul des pieds de vigne ou d'olivier qu'on leur avait confiés, abondaient maintenant, grâce à l'adoucissement et à l'attiédissement des anciens froids, en larges récoltes d'olives, en productives vendanges.

Que cette opinion soit vraie ou fausse, je m'en rapporte aux textes de l'astrologie ; mais l'agriculteur ne devra pas ignorer les autres préceptes agronomiques qui, la plupart, nous ont été transmis d'Afrique par les écrivains carthaginois, quoique nos fermiers taxent d'erreur un grand nombre de ces maximes. Ainsi Tremellius, tout en se plaignant à cet égard, n'admet pas que le sol et la température de l'Italie et de l'Afrique soient différents de ce qu'ils ont été, et ne puissent plus donner les mêmes productions. Quelles que soient les différences entre les anciens temps et l'époque actuelle, par rapport à l'application des préceptes, cette considération ne doit pas éloigner de leur étude celui qui veut s'instruire : car on trouvera chez nos prédécesseurs infiniment plus de choses à approuver qu'à rejeter ».

Les effets bénéfiques de l'Optimum Climatique Romain sur le développement de l'Empire



- ✓ Rôle considérable du RCO sur le développement économique du Haut-Empire d'après Harper 2017

« The climate of Rome in the empire's halcyon days was a potent incubator of growth. It fueled the agricultural engine of the economy.

The wheat harvest was sensitive to the timing and extent of both temperature and precipitation

Sustained temperature changes on the order of these experienced during the RCO let farmers carve entirely new landscapes of grain... »

L'impact du RCO sur la production céréalière en Gaule du nord

- Périodes favorables: 2^{ème} âge du Fer, 1^{er} s. ap. J.-C., 3^{ème} s. ap. J.-C.
- Périodes défavorables: 2^e moitié du 1^{er} s. av. J.-C., Bas-Empire, haut Moyen-Âge



2. Quels impacts de l'OCR et de LALIA sur les sociétés ?

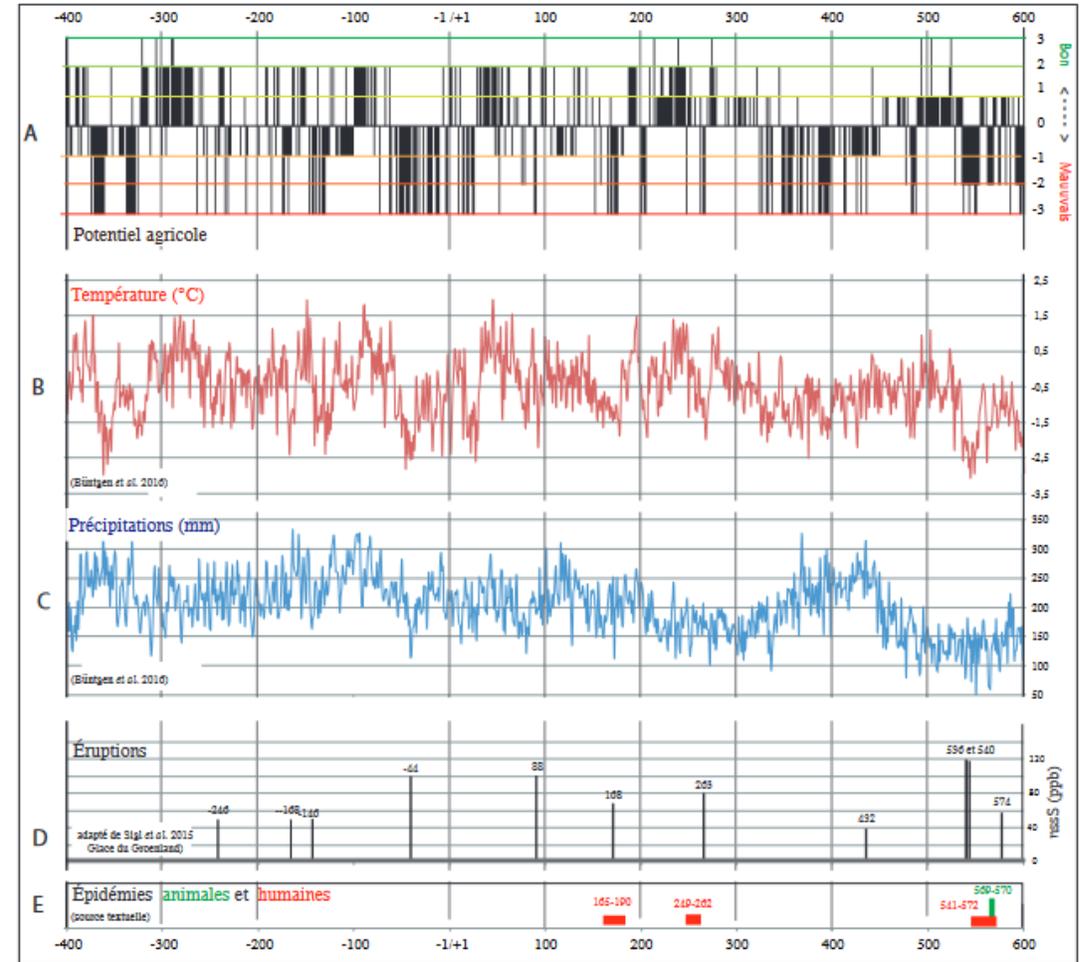


Fig. 37. Fluctuations rapides des conditions environnementales durant la période 400 a.C. à 600 p.C. A. Variabilité interannuelle du potentiel de production agricole dans le Bassin parisien, après déduction des (B) anomalies de température (mois de juin-juillet-août) et des (C) précipitations (mois d'avril-mai-juin) entre 400 a.C. et 600 p.C. (Büntgen *et al.* 2016) ; D. Périodes durant lesquelles sont repérées dans les glaces du Groenland des éruptions ayant eu une influence probable sur le climat de l'hémisphère nord (Sigl *et al.* 2015) ; E. Périodes durant laquelle des crises d'épidémies animales et humaines sont mentionnées dans les sources textuelles.

Petit et al. 2018

La chute de Rome: la faute du climat ?

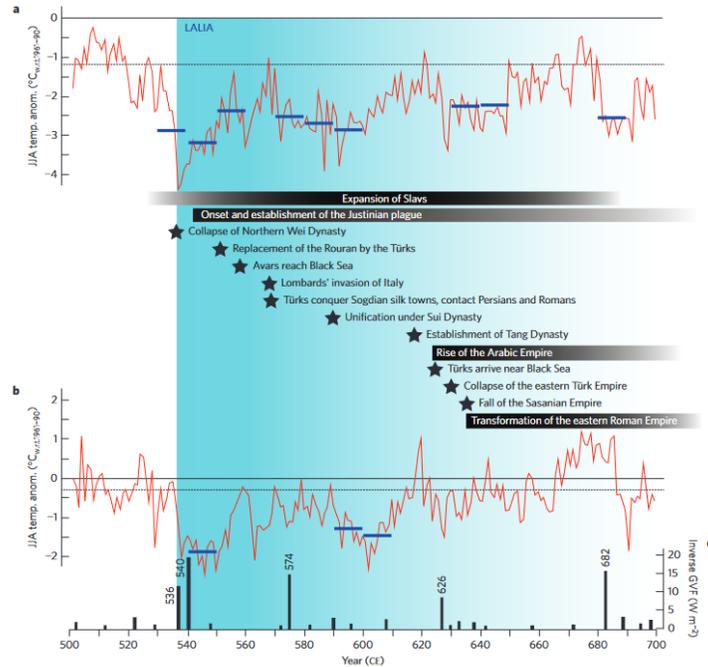


Figure 4 | Cooling and societal change during the LALIA. a-c, Reconstructed summer temperatures from the Russian Altai (a) and the European Alps (b), together with estimated volcanic forcing¹⁴ (c). Blue lines highlight the coldest decades of the LALIA that range among the ten coldest decades of the Common Era. Horizontal bars, shadings and stars refer to major plague outbreaks, rising and falling empires, large-scale human migrations, and political turmoil (Supplementary Information). Black dashed lines refer to the long-term reconstruction mean of the Common Era.

- Expansion slave
- Déclenchement de la peste justinienne
- Fin de la dynastie Wei
- Remplacement des Rouran par les Turcs
-

Büntgen et al. 2016



THE
QUARTERLY JOURNAL
OF
ECONOMICS

FEBRUARY, 1917

CLIMATIC CHANGE AND AGRICULTURAL
EXHAUSTION AS ELEMENTS IN THE
FALL OF ROME

SUMMARY

I. Decline in Roman agriculture, 173. — Contrasted views, 175. — Liebig and Simkhovitch on exhaustion of soil, 176. — Conrad on climatic change, 177. — II. Four climatic hypotheses: (1) Uniformity, 178. — Geological view, 178. — Historical view, 179. — Ancient famines, 180. — Water works, 181. — Cyrene, 181. — Hlandarin, 182. — Ancient vegetation and crops, 183. — (2) Local changes and deforestation, 185. — (3) Progressive change in one direction, 185. — (4) Pulsatory or irregular changes, 186. — III. Caspian Sea, 186. — California lakes and trees, 188. — Palmyra as an example of effect of climatic changes, 188. — Nature of such changes, 189. — Dates of changes in old world and new, 191. — IV. Historical effects of changes: (1) Economic results, agriculture, forests, cattle, 194. — (2) Political results, taxation, barbarian invasion, 198. — (3) Biological results, elimination of Nordics, increase of malaria, decline of physical energy, 201. — V. Climate and civilization, 204. — Conclusion, 207.

