

**Neolític:  
arqueologia,  
genètica i  
models físics.**

**Pint of Science**

**Girona, 23 de Maig del 2023**

Joaquim Fort

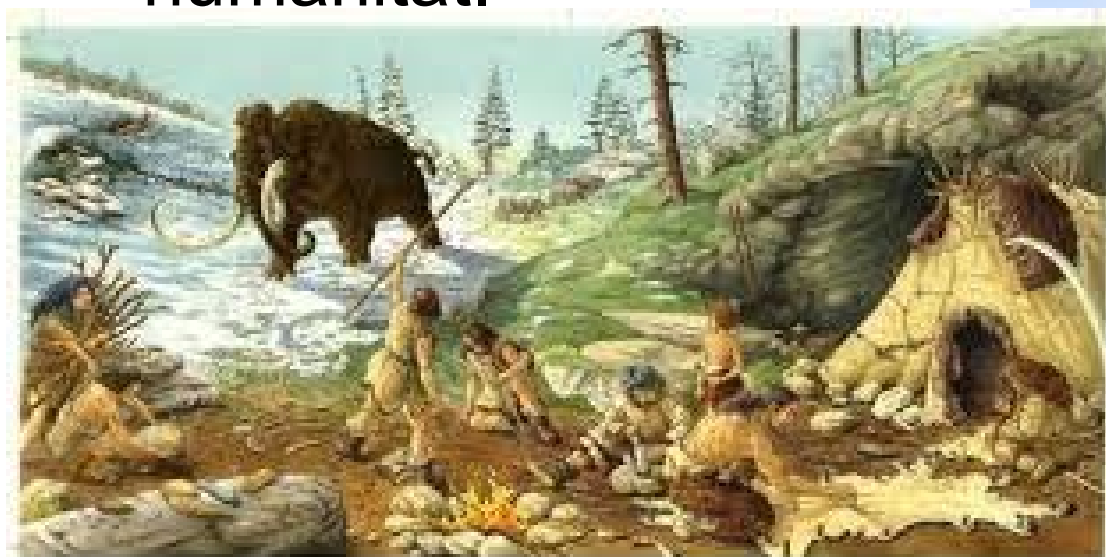
Universitat de Girona (UdG) i

Institució Catalana de Recerca i Estudis Avançats  
(ICREA)



# Transició del Neolític

- És el canvi d'una economia basada en la cacera i recol·lecció (Paleolític) a una altra basada en l'agricultura i ramaderia (Neolític).
- És la principal transició que ha experimentat la humanitat.



Paleolític (cacera i recol·lecció) → Neolític (agricultura)

Aquesta transició va començar després de la darrera glaciació<sup>2</sup>

- A Europa fa 9.000 anys no hi havia agricultura, només caçadors-recol·lectors.
- Hi havia hagut caçadors-recol·lectors durant 2 milions d'anys o més.
- Hem sigut agricultors només el darrer <1% del temps.
- El Neolític és el canvi social més important que hi ha hagut: amb el temps, va donar lloc a l'escriptura, les matemàtiques, la ciència, la indústria i una major esperança de vida.

