



13 & 14 Mars 2018



**E
P
I
G
E
N**

L'épigénétique dans la réponse du vivant

aux facteurs environnementaux

Session 1 - Attentes des acteurs des secteurs d'applications

Etat des lieux de l'épigénétique en amélioration végétale et perspectives

Stéphane MAURY, Université Orléans INRA

Etienne BUCHER, IRHS INRA

Pierre DEVAUX, Florimond Desprez



**FLORIMOND
DESPREZ**



INRA
SCIENCE & IMPACT

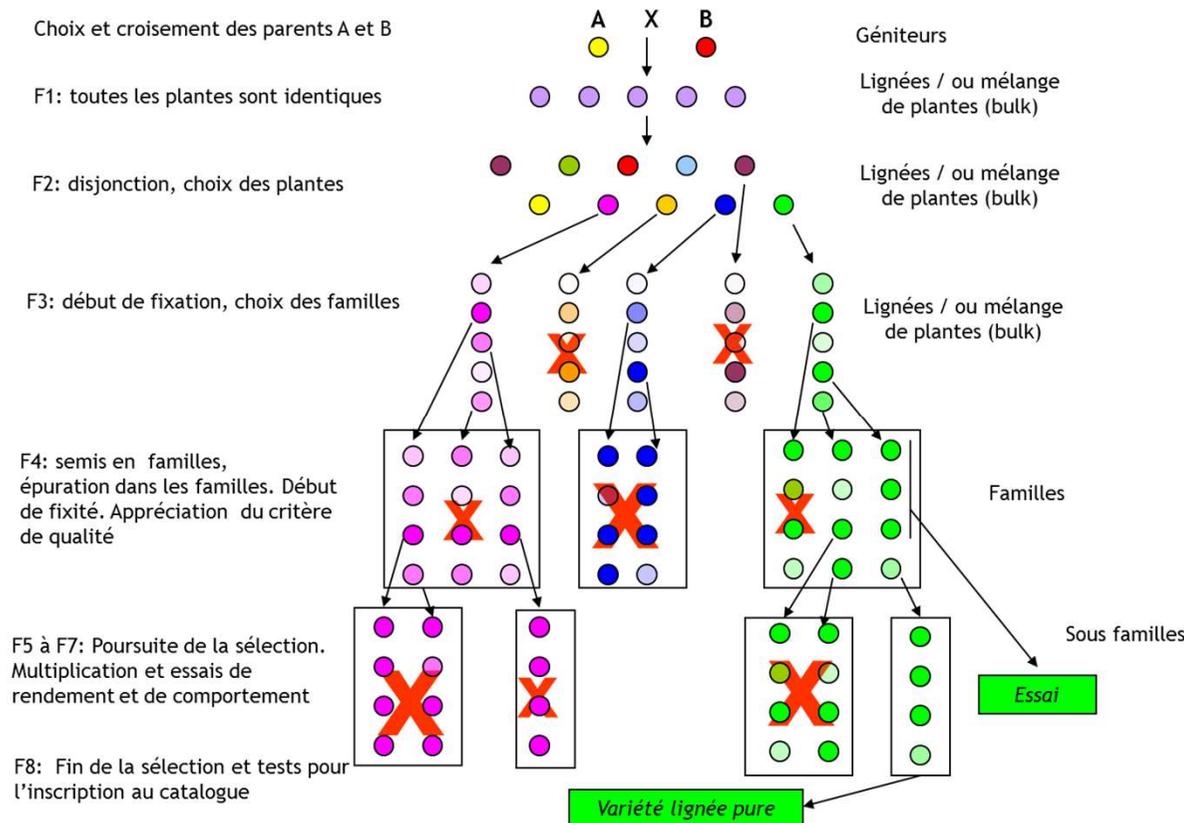


UNIVERSITE D'ORLEANS



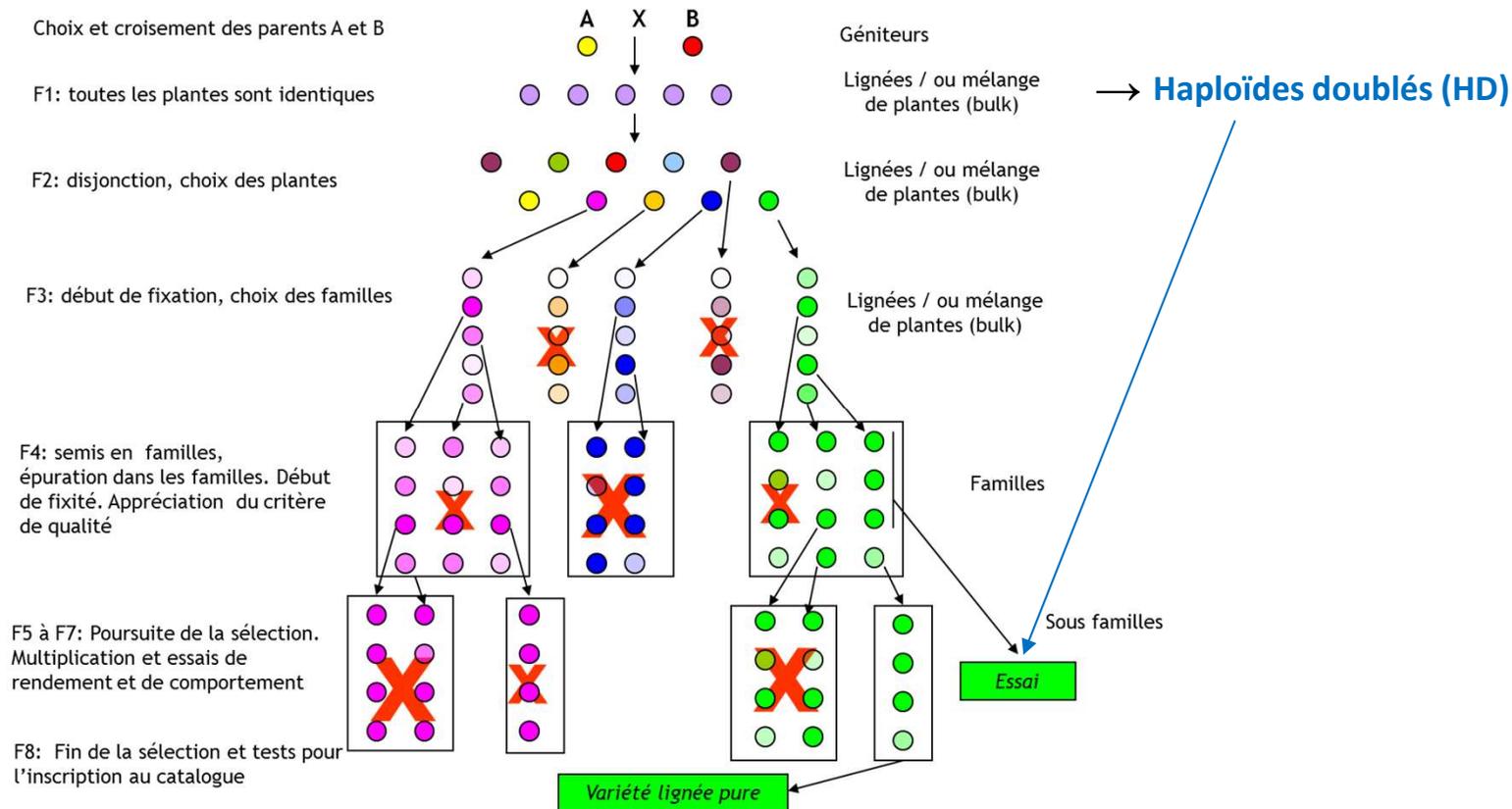
Institut de Recherche en
Horticulture et Semences

FD: Historique implications études épigénétiques



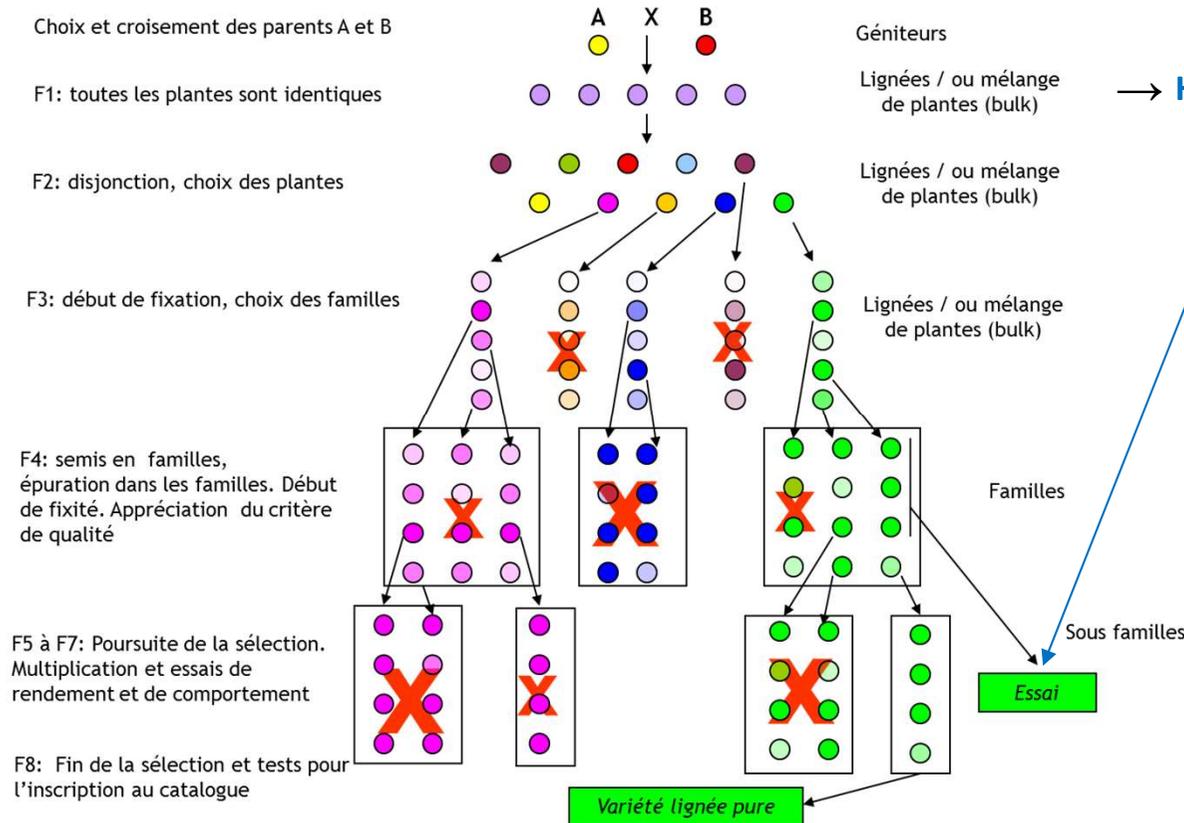
Source: GNIS (C. Watremez)

FD: Historique implications études épigénétiques



Source: GNIS (C. Watremez)

FD: Historique implications études épigénétiques



→ Haploïdes doublés (HD)

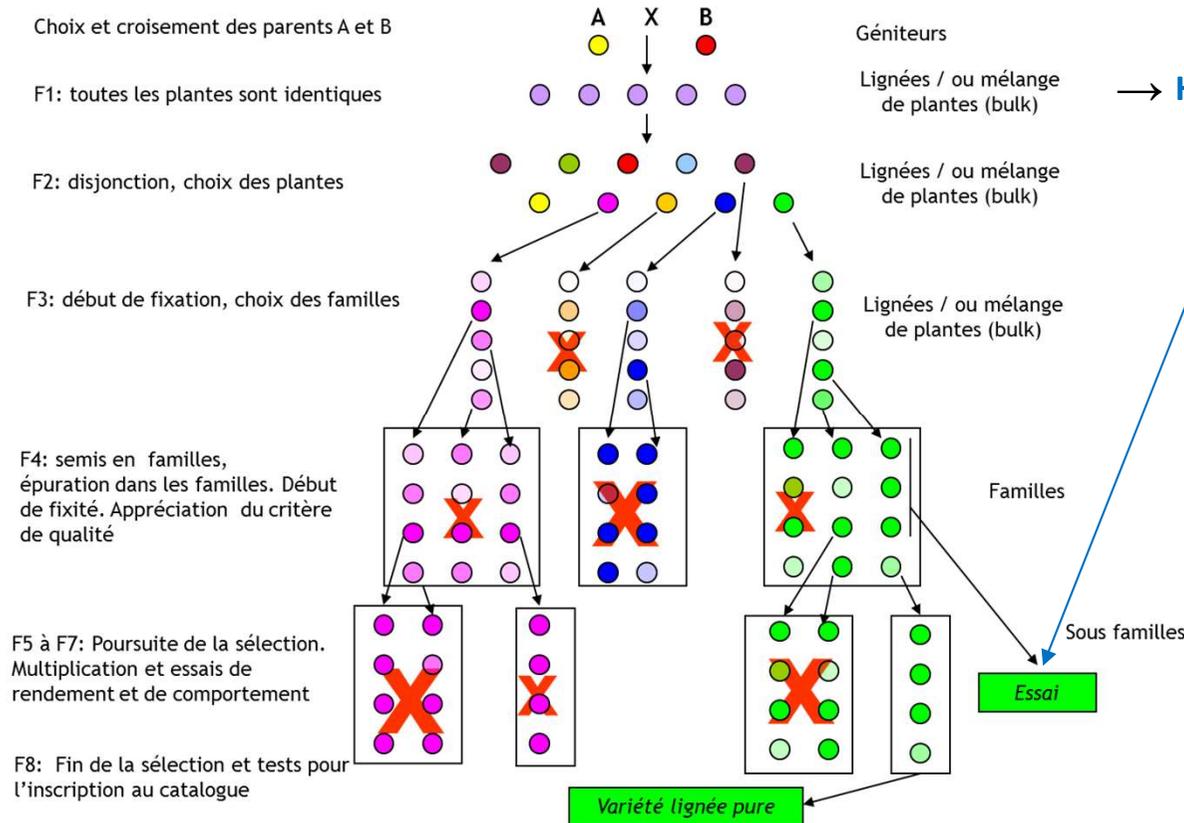
Y a-t-il des modifications épigénétiques induites chez l'HD?
Si oui, des différences existent-elles entre les méthodes d'haplodiploïdisation?



Devaux P et al (1993) Mol Gen Genet 241:674-679

Source: GNIS (C. Watremez)

FD: Historique implications études épigénétiques



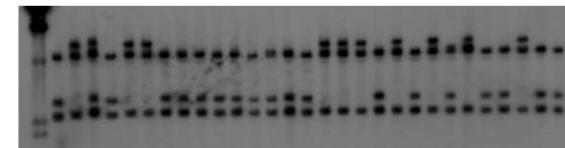
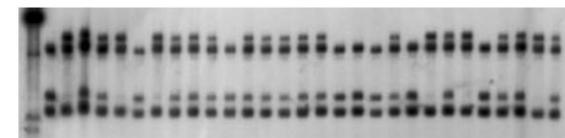
→ Haploïdes doublés (HD)

Y a-t-il des modifications épigénétiques induites chez l'HD?
Si oui, des différences existent-elles entre les méthodes d'haplodiploïdisation?



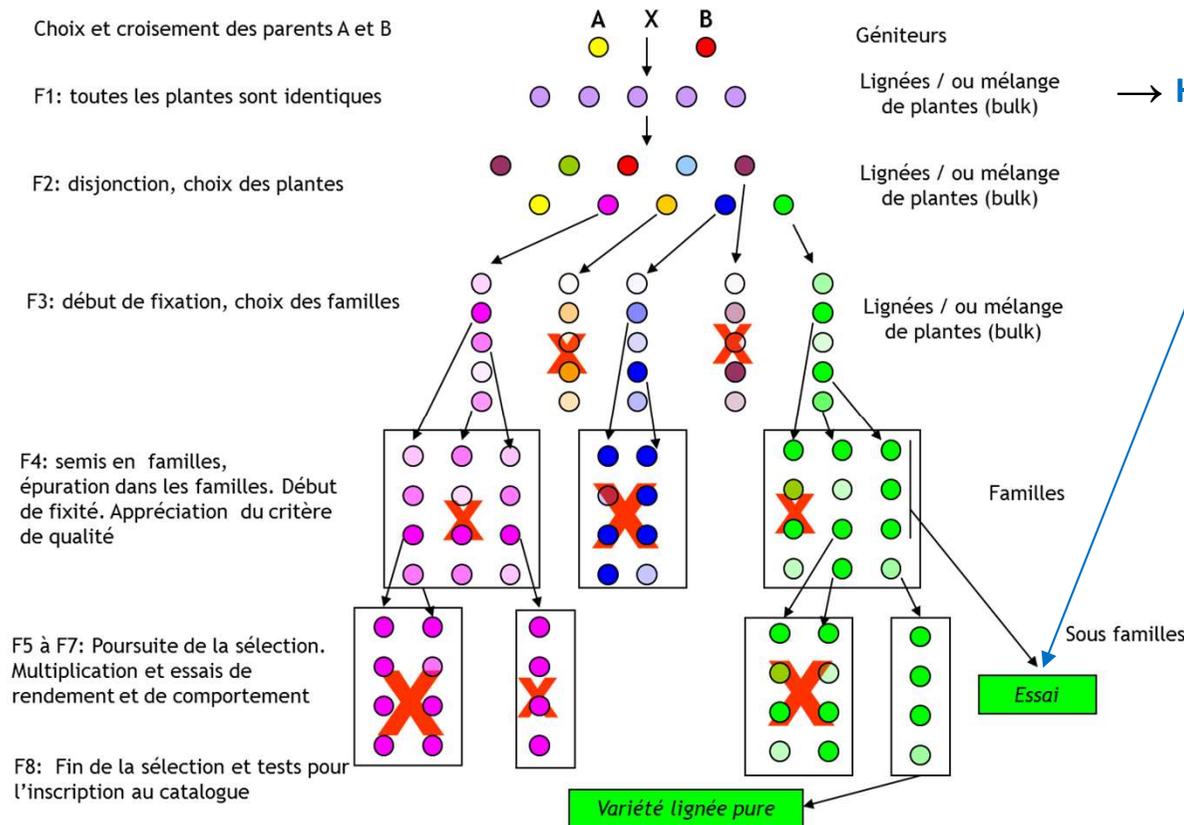
Devaux P et al (1993) Mol Gen Genet 241:674-679

Ces modifications épigénétiques sont-elles transmissibles aux générations suivantes et comment ségrégent-elles?



Source: GNIS (C. Watremez)

FD: Historique implications études épigénétiques



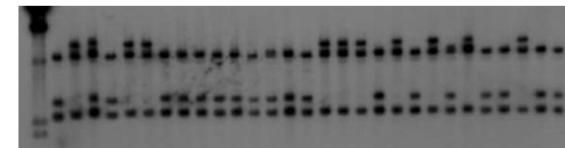
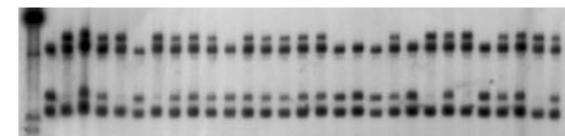
→ Haploïdes doublés (HD)

Y a-t-il des modifications épigénétiques induites chez l'HD?
Si oui, des différences existent-elles entre les méthodes d'haplodiploïdisation?



Devaux P et al (1993) Mol Gen Genet 241:674-679

Ces modifications épigénétiques sont-elles transmissibles aux générations suivantes et comment ségrégent-elles?



Source: GNIS (C. Watremez)

Marqueurs épigénétiques de l'aptitude à la régénération et à la montée à graine chez la betterave sucrière – Equipe Stéphane Maury

Plasticité phénotypique et épigénétique



Les variétés d'une espèce comme le blé tendre sont plus ou moins souples vis-à-vis des conditions environnementales et climatiques

Cette plasticité phénotypique est actuellement évaluée en conditions de culture au champ:

- Essais multi locaux
- Essais pluri annuels



Session 1 - Attentes des acteurs des secteurs d'applications

Etat des lieux de l'épigénétique en amélioration végétale et prospectives

Stéphane MAURY, Université Orléans INRA

Etienne BUCHER, IRHS INRA

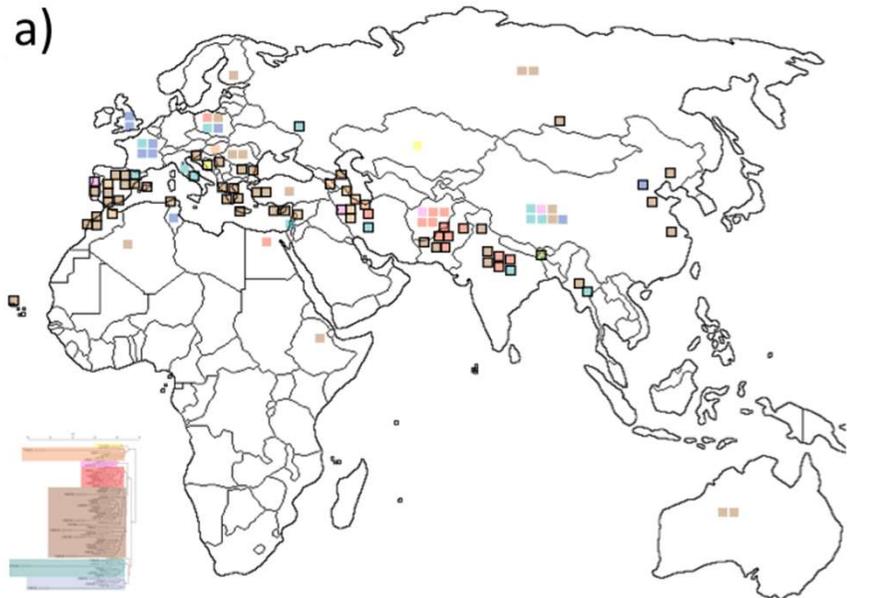
Pierre DEVAUX, Florimond Desprez

Adebitech / EPIGEN 2018

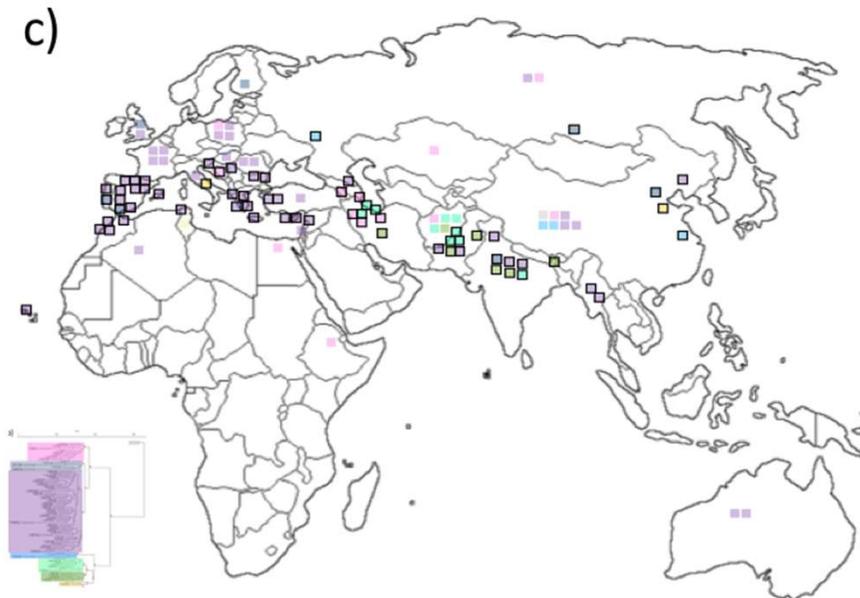


Epigenomic profile of wheat links to local adaptation

Samples color coded by **SMP** clusters



Samples color coded by **SNP** clusters



Courtesy: Laura Gardiner  Earlham Institute

 13 & 14 Mars 2018



L'épigénétique dans la réponse du vivant
aux facteurs environnementaux

EPIGEN

Session 1 - Attentes des acteurs des secteurs d'applications

Etat des lieux de l'épigénétique en amélioration végétale et prospectives

Stéphane MAURY, Université Orléans INRA

Etienne BUCHER, IRHS INRA

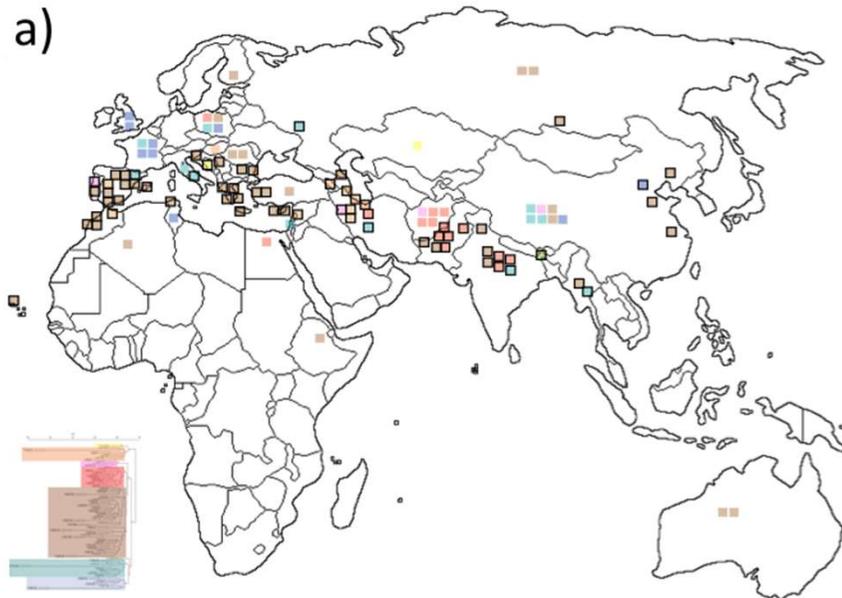
Pierre DEVAUX, Florimond Desprez

Adebiotech / EPIGEN 2018



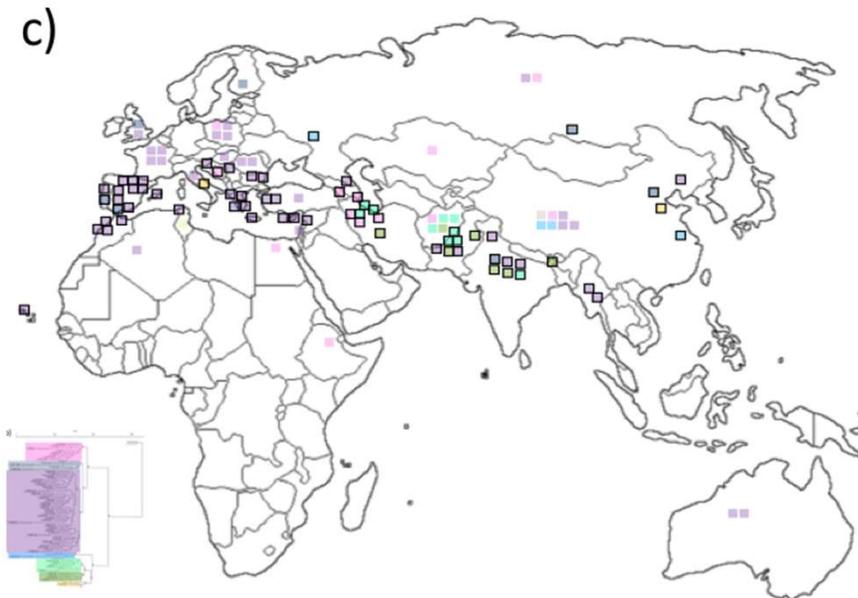
Epigenomic profile of wheat links to local adaptation

Samples color coded by **SMP** clusters



Samples within a country show higher linkage

Samples color coded by **SNP** clusters

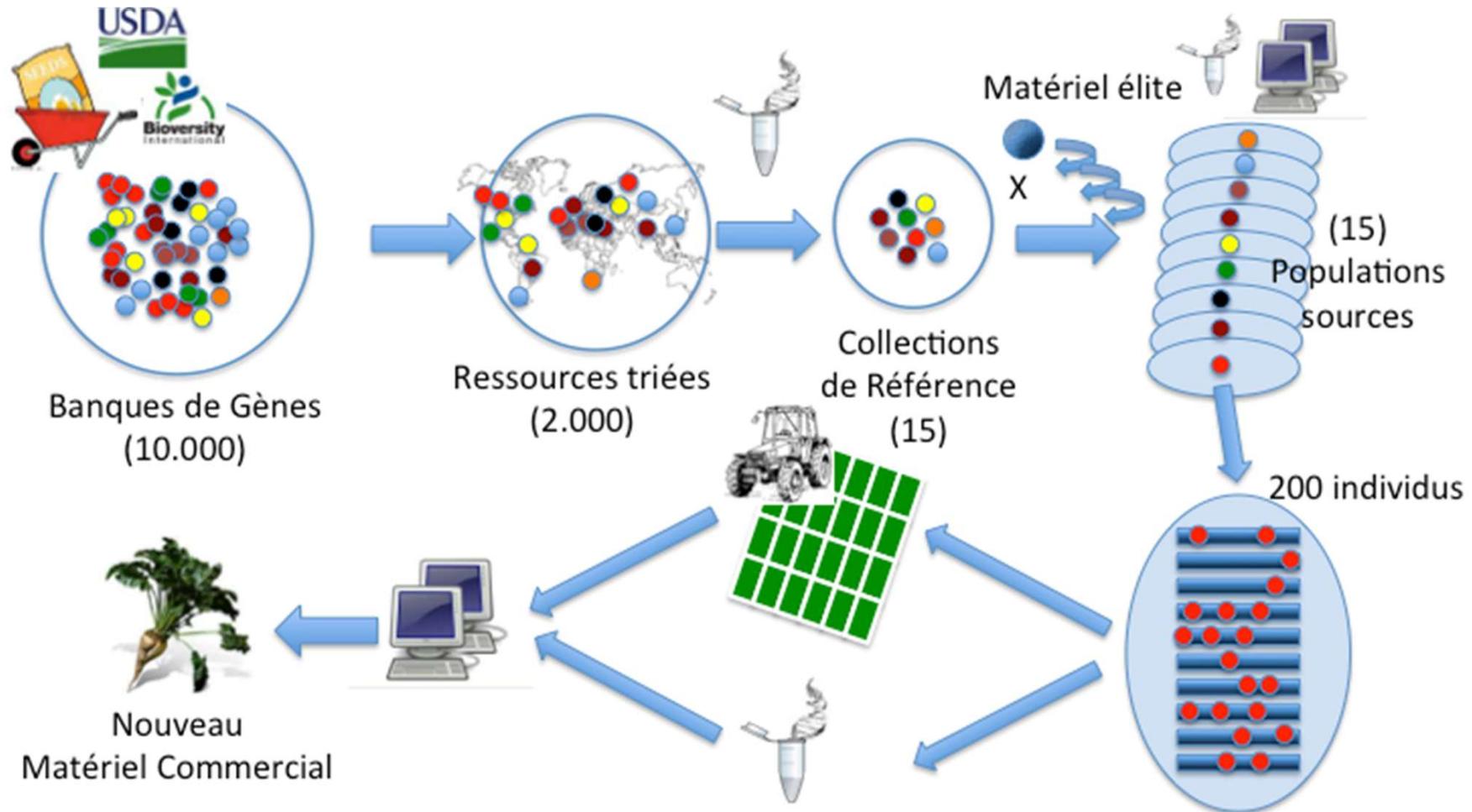


Samples show linkage across wider areas
i.e. cluster into a European and Asian group

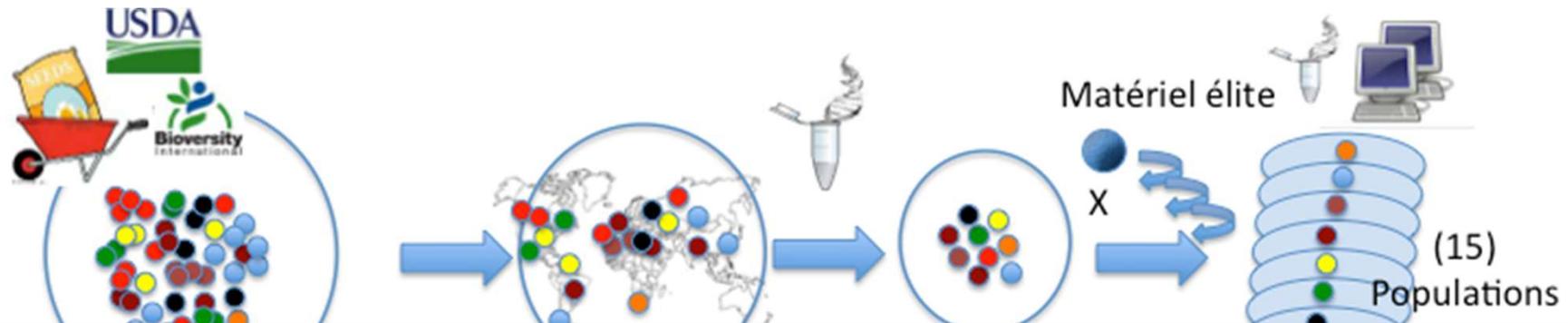
- Methylation could act as a fast-adaptative response to environmental stimulus
- Methylation may play a role in the co-ordination of heading date

Courtesy: Laura Gardiner  Earlham Institute

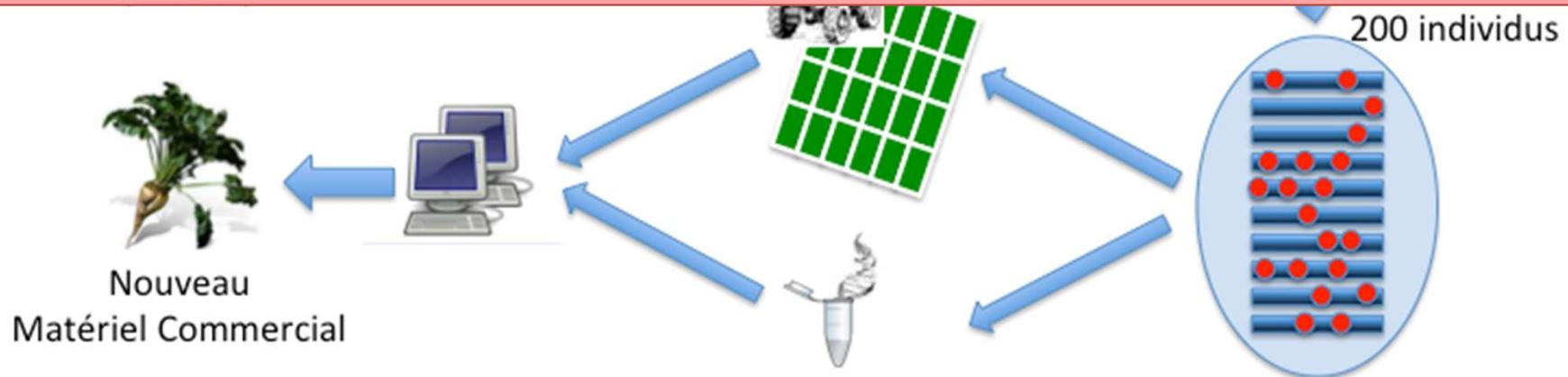
Utilisation des RG pour l'amélioration de la betterave sucrière: Le programme AKER



