ASSOCIATION DES SÉLECTIONNEURS FRANÇAIS

ACADÉMIE d'AGRICULTURE de FRANCE
AGRICULTURE ■ ALIMENTATION ■ ENVIRONNEMENT

Vision de la création variétale

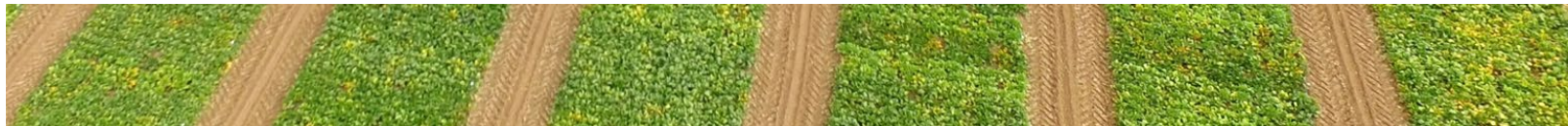
Colloque en hommage à Michel Desprez

Mardi 23 novembre 2021

Académie d'Agriculture de France, 18 rue de Bellechasse 75007 Paris

ASSOCIATION DES SÉLECTIONNEURS FRANÇAIS

ACADÉMIE d'AGRICULTURE de FRANCE
AGRICULTURE ■ ALIMENTATION ■ ENVIRONNEMENT



Dynamique évolutive de la diversité génétique des plantes cultivées, leçons du passé pour l'avenir

Jacques David

Joëlle Ronfort

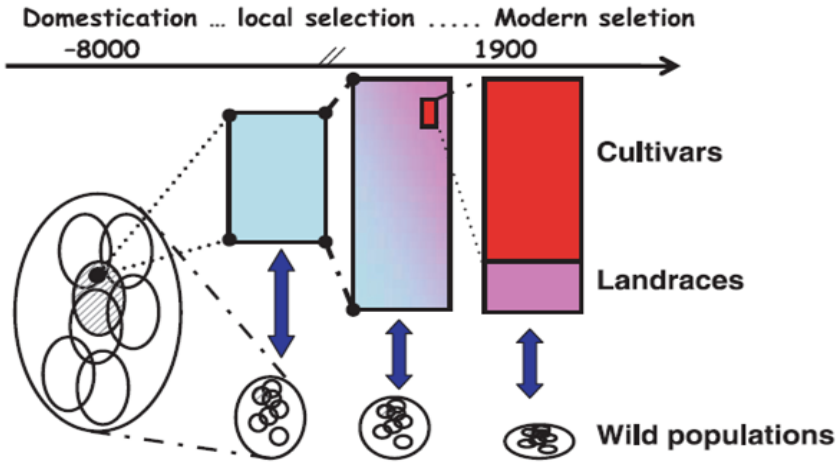
La diversité des plantes cultivées : en comprendre la dynamique pour la valoriser

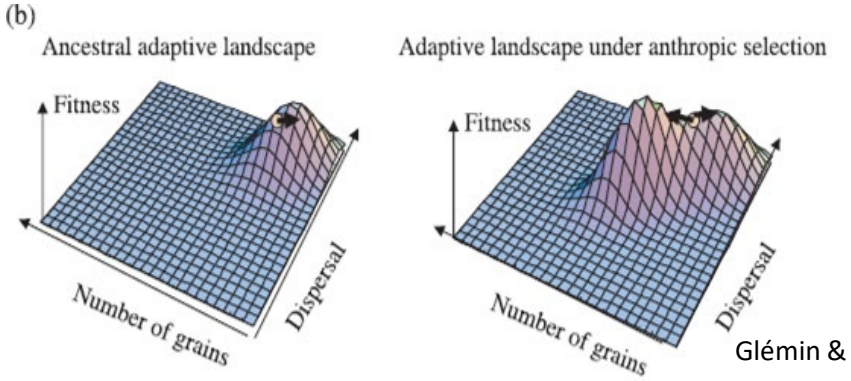
La motivation :

- réservoir de caractères, de gènes et d'allèles pour l'amélioration des plantes
- identification des gènes impliqués dans les transitions adaptatives
- réponse aux défis posés par les transitions en cours

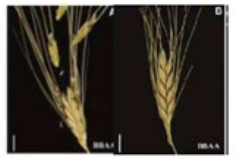
L'origine :

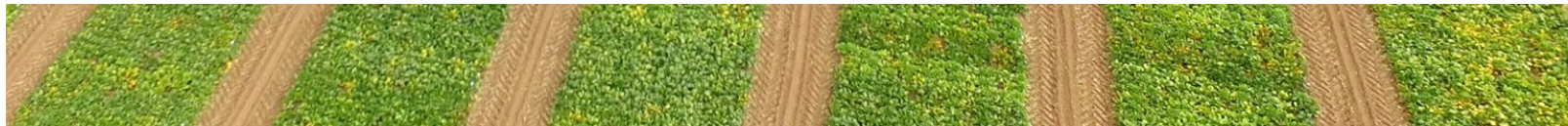
- transitions évolutives en interaction avec l'Homme, l'environnement et les pratiques





Glémin & Bataillon, 2009



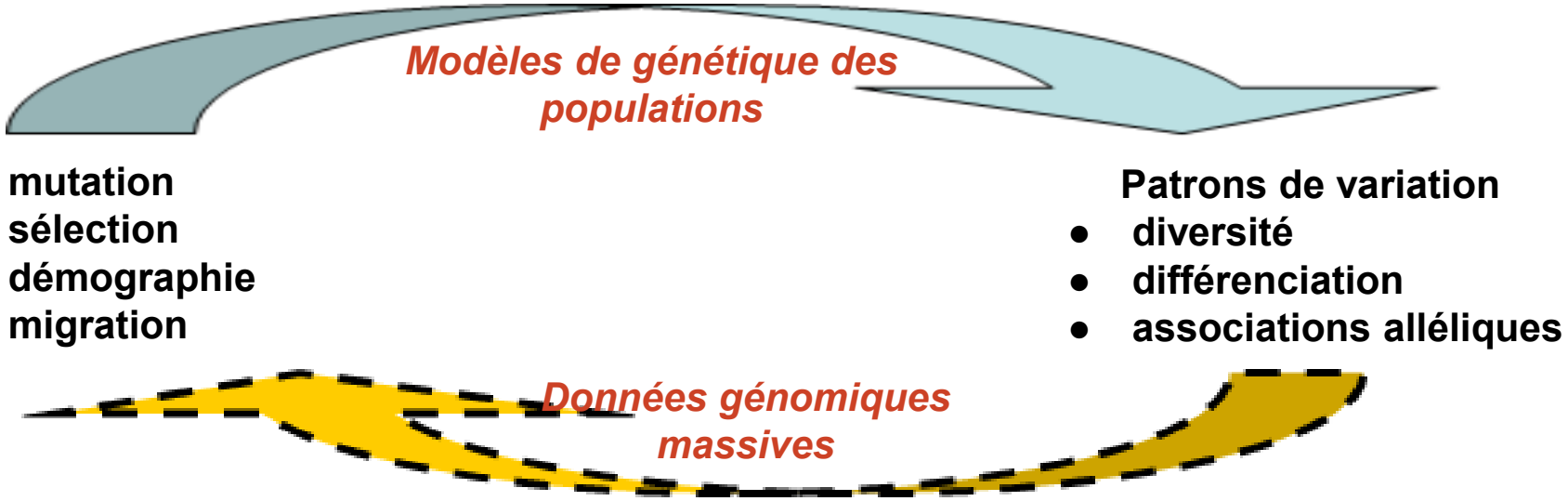


ASSOCIATION DES SÉLECTIONNEURS FRANÇAIS

ACADÉMIE d'AGRICULTURE de FRANCE
AGRICULTURE ▪ ALIMENTATION ▪ ENVIRONNEMENT

La diversité des plantes cultivées :
en comprendre la dynamique pour la valoriser

Méthode : données génomiques massives et interprétation avec la génétique des populations

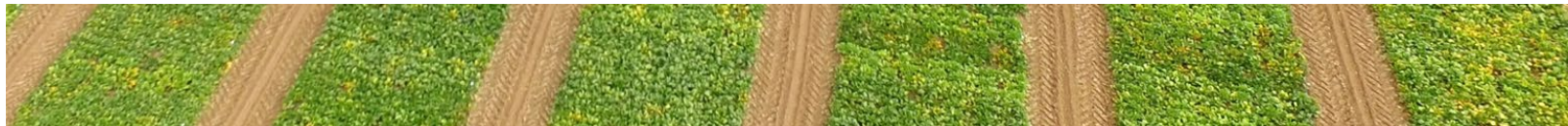


Comprendre la dynamique passée donne des enseignements

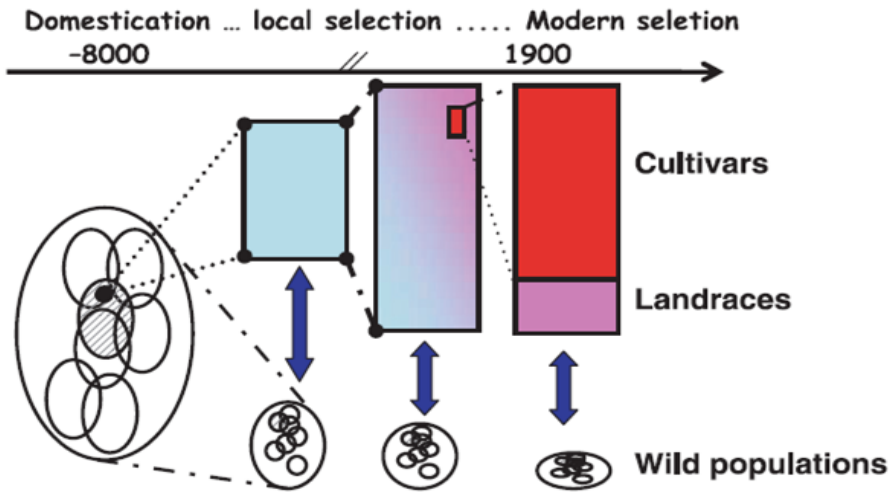
- pour anticiper les effets des changements globaux
- et pour définir des stratégies de gestion et de valorisation durable de la diversité