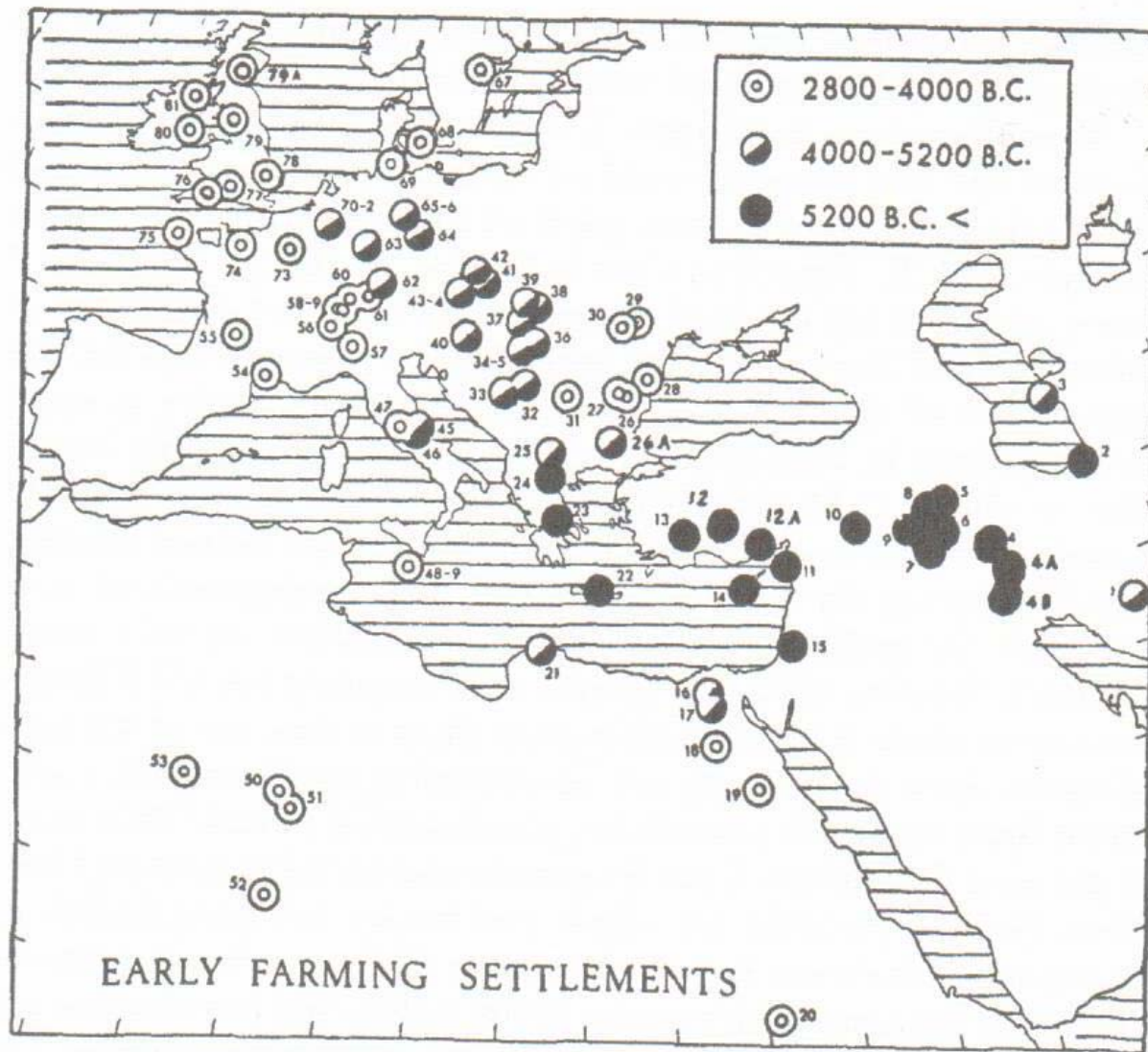
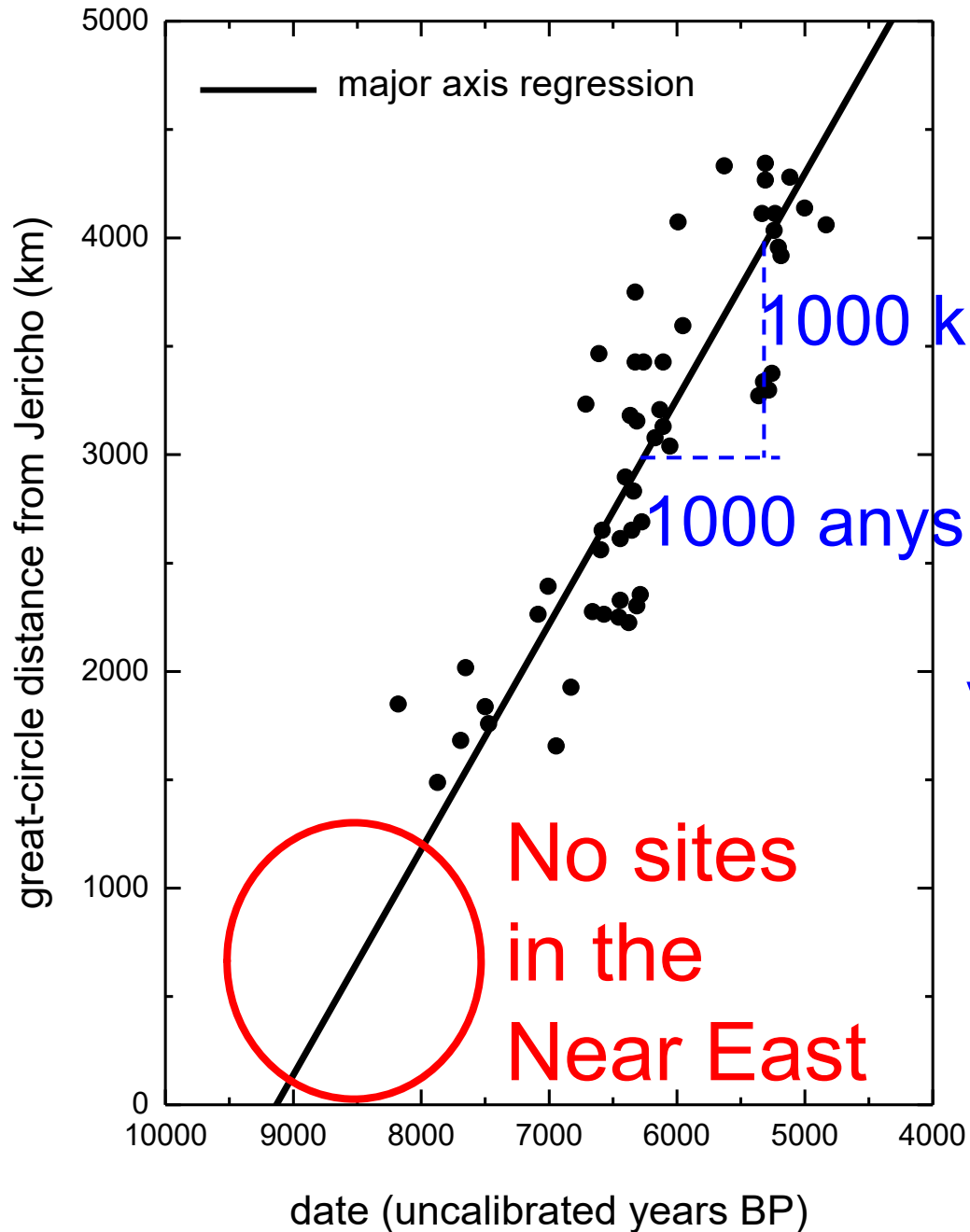


FIGURE 4.1. Map of early farming sites published by Clark in 1965. The dates of the symbols are in uncalibrated radiocarbon ages.

