



**HAL**  
open science

## Modélisation mathématique de l'entrée de l'Homme moderne en Europe

Anna Degioanni, Hervé Guillard, Boniface Nkonga, Silvana Condemi

► **To cite this version:**

Anna Degioanni, Hervé Guillard, Boniface Nkonga, Silvana Condemi. Modélisation mathématique de l'entrée de l'Homme moderne en Europe. Journée de restitution 2018 "Défi Infini", Oct 2018, Paris, France. hal-01959157

**HAL Id: hal-01959157**

**<https://inria.hal.science/hal-01959157>**

Submitted on 20 Dec 2018

**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.

# Modélisation mathématique de l'entrée de l'Homme moderne en Europe

Paris le 31 octobre 2018



Mission pour l'Interdisciplinarité

MI

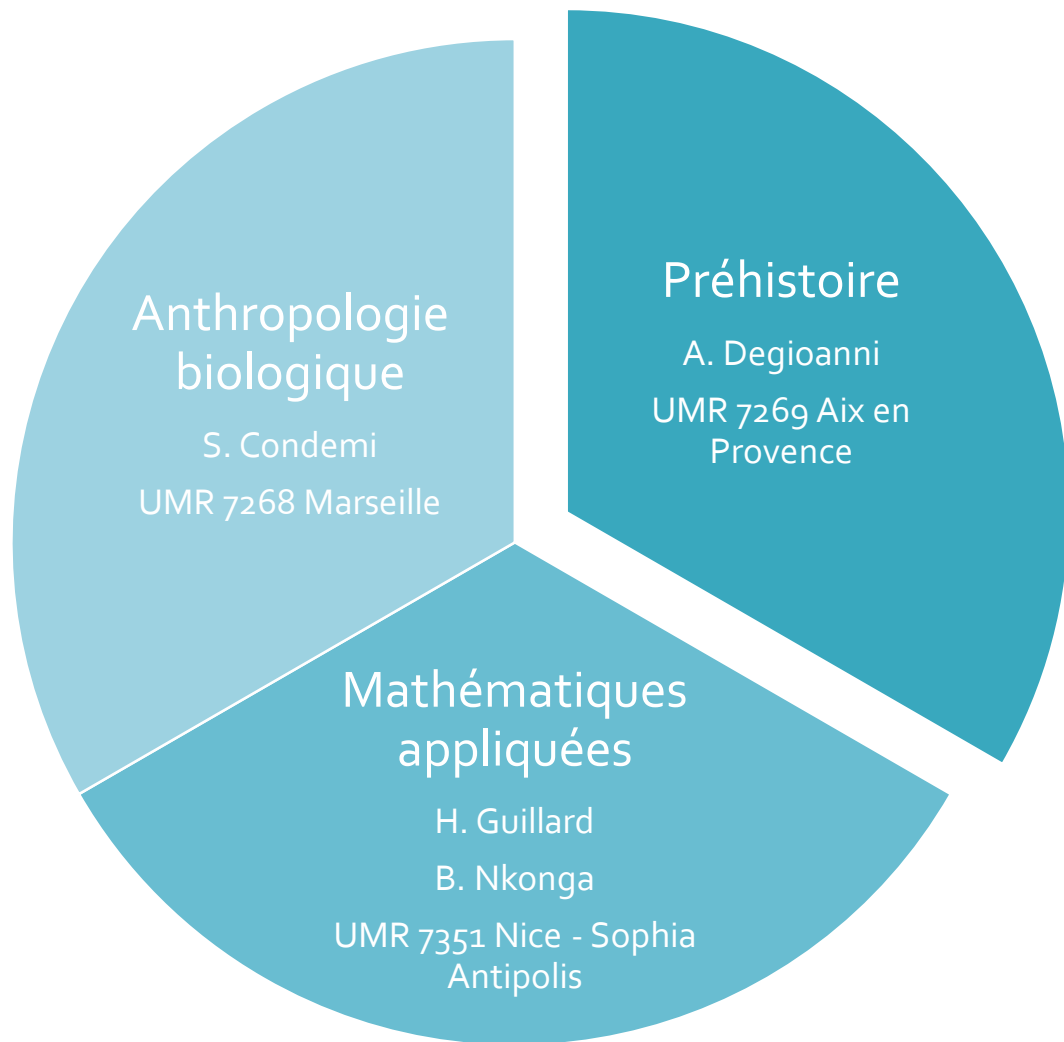
Défi interdisciplinaire INFINITI

INterFaces Interdisciplinaires NuméRIque et ThéORIque

projets 2018



# Laboratoires participants



un stage Polytech Nice -Sophia Ingénieur Mathématique Appliquée et modélisation XU Zhenyu

# L'Homme anatomiquement moderne (*Homo Sapiens*)

## Afrique

- dès environ - 300.000 ans *Homo sapiens archaïque*
- - 150.000 ans *Homo sapiens*

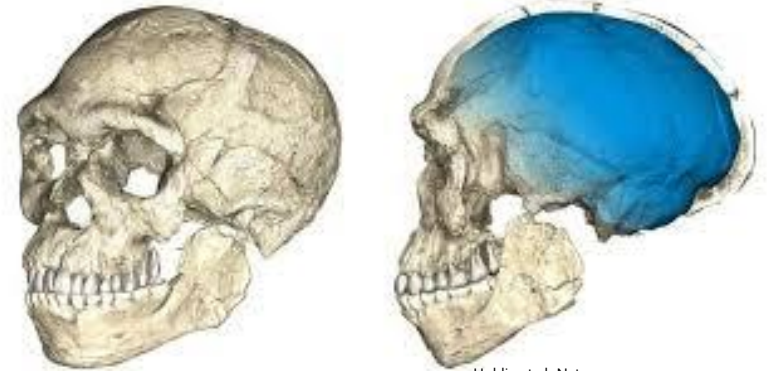
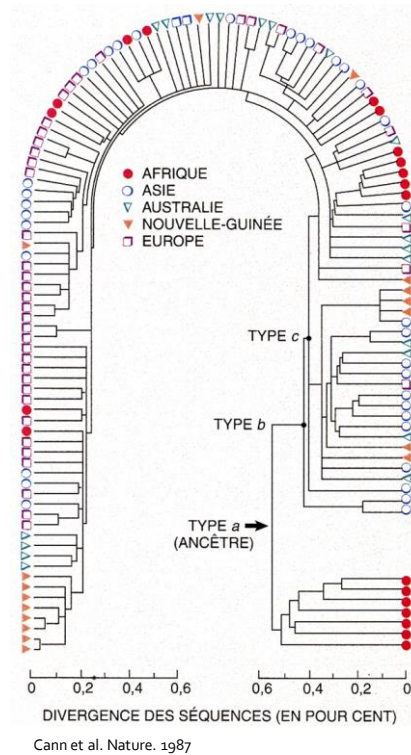


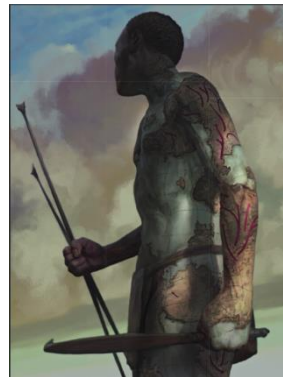
Photo © 2000 David L. Brill, Brill Atlanta

# Migrations de l'Homme moderne

- Sorties d'Afrique à partir de - 120 000 ans



<https://genographic.nationalgeographic.com/human-journey/>



Jon Foster Scientific American 2015

# L'Europe données archéologiques



Paul Blades <http://www.megalithic.co.uk/>



Claude Paris - Sipa

- Moustérien / Aurignacien



J.L. Monnier UMR6566



Pierre Magniez, LAMPEA

La grotte de Goat , Paviland

# Problématique : entrée de l'Homme moderne en Europe

## Questions

- Quand
- Comment
- Combien de temps

## Apport de la modélisation

- Valider – infirmer
- Vraisemblance des hypothèses formulées par les archéologues

Modélisation  
mathématique  
en  
anthropologie  
biologique

## MEASURING THE RATE OF SPREAD OF EARLY FARMING IN EUROPE

A. J. AMMERMAN

*Institute of Archaeology, University of London*

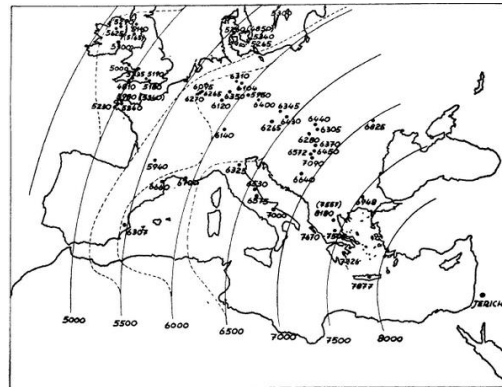
L. L. CAVALLI-SFORZA

*University of Pavia*

*Man*

New Series, Vol. 6, No. 4

(Dec., 1971), pp. 674-688 (15 pages)