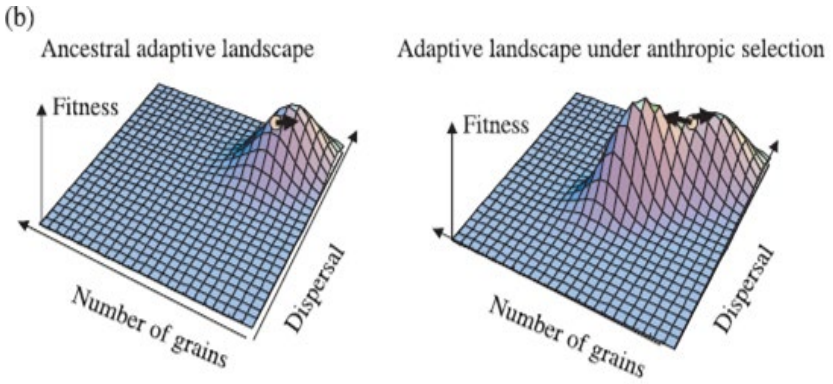
ASF ASSOCIATION DES SÉLECTIONNEURS FRANÇAIS

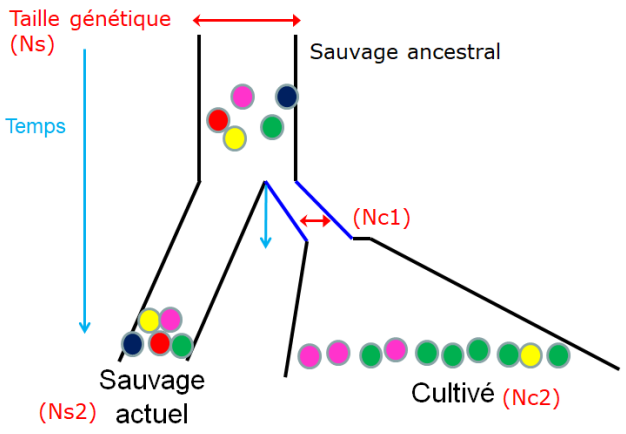
ACADÉMIE d'AGRICULTURE de FRANCE
AGRICULTURE ▪ ALIMENTATION ▪ ENVIRONNEMENT

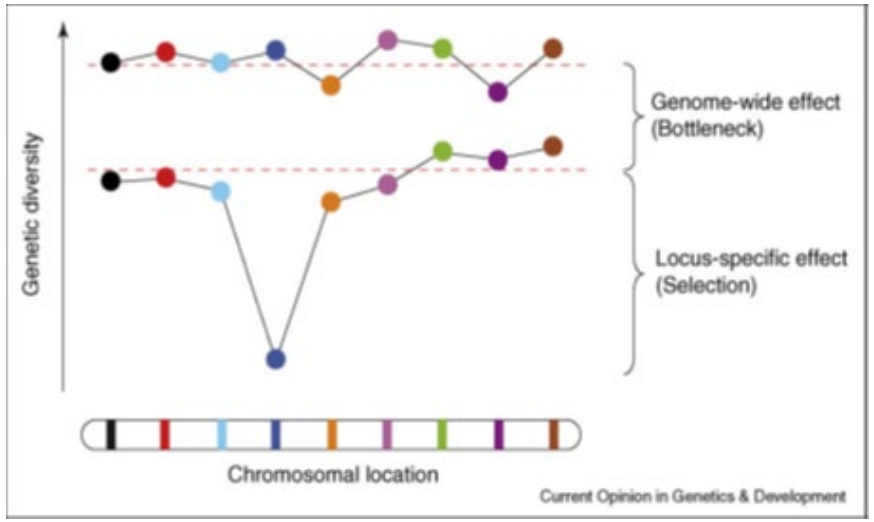


Scénario général et patrons de polymorphisme attendus



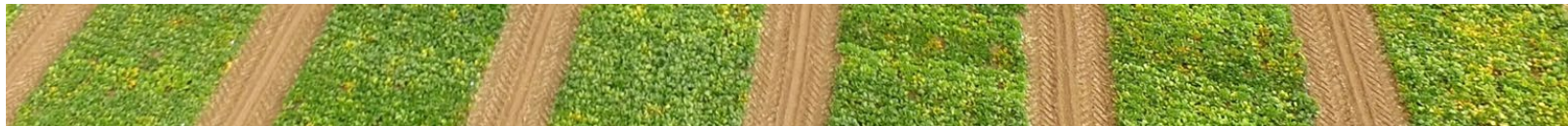






ASSOCIATION DES SÉLECTIONNEURS FRANÇAIS

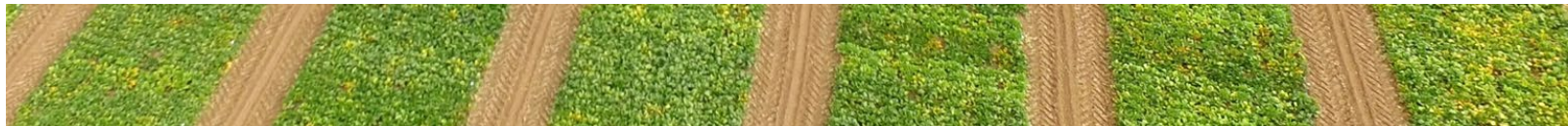
ACADÉMIE d'AGRICULTURE de FRANCE
AGRICULTURE ▪ ALIMENTATION ▪ ENVIRONNEMENT



Démographie et migration

ASSOCIATION DES SÉLECTIONNEURS FRANÇAIS

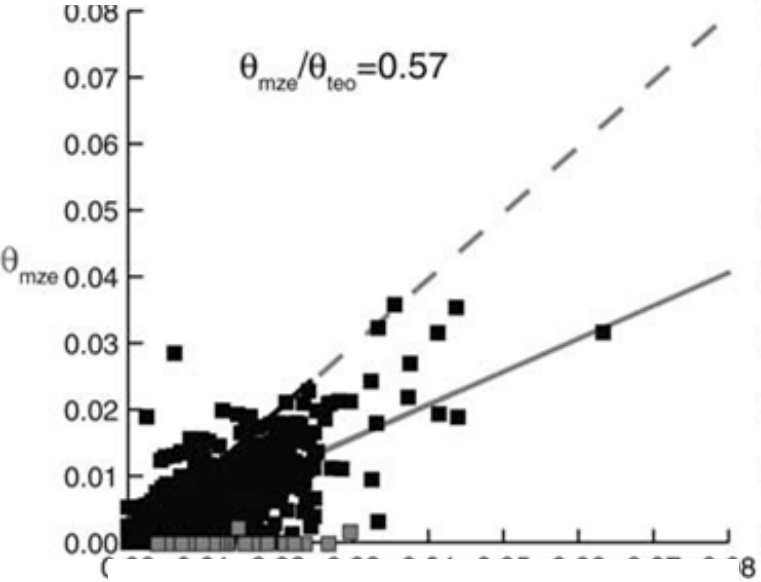
ACADÉMIE d'AGRICULTURE de FRANCE
AGRICULTURE ▪ ALIMENTATION ▪ ENVIRONNEMENT



La génomique des formes sauvages, actuelles et fossiles pour retracer l'histoire d'une espèce: le cas du Maïs

Goulot d'étranglement

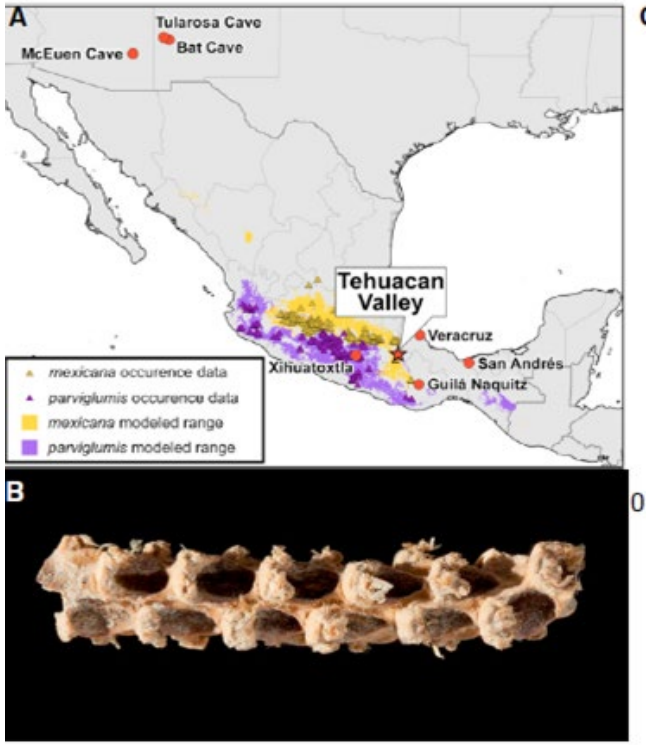
Div. nucléotidique Cult (n=14)



Div. nucléotidique sauv. (n=16)

(Wright et al, 2005)

Transition adaptative continue



ADN fossile - Vitesse d'acquisition des caractères cultivés

(Ramos Madrigal et al, 2016.)

Introgressions secondaires de téosinte adaptée à l'altitude.

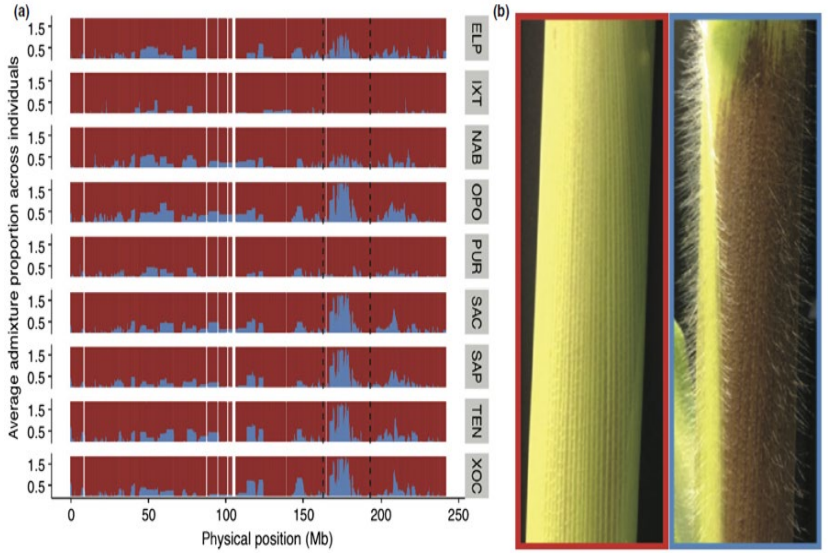
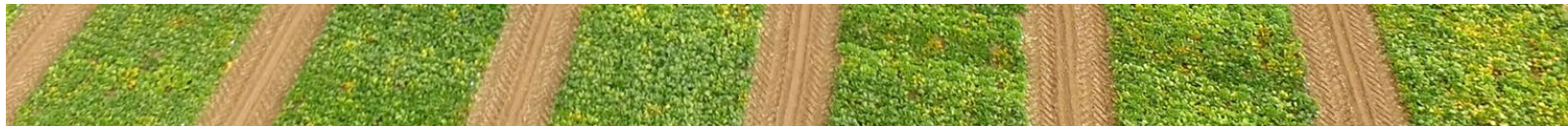


Fig. 2 Evidence of adaptive introgression from *mexicana* to Mexican highland maize on chromosome 4. (a) Stacked bar plots of a HAPMIX introgression scan. For each population and chromosomal position, red indicates maize ancestry and blue indicates *mexicana* ancestry. Data obtained from Hufford *et al.* (2013). ELP, EL Porvenir; IXT, Ixtlan; NAB, Nabogame; OPO, Opopeo; PUR, Puruandiro; SAC, Santa Clara; SAP, San Pedro; TEN, Tenango del Aire; XOC, Xochimilco. The dashed vertical lines indicate a previously identified quantitative trait loci (QTLs) for macrohairs and pigment density in Lauter *et al.* (2004). (b) Phenotypic differences between maize stems with (blue) and without (red) *mexicana* introgression in QTLs affecting presence of pigment and macrohairs.

