



- Comment les conditions de production influencent les qualités des fruits : résultats du GIS Fruits

# La fraise, un atout pour la santé

**Vallin Guillaume<sup>1</sup>, Petit Aurélie<sup>2</sup>, Labadie Marc<sup>1</sup>, Chartier Philippe<sup>2</sup>,  
Rothan Christophe<sup>1</sup>, Denoyes Béatrice<sup>1</sup>**

1, 1 INRA, UMR 1332 BFP, Université de Bordeaux, UMR 1332 NFP, F-33140  
Villenave d'Ornon, France

2 Cired, Maison Jeannette, 24140, Douville, France



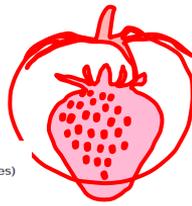
# La fraise, un atout pour la santé

G. Vallin, M. Labadie, B. Denoyes, C. Rothan UMR Biologie du  
Fruit et Pathologie, INRA

W. Schwab, Technical University of Munich, Allemagne

Partenaires impliqués : Ciref (P. Chartier et A. Petit)





- **La filière fraisicole française**

Production de fraises en France :

- 57 000 tonnes
- 3 630 hectares

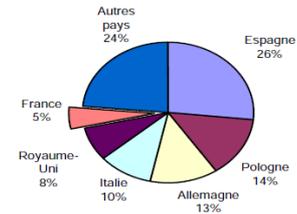


MN Démené, Invenio

- **Production de plants**

140 millions de plants certifiés par le Service Officiel de Contrôle (SOC) produits en France représentent-ils un potentiel de **3 millions d'euros de royalties par an**

Production européenne de fraise en 2013  
Total : 1179 (1000 tonnes)



Source : Eurostat et estimations SSP



(Photo courtesy of Lassen Canyon Nursery.)

France: 30.000 emplois

→ 2/3 emplois directs (production)

→ 1/3 emplois indirects (appro/commerce/service)



## Une espèce qui se maintient voire en expansion

propuls<sup>o</sup>  
VIVE LES FRUITS  
ET LÉGUMES D'AQUITAINE !  
© Réseau d'excellence pour entreprendre et se développer

| Agreste | Poitou-<br>Ch.                        | Aquitaine | Limousin | Total Super<br>SO | France |
|---------|---------------------------------------|-----------|----------|-------------------|--------|
|         | Superficie développée (ha)            |           |          |                   |        |
| 2000    | 52                                    | 1534      | 31       | 1617              | 4003   |
| 2014    | 93                                    | 844       | 17       | 954               | 3240   |
|         | Production (tonne)                    |           |          |                   |        |
| 2000    | 627                                   | 27 041    | 432      | 28100             | 59 729 |
| 2014    | 1 343                                 | 19 738    | 255      | 21336             | 58 170 |
|         | Estimation<br>propulso                |           |          |                   |        |
|         | Valeur de la production expédiée (M€) |           |          |                   |        |
| 2014    | 5 M€                                  | 78 M€     | 1 M€     | 84 M€             | 230 M€ |

La filière produit 40% des fraises consommées en France (120 000t), principalement sur le segment haut de gamme. Importations =52% de la consommation.

Rencontres du GIS Fruits, mardi 7 mars 2017



# Analyse SWOT (propulso)

## Forces :

- Fruit préféré des enfants, atout santé : vit C
- Offre segmentée, orientée haut de gamme avec une large diversité variétale (CV maîtrisée par les producteurs).
- Abris hors sol récents, ergonomiques, maîtrise technique.

Planning étalé grâce à la diversité des types de production  
Présence d'opérateurs commerciaux structurés

## Faiblesses :

- Périssabilité, tendance au groupement de la production (conditions climatiques chaudes)
- Pression pathogène
- Coût de la main d'œuvre, rendements inférieurs aux autres pays d'Europe (choix de variétés tourné vers la qualité)

## Opportunités :

- Développer le marché de la fraise ronde française standard (demande non totalement satisfaite au printemps)
- Consommation mondiale en hausse, nombreuses innovations

## Menaces :

- Nouvelles menaces pathogènes.
- Déséquilibre potentiel du marché de Gariguettes à certaines périodes
- Risque de dispersion de la commercialisation

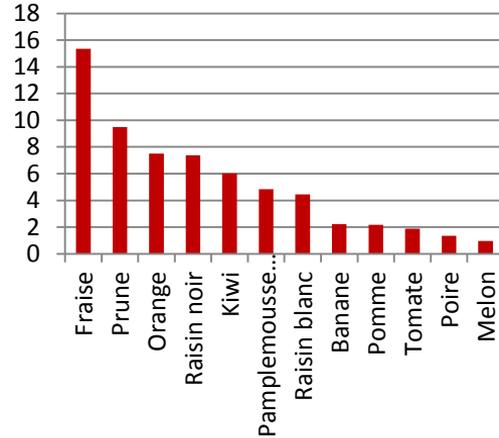


# Qualité du fruit

## Qualité organoleptique

Taille  
Couleur et brillance  
Forme  
Texture (fermeté)  
Goût  
Sucres  
Acides organiques  
Aromes

Aktivité antioxydante ( $\mu\text{mol}$   
Trolox eq/g FW) par la méthode  
ORAC



## Composés santé

### Antioxydants

Vitamin C

Phénylpropanoïdes

Acides phénoliques

Flavonoïdes

Anthocyanines

### Minéraux

Voie métabolique  
des  
phénylpropanoïdes  
/polyphénols

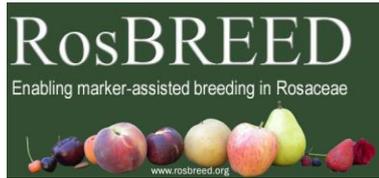
Amélioration des composés santé → Etude du contrôle  
génétique et moléculaire des facteurs impliqués dans les  
métabolites secondaires



# D'où viennent les données analysées?



## Génotype



Basill et al. BMC Genomics  
DOI 10.1186/s12864-015-1310-1



RESEARCH ARTICLE

Open Access

Development and preliminary evaluation of a 90 K Axiom® SNP array for the allo-octoploid cultivated strawberry *Fragaria x ananassa*

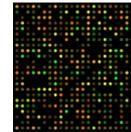


Population en  
ségrégation pour  
de nombreux  
caractères

Données  
d'expression



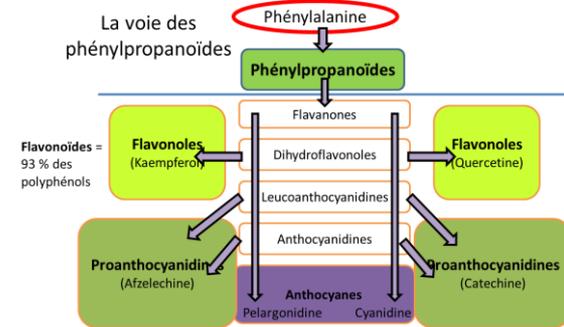
Microarrays (39.000 oligos)