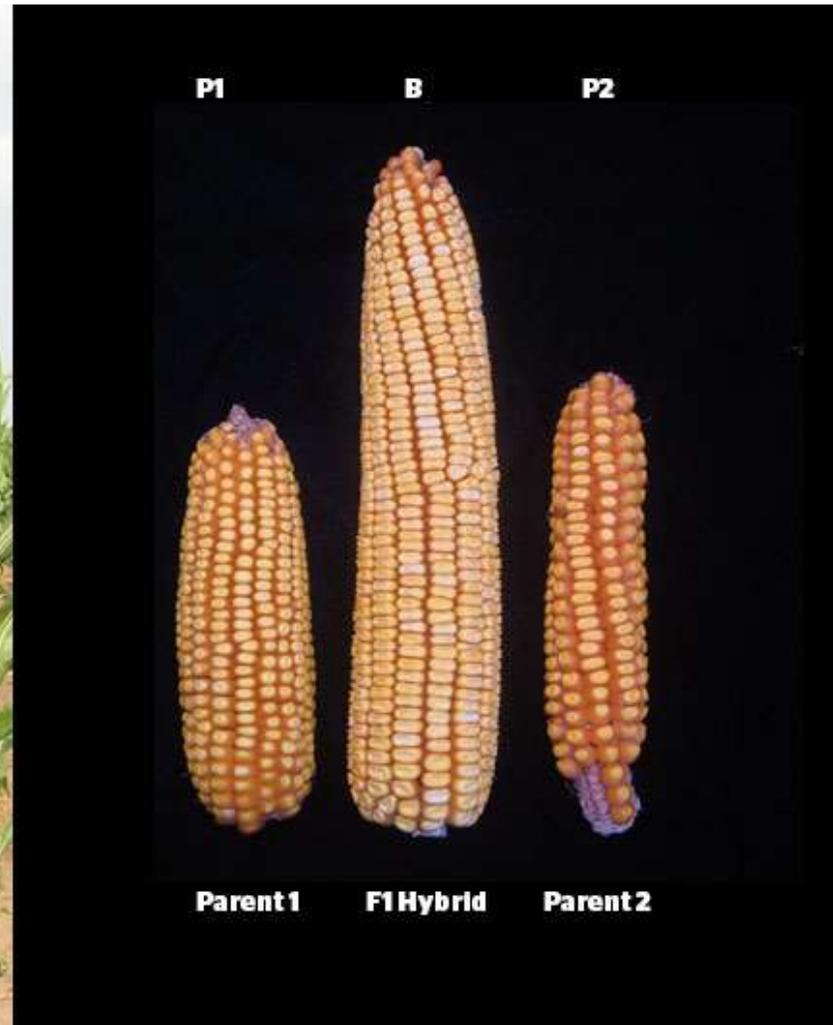
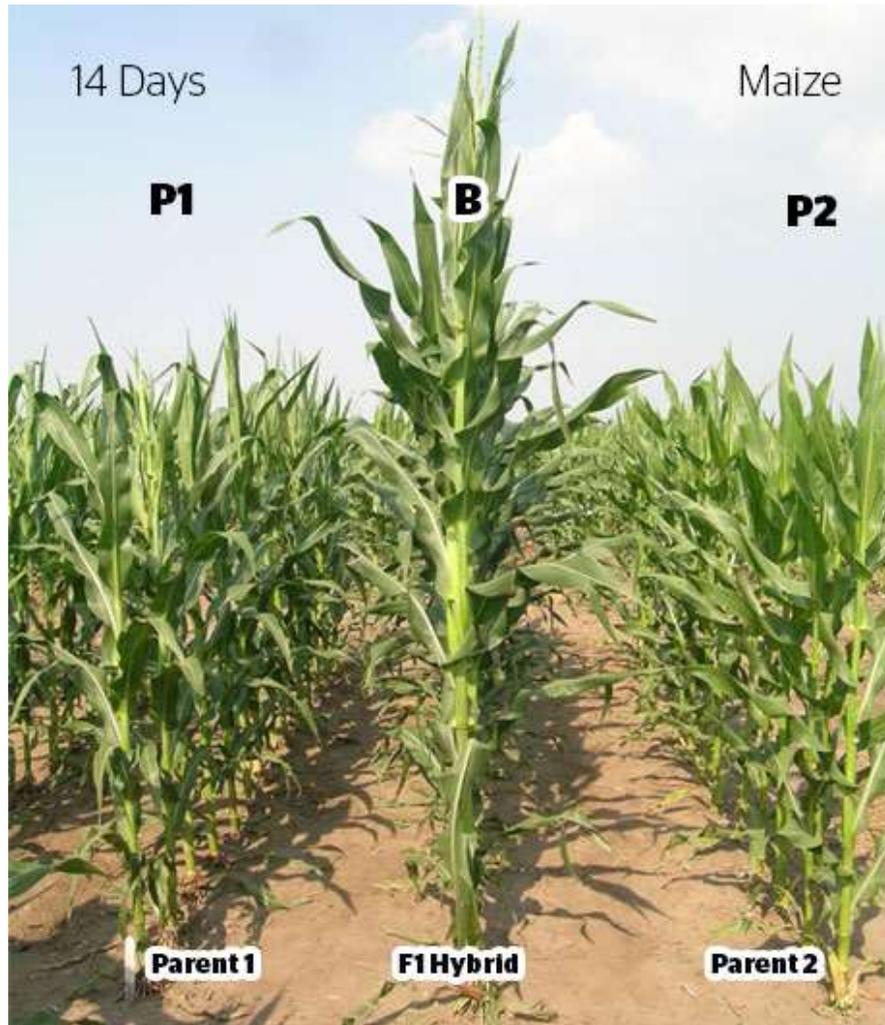
Utilisation des RG pour l'amélioration de la betterave sucrière: Le programme AKER



Séquences intergéniques, histones et ARNnc ne sont pas toujours conservés entre les accessions sauvages et les formes cultivées. Il est donc possible que le caractère d'origine ne soit pas correctement exprimé dans un fonds élite \Rightarrow analyses épigénétiques?



Epigénétique et hétérosis



Epigénétique et hétérosis

14 Days Maize

P1 B P2

P1 B P2

Parent 1 F1 Hybrid Parent 2

Parent 1 F1 Hybrid Parent 2

- Hétérosis ou vigueur hybride évalué empiriquement par les tests de FC
- Bases moléculaires de l'hétérosis restent encore peu élucidées
- Interactions alléliques entre les génomes des parents → modification de programmation des gènes liés à la croissance, tolérance au stress, etc.
- Quel est la part de l'épigénétique dans l'hétérosis chez les plantes?



13 & 14 Mars 2018



E
P
I
G
E
N

L'épigénétique dans la réponse du vivant

aux facteurs environnementaux

Session 1 - Attentes des acteurs des secteurs d'applications

Etat des lieux de l'épigénétique en amélioration végétale et perspectives

Stéphane MAURY, Université Orléans INRA

Etienne BUCHER, IRHS INRA

Pierre DEVAUX, Florimond-Desprez



FLORIMOND
DESPREZ



INRA
SCIENCE & IMPACT



UNIVERSITE D'ORLEANS



IRHS
Institut de Recherche en
Horticulture et Semences

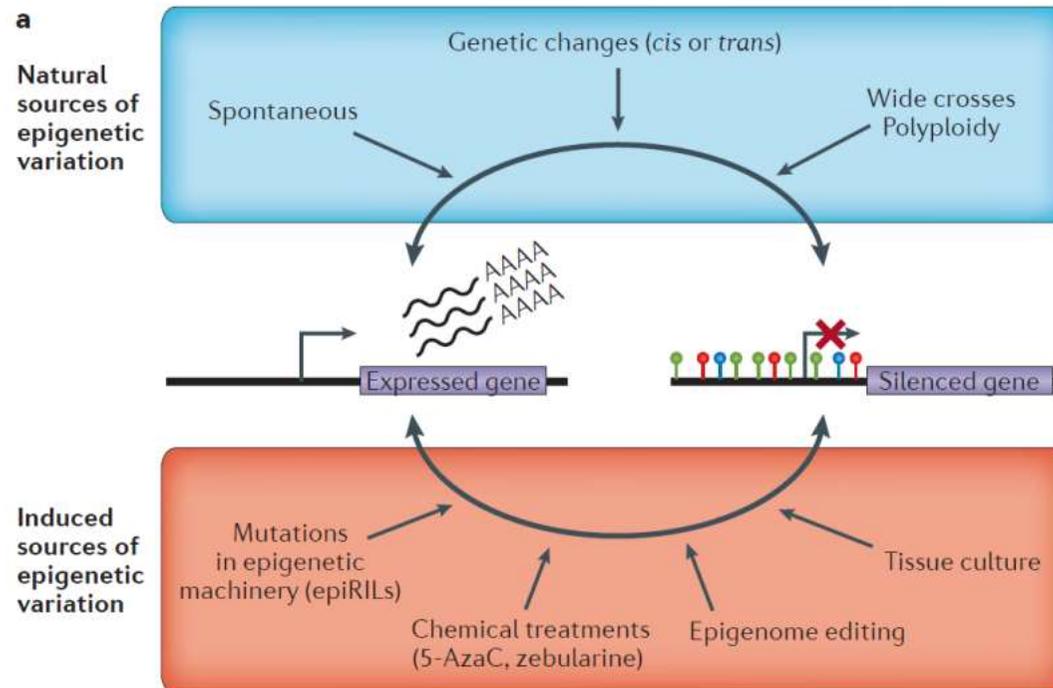
Exploiter l'épigénétique en amélioration des plantes

NATURE REVIEWS | GENETICS

VOLUME 10 | SEPTEMBER 2017 | 563

Exploiting induced and natural epigenetic variation for crop improvement

Nathan M. Springer¹ and Robert J. Schmitz²



Les défis de l'épigénétique en amélioration



POSITION PAPER



February 2017

Epigenetics in plant breeding

5 défis :

1. Comment **mieux définir** les états épigénétiques ?
2. Quelle **stabilité** : de transitoire à trans-générationnel ?
3. Quels **facteurs** pour induire de la variabilité épigénétique ?
4. Quels **loci cibles** pour l'amélioration ?
5. Comment favoriser **une démarche translationnelle efficace** ?