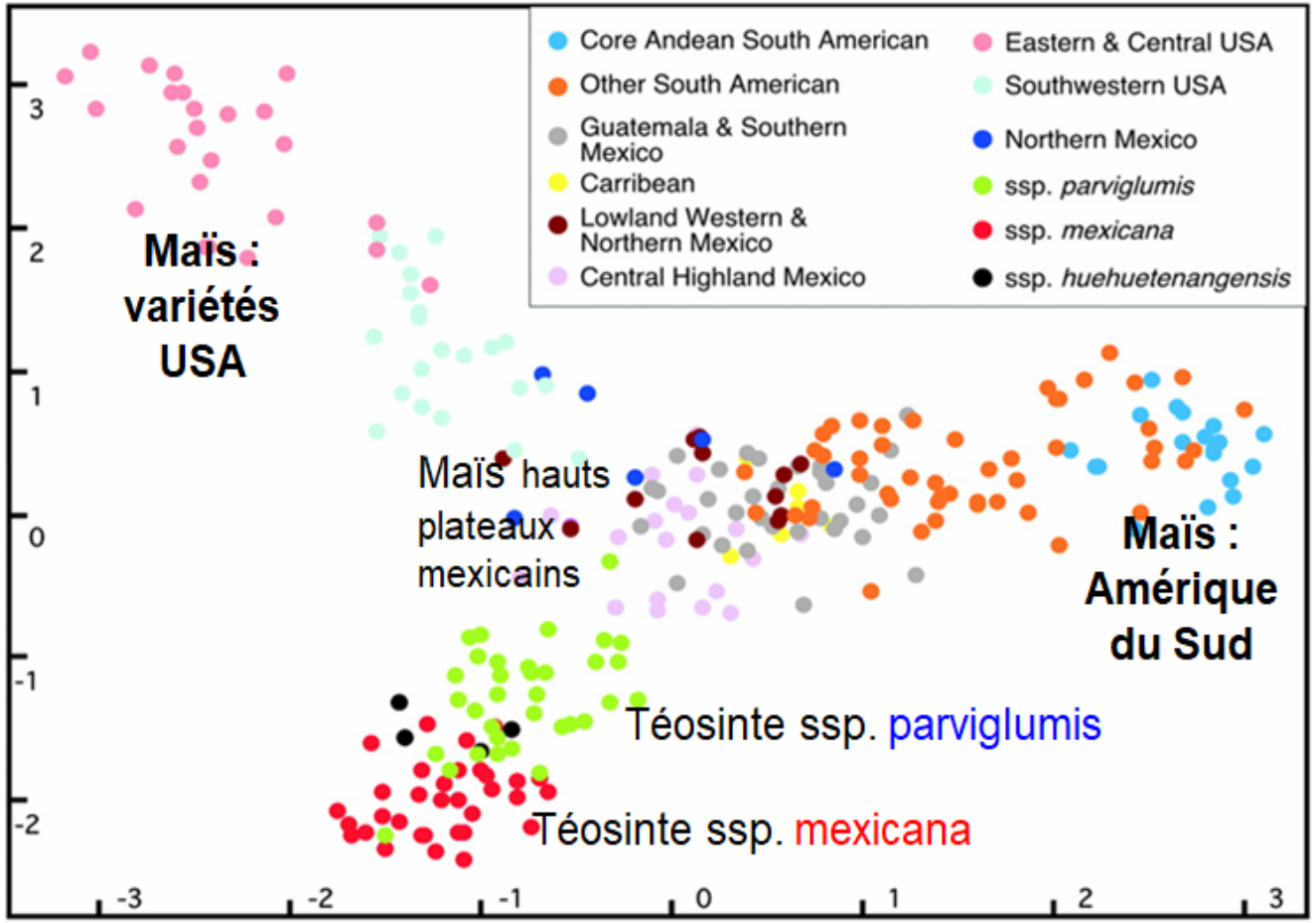
(Janzen et al 2019)

ASSOCIATION DES SÉLECTIONNEURS FRANÇAIS

ACADÉMIE d'AGRICULTURE de FRANCE
AGRICULTURE ▪ ALIMENTATION ▪ ENVIRONNEMENT



Différenciation des maïs actuels

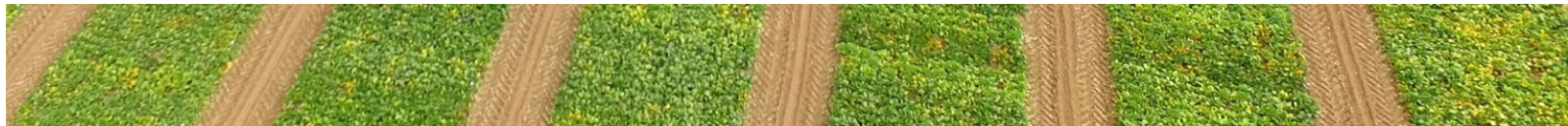


Matsuoka et al, 2002

- échantillonnage de la diversité allélique et changements dans les spectres de fréquences alléliques
- interactions entre dérive génétique et flux de gènes

ASSOCIATION DES SÉLECTIONNEURS FRANÇAIS

ACADÉMIE d'AGRICULTURE de FRANCE
AGRICULTURE ▪ ALIMENTATION ▪ ENVIRONNEMENT



arcad
Crop biodiversity research and resource center

UMRs AGAP Institut, Diade, GAFL, ISEM

Le projet ARCAD : une approche comparative de la domestication

Banane	Monocot	Perenne	Allogame
Palmier	Monocot	Perenne	Allogame
Igname	Monocot	Annuelle	Allogame/clonale
Engrain	Monocot	Annuelle	autogame
Mil	Monocot	Annuelle	Allogame
Riz Africain	Monocot	Annuelle	Autogame
Sorgho	Monocot	Annuelle	Autogame
Fonio*	Monocot	Annuelle	Autogame
Cacao	Dicot	Perenne	Allogame
Café	Dicot	Perenne	Allogame
*Coton**	Dicot	Perenne	Autogame
Olivier*	Dicot	Perenne	Allogame
Luzerne	Dicot	Perenne	Allogame
Vigne	Dicot	Perenne	Allogame
Tomate	Dicot	Annuelle	Autogame

Analyse standardisée :

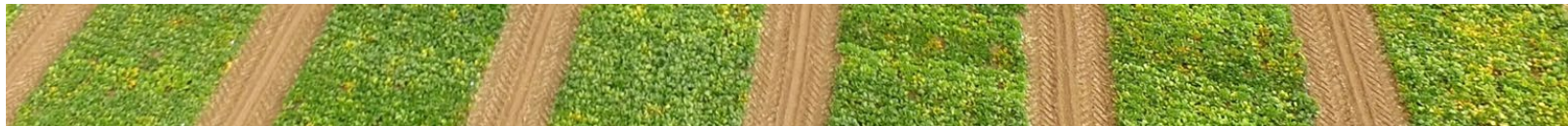
Pour chaque espèce

- *n* = 10 individus sauvages
- *n* = 10 individus cultivés
- + 1 ou 2 espèces proches comme outgroup

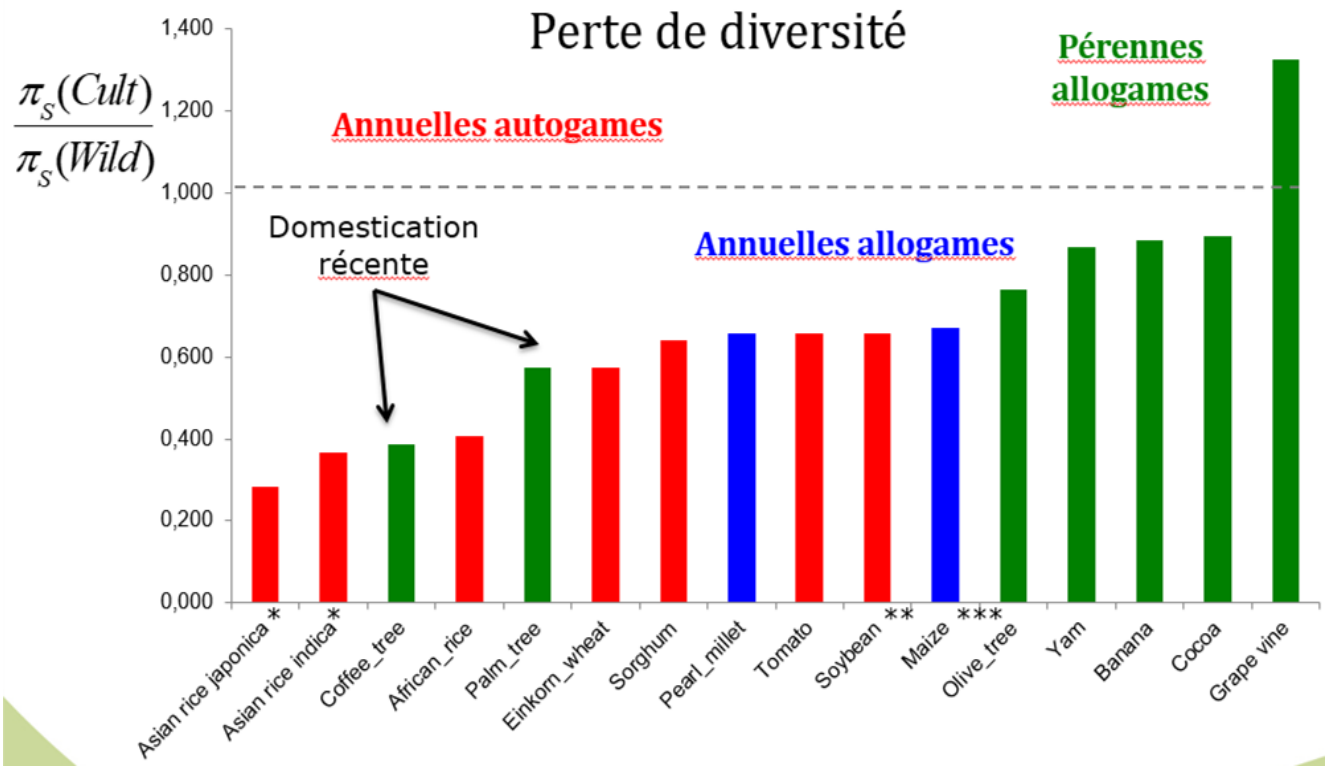
- Analyse transcriptomique (RNA seq)

ASF ASSOCIATION DES SÉLECTIONNEURS FRANÇAIS

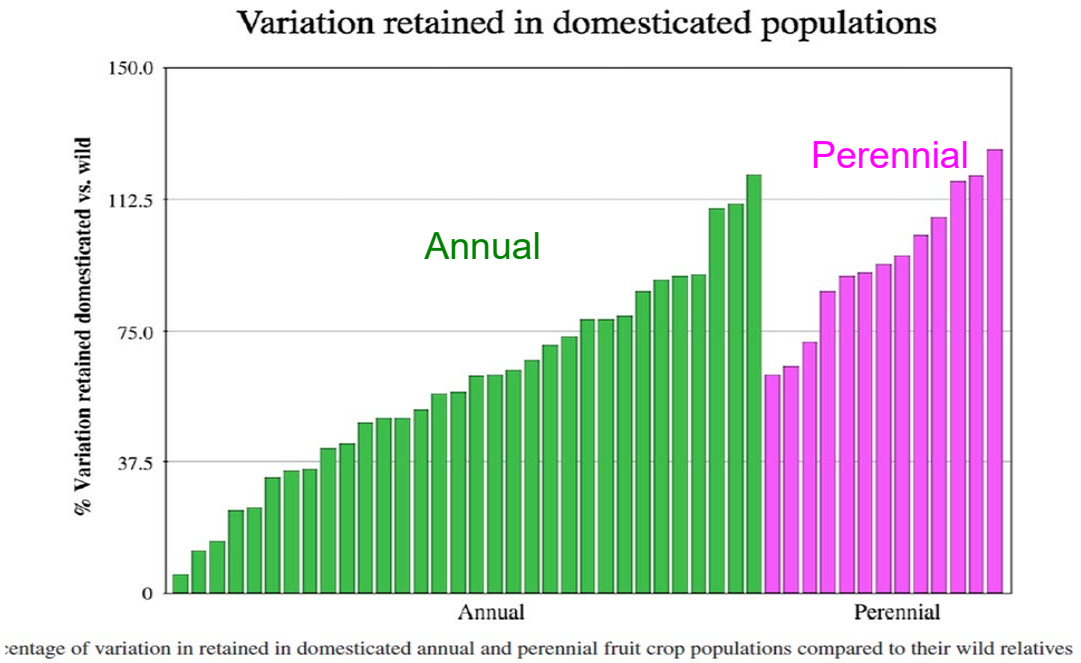
ACADÉMIE d'AGRICULTURE de FRANCE
AGRICULTURE ▪ ALIMENTATION ▪ ENVIRONNEMENT



Diagnostic sur la perte de diversité globale sur le génome



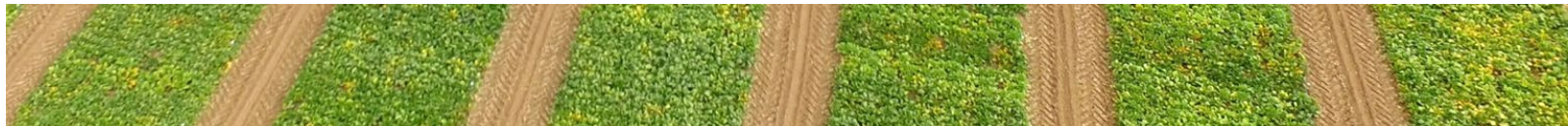
(* Caicedo et al 2007 ; **Lam et al 2010, ***Wright et al 2005)



(Miller et Gross, 2011)

ASSOCIATION DES SÉLECTIONNEURS FRANÇAIS

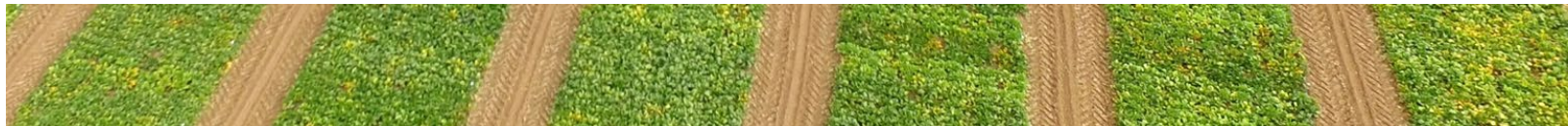
ACADÉMIE d'AGRICULTURE de FRANCE
AGRICULTURE ▪ ALIMENTATION ▪ ENVIRONNEMENT



La sélection pour l’adaptation

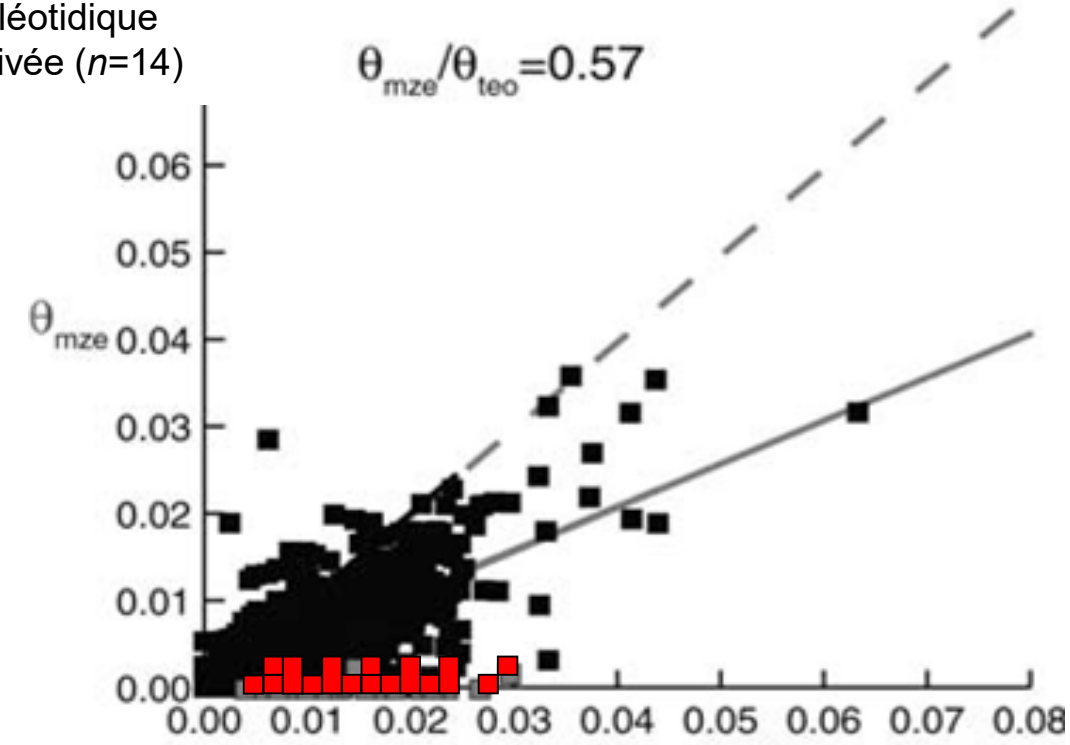
ASSOCIATION DES SÉLECTIONNEURS FRANÇAIS

ACADÉMIE d’AGRICULTURE de FRANCE
AGRICULTURE ▪ ALIMENTATION ▪ ENVIRONNEMENT

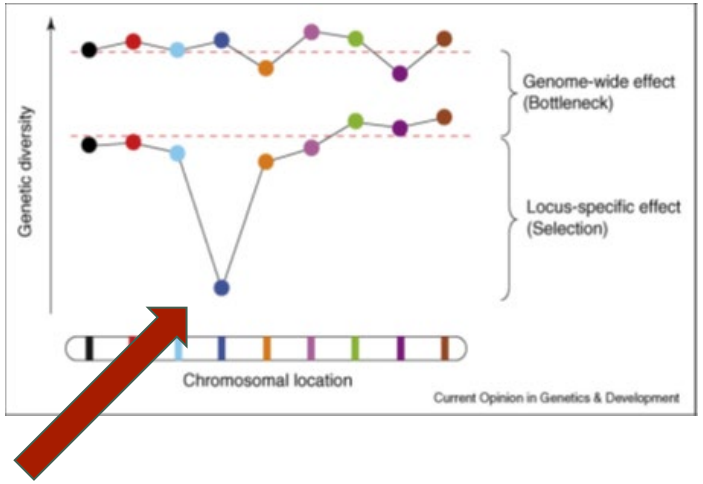


Approche «genome-wide» des effets de la sélection

Div. nucléotidique cultivée (*n*=14)



Div. nucléotidique sauvage (*n*=16)



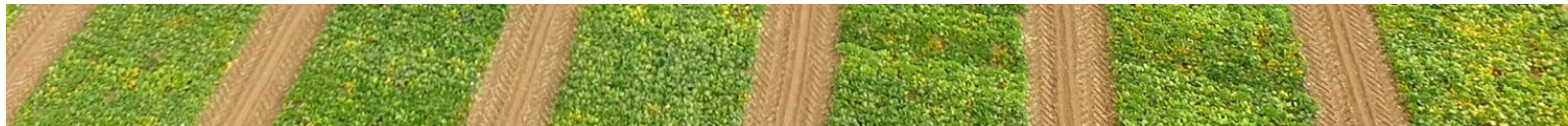
- la perte globale de diversité liée à la domestication et à la l'histoire ultérieure du maïs est de l'ordre de 40%

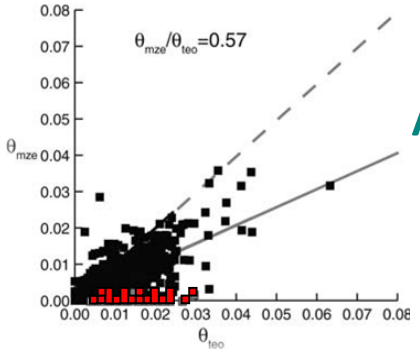
.

- **2 à 4 %** des fragments génomiques étudiés (sur 774) ont subi une réduction de diversité plus sévère, empreinte des effets de la sélection.

ASSOCIATION DES SÉLECTIONNEURS FRANÇAIS

ACADÉMIE d'AGRICULTURE de FRANCE
AGRICULTURE ▪ ALIMENTATION ▪ ENVIRONNEMENT





Approches genome-wide des effets de la sélection

- gènes (connus) impliqués dans la **croissance des plantes et récepteurs d'auxine** (*tb1, dwarf8*) : différences morphologiques maïs/téosinte

- **nouvelle classe de gènes :** rôle dans la biosynthèse des acides aminés, le catabolisme des protéines : sélection pour la composition biochimique des plantes.

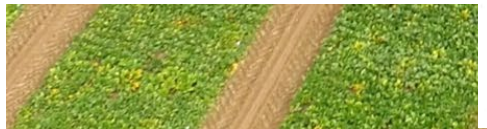
Table 1. Candidate selected genes, sorted by posterior probability (PP).

Rank	Gene or locus	PP	Gene name or description	Putative gene function
	tb1	0.87	Teosinte branched 1 (*tb1*)	Transcription factor
1	AY112154	0.77	Ribosomal protein L28 family	Structural constituent of ribosome
2	AY105809	0.65	Acetyl transferase	Transferase activity
3*	AY107228	0.64	Dihydrodipicolinate synthase (DHPS)	Lysine biosynthesis
4*	AY106600	0.61	Adenylosuccinate synthetase	Purine biosynthesis
5	AY104983	0.59	Heat shock protein (hsp70)	Chaperone activity; protein folding
6†	AY105958	0.58	Auxin-induced protein	Transcription factor; response to sucrose
7	AY111546	0.57	Unknown	Unknown
8†	AY108246	0.55	Growth factor	
9	AY104090	0.54	Transmembrane protein	
10	AY111438	0.54	Glycosyltransferase	Transferase activity; carbohydrate biosynthesis
11	AY110082	0.53	Heat shock protein	Chaperone activity; protein folding
12†	AY104948	0.49	Auxin response factor (ARF1)	Transcription factor
13	AY106970	0.48	Unknown	
14	AY112083	0.47	Minichromosome maintenance factor 5	DNA-dependent ATPase activity; DNA replication initiation
15	AY106111	0.46	Hexokinase 1 (HXK1)	ATP binding
16	AY108481	0.45	Unknown	
17	AY104147	0.44	F-box family protein	
18*	AY107907	0.43	Chorismate mutase (CM2)	Aromatic amino acid biosynthesis
19*	AY105062	0.43	Microsomal signal peptidase (SPC25)	Peptidase activity
20*	AY107903	0.43	Ubiquitin C-terminal hydrolase family protein	Ubiquitin-dependent protein catabolism
21	AY104037	0.41	Aconitate hydratase	Aconitate hydratase activity
22	AY107173	0.40	Unknown	
23	AY103840	0.39	Ubiquitin/transferase family protein	Trichome branching; DNA endoreduplication
24	AY108543	0.38	Early responsive to dehydration protein	
25†	AY104065	0.36	Cell elongation protein DWARF1	Steroid biosynthesis; cell elongation; response to light
26*	AY104439	0.33	Indole synthase	Indole biosynthesis
27	AY108187	0.31	Unknown	
28	AY106496	0.30	Unknown	
29	AY104530	0.28	CBL-interacting protein kinase 3 (CIPK3)	Kinase activity; response to abiotic stimulus
30	AY107475	0.27	Basic endochitinase	Chitinase activity; antifungal peptide activity

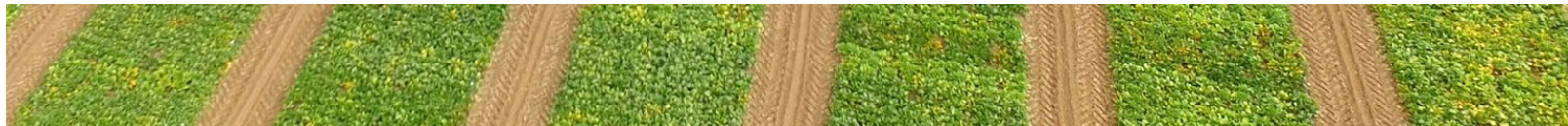
*Genes with putative function in amino acid biosynthesis. †Genes with putative function in plant growth.

ASF ASSOCIATION DES SÉLECTIONNEURS FRANÇAIS

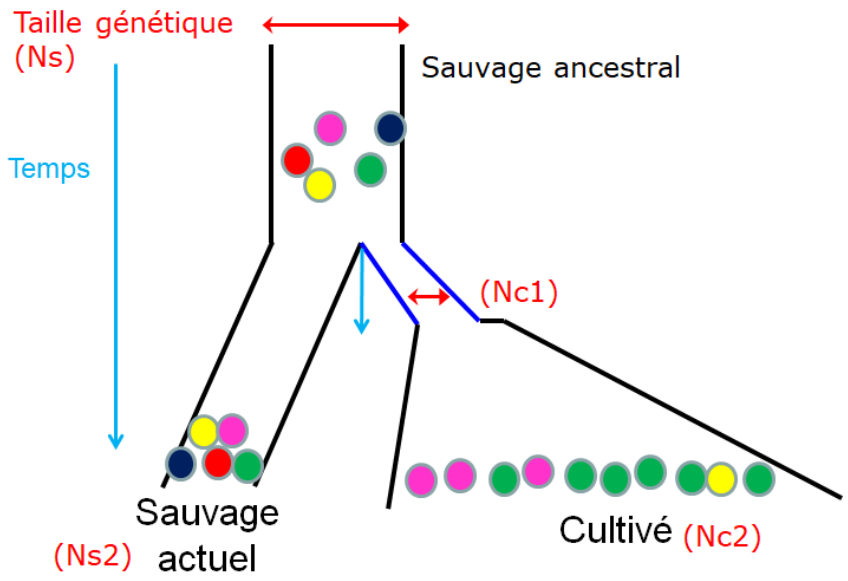
ACADÉMIE d'AGRICULTURE de FRANCE
AGRICULTURE ▪ ALIMENTATION ▪ ENVIRONNEMENT



Le coût de la domestication

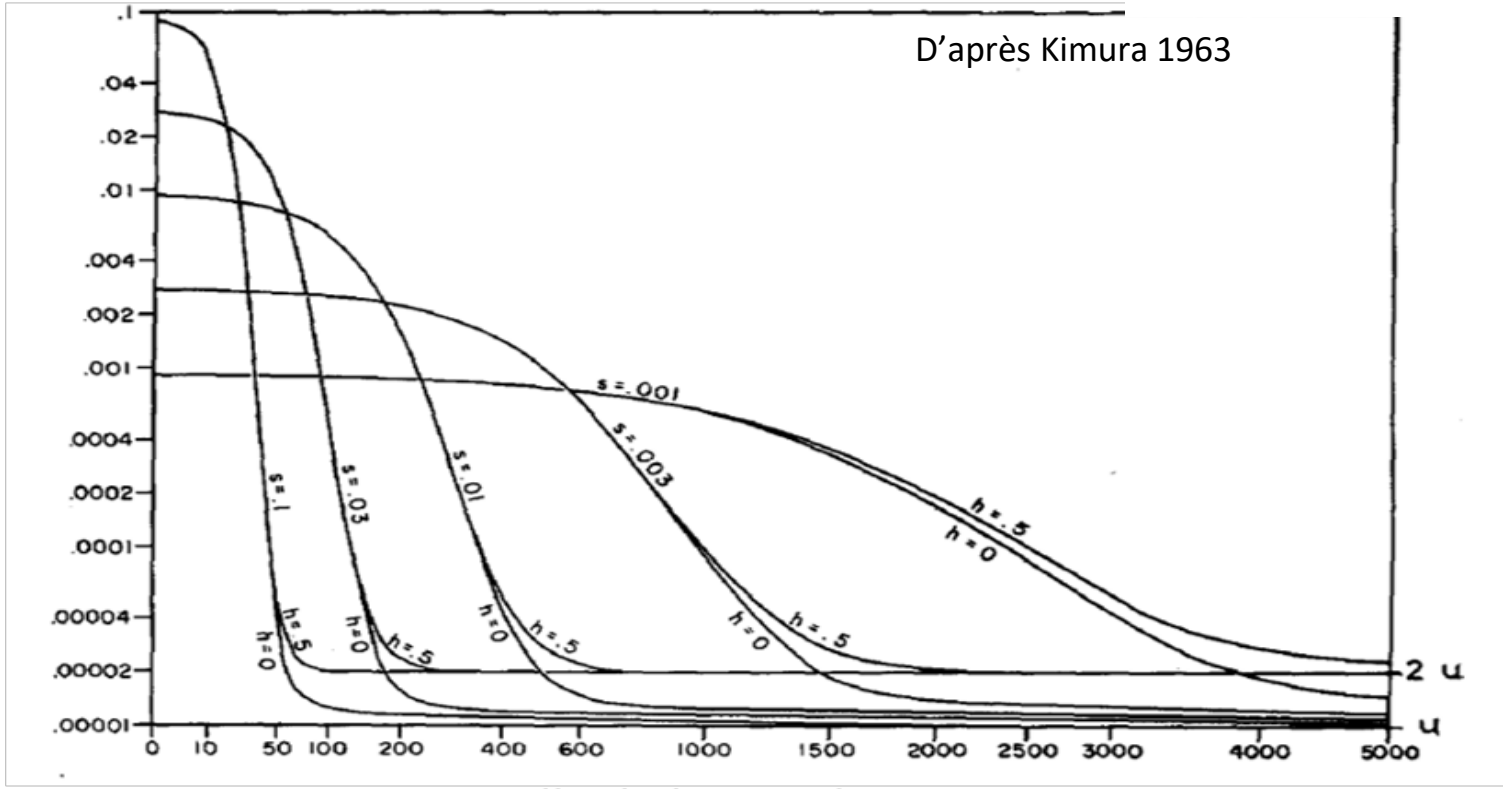


Le coût de la domestication



Motoo Kimura

Fardeau de mutations défavorables

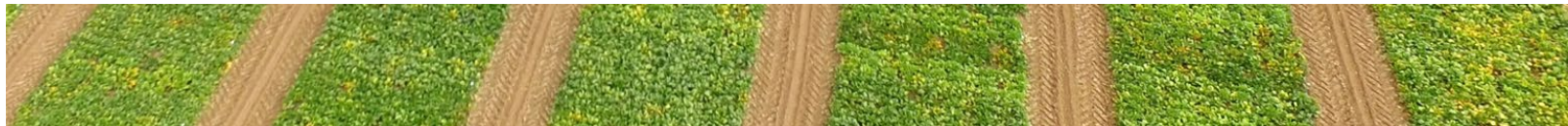


Taille de la population

Accélération de la fixation des mutations délétères

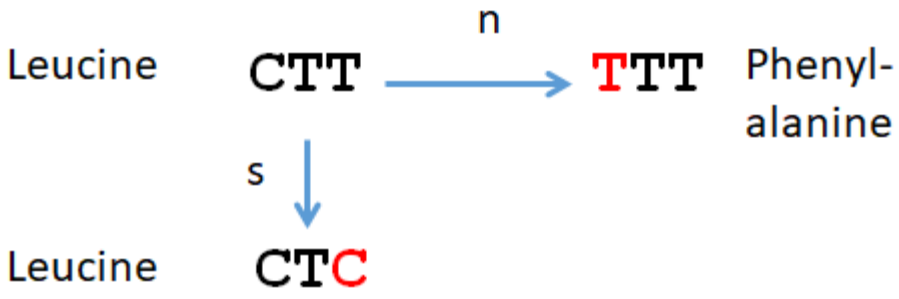
ASSOCIATION DES SÉLECTIONNEURS FRANÇAIS

ACADÉMIE d'AGRICULTURE de FRANCE
AGRICULTURE ▪ ALIMENTATION ▪ ENVIRONNEMENT

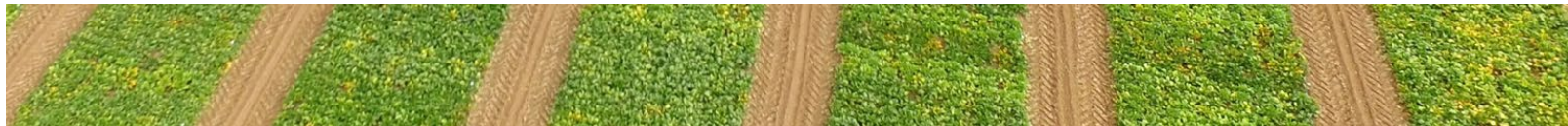


Les mutations non synonymes dans les séquences codantes : une mesure du coût de la domestication

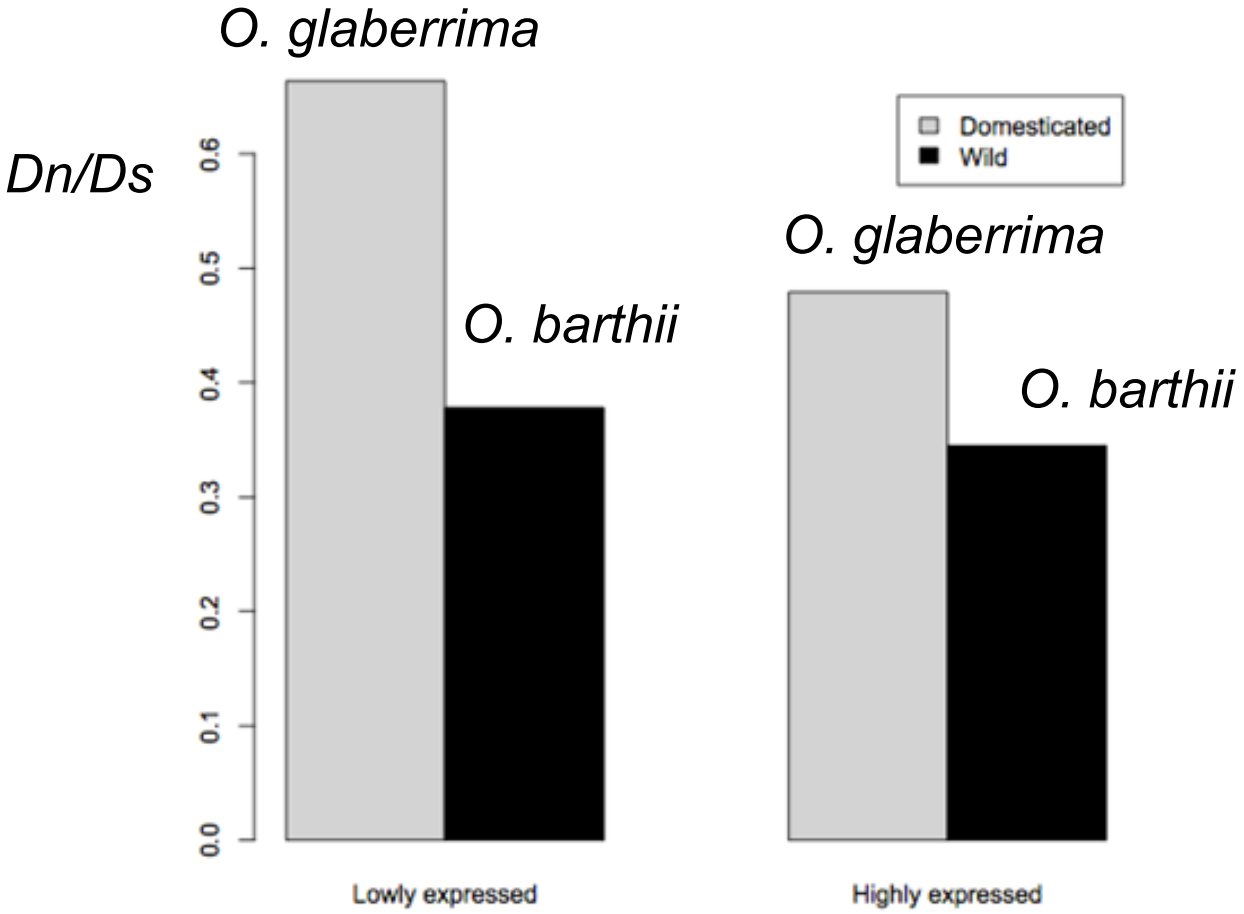
- Des mutations sont synonymes, (s)
- D'autres sont non synonymes, (n), elles sont considérées comme délétères en majorité



La comparaison du ratio des taux de fixation Dn/DS mesure l'augmentation du fardeau de mutation lors des goulots d'étranglements

