

# Du génome au phénomène des arbres forestiers: le cas de l'eucalyptus



Jean-Marc Gion



# L'eucalyptus: le feuillu de plantation !

## ✓ 20 millions d'ha (2009)

- Asie : 8.4 millions ha
- Amérique : 7.5 millions ha
- Afrique : 2.4 million ha
- Europe : 1.3 million ha
- Océanie : 1 million ha

⇒ Brésil, Inde et Chine (53%)



## ✓ Des usages multiples

- Bois d'énergie,
- Bois de trituration,
- Bois de service,
- Bois d'œuvre,
- Huiles essentielles...



## ✓ Des propriétés sylvicoles intéressantes

- Croissance rapide et continue,
- Bonne aptitude au bouturage

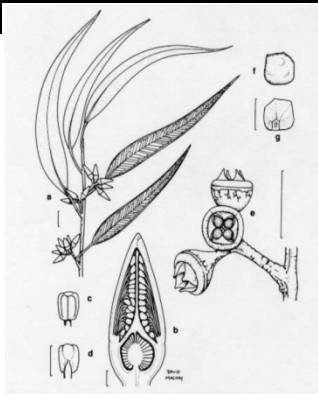


Septembre 2007



Septembre 2008 2

# L'Eucalyptus: un complexe d'espèces



## ✓ *Eucalyptus* L'heritier (1788)

- Ordre: Myrtales / Fam: Myrtacées/
- Environ 700 espèces
- *Symphomyrtus* ≈ 500 esp.

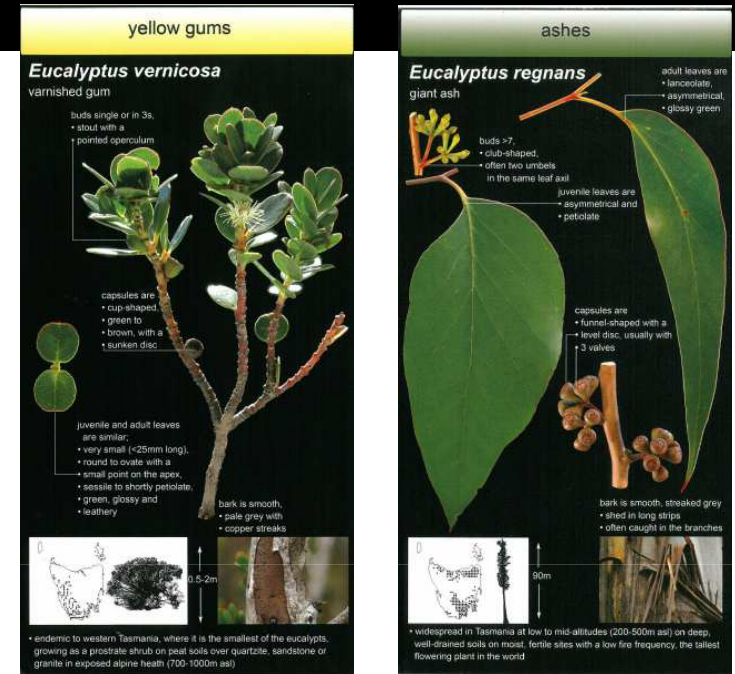
## ✓ Une grande variété de phénotypes

- Formes: du buisson aux "géants"
- Capacités d'adaptation: zones arides... fraîches
- Heterophyllie, composition chimique foliaire
- Densité du bois: 0.40 à 1 t/m<sup>3</sup>

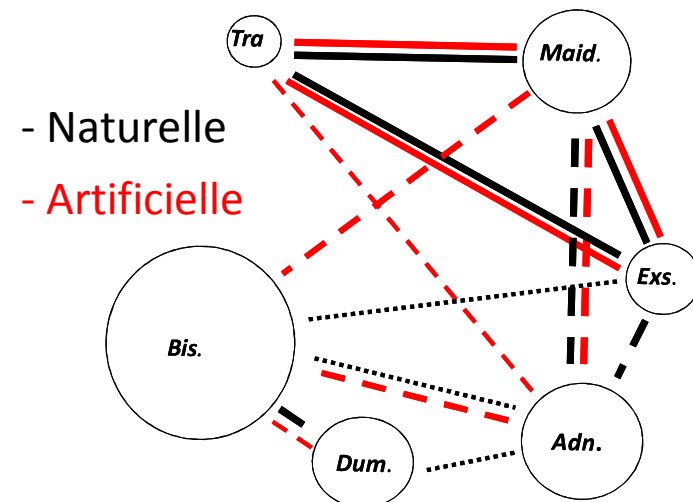
## ✓ Une diversité génétique importante

- Inter- et Intra-spécifique
- Proximité entre les génomes d'espèces différentes

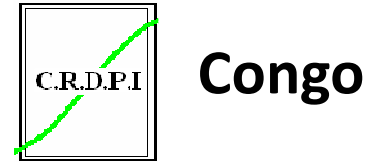
⇒ *Hybridation interspécifiques possibles*



(EucaFlip, R. Wiltshire and B. Potts)



# Combinaisons hybrides en amélioration génétique



**Espèces cibles :** *E. urophylla* &  
*E. camaldulensis*

*E. urophylla* &  
*E. grandis*

*E. gunnii* &  
*E. dalrympleana*

**Propriétés :** Adaptation &  
propriétés bois

Adaptation &  
croissance

Tolérance au froid &  
croissance

**Application:** charbon  $\Rightarrow$  acier

pâte à papier

biomasse

## ✓ Caractères d'intérêt en sélection

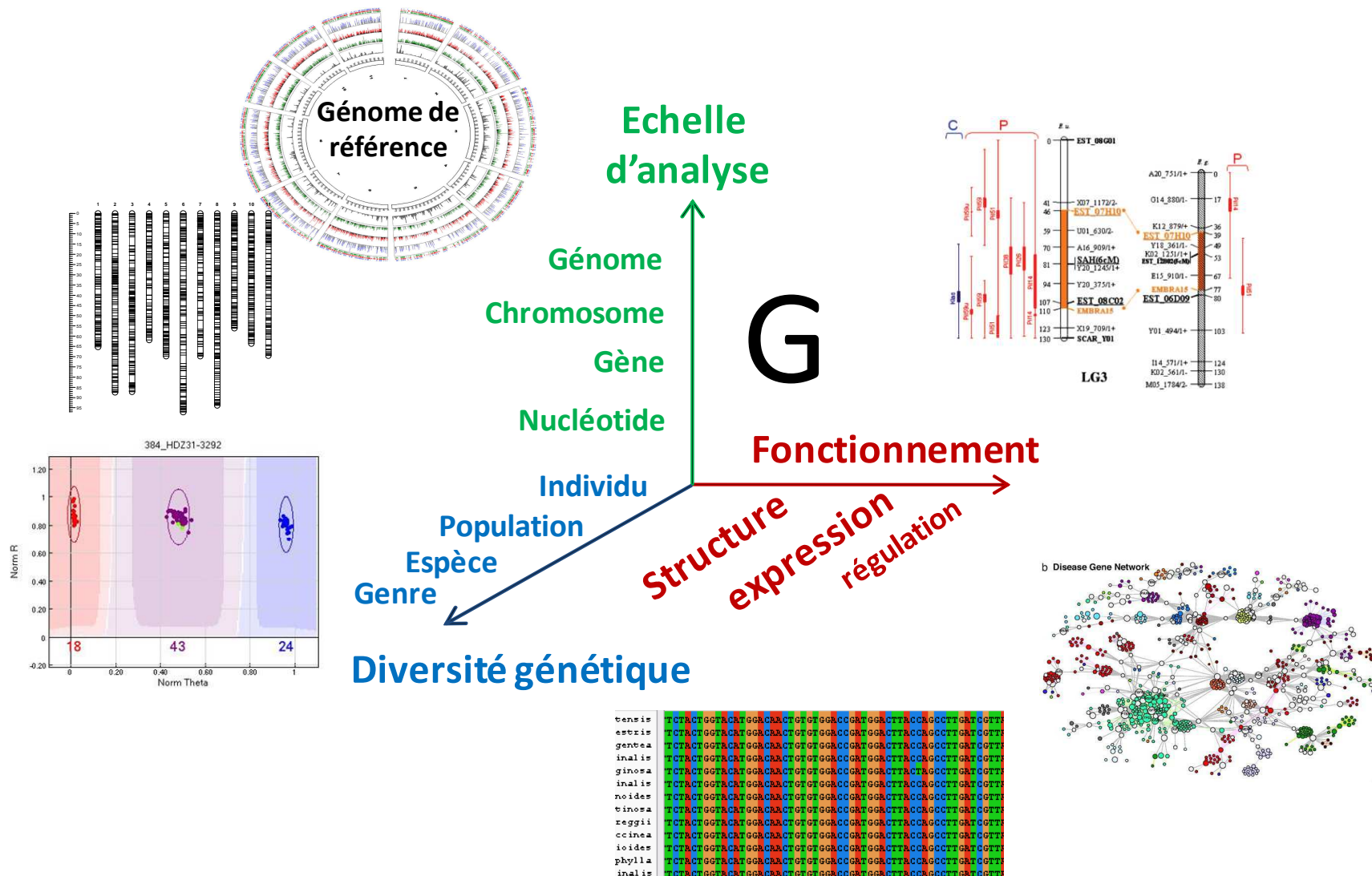
- Production de biomasse ligneuse
- Qualité de la biomasse
- *Tolérance au froid (-15°C)*

## ✓ Caractères adaptatifs

- Facteurs abiotiques: Efficience d'utilisation de l'eau
- Facteurs biotiques
- Dynamique de réponse à l'environnement



# Une information génomique désormais accessible à plusieurs niveaux





# Un génome de référence (Myburg *et al.* 2014)

## ✓ Petit génome, diploïde avec 11 chromosomes

- *E. grandis* (640 Mb)
- de 530 à 700 Mb

⇒ *d'autres génomes en cours*

## ✓ Evolution & Phylogénie

- Evènement ancestral de duplication (\*)

Tetraploidisation ⇒ *Myrtales*

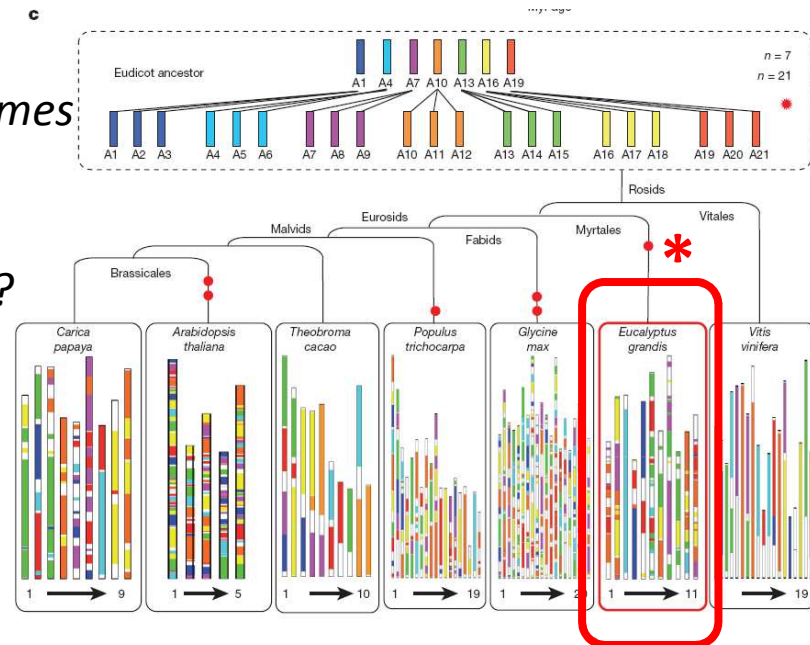
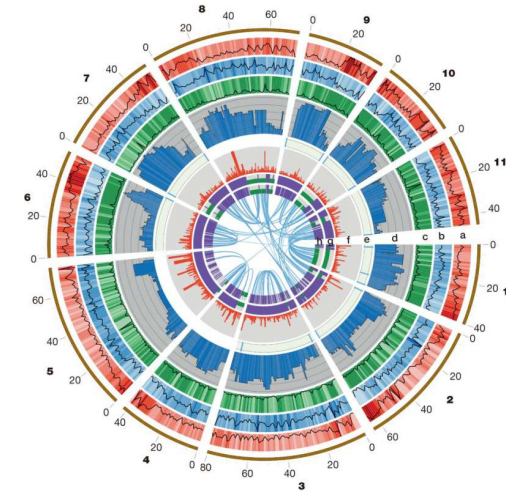
⇒ *Structure « segmentée » des chromosomes*

- Singularité du Chromosome 3

⇒ *Clusters de gènes, liés à la "pérennité"?*

## ✓ 36376 gènes prédits

- 89% exprimés dans différents tissus
- 34% des gènes dupliqués en tandem



# Structure du génome et phénotypes...

(Myburg et al., 2014)