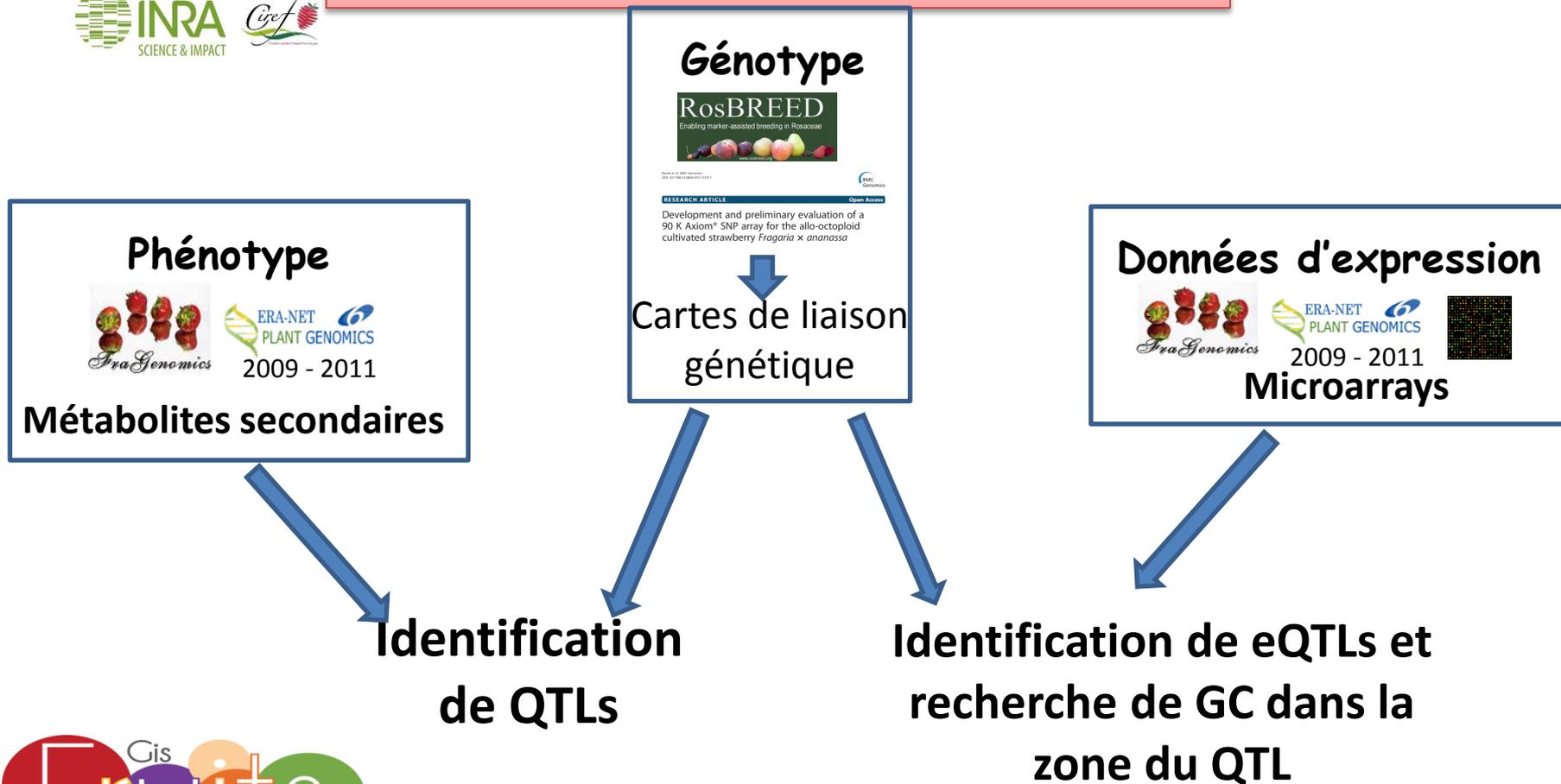


## Phénotype



Métabolites secondaires (18  
métabo. voie phénylpropanoïdes)





# Les données phénotypiques

Population pseudo-F1 : Capitola X CF1116

→ Caractères contrastés des parents (Lerceteau-K)

Projet FRAGENOMICS:

-Quantités relatives de **21 métabolites secondaires**

-Technique **GC-MS**

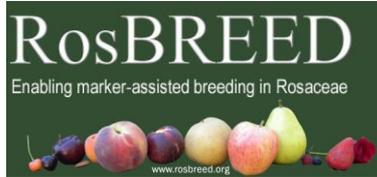
-**80** individus en 2010 et **149** en 2011

-**3 répétitions** techniques

| Caractères                             |                     |                          |
|--|---------------------|--------------------------|
| <i>Noms complets</i>                   | <i>Abréviations</i> | <i>Familles</i>          |
| Cinnamoyl-glucose                      | cn                  | Phenylpropanoïdes        |
| p-Cumaroyl-glucoside-glucose           | cm                  |                          |
| Caffeoyl-glucose                       | cf                  |                          |
| p-OH-benzoyl-glucose                   | bn                  |                          |
| Quercetin-glucuronide                  | qu                  | Flavonols                |
| Kaempferol-glucoside                   | ka                  |                          |
| Kaempferol-glucuronide                 | kg                  |                          |
| Kaempferol-cumaroyl-glucoside          | kc                  |                          |
| Catechin                               | ca                  | Proanthocyanidines (PAs) |
| (Epi)Catechin                          | eca                 |                          |
| (Epi)Afzelechin                        | ea                  |                          |
| (Epi)Afzelechin-glucoside              | eg                  |                          |
| Cyanidin-glucoside (Kuromanin)         | cg                  | Anthocyanines            |
| Pelargonidin-glucoside                 | pg                  |                          |
| Pelargonidin-rutinoside                | pr                  |                          |
| Pelargonidin-glucoside-malonate        | pgm                 |                          |
| (Epi)Afzelechin-pelargonidin-glucoside | epg                 |                          |
| Ascorbic acid                          | asc                 | Vitamine C               |
| Ellagic acid                           | el                  | Autres                   |
| Citric acid                            | ci                  |                          |
| HDMF-glucoside                         | hd                  | Arôme                    |



# Génotype



# Population en ségrégation

# Phénotype



Métabolites secondaires (18  
métabo. voie phénylpropanoïdes)

# Identification de QTLs

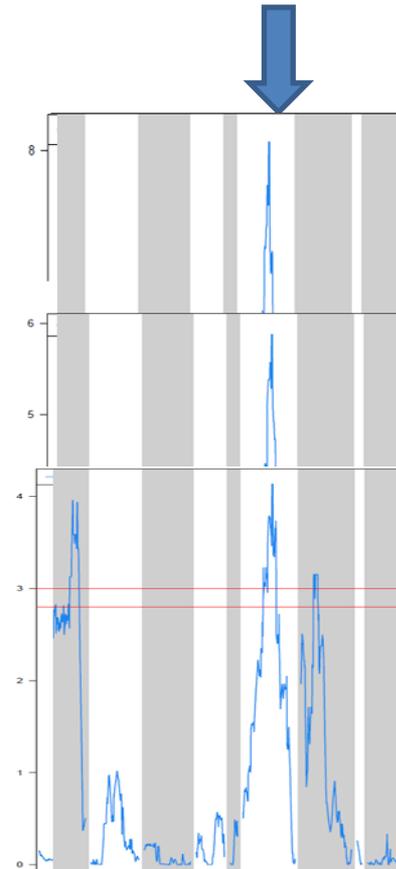


# Détection de QTL en SIM

Pic = 10 cM = 2,4 M pb    Effet positif

→ Un QTL intéressant:  
Colocalisation pour trois  
métabolites secondaires  
(Phénylpropanoïdes) sur les deux  
années d'étude.

- le Cinnamoyl-glucose
- le Coumaryl-glucose/glicoside
- le Cafféoyl-glucose



## Choix des individus pour l'analyse de la relation entre expression et données métabolites secondaires

Sur les 21 descendants analysés pour leur expression, choix de 12 individus représentant les individus les plus extrêmes: low level et high level en cm, cn et cf

→ les test T de Student montre que les deux groupes low et high levels sont bien différents avec un risque alpha de 1% alors qu'ils ne sont pas différentes pour les autres métabolites (sauf asc-2011)



cn, Cinnamoyl–glucose  
cm, Coumaroyl–glucose/glucoside  
cf, Caffeoyl–glucose

## Données phénotypiques

Student Test de Student on phenotypic data (contents in cn cm cf in 2010 and 2011) for the 12 extremes individuals

| gen  | CF152   | CF16    | CF180   | CF10    | CF195   | CF109   | CF108   | CF78    | CF215   | CF36    | CF6     | CF94    | when pb |
|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 2010 | 1       | 2       | 3       | 4       | 5       | 6       | 7       | 8       | 9       | 10      | 11      | 12      |         |
| asc  | 0.06647 | 0.17326 | 0.08433 | 0.05583 | 0.08423 | 0.12091 | 0.03565 | 0.03091 | 0.02613 | 0.05791 | 0.23496 | 0.06288 | 0.71755 |
| ci   | 1.27803 | 1.63424 | 1.05507 | 1.51134 | 1.19464 | 1.78239 | 1.2091  | 1.221   | 0.96966 | 1.41317 | 1.53926 | 0.87653 | 0.21285 |
| el   | 0.02896 | 0.03625 | 0.02398 | 0.04062 | 0.02801 | 0.02185 | 0.01203 | 0.06675 | 0.02911 | 0.05493 | 0.03634 | NA      | 0.37329 |
| pg   | 18.8658 | 26.6145 | 14.6299 | 14.7999 | 16.5403 | 18.0728 | 26.9187 | 16.7978 | 26.9612 | 25.7976 | 37.666  | 18.1084 | 0.08022 |
| pgm  | 0       | 0.13331 | 0       | 0       | 0.01361 | 0       | 0.09921 | 0.02347 | 0       | 0.60847 | 0.52762 | 0       | 0.16954 |
| pr   | 1.05787 | 0.81407 | 1.09065 | 0.81451 | 0.90755 | 1.37655 | 1.13063 | 1.16663 | 2.54393 | 1.35943 | 1.13403 | 0.82753 | 0.22777 |
| epg  | 0.00932 | 0.01892 | 0.0041  | 0.00633 | 0.00745 | 0.01048 | 0.01076 | 0.00865 | 0.01682 | 0.01115 | 0.01315 | 0.00699 | 0.49156 |
| cg   | 0.37811 | 0.16272 | 0.12524 | 0.18498 | NA      | 0.10663 | 0.22881 | 0.25292 | 0.17163 | 0.8287  | NA      | 0       | 0.13153 |
| bn   | 0.01372 | 0.03306 | 0.01768 | 0.01078 | 0.01062 | 0.01293 | 0.02635 | 0.02729 | 0.05454 | 0.03074 | 0.03665 | 0.01178 | 0.05832 |
| cm   | 0.05284 | 0.09416 | 0.12347 | 0.14357 | 0.22682 | 0.07724 | 0.25559 | 0.34293 | 0.28759 | 0.39548 | 0.27728 | 0.42281 | 0.00023 |
| cn   | 0.14247 | 0.66518 | 0.52462 | 0.57319 | 1.37918 | 0.42326 | 1.86303 | 2.15712 | 2.12136 | 2.09522 | 1.98654 | 2.79073 | 3.8E-03 |
| cf   | 0.01777 | 0.032   | 0.04027 | 0.03762 | 0.02678 | 0.01992 | 0.10687 | 0.07388 | 0.06854 | 0.03946 | 0.05126 | 0.09339 | 0.00688 |
| eca  | 0.52629 | 0.56493 | 0.38035 | 0.63829 | 0.64272 | 0.49636 | 0.5135  | 0.43505 | 0.47134 | 0.58215 | 0.75676 | 0.31489 | 0.69857 |
| ca   | 0.24537 | 0.23462 | 0.19892 | 0.30058 | 0.3359  | 0.2077  | 0.22296 | 0.22015 | 0.20142 | 0.2392  | 0.32721 | 0.17082 | 0.46246 |
| ea   | 0.05089 | 0.06096 | 0.08895 | 0.0636  | 0.07839 | 0.05209 | 0.06213 | 0.06934 | 0.04838 | 0.05134 | 0.08282 | 0.02887 | 0.97239 |
| qu   | 0.05466 | 0.03836 | 0.02067 | 0.04179 | NA      | 0.03972 | 0.02644 | 0.05707 | 0.03427 | 0.03122 | NA      | 0.04099 | 0.89431 |
| ka   | 0.08828 | 0.10813 | 0.06153 | 0.07634 | 0.12529 | 0.09961 | 0.14547 | 0.07306 | 0.13491 | 0.13682 | 0.16921 | 0.03656 | 0.34548 |
| kg   | 0.06505 | 0.08478 | 0.0416  | 0.07117 | 0.11694 | 0.06391 | 0.10246 | 0.04725 | 0.07396 | 0.07795 | 0.11971 | 0.06166 | 0.66932 |
| kc   | 0.08384 | 0.0771  | 0.05809 | 0.0595  | 0.07923 | 0.12076 | 0.0753  | 0.07539 | 0.13061 | 0.0545  | 0.10569 | 0.0375  | 0.99642 |
| eg   | 0.34903 | 0.35085 | 0.35396 | 0.65821 | 1.08929 | 1.09151 | 0.51656 | 0.74469 | 0.60572 | 0.19393 | 0.53934 | 0.14991 | 0.30986 |
| hd   | 0.29214 | 0.97074 | 0.42126 | 0.93239 | 0.12205 | 0.9155  | 0.59268 | 0.42637 | 0.74679 | 0.264   | 0.57077 | 0.73081 | 0.76136 |



## Recherche des gènes candidats dans la zone du QTL en s'appuyant sur les données d'expression

Test T de Student sur les données  
d'expression des deux groupes d'individus  
low et high levels

→ Identification d'une estérase

| Function                            | low level of cn cm cf |           |            |           |            |            | high level of cn cm cf |           |            |            |           |            | Pté <0.0 | low lev<br>moy | high le<br>moy |
|-------------------------------------|-----------------------|-----------|------------|-----------|------------|------------|------------------------|-----------|------------|------------|-----------|------------|----------|----------------|----------------|
|                                     | CF152<br>1            | CF16<br>2 | CF180<br>3 | CF10<br>4 | CF195<br>5 | CF109<br>6 | CF108<br>7             | CF78<br>8 | CF215<br>9 | CF36<br>10 | CF6<br>11 | CF94<br>12 |          |                |                |
| esterase                            | 155.7                 | 101.6     | 97.41      | 128.8     | 126.7      | 183.3      | 37.33                  | 45.58     | 30.68      | 95.08      | 43.24     | 35.75      | 0.0006   | 132            | 47.9           |
| putative disease resistance protein | 1641                  | 2447      | 357.8      | 1251      | 1018       | 1121       | 27.65                  | 20.52     | 16.45      | 1003       | 109.4     | 18.54      | 0.0098   | 1306           | 199            |
| uncharacterized prot                | 7526                  | 5715      | 8462       | 5961      | 5912       | 7504       | 4661                   | 4837      | 4797       | 5586       | 3890      | 4645       | 0.0043   | 6847           | 4736           |
| uncharacterized prot                | 83.3                  | 64.62     | 72.18      | 74.39     | 72.07      | 69.13      | 126.8                  | 114.7     | 139.8      | 71.89      | 130.5     | 125.7      | 0.0048   | 72.6           | 118            |
| uncharacterized prot                | 35.57                 | 37.73     | 41.64      | 16.69     | 21.94      | 15.41      | 46.78                  | 64.82     | 67.07      | 42.63      | 40.74     | 43.04      | 0.0073   | 28.2           | 50.8           |



# Détection de eQTL

**330 gènes** dans la région du pic du QTL

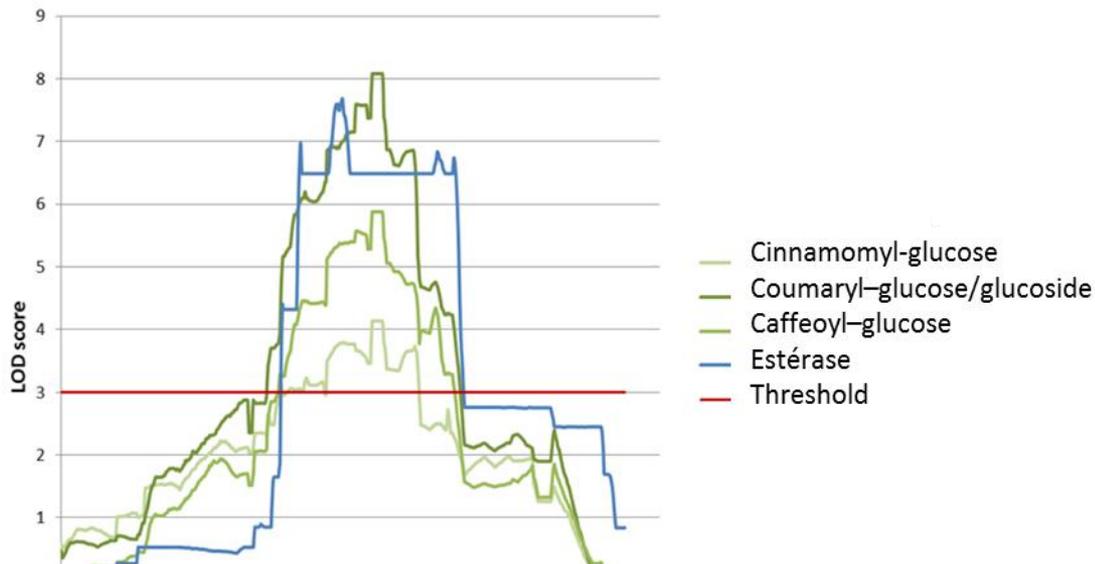
→ Tests de Student

→ 17 gènes analysés en SIM

Colocalisation d'une **esterase** au niveau du pic.

Gène agissant dans la voie métabolique des **phénylpropanoïdes**.

## Données eQTL pour l'esterase



Un gène candidat :  
 Une caffeoyl shikimate  
 esterase.

Phénylalanine  
 Phénylalanine

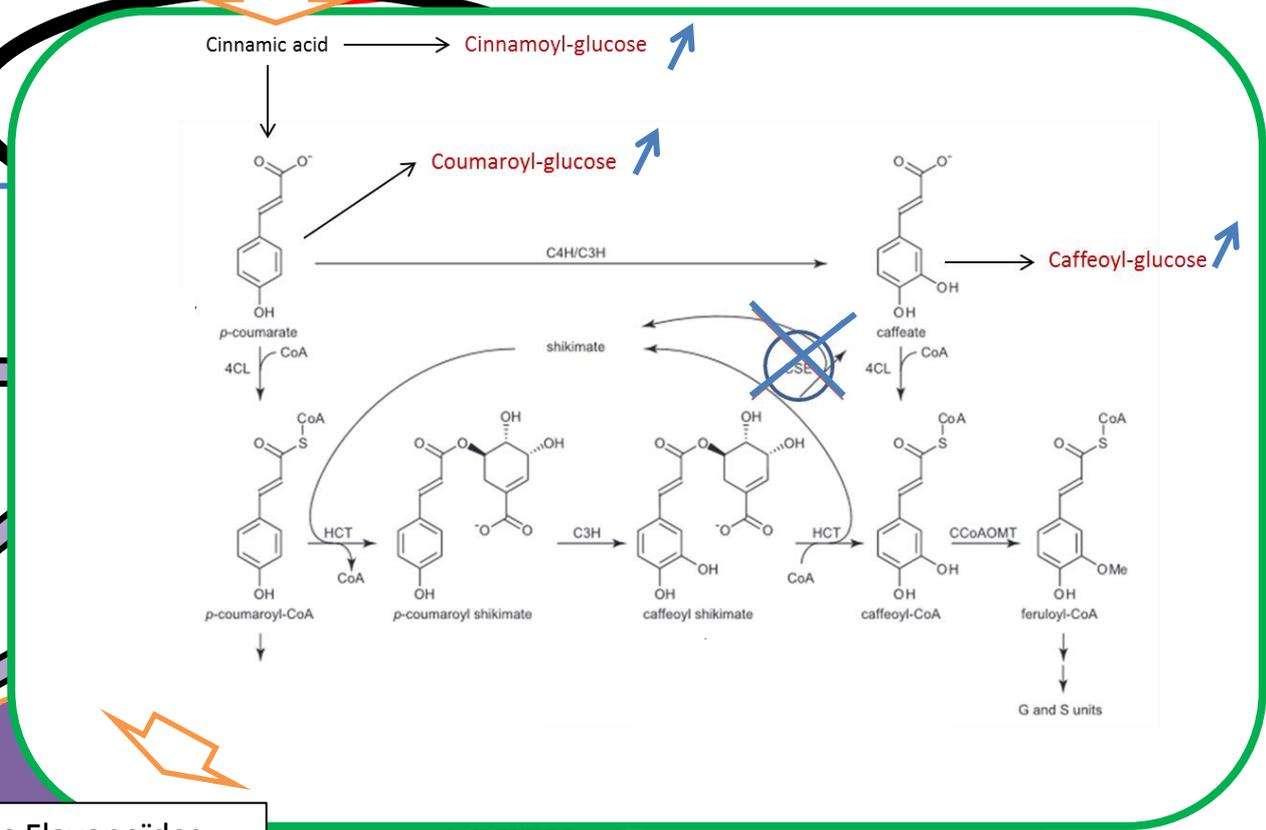
Diminution de l'expression du gène  
 entraîne une augmentation de la  
 quantité en phénylpropanoïdes  
**Flavonoïdes**  
 (Kaempferol)

Deux hypothèses:

- ➔ (1) Boucle de retro-contrôle
- (2) Voie métabolique alternative

**Proanthocyanidines**  
 (Afzelechine)

Voie des Flavonoïdes



Cyanidine

# Pour plus d'informations

Publications : en préparation

Contact :

Denoyes Béatrice, INRA Bordeaux, UMR BFP, [beatrice.denoyes@inra.fr](mailto:beatrice.denoyes@inra.fr)

Petit Aurélie, Ciref, [aurelie.petit@ciref.fr](mailto:aurelie.petit@ciref.fr)

