Effets de l'environnement sur la qualité du café

Approches génomiques pour l'étude de la biosynthèse des composés d'arômes et des effets du terroir

ACADÉMIE d'AGRICULTURE de FRANCE
AGRICULTURE ■ ALIMENTATION ■ ENVIRONNEMENT

Séance de l'Académie d'Agriculture du 17 février 2016

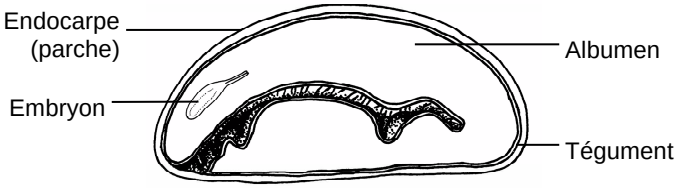
'La génétique au service de la qualité'

Thierry Joët - IRD - UMR DIADE - thierry.joet@ird.fr

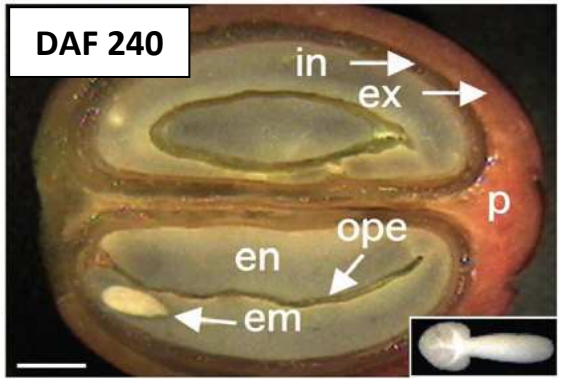
La semence de caféiers, graine modèle pour l'étude :

* *des graines albuminées (albumen cellulaire)*

(cellules vivantes, PCD intervenant seulement lors de la germination)



Fruit mature

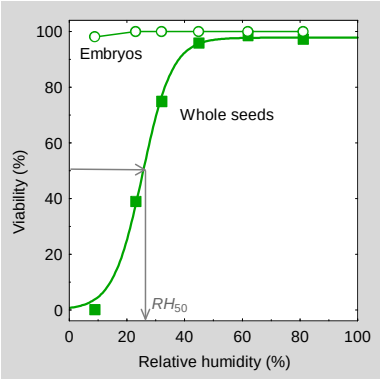


L'albumen (99% du poids de la graine) est le siège des réserves (caractère ancestral des graines)

* *du comportement des semences de type 'intermédiaire'*

(sensibles à la dessiccation; ≠des semences orthodoxes)

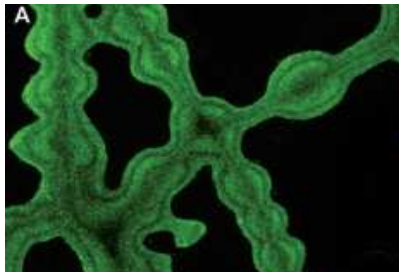
Absence de déshydratation in planta lors de la maturation (TE 50% à maturité)

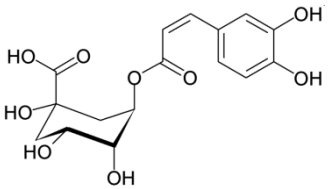


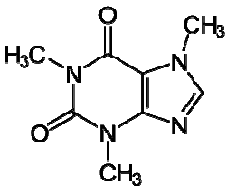
* *de la biosynthèse des composés de réserve particuliers*

(CWSP galactomannanes, acides chlorogéniques, caféine….)

Parois secondaires







A l'origine des arômes du café :

∗ *Des composés volatiles déjà présents dans la graine mature*

< 60 molécules détectées par SPME-GCMS sur grain vert

∗ *Des composés de réserve particuliers*

Compounds	Content (% DM)	
Polysaccharides	48-60	Galactomannans (50%)
Lipids	14-18	Triglycerides 80% ; Diterpenes 10%
Proteins	11-12	11S globulin (50%)
Sucrose	5-8.5	
Chlorogenic acids	6-8	5-Caffeoyl quinate (80%)
Trigonelline	1-1.2	
Caffeine	0.6-1.5	

Précurseurs d'arômes > 800 molécules volatiles détectées après torréfaction

Déterminants de la qualité du café

* Influence des technologies de transformation sur la genèse des arômes

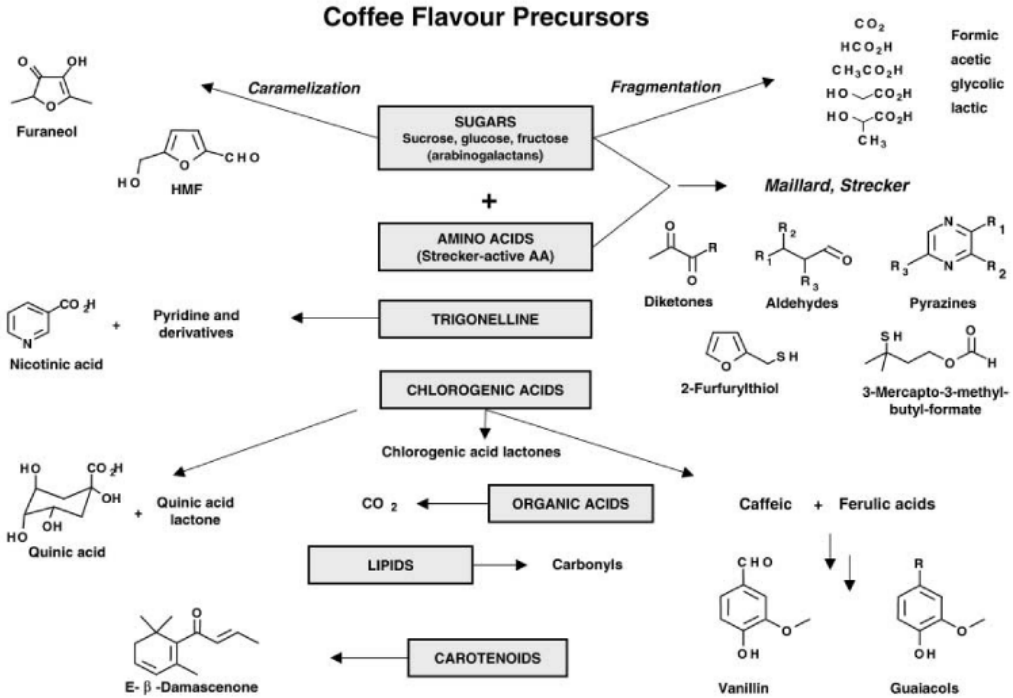
post-récolte

torréfaction

broyage, extraction

Composés biochimiques de la graine: précurseurs d'arômes

Arômes: aldehydes, furanes, pyrazines, pyridines,pyrroles …

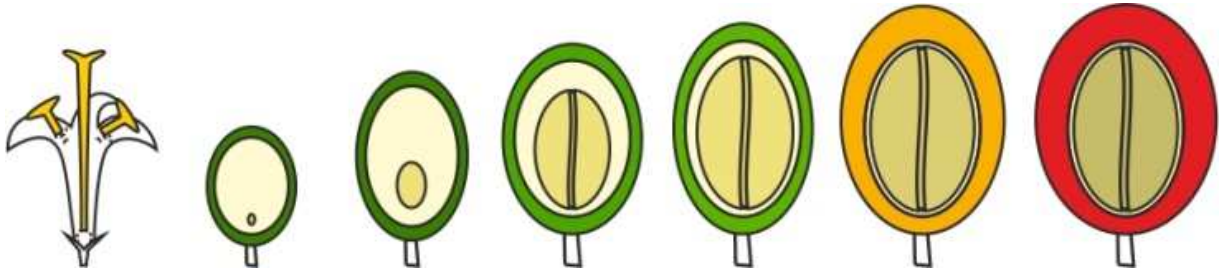


* Des recombinaisons chimiques lors de la torréfaction (réactions de Maillard, Stecker,…)

