

Domestication, co-évolution plantes-hommes, émergence de l'agrobiodiversité

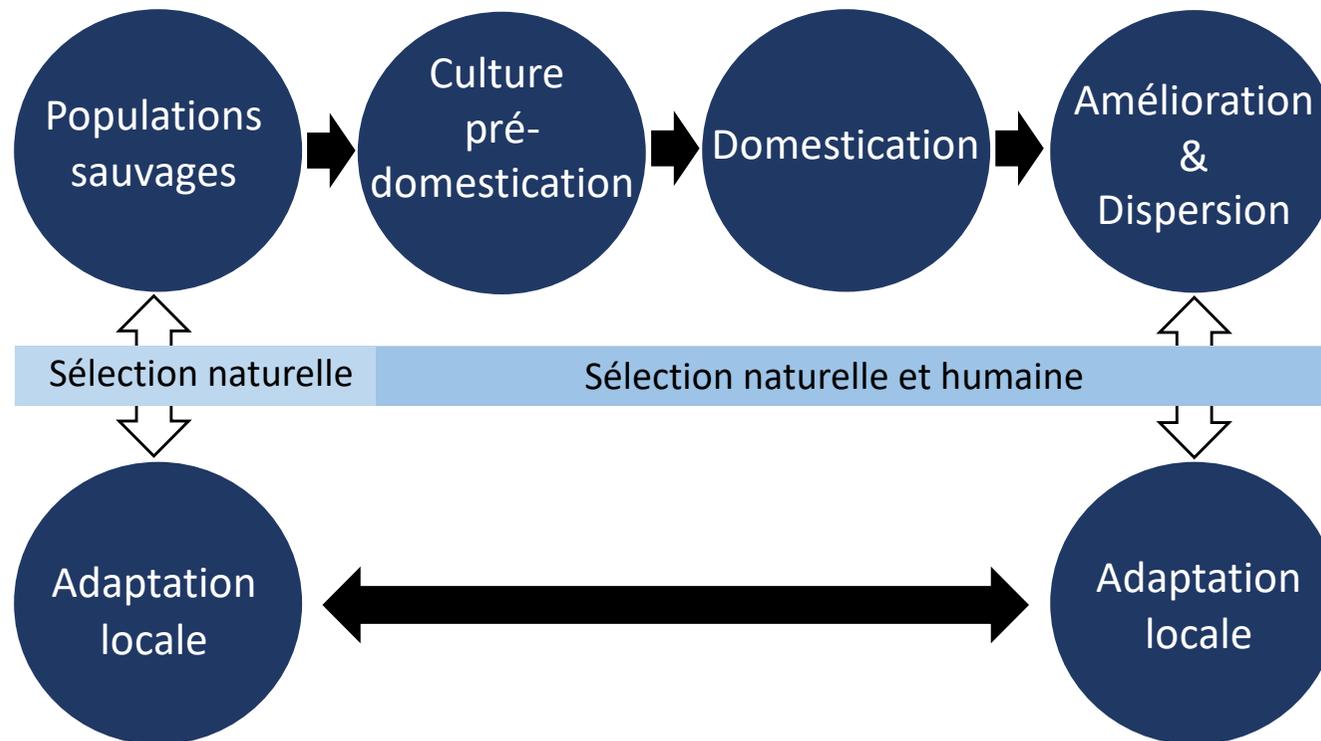
L'exemple du maïs cultivé

Maud Tenailon



Arcimboldo 1590

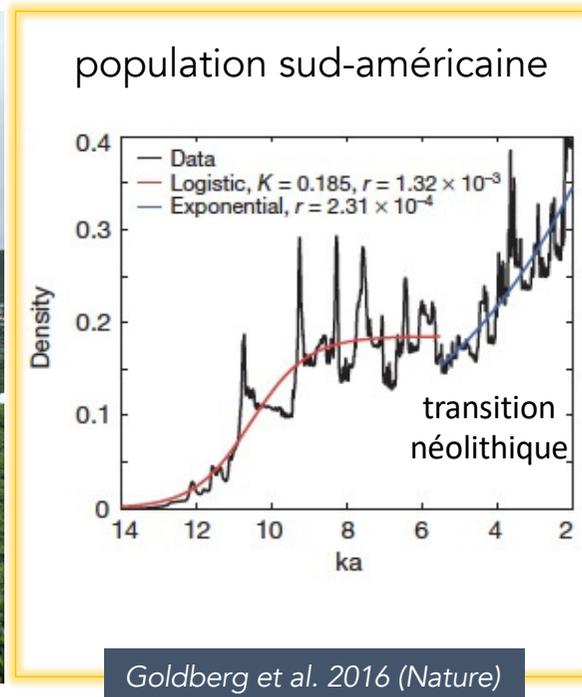
La domestication: un couplage entre l'histoire humaine et celle des plantes



Domestication: Acquisition par une espèce de caractères profitables aux humains. Le couplage naît de la dépendance qui s'installe entre les plantes domestiques peu adaptées à la survie dans leur environnement naturel, et la dépendance des humains à ces plantes domestiques → **Co-évolution**

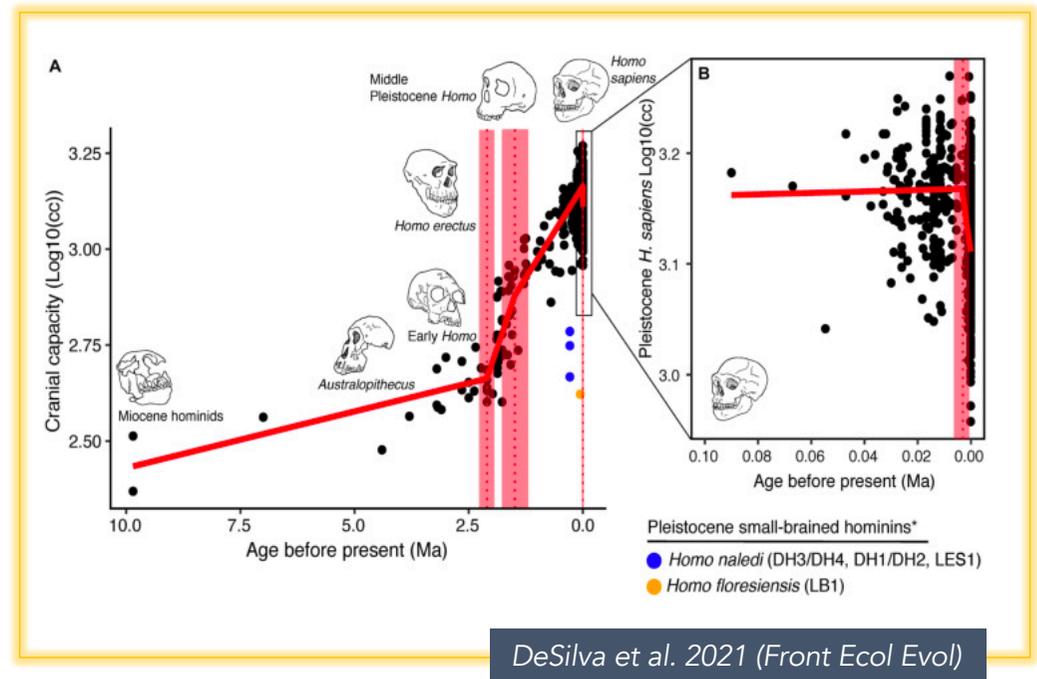
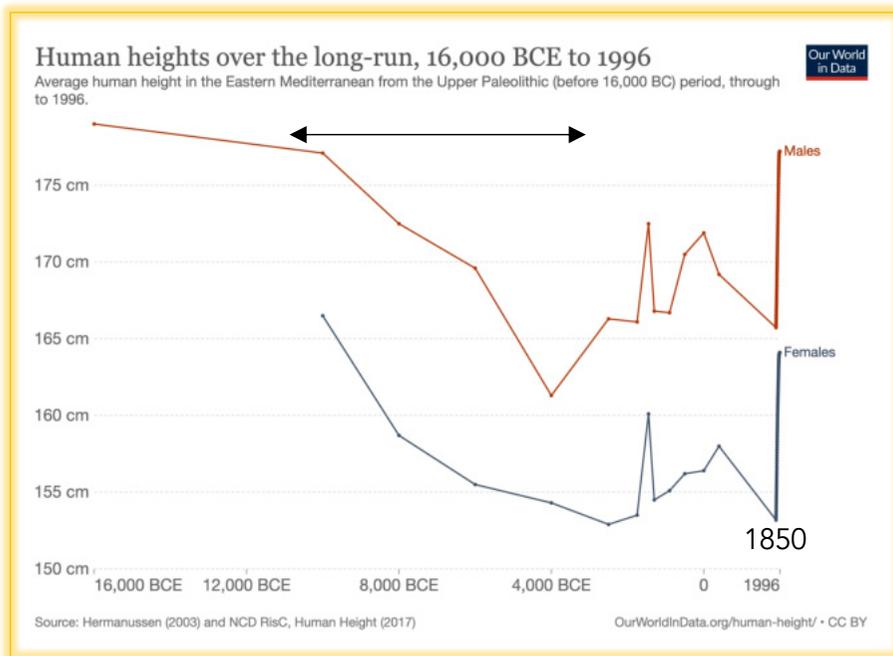
Une transition majeure dans l'histoire de l'humanité

- Sédentarisation
 - Expansion des populations humaines,
 - Absorption et/ou remplacement des populations de chasseurs-cueilleurs,
 - Développement de technologies,
 - Construction des villes,
 - Division du travail et stratification sociale
- Conséquences sur le paysage, sur l'environnement, l'émergence des maladies infectieuses et l'augmentation du « fardeau » pathogène



Une transition coûteuse

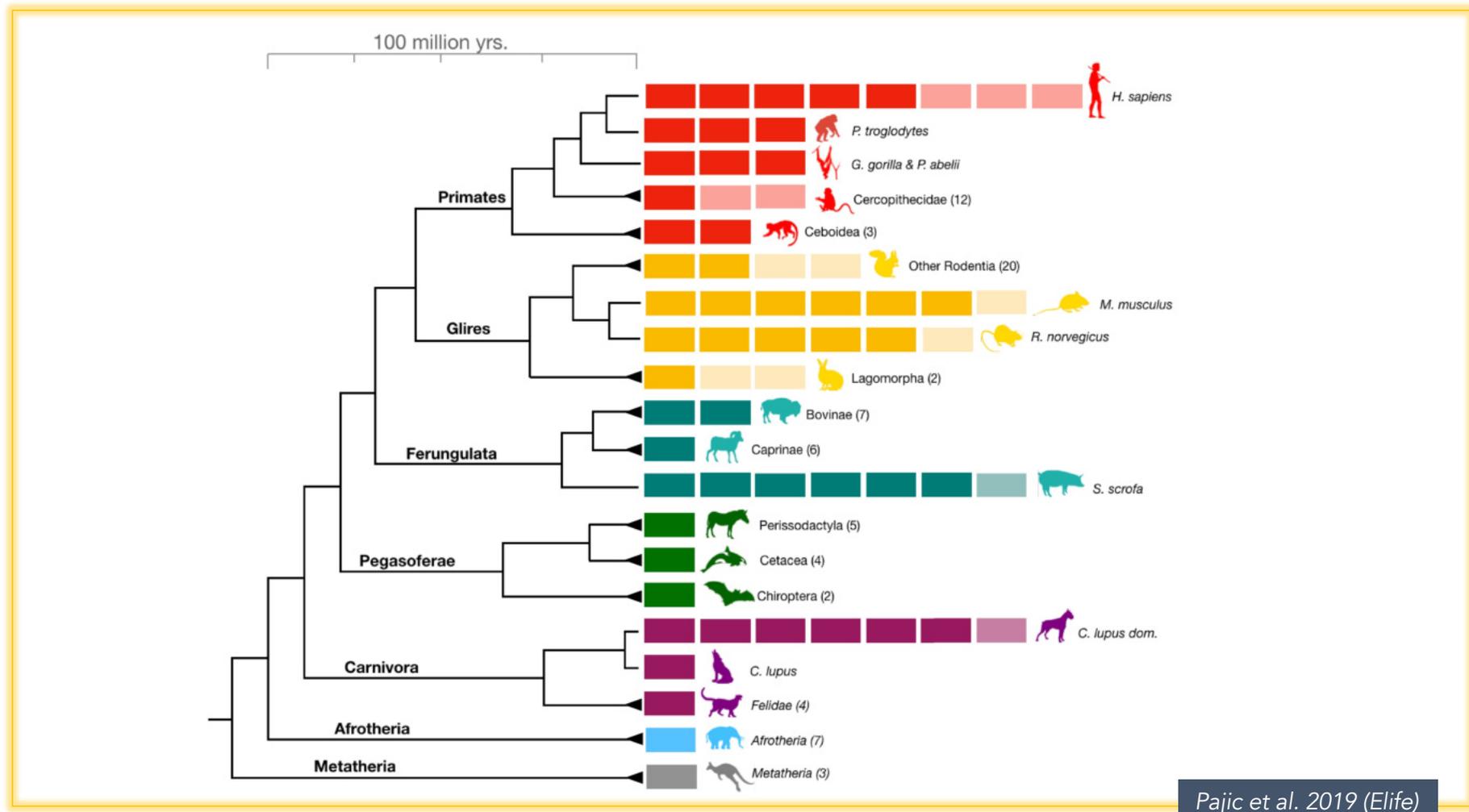
- Une forte dépendence à quelques espèces
 - Régime alimentaire moins varié, déficiences nutritionnelles
- déclin initial de santé, et potentiellement de la taille du cerveau?



Coût de la réponse immunitaire? Intelligence collective?
Sélection relâchée par un apport constant de nourriture?

L'humanité s'est adaptée aux plantes

Augmentation du nombre de copies des gènes codant une enzyme (amylase) qui permet de digérer l'amidon chez les humains, souris, rats, cochons et sangliers, chiens. Il existe des corrélations positives entre nombre de copies, activité de l'amylase et la variété du régime alimentaire.



Les plantes se sont adaptées aux besoins humains

- Les architectures sont plus compactes
- Les moyens de dispersion des graines sont perdus
- Augmentation de la taille des organes récoltés
- Réduction de dormance et réduction de toxines



Doebley et al. 2006 (Cell)



Doebley et al. 2006 (Cell)



Frary et al. 2000 (Science)



La domestication: lien entre génétique et archéologie

Histoire



La domestication: un modèle pour étudier les processus adaptatifs

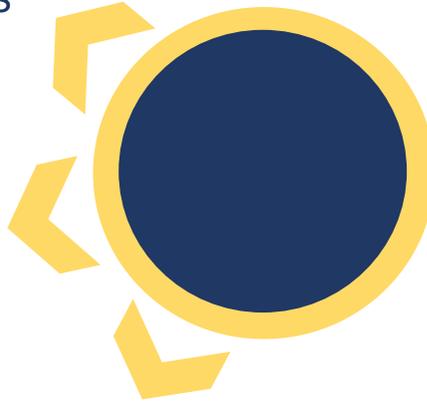


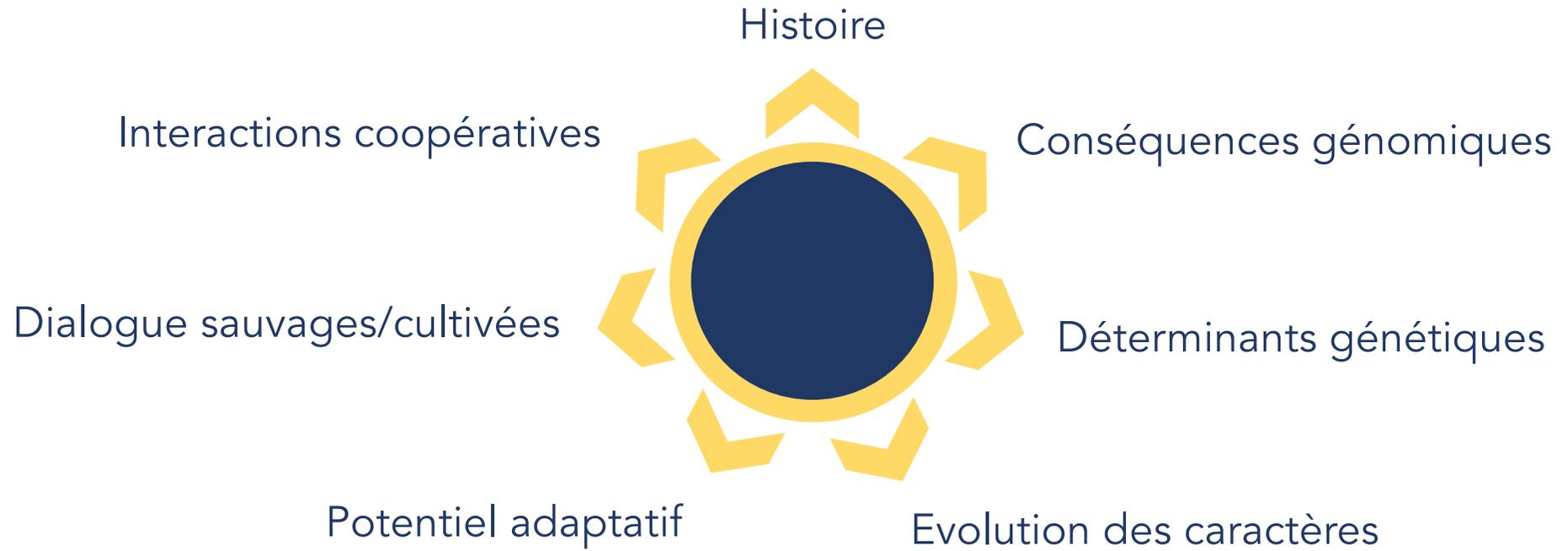
Domestication et agrobiodiversité

Interactions coopératives

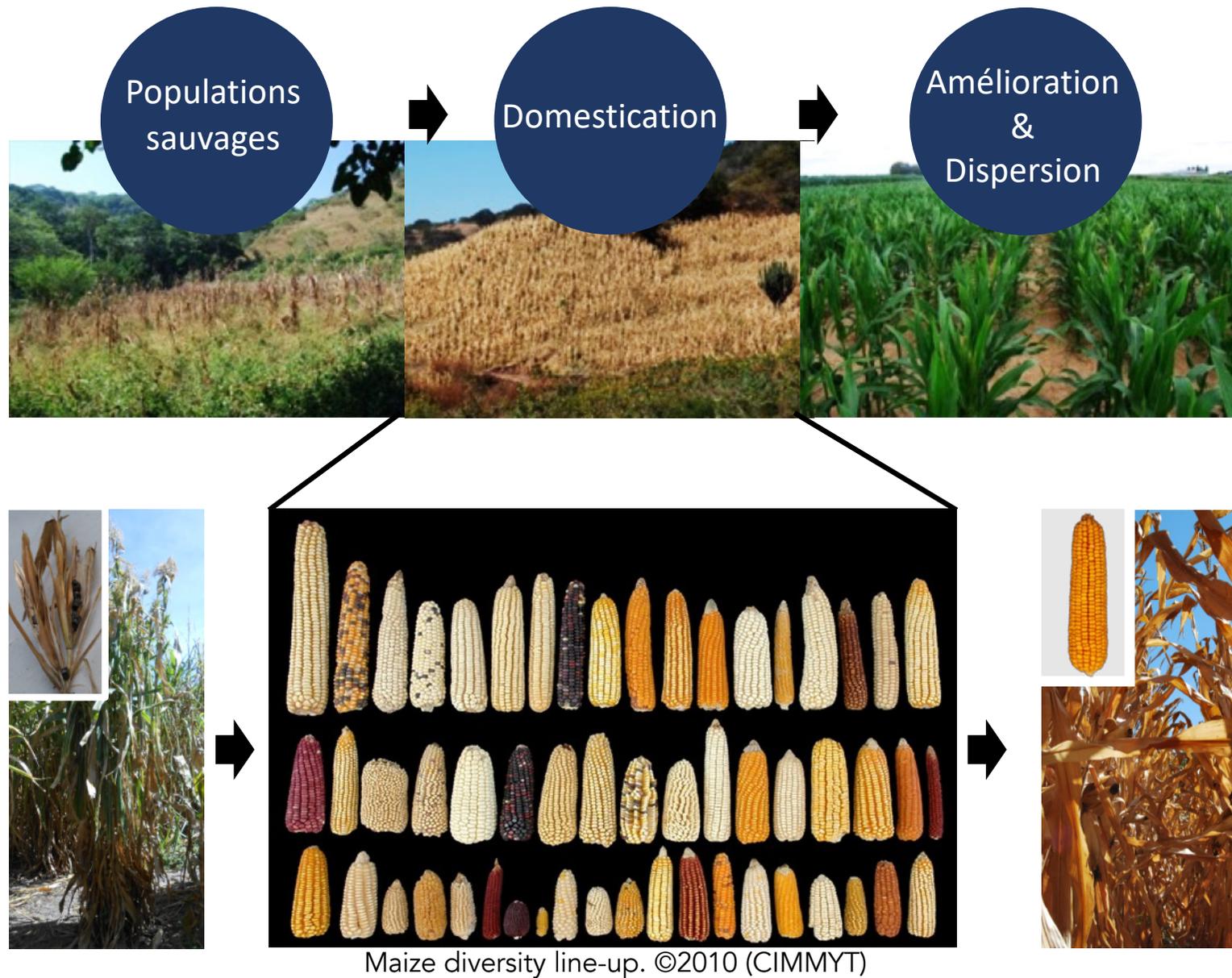
Dialogue sauvages/cultivées

Potentiel adaptatif





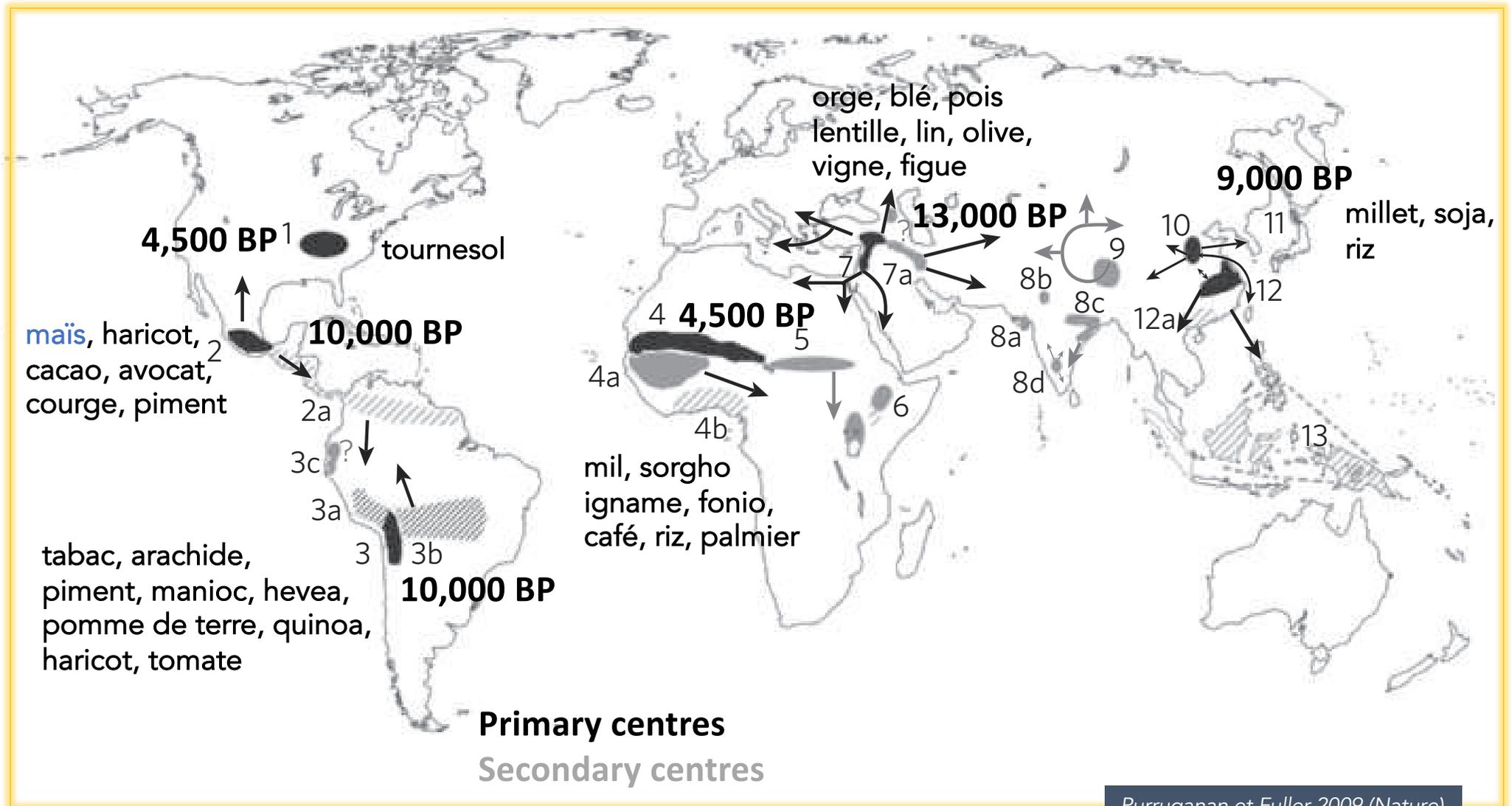
Le maïs, une espèce modèle pour étudier la domestication



Histoire

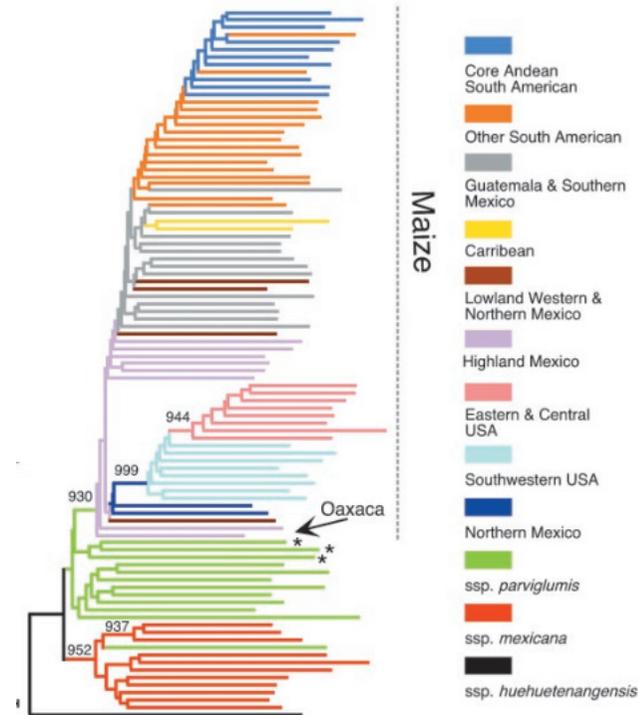
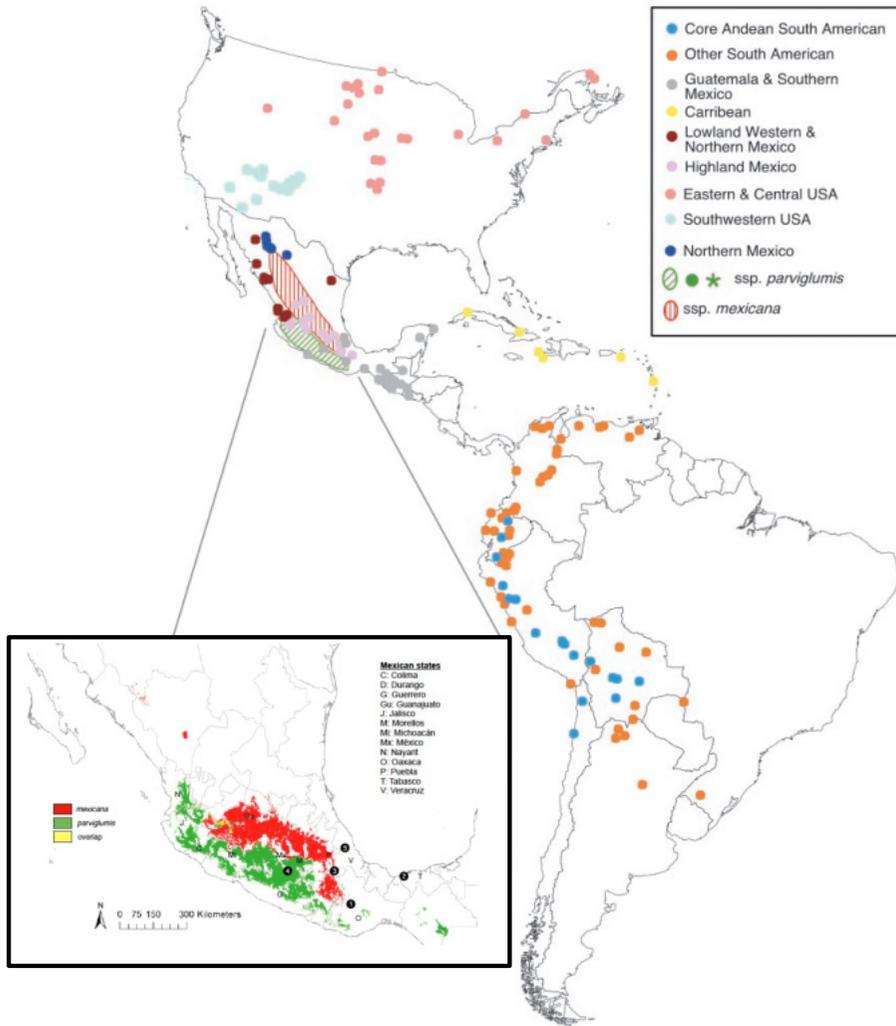


Le maïs est domestiqué dans le centre mésoméricain

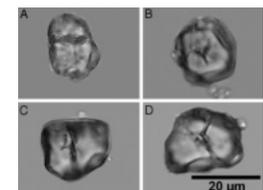


La téosinte parviglumis est l'ancêtre du maïs

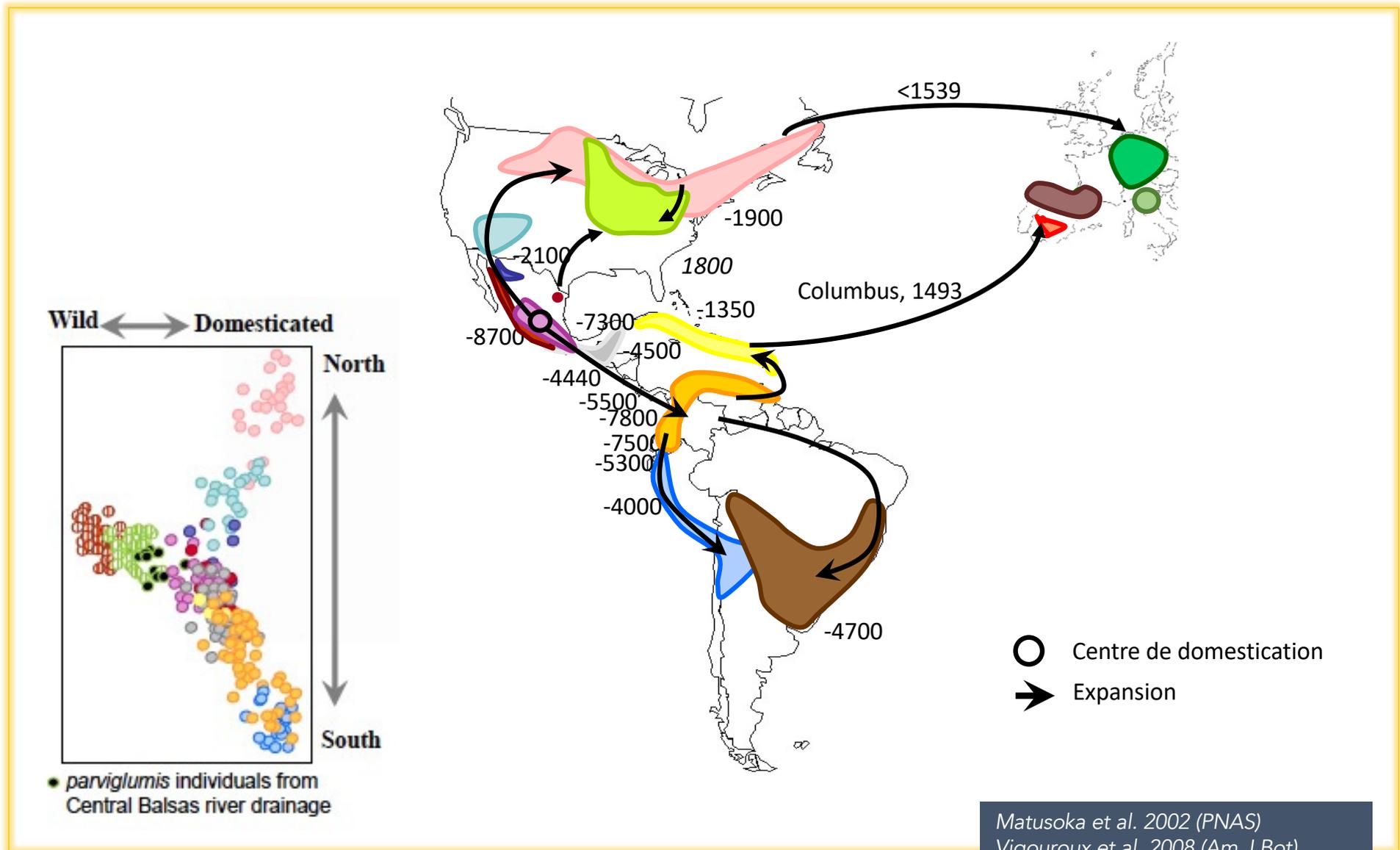
Matusoka et al. 2002 (PNAS)
 Hufford et al. 2012 (PlosOne)
 Piperno et al. 2009 (PNAS)



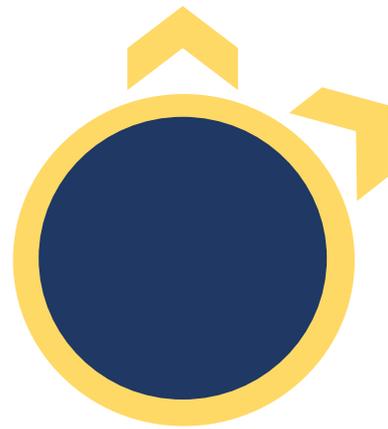
Domestication 9,000 ans



Expansion du maïs dans les Amériques puis en Europe

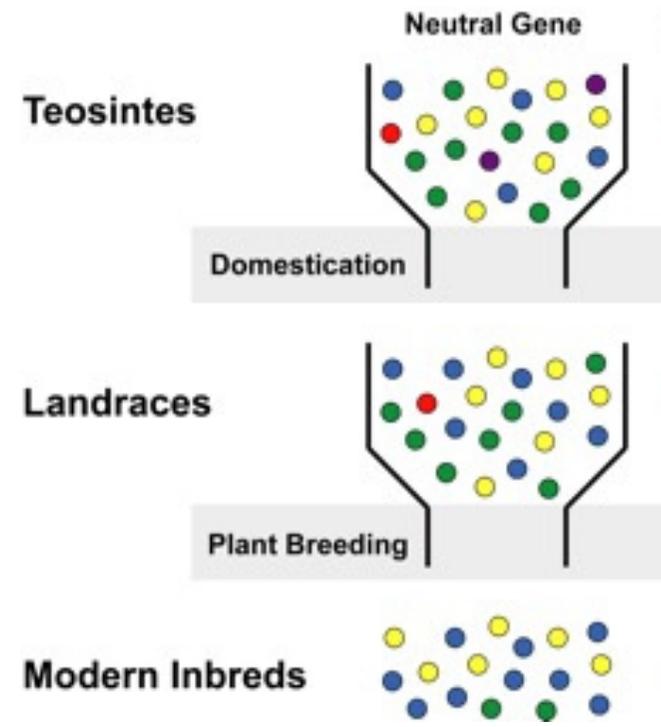
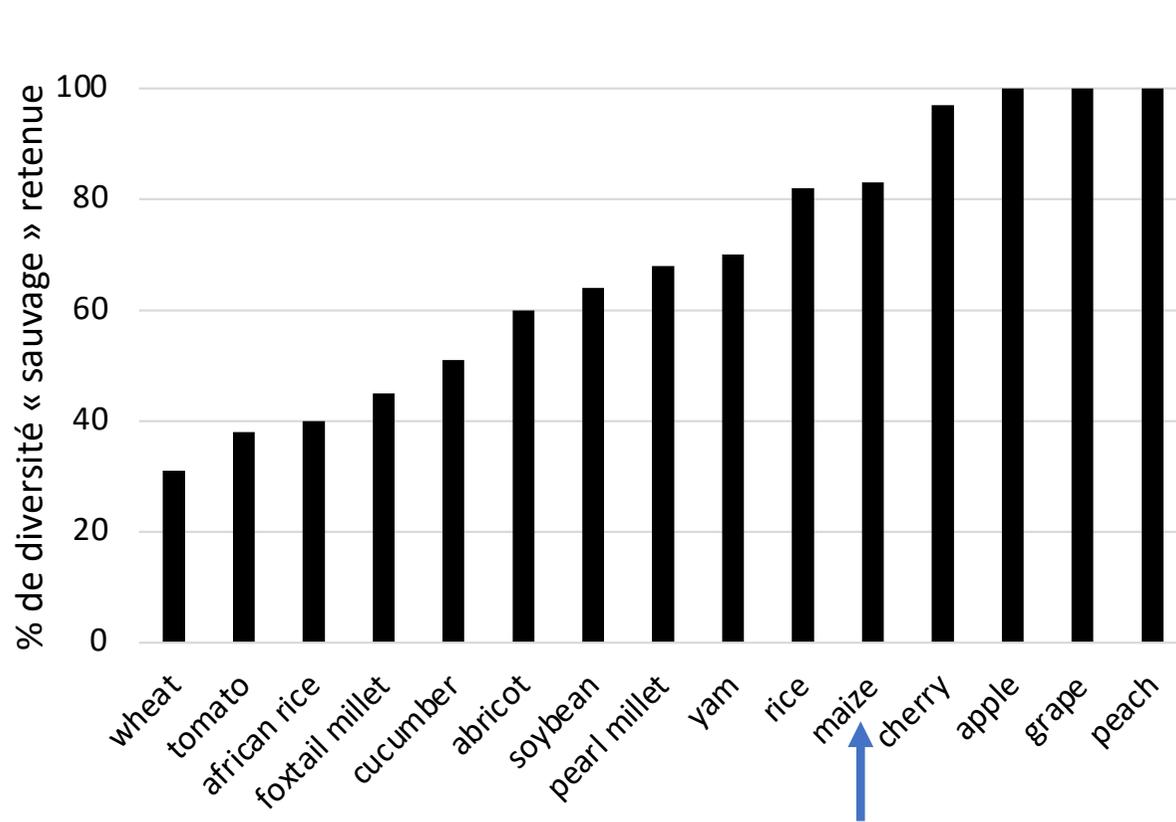


Matusoka et al. 2002 (PNAS)
Vigouroux et al. 2008 (Am J Bot)
Tenaillon et Charcosset 2011 (CRAS)

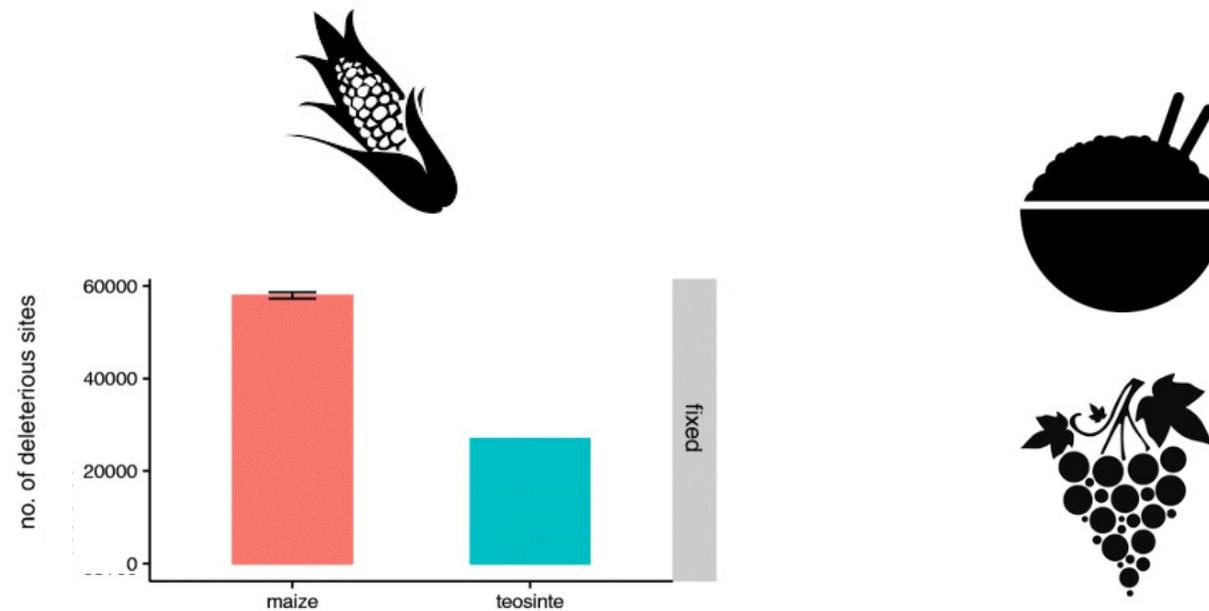


Conséquences génomiques

Des goulots d'étranglement successifs et une réduction de diversité génomique



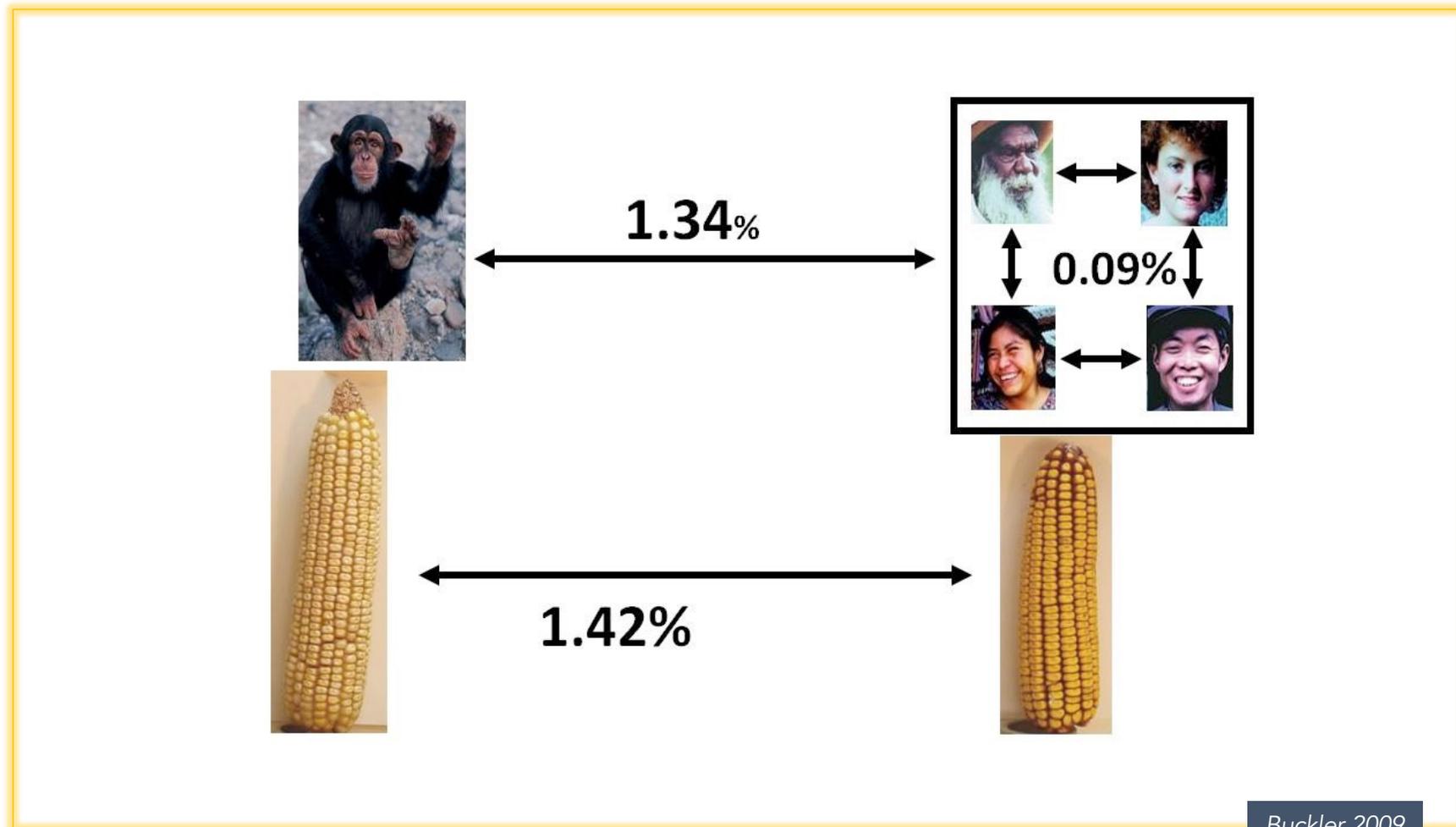
Une accumulation de mutations délétères: le fardeau de domestication

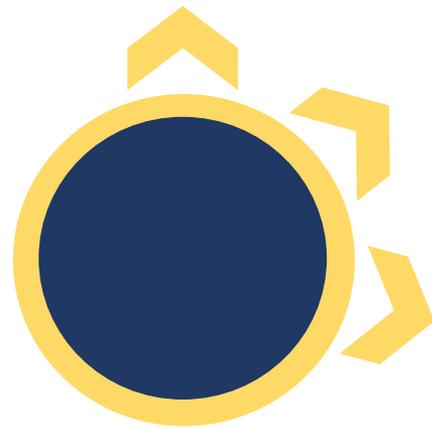


Wang et al. 2017 (*Genome Biology*)
Zhou et al. 2017 (*PNAS*)
Nabholz et al. 2014 (*Mol Ecol*)

La diversité génétique dépend beaucoup des espèces

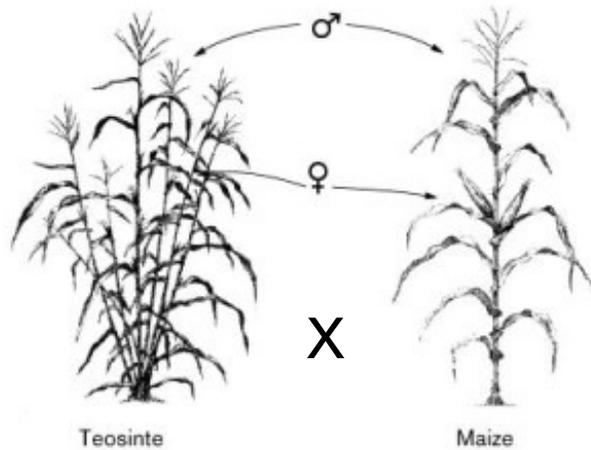
Le nombre de mutations moyen accumulées entre deux variétés de maïs est 15 fois plus grand qu'entre deux humains, et comparable à la divergence entre l'espèce humaine et le chimpanzé





Déterminants génétiques

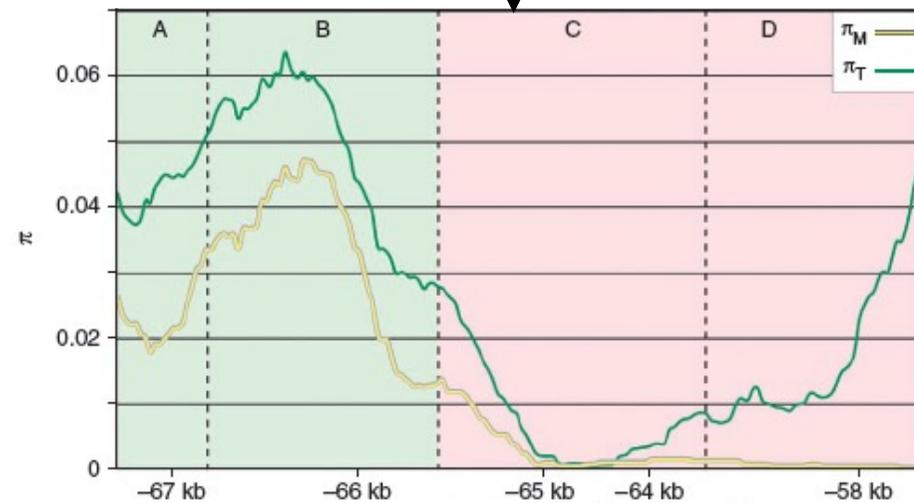
Un gène majeur de domestication



Le gène *Tb1* réprime la croissance des bourgeons axillaires



Chromosome 1, gène *Tb1*

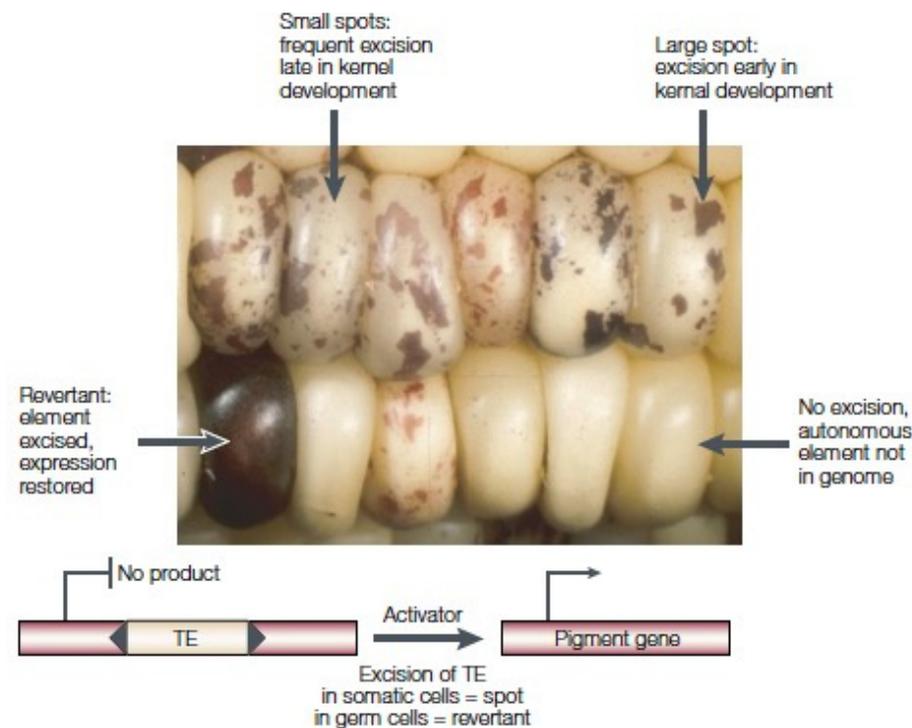


Studer et al. 2011 (Nat Genet)
Kellogg 1997 (Curr Biol)

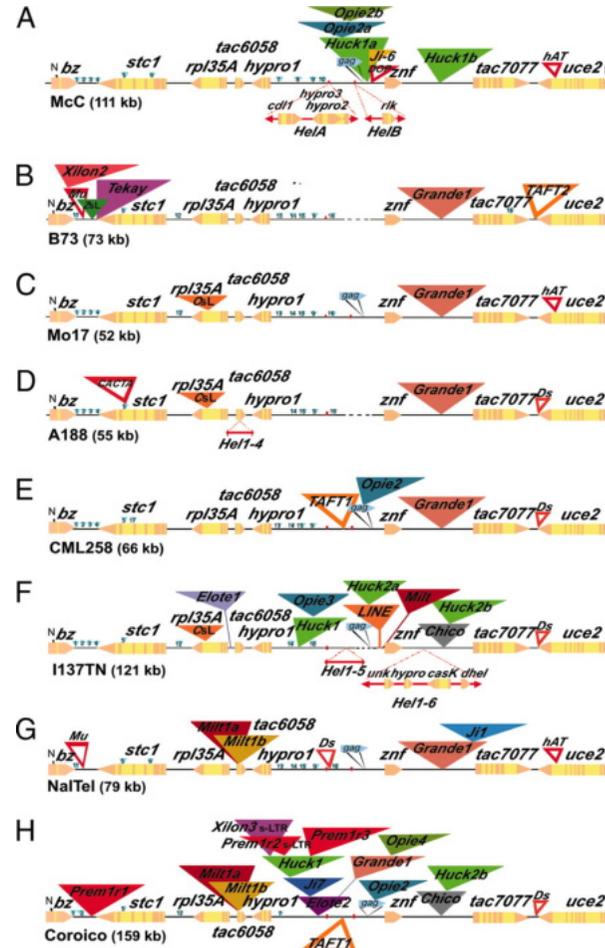
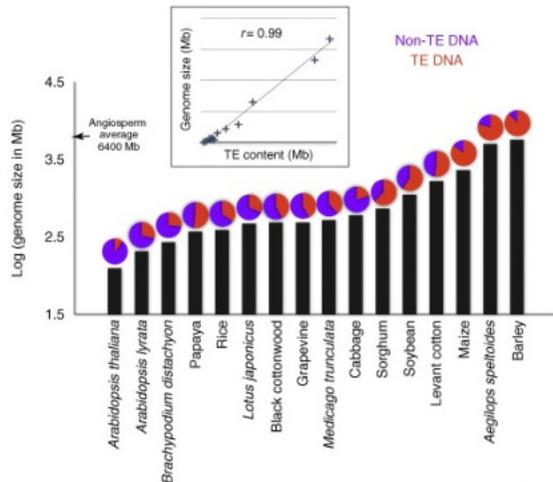
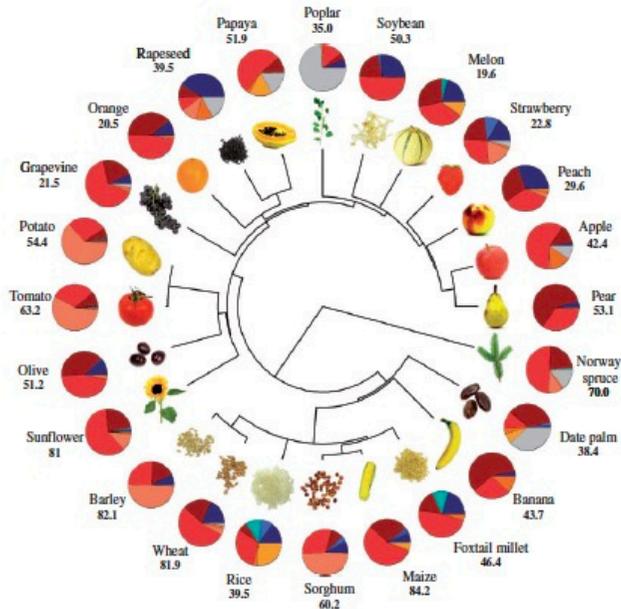
La mutation sous-jacente est un élément transposable

Les éléments transposables ont été découverts par Barbara McClintock à partir de l'observation des patrons de mosaïque sur les grains de maïs (prix Nobel 1983)

Des séquences d'ADN capables de se multiplier et/ou de se déplacer dans les génomes



Les éléments transposables occupent une large fraction du génome des plantes



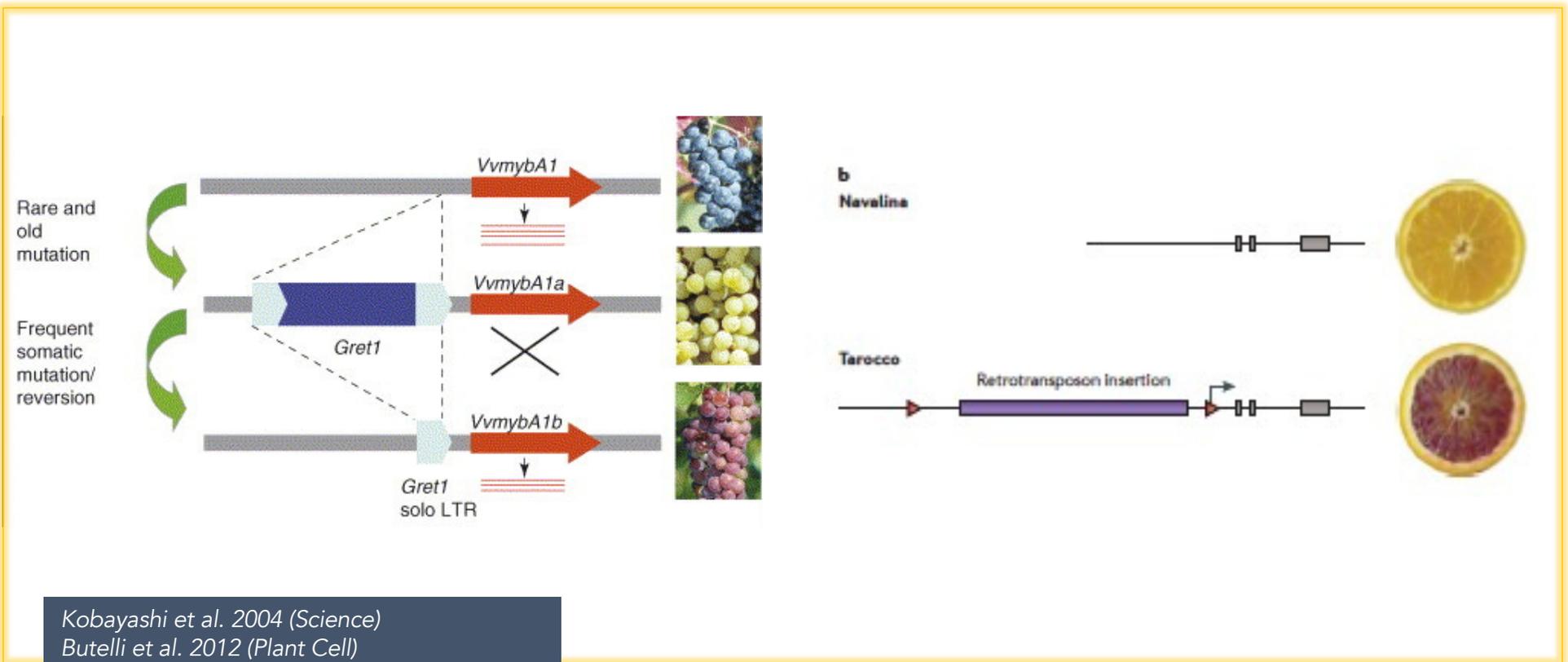
Olote Colorado
7.11 pg/2C



Palomero Toluqueño
5.58 pg/2C

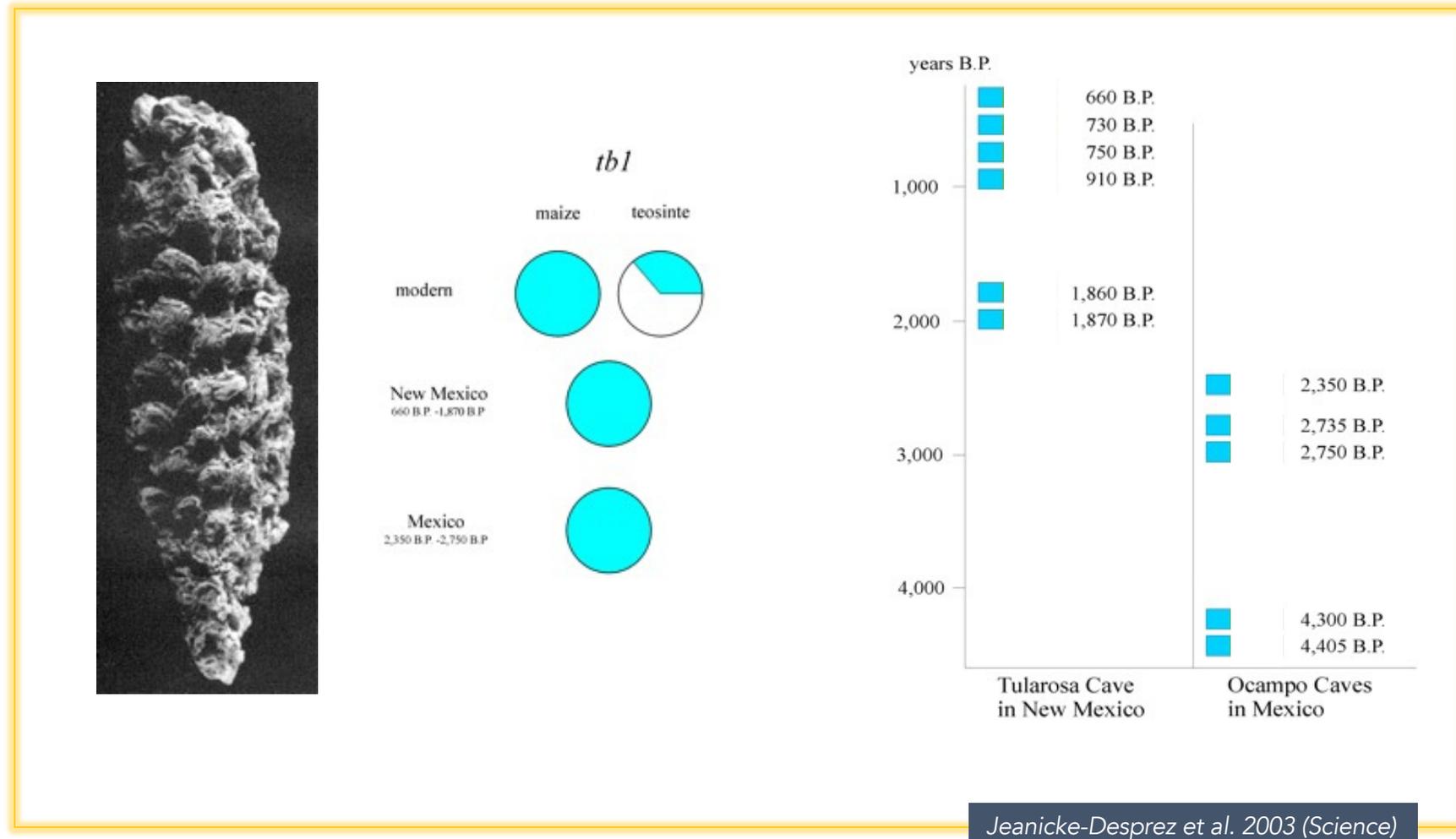
Vitte et al. 2014 (Brief Funct Genomics)
Wang and Dooner 2006 (PNAS)
Tenailon et al. 2010 (Curr Op Plant bio)
Munoz-Diez et al. 2014 (Plos Genet)

Les éléments transposables sont une source importante de variation fonctionnelle

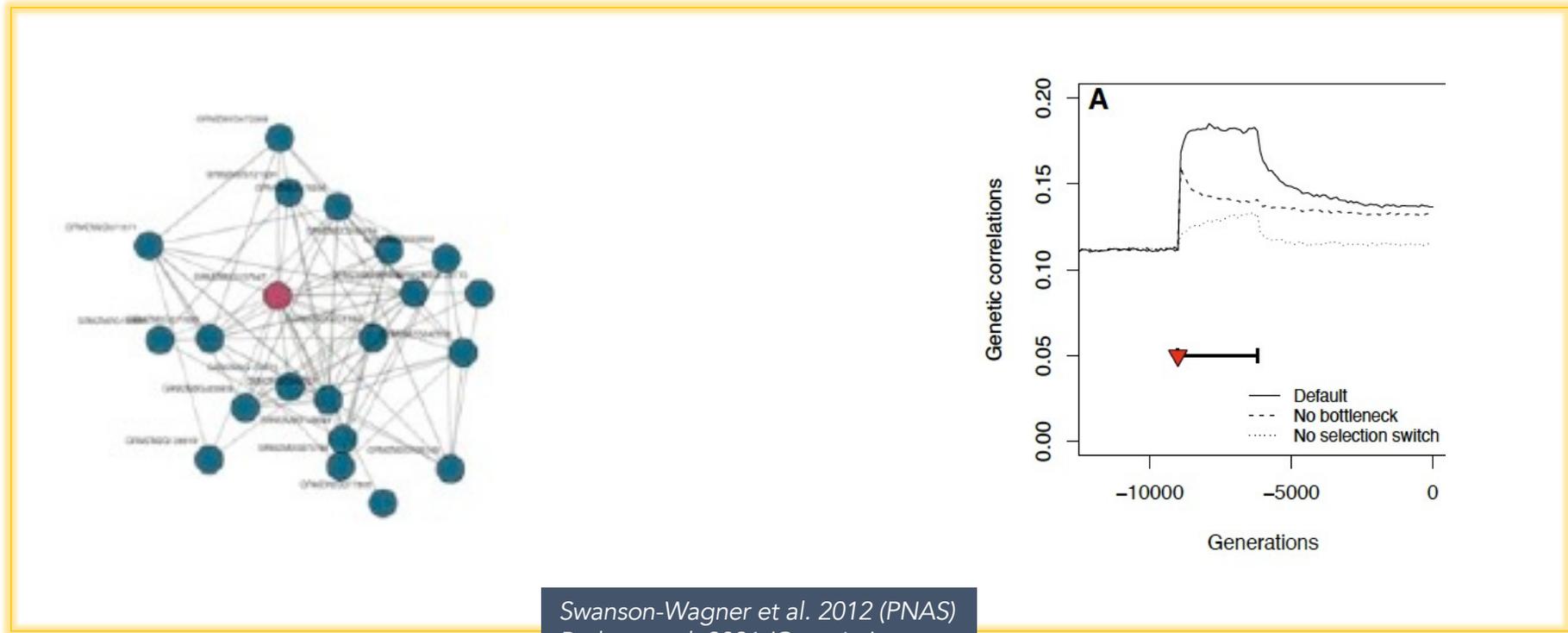


Kobayashi et al. 2004 (*Science*)
Butelli et al. 2012 (*Plant Cell*)
Morgante et al. 2007 (*Curr Op Plant Biol*)
Lisch et al. 2013 (*Nat Rev Genetics*)

La forme domestiquée du gène est retrouvée dans des épis anciens et pré-existe chez les téosintes à très faible fréquence

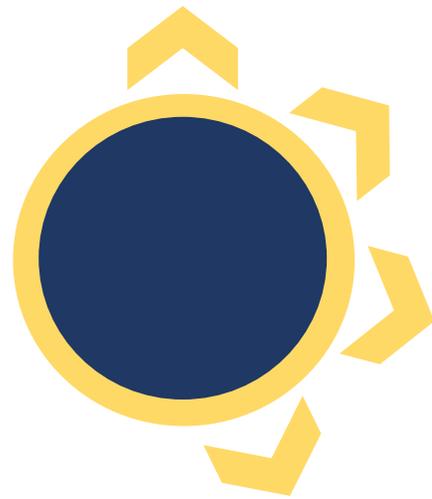


Les gènes de domestication sont souvent des chefs d'orchestre



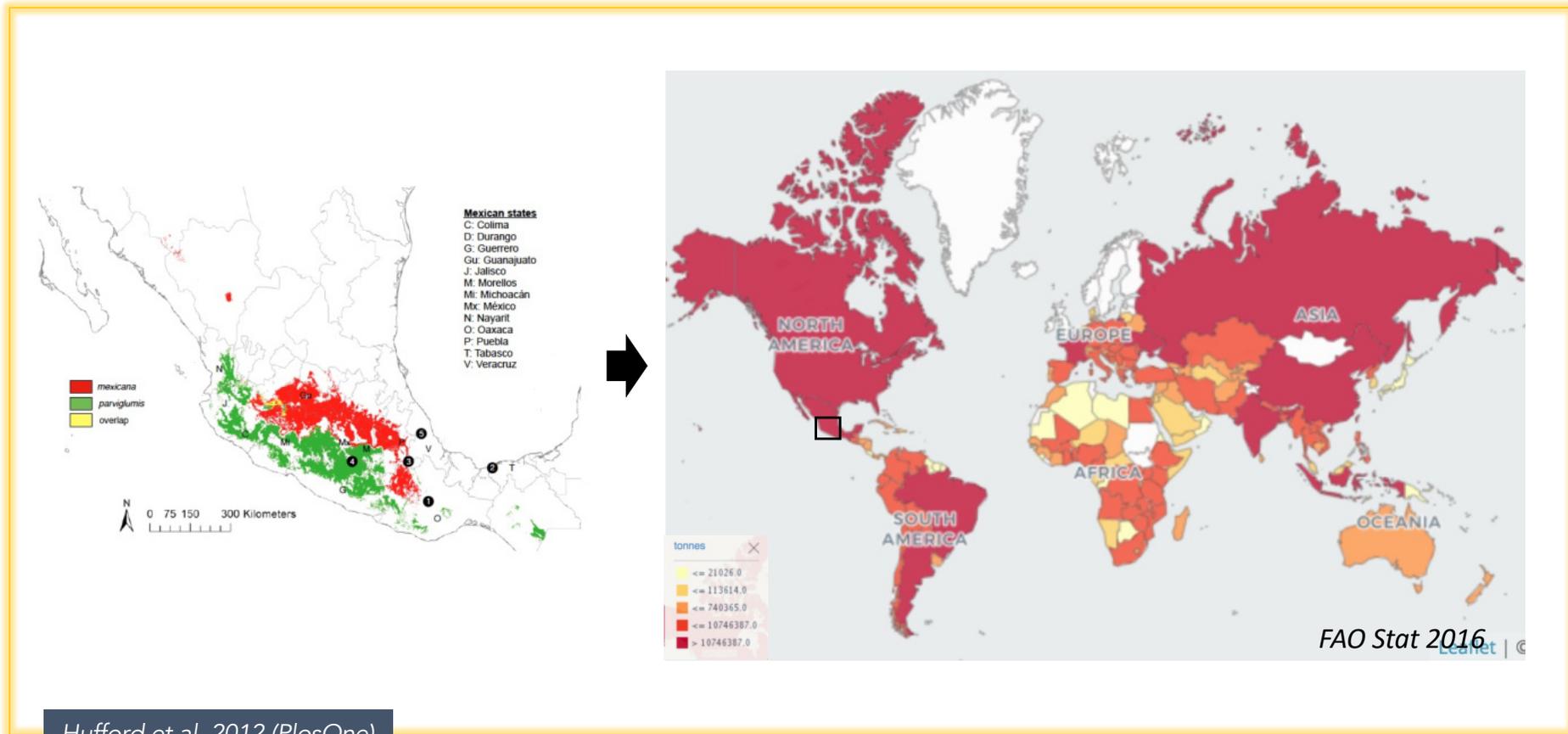
Swanson-Wagner et al. 2012 (PNAS)
Burban et al. 2021 (Genetics)

- Ré-orchestration des réseaux au cours de la domestication
- Plus de gains de connexions que de pertes
- Diminution de la modularité qui augmentent les corrélations entre caractères et donc la capacité à les sélectionner indépendamment



Evolution des caractères

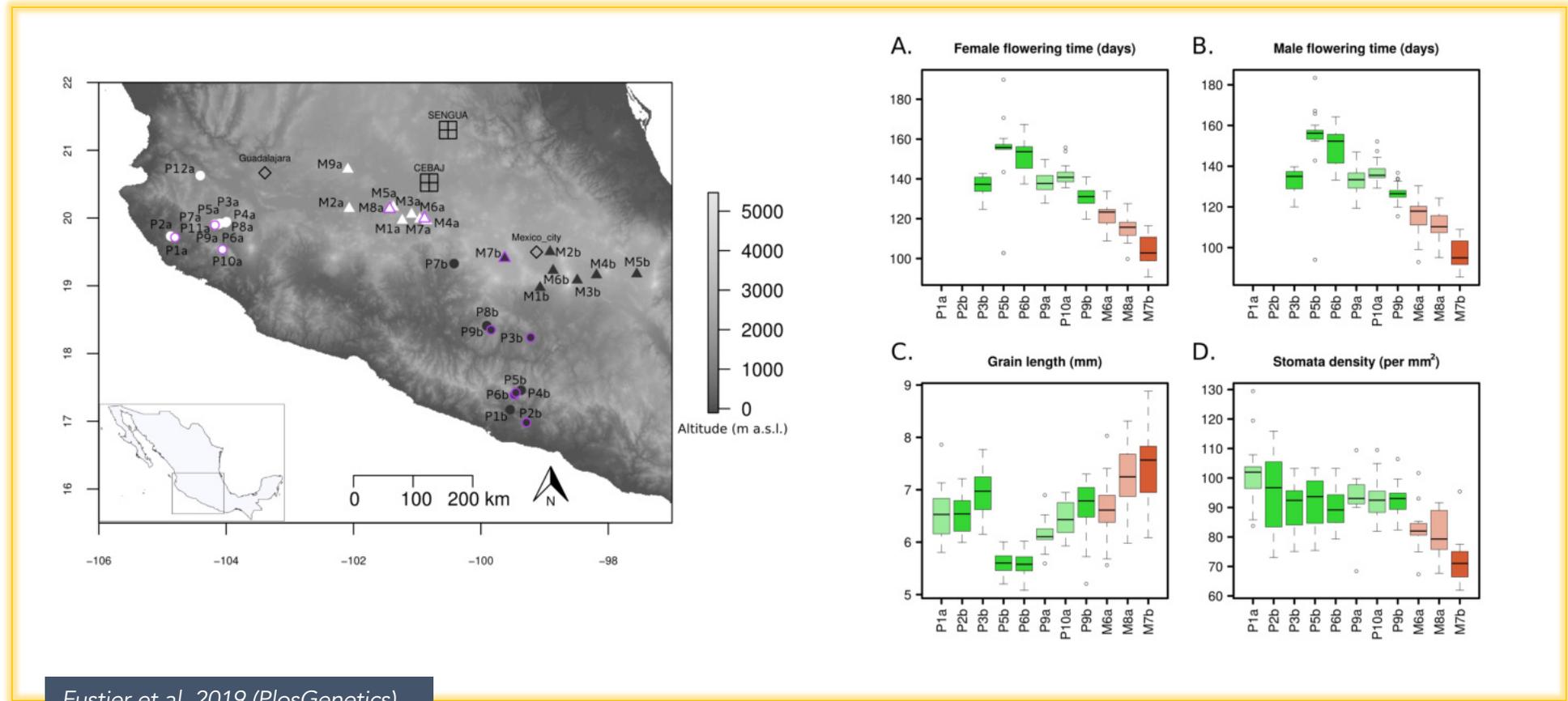
D'où vient le succès évolutif extraordinaire des espèces cultivées?



Hufford et al. 2012 (PlosOne)

- Niche confortable entretenue par les humains?
- Absence de compétition?
- Capacité adaptative hors du commun?

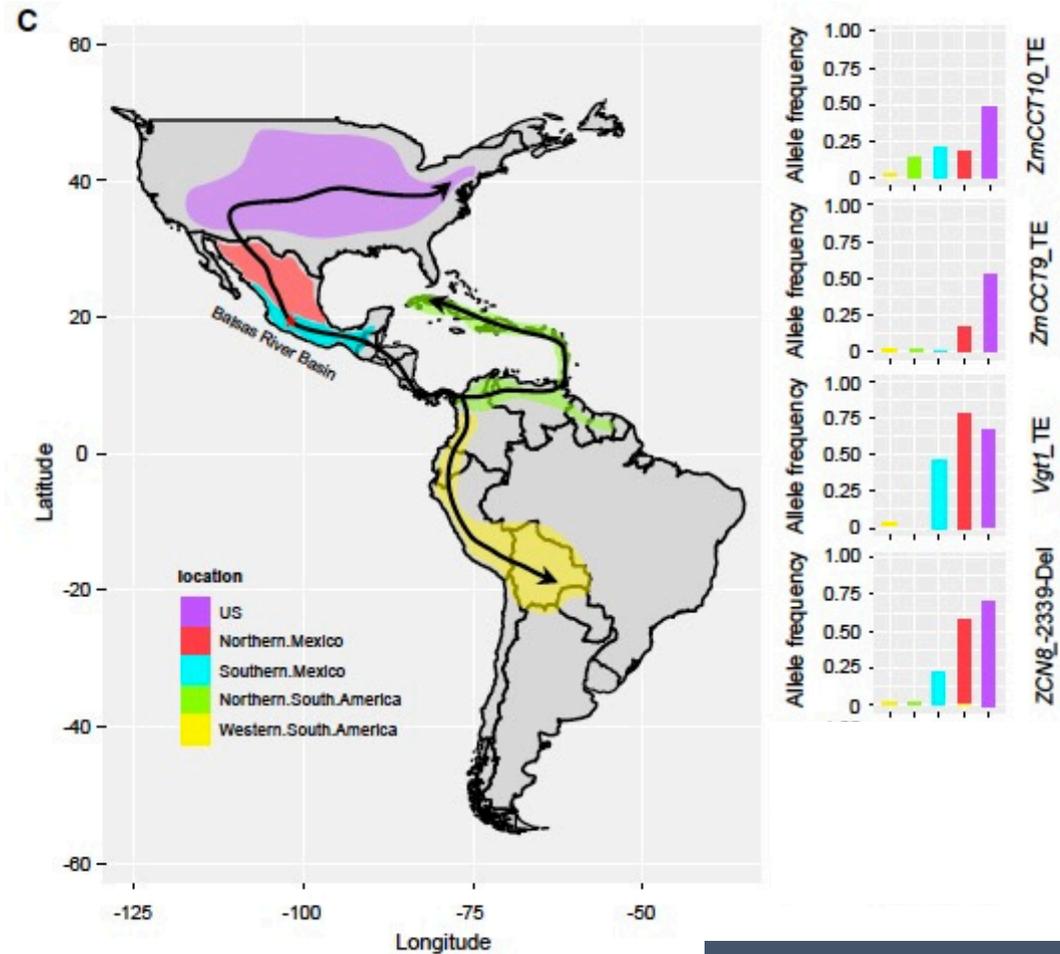
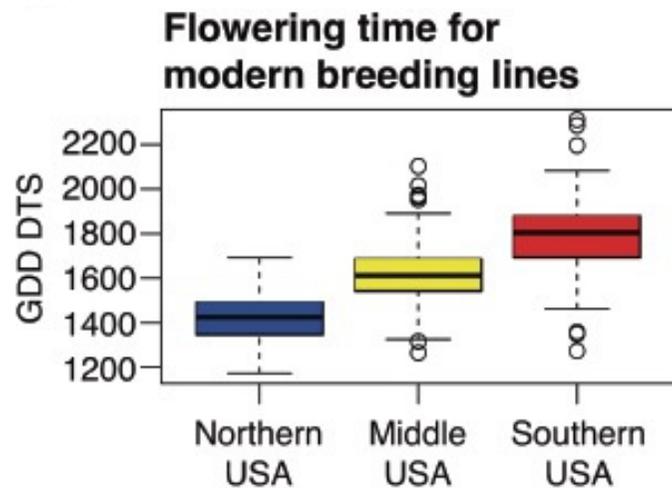
Un syndrome d'adaptation à l'altitude chez les téosintes



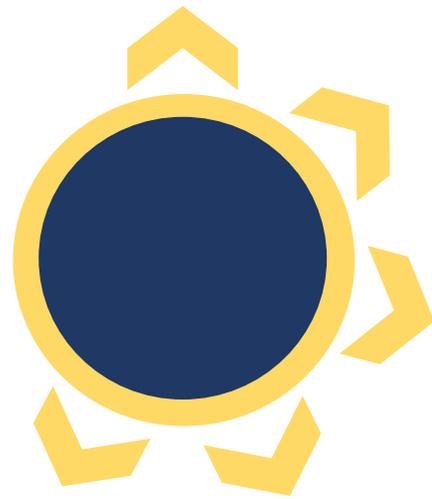
Les téosintes d'altitude fleurissent plus tôt, ont des grains plus gros et plus lourds, et sont moins buissonnantes et présentent une densité en stomates moindre

La floraison: un caractère clé de la diffusion

Vers les latitudes nord, le maïs a été sélectionné pour fleurir tôt en jours longs

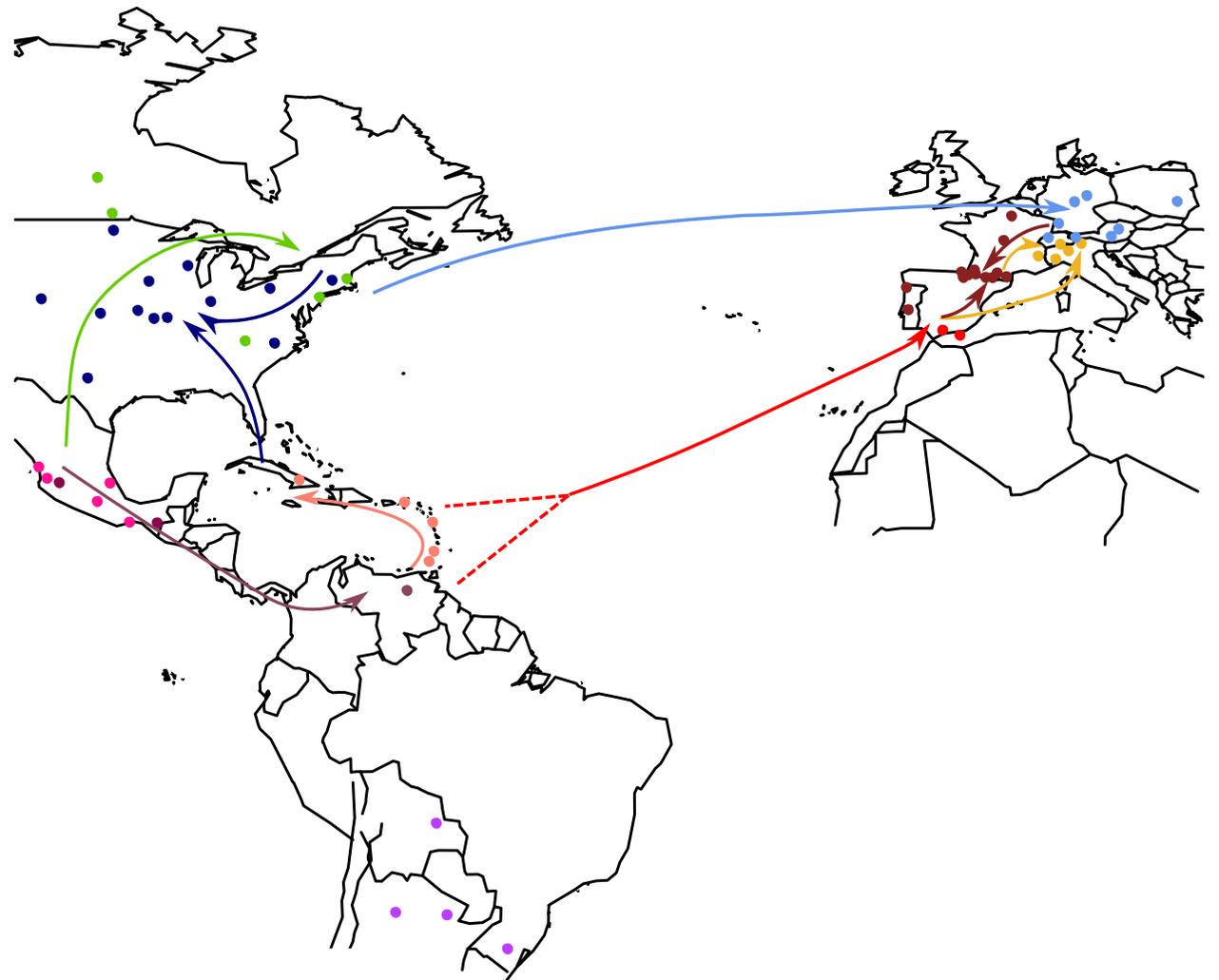
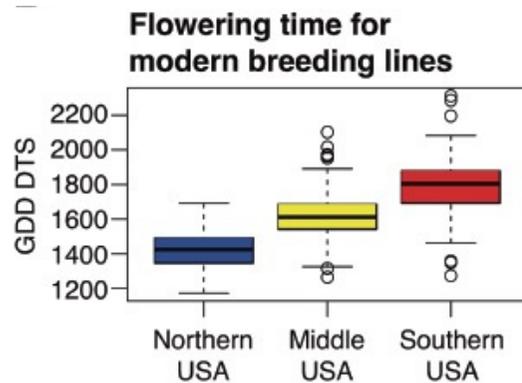


Swarts et al. 2017 (Science)
Guo et al. 2018 (Curr Biol)



Potentiel adaptatif

L'adaptation pour le caractère de floraison peut provenir de croisements entre variétés adaptées à des environnements distinctes