 13 & 14 Mars 2018



L'épigénétique dans la réponse du vivant aux facteurs environnementaux

EPIGEN

Session 1 - Attentes des acteurs des secteurs d'applications

Etat des lieux de l'épigénétique en amélioration végétale et prospectives

Stéphane MAURY, Université Orléans INRA

Etienne BUCHER, IRHS INRA

Adebiotech / EPIGEN 2018

 FLORIMOND DESPREZ

 INRA SCIENCE & IMPACT

 IRHS Institut de Recherche en Horticulture et Semenciers

http://www.gisbiotechnologiesvertes.com/fr/publications/position-paper-epigenetics-in-plant-breeding?acm=8675_49

10 ans de travaux collaboratifs sur betterave sucrière : SES-VanderHave/LBLGC (2003-2013)



Pierre Devaux



Steve Barnes
Marc Lefebvre
Glenda Willems
Guy Weyens



Stéphane Maury
Claude Joseph
Alain Delaunay
Adisa Causevic (Thèse MAE)
Marie-Véronique Trap-Gentil (Thèse Région-entreprise)
Claire Hébrad (Thèse Cifre)



Projet 1 : Marqueurs du potentiel de morphogénèse *in vitro*

Projet 2 : Marqueurs de la tolérance à la montaison

Projet 3 : Limagrain et hétérosis maïs

Maury et al., 2014



Session 1 - Attentes des acteurs des secteurs d'applications

Etat des lieux de l'épigénétique en amélioration végétale et prospectives

Stéphane MAURY, Université Orléans INRA

Etienne BUCHER, IRHS INRA

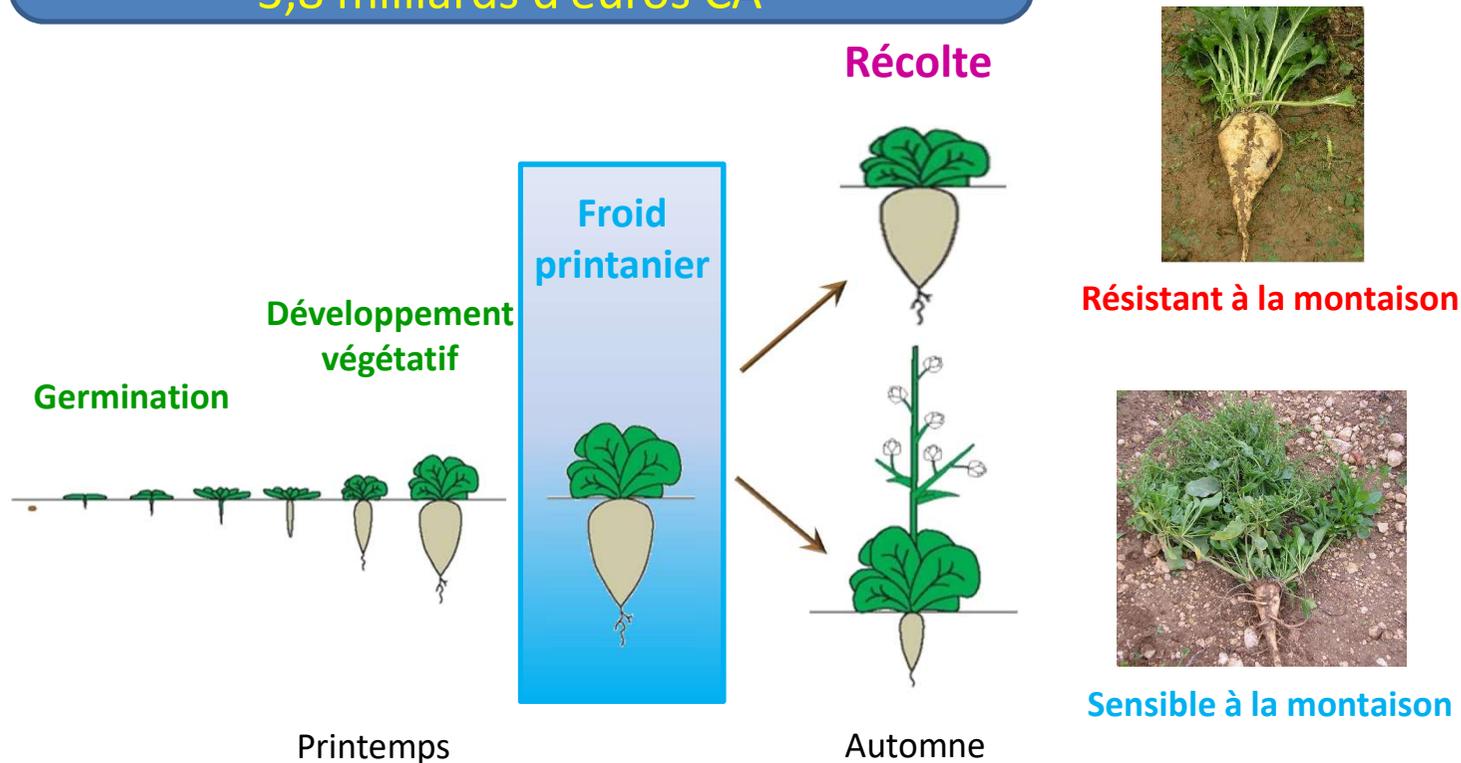
Pierre DEVAUX, Florimond-Desprez

Adebitech / EPIGEN 2018



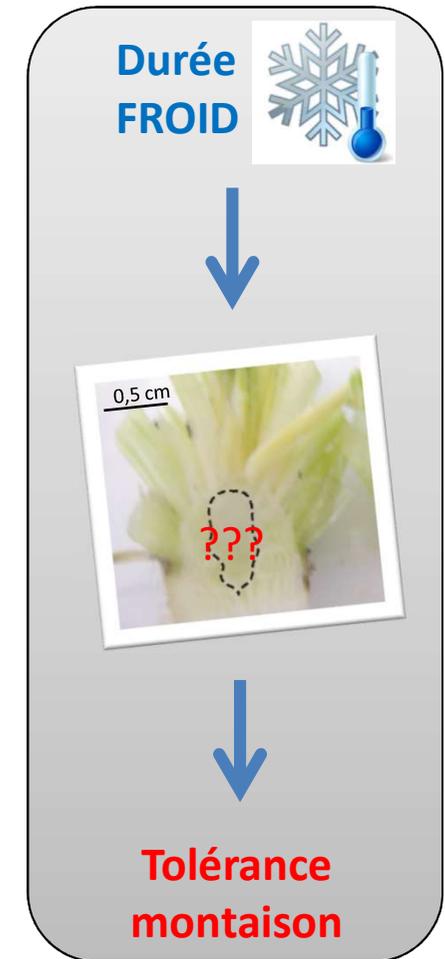
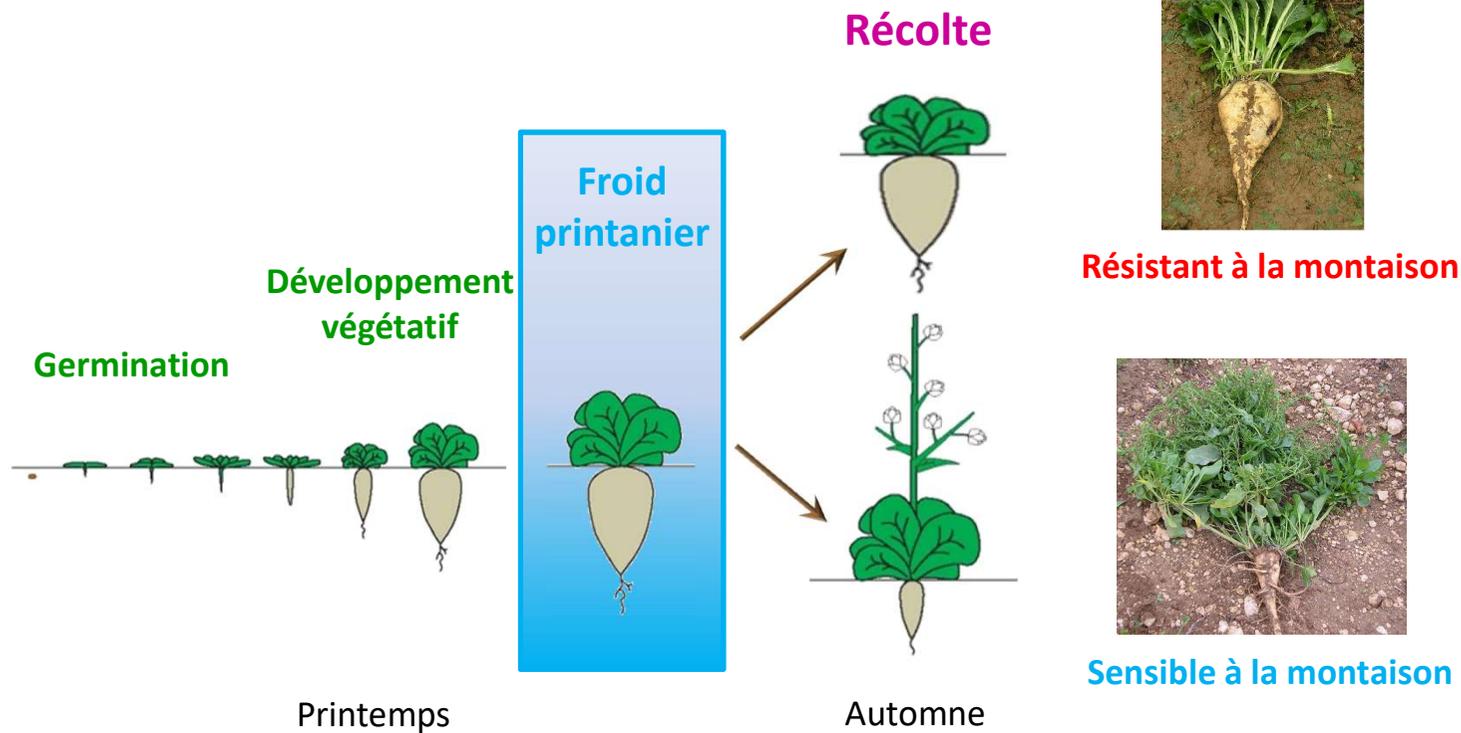
La tolérance à la montaison : un trait agronomique

France : 1^{er} producteur mondial
45 000 emplois
3,8 milliards d'euros CA



La tolérance à la montaison : un trait agronomique

France : 1^{er} producteur mondial
45 000 emplois
3,8 milliards d'euros CA



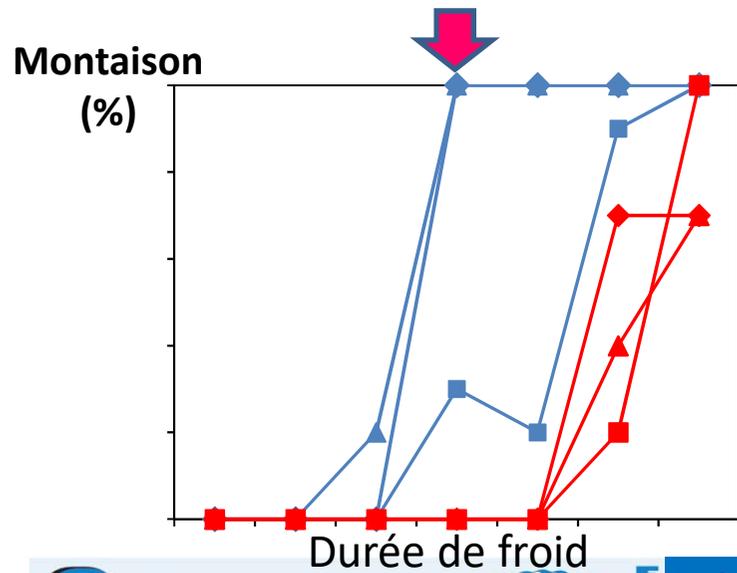
Tolérance à la montaison et hérédité manquante