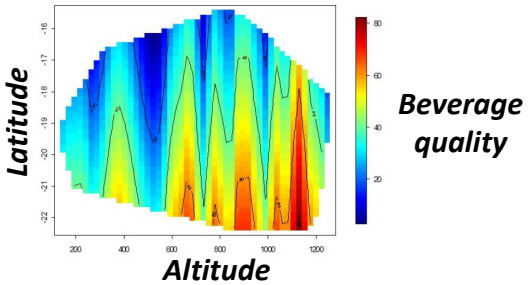
Yeretzian et al. 2002 Eur Food Res Technol 214: 92-104

Déterminants de la qualité du café

∗ *Principaux facteurs influençant la biosynthèse des précurseurs d'arôme lors du développement de la graine*



Génétiques	ex: teneur en caféine deux fois moindre (~0.5%MS) chez la variété d'Arabica 'bourbon pointu'
Agronomiques	La culture sous ombrage (agroforesterie) retarde la maturation du fruit et améliore la qualité du café
Environnementaux	Latitude, altitude, exposition sont des facteurs qui affectent la qualité du café



Barbosa et al. Journal of Agricultural Science 4: 181 - 190

Climat, qualité & composition de la graine mature

Latitude, altitude, topographie et ombrage: effets indirects à travers la modulation du rayonnement incident et de la température

Objectifs :

∗1/ Quantifier les effets de l'environnement sur la composition biochimique de la graine, et décomposer le rôle des différentes variables climatiques

∗ 2/ Spécifier les modes de régulation environnementale des principales voies de biosynthèse au cours du développement de la graine

Principaux défis :

∗ Identifier des gènes cibles pour l'amélioration variétale centrée sur la qualité

∗ Identifier des bio-marqueurs pour la détection précoce de la qualité et le suivi des pratiques agronomiques

∗ Anticipation des effets du changement climatique

Facteurs climatiques & qualité du café: une approche quantitative

2003-2013: Programme de recherche CIRAD-IRD basé sur C. arabica cv. Laurina

Frédéric Descroix, UMR QualiSud, CIRAD

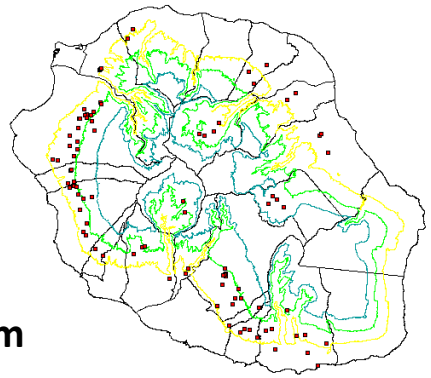
Ile de La Réunion :

Large gradient pluviométrique d'Est en Ouest

Large gradient altitudinal - thermique

Un réseau dense de stations météo

Un essai multilocal (> 100 parcelles) basé sur la variété d'Arabica 'Bourbon pointu', couvrant les conditions optimales et sub-optimales de caféiculture afin de déterminer les meilleurs terroirs



Choix de 16 parcelles expérimentales maximisant la diversité observée → **Altitude : 150-1200m**
Température : 13-25°C
Pluviométrie: 800-3000 mm

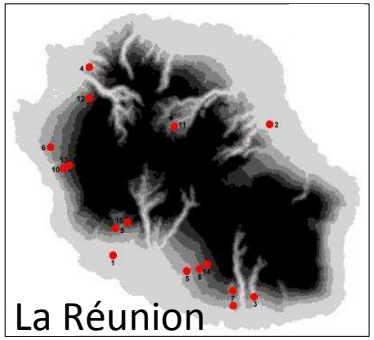
Climat, qualité & composition de la graine mature

* ***Les températures fraiches favorisent la qualité du café***

Corrélations de Pearson

Sensory attributes	T°C	Rain
Aroma quality	-0.57	-0.10
Body	-0.00	-0.45
Acidity	-0.51	-0.40
Bitterness	0.08	**-0.59**
Fruity	**-0.67**	0.22
Green	0.61	0.19
Earthy	**0.83**	-0.13
Overall quality	-0.59	-0.30

Bertrand et al. 2012 Food chemistry 135: 2575-83

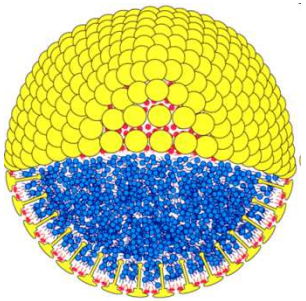


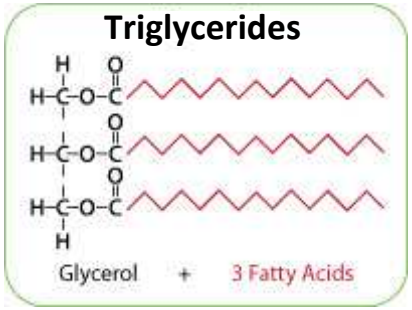
* ***Absence de relation entre réserves et variables climatiques***

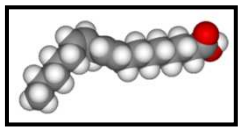
Storage compounds	T°C	Rain	Light	PET
Polysaccharides	-0.01	0.18	-0.01	-0.11
lipids	-0.29	-0.31	-0.24	0.32
Chlorogenic acids	-0.31	0.02	-0.31	-0.46
Caffeine	0.06	0.07	-0.28	-0.36
Soluble sugars	0.14	0.31	0.14	-0.26

