



HAL
open science

La fermentation alcoolique en œnologie : mieux la comprendre pour mieux la maîtriser

Jean-Marie Sablayrolles

► **To cite this version:**

Jean-Marie Sablayrolles. La fermentation alcoolique en œnologie : mieux la comprendre pour mieux la maîtriser. Ecole thématique Ingénierie des biosystèmes : de la cellule au procédé, Mar 2016, Saint-Nazaire, France. hal-01837786

HAL Id: hal-01837786

<https://hal.science/hal-01837786>

Submitted on 5 Jun 2020

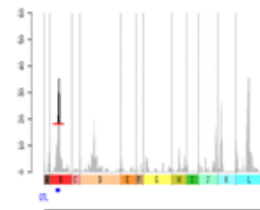
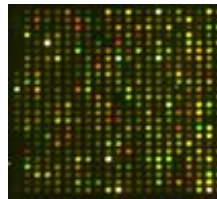
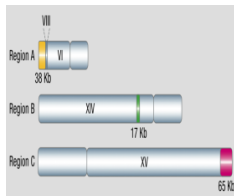
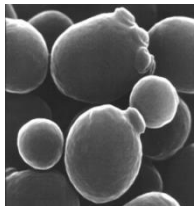
HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

La fermentation alcoolique en œnologie

Mieux la comprendre pour mieux la maîtriser

J.M. Sablayrolles



UMR 1083
Sciences pour l'Oenologie



Montpellier
SupAgro

INRA
SCIENCE & IMPACT

La fermentation œnologique : un sujet de recherche?

Certains discours ambiants

La vinification est un savoir faire, voire un art

Le vin doit se faire 'naturellement'

Rien ne vaut les souches indigènes

etc...



Oui mais ...

Le marché est très important et mondialisé : vins + spiritueux = 2^{ème} poste des exportations françaises

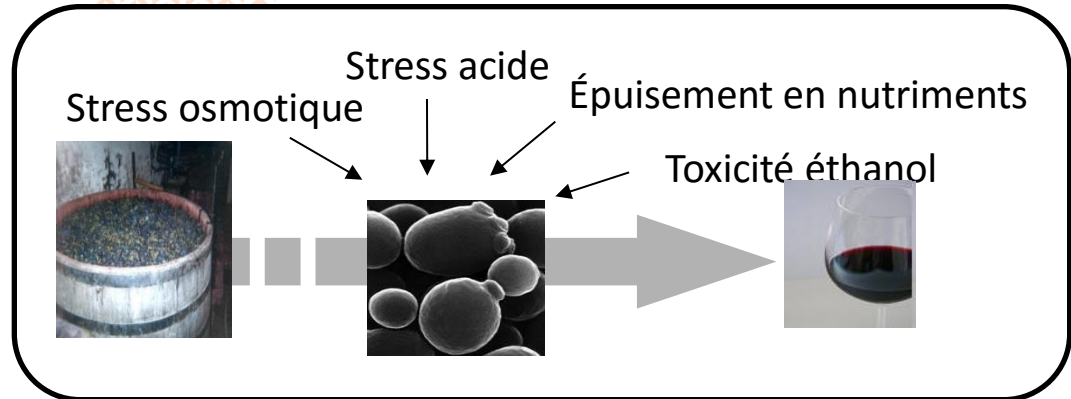
Le marché nécessite de plus en plus d'adapter les produits aux attentes des consommateurs

Les pratiques restent encore largement empiriques

Un modèle d'étude original



[glucose + fructose] > 20%
pH 3-3.8
Limitations N, lipides
SO₂, anaérobiose



Stress multiples et séquentiels
Importance de la phase stationnaire



Contrôle de la fermentation

- Fiabilité du procédé
- Qualité du produit (aromes...)
- Contraintes réglementