



# LE METABOLISME DES LEVURES ET LES ARÔMES DU VIN

AUDREY BLOEM

[audrey.bloem@umontpellier.fr](mailto:audrey.bloem@umontpellier.fr)



UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER



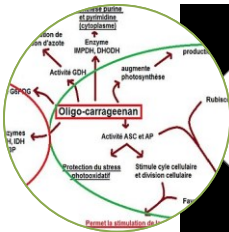
## 1- Introduction : contexte général

- Définitions
- Les arômes du vin



## 2- Impact du métabolisme levurien dans la révélation de l'arôme variétal

- Les précurseurs glycosylés
- Les précurseurs de thiols



## 3- Voies de biosynthèse des arômes fermentaires

- Les alcools supérieurs
- Les esters d'acétate
- Les acides gras
- Les esters d'éthyle
- Les composés soufrés



## 4- Effets des paramètres fermentaires sur la production d'arômes

- La température
- L'azote
- L'oxygène
- Les souches de levures
- Les lipides





## 1- Introduction : contexte général

- Définitions
- Les arômes du vin

**Arômes ou composés d'arômes** : Ensemble de composés volatils odorants émanant d'un aliment et perçu par la voie rétro-nasale lors de son absorption, les arômes, autres délices de la Nature, représentent une composante de la saveur, résultant elle-même de l'ensemble des sensations gustatives et olfactives. On parle aussi de fumet, de parfum, de bouquet, la notion d'arôme s'appliquant plus particulièrement aux produits alimentaires et celle de parfum plus pour les substances et leurs mélanges donnant une odeur agréable.

*Société française de chimie*

*« Les termes parfum, senteur, mais surtout **arôme** et bouquet désignent l'odeur agréable dégagée par un vin, plus ou moins intense, plus ou moins complexe. L'odeur dépend du **cépage**, de l'**origine du vin**, de son **âge** et de son **état de conservation**. »*

Emile Peynaud dans le goût du vin



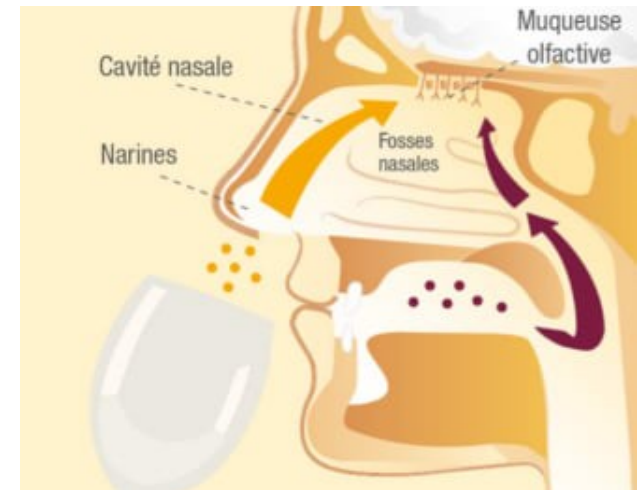


## 1- Introduction : contexte général

- Définitions
- Les arômes du vin

**6200** substances aromatiques répertoriées dans plus de 300 produits alimentaires (Maarse, H, and C. A Visscher. *Volatile Compounds In Food*, 1990.)

- Dans le vin, environ **1000** composés volatils identifiés.
- 1/10 contribuent à la sensation olfactive.





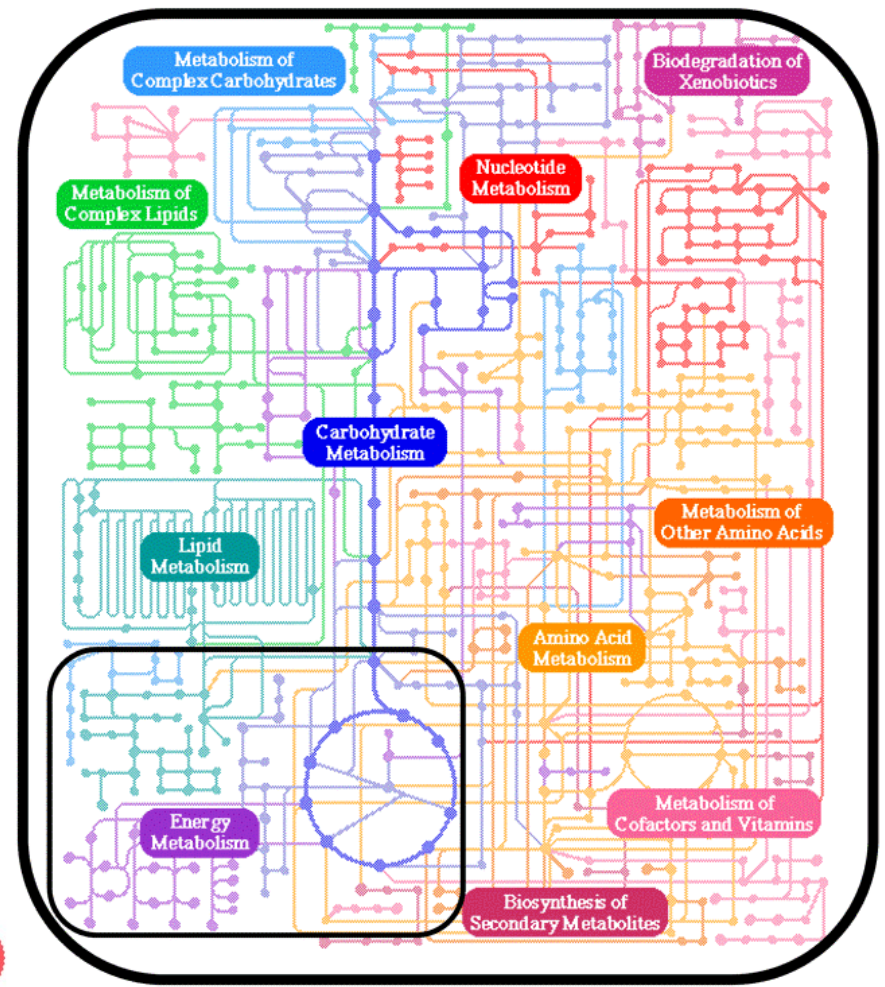
## 1- Introduction : contexte général

- Définitions
- Les arômes du vin

**Métabolisme** : c'est l'ensemble des réactions biochimiques se produisant au sein d'un organisme vivant (homme, les plantes, les levures...)

Métabolisme = anabolisme + catabolisme

- Métabolisme carboné central
- Métabolisme azoté
- Métabolisme soufré
- Métabolisme des lipides





## 1- Introduction : contexte général

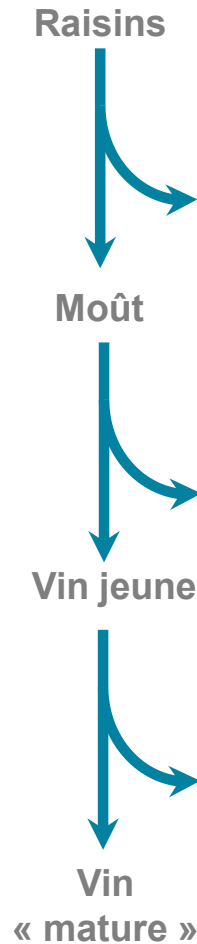
- Définition
- **Les arômes du vin**

## Profil aromatique des vins



### Arômes

- Mélange complexe de nombreux composés volatils
- Interactions entre eux et avec la matrice



## Complexité d'origine



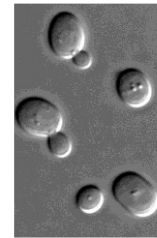
### Arômes variétaux (primaires)

Présent dans la baie de raisin (cépage, sol, climat, maturité)



### Arômes pré-fermentaires

Apparition au cours des opérations pré-fermentaires



### Arômes fermentaires (secondaires)

Issus du métabolisme (FA, FML)



### Arômes de vieillissement (tertiaires)

Réactions chimiques au cours de l'élevage, de la conservation



## 1- Introduction : contexte général

- Définition
- Les arômes du vin

# Contribution des levures dans la libération d'arômes



## Arômes variétaux

Arômes libres : monoterpènes, pyrazines, rotundone

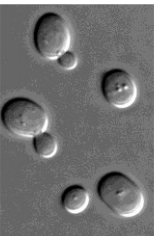


Précurseurs d'arômes : précurseurs glycosidiques, S-conjugués



## Arômes pré-fermentaires

Composés en C6 responsables des odeurs herbacées, feuilles froissées  
Apparition dès que l'intégrité de la baie est rompue



## Arômes fermentaires (FA, FML)

Alcools supérieurs, esters d'acétates et éthyliques  
Acides gras à moyenne chaîne  
Composés soufrés



## Arômes de vieillissement

DMS, vanilline, furfurylthiol...

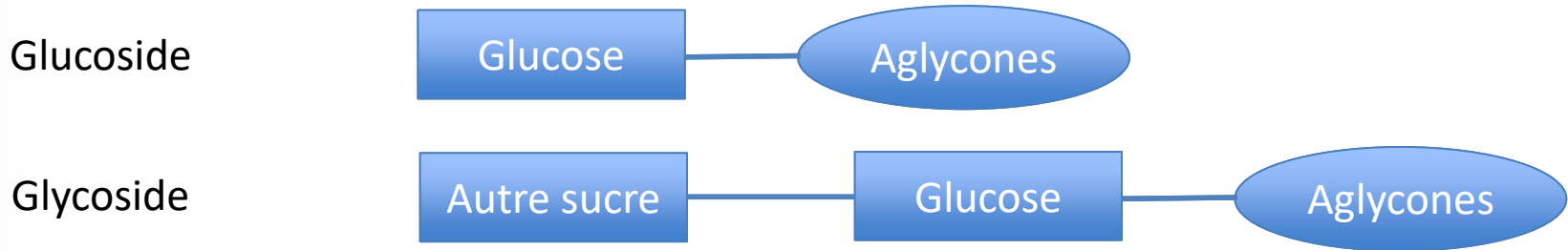




## 2- Impact du métabolisme levurien dans la révélation de l'arôme variétal

- Les précurseurs glycosylés
- Les précurseurs de thiols

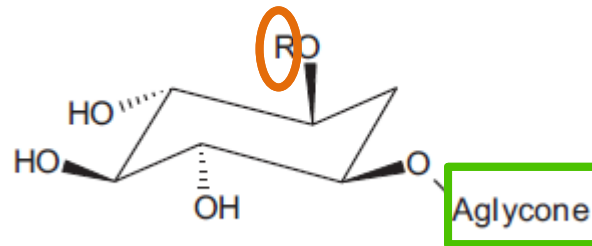
### Nomenclature générale



### Précurseurs glycosylés identifiés

**R :**

- H ( $\beta$ -D-glucopyranosides)
- Apiose  
(6-O- $\beta$ -D-apiofuranosyl- $\beta$ -D-glucopyranosides)
- Rhamnose  
(6-O- $\alpha$ -L-rhamnopyranosyl- $\beta$ -D-glucopyranosides)
- Arabinose  
(6-O- $\alpha$ -L-arabinofuranosyl- $\beta$ -D-glucopyranosides)



**Aglycones :**

- Alcools
- Alcools en C6
- Monoterpénols
- Phénols volatils
- C13-norisoprénoïdes





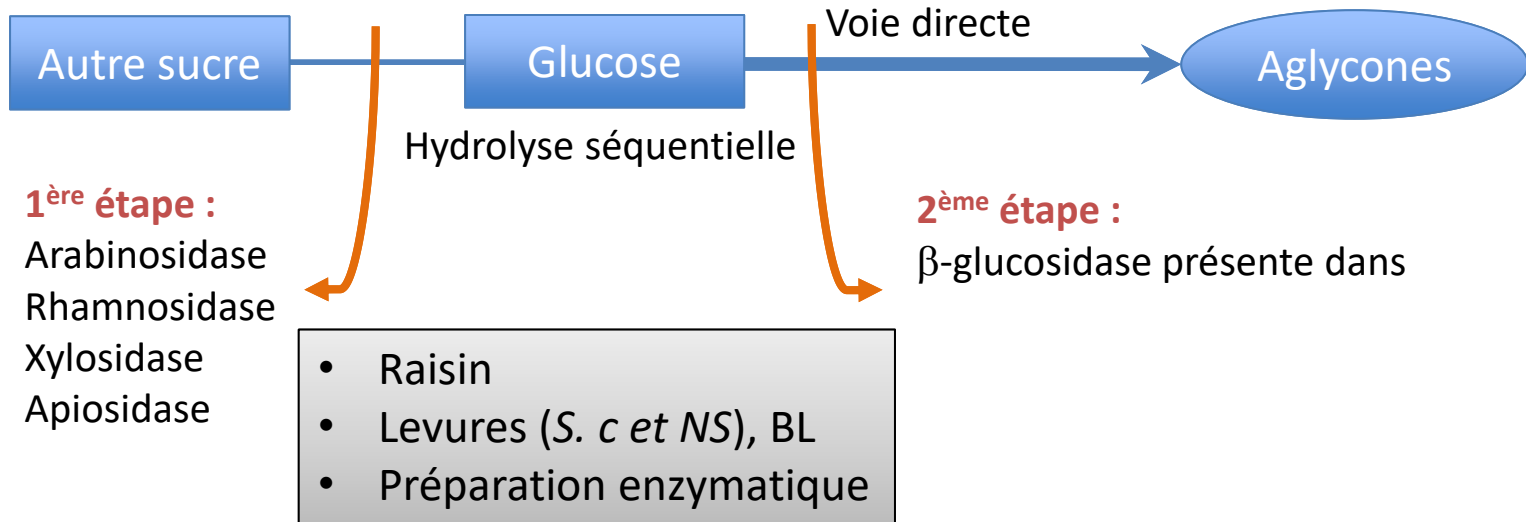


## 2- Impact du métabolisme levurien dans la révélation de l'arôme variétal

- Les précurseurs glycosylés
- Les précurseurs de thiols

### Hydrolyse des précurseurs glycosylés

#### 1. Hydrolyse enzymatique directe (diglycosidases) ou séquentielle durant la FA.



#### 2. Hydrolyse chimique

Processus lent, acido-catalysée, fonction de la température et du pH





## 2- Impact du métabolisme levurien dans la révélation de l'arôme variétal

- Les précurseurs glycosylés
- Les précurseurs de thiols

### Précurseurs de thiols identifiés

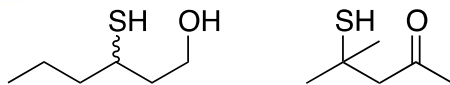
#### Précurseurs S-conjugués



**35-80 %** de la biogénèse  
demeure **non-élucidée**

**$\beta$ -lyase**

#### Thiols variétaux



1998

#### Précurseurs cystéinylés

*Tominaga et al., 1998*

#### Précurseurs glutathionylés

*Peyrot des gachons et al., 2001;*  
*Thibon et al., 2016*

#### Composés C6 insaturés

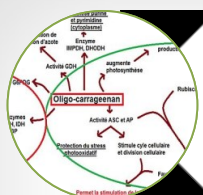
*Schneider et al., 2006*

#### Précurseurs dipeptidiques

*Capone et al., 2012; Bonnaffoux et al., 2017*

2017



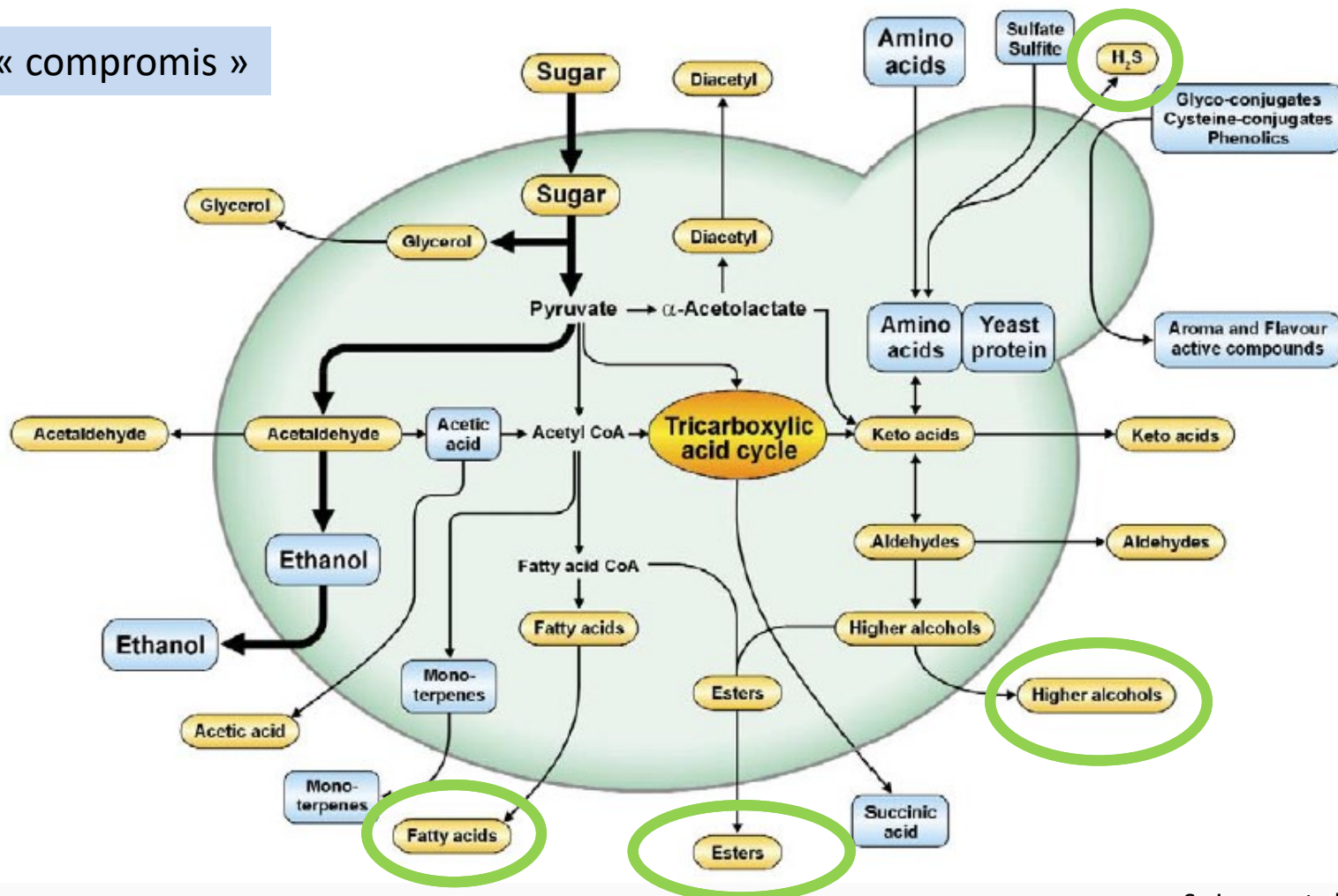


### 3- Voies de biosynthèse des arômes fermentaires

- Les alcools supérieurs
- Les esters d'acétate
- Les acides gras
- Les esters d'éthyle
- Les composés soufrés

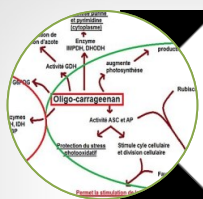
Représentation schématique de la production des composés volatils par la levure au cours de la fermentation alcoolique.

Mot clé : « compromis »



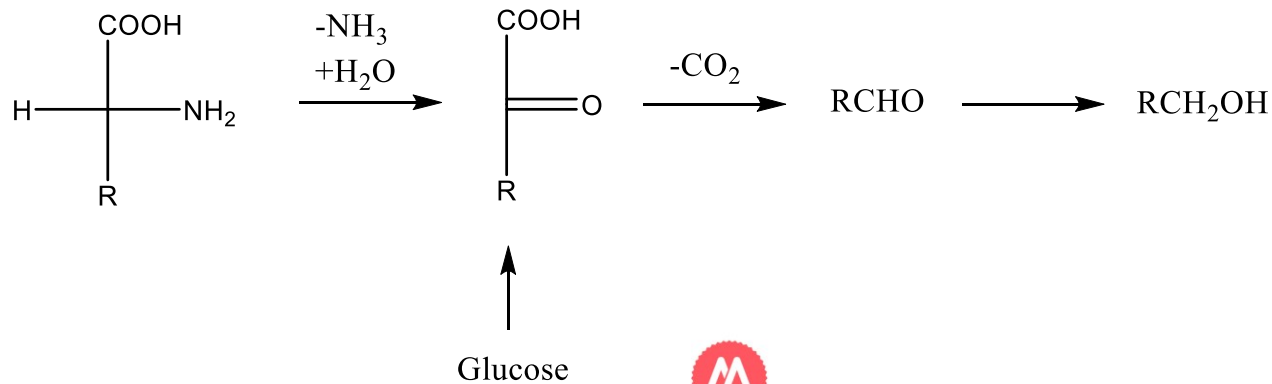
### 3- Voies de biosynthèse des arômes fermentaires

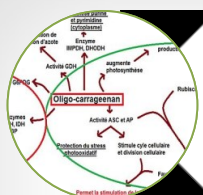
- Les alcools supérieurs
- Les esters d'acétate
- Les acides gras
- Les esters d'éthyle
- Les composés soufrés



- Composés volatils **les plus abondants** dans le vin
  - ❖ Concentration < 400 mg/L → participent à la complexité aromatique
  - ❖ Concentration > 1000 mg/L → Influence négative
- **2-phényléthanol** : Impact sensoriel positif (rose) mais seuil de détection élevé
- **2 voies de biogenèse** :
  - ❖ A partir du sucre : **Voie de la glycolyse**
  - ❖ A partir du catabolisme des acides aminés : **Voie de Ehrlich**

#### **α-cétoacides**

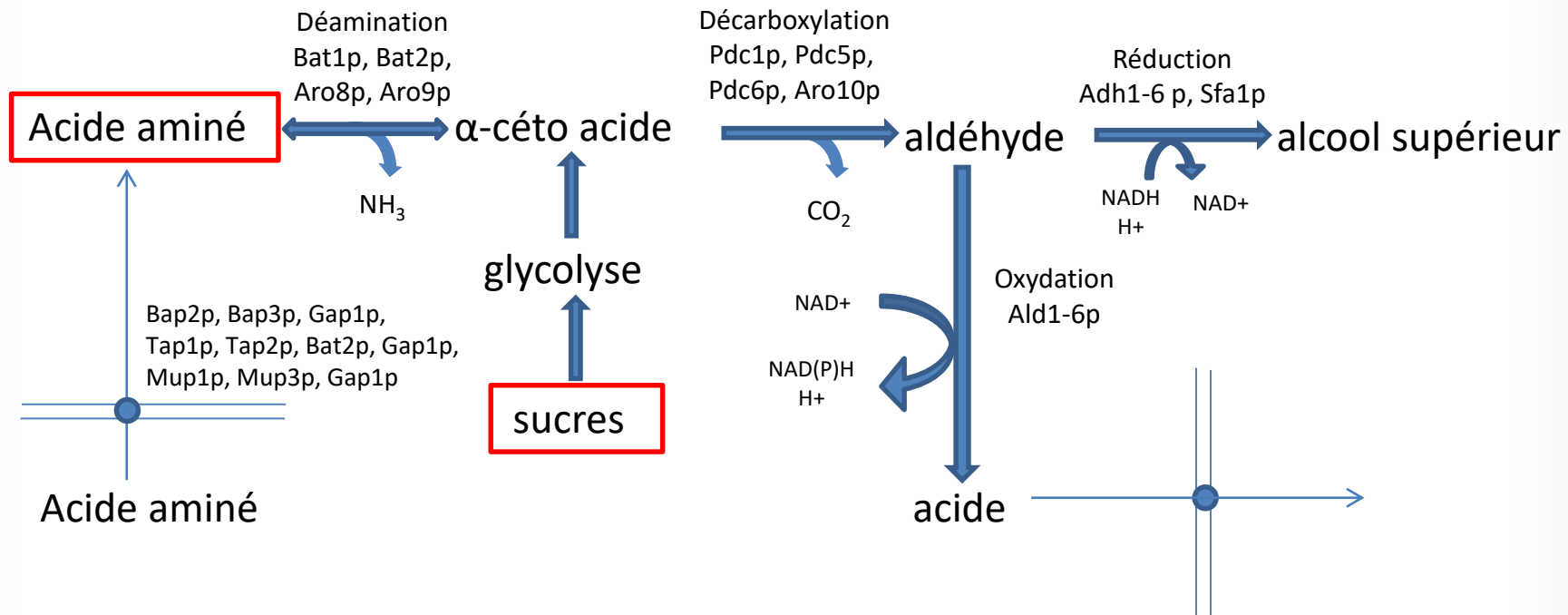




### 3- Voies de biosynthèse des arômes fermentaires

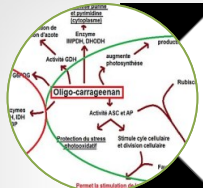
- Les alcools supérieurs
- Les esters d'acétate
- Les acides gras
- Les esters d'éthyle
- Les composés soufrés

### Biogénèse des alcools supérieurs (3 étapes)



- Contribution à la fois du MCC et du métabolisme de l'N
- Rôle clé des céto-acides
- Réactions catalysées par des activités enzymatiques secondaires
- Implications de famille de gènes





### 3- Voies de biosynthèse des arômes fermentaires

- Les alcools supérieurs
- Les esters d'acétate
- Les acides gras
- Les esters d'éthyle
- Les composés soufrés

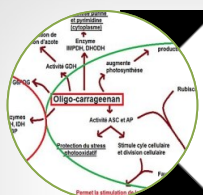
## Biogénèse des alcools supérieurs

<p><b>Branched Chain:</b> Leucine Isoleucine Valine</p>	<p><math>\alpha</math>-Ketoisocaproate <math>\alpha</math>-Ketomethylvalerate <math>\alpha</math>-ketoisovalerate</p>	<p>3-methylbutanal 2-methylbutanal 2-methylpropanal</p>	<p><b>3-methylbutanoate</b> <b>2-methylbutanoate</b> <b>2-methylpropanoate</b></p>	<p><b>3-methylbutanol</b> <b>2-methylbutanol</b> <b>2-methylpropanol</b></p>
<p><b>S-Containing:</b> Methionine</p>	<p><math>\alpha</math>-keto(methylthio)butyrate</p>	<p>methional</p>	<p>3-(methylthio)propanoate</p>	<p><b>methionol</b></p>
<p><b>Aromatic:</b> Phenylalanine Tryptophan Tyrosine</p>	<p>3-phenylpyruvate 3-indolpyruvate hydroxyphenylpyruvate</p>	<p>2-phenylacetaldehyde 3-indoleacetaldehyde hydroxyphenylacetaldehyde</p>	<p>2-phenethanoate 2-indolethanoate hydroxyphenylethanoate</p>	<p><b>phenylethanol</b> tryptophol tyrosol</p>

Odeurs huile de fusel, rose  
Lié à un caractère grossier



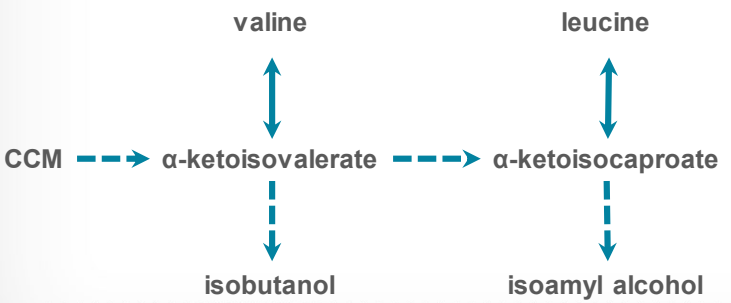
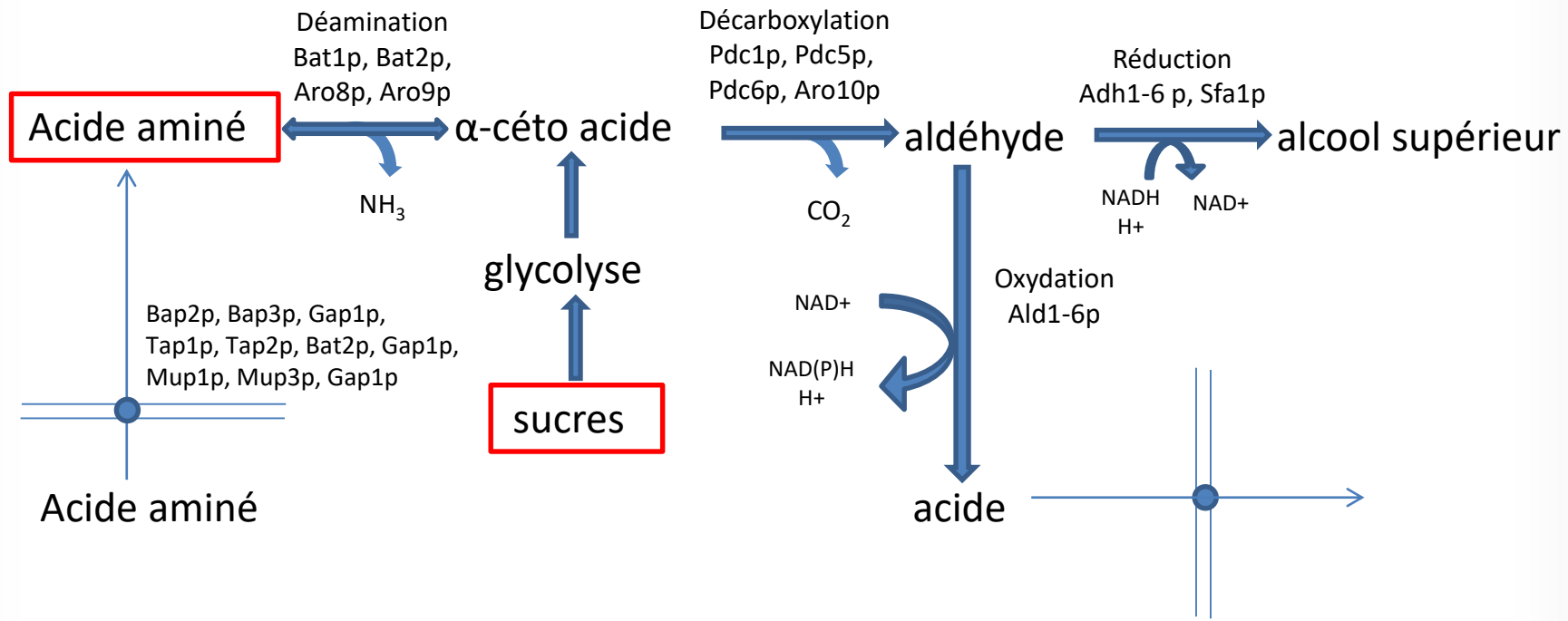
Hazelwood et al., Appl Env Microbiol. 2008; Lilly et al., Yeast. 2006



### 3- Voies de biosynthèse des arômes fermentaires

- Les alcools supérieurs
- Les esters d'acétate
- Les acides gras
- Les esters d'éthyle
- Les composés soufrés

### Biogénèse des alcools supérieurs



### Complexité du réseau

- Une activité = plusieurs composés
- Métabolisme interconnecté



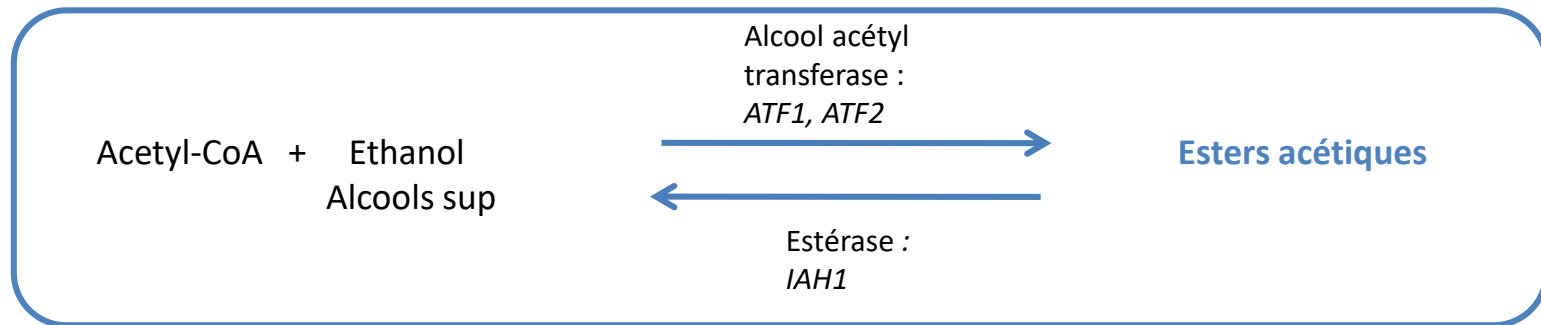
### 3- Voies de biosynthèse des arômes fermentaires

- Les alcools supérieurs
- Les esters d'acétate
- Les acides gras
- Les esters d'éthyle
- Les composés soufrés

❖ Réaction de condensation entre un alcool et un groupement acyl-CoA

#### 2 groupes d'esters dérivés de la fermentation :

- esters acétiques d'alcools supérieurs
- esters éthyliques d'acides gras

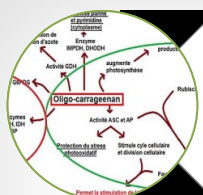


❖ 2 voies de formation :

1. Au cours de la fermentation alcoolique → **estérification enzymatique**
2. Au cours du vieillissement → estérification chimique











### 3- Voies de biosynthèse des arômes fermentaires

- Les alcools supérieurs
- Les esters d'acétate
- Les acides gras
- Les esters d'éthyle
- Les composés soufrés

				C° (mg/l)	Seuils (mg/l)
Acetates					
Ethyl acetate	<chem>CCOC(=O)C</chem>	141-78-6	Fruity (at > 100 mg ml <sup>-1</sup> ) <sup>2</sup> , solvent, balsamic	5.0-63.5 <sup>4,5</sup>	7.5 <sup>3</sup> , 60, 12.27 <sup>w</sup>
2-Methylpropyl acetate (isobutyl acetate)	<chem>CC(C)COC(=O)C</chem>	110-19-0	Fruity, apple 	Trace-0.17 <sup>4</sup>	1.6 <sup>b</sup>
3-Methylbutyl acetate (isoamyl acetate)	<chem>CC(C)CCOC(=O)C</chem>	123-2-2	Banana, fruity 	0.03-5.52 <sup>1,3,4,5</sup>	0.03 <sup>3</sup> , 0.16 <sup>w</sup>
Ethyl 2-phenylacetate	<chem>CCOC(=O)CC1=CC=CC=C1</chem>	101-97-3	Rose, floral 	0.03-0.39 <sup>1,4</sup>	NR
2-Phenylethyl acetate	<chem>CCOC(=O)CC1=CC=CC=C1</chem>	103-45-7	Flowery, rose 	Trace-0.26 <sup>3,5,6</sup>	0.25 <sup>3</sup> , 0.65, 1.80 <sup>w</sup>
Hexyl acetate	<chem>CCCCCOC(=O)C</chem>	142-92-7	Green, herbaceous, fruit, grape	Trace-3.90 <sup>1</sup>	0.002-0.48, 0.67/2.4 <sup>w</sup>

<sup>a</sup> Aroma characteristics collated from: Aznar and Arroyo (2007), Clarke and Bakker (2004), Gomez-Miguez et al. (2007), and Gurbuz et al. (2006).  
<sup>b</sup> Concentration range derived from indicated sources: <sup>1</sup>Aznar and Arroyo (2007), <sup>2</sup>Clarke and Bakker (2004), <sup>3</sup>Ferreira et al. (2000), <sup>4</sup>Gomez-Miguez et al. (2007), <sup>5</sup>Guth (1997), and <sup>6</sup>Rocha et al. (2004).  
<sup>c</sup> Aroma thresholds collated from indicated sources. Values determined in water except where specified (<sup>a</sup>, 10% (v/v) aqueous ethanol; <sup>b</sup>, beer; <sup>3</sup>, synthetic wine [11% (v/v) ethanol, 7 g/l glycerol, 5 g/l tartaric acid, pH 3.4]; <sup>w</sup>, wine).

- Composés impliqués dans l'arôme fruité des vins
- Seuils de perception de l'ordre du mg/l
- Concentrations de la centaine de µg au mg/L



### 3- Voies de biosynthèse des arômes fermentaires

- Les alcools supérieurs
- Les esters d'acétate
- Les acides gras
- Les esters d'éthyle
- Les composés soufrés

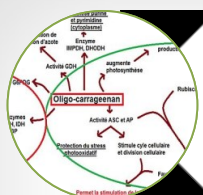
#### 2 groupes d'acides gras impactant l'arôme des vins :

- acides gras linéaires saturés (nombre pair de carbone)
- acides gras ramifiés issus de la voie d'Ehrlich

Formation des acides gras à longue chaîne

Catabolisme des acides gras ( $\beta$ -oxydation)



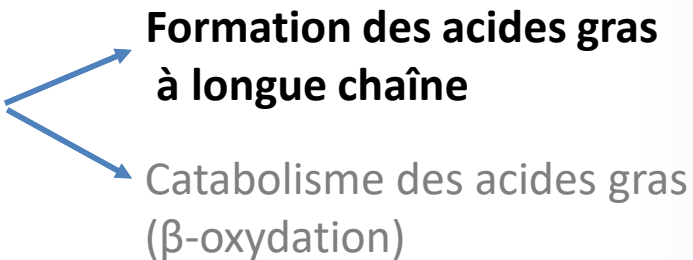


### 3- Voies de biosynthèse des arômes fermentaires

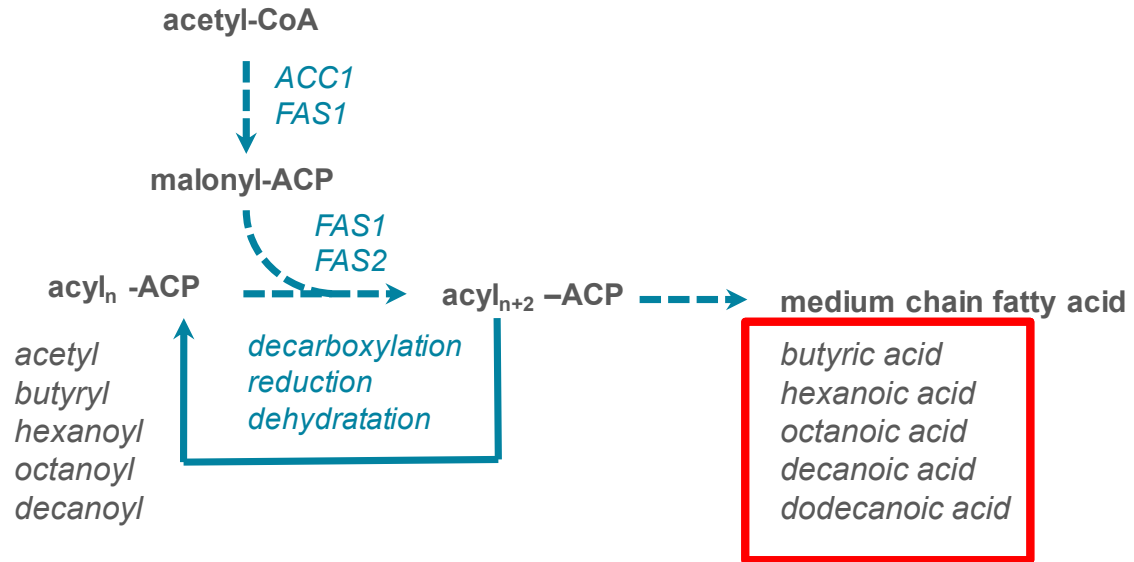
- Les alcools supérieurs
- Les esters d'acétate
- Les acides gras
- Les esters d'éthyle
- Les composés soufrés

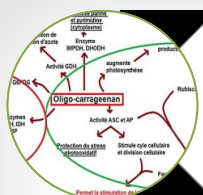
### 2 groupes d'acides gras impactant l'arôme des vins :

- acides gras linéaires saturés (nombre pair de carbone)
- acides gras ramifiés issus de la voie d'Ehrlich



### Biogénèse des acides gras linéaires





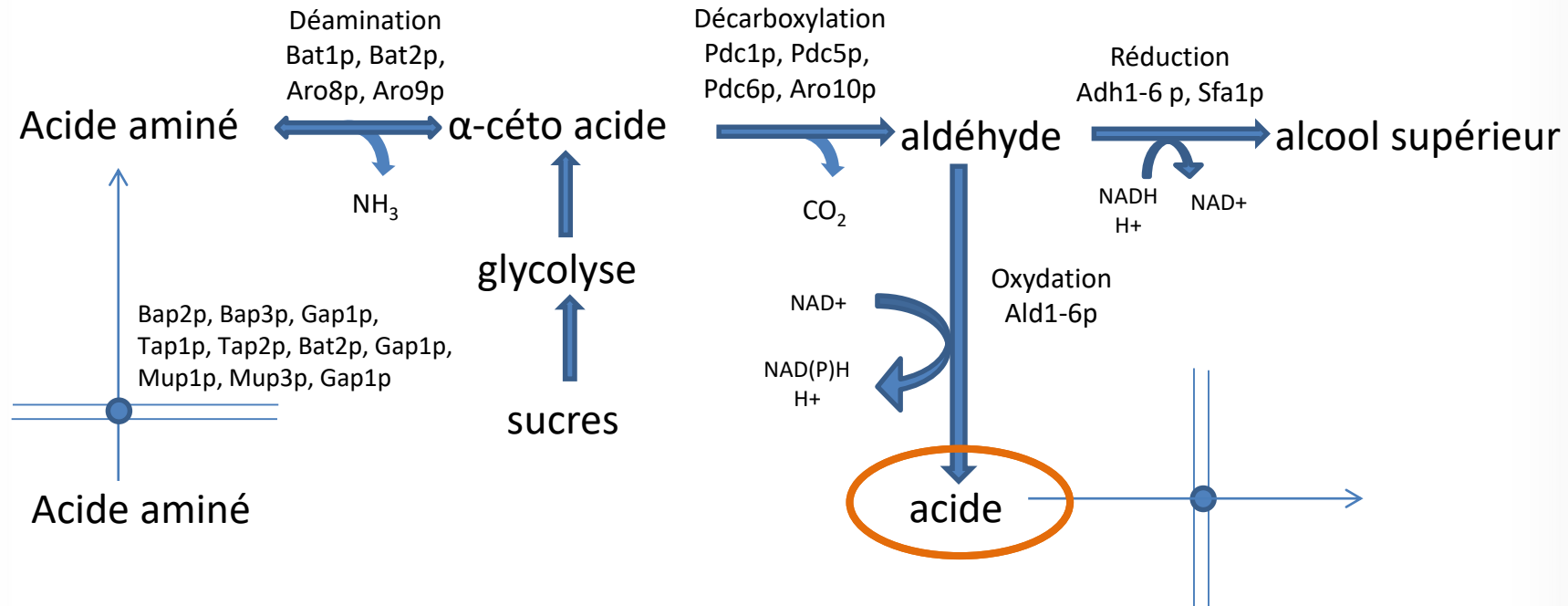
### 3- Voies de biosynthèse des arômes fermentaires

- Les alcools supérieurs
- Les esters d'acétate
- Les acides gras
- Les esters d'éthyle
- Les composés soufrés

### 2 groupes d'acides gras impactant l'arôme des vins :

- acides gras linéaires saturés (nombre pair de carbone)
- acides gras ramifiés issus de la voie d'Ehrlich

### Biogénèse des acides gras ramifiés



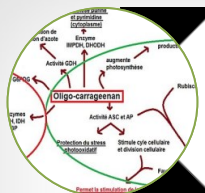
**Branched Chain:**  
 Leucine  
 Isoleucine  
 Valine

$\alpha$ -Ketoisocaproate  
 $\alpha$ -Ketomethylvalerate  
 $\alpha$ -ketoisovalerate

3-methylbutanal  
 2-methylbutanal  
 2-methylpropanal

3-methylbutanoate  
 2-methylbutanoate  
 2-methylpropanoate

3-methylbutanol  
 2-methylbutanol  
 2-methylpropanol

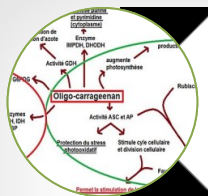


### 3- Voies de biosynthèse des arômes fermentaires

- Les alcools supérieurs
- Les esters d'acétate
- Les acides gras
- Les esters d'éthyle
- Les composés soufrés

### Descripteurs associés aux acides

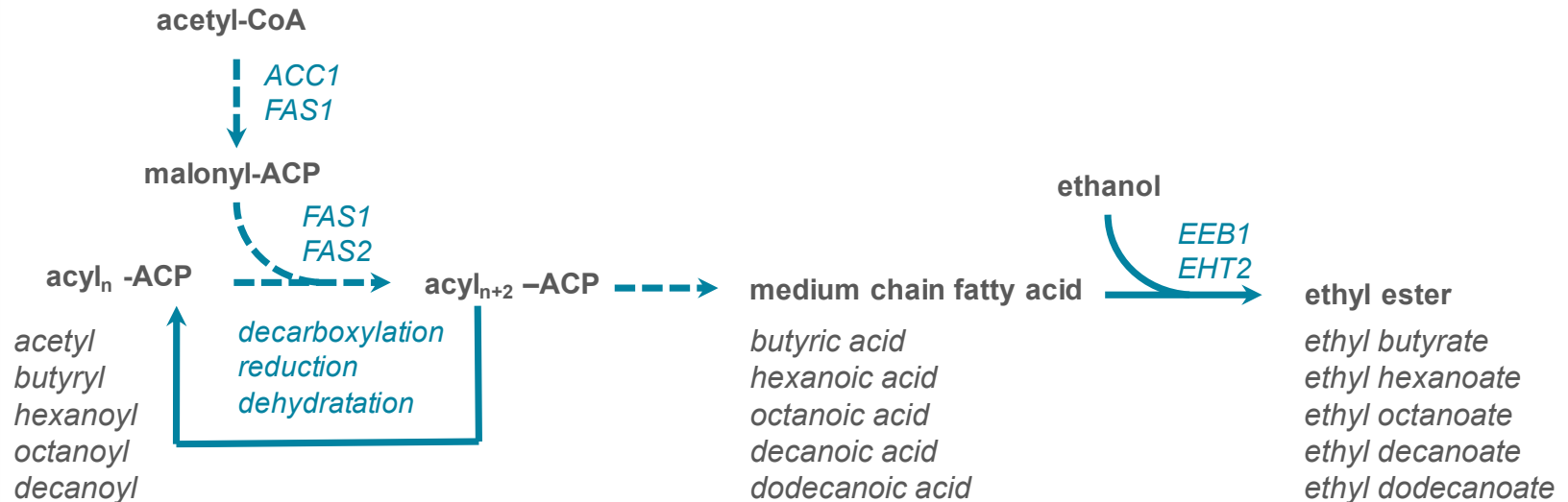
Composés	Descripteurs
Acide butyrique	Rance, vieux beurre
Acide hexanoïque	Aigre, sueur, fromage
Acide octanoïque	Acide, aigre, savonneux, fruité
Acide décanoïque	Aigre, rance, désagréable
Acide dodécanoïque	Noix de coco, cireux
Acide isobutyrique	Aigre, beurre rance, fromage
Acide 3-méthyl butyrique	Aigre, fruité, fromage
Acide 2-methylbutyrique	Aigre, fruité, sale, fromage



### 3- Voies de biosynthèse des arômes fermentaires

- Les alcools supérieurs
- Les esters d'acétate
- Les acides gras
- Les esters d'éthyle
- Les composés soufrés

❖ Réaction de condensation entre un alcool (éthanol) et un groupement acyl-CoA



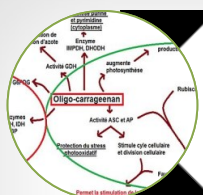
- ❖ Esters éthyliques à nombre pair de carbones (liés au métabolisme des lipides)
- ❖ Esters éthyliques ramifiés (liés aux métabolismes carbonés et azotés)



### 3- Voies de biosynthèse des arômes fermentaires

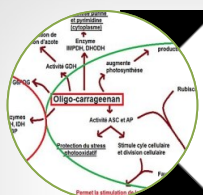
- Les alcools supérieurs
- Les esters d'acétate
- Les acides gras
- Les esters d'éthyle
- Les composés soufrés

#### Acides issus de la voie d'Ehrlich/MCC



Compound (common name)	Structure	CAS-RN	Reported aroma characteristics <sup>2</sup>	Reported concentration in wine (mg/l) <sup>b</sup>	Aroma threshold (mg/l) <sup>c</sup>
<b>Ethyl esters</b> Ethyl 2-methylpropanoate (ethyl isobutyrate)		97-62-1	Fruity, strawberry, lemon	0.01–0.48 <sup>3,4,5</sup>	0.001, 0.015 <sup>2, 5</sup> , 5.0 <sup>b</sup>
Ethyl 2-methylbutanoate		7452-79-1	Apple, strawberry, berry, sweet, cider, anise	Trace-0.03 <sup>3,4</sup>	0.0001, 0.001 <sup>2</sup> , 0.018 <sup>5</sup>
Ethyl 3-methylbutanoate (ethyl isovalerate)		108-64-5	Sweet fruit, pineapple, lemon, anise, floral	Trace-0.07 <sup>1,3,4,5</sup>	0.0001, 0.003 <sup>2, 5</sup> , 1.3 <sup>b</sup>
Ethyl 2-hydroxypropanoate (ethyl lactate)		97-64-3	Milk, soapy, buttery, fruity	3.05–297.5 <sup>1,4,6</sup>	0.05–0.2, 150 <sup>w</sup>
Ethyl 3-hydroxybutanoate		5405-41-4	Fruity (winey), green, marshmallow	0.05–0.58 <sup>4,6</sup>	20
Ethyl 4-hydroxybutanoate		999-10-0	Caramel	6.61 <sup>6</sup>	NR
Diethyl butanedioate (diethyl succinate)		123-25-1	Fruity, fermented, floral	1.21–61.11 <sup>1,4,6</sup>	NR
Diethyl hydroxybutandioate (diethyl malate)		7554-12-3	Brown sugar, sweet	0.81 <sup>6</sup>	NR
Ethyl butanoate		105-54-4	Floral, fruity, strawberry, sweet	0.07–0.53 <sup>1,3,4,5</sup>	0.001, 0.02 <sup>2</sup> , 0.4 <sup>b</sup>
Ethyl hexanoate		123-66-0	Fruity, strawberry, green apple, anise	0.15–1.64 <sup>1,3,4,5</sup>	0.005 <sup>2, 5</sup> , 0.08 <sup>w</sup> , 0.85 <sup>w</sup>
Ethyl octanoate		106-32-1	Sweet, fruity, ripe fruit, burned, beer	0.14–2.61 <sup>1,3,4,5,6</sup>	0.002 <sup>5</sup> , 0.005 <sup>2</sup> , 0.012, 0.58 <sup>w</sup>
Ethyl decanoate		110-38-3	Oily, fruity (grape), floral	0.01–0.70 <sup>1,3,4,6</sup>	0.2 <sup>5</sup> , 0.012, 0.51 <sup>w</sup>
Ethyl 3-phenylpropanoate (ethyl dihydrocinnamate)		2021-28-5	Flower	Trace-0.003 <sup>3,4</sup>	0.002 <sup>5</sup>

#### Acides gras saturés

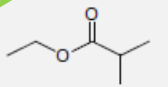
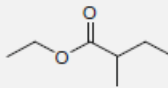
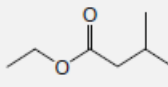
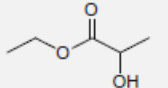
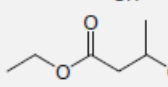
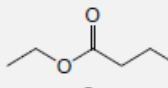
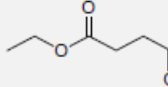
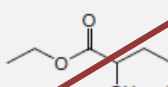
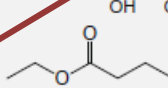
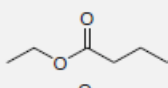
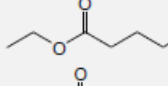
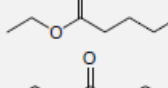
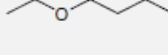


### 3- Voies de biosynthèse des arômes fermentaires

- Les alcools supérieurs
- Les esters d'acétate
- Les acides gras
- Les esters d'éthyle
- Les composés soufrés

### Acides issus de la voie d'Ehrlich/MCC

Seuils de 2-500 µg/L

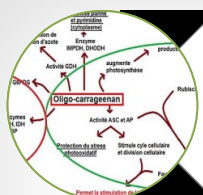
Compound (common name)	Structure	Reported aroma characteristics <sup>2</sup>	Reported concentration in wine (mg/l) <sup>b</sup>	Aroma threshold (mg/l) <sup>c</sup>
<b>Ethyl esters</b> Ethyl 2-methylpropanoate (ethyl isobutyrate)		Fruity, strawberry, lemon	0.01–0.48 <sup>3,4,5</sup>	0.001, 0.015 <sup>a, c</sup> , 5.0 <sup>b</sup>
Ethyl 2-methylbutanoate		Apple, strawberry, berry, sweet, cider, anise	Trace-0.03 <sup>3,4</sup>	0.0001, 0.001 <sup>a</sup> , 0.018 <sup>c</sup>
Ethyl 3-methylbutanoate (ethyl isovalerate)		Sweet fruit, pineapple, lemon, anise, floral	Trace-0.07 <sup>1,3,4,5</sup>	0.0001, 0.003 <sup>a, c</sup> , 1.3 <sup>b</sup>
Ethyl 2-hydroxypropanoate (ethyl lactate)		Milk, soapy, buttery, fruity	3.05–297.5 <sup>1,4,6</sup>	0.05–0.2, 150 <sup>w</sup>
Ethyl 3-hydroxybutanoate		Fruity (winey), green, marshmallow	0.05–0.58 <sup>4,6</sup>	20
Ethyl 4-hydroxybutanoate		Caramel	6.61 <sup>6</sup>	NR
Diethyl butanedioate (diethyl succinate)		Fruity, fermented, floral	1.21–61.11 <sup>1,4,6</sup>	NR
Diethyl hydroxybutandioate (diethyl malate)		Brown sugar, sweet	0.81 <sup>6</sup>	NR
Ethyl butanoate		Floral, fruity, strawberry, sweet	0.07–0.53 <sup>1,3,4,5</sup>	0.001, 0.02 <sup>a</sup> , 0.4 <sup>b</sup>
Ethyl hexanoate		Fruity, strawberry, green apple, anise	0.15–1.64 <sup>1,3,4,5</sup>	0.005 <sup>a, c</sup> , 0.08 <sup>w</sup> , 0.85 <sup>w</sup>
Ethyl octanoate		Sweet, fruity, ripe fruit, burned, beer	0.14–2.61 <sup>1,3,4,5,6</sup>	0.002 <sup>c</sup> , 0.005 <sup>a</sup> , 0.012, 0.58 <sup>w</sup>
Ethyl decanoate		Oily, fruity (grape), floral	0.01–0.70 <sup>1,3,4,6</sup>	0.2 <sup>c</sup> , 0.012, 0.51 <sup>w</sup>
Ethyl 3-phenylpropanoate (ethyl dihydrocinnamate)		Flower	Trace-0.003 <sup>3,4</sup>	0.002 <sup>c</sup>



Fruité des vins

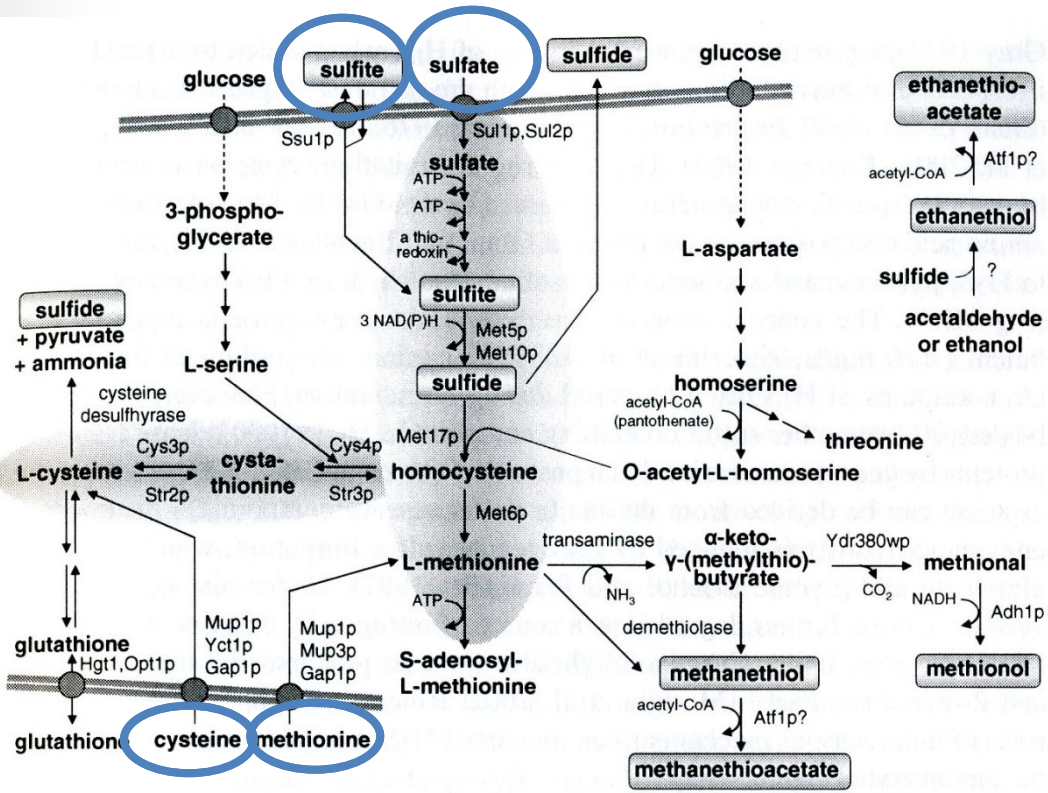
Acides gras saturés





### 3- Voies de biosynthèse des arômes fermentaires

- Les alcools supérieurs
- Les esters d'acétate
- Les acides gras
- Les esters d'éthyle
- Les composés soufrés



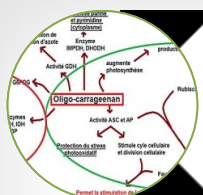
❖ 4 sources de soufre :  
Origines organiques et inorganiques

- ❖ Contribution :
  - Voie de réduction des sulfates
  - Métabolisme des acides aminés

❖ Connaissance importante des voies métaboliques, des enzymes et des gènes impliqués dans ce réseau

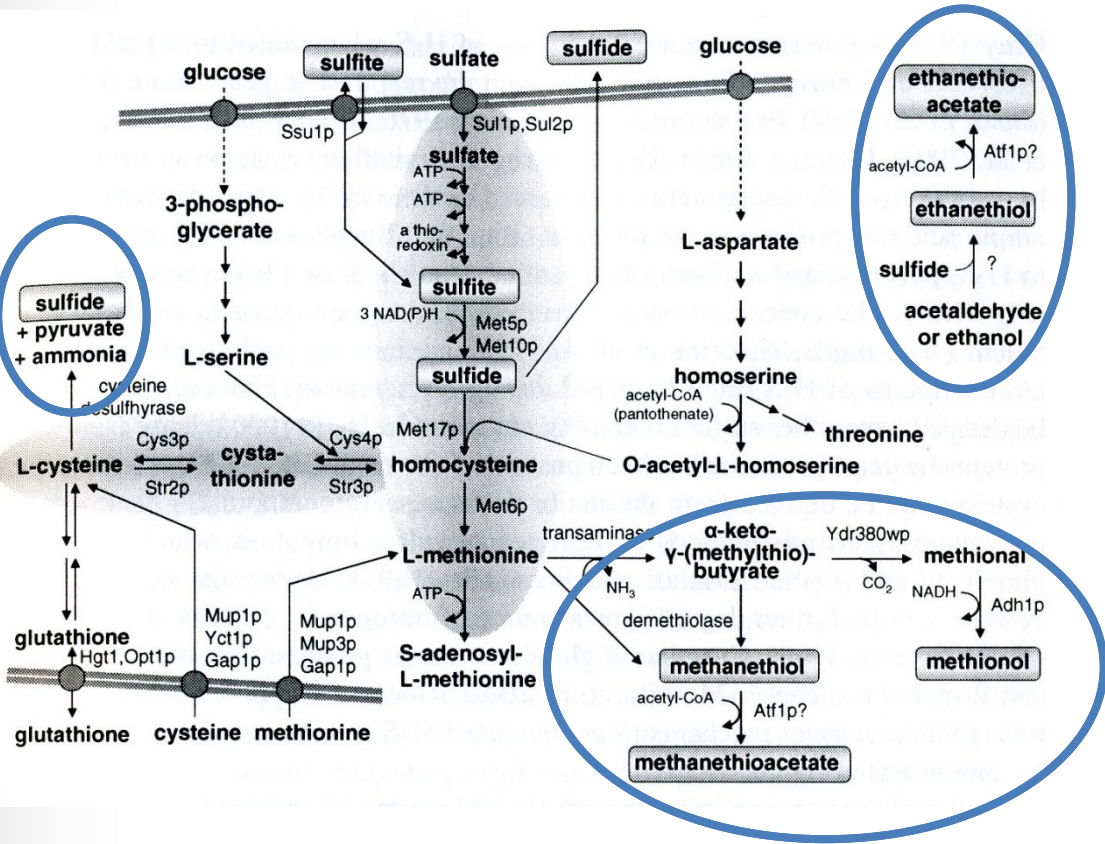
❖ Interconversions entre les intermédiaires





### 3- Voies de biosynthèse des arômes fermentaires

- Les alcools supérieurs
- Les esters d'acétate
- Les acides gras
- Les esters d'éthyle
- Les composés soufrés



- ❖ **Nombreux composés soufrés volatils (CSV) synthétisés**
- ❖ **Connaissances des voies métaboliques impliquées fragmentaires**

Perpète et al., FEMS Yeast Res. 2006; Thomas et al., Microbiol Mol Biol R. 1997; Landaud et al., Appl Env Microbiol.2008; Wang et al., J Appl Microbiol. 2003



#### 4- Effets des paramètres fermentaires sur la production d'arômes

- La température
- L'azote
- Les lipides
- L'oxygène
- Les souches de levures



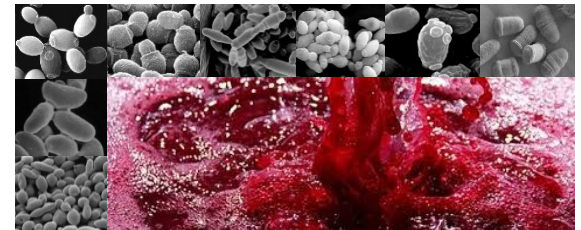
sensory quality  
of beverages

?

?

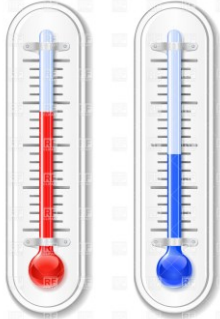
genetic background of the  
yeast species/strain

environmental parameters:  
temperature, nutrition,  
oxygenation



#### 4- Effets des paramètres fermentaires sur la production d'arômes (leviers pour piloter...)

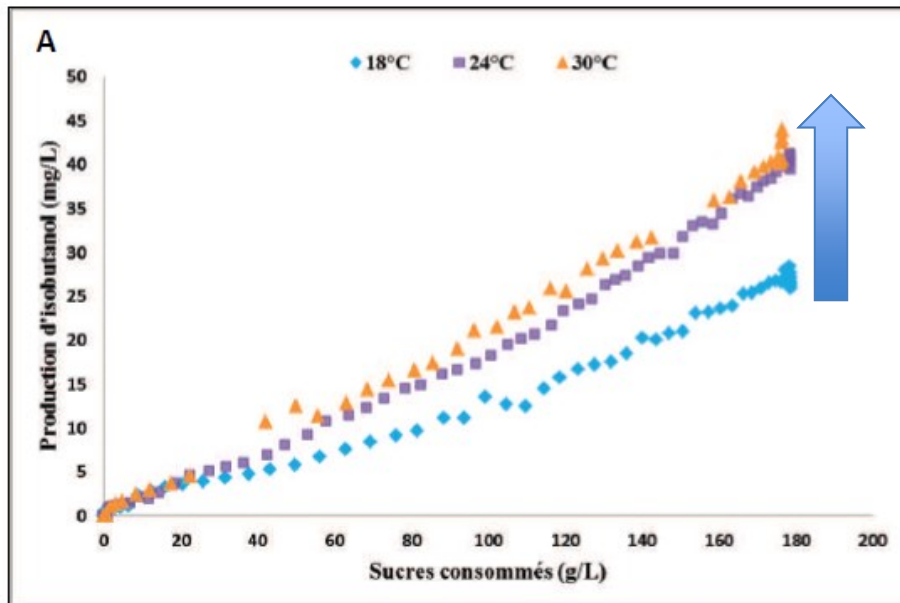
- LA TEMPERATURE



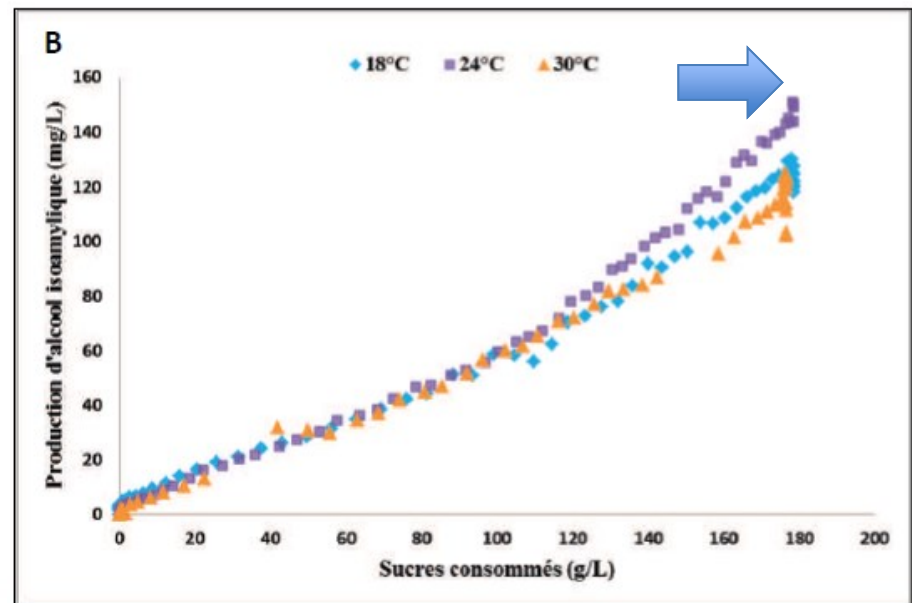
#### Effet double de la température :

- Biologique : impact sur les levures et la vitesse de fermentation
- Physique : évaporation des composés volatils

Isobutanol



Isoamyl alcool



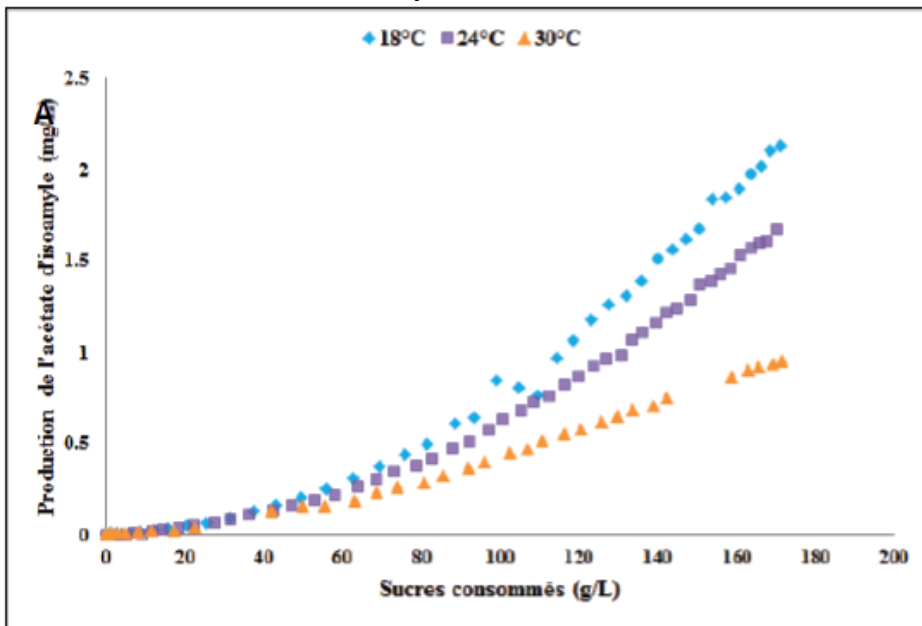
## 4- Effets des paramètres fermentaires sur la production d'arômes (leviers pour piloter...)

### • LA TEMPERATURE

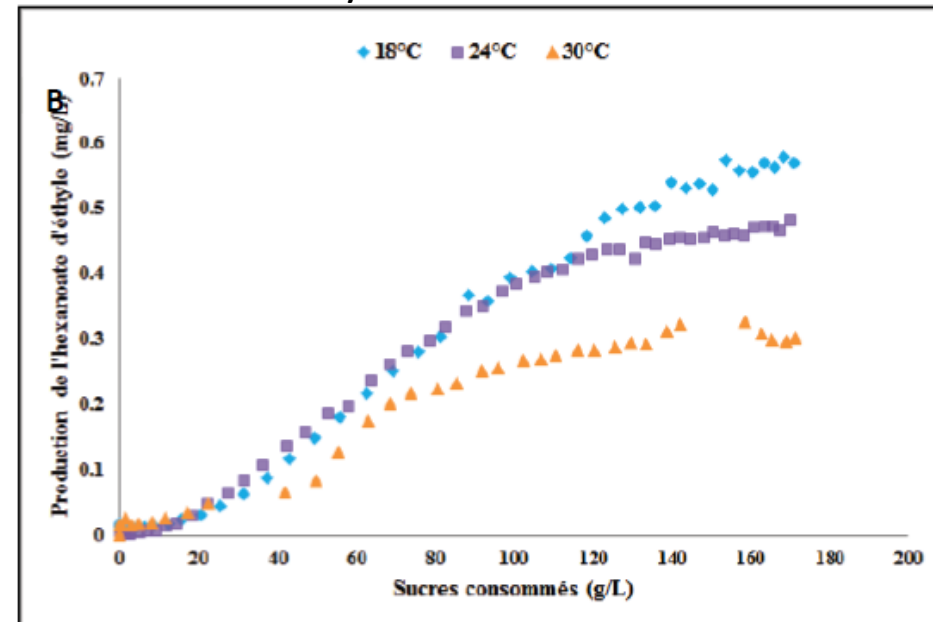
#### Effet double de la température :

- Biologique : impact sur les levures et la vitesse de fermentation
- Physique : évaporation des composés volatils

#### Acétate d'isoamyle



#### Hexanoate d'éthyle

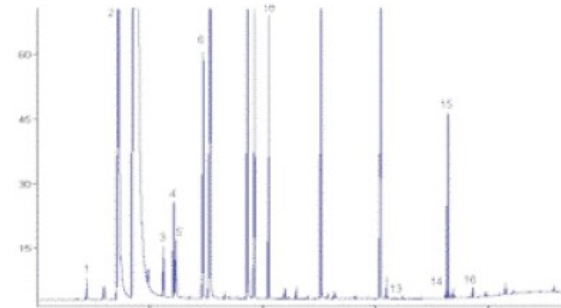


Lignes chauffées



Sélecteur de vannes

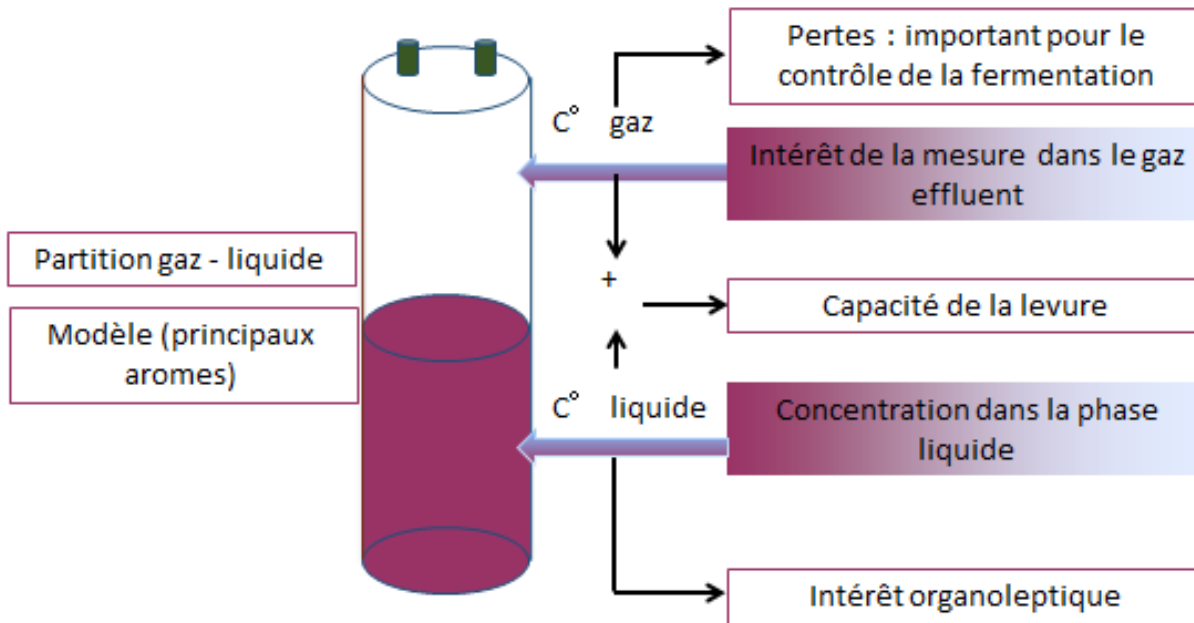
Piège froid - CPG

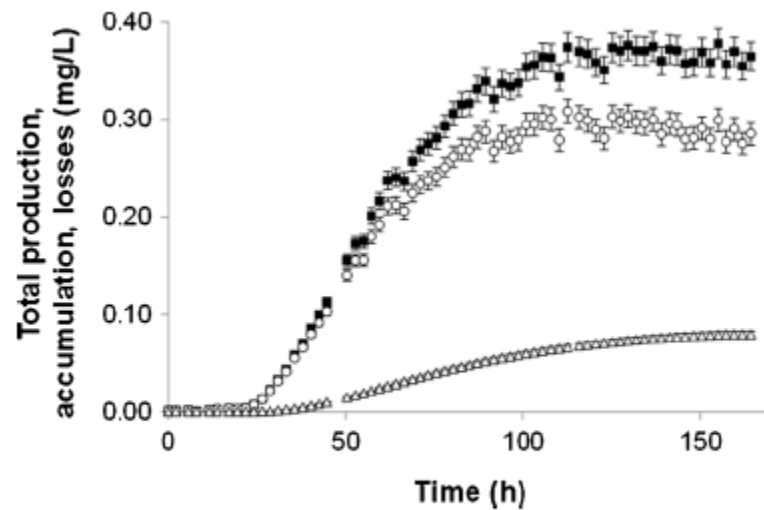


**Figure 22.** Système de CPG en ligne utilisé pour la mesure des composés volatils dans les gaz de sortie de fermentation



## Pertes aromatiques





**Fig. 1** Total production (*squares*), final liquid concentration (*circles*), and losses (*triangles*) of isobutyl acetate

**Table 2** Total production, final concentration in the liquid phase, and relative losses of volatile compounds

Compound	Total production (mg/L)	Final concentration in wine (mg/L)	Relative losses (%)
Propanol	100.5±3.0	100.3±3.0	0.11±0.01
Isobutanol	26.7±1.1	26.6±1.1	0.49±0.04
Isoamyl alcohol	160.7±1.6	159.4±1.6	0.80±0.02
Isobutyl acetate	0.36±0.02	0.29±0.01	19±1
Isoamyl acetate	7.12±0.28	5.65±0.23	21±2
Ethyl hexanoate	1.45±0.06	0.86±0.03	40±3

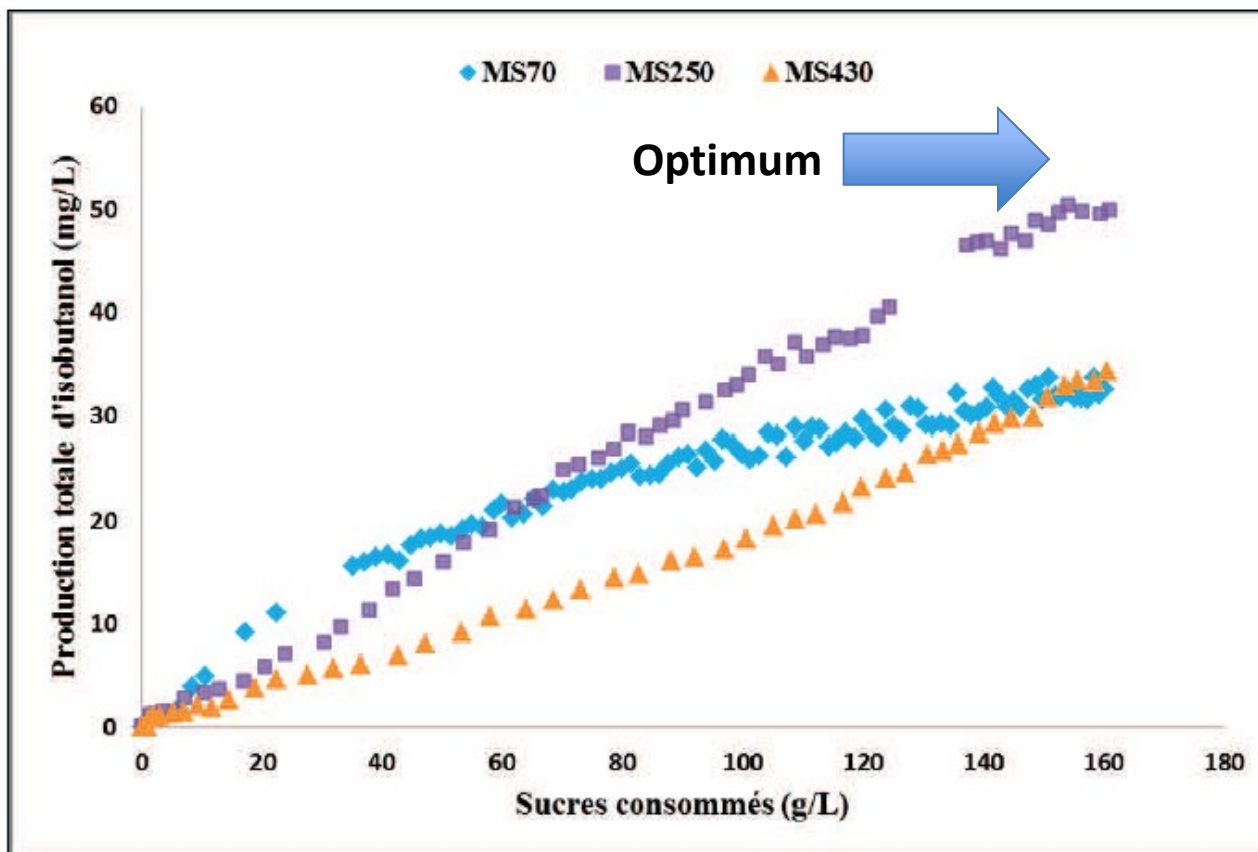




#### 4- Effets des paramètres fermentaires sur la production d'arômes (leviers pour piloter...)

- L'AZOTE

Alcools supérieurs : Isobutanol



#### 4- Effets des paramètres fermentaires sur la production d'arômes (leviers pour piloter...)

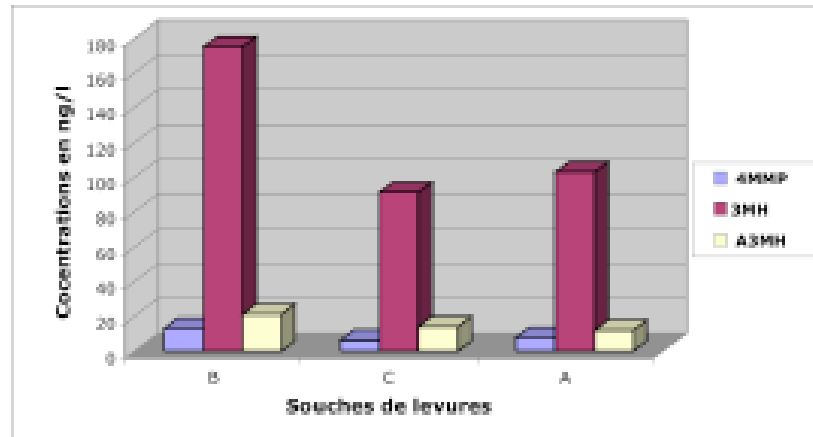
- L'AZOTE

Levures / T° /  
composition du  
milieu (N)



La libération des arômes variétaux est  
souche dépendant.