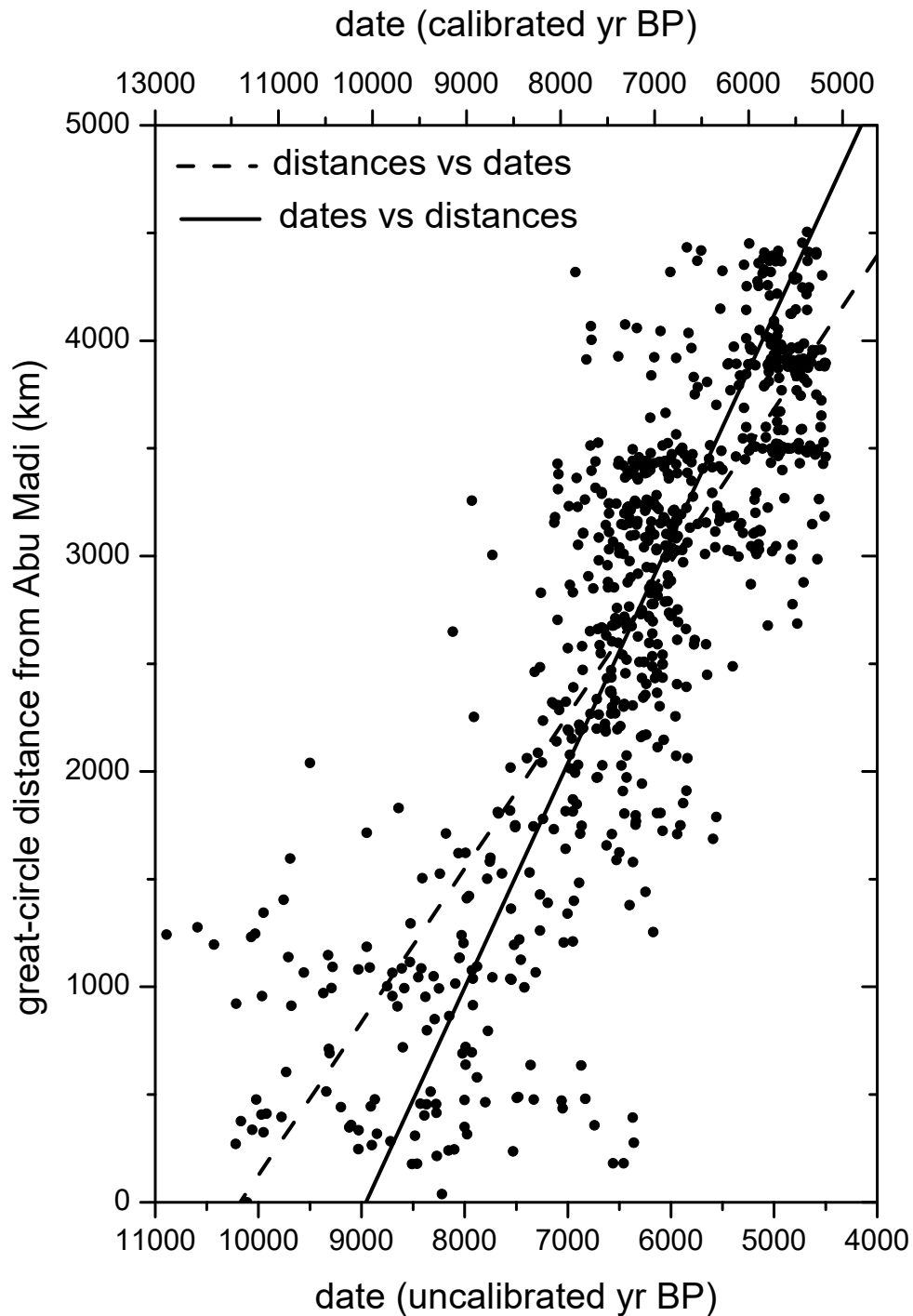


Ammerman & Cavalli-Sforza (1971)

53 jaciments a Europa  
 velocitat = 1.0 km/any

(0.8-1.2 km/yr from 2 regressions)

$r = 0.89$  (Jericho, highest- $r$  origin)<sub>5</sub>



Pinhasi, Fort &  
Ammerman,  
*PLoS Biol.* (2005)

735 jaciments a Europa i  
l'Orient proper

velocitat = 1.0  
km/any

(0.9-1.3 km/yr)

$r = 0.83$  (dates vs  
distances, great circles &  
shortest paths)

# Ammerman & Cavalli-Sforza (1973)

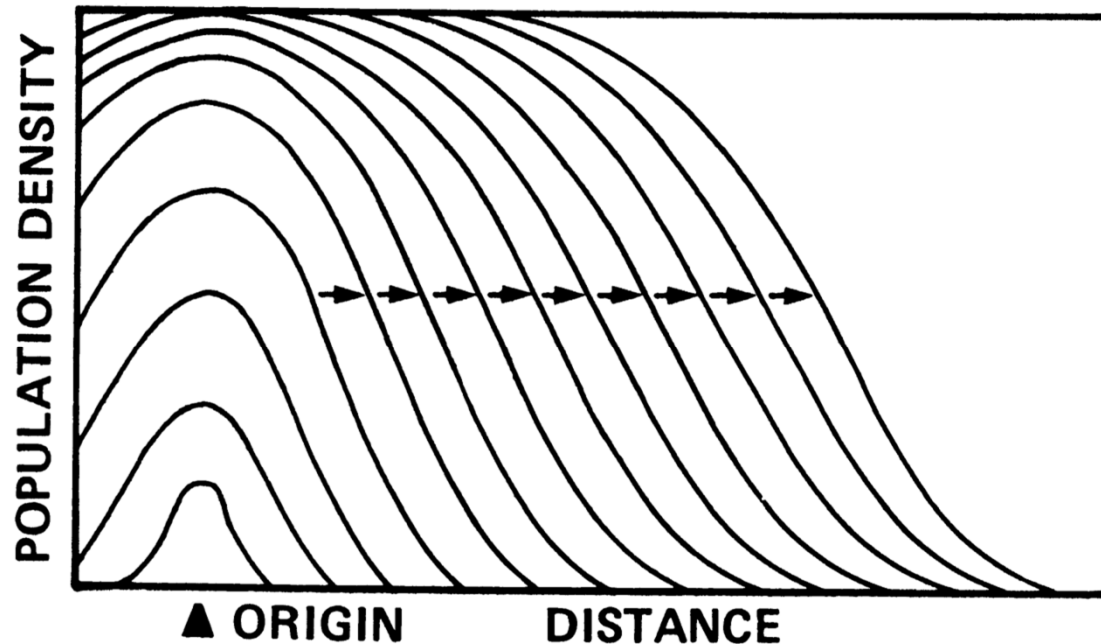


FIGURE 5.2. Fisher's model of a population wave of advance. This graphic representation shows the rise in local population density expected with increasing distance

Model démic  
o de moviment  
de poblacions  
(no només de  
idees)

$$v_{Fisher} = \sqrt{\frac{r m}{T}}$$

Preindustrial farmers :

$$\left. \begin{array}{l} \text{Reproduction : } r = 0.032 \text{ yr}^{-1} \\ \text{Mobility : } m = 1544 \text{ km}^2 \\ \text{Generation time : } T = 25 \text{ yr} \end{array} \right\} \rightarrow v_{Fisher} = 1.4 \text{ km/yr}$$

## Model dèmic 'del temps de retràs'

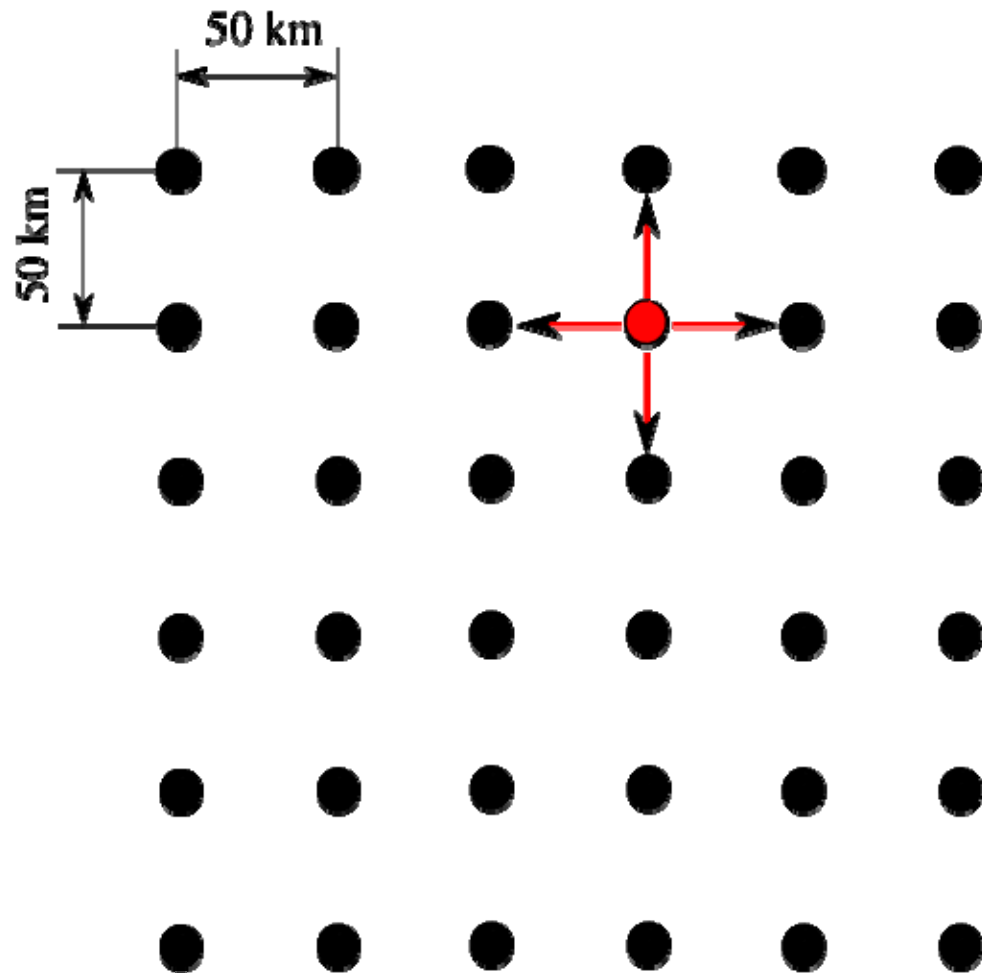
Té en compte que els nens passen algun temps amb els seus pares abans de fer-se adults i dispersar-se

$$v = \frac{v_{Fisher}}{1 + \frac{rT}{2}} = 1.0 \text{ km/yr} \rightarrow \text{OK !!}$$

Fort & Méndez, *Phys. Rev. Lett.* (1999)



# Simulacions



$0 < p_e < 1$  persistència

● una fracció  $p_e$  es queda

●  $(1-p_e)/4$  es mouen en  
● cada direcció

$$P(t+1) = R_0 P(t)$$

● agricultors pre-industrials:

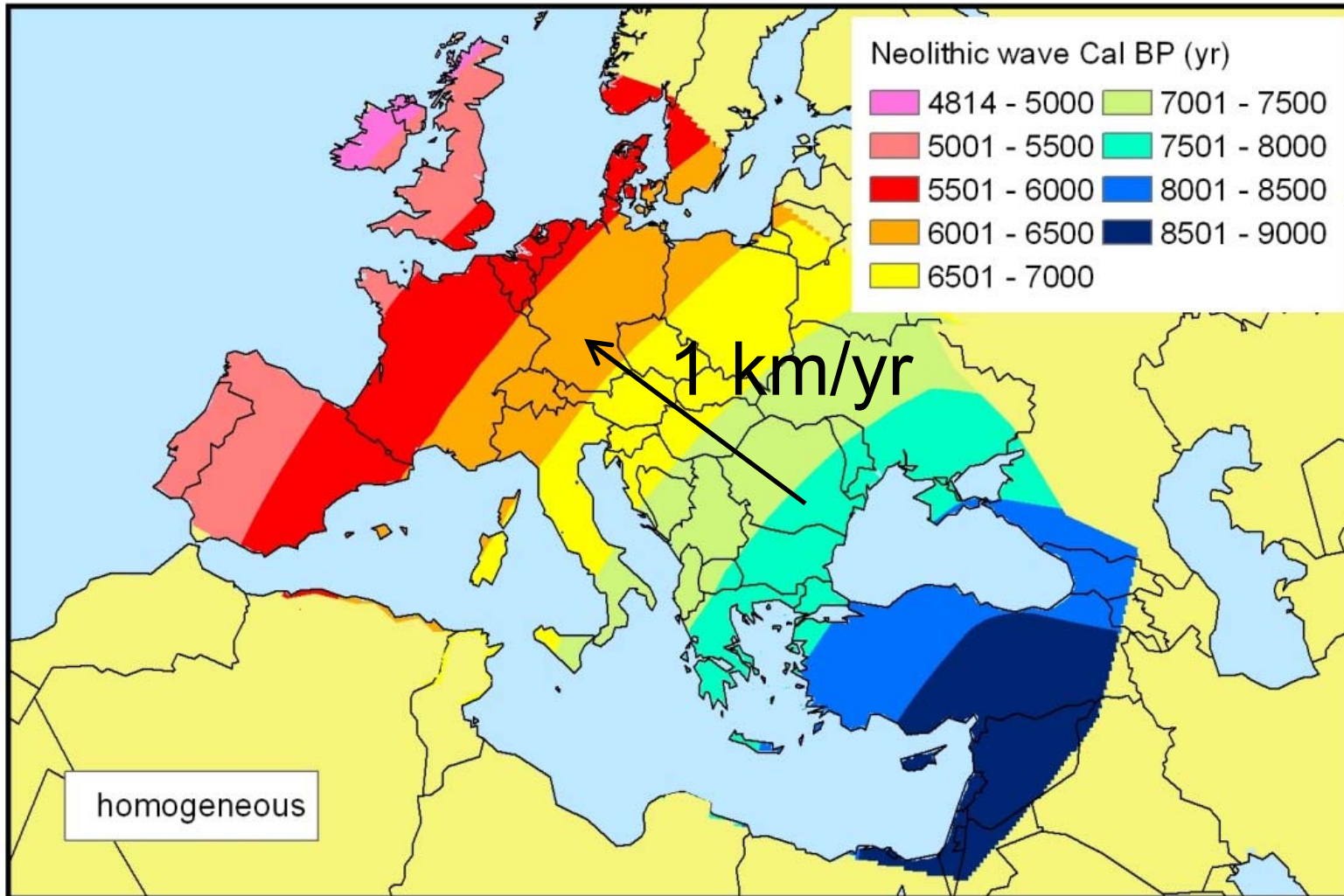
● Reproducció:  $R_0 = 2.2$

● per generació

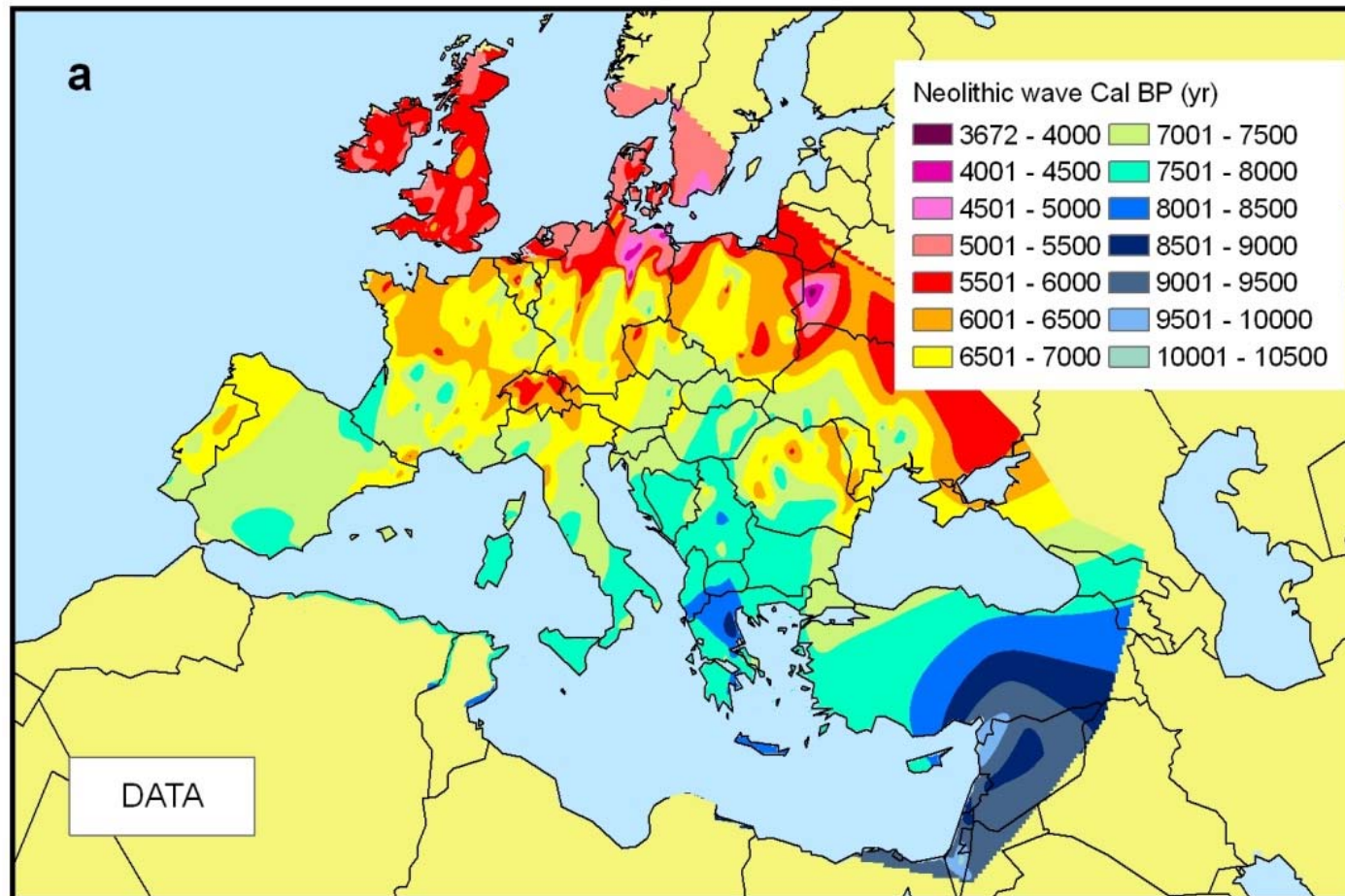
●  $p_e = 0.38$ ,  $d = 50$  km

# simulacions: model dèmic homogeni

Velocitat mitja: 1 km/yr

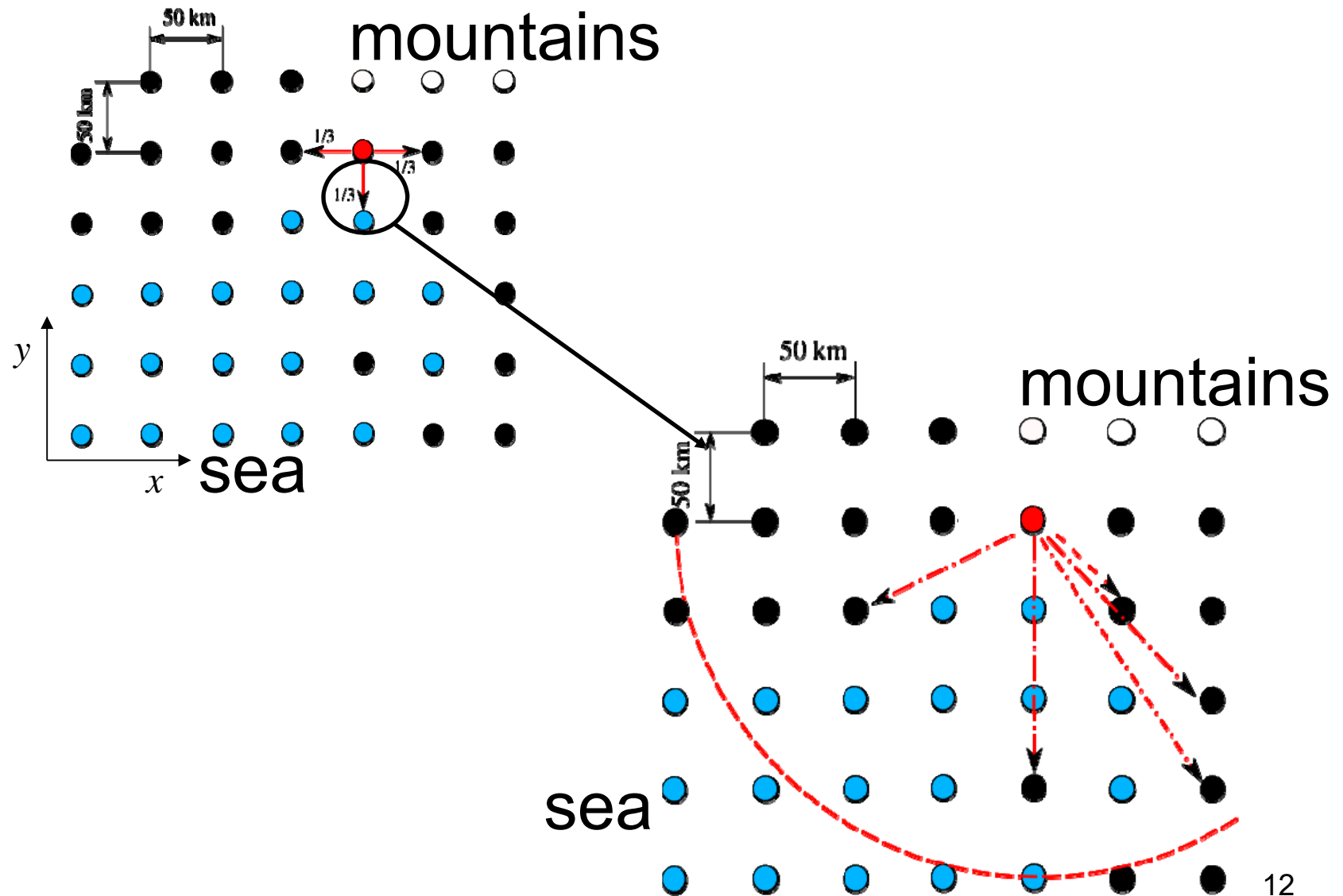


# Dades arqueològiques

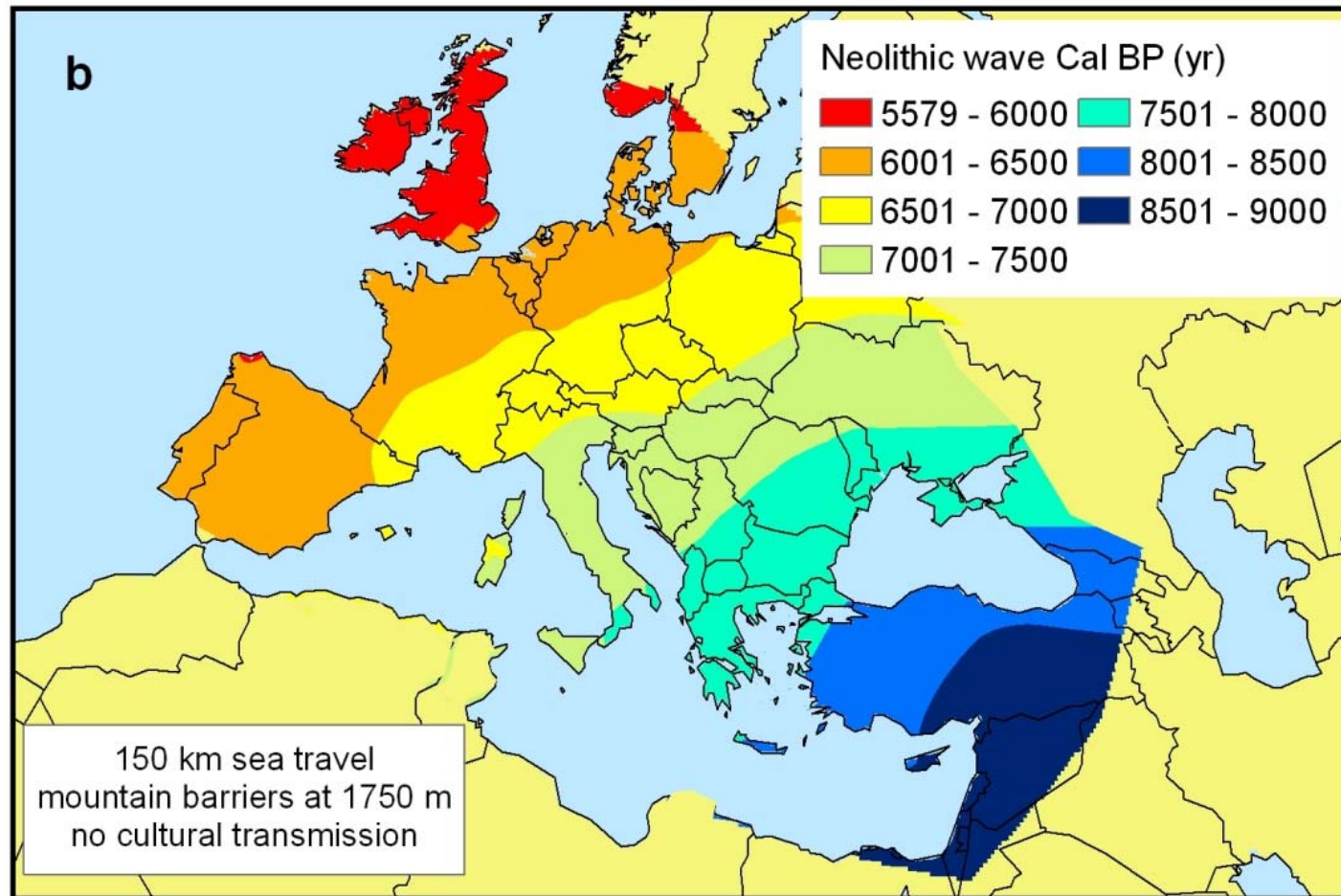


1 km/any,  
com al  
mapa  
anterior,  
però aquí  
molt més  
ràpid al  
Mediterrani

# Simulacions amb mar i muntanyes



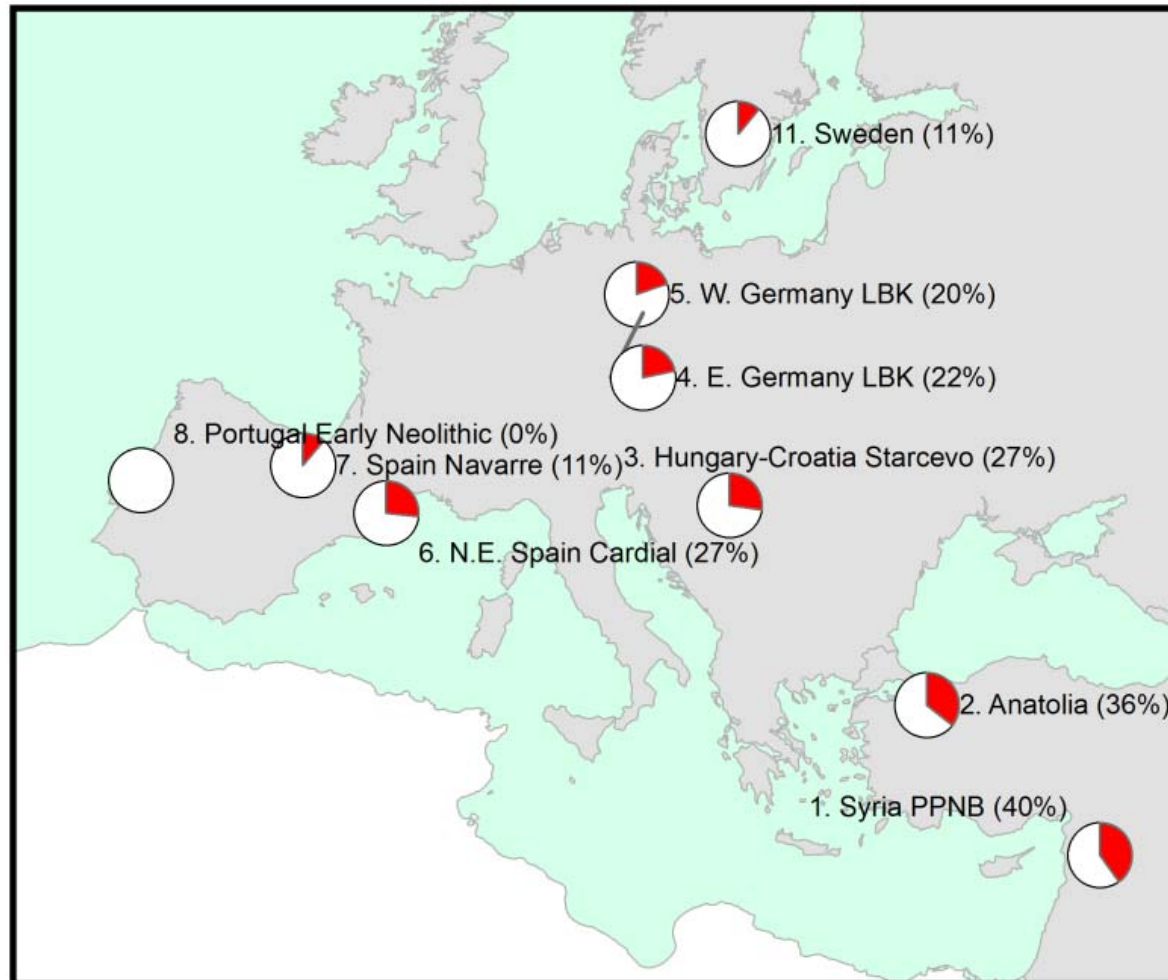
# Millor model a nivell d'Europa viatges per mar fins a 150 km /generació



Fort, Pujol & vander Linden, *Amer. Antiq.* (2012)

# Genètica prehistòrica

Des de l'any 2009, s'ha publicat l'ADN mitocondrial de 514 individus neolítics:



Freqüència de l'haplogrup K (**vermell**):  
decreix cap a l'Oest i el Nord.