- 450-250 BC: highly favorable climate
- 100 BC- 50 AD: more favorable condition
- 2nd c. AD: unfavorable
- **3rd c. AD: began a long and steady decline until the fall of the Western Empire**

« Climatic Change and Agricultural Exhaustion as Elements in the Fall of Rome » HUNTINGTON 1917

Les effets de LALIA sur l'occupation du sol en Gaule

- ✓ Reconversion des terres arables en pâture sous l'effet de LALIA (Cheyette 2008)
- ✓ Développement de la culture du seigle en Gaule (Squatriti 2019)



The disappearance of the ancient landscape and the climatic anomaly of the early Middle Ages: a question to be pursued

Fredric L. Cheyette

First published: 31 March 2008 | <https://doi.org/10.1111/j.1468-0254.2008.00225.x> | Citations: 34

Abstract

Archaeological surveys and rescue archaeology have not dated the disappearance of occupied sites in late antiquity with considerable precision, especially in the Rhône valley and northern Gaul. Landscape archaeology has shown a conversion from arable to pasture and reforestation during the same period. Recent studies of the climate of the first millennium show that this was also an extended period of wet and cold climate. How these phenomena were connected is an important research question. A preliminary suggestion made here is that since **reversion from arable to pasture affected regions as far apart as Italy and Poland it cannot simply be ascribed to the political and fiscal dislocation of the ancient world, but should be understood as one of the climatic anomaly**

Sites attestant de la culture du seigle

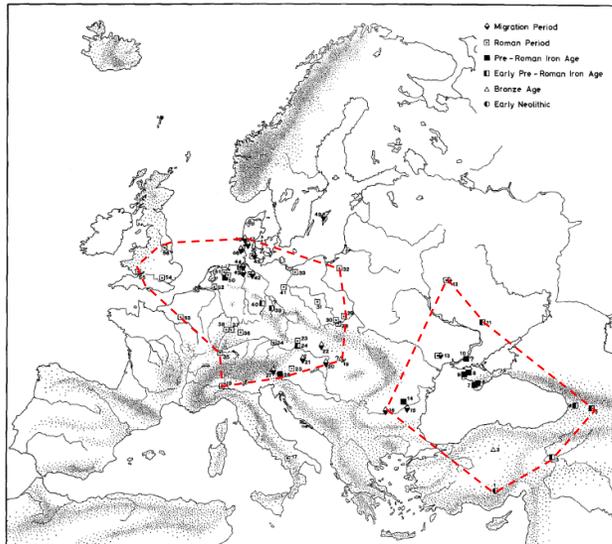


Fig. 1. Sites with finds of cultivated rye (*Secale cereale*) from the Neolithic to the Migration period

Néolithique-fin de l'Antiquité

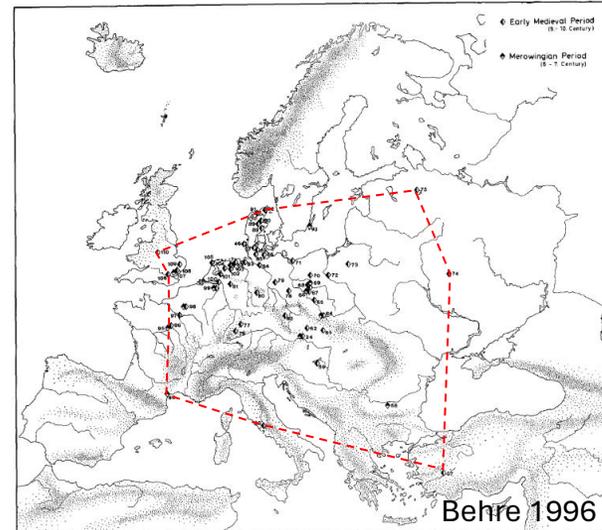


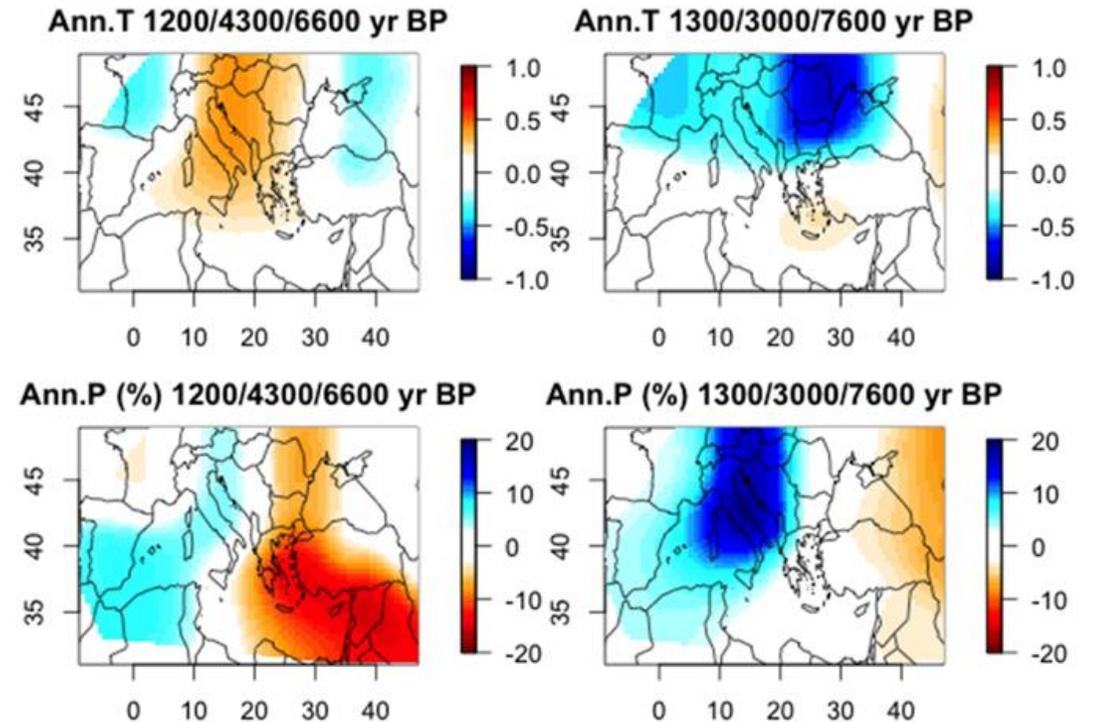
Fig. 4. Sites with finds of cultivated rye (*Secale cereale*) from Merovingian period to early Middle Ages (up to 1000 A.D.)

Haut Moyen-Âge

Des changements climatiques spatialement hétérogènes, des effets hétérogènes

- Des changements climatiques opposés
- Effets variés sur les sociétés selon les régions
- Complexité -> difficultés d'analyse
- Nouvelles perspectives de recherches

Configurations régionales des changements de températures annuelles (Ann. T) et de précipitations (Ann. P) pendant l'Holocène

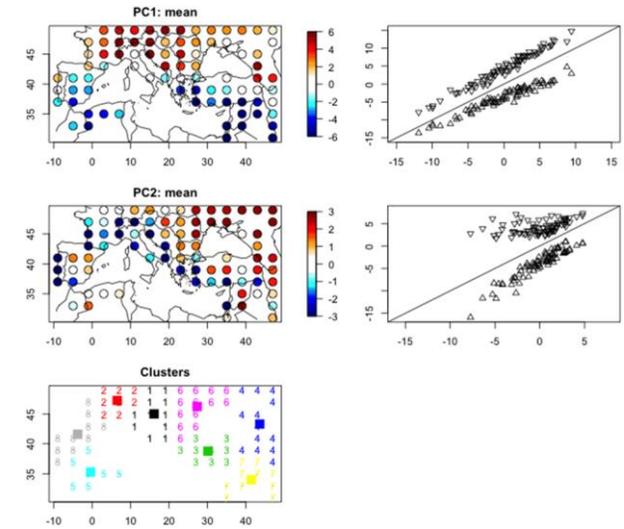
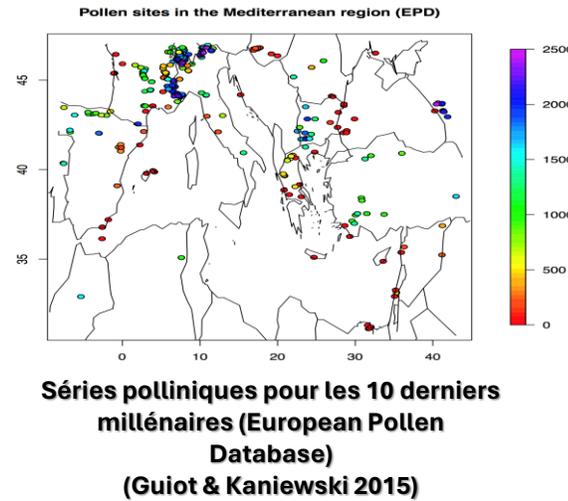


Guiot & Kaniewski 2015

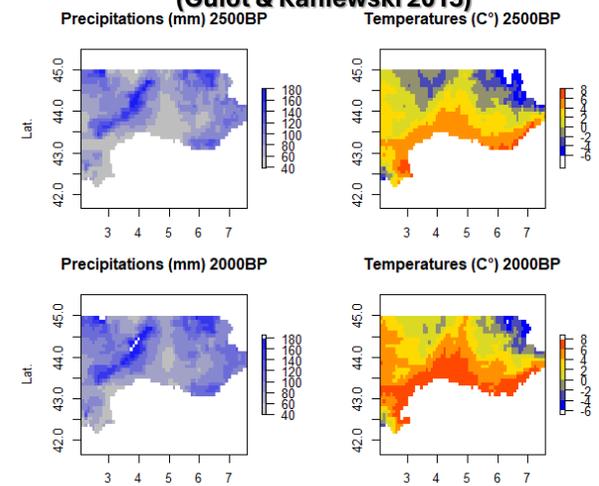
3. Approches modélisatrices

Reconstruire et modéliser les climats du passé

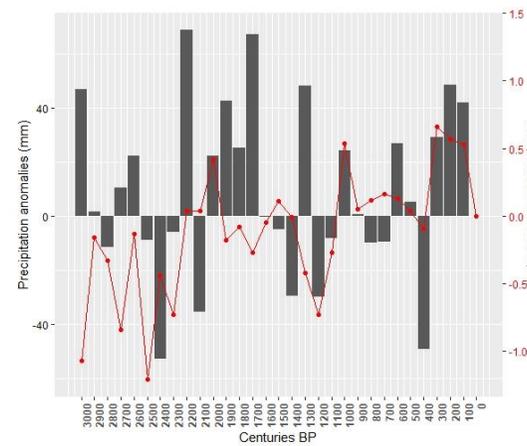
- Construire des cartes de températures et de précipitations des climats du passé à partir des proxies paléoclimatiques
- Inférer à partir des données polliniques des valeurs de températures et de précipitations par l'utilisation d'un modèle climat-végétation (BIOME 4)



Traitement des données par les statistiques bayésiennes (Guiot & Kaniewski 2015)



Reconstruction à haute résolution des températures et des précipitations annuelles dans le sud de la France au VIe s. av. J.-C. et au Ier s. av. J.-C. (Bernigaud et al. en révision)

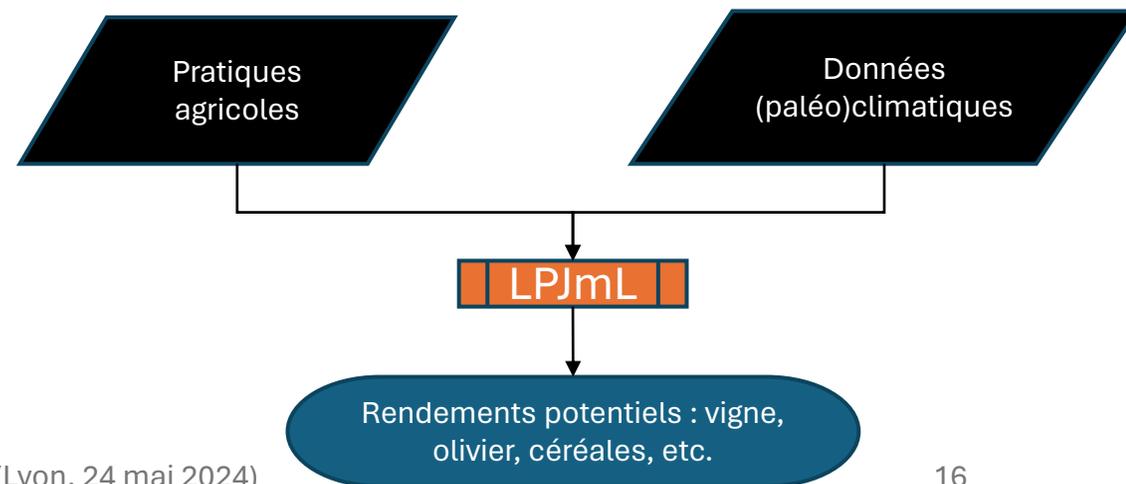
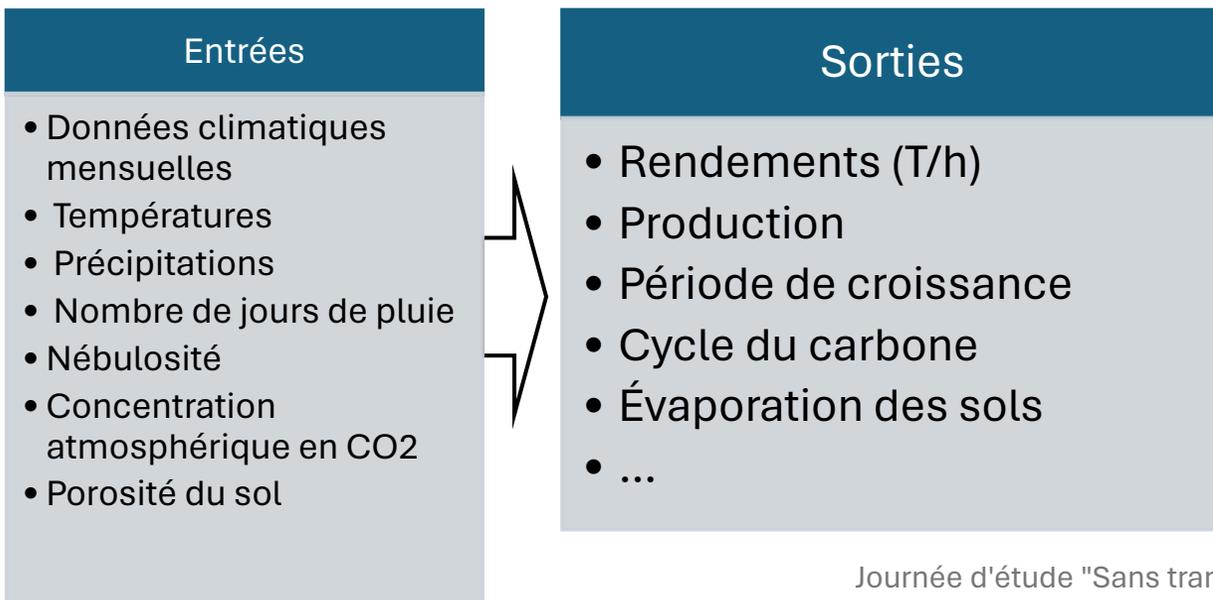
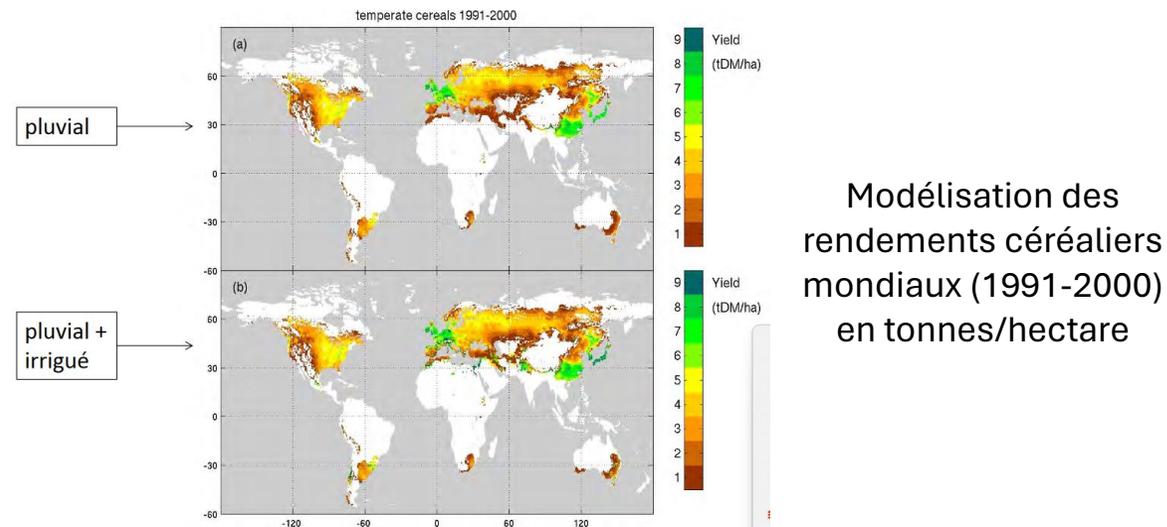