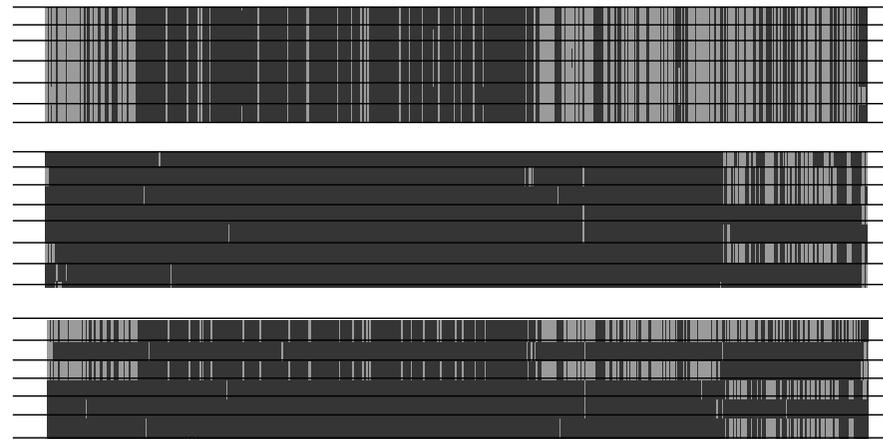


Un exemple de trace d'hybridation dans un gène de floraison

Maïs du nord

Maïs tropicaux

Maïs du Corn Belt

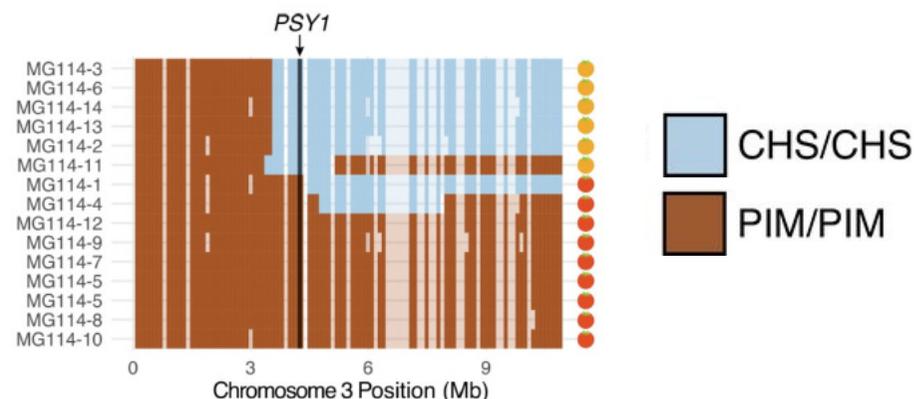


← Hybridation

Brandenburg et al. 2017 (Plos Genetics)

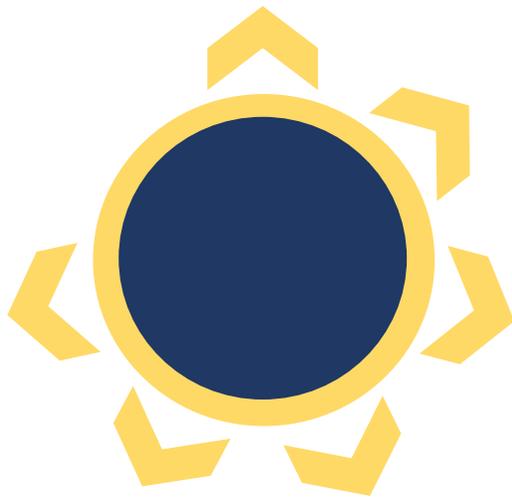
L'hybridation entre individus suivie de rétrocroisements successifs produit des individus très similaires génétiquement à la population/espèce hôte mais ayant potentiellement hérité de certains fragments génomiques
→ introgression adaptative

Différents individus de l'espèce PIM, envahissante

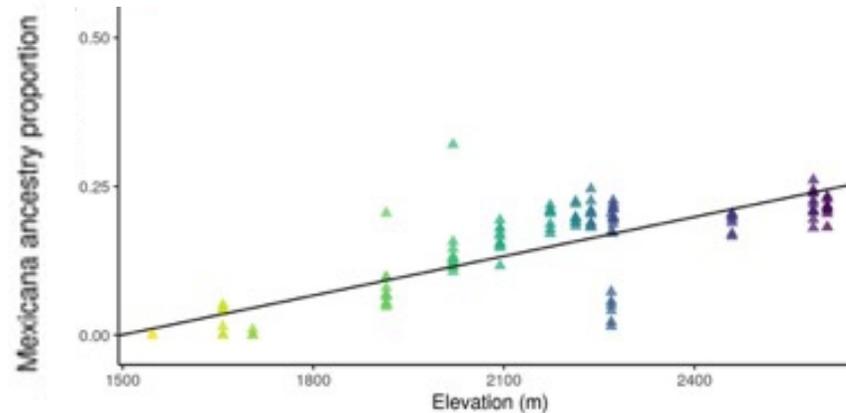
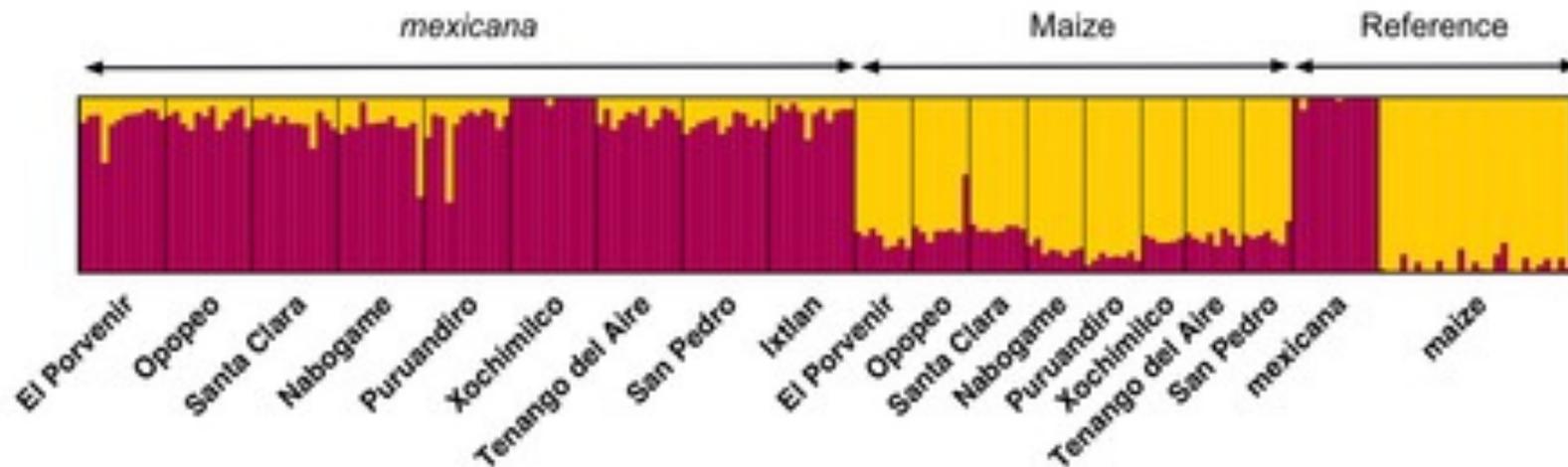


Gibson et al. 2021 (ELife)

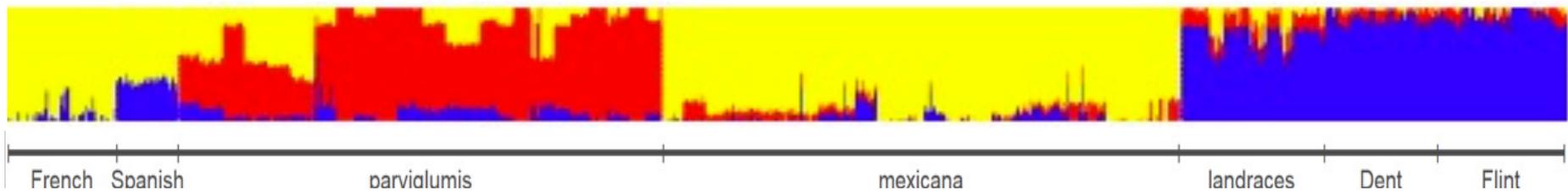
Dialogue sauvages/cultivées



L'introggression adaptative de la téosinte *mexicana a* contribué à l'adaptation du maïs aux hautes altitudes

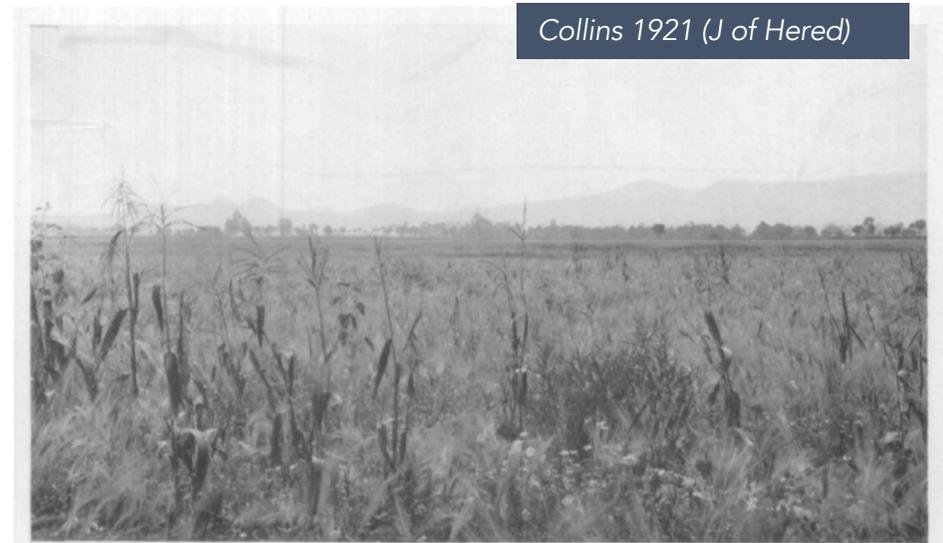


Les téosintes européennes sont apparentées au *mexicana* et introgressées par les maïs « tempérés »



Le Corre et al. 2020 (PNAS)

- ▶ Introgression d'un allèle de précocité de floraison
- ▶ Introgression d'un allèle de Résistance à un herbicide



Collins 1921 (J of Hered)

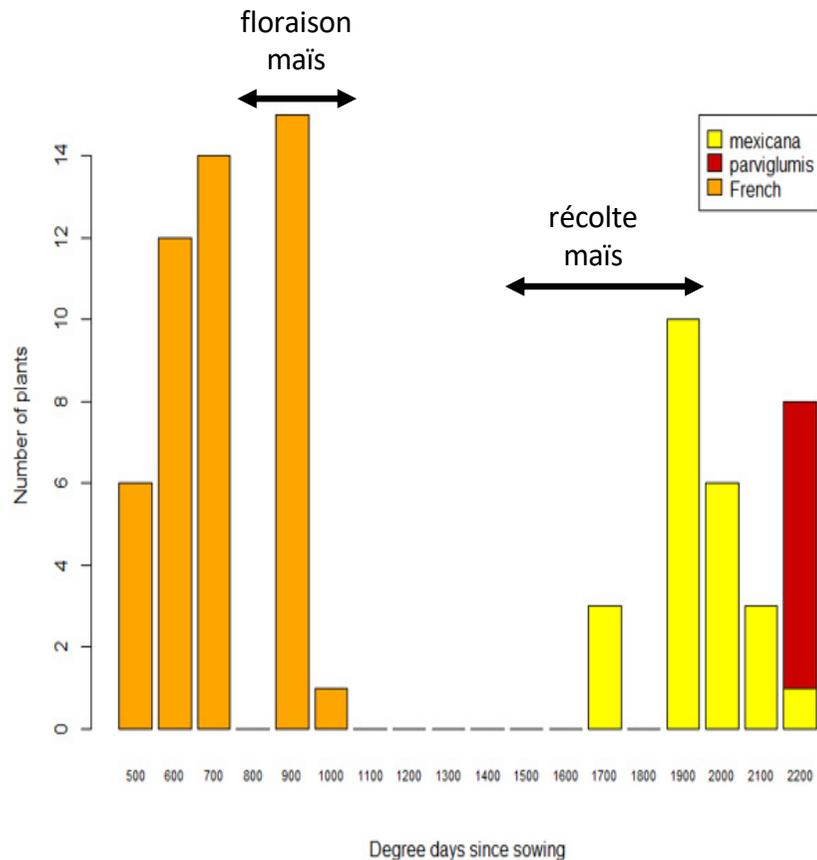
TEOSINTE GROWING AS A WEED AT CHALCO, MEXICO

Les téosintes européennes sont adaptées aux conditions européennes

Jardins communs, Dijon

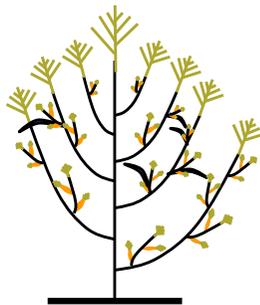
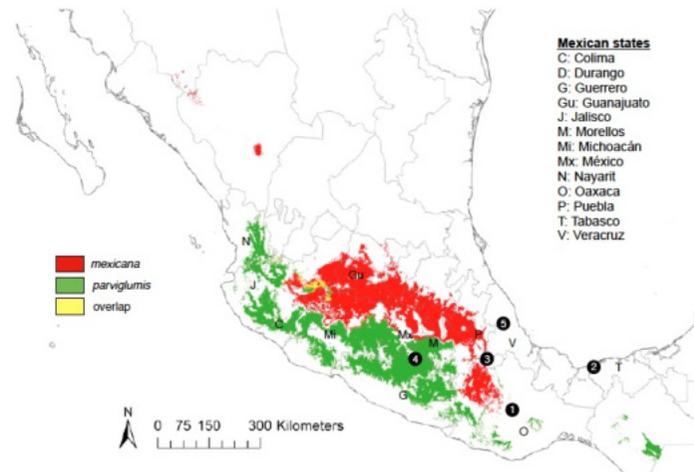


Valérie Le Corre
Mathieu Siol
Christophe Délye



En France, ces téosintes sont principalement retrouvées en Nouvelle Aquitaine, elles auraient été observées pour la première fois dans les années 90.

Introgression maladaptative: mise en place de barrières entre formes sauvages et cultivées

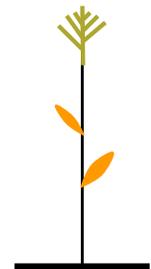


maïs



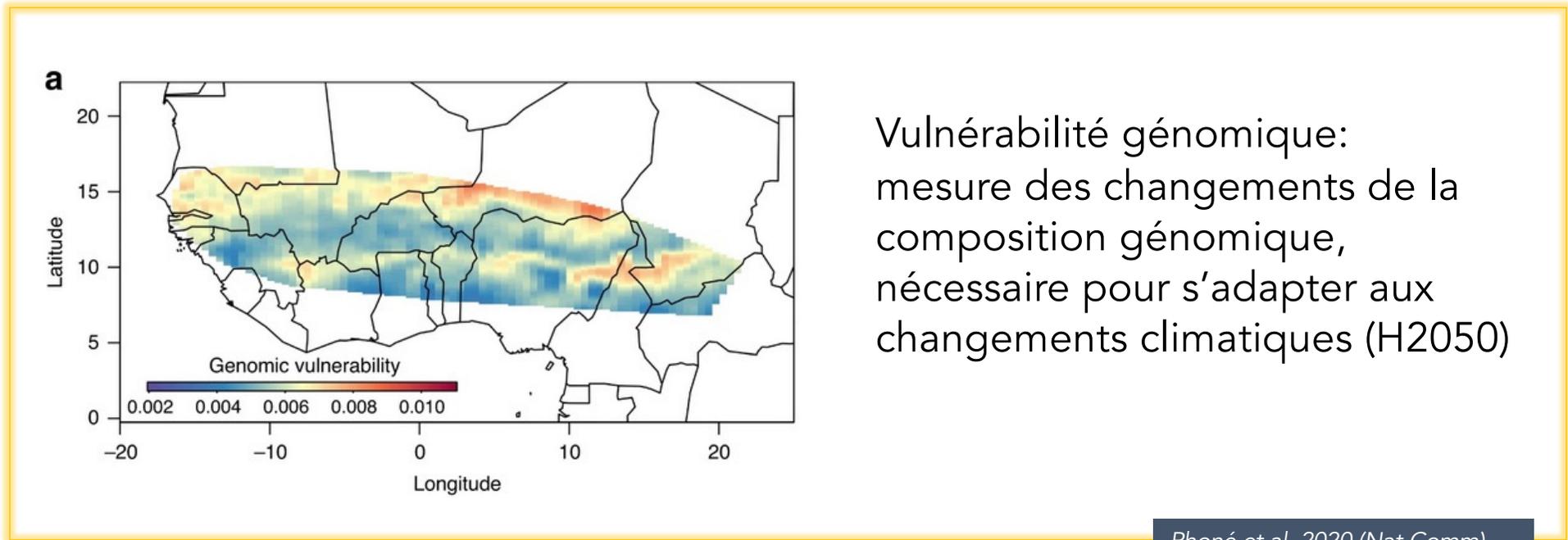
mexicana

Succès de pollinisation, 1-2%



Hufford et al. 2012 (PlosOne)
Baltazar et al. 2004 (TAG)
Evans et Kermicle 2001 (TAG)
Kermicle et Evans 2010 (J Hered)

Ces barrières à la reproduction sont importantes à étudier pour l'utilisation des ressources génétiques



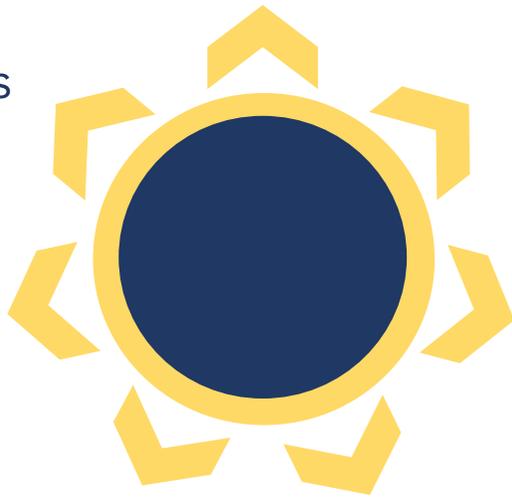
Vulnérabilité génomique: mesure des changements de la composition génomique, nécessaire pour s'adapter aux changements climatiques (H2050)

Rhoné et al. 2020 (Nat Comm)

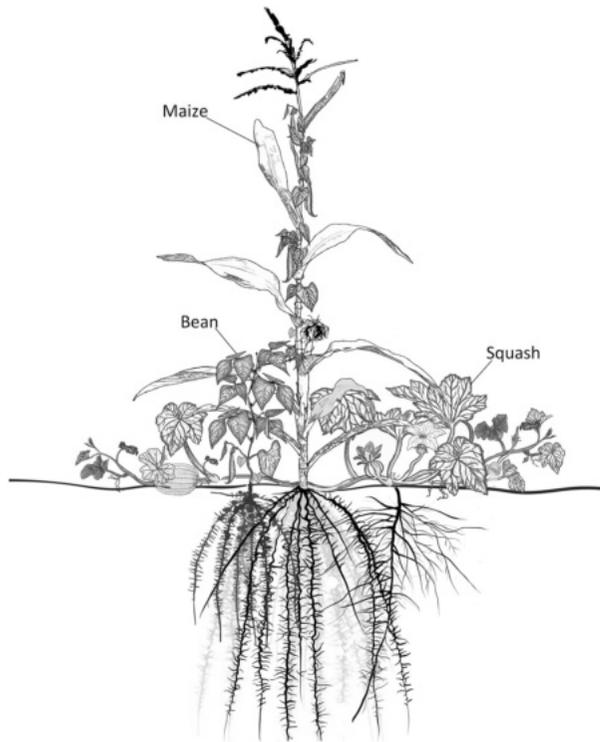
Certaines variétés traditionnelles sont plus vulnérables aux changements climatiques prédits que d'autres

Les ressources génétiques sauvages et cultivées sont essentielles pour améliorer les variétés existantes (elles sont des sources potentielles d'introgessions adaptatives)

Interactions coopératives



Utiliser la diversité comme un levier pour générer des interactions bénéfiques entre plantes



Lopez-Ridaura et al. 2021 (Science Rep)

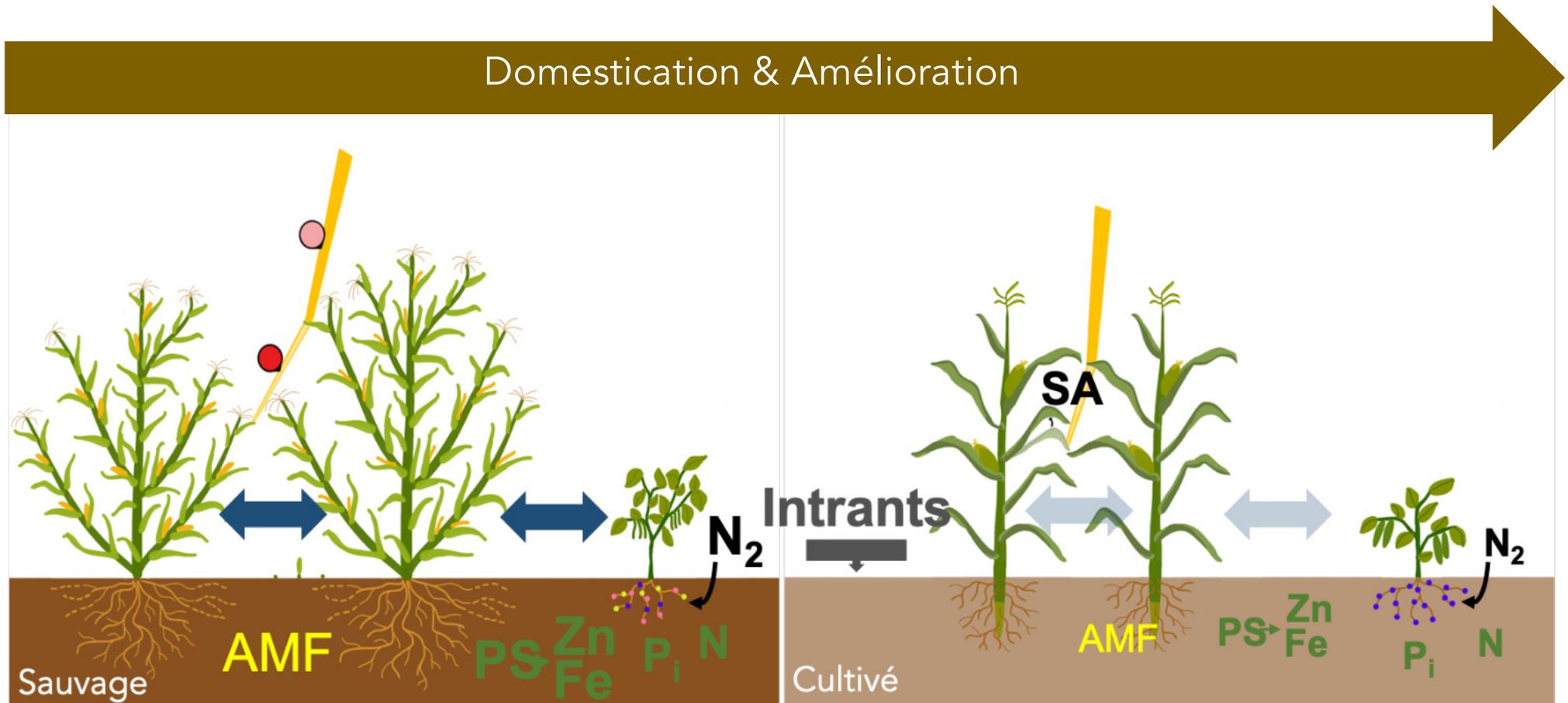
► Complémentarité

- Effet tuteur du maïs pour le haricot
- Complémentarité des systèmes racinaires et des architectures foliaires (recouvrement du sol limite les adventices)
- Maladies (effet barrière, dilution)

► Facilitation

- Rétention d'humidité grâce aux feuilles de courge
- Captation d'azote atmosphérique par le haricot qui favorise la disponibilité en azote pour le maïs
- Possible acidification du sol par les exsudats racinaires qui augmenterait la disponibilité en phosphore inorganique assimilable pour le maïs, et en fer pour le haricot

Ces interactions bénéfiques entre plantes ont été impactées négativement par la domestication



Et s'il n'y avait qu'une idée à retenir

Histoire: aller-retour entre génétique & archéologie

Interactions coopératives:
essentiel de les remobiliser

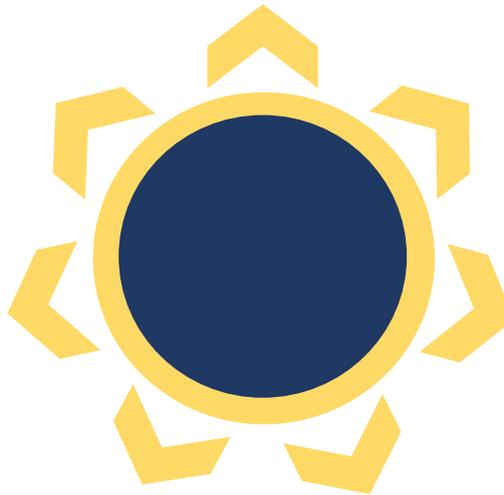
Conséquences génomiques:
perte de diversité

Dialogue sauvages/cultivées:
adaptatif et maladaptatif

Déterminants génétiques:
les gènes de domestication
sont des chefs d'orchestre

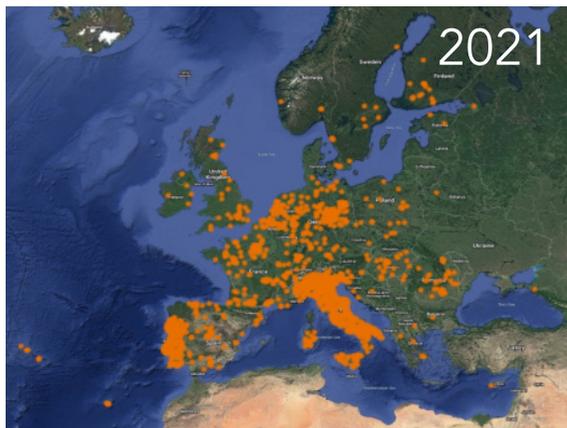
Potentiel adaptatif:
fort pour certains caractères

Evolution des caractères:
rapide



Décrire, préserver, utiliser l'agrobiodiversité : les citoyens sont acteurs

- Tester une approche décentralisée de la conservation et de la multiplication des ressources
- Evaluer >1000 lignées de haricots à travers toute l'Europe pour prédire leur capacité d'adaptation à une variété de climats



A suivre en 2023

ENGLISH DEUTSCH ITALIANO PORTUGUÊS ESPAÑOL POLSKI PYCCKOE TOWENSKI ROMANA

Partager le haricot : Une expérience de Science Citoyenne

Inscrivez-vous maintenant pour le 2ème tour de l'Expérience Scientifique Citoyenne INCREASE!

Vous êtes nouveau dans l'expérience scientifique citoyenne INCREASE et vous voulez commencer à cultiver des haricots en 2022 ? Alors, téléchargez l'application "INCREASE CSA" et **enregistrez votre participation jusqu'au 15 mars 2022.**

La science ne se limite pas aux scientifiques. Tout le monde peut s'impliquer.

La participation du public à la recherche scientifique devient de plus en plus cruciale pour que chacune comprenne les enjeux de la science et son importance pour la société. Plus important encore, elle fait progresser la recherche scientifique elle-même... Et joue ici un rôle fondamental pour le projet INCREASE. Ici, nous parlons de haricots ! L'expérience de science citoyenne menée dans le cadre de ce projet est un appel à tous les citoyens intéressés à contribuer volontairement et à tester une approche décentralisée innovante de conservation, de multiplication et de partage des semences afin de conserver l'agro-biodiversité.

Tout ce dont vous aurez besoin est un accès à un champ, un jardin, une terrasse ou un balcon.



INCREASE | Become a Citizen Scientist! - FRANÇAIS

Rejoignez sur YouTube

MERCI A MES COLLEGUES DE L'UMR GQE-Le Moulon



- D. Manicacci, C. Vitte, J. Joets, K. Alix, P. Gérard, A. Rousselet, M. Le Guilloux, H. Corti, H. Belcram, M. Fagny
 - A. Venon, M. Falque, F. Dumas
 - C. Bauland, L. Moreau, S. Nicolas, T. Mary-Huard, A. Charcosset
 - A. Ressayre, C. Dillmann
 - J. Enjalbert, T. Flutre
- E. Durand, M-A Fustier, J-T Brandenburg, J. Aguirre-Liguori, N. Martinez-Ainsworth, A. Desbiez-Piat, E. Burban, N. Vazeux-Blumental

ET AUX COLLABORATEURS EXTERIEURS

C. Munoz-Diez, B. Gaut (UC Irvine, USA)
M. Hufford L. (Iowa State University, USA)
L. Eguiarte, J. Aguirre-Liguori (UNAM, Mexique)
S. Montes (INIFAP Celaya, Mexique)
J. De Meaux (Univ. Cologne, Allemagne)
H. Fréville (AGAP, Montpellier)
A. Le Rouzic (EGCE, Saclay)
R. Papa (UNIVPM, Italie)
C. Palaffre (INRAE, Saint Martin de Hinx)
Y. Moënné-Loccoz (Ecologie microbienne, Lyon)
S. Glémin (ECOBIO, Rennes)
Y. Vigouroux (IRD, Montpellier)
V. Le Corre, M. Siol, C. Délye (Agroécologie, Dijon)



Horizon 2020