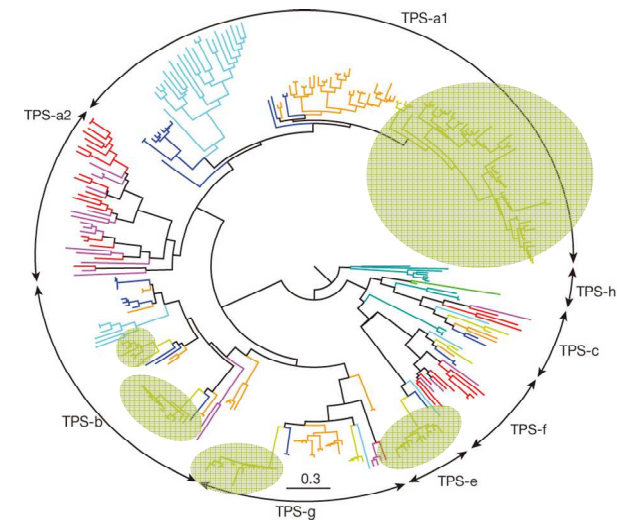
## ✓ Grande diversité au sein des Terpene Synthases (TPS)

- 113 genes TPS (83 chez *vitis*)

⇒ *Concentration en terpènes foliaires: caractéristique de la famille Myrtacées*  
(Padovan et al., 2014)