Això suggereix una **barreja** entre agricultors i caçadors-recol·lectors.

# Barreja de 2 poblacions:

Després d'una generació, els nous números d'individus ( $P'_A$  i  $P'_C$ ) en funció dels anteriors ( $P_A$  i  $P_C$ ) són:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{agricultors (A): } P'_A = P_A + \eta \frac{P_A P_C}{P_A + P_C} \\ \text{caçadors - recol·lectors (C): } P'_C = P_C - \eta \frac{P_A P_C}{P_A + P_C} \end{array} \right.$$

Cavalli-Sforza & Feldman,  
llibre *Cultural transmission and evolution* (1979)

Fort, *Phys. Rev. E* (2011) & *PNAS* (2012)

$$\begin{cases} P'_A = P_A + \eta \frac{P_A P_C}{P_A + P_C} \approx P_A + \eta P_A & (1) \\ P'_C = P_C - \eta \frac{P_A P_C}{P_A + P_C} \approx P_C - \eta P_A & (2) \end{cases}$$

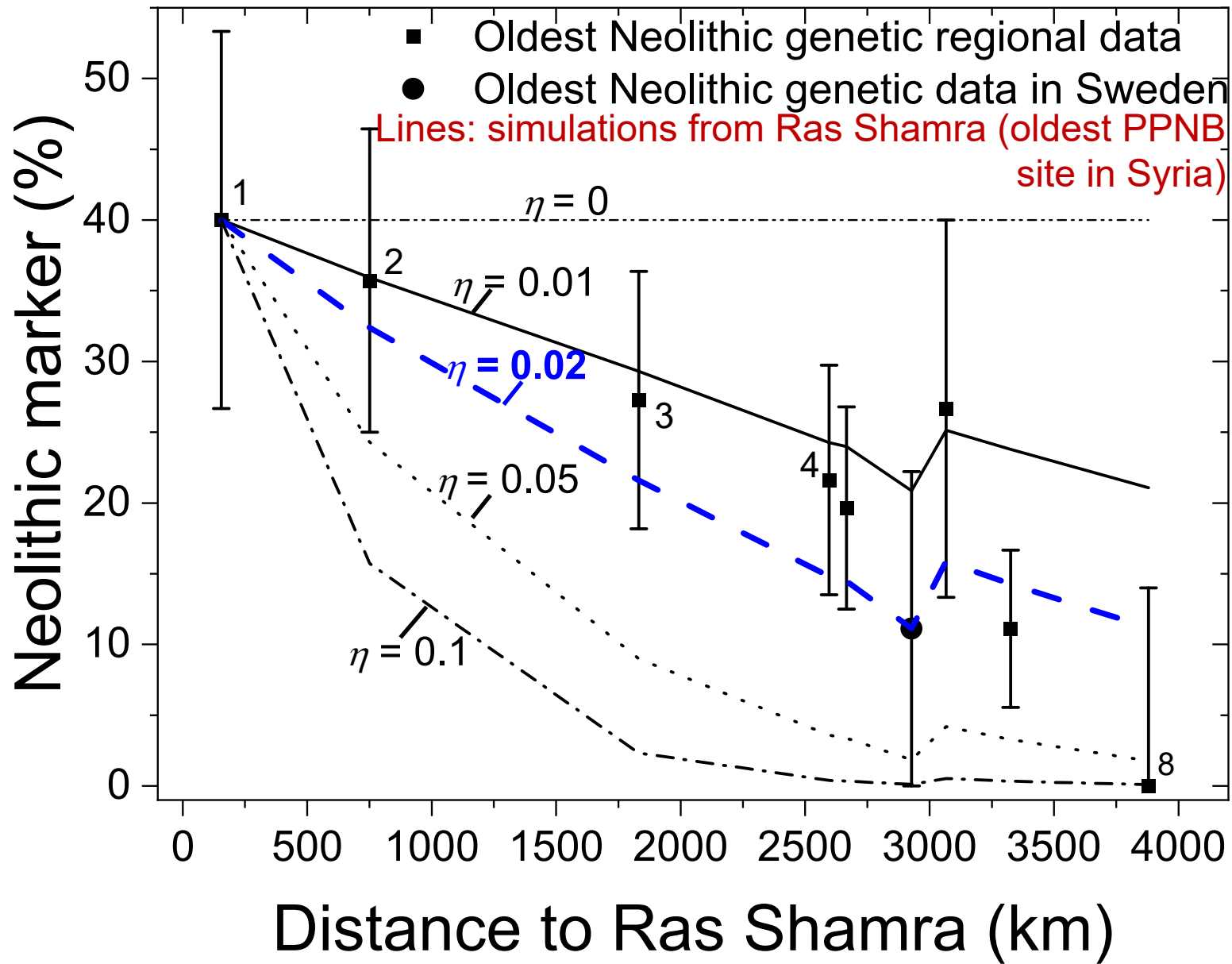
Si  $P_A \ll P_C$ ,

o sigui, quan arriben els primers agricultors ( $P_A$ ) a una regió inicialment poblada per caçadors-recol·lectors ( $P_C$ )

Eq. (1)  $\rightarrow \eta = \frac{P'_A - P_A}{P_A} =$  fracció d'agricultors que es barregen (tenen fills) amb caçadors-recol·lectors.

$\eta \cdot 100 =$  % d'agricultors que tenen fills amb caçadors-recol·lectors.





# Conclusions

- **Genètica:**  $\eta \approx 0.02 \rightarrow$  només ~2% d'agricultors van tenir fills amb caçadors-recol·lectors.
- **Arqueologia:**
  - un model matemàtic explica velocitat: **1 km/any.**
  - viatges per mar d'uns **150 km.**
- **Genètica + Arqueologia:** el Neolític va ser una propagació de poblacions (model “dèmic”), no només de la nova economia (model “cultural”).

# Preguntas?