Impact du climat sur les rendements agricoles

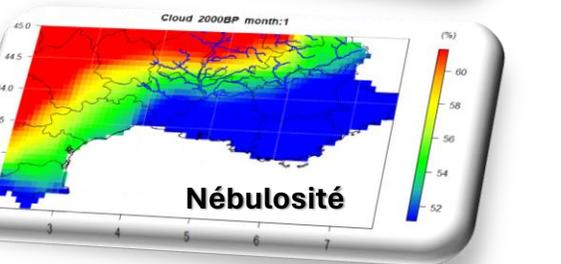
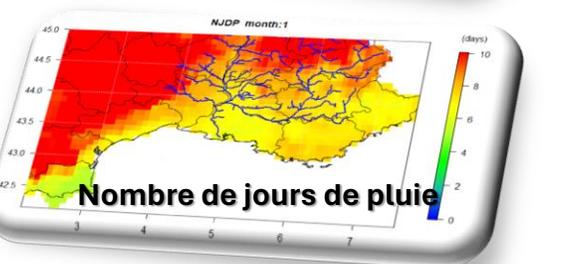
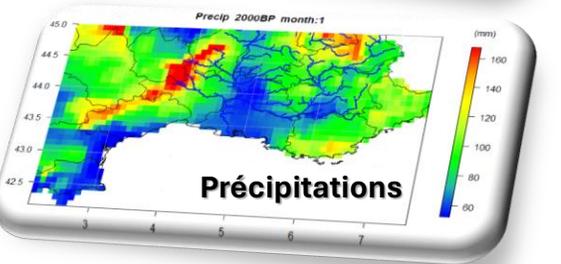
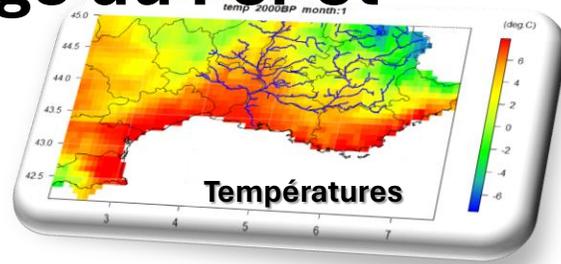
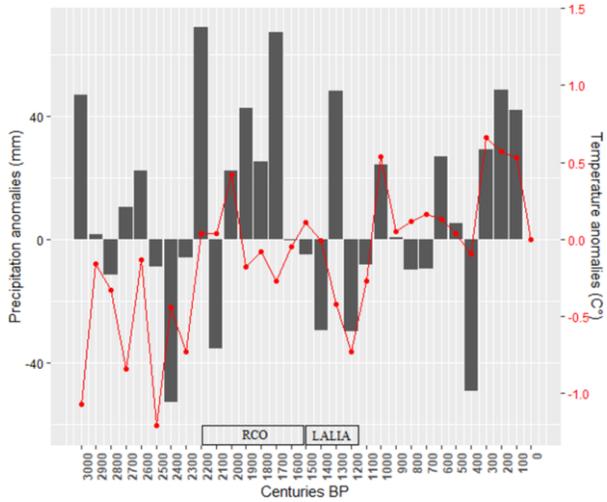
-> Modélisation agro-écosystémique Lund-Potsdam-Jena-managed Land (LPJmL)

Bondeau et al. 2007; Fader et al. 2015

- Calculer des rendements agricoles potentiels en fonction des changements climatiques et des pratiques agricoles dans le monde



LPJmL et les rendements potentiels de la vigne durant l'âge du Fer et l'Antiquité romaine



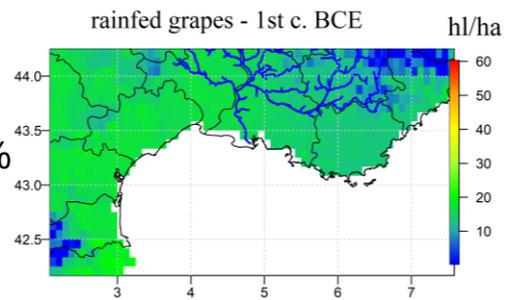
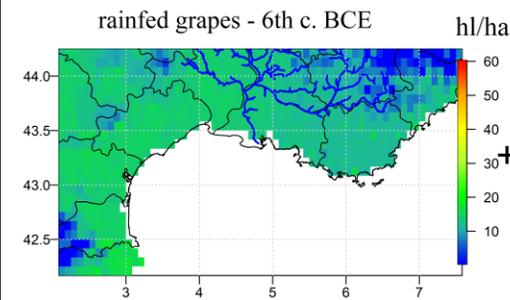
✓ Forte augmentation potentielle des rendements viticoles sous l'effet du RCO

Journal of Archaeological Science: Reports
Volume 38, August 2021, 103099

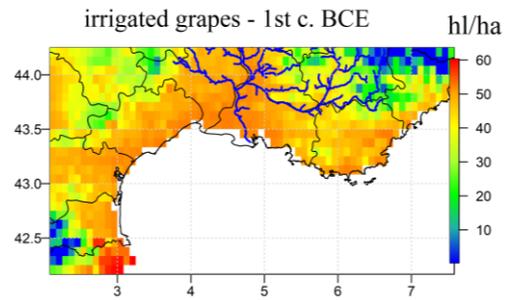
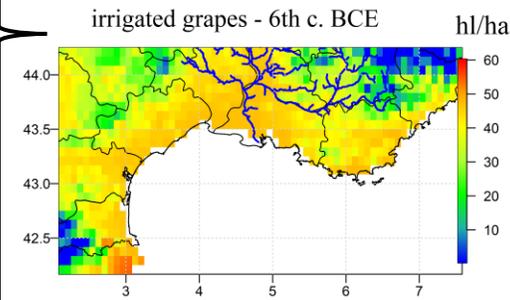
Understanding the development of viticulture in Roman Gaul during and after the Roman climate optimum: The contribution of spatial analysis and agro-ecosystem modeling

Nicolas Bernigaud^a, Alberte Bondeau^b, Joël Guilot^c

https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2021.103099



+ 20/50 %



+ 50 %

6^e s. av. J.-C.

1^{er} s. av. J.-C.

Rendements potentiels LPJmL pour la vigne (hl/ha)
Bernigaud et al. 2021

La viticulture en Gaule romaine



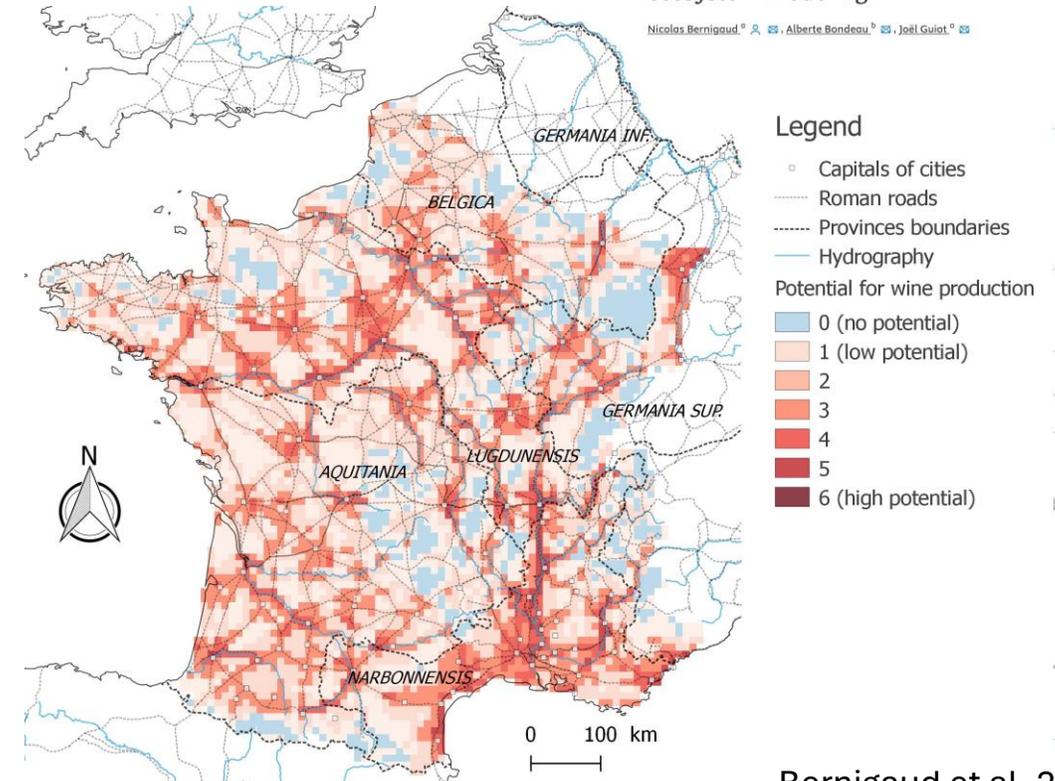
Understanding the development of viticulture in Roman Gaul during and after the Roman climate optimum: The contribution of spatial analysis and agroecosystem modeling

Nicolas Bernigaud^a, Alberte Bondeau^b, Joël Guiot^a

6 critères retenus:

- Températures: > 18° c. au mois de juillet
- Expositions: Sud et Est
- Proximité cours d'eau navigable (>10 km)
- Proximité voie routière (>10 km)
- Proximité au trait de côte (>10 km)
- Proximité centre urbain (> 30 km)

- ✓ Fort potentiel en Narbonnaise
- ✓ Bon potentiel dans toute la Gaule hormis les zones montagneuses, l'est et la Normandie



Carte de potentialités géographico-économiques et climatiques
1^{er} s. ap. J.-C.