Influence de la souche de levure sur la formation des thiols volatils  
au cours de la vinification d'un muscat petit grain



- Précurseurs de thiols → thiols variétaux

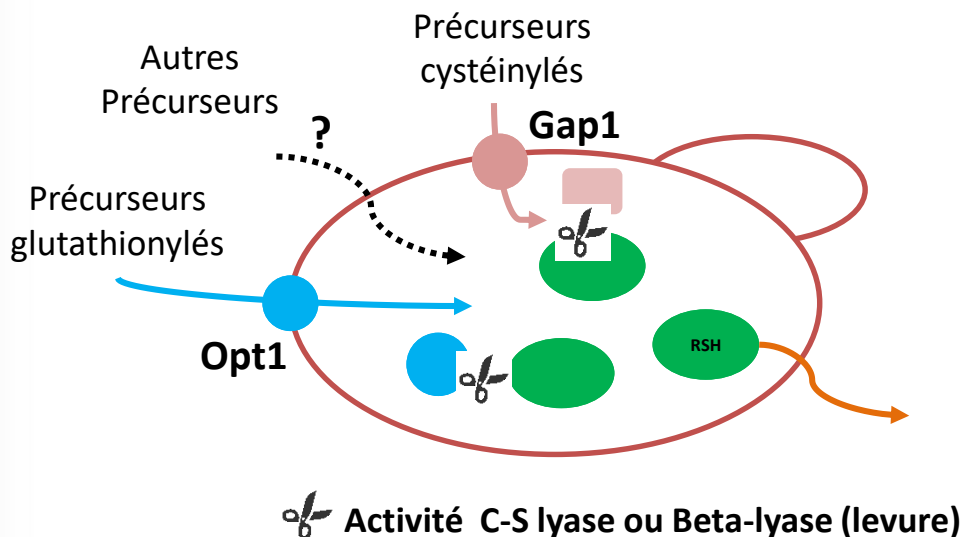
- Transport des précurseurs
- T opt = 18-20°C
- Nitrogen Catabolic Repression





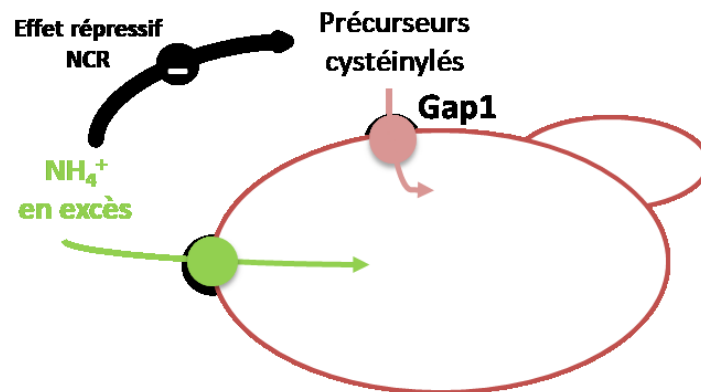
#### 4- Effets des paramètres fermentaires sur la production d'arômes (leviers pour piloter...)

- L'AZOTE



**1. Conditions normales :**  
Transport des précurseurs de thiols dans la levure

**2. Excès ammonium dans le moût :**  
Transport des précurseurs de thiols **réprimé** dans la levure (NCR)



**La composition azotée du moût est clé pour piloter la révélation des thiols.**



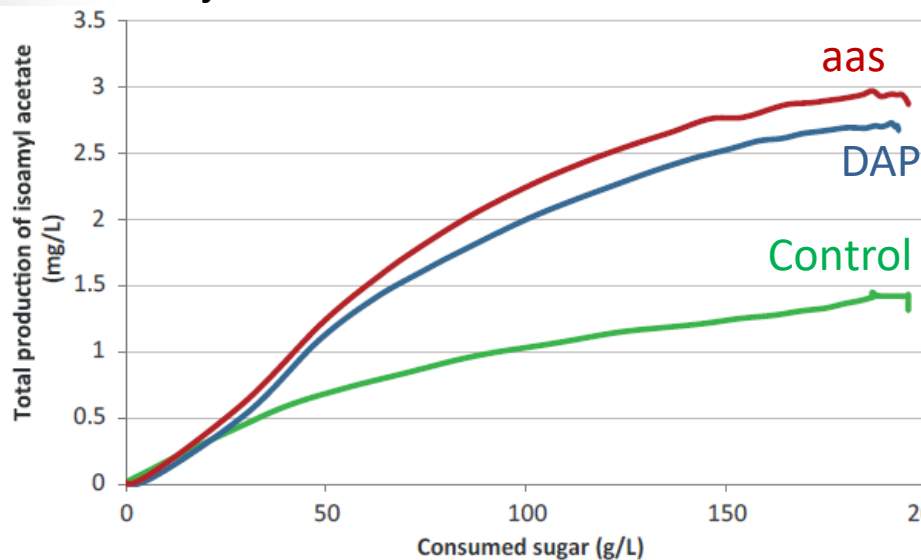


#### 4- Effets des paramètres fermentaires sur la production d'arômes (leviers pour piloter...)

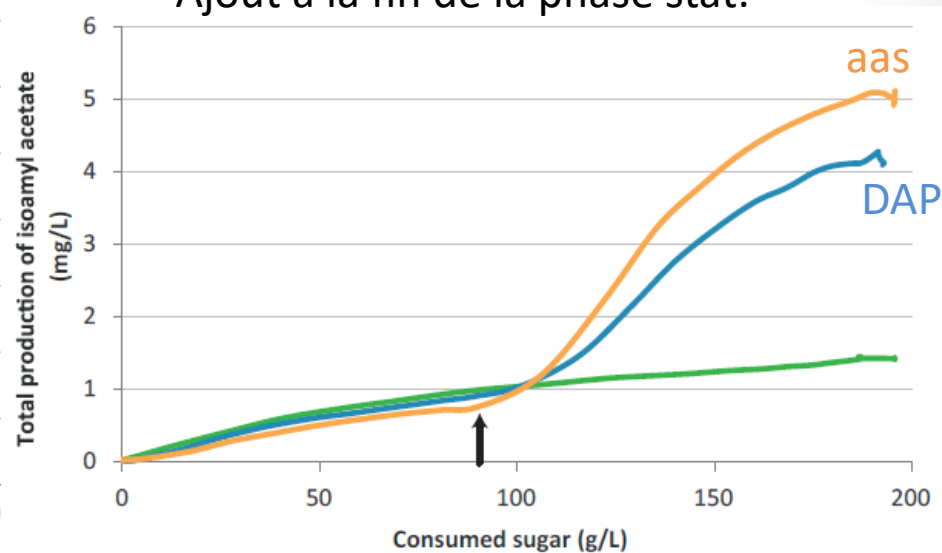
- L'AZOTE

- ❖ Importance de la nature de l'azote ajouté
- ❖ Importance du moment de l'ajout

Ajout au début de la FA



Ajout à la fin de la phase stat.



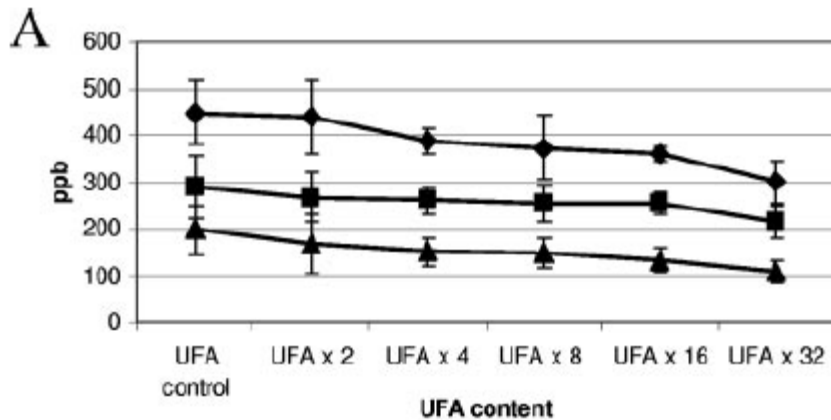
#### 4- Effets des paramètres fermentaires sur la production d'arômes (leviers pour piloter...)

- LES LIPIDES

Importance des acides gras exogènes :

- ❖ ↘ de la production des esters
- ❖ Répression du gène ETF1

#### Ethyl esters



#### Ethyl acetates

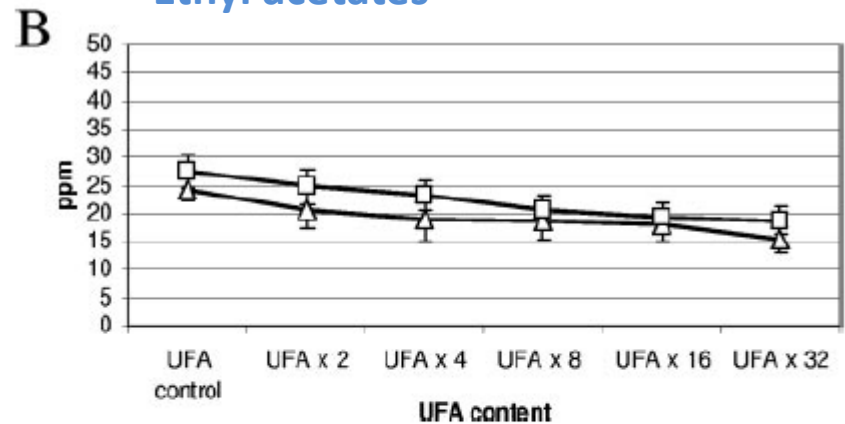
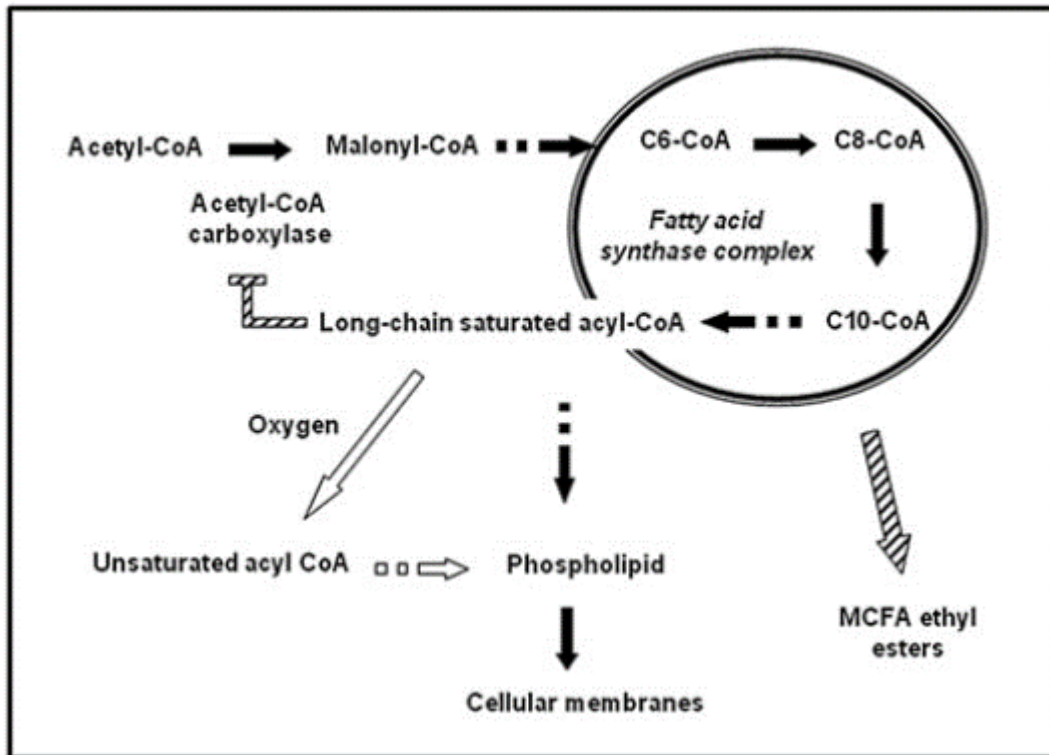


FIG. 1. Ethyl ester production by CMBS SS01 after fermentation of wort with different UFA contents. The UFA content of the standard wort was used as the control, and it was increased 2-, 4-, 8-, 16-, and 32-fold by addition of a pure UFA mixture containing oleic, linoleic, and linolenic acids at a ratio of 1:5.4:1.5. (A) Concentrations of ethyl hexanoate (◆), ethyl octanoate (■), and ethyl decanoate (▲). (B) Concentrations of ethyl acetate (△) and isoamyl acetate (□). The isoamyl acetate concentrations were multiplied by 10.

#### 4- Effets des paramètres fermentaires sur la production d'arômes (leviers pour piloter...)

- L'OXYGENE

- ❖ Pratique courante en œnologie pour limiter les arrêts de fermentation, mais effet sur les arômes peu étudiés



- Répression du gène ATF1 par l'O<sub>2</sub>  
= √ des esters d'acétate

- √ de la disponibilité en précurseurs = diminution des esters et des acides gras



#### 4- Effets des paramètres fermentaires sur la production d'arômes (leviers pour piloter...)

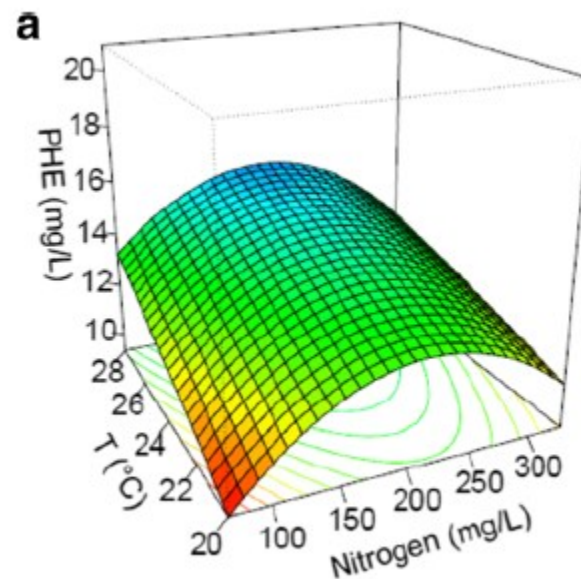
- AZOTE, LIPIDES, TEMPERATURE

❖ Nombreux paramètres modulant la production des arômes :

- Disponibilités en N et lipides
- Température
- Oxygénation

❖ Importance de la réponse fonction de la nature des composés volatils et des voies métaboliques mises en jeu

❖ Besoin de l'analyse combinée des paramètres (plans expérimentaux)



Effet quadratique négatif de l'N  
Optimum autour de 200 mg/L

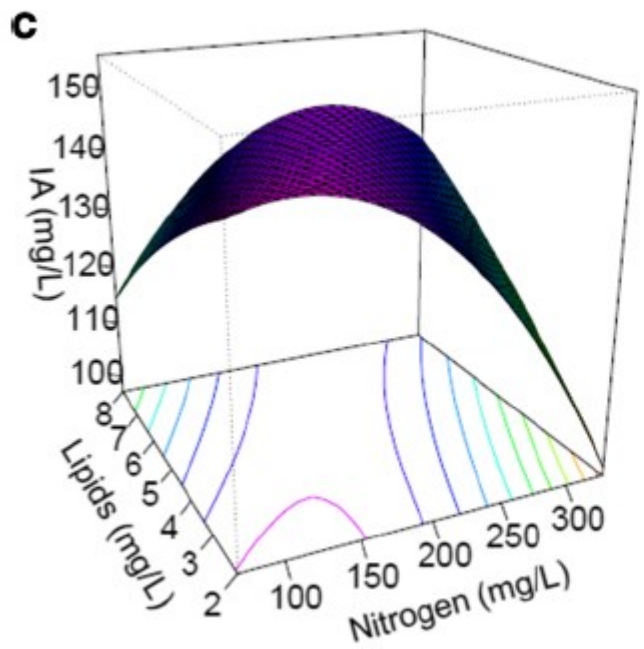




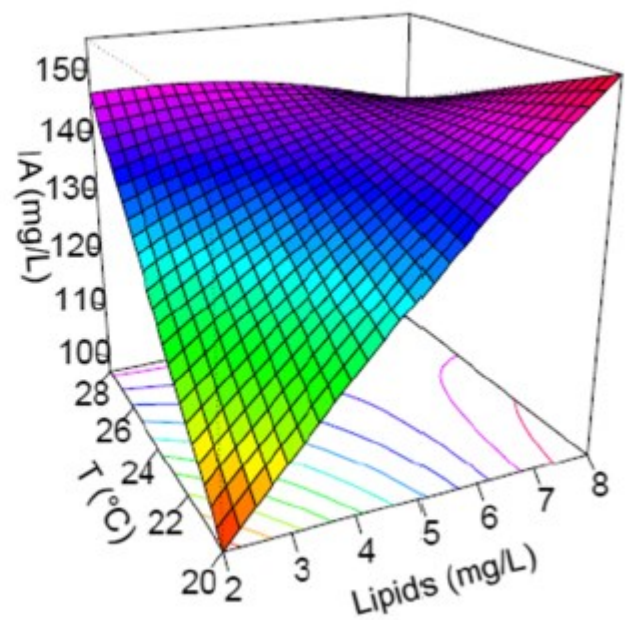
#### 4- Effets des paramètres fermentaires sur la production d'arômes (leviers pour piloter...)

- AZOTE, LIPIDES, TEMPERATURE

### Isoamyl alcohol



Effet positif des lipides  
Effet quadratique négatif de l'azote  
Interactions N / lipides



Effet positif des lipides  
Interactions entre lipides et T°



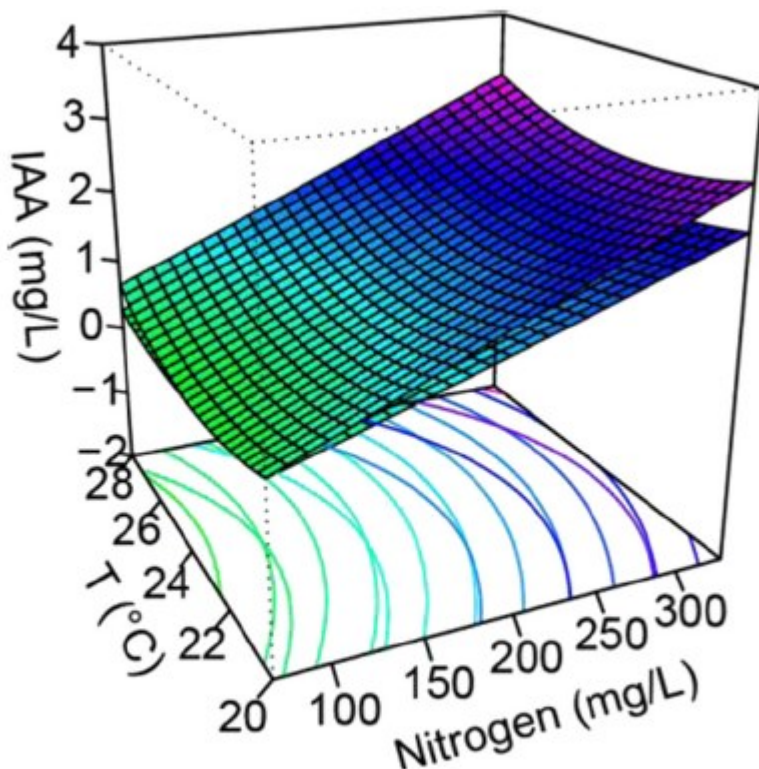




#### 4- Effets des paramètres fermentaires sur la production d'arômes (leviers pour piloter...)

- AZOTE, LIPIDES, TEMPERATURE

### Isoamyl acetate



- Effet positif de l'azote
- Effet quadratique positif de la T°

Fig. 3 Response surfaces of isoamyl acetate (IAA) in the liquid phase (bottom curve) and total production (upper curve)

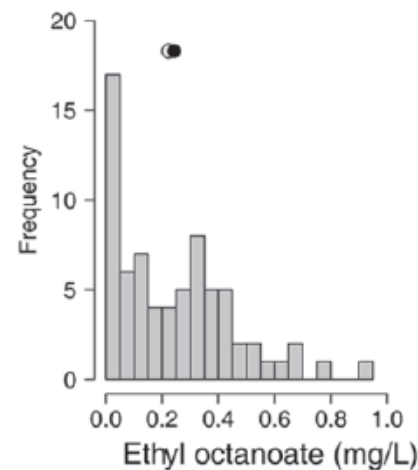
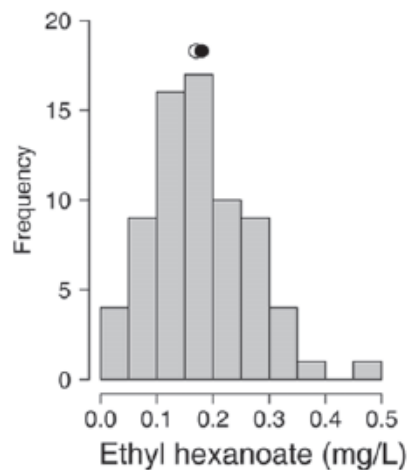
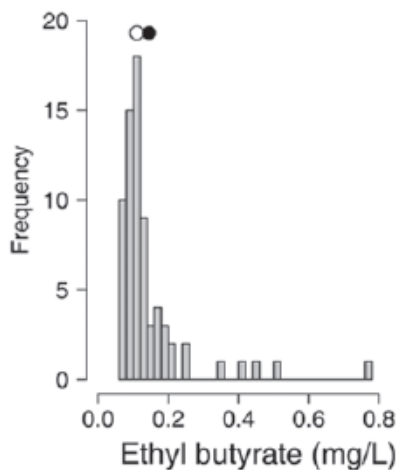
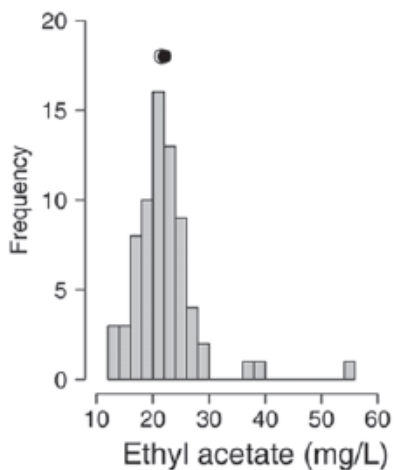
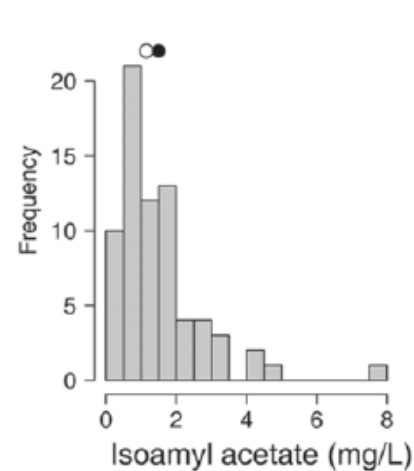
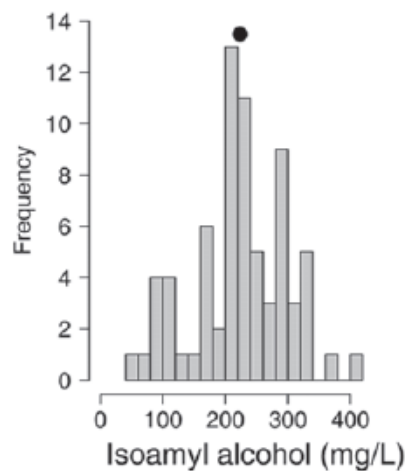
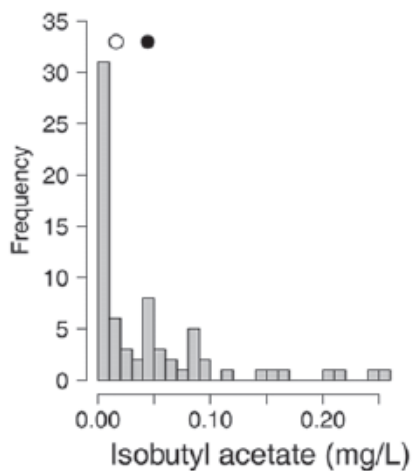
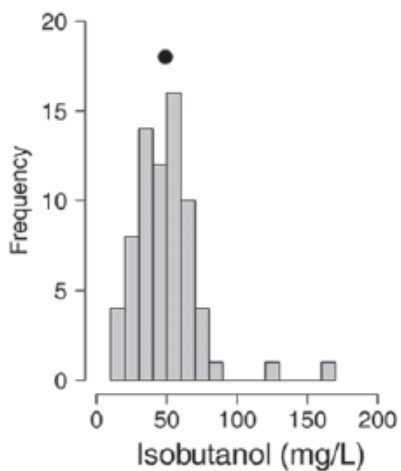
Rollero et al., 2014



#### 4- Effets des paramètres fermentaires sur la production d'arômes (leviers pour piloter...)

- **IMPACT DES SOUCHES**

72 souches de levures *S.cerevisiae* : grande diversité phénotypique

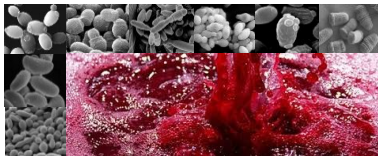


# PERSPECTIVES SUR LE METABOLISME DES AROMES

Connaissance importante du métabolisme  
impliqué dans la formation des principaux  
arômes fermentaires chez *S.cerevisiae*

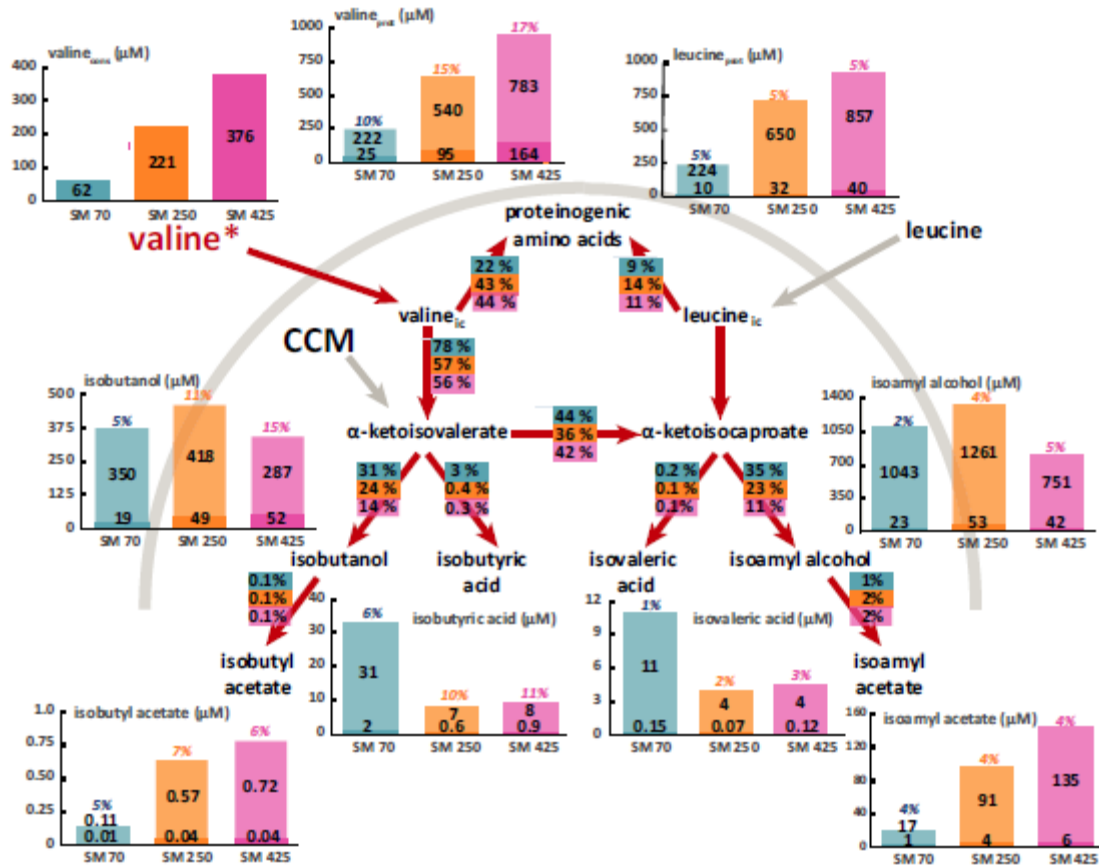


Bases génétiques et  
métaboliques impliquées  
dans les propriétés  
spécifiques des autres  
levures



Capacités des levures à  
produire des arômes moins  
conventionnelles





FIN