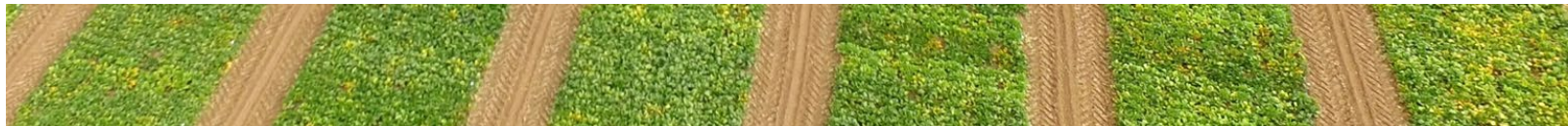


Un exemple chez le riz africain

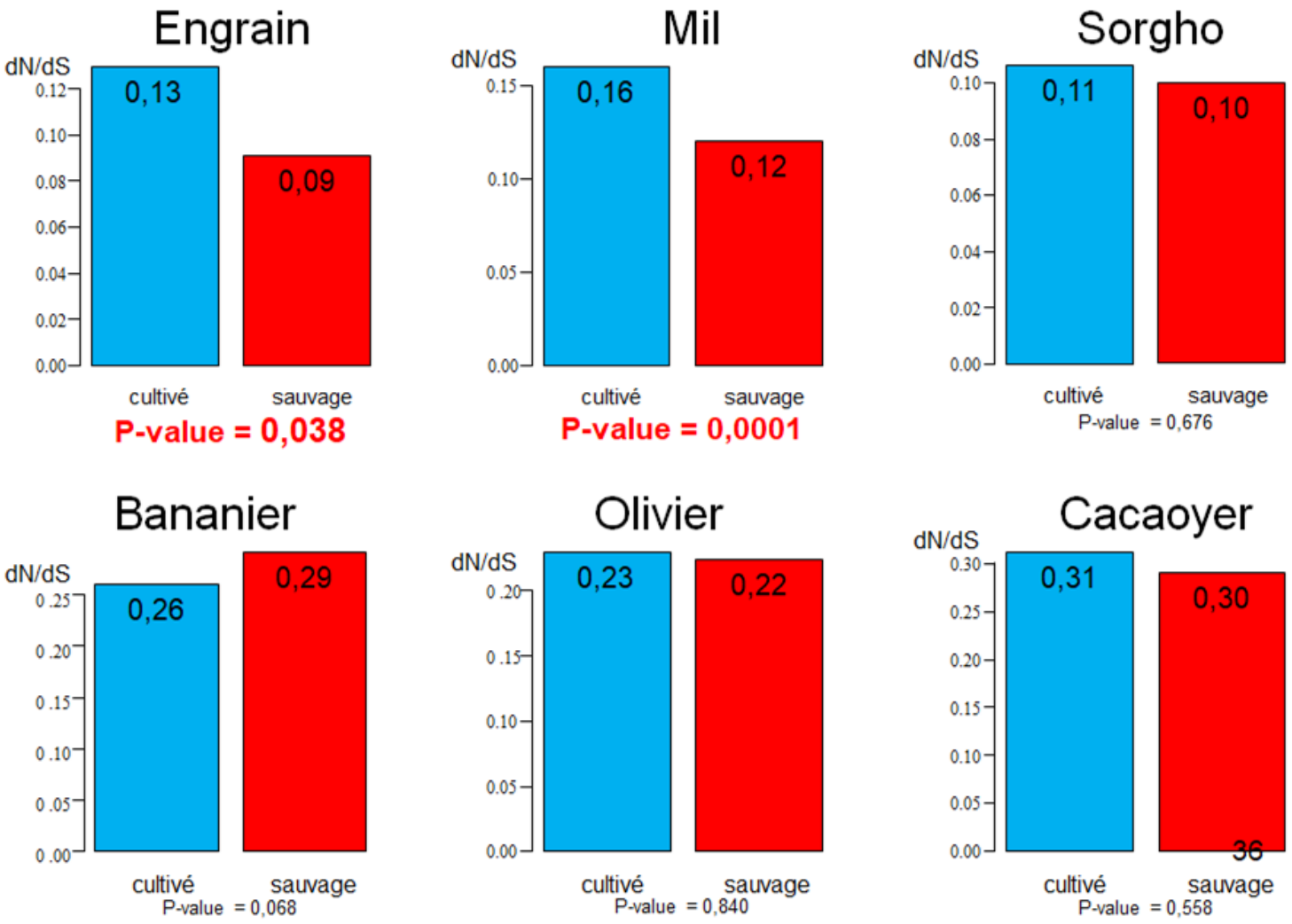


Variable en fonction du taux d'expression

Nabholz et al, 2014

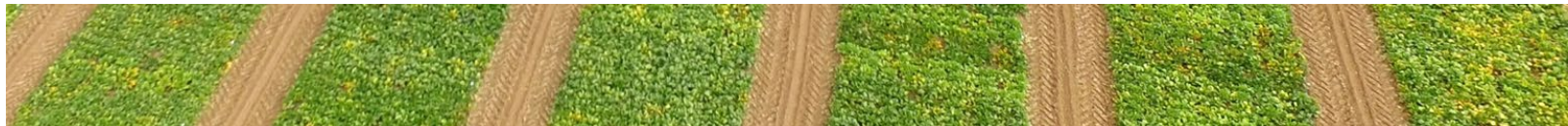


Coût comparé de la domestication



ASSOCIATION DES SÉLECTIONNEURS FRANÇAIS

ACADÉMIE d'AGRICULTURE de FRANCE
AGRICULTURE ▪ ALIMENTATION ▪ ENVIRONNEMENT



Des leçons pour l'avenir

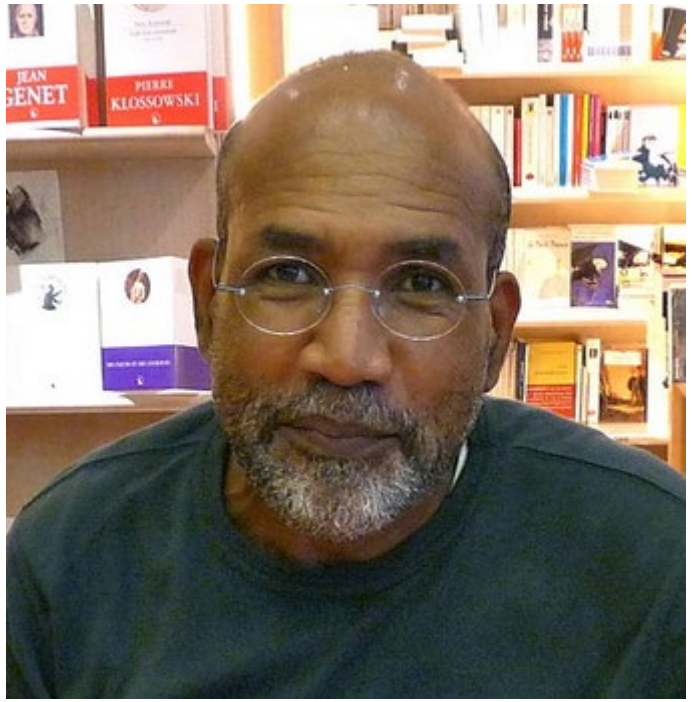
Un phénomène très dynamique, continu
mais actuellement réduit

Une diversité accumulée & disponible *ex situ*

mais une vision minière de son exploitation

Nous réinscrire dans le vivant ?

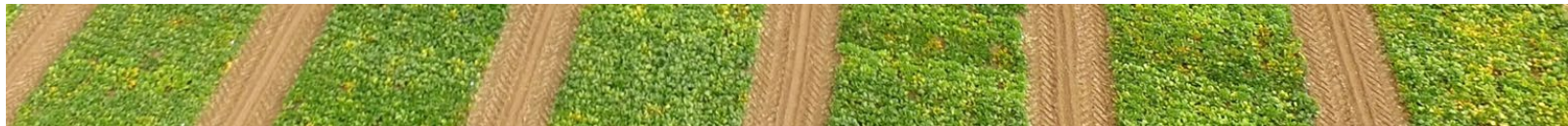
- Participer aux processus évolutifs en en acceptant la complexité



Patrick Chamoiseau, poète

Des politiques de gestion durable de l’agrobiodiversité ?

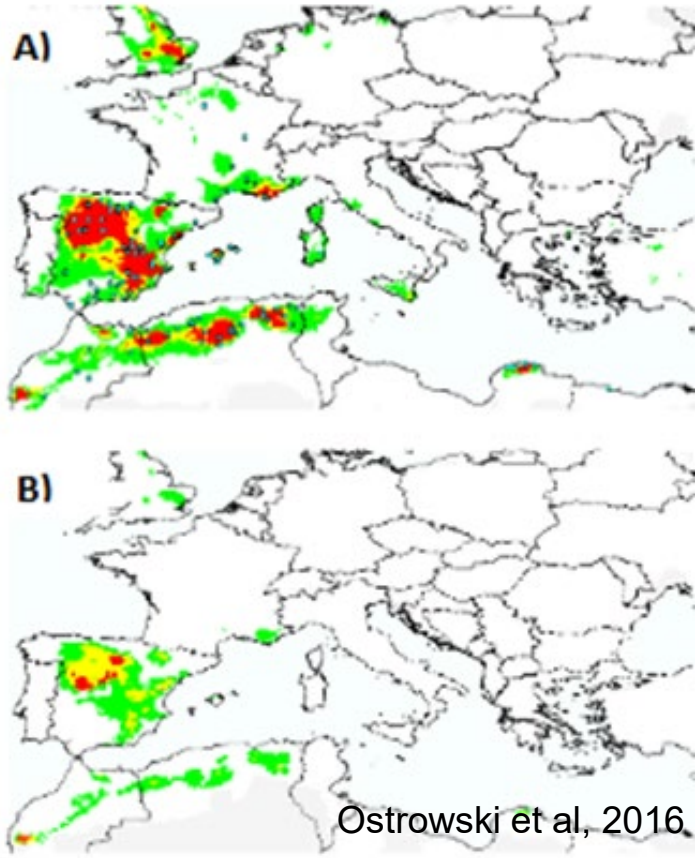
- Assurer la préservation des habitats des plantes sauvages apparentées en tenant compte du changement climatique
- Tester des pratiques alternatives et les suivre grâce à la génomique des populations, pluri-acteurs



Préserver *in situ* les espèces sauvages apparentées

Actuel

RCP4.5

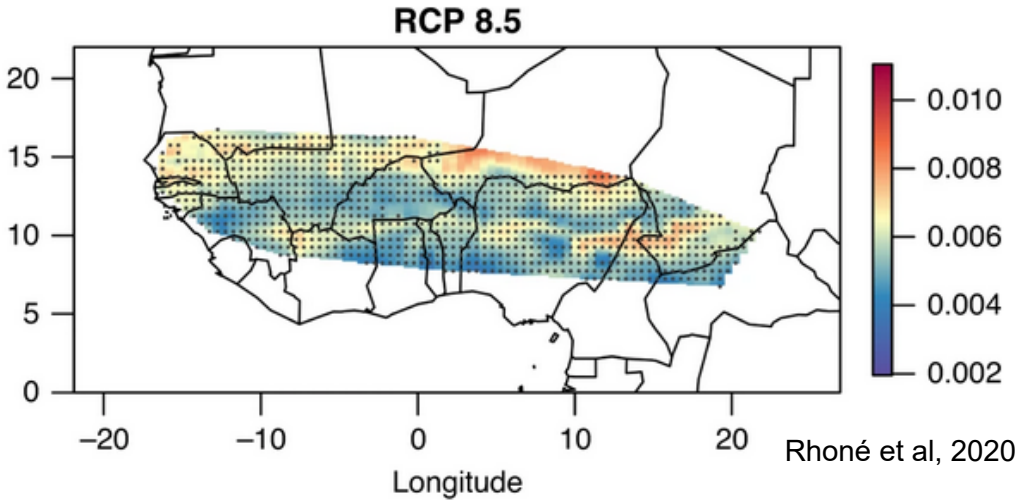


Ostrowski et al, 2016

Aegilops ventricosa

analogue D du blé *(pch1)*

- Réchauffement climatique
- Importante réduction des niches favorables
- Peut-on prévoir leur vulnérabilité génomique ?

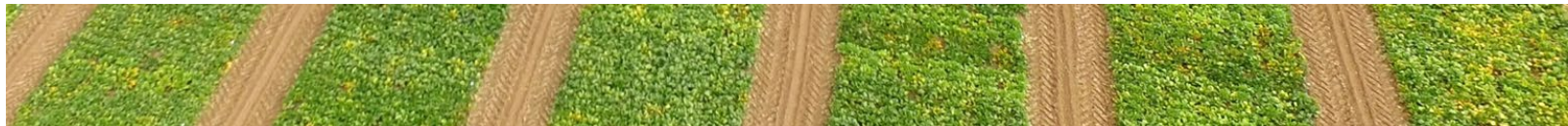


Rhoné et al, 2020

Vulnérabilité génomique du Mil en Afrique en (scenario 8.5)