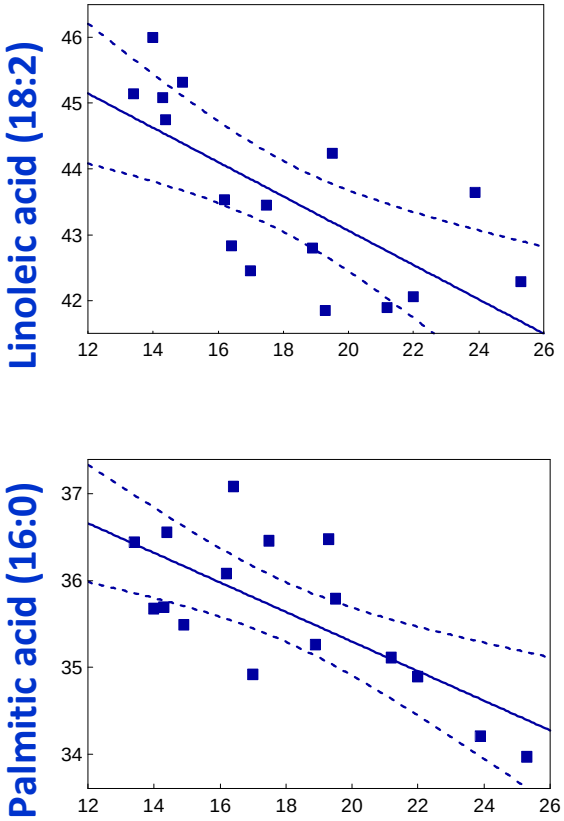
- ***La biosynthèse de composés de réserve est-elle indépendante des facteurs environnementaux ???*** ***pas si simple ….***

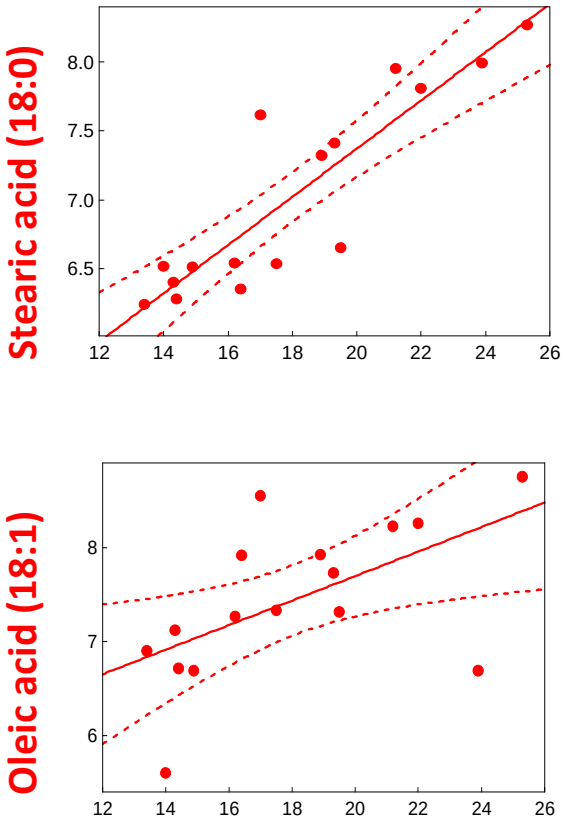
Lipides : effets de la température sur la composition en acides gras











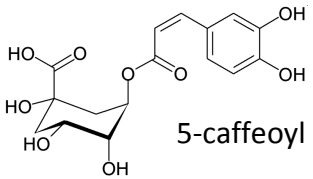
Joët et al. 2010 Food chemistry 118: 693-701

Sans affecter la teneur lipidique totale, la température influence la composition en acides gras des triglycérides

Des effets similaires sont observés sur d'autres classes chimiques

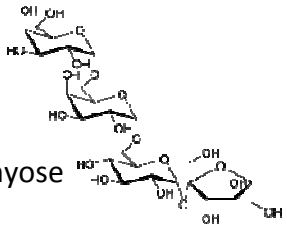
Sans affecter la teneur totale, la température influence la composition

Acides chlorogéniques (différents isomères)

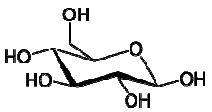


5-caffeoyl quinate

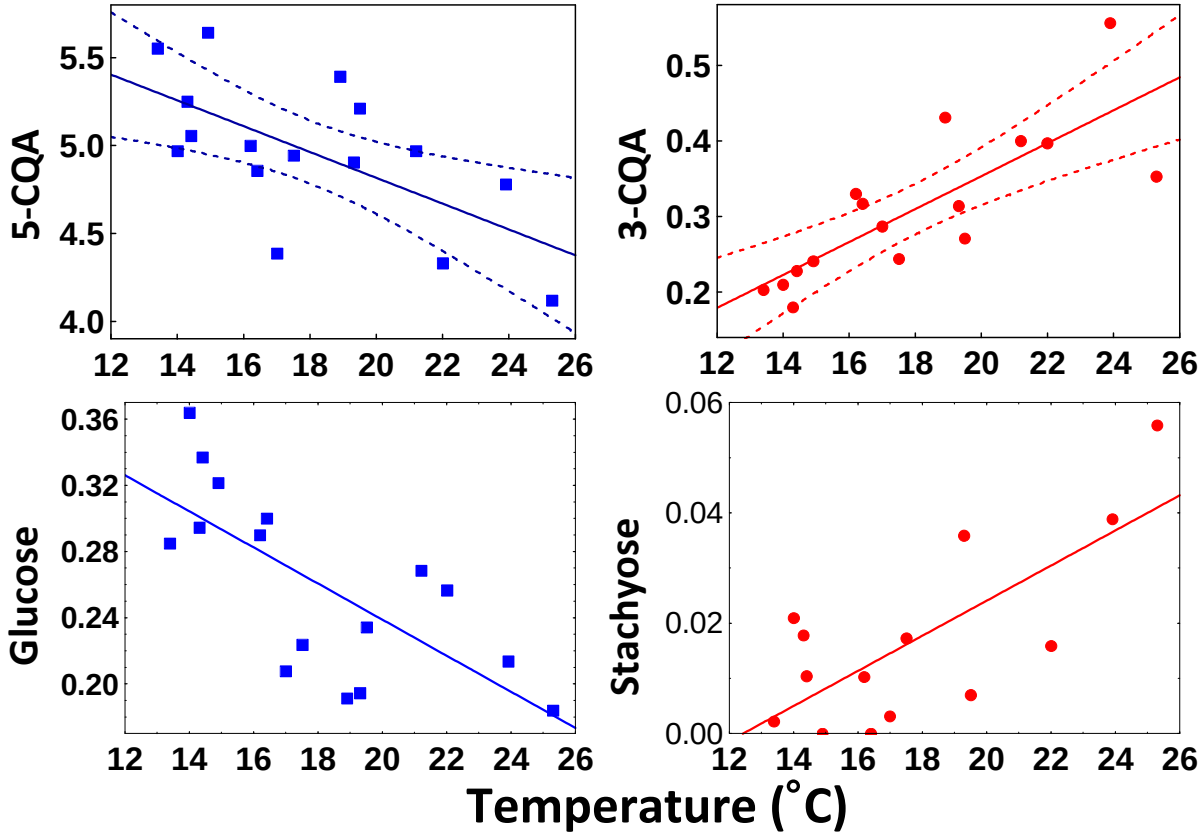
Sucres solubles



stachyose

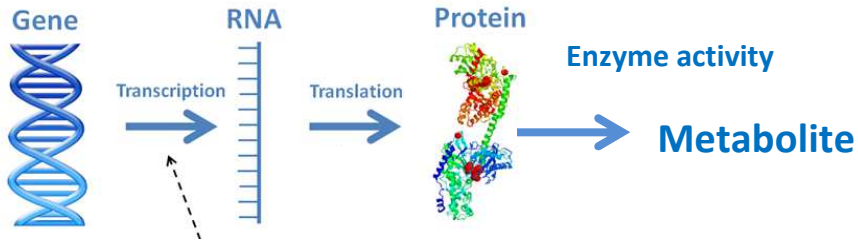


glucose



Effets de la température sur l'accumulation des composés de réserve : réallocation de pools de métabolites au sein de différentes classes chimiques

Le contrôle métabolique s'exerce-t-il au niveau transcriptionnel ?



Control environnemental ?

Outils et ressources génomiques sur le café

∗ Connaissance du génome (C. canephora)

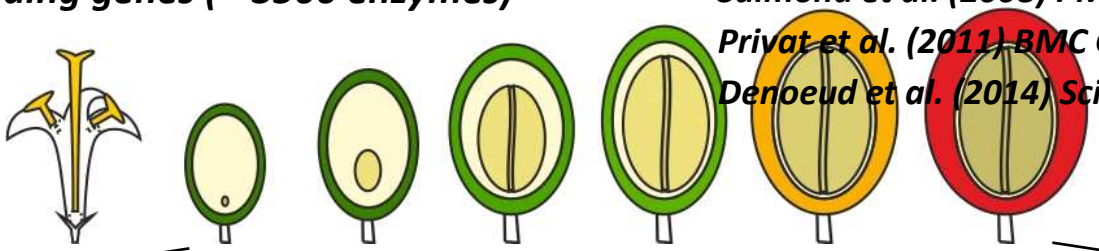
Denoeud et al. (2014) Science 345: 1181-84

25 574 protein-coding genes (~3500 enzymes)

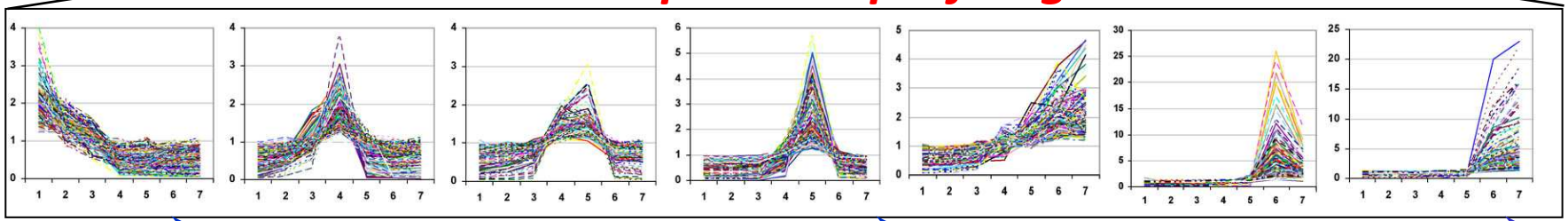
∗ Outils pour l'analyse du transcriptome

qPCR, microarrays, RNAseq

Salmona et al. (2008) PMB 66: 105-124
Privat et al. (2011) BMC Genomics 12: 5
Denoeud et al. (2014) Science 345: 1181-84

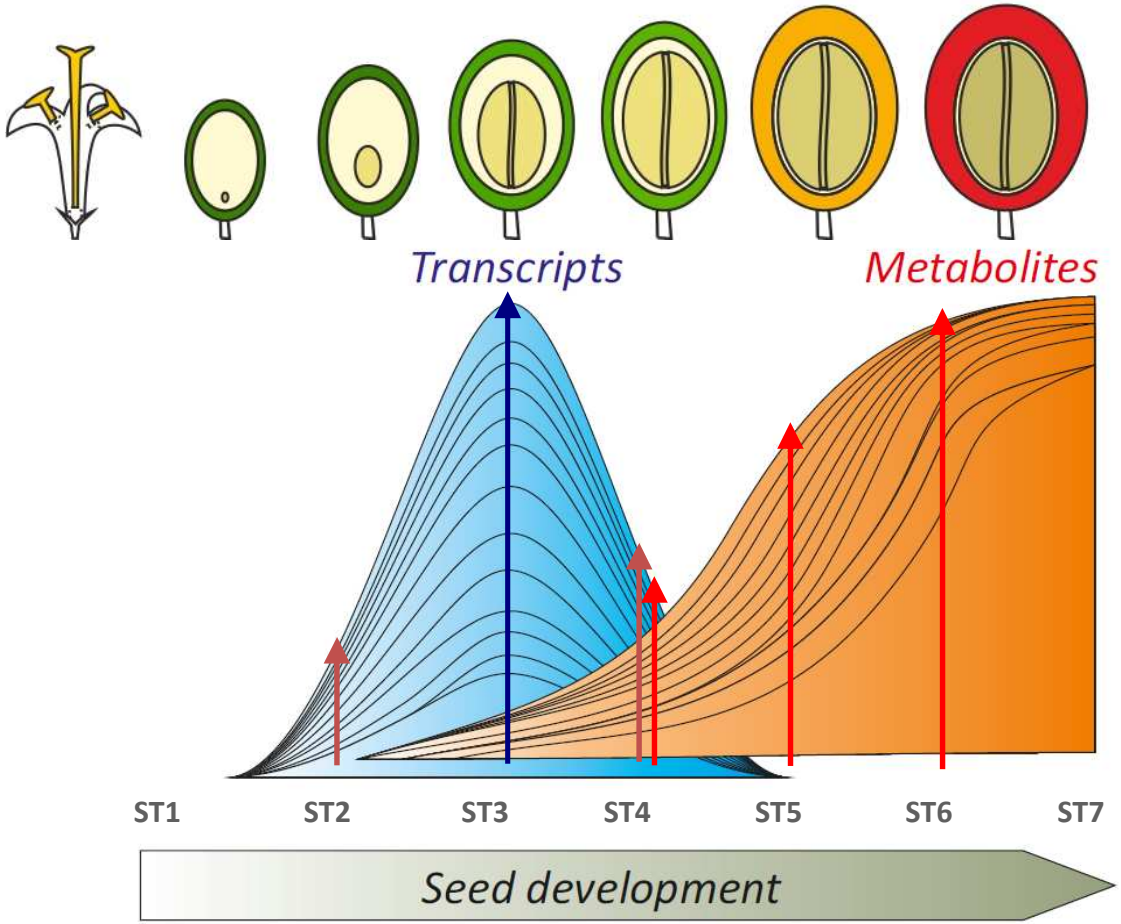


Gene expression profiling



Perisperm ***Endosperm growth - Storage phase*** ***Late-maturation***

Effets de l'environnement sur le développement de la graine: approches de génomique quantitative



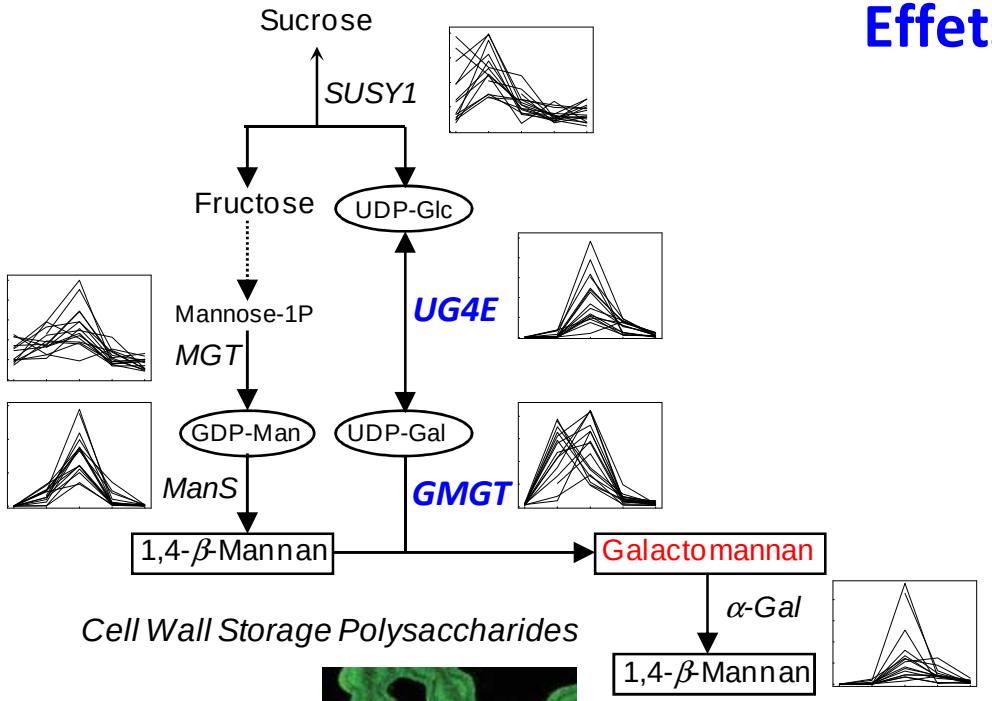
DESIGN
38 metabolites (HPLC)
70 genes (qPCR)
5 developing stages
16 experimental plots

2 exemples :
les acides chlorogéniques et
les galactomannanes

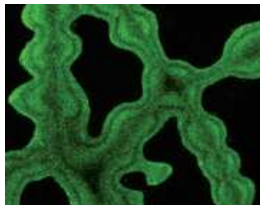
Analyse large échelle du développement des graines (transcrits, métabolites, environnements)

Analyse des corrélations entre variables climatiques, transcrits et métabolites

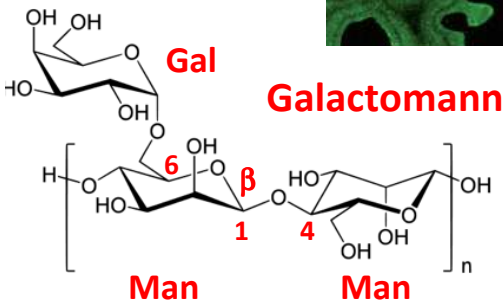
Exemple 1 : biosynthèse des galactomannanes



Cell Wall Storage Polysaccharides



Sutherland et al. 2004 Protoplasma



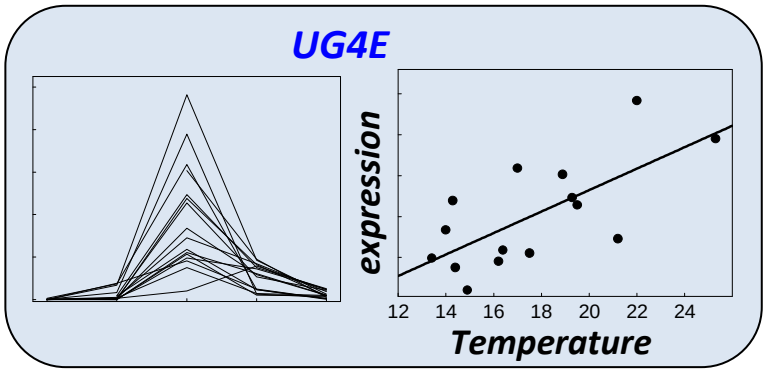
Briques élémentaires:

GDP-mannose

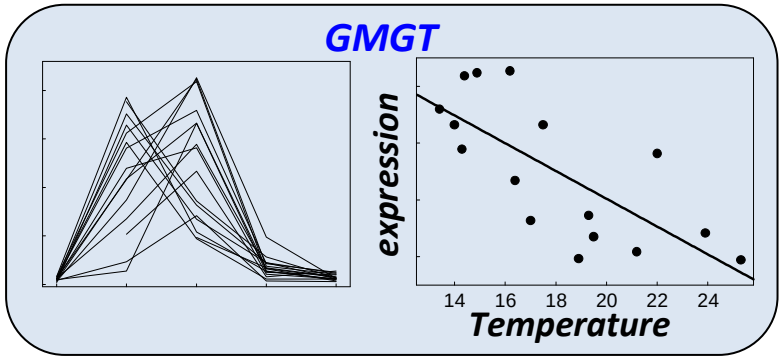
UDP-galactose

Effets de l'environnement:

Niveau d'expression lié à la température

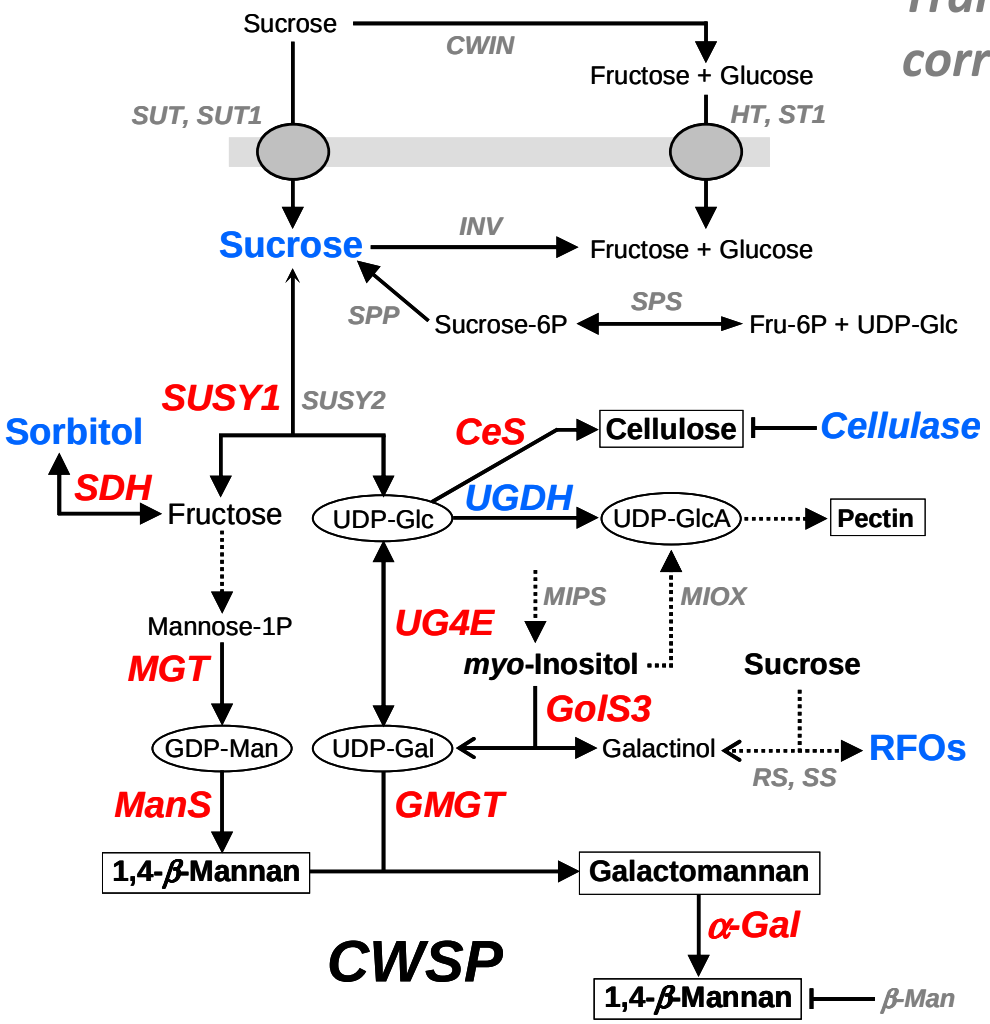


Retard d'expression lié à la température



Joët et al. 2014. J Exp Bot 65: 323-337

Régulation du métabolisme des galactomannanes

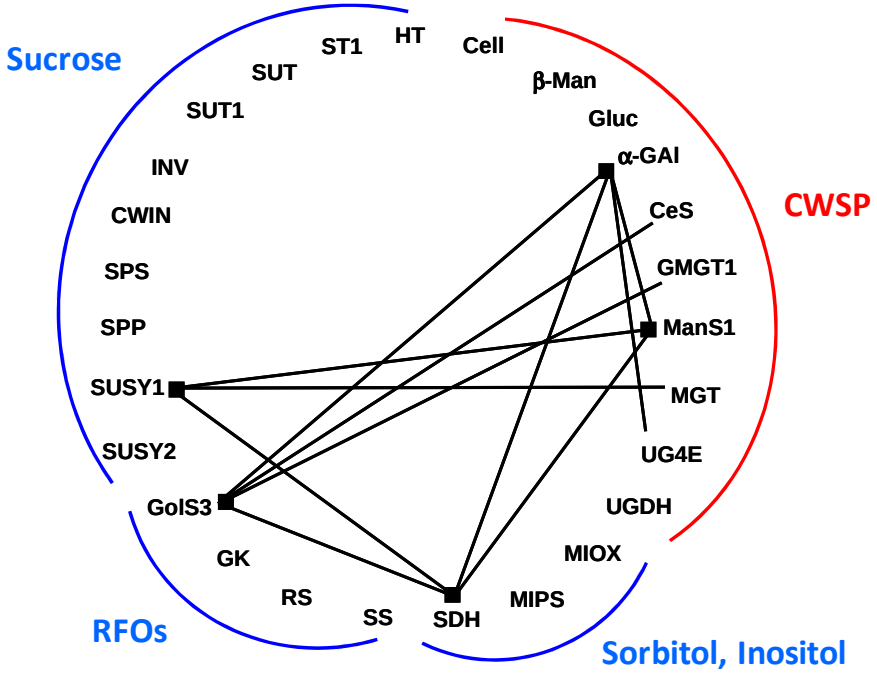


Cell wall storage polysaccharides

Joët et al. 2014. J Exp Bot 65: 323-337

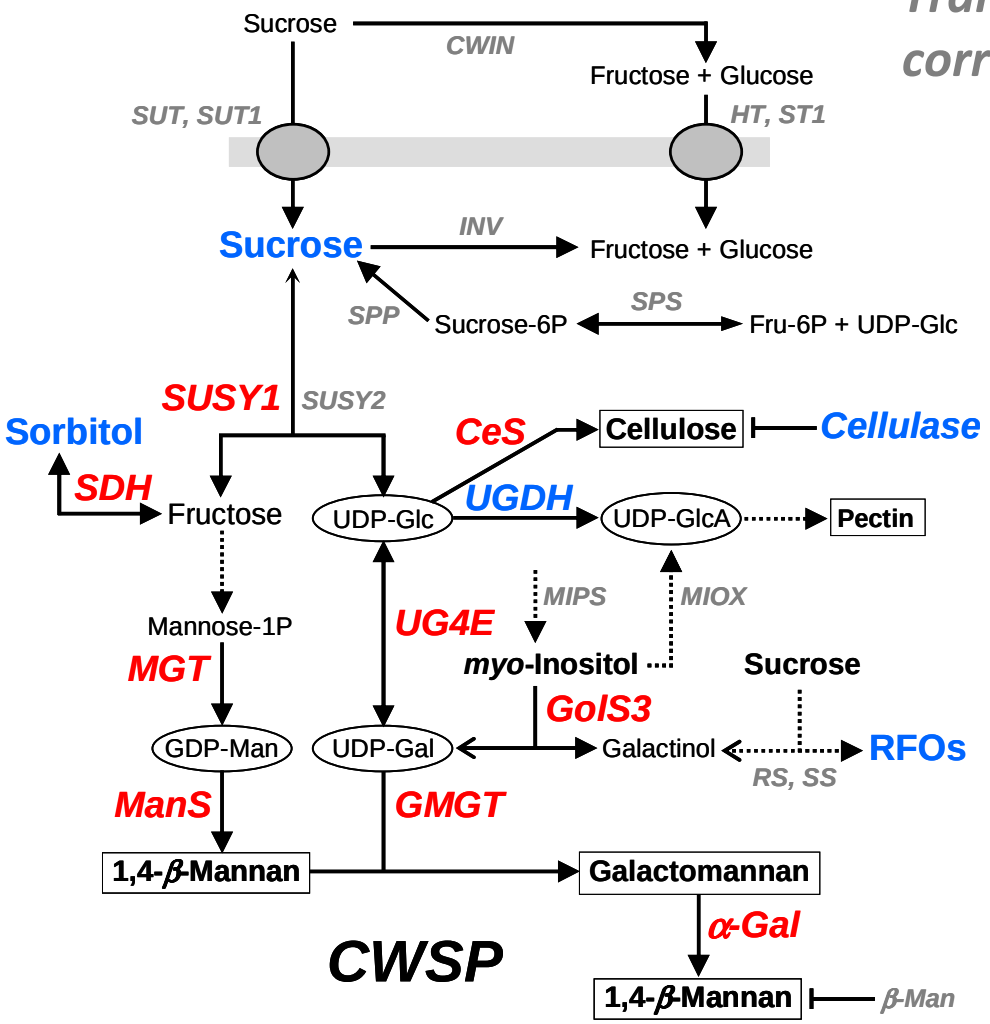
Transcrits et métabolites dont le niveau est corrélé quantitativement aux CWSP

- Corrélations positives
- Corrélations négatives



réseau de gènes co-exprimés

Régulation du métabolisme des galactomannanes

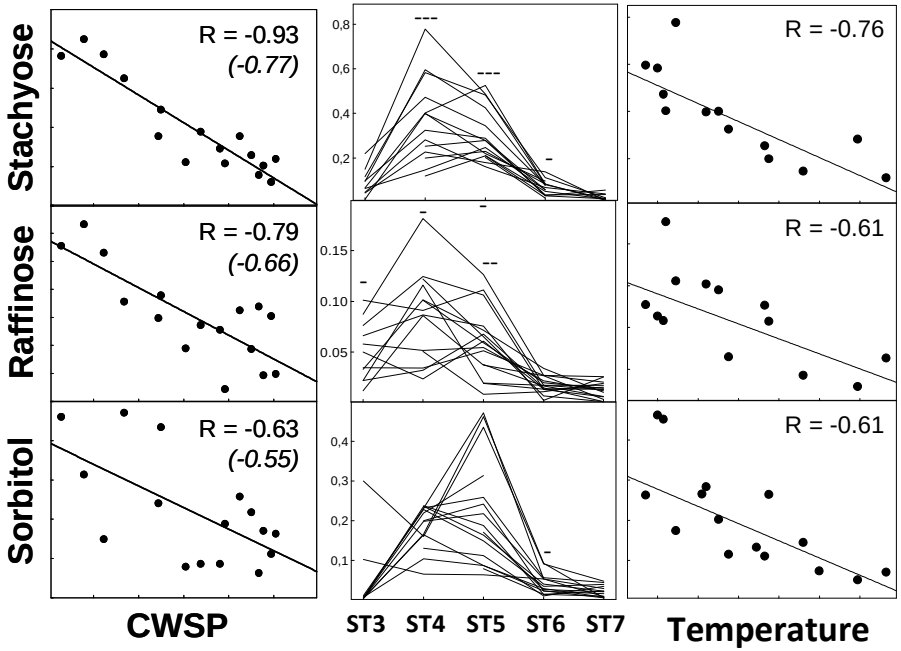


Cell wall storage polysaccharides

Joët et al. 2014. J Exp Bot 65: 323-337

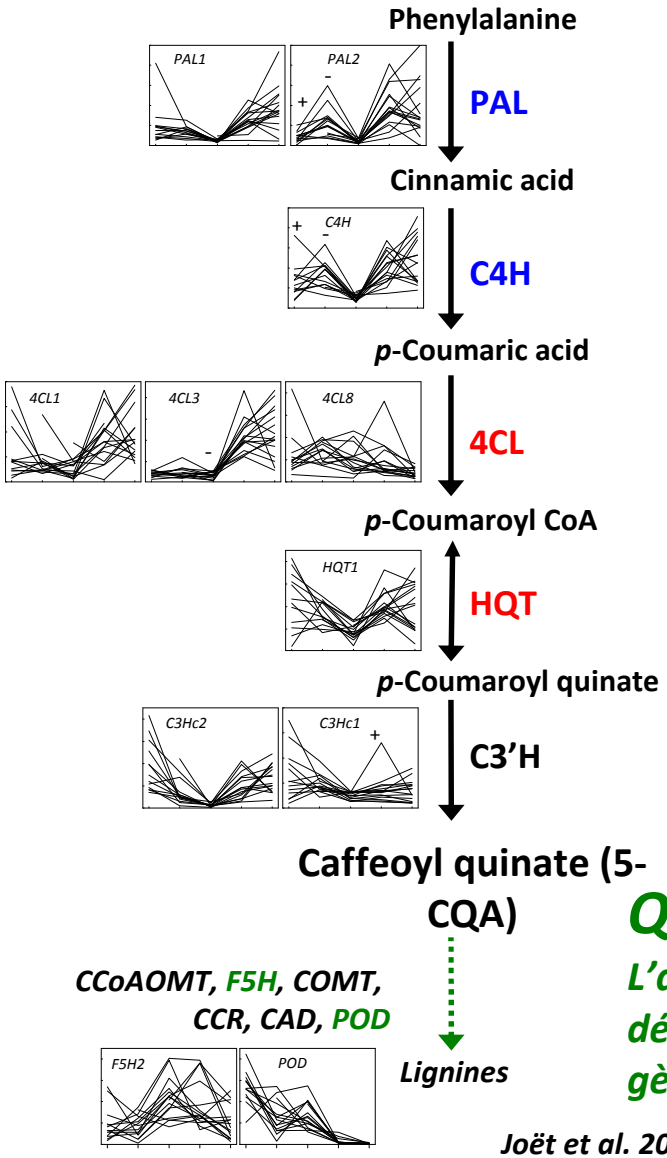
Transcrits et métabolites dont le niveau est corrélé quantitativement aux CWSP

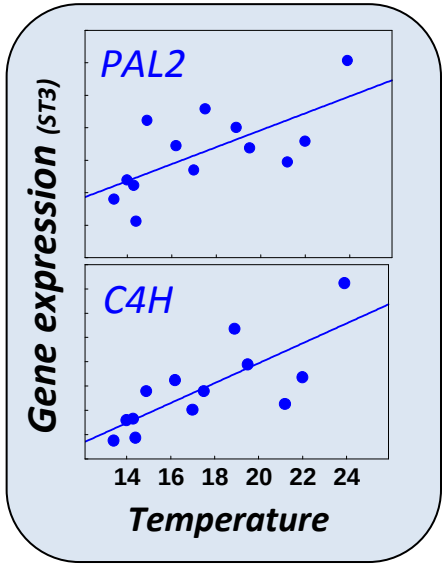
- Corrélations positives
- Corrélations négatives



Sous contrainte environnementale le flux de carbone est dérivé vers d'autres puits (sorbitol, RFOs)

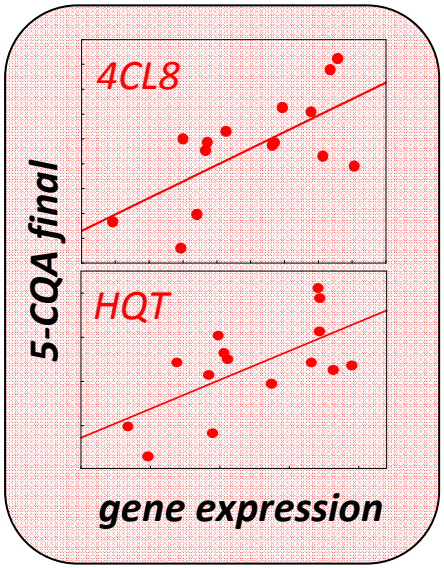
Exemple 2: Contrôle transcriptionnel et biosynthèse des acides chlorogéniques





Les basses températures retardent l'activation des gènes *PAL* et*C4H*

→ Contrôle environnemental



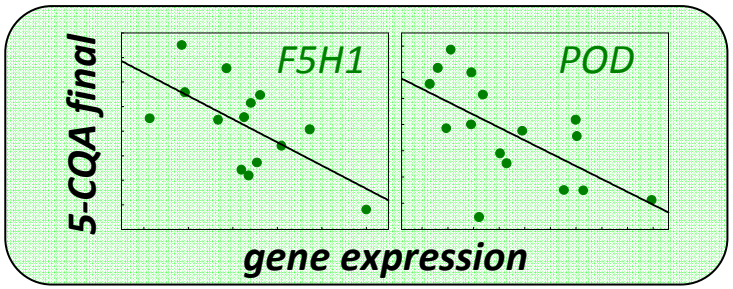
L'expression d'HQT module la synthèse de 5-CQA