La viticulture en Gaule romaine



Understanding the development of viticulture in Roman Gaul during and after the Roman climate optimum: The contribution of spatial analysis and agroecosystem modeling

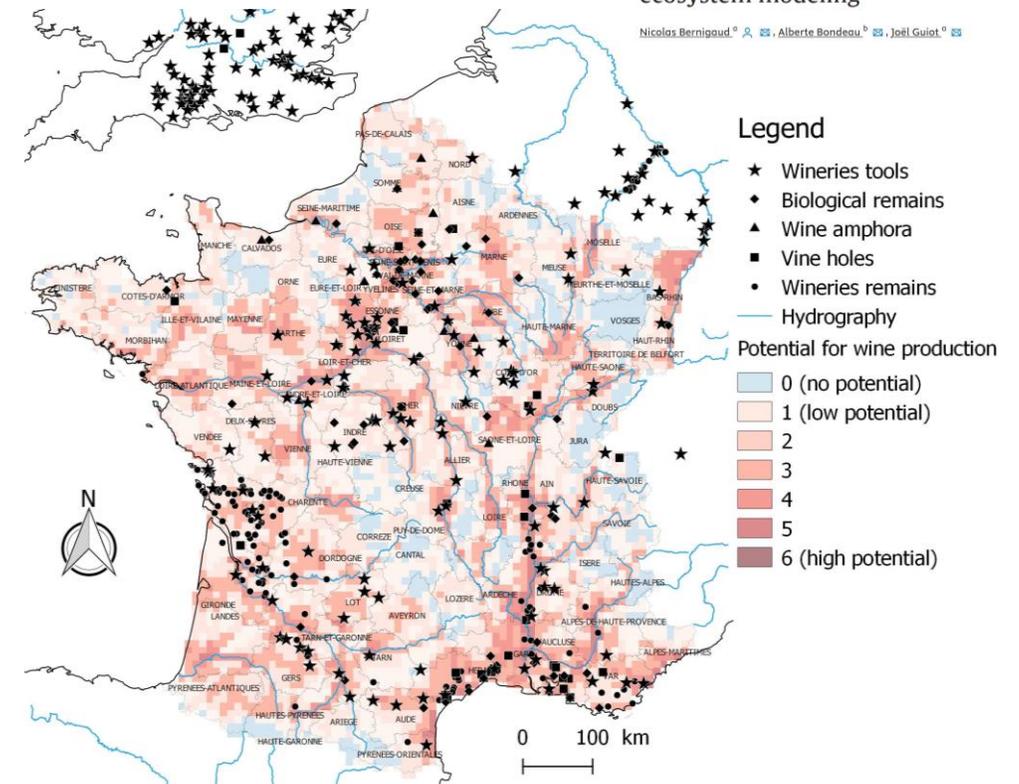
Nicolas Bernigaud^a, Alberte Bondeau^b, Joël Guiot^a

- Confrontation avec les données archéologiques
- Très bons résultats par le test du gain relatifs
- Zones à bon potentiel où les données archéologiques sont absentes (Pays-de-Loire & sud-ouest)

Table 1

estimation of the quality of predictive modeling according to the statistical method of Kvamme's Gain Statistics, $K_{gain}(c) = 1 - (\% \text{ area with viticulture suitability at level } c / \% \text{ archeological sites})$.

critérier (c)	Area Percentage	Site number	Number percentage	Kgain
0 (unfavorable)	9.1%	10	2.9%	-2.04
1 (weakly favorable)	26.6%	33	9.8%	-1.7
2	33.1%	93	27.8%	-0.18
3	22%	103	30.8%	0.28
4 (favorable)	7.5%	76	22.7%	0.66
5 (very favorable)	1.5%	19	5.6%	0.73



Carte de potentialités géographico-économiques et climatiques 1^{er} s. ap. J.-C.

Bernigaud et al. 2021

Simuler l'impact des changements climatiques sur l'occupation du sol en Gaule Narbonnaise

->Le modèle multi-agents ROMCLIM

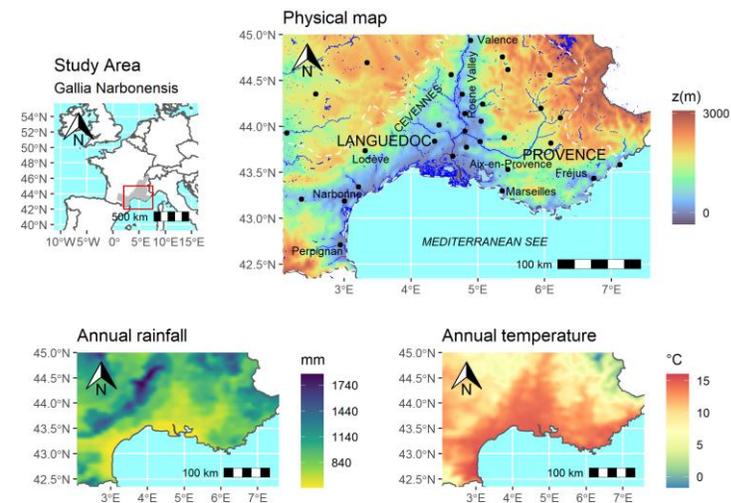
The impact of climate change on the agriculture and the economy of Southern Gaul: New perspectives of agent-based modelling

Nicolas Bernigaud , Alberte Bondeau, Joël Guiot, Frédérique Bertoncello, Marie-Jeanne Ouriachi, Laurent Bouby, Philippe Leveau, Loup Bernard, Delphine Isoardi

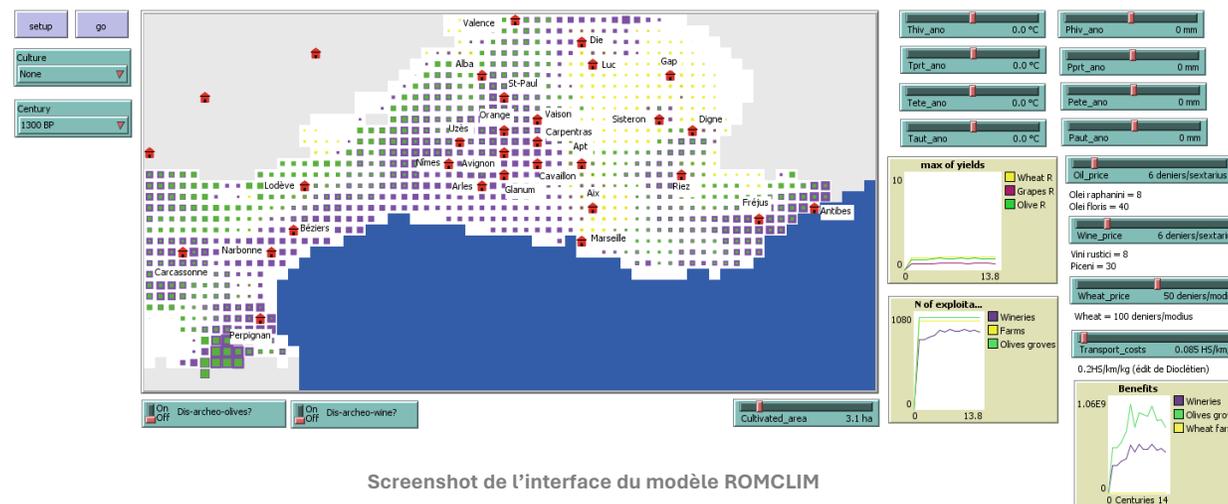
PLOS ONE

3. Approches modélisatrices

OPEN ACCESS PEER-REVIEWED
RESEARCH ARTICLE



- Simule les variations climatiques & leurs effets sur les rendements agricoles potentiels (émulation LPJmL), ainsi que les profits dégagés par les exploitations agricoles
- Agents: exploitations viticoles, oléicoles et céréalières modélisées d'après des sources historiques



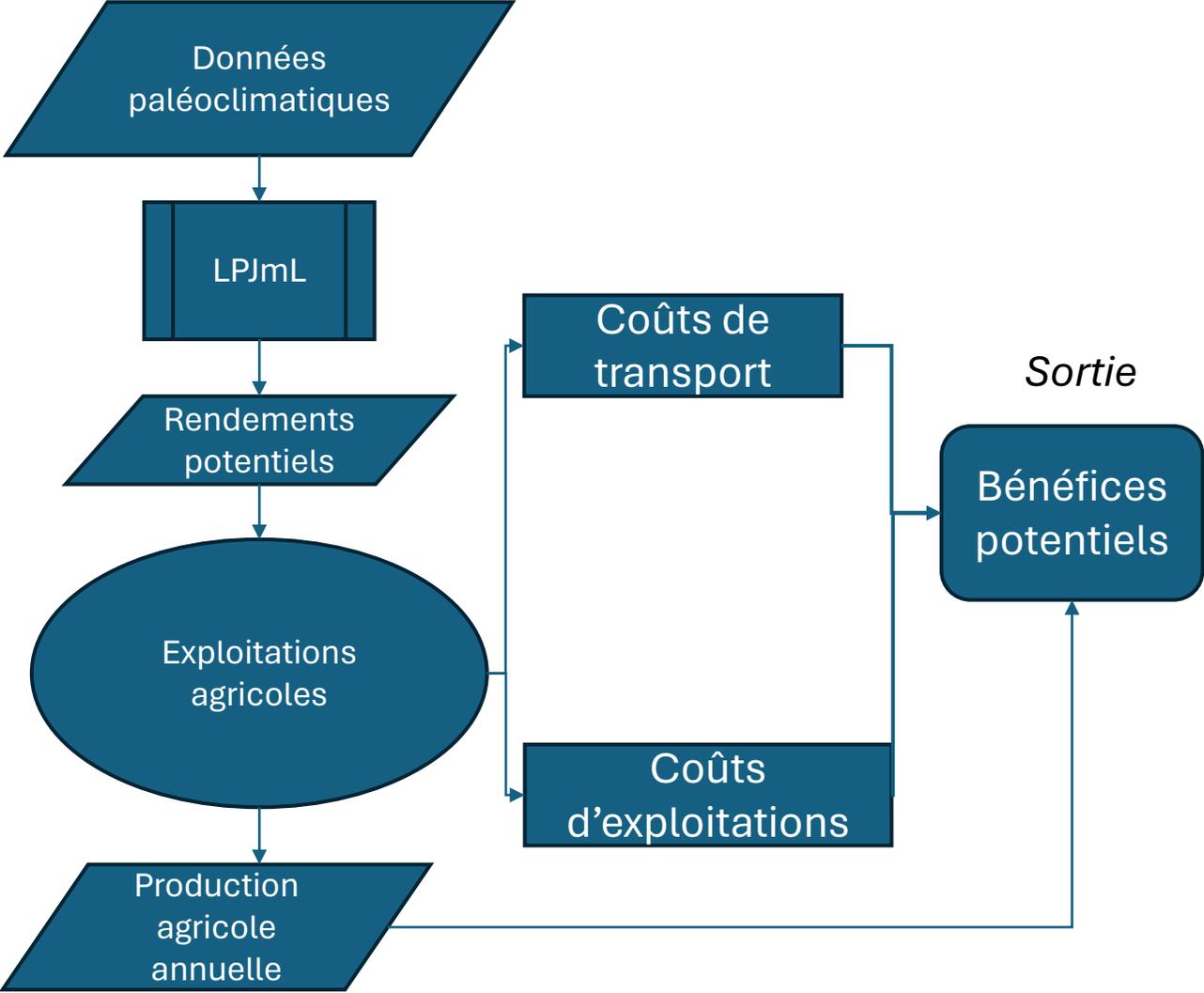
Screenshot de l'interface du modèle ROMCLIM

Bernigaud et al. 2024

Simuler l'impact des changements climatiques sur l'occupation du sol en Gaule Narbonnaise

->Le modèle multi-agents ROMCLIM

Principales variables	■ Ferme céréalière	■ Olivette	■ Exploitation viticole
Nombre d'exploitants	6	13	14
Superficie exploitée (ha)	0-2 ha	240 jugera (60 ha) (Caton)	100 jugera (25 ha) (Columelle)
Rendements potentiels	Calculés par l'émulateur LPJmL		
Récolte annuelle (t/ha)	Superficie exploitée * rendements potentiels		
Valeur de la récolte	0-100 denarius/modius*	0-40 denarius/sextarius**	0-30 denarius/sextarius**
Coûts d'exploitation	Quantité de grain nécessaire pour nourrir famille + semences nécessaires pour année suivante	Nombre de personnes * 140 sesterces/an	140 sesterces/an/esclave
Distance à la plus proche capitale de cité	Calculée par le modèle		
Coûts de transports	0-1 sesterce/kg/km * Distance à la plus proche capitale de cité		
Bénéfices	Valeur surplus – coûts	Valeur récolte – coûts	
Action	Disparaît si la récolte annuelle ne peut nourrir la famille	Disparaît si bénéfices < 0	

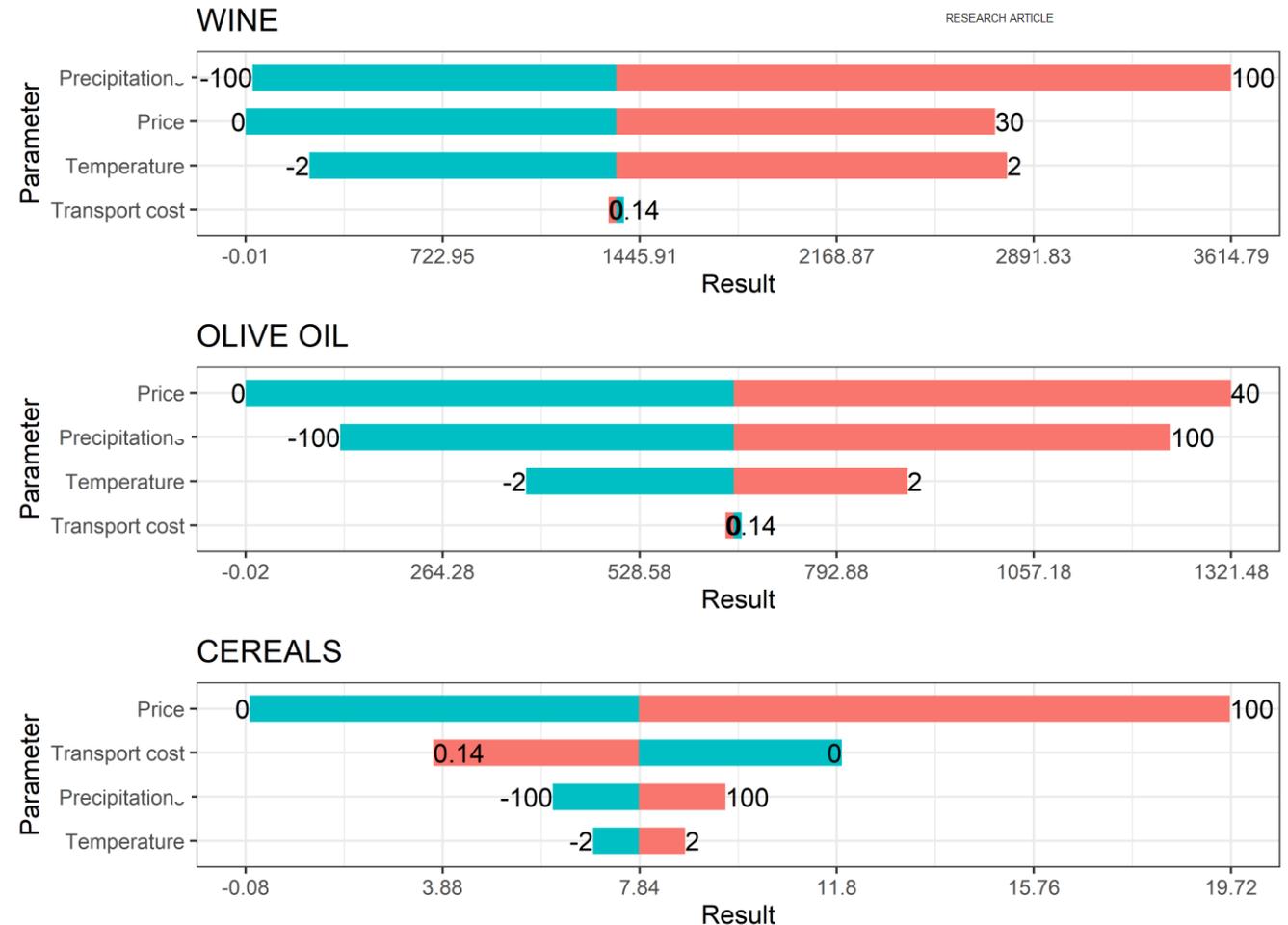


ROMCLIM: analyse de sensibilité

- Méthode OFAT (One-factor-at-a-time) pour pondérer l'importance des facteurs économiques et climatiques
- Les différents types de culture n'ont pas la même sensibilité au climat
 - Précipitations sont les plus importantes pour la vigne
 - Les prix sont les plus importants pour l'oléiculture et la céréaliculture
 - Facteurs climatiques secondaires pour la céréaliculture

PLOS ONE

OPEN ACCESS PEER-REVIEWED
RESEARCH ARTICLE



Bernigaud et al. 2024

Simuler l'impact des changements climatiques sur l'occupation du sol en Gaule Narbonnaise