- model Fisher ('37 génétique) =
- Skellman ('51 dynamique pop) =
- KPP- Kolmogorov, Petrovskii, Piskunov- ('37 mathématique)

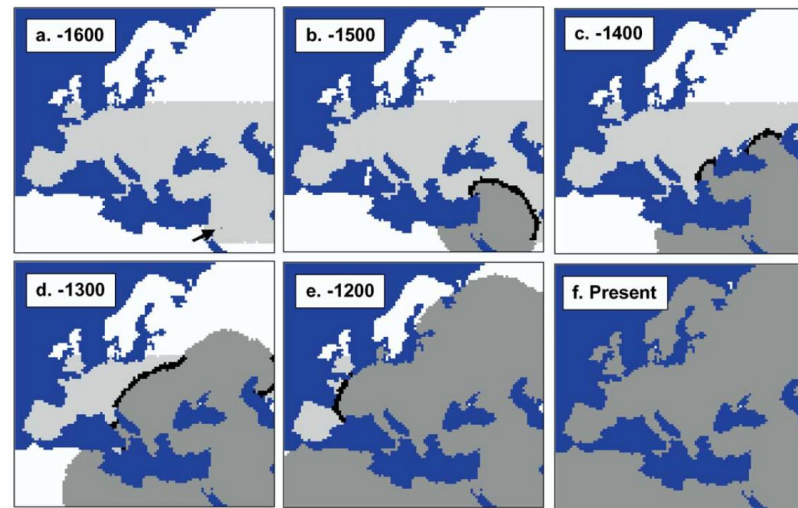


# Modélisation de données génétiques

## Modern Humans Did Not Admix with Neanderthals during Their Range Expansion into Europe

Mathias Currat<sup>1,2</sup>, Laurent Excoffier<sup>1\*</sup> PLoS Biology | [www.plosbiology.org](http://www.plosbiology.org)

December 2004 | Volume 2 | Issue 12 | e421



- Modèle de Lotka-Volterra
- Extension de KPP

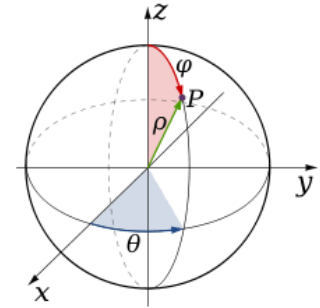
## Nos objectifs

- Construction outil informatique utilisable par des anthropologues ( archéologues)
  - Simple pour non spécialistes (en mathématiques appliquées)
  - Transposables à d'autres contextes ( période, culture,...)
- Modèle spatialisé : le peuplement de l'Europe ne s'est pas réalisé de façon uniforme – couloir de migration, barrières géographiques, .....
- Contraintes géographiques, climatologiques et anthropologiques

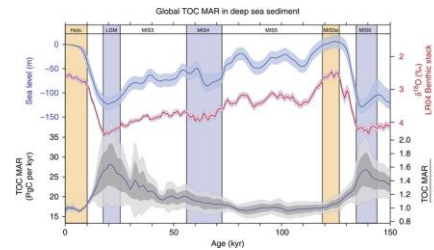
# Contraintes géographiques et climatologiques



Equations formulées en coordonnées sphériques



$$\nabla \cdot \mathbf{F} = \frac{1}{a \cos \varphi} [\partial_{\theta} F_{\theta} + \partial_{\varphi} \cos \varphi F_{\varphi}]$$



Cartapanis et al. Nature Communications 2016



# Contraintes anthropologiques



Jacques Malaterre, 2004

- Prise en compte du relief
- Prise en compte des cours d'eau



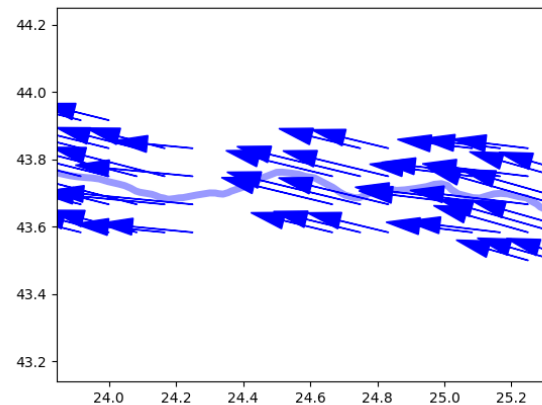
## Contraintes d'efficacité

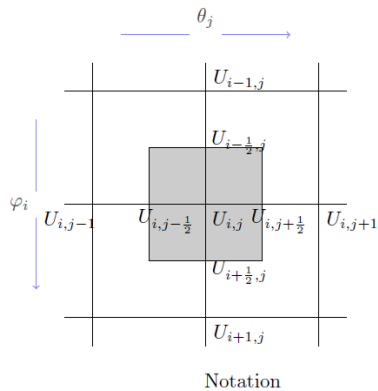
- Accès à des ressources de calcul importantes inhabituel
- Problème de processeur –espace de calcul
- Méthodes numériques doivent être efficaces : taille de maillage  $1600 * 500 \Rightarrow$  choix des méthodes numériques
- Temps de calcul < un quart d'heure sur pc

# Le modèle programmé actuellement

$$\underbrace{\partial_t n_s}_{\text{évolution}} + \underbrace{\nabla \cdot (\mathbf{u} n_s)}_{\text{advection}} = \underbrace{\nabla \cdot (\kappa \nabla n_s)}_{\text{random diffusion}} + \underbrace{\alpha n_s (1 - n_s / K_s)}_{\text{croissance logistique}}$$

- $n_s$  densité (nb / km<sup>2</sup>)
- $\mathbf{u}$  vitesse d'advection le long des grands cours d'eau
- $\kappa$  coefficient de diffusion
- $\alpha$  croissance logistique,  $K$  capacité de soutien



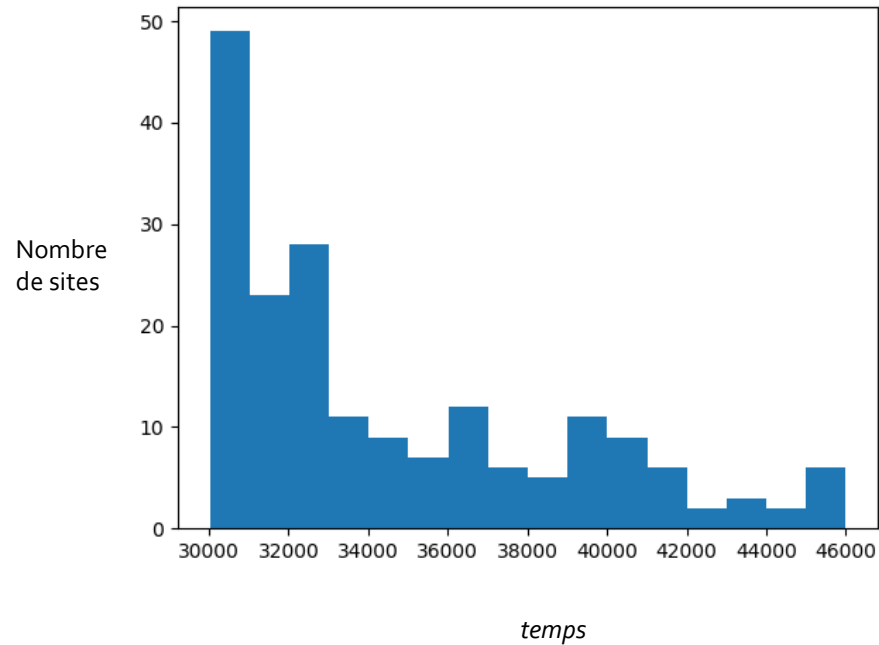


## Discretisation et résolution

- Équation sous forme conservative en coordonnées sphériques
- Méthode de Volumes finis
- Advection et croissance logistique : **explicite**
- Diffusion : **implicite**
  - Système linéaire 2D à résoudre
  - Méthode ADI Système linéaire 1D =>> cout du calcul fortement réduit
- Etude de l'influence de la discrétisation sur la précision des résultats
  - $\delta\phi \delta\theta = 3$  minutes d'arc, maillage  $1600 * 500$
  - $\delta t = 5$  ans