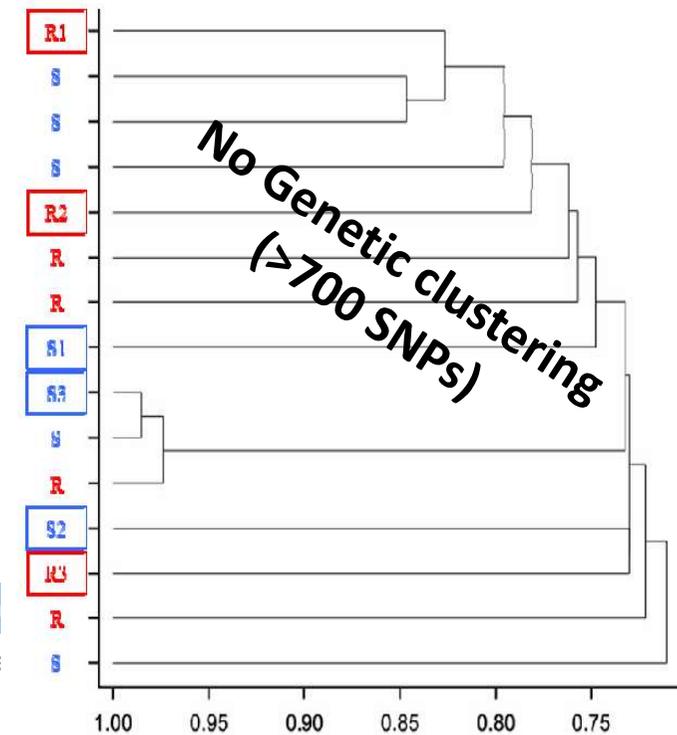
Tolérance à la montaison et hérédité manquante



PHENOTYPE

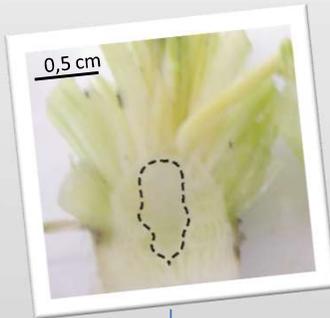


GENOTYPE



Tolérance à la montaison : environnement , hormones et épigénétique

6 génotypes : 3 R et 3S



ADN génomique et MeDIP-chip

- 227 000 cibles analysées
- 111 DMRs : phytohormones, réponse environnement (froid) et montaison/floraison

Causevic, 2005; Causevic et al., 2005; Causevic et al., 2006, Gentil and Maury, 2008; Trap-Gentil 2009; Trap-gentil et al., 2011; Maury et al., 2012, Hébrard, 2012; Hébrard et al., 2013; Maury et al., 2014; Hébrard et al., 2016



Session 1 - Attentes des acteurs des secteurs d'applications

Etat des lieux de l'épigénétique en amélioration végétale et prospectives

Stéphane MAURY, Université Orléans INRA

Etienne BUCHER, IRHS INRA

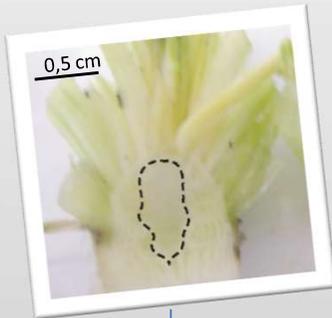
Pierre DEVAUX, Florimond-Desprez

Adebiotech / EPIGEN 2018



Tolérance à la montaison : environnement , hormones et épigénétique

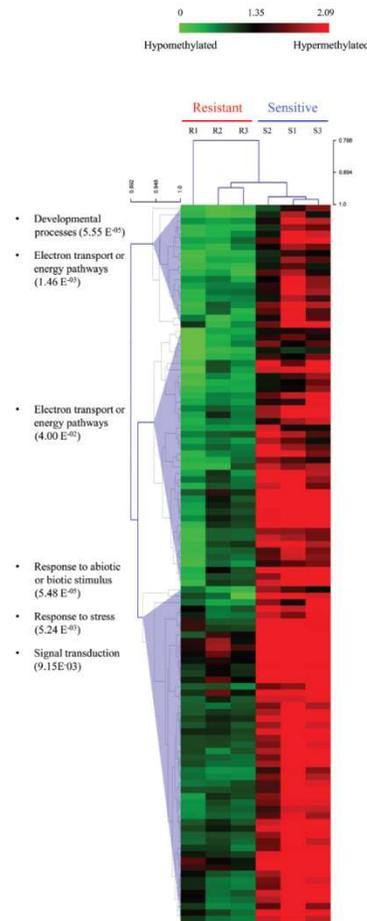
6 génotypes : 3 R et 3 S



ADN génomique et MeDIP-chip

➤ 227 000 cibles analysées

➤ 111 DMRs : phytohormones, réponse environnement (froid) et montaison/floraison



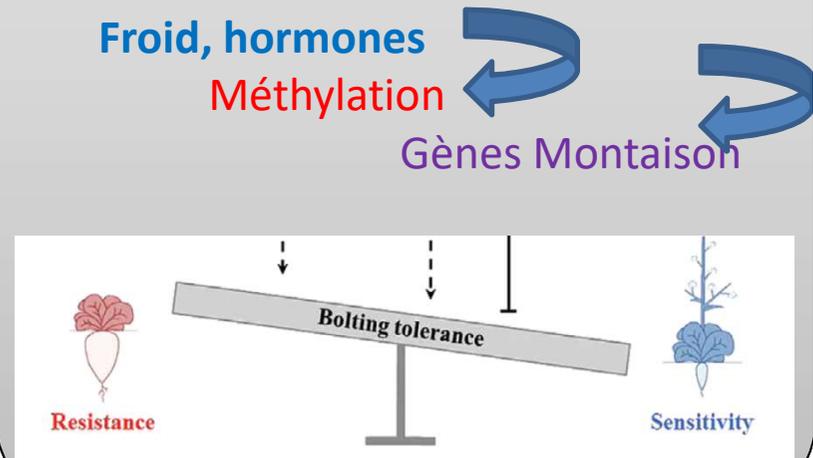
Journal of Experimental Botany Advance Access published October 13, 2015

Journal of Experimental Botany
doi:10.1093/jxb/erv449
This paper is available online free of all access charges (see http://jxb.oxfordjournals.org/open_access.html for further details)

RESEARCH PAPER

Epigenomics and bolting tolerance in sugar beet genotypes

Claire Hébrard^{1,2,3,*}, Daniel G. Peterson⁴, Glenda Willems³, Alain Delaunay^{1,2}, Béline Jesson⁵, Marc Lefebvre³, Steve Barnes³ and Stéphane Maury^{1,2,1}



Causevic, 2005; Causevic et al., 2005; Causevic et al., 2006; Gentil and Maury, 2008; Trap-Gentil 2009; Trap-gentil et al., 2011; Maury et al., 2012; Hébrard, 2012; Hébrard et al., 2013; Maury et al., 2014; Hébrard et al., 2016

adebiotech
13 & 14 Mars 2018
L'épigénétique dans la réponse du vivant aux facteurs environnementaux

Session 1 - Attentes des acteurs des secteurs d'applications

Etat des lieux de l'épigénétique en amélioration végétale et prospectives
Stéphane MAURY, Université Orléans INRA
Etienne BUCHER, IRHS INRA
Pierre DEVAUX, Florimond-Desprez

Adebiotech / EPIGEN 2018

10 ans de travaux collaboratifs sur arbres: LBLGC (2008-2018)



INRA Orléans
INRA Nancy
INRA Bordeaux
FCBA
RTP3E
GDR PP

Stéphane Maury
Alain Delaunay
Régis Fichot
Clément Lafon-Placette (Thèse Région)
Anne-Laure Le Gac (Thèse MRT)
Mamadou Dia Sow (Thèse MRT)

Projet 1 : Plasticité phénotypique peuplier et contrainte hydrique

Projet 2 : Embryogenèse somatique et canicule

Plomion et al 2016



Session 1 - Attentes des acteurs des secteurs d'applications

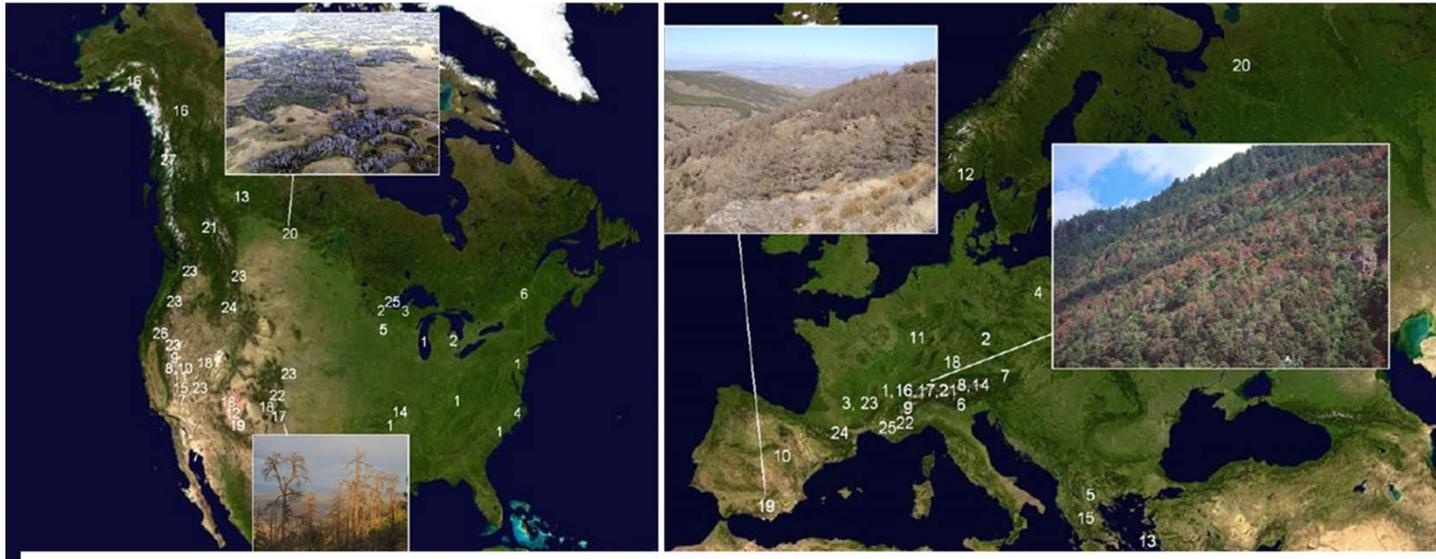
Etat des lieux de l'épigénétique en amélioration végétale et prospectives

Stéphane MAURY, Université Orléans INRA
Etienne BUCHER, IRHS INRA
Pierre DEVAUX, Florimond-Desprez

Adebiotech / EPIGEN 2018



Changement climatique et déclin de la forêt



Mort
Migration
Adaptation
Plasticité

Allen *et al*, 2010

Ecology and Evolution

Open Access

PEUPLIER : arbre modèle

Epigenetic regulation of adaptive responses of forest tree species to the environment

Katharina Bräutigam¹, Kelly J. Vining², Clément Lafon-Placette³, Carl G. Fossdal⁴, Marie Mirouze⁵, José Gutiérrez Marcos⁶, Silvia Fluch⁷, Mario Fernández Fraga⁸, M. Ángeles Guevara^{9,10}, Dolores Abarca¹¹, Øystein Johnsen¹², Stéphane Maury³, Steven H. Strauss², Malcolm M. Campbell^{1,13}, Antje Rohde¹⁴, Carmen Díaz-Sala¹¹ & María-Teresa Cervera^{9,10}



adebiotech
13 & 14 Mars 2018

EPIGEN

L'épigénétique dans la réponse du vivant aux facteurs environnementaux

Session 1 - Attentes des acteurs des secteurs d'applications

Etat des lieux de l'épigénétique en amélioration végétale et prospectives
Stéphane MAURY, Université Orléans INRA
Etienne BUCHER, IRHS INRA
Pierre DEVAUX, Florimond-Desprez

Adebiotech / EPIGEN 2018

FLORIMOND DESPREZ

INRA
SCIENCE & IMPACT

IRHS
Institut de Recherche en Horticulture et Semences

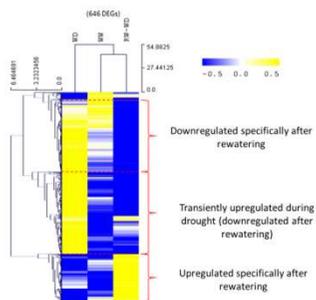
UNIVERSITÉ D'ORLÉANS

Plasticité : hormones et épigénétique

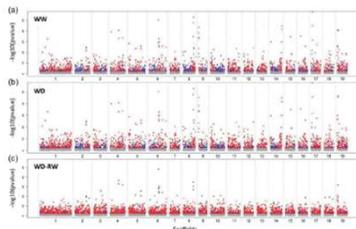
phénotypage



transcriptomique



épigénomique



Journal of Experimental Botany, Vol. 69, No. 3 pp. 537–551, 2018
doi:10.1093/jxb/erx409 Advance Access publication 2 December 2017



RESEARCH PAPER

Changes in the epigenome and transcriptome of the poplar shoot apical meristem in response to water availability affect preferentially hormone pathways

Clément Lafon-Placette^{1,*}, Anne-Laure Le Gac¹, Didier Chauveau², Vincent Segura³, Alain Delaunay¹, Marie-Claude Lesage-Descauses³, Irène Hummel⁴, David Cohen⁵, Béline Jesson⁶, Didier Le Thiec⁴, Marie-Béatrice Bogeat-Triboulot⁴, Franck Brignolas¹, and Stéphane Maury^{1,†}

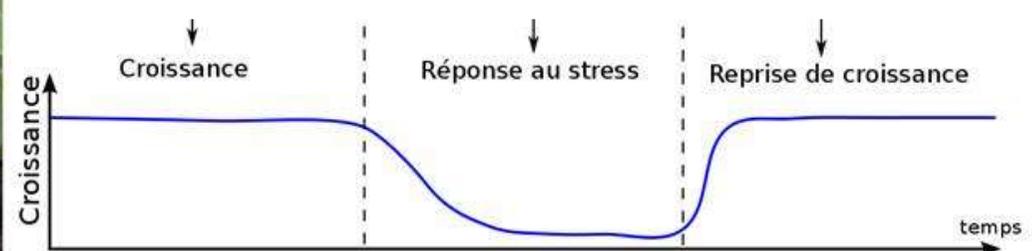
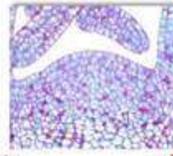
↑ Cytosine méthylée

Conditions 'optimales'

Stress

Retour aux conditions initiales

Méristème apical caulinaire (cellules en division) assure la croissance et morphogenèse de la tige feuillée

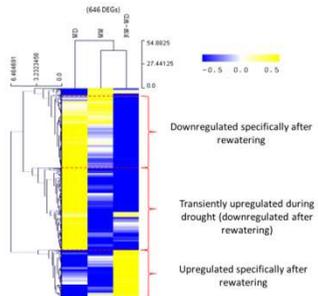


Plasticité : hormones et épigénétique

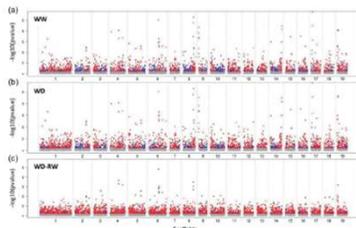
phénotypage



transcriptomique



épigénomique



Journal of Experimental Botany, Vol. 69, No. 3 pp. 537–551, 2018
doi:10.1093/jxb/erx409 Advance Access publication 2 December 2017

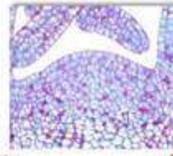
RESEARCH PAPER

Changes in the epigenome and transcriptome of the poplar shoot apical meristem in response to water availability affect preferentially hormone pathways

Clément Lafon-Placette^{1,*}, Anne-Laure Le Gac¹, Didier Chauveau², Vincent Segura³, Alain Delaunay¹, Marie-Claude Lesage-Descauses², Irène Hummel¹, David Cohen⁴, Béline Jesson⁵, Didier Le Thiec⁴, Marie-Béatrice Bogeat-Triboulot⁴, Franck Brignolas¹, and Stéphane Maury^{1,†}

↑ Cytosine méthylée

Méristème apical caulinaire (cellules en division) assure la croissance et morphogenèse de la tige feuillée

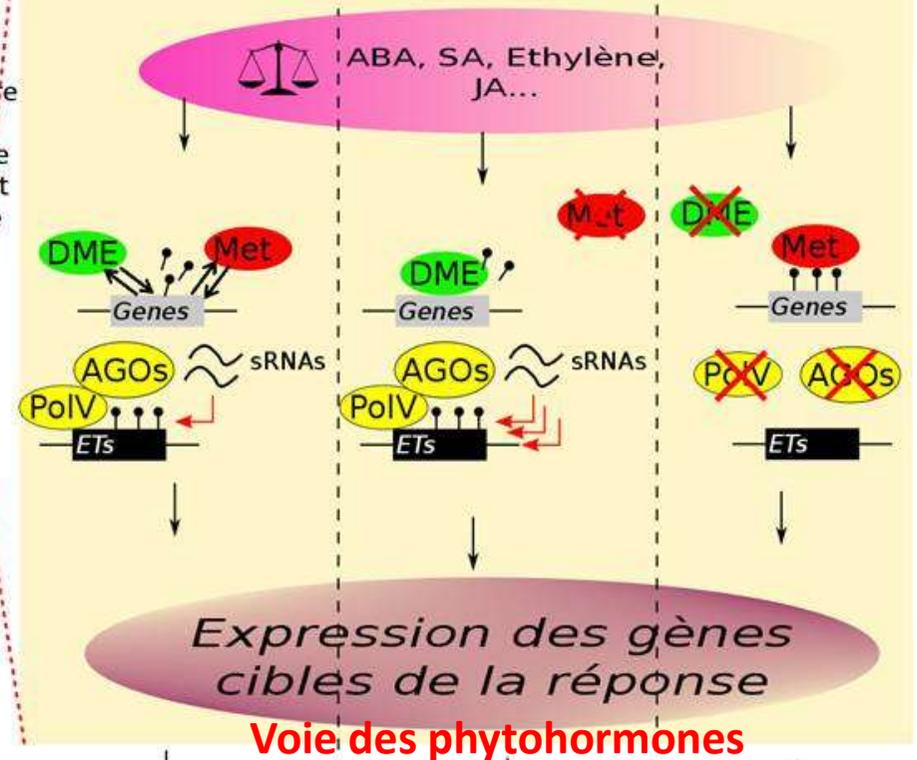


Conditions 'optimales'

Stress

Retour aux conditions initiales

Perception et transduction du signal environnemental
Balance phytohormonale



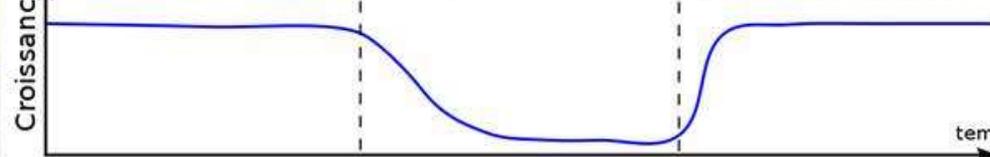
Croissance

Croissance

Réponse au stress

Reprise de croissance

temps

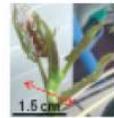


Mémoire du stress et épigénétique ?



EPITREE 2018-2021

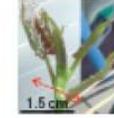
Evolutionary and functional impact of ePIgenetic variation in forest TREES



Active SAM



Dormant SAM



Active SAM

(A) Favorable growth conditions



Mitotic transmission during life of perennial individual (stress memory and acclimation)

DMRs conservation

?

and/or

(B) Unfavorable growth conditions



Meiotic transmission (trans-generational stress memory and adaptation)

Spring / Summer 1

Winter

Spring / Summer 2

Session 1 - Attentes des acteurs des secteurs d'applications

Etat des lieux de l'épigénétique en amélioration végétale et prospectives
 Stéphane MAURY, Université Orléans INRA
 Etienne BUCHER, IRHS INRA
 Pierre DEVAUX, Florimond-Desprez

Adebiotech / EPIGEN 2018





13 & 14 Mars 2018



E
P
I
G
E
N

L'épigénétique dans la réponse du vivant

aux facteurs environnementaux

Session 1 - Attentes des acteurs des secteurs d'applications

Etat des lieux de l'épigénétique en amélioration végétale et perspectives

Stéphane MAURY, Université Orléans INRA

Etienne BUCHER, IRHS INRA

Pierre DEVAUX, Florimond Desprez



FLORIMOND
DESPREZ



INRA
SCIENCE & IMPACT

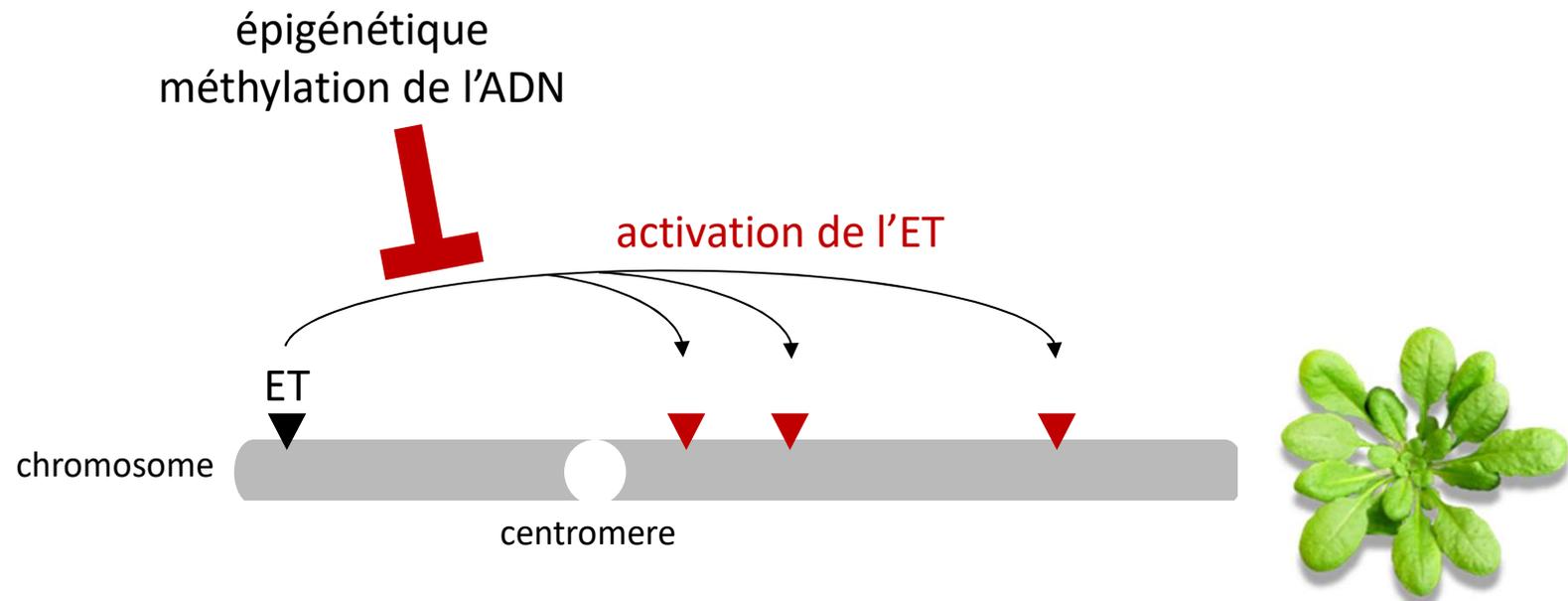


UNIVERSITE D'ORLEANS



IRHS
Institut de Recherche en
Horticulture et Semences

Fonction centrale de l'épigénétique: Freiner les éléments transposables

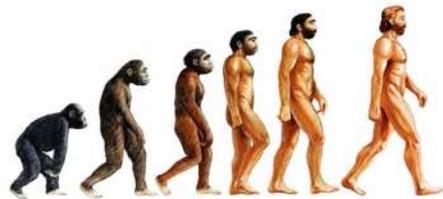


Pourquoi s'intéresser aux éléments transposables?



Les éléments transposables sont:

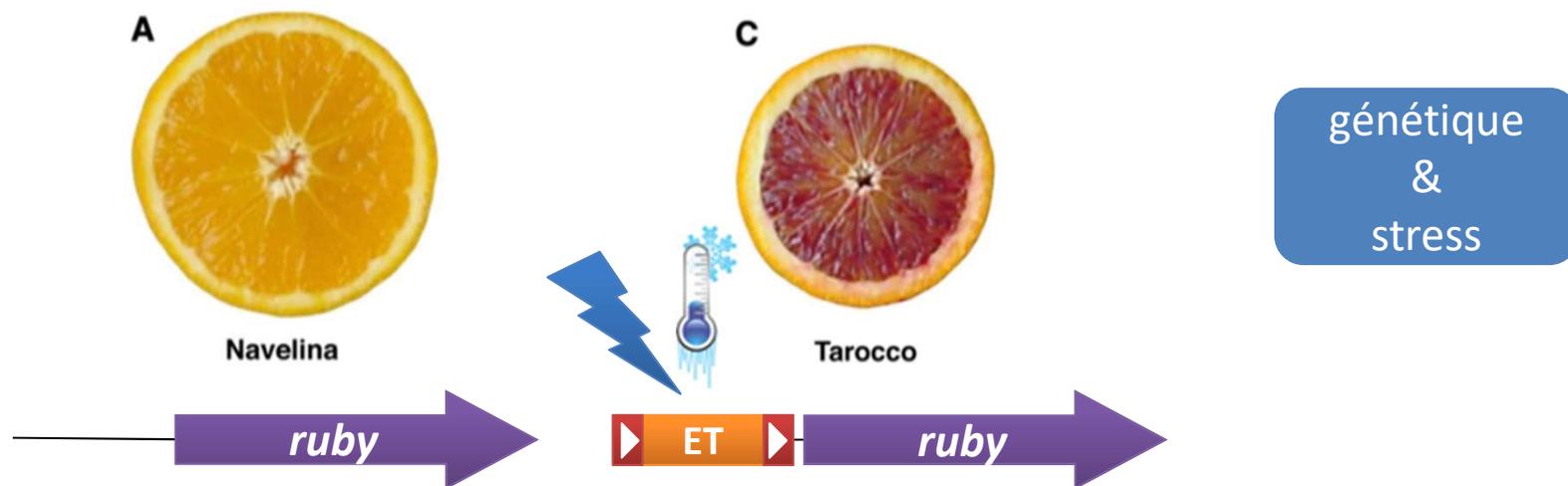
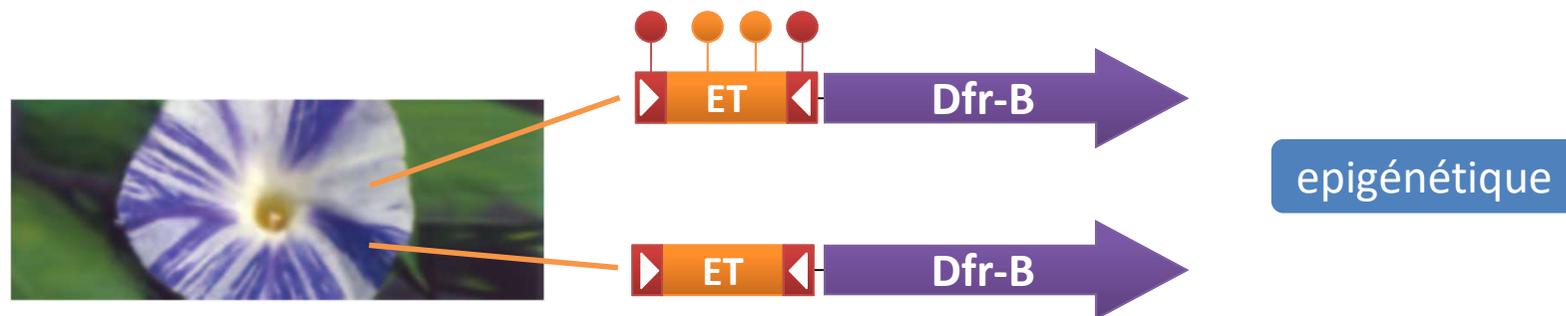
- des séquences mobiles et répétitives du génome
- Tous les organismes ont des ETs



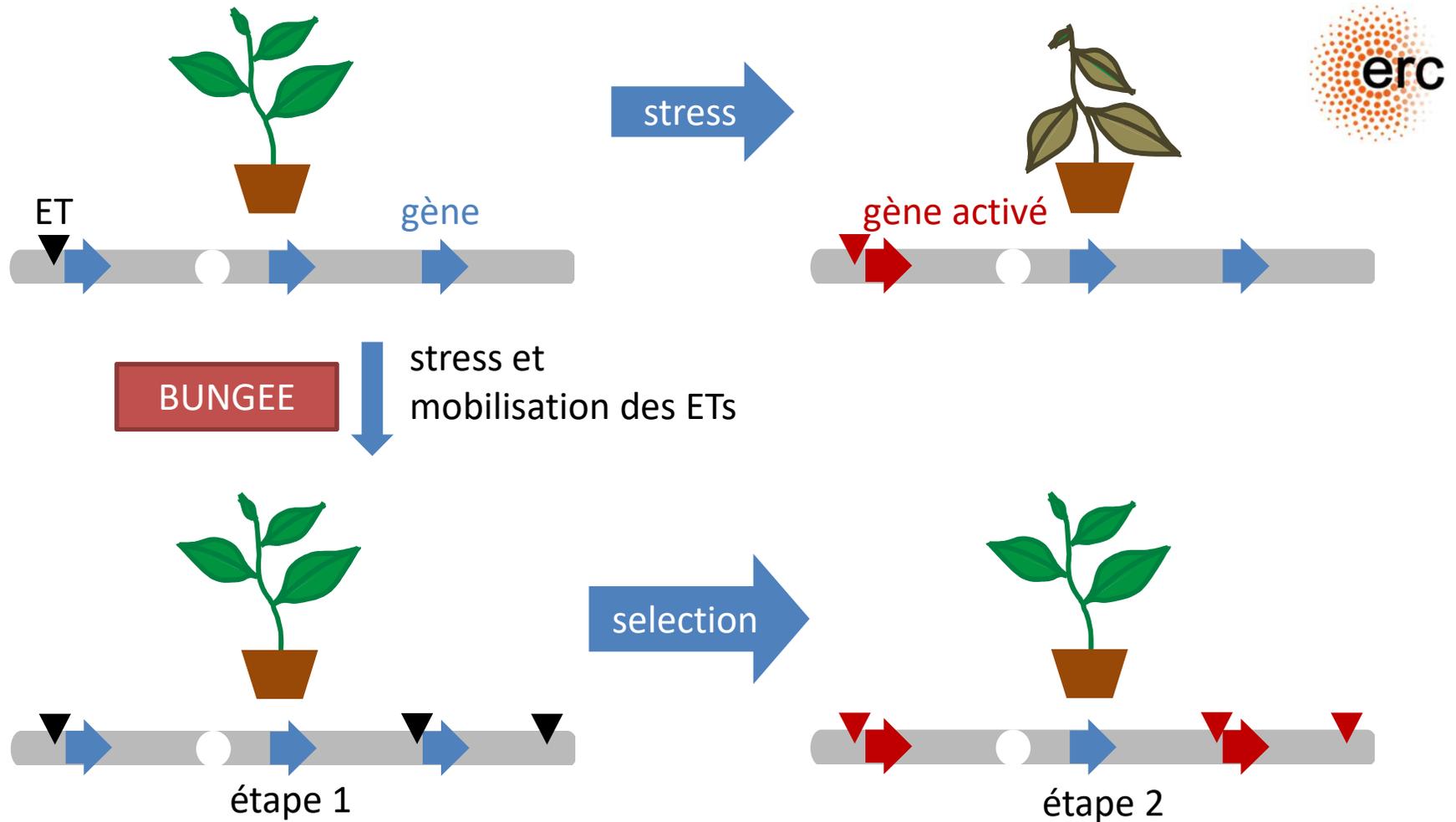
L'importance des ETs:

- accélération de l'évolution
- régulation épigénétique
- domestication des plantes cultivées
- régulation de la réponse au stress

Exemples de l'effet des ETs sur leur hôtes



Améliorer les plantes en utilisant les ETs



Variabilité phénotypique obtenus par les ETs

contrôles

BUNGEE



Thieme, M. et al Genome Biol; 2017;18: 134.



Session 1 - Attentes des acteurs des secteurs d'applications

Etat des lieux de l'épigénétique en amélioration végétale et prospectives

Stéphane MAURY, Université Orléans INRA

Etienne BUCHER, IRHS INRA

Pierre DEVAUX, Florimond Desprez

Adebitech / EPIGEN 2018



Amélioration des plantes: Résistance à la sécheresse



control

BUNGEE



Session 1 - Attentes des acteurs des secteurs d'applications

Etat des lieux de l'épigénétique en amélioration végétale et prospectives

Stéphane MAURY, Université Orléans INRA

Etienne BUCHER, IRHS INRA

Pierre DEVAUX, Florimond Desprez

Adebiotech / EPIGEN 2018

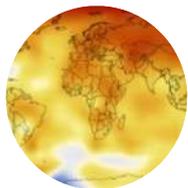


Résumé et questions sur les Transposons



En perturbant le code épigénétique on peut induire des différences génétiques

Les ETs créent la diversité phénotypique et permettent d'adapter les plantes aux stress (réchauffement climatique)



Est-ce que les molécules utilisées produisent aussi des différences épigénétiques stables?

-> Applications possibles en médecine (vieillesse)



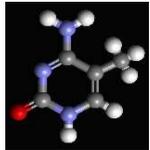
Les mécanismes de répression des ETs est hautement conservé

-> Peut fonctionner sur de nombreux eukaryotes

Conclusions



En création variétale, il est de plus en plus évident que la régulation de caractères héréditaires se fait de façon indépendante de la séquence de l'ADN.



L'épigénétique est une composante de la plasticité phénotypique en lien avec le contrôle hormonal. Une exploitation en amélioration des plantes est possible.



La modification contrôlée de l'épigénome permet l'utilisation des éléments transposables dans l'amélioration des plantes.



Session 1 - Attentes des acteurs des secteurs d'applications

Etat des lieux de l'épigénétique en amélioration végétale et prospectives

Stéphane MAURY, Université Orléans INRA

Etienne BUCHER, IRHS INRA

Pierre DEVAUX, Florimond Desprez

Adebitech / EPIGEN 2018