->Le modèle multi-agents ROMCLIM

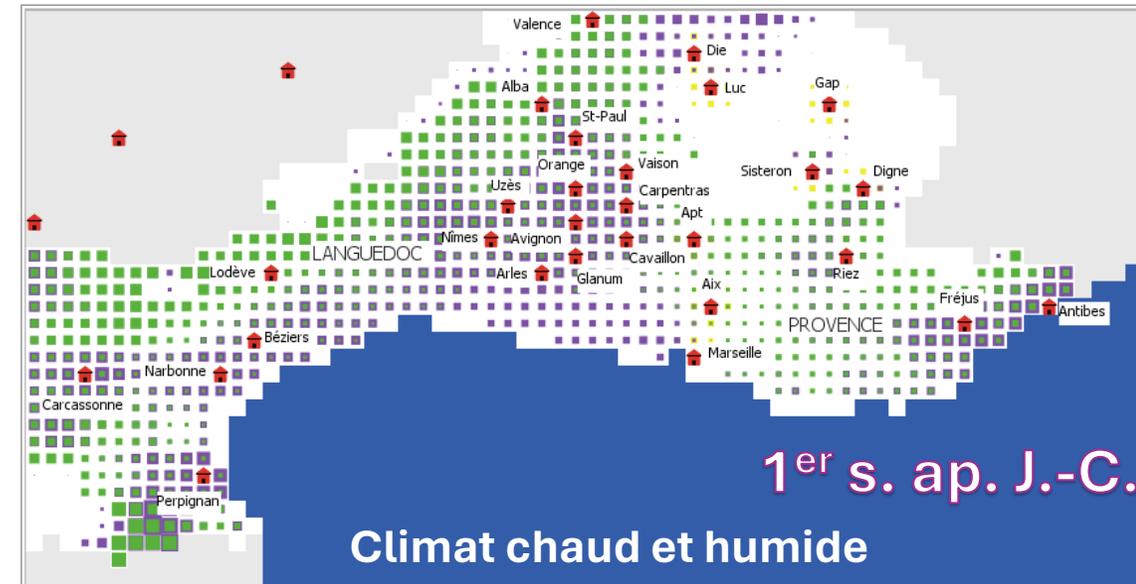
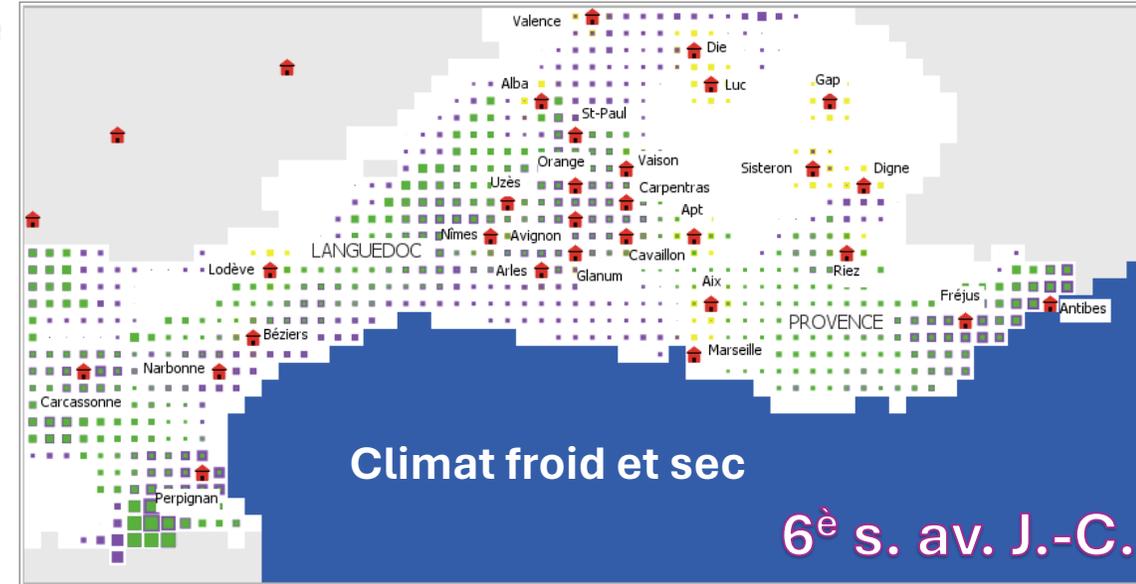
- Fort impact du RCO sur la rentabilité potentielle de la viticulture et de l'oléiculture
- Rentabilité la plus élevée pour la vigne en moyenne vallée du Rhône, dans les plaines du Languedoc et du Roussillon, mais aussi en Provence (Fréjus, Antibes)
- Plus forte rentabilité pour l'oléiculture dans le Var et l'arrière-pays languedocien

Bénéfices potentiels

-    Viticulture
-    Oléiculture
-    Céréaliculture



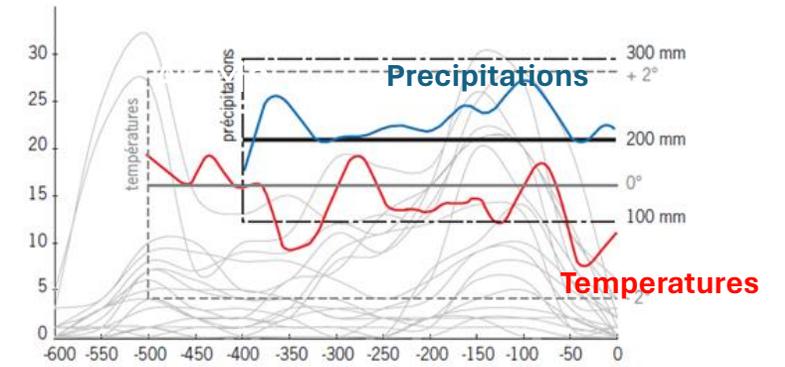
Capitales de cité



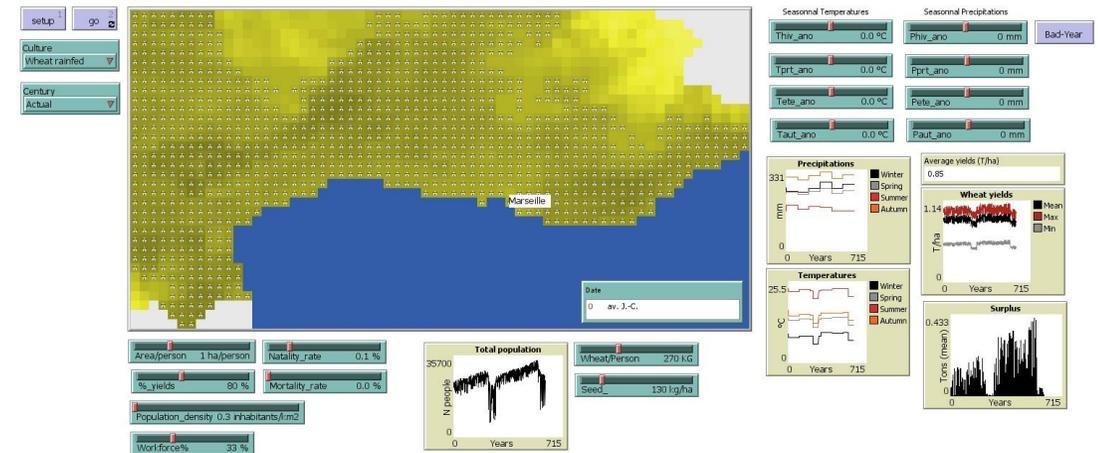
Simuler l'impact des changements climatiques sur le peuplement en Gaule Narbonnaise

->Le modèle multi-agents FER-AGRI

- *Quel a été l'impact des pulsations climatiques de l'âge du Fer (VI^e s.-I^{er} s. av. J.-C.) sur la démographie en Gaule?*
 - Y a-t-il une corrélation entre la baisse des températures et la diminution de la pression humaine ?
- Modèle simule les variations climatiques, leurs effets sur la production céréalière (LPJmL) et leur répercussion sur la démographie (via la consommation en céréales)
- La population croît chaque année selon un taux démographique
 - Les groupes humains font une récolte par an pendant 6 siècles
 - Lorsque les récoltes et les stocks sont insuffisants dans une cellule pour nourrir tout le monde, la population disparaît



Densité de peuplement dans le nord de la Gaule à l'âge du fer et fluctuations climatiques (Malrain et al. 2013)



Screenshot du modèle FERAGRI (Bernigaud et al. 2023)

Production céréalière, archéodémographie et climat en Gaule à l'âge du Fer : les nouvelles perspectives de la modélisation multi-agents



Nicolas Bernigaud, Alberte Bondeau, Joël Guiot, Loup Bernard, Delphine Isoardi, Eneko Hiriart, Frédérique Bertoncello, Marie-Jeanne Ouriachi

Simuler l'impact des changements climatiques sur le peuplement en Gaule Narbonnaise

->Le modèle multi-agents FER-AGRI

Variables en entrée

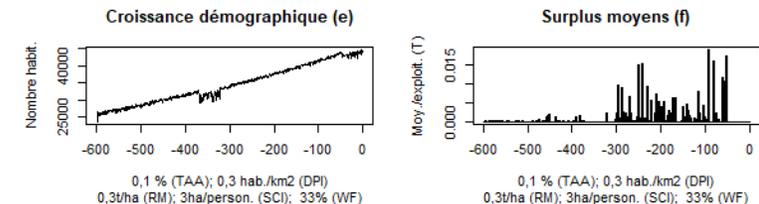
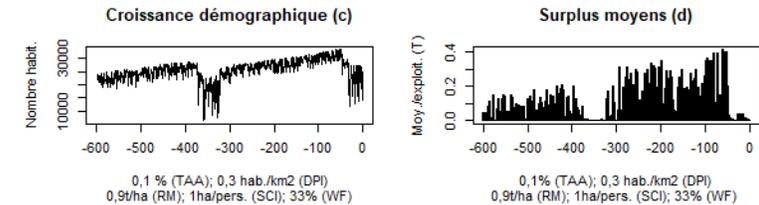
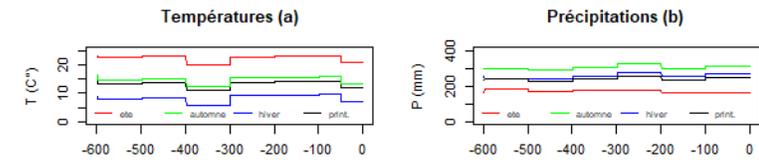
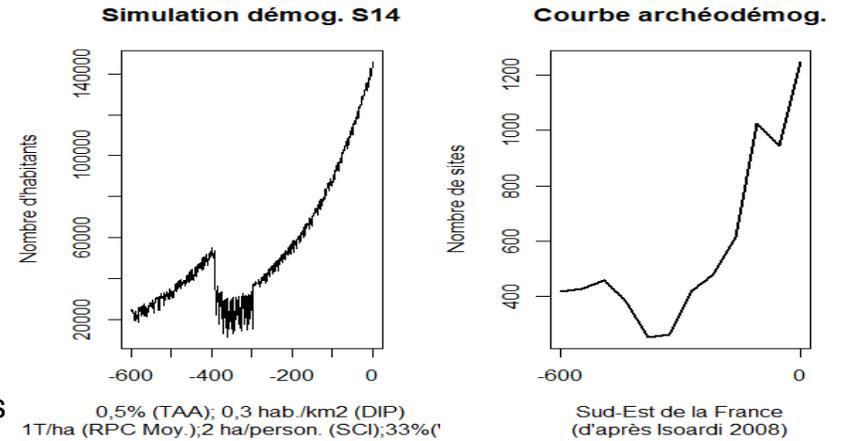
- Taux d'accroissement annuel
- Densité initiale de peuplement
- Workforce
- Superficie cultivée/individu
- Ration annuel de céréales consommées
- Ratio de semences utilisées