Nos données en  
cours  
d'élaboration

- 190 sites avant -30 000 ans





# Problèmes

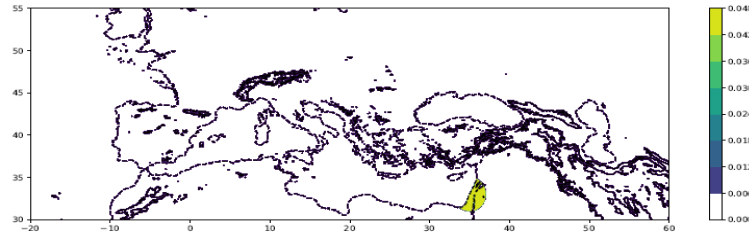
- Contrainte des datations
- Les sites peuvent avoir disparus
- Les sites peuvent ne pas avoir encore été identifiés
- ..... On ne peut travailler que avec ce que l'on a ....

> si la modélisation propose une arrivée avant les dates existantes → ce n'est pas forcément faux

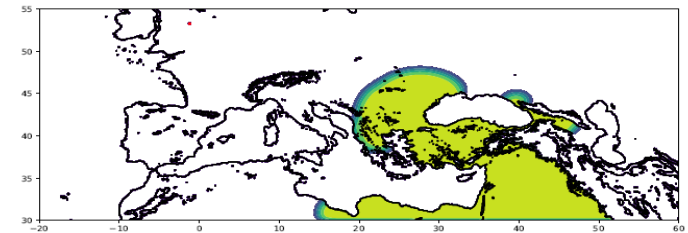
> si la modélisation propose une arrivée après les dates existantes → c'est forcément faux

# Etude d'un scenario particulier

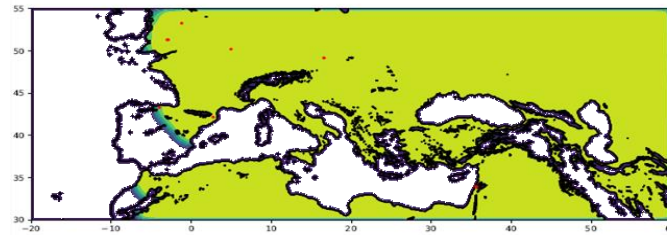
contrainte= arrivée en Angleterre compatible avec les datations récentes de T. Highman (Nature 2014), sans populations locales



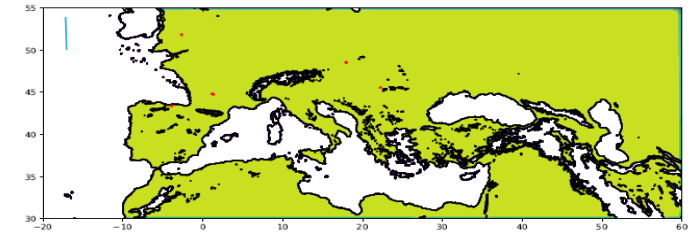
t=50000 BP



t=48000 BP



t=46000 BP



t=44000 BP

- Vitesse de 1km/an

# Neanderthal/ Homme moderne



© Benoît Clarys




Nilenbert [www.wikimedia.org](http://www.wikimedia.org)

# La suite ....modélisation avec Neanderthal

$$\underbrace{\partial_t n_s}_{\text{évolution}} + \underbrace{\nabla \cdot (\mathbf{u} n_s)}_{\text{advection}} = \underbrace{\nabla \cdot (\kappa_s \nabla n_s)}_{\text{random diffusion}} + \underbrace{\alpha_s n_s \left(1 - \frac{n_s - \gamma_{sn} n_n}{K_s}\right)}_{\text{croissance/compétition (LV)}} + \underbrace{A_{ns} n_n}_{\text{croisement}}$$

$$\underbrace{\partial_t n_n}_{\text{évolution}} = \underbrace{\nabla \cdot (\kappa_n \nabla n_n)}_{\text{random diffusion}} + \underbrace{\alpha_n n_n \left(1 - \frac{n_n - \gamma_{ns} n_s}{K_n}\right)}_{\text{croissance/compétition(LV)}} - \underbrace{A_{ns} n_n}_{\text{croisement}}$$

- Qgis logiciel SIG open source, grande communauté, aménagement du territoire = espace interministériel de l'information géographique 
- => intégration de la modélisation dans un plugin pour Qgis
- Beaucoup de travail en perspective!!!!!! .....