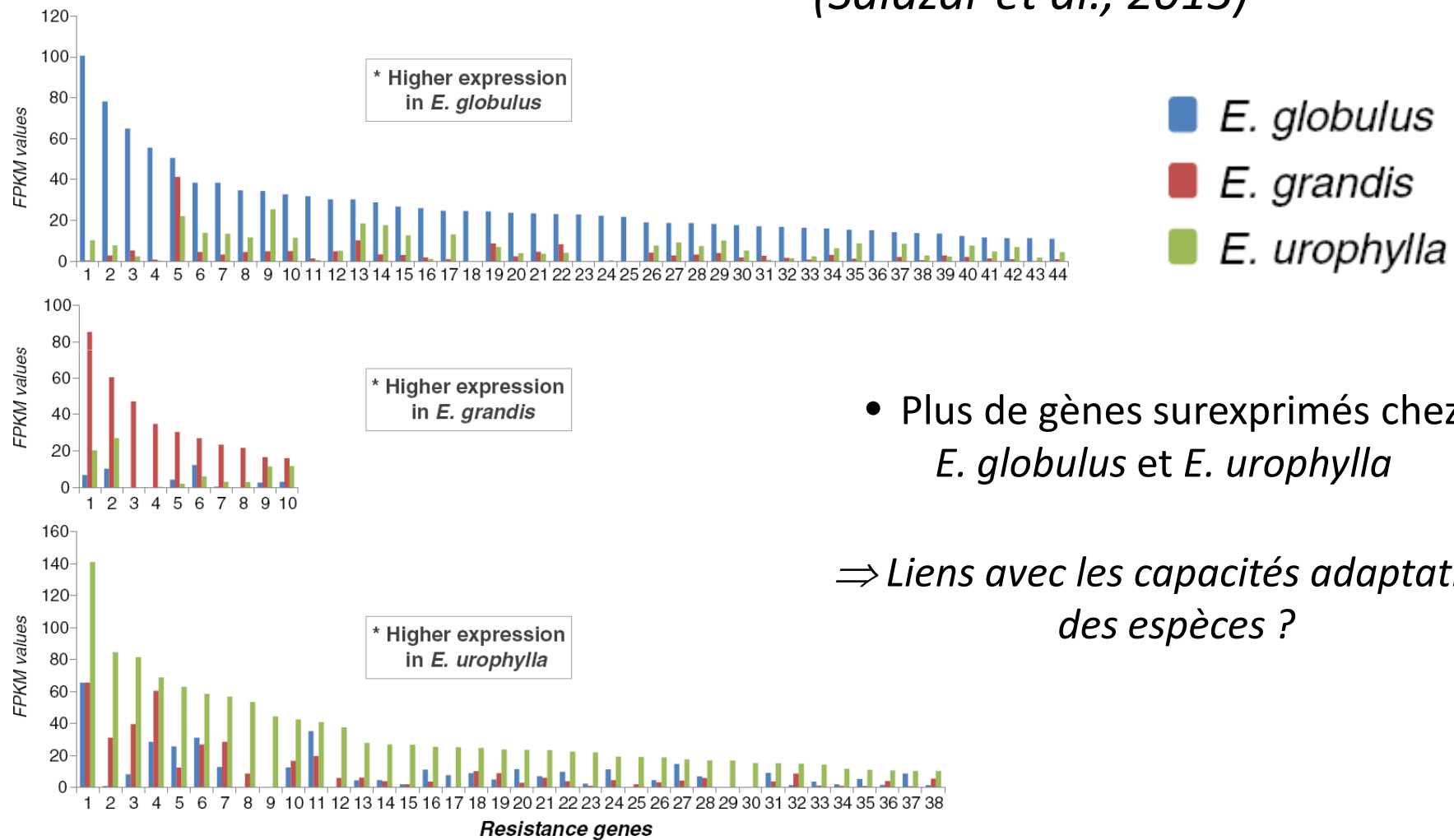
## ✓ Gènes de développement floral

- Sur & sous-représentation de gènes de structure (APETALA1/FRUITFUL-Like)  
⇒ *Structure caractéristique des boutons floraux ?*
- Sur-représentation de gènes liés à l'induction floral (SOC1)  
⇒ *Capacités adaptatives au sein du genre ?*



# Variation d'expression de « gènes de résistance »

(Salazar et al., 2013)



- Plus de gènes surexprimés chez *E. globulus* et *E. urophylla*

⇒ Liens avec les capacités adaptatives des espèces ?



# Contrôle génétique de la variation des phénotypes (QTL, Gènes, QTN)

## ✓ Architecture génétique des caractères quantitatifs

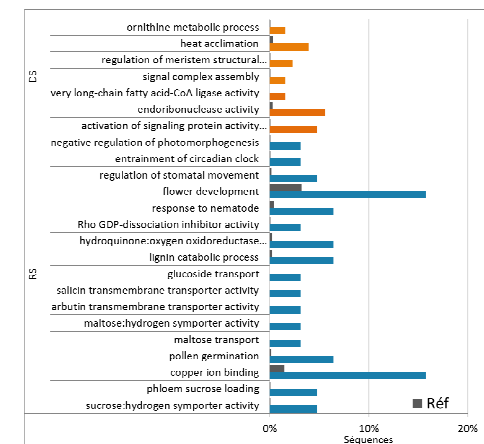
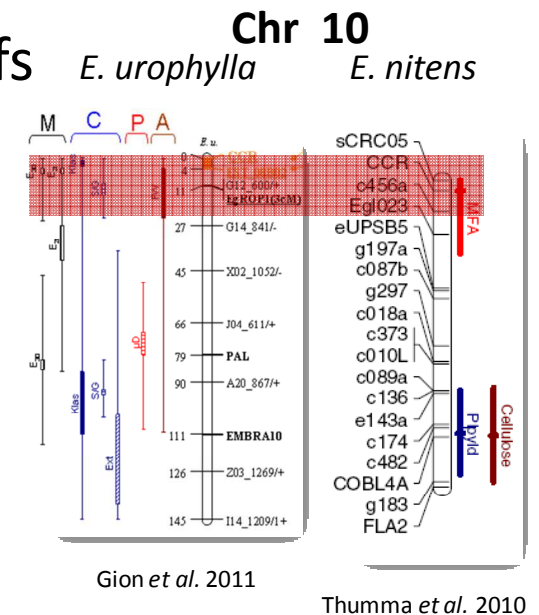
- Cartes génétiques haute résolution, ancrées sur le génome  
(Bartholomé *et al.* 2015a)  
⇒ Cartographie comparée entre espèces
- 267 QTL identifiés pour différents traits (*EucaMaps*)  
⇒ Régions communes entre espèces (Chr 3, 8, 10...)

## ✓ Gènes à effets majeurs

- Colocalisations QTL & gènes de la lignification
- Gènes sous jacents aux QTL de Delta13C foliaire différents entre saisons (DS et RS)  
⇒ Gènes impliqués dans le fonctionnement stomatique  
⇒ *Indépendance entre QTL de croissance et WUE*

## ✓ Variants nucléotidiques au sein des gènes

- Effets de SNP en populations chez plusieurs espèces  
⇒ Plusieurs SNP du gène CCR liés au S/G (Mandrou *et al.* 2014)  
⇒ *Interaction entre SNP, entre gènes ?*



(Bartholomé *et al.* 2015b)

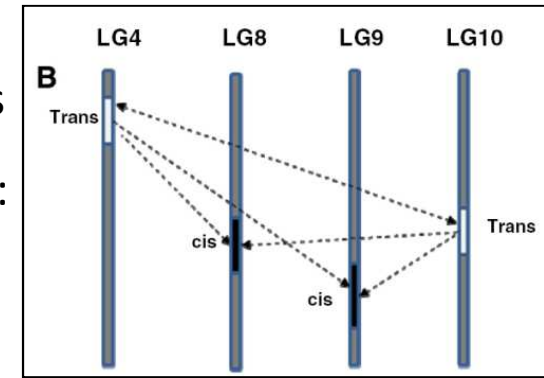
# Contrôle génétique de l'expression génique

## ✓ Variabilité d'expression des gènes en population

*Hybrides E. grandis x E. urophylla*

- Expression de 474 gènes ss jacent à des QTL de densité du bois
- Identification des régions impliquées dans la régulation (eQTL):  
*Cis* (Chr 8 et 9) et *Trans* (Chr 4 et 10)

⇒ Réseau d'interaction entre gènes



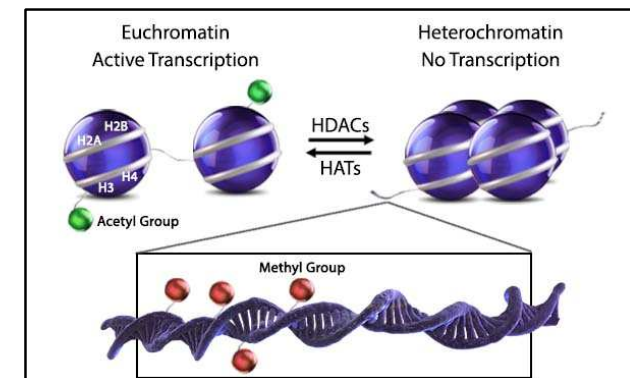
(Kullan et al. 2012)

## ✓ Régulation épigénétique au cours de la formation du bois

(Hussey et al. 2015)

- Marques épigénétiques chez *E. grandis*  
Triméthylation des Histones H3K4

⇒ *Sur-expression de gènes spécifiques du xylème*



# Dynamique du contrôle génétique

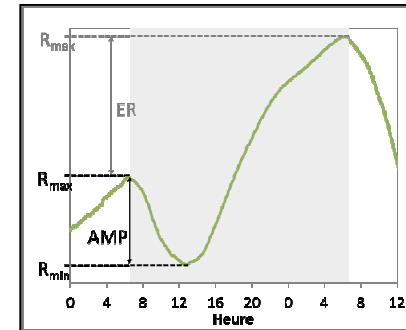
## ✓ La microvariation journalière du tronc...

*Hybrides E. urophylla x E. grandis (2 ans)*

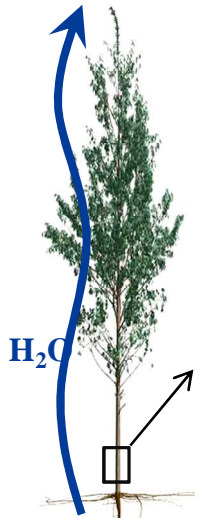
- Amplitude de contraction journalière (AMP)
- Fonctionnement hydraulique (temps continu)

QTL d'AMP pour la **saison des pluies** et la **saison sèche**

⇒ *Rôle du Chromosome 3 dans l'adaptation ?*



Transpiration



Absorption

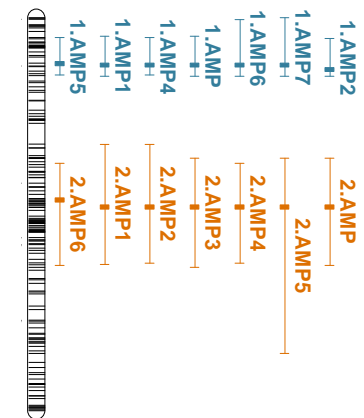


## ✓ ...associée aux propriétés du bois à 6 ans

Deux régions génomiques majeures pour le bois

⇒ Dynamique de réponse à l'environnement au jeune âge en lien avec les propriétés au stade « mature » ?

P10 - 3



**Chr 3**  
*E. urophylla*

# Une nouvelle ère pour l'*Eucalyptus*...

## ✓ Du génome... aux génomes

- Génomes d'autres espèces du genre
- Approches pan génomique en population
- Epigénomes: hétérogénéité du bois ?

## ✓ Des caractères ponctuels... aux "comportements"

- Composante génétique de la plasticité phénotypique
- Dynamique temporelle des propriétés

## ✓ Des applications à moyen terme

- Gestion de la variabilité génétique
- Prédiction génomique de phénotypes d'intérêt  
⇒ Sélection génomique (Resende *et al.* 2012)

⇒ **Sélection précoce**



(G. Penone, 1993)



**« Entre écorce et écorce », G. Penone, Versailles 2013**