Variables calculées

- Rendements potentiels en céréales
- Superficie cultivée annuelle
- Récolte annuelle
- Consommation annuelle globale
- Quantité annuelle semée
- Surplus annuels réalisés

Résultats

- Effet RCO notable sur l'excédent céréalier, mais pas vraiment sur la croissance démographique
- Un refroidissement supérieur à -2°C a un impact négatif sur les rendements céréaliers et provoque un effondrement démographique (système résilient sous ce seuil)



ANR MICA : Modelling Interactions between Climate change and Agriculture in Ancient West

- Objectif : caractériser et modéliser l'impact du changement climatique sur l'agriculture (rendements, production) et le choix des espèces et variétés de cultures
- Périodes chronologiques : Âge du bronze – Antiquité tardive (1500 av. J.-C. – 500 apr. J.-C.)
- Zone d'étude : Méditerranée et Europe occidentale
- Équipe pluridisciplinaire internationale de 50 personnes : archéologues, archéobotanistes, géoscientifiques, modélisateurs environnementaux, paléogénéticiens,...
- Institutions/ Laboratoires : Cepam, Isem, CAGT, ASM, Muséum National d'Histoire Naturelle,....



Centre for Anthropobiology
and Genomics of Toulouse

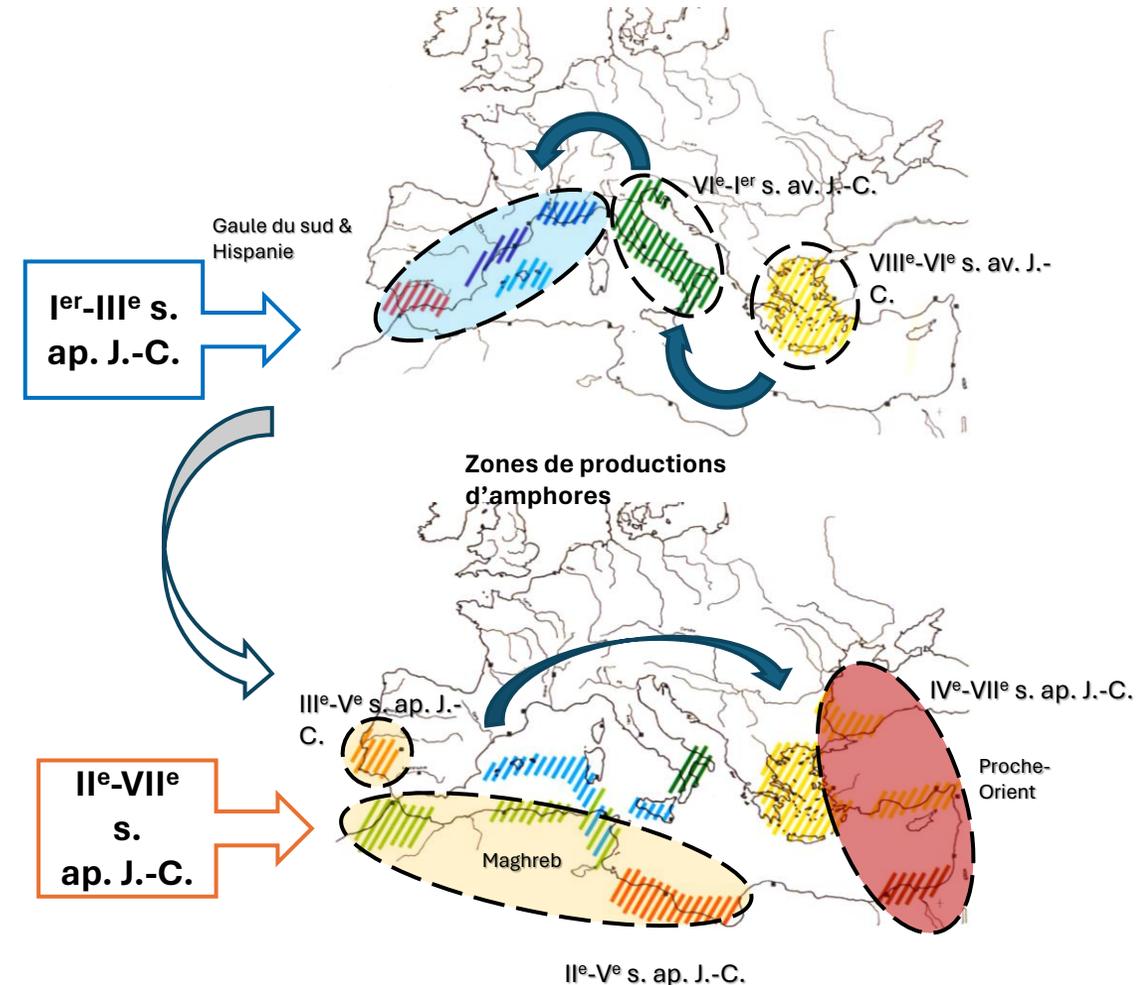


<https://mica.hypotheses.org/>



Quelle part des changements climatiques dans la dynamique des régions agricoles de l'Empire romain ?

- Essor des régions productrices du nord-ouest de la Méditerranée (fin du 1^{er} s. av. J.-C. – 3^{ème} s. apr. J.-C.)
- Émergence des zones productrices du Maghreb (2^e-5^e s. apr. J.-C.)
- Essor au Moyen-Orient : 6^e-7^e siècles après J.-C.



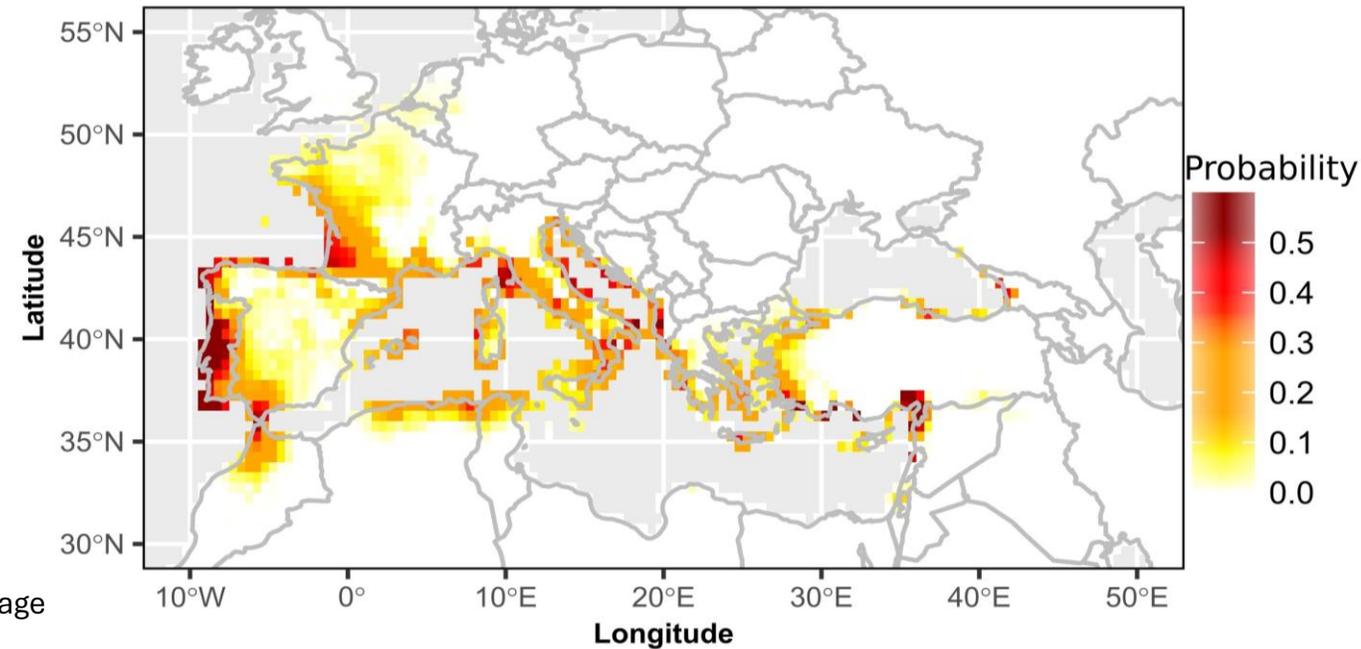
ANR MICA : Principaux objectifs et méthodes



Constitution d'une grande base de données sur les installations de pressoirs

- Identification des espèces végétales cultivées (morphométrie, analyses ADN)
- Modélisation du rendement (LPJmL) pour plusieurs espèces de céréales
- Collecte et cartographie des données archéologiques sur les structures de stockage des céréales et les installations de presse
- Production de cartes de potentiel pour différentes cultures
- Développement d'un modèle à base d'agents pour tester les hypothèses et peser le rôle des facteurs climatiques, socio-économiques et culturels dans l'évolution de la géographie des cultures

Carte de potentialité climatique pour la viticulture dans l'Empire romain (I^{er} s. av. J.-C.)



Guiot et al. 2023

Cette recherche a reçu un financement de l'Agence nationale de la recherche, projet MICA – ANR-22-CE27-0026