ASSOCIATION DES SÉLECTIONNEURS FRANÇAIS

ACADÉMIE d'AGRICULTURE de FRANCE
AGRICULTURE ▪ ALIMENTATION ▪ ENVIRONNEMENT



Une migration assistée des sauvages : des risques associés

LeCorre et al 2020

Téosinte spontanée en France

acquisition ACC1 du Maïs

Flux géniques avec la forme cultivée

Des formes adventices très dynamiques

- acquisition de gènes d'adaptation
- recombinaison intensive

Roumet et al 2013

Tournesol en Lauragais

Viard et al et al 2004

Beta maritima

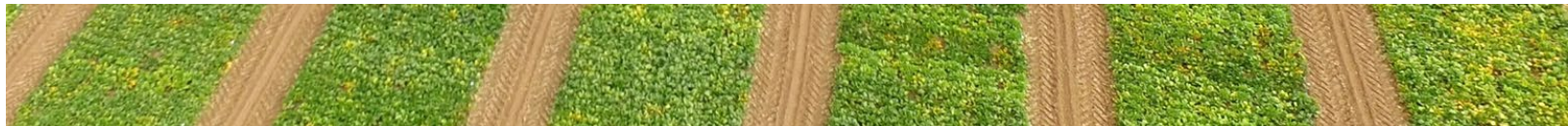
Riz en Camargue

Bres et al et al 2002

ASSOCIATION DES SÉLECTIONNEURS FRANÇAIS

ACADÉMIE d'AGRICULTURE de FRANCE

AGRICULTURE ▪ ALIMENTATION ▪ ENVIRONNEMENT



Entretenir une dynamique évolutive dans le compartiment cultivé

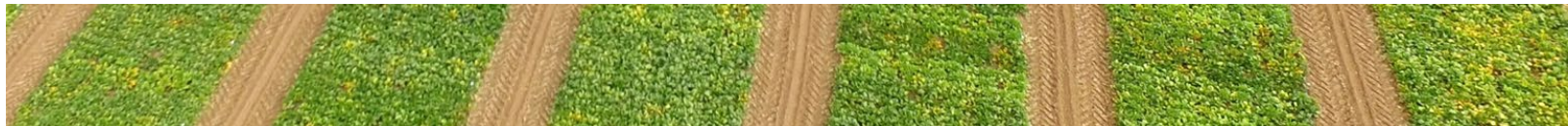
Le nombre de reproducteurs est un facteur essentiel :

N_e en génétique des populations

- Il gouverne le nombre de mutants *de novo* : $2N_e\,\mu$
- Il règle l'intensité de la perte de diversité par dérive : $1/2N_e$
- Il détermine l'efficacité de la sélection : $s < 1/N_e$
  - sélection des allèles d'intérêt, y compris à petits effets
  - élimination des allèles délétères, y compris à petits effets
- Il module la quantité de recombinants : $4N_e\,r$

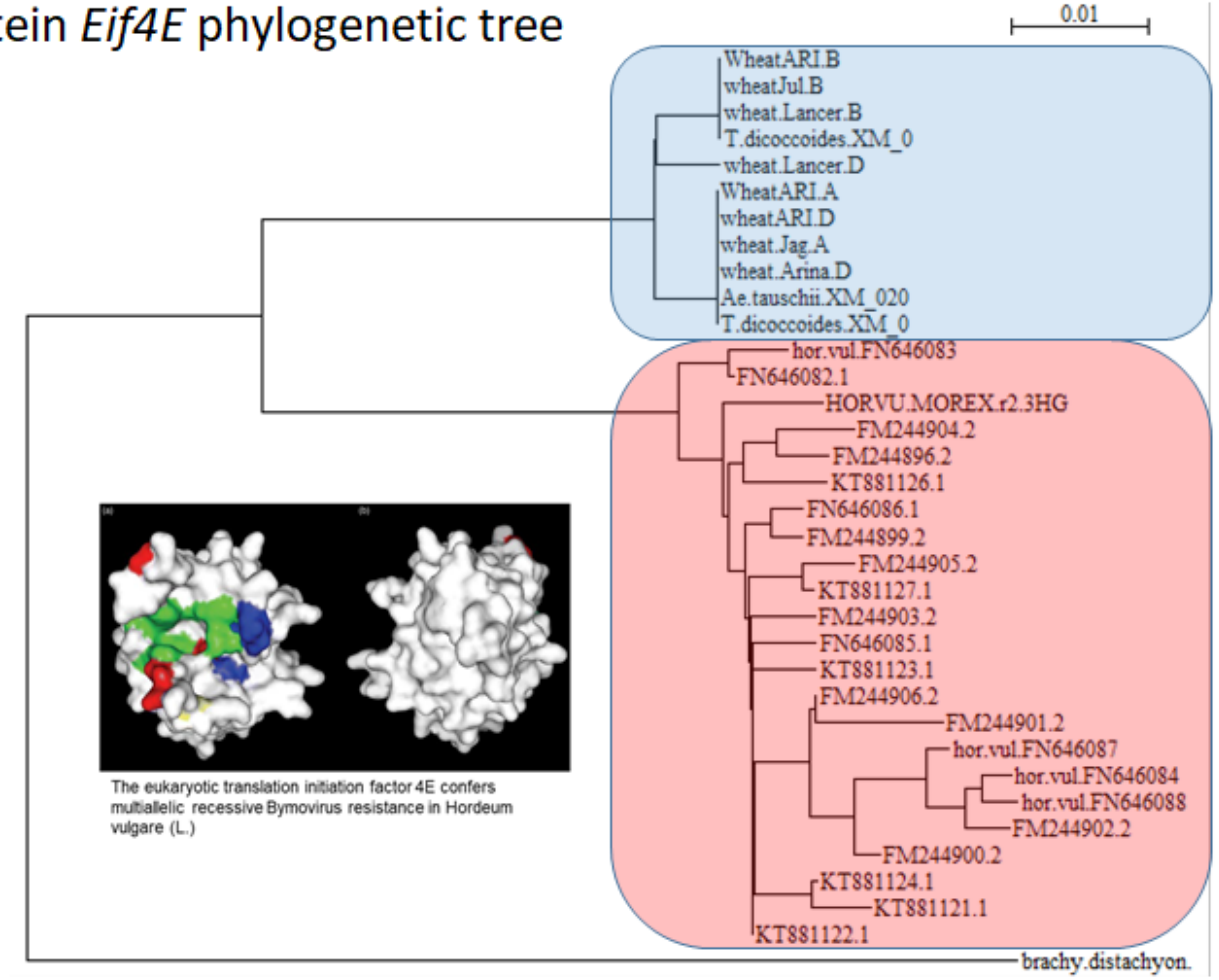
ASSOCIATION DES SÉLECTIONNEURS FRANÇAIS

ACADÉMIE d'AGRICULTURE de FRANCE
AGRICULTURE ▪ ALIMENTATION ▪ ENVIRONNEMENT



Rapide évolution de la protéine *eiF4E* de l'orge

Protein *Eif4E* phylogenetic tree



The eukaryotic translation initiation factor 4E confers multiallelic recessive Bymovirus resistance in Hordeum vulgare (L.)

Blé(s) — Pas de signal évolutif

Orge — Recrutement rapide et répété de mutants de résistance aux *bymovirus*

ASSOCIATION DES SÉLECTIONNEURS FRANÇAIS

ACADÉMIE d'AGRICULTURE de FRANCE
AGRICULTURE ▪ ALIMENTATION ▪ ENVIRONNEMENT

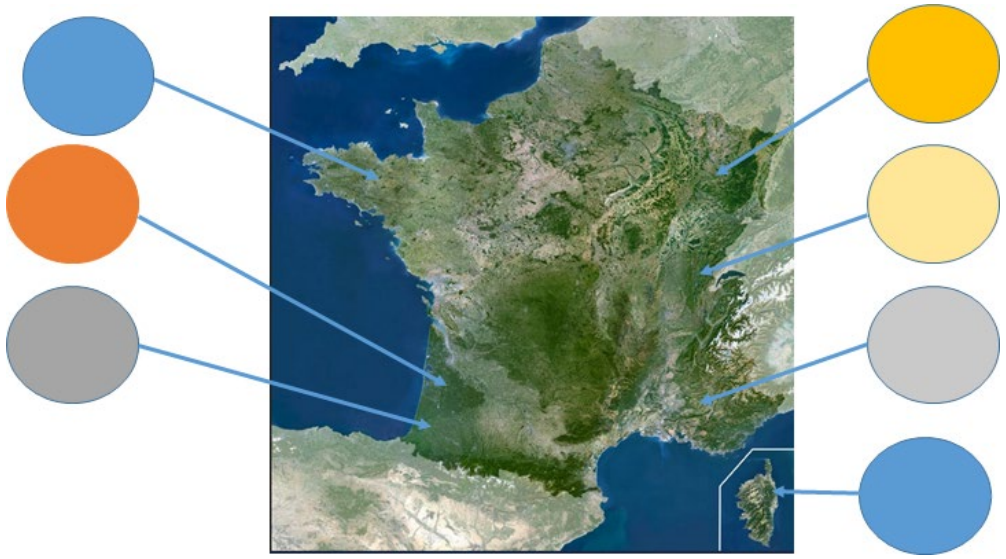
Créer et Gérer une ressource commune ?

Des acquis

- gestion dynamique Blé tendre
- programme de sélection participative avec les agriculteurs.

Des questions ouvertes

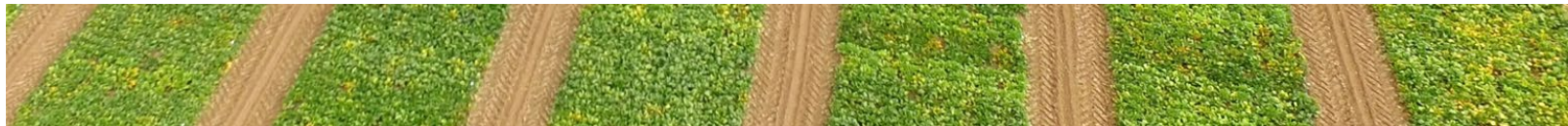
Quelle serait la taille d'un réseau à gérer pour assurer une dynamique durable ? Les environnements ? les pratiques ?



Effectif démographique : 1 ha

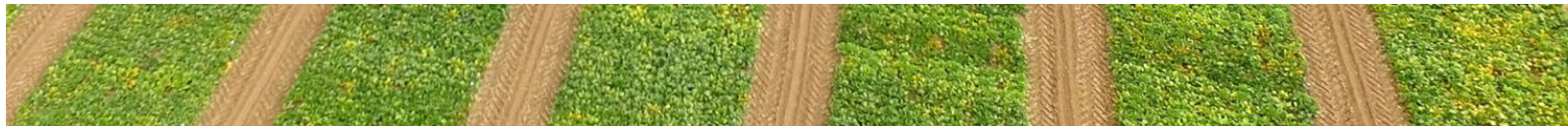
- Blé : 2 millions / ha
- Maïs : 100 000 / ha

Quelle taille efficace ? Quels taux de mutation ? Quels taux de sélection ?



Merci !

ASSOCIATION DES SÉLECTIONNEURS FRANÇAIS

ACADÉMIE d'AGRICULTURE de FRANCE

AGRICULTURE ▪ ALIMENTATION ▪ ENVIRONNEMENT