→ QTTs

(Quantitative Trait Transcripts)

QTTs

L'accumulation de 5-CQA dépend de la repression des gènes en aval de la voie



Joët et al. 2010. Plant cell Environ 33: 1220

Conclusions

* *Les approches génomiques pour l'étude des effets de l'environnement permettent d'étudier les régulations fines des voies de biosynthèse des réserves*

* *La graine constitue un modèle adapté pour ces approches (accumulation sans remobilisation, contrôle transcriptionnel fort associé au programme développemental)*

Perspectives

* *Etudier les effets de l'environment à l'échelle du transcriptome*
  (les approches qPCR fournissent une preuve de concept)

* *Etudier les interactions Genotype x Environment à l'échelle du génome*

* *Développer des programmes de recherche intégrant la chimie des arômes et les approches génomiques*

* *Développer des essais multilocaux à l'échelle mondiale pour mieux prédire les effets de l'environnement et du changement climatique sur la qualité du café*

Remerciements

IRD
Institut de recherche pour le développement

Stéphane Dussert
Michel Noirot
Andréina Laffargue
Jordi Salmona
Sylvie Doulbeau

CAFE-REUNION
La coopérative Bourbon pointu

cirad
Benoit Bertrand
Frédéric Descroix

Appui à la création d'une filière caféicole

Projet FEADER 2003-2013 (Région Réunion & UE)

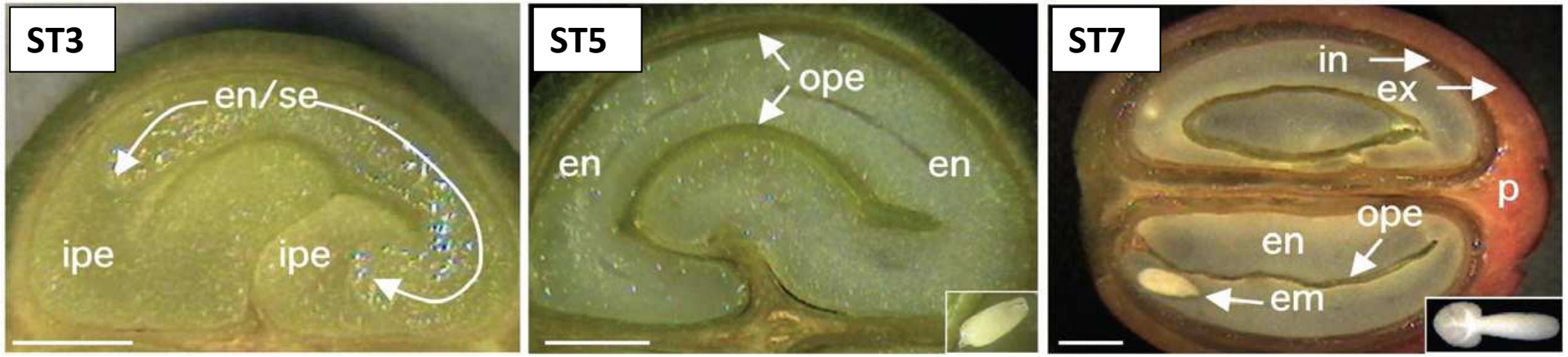
REGION REUNION
VALORISONS NOS ATOUTS

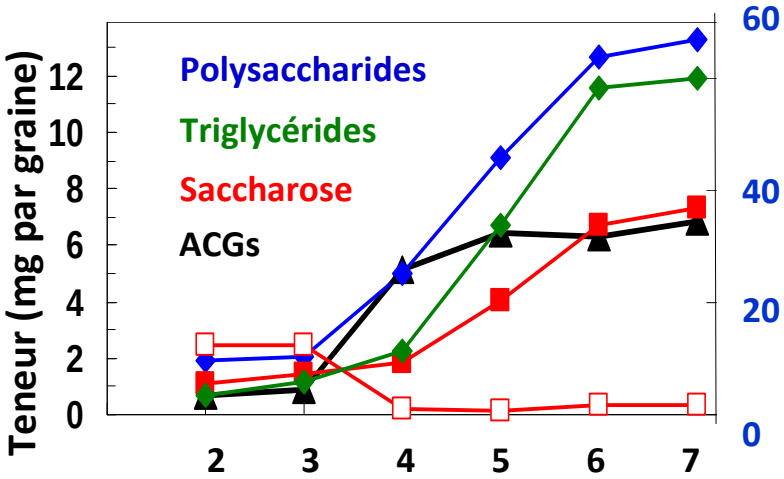
Merci de votre attention

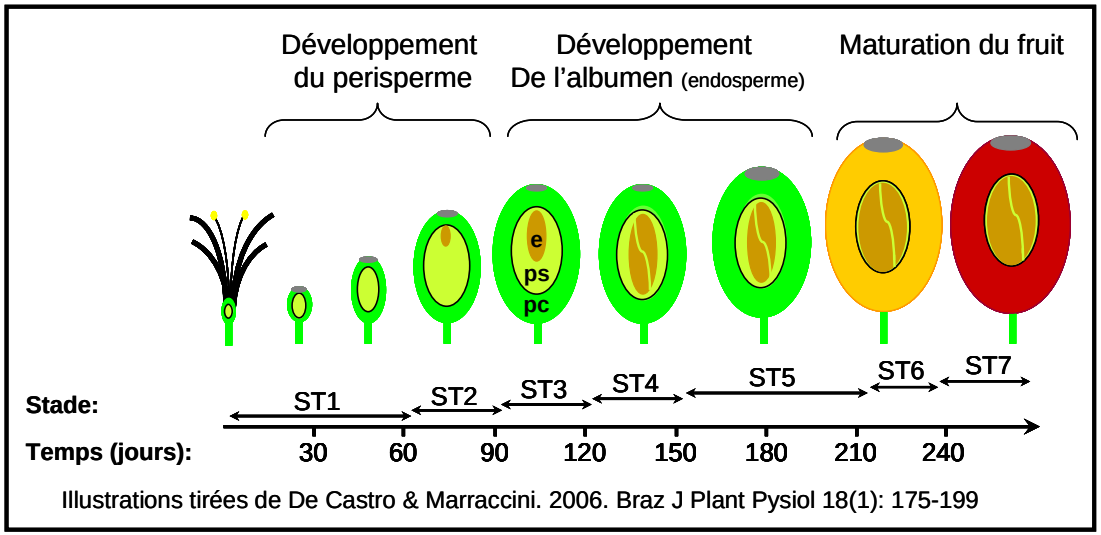
Reconstruction des voies de biosynthèse

* *Identifier les gènes associés à la synthèse des principaux composés de réserve*

Précurseurs d'arômes (réactions de Maillard & Stecker lors de la torréfaction)







Illustrations tirées de De Castro & Marraccini. 2006. Braz J Plant Pysiol 18(1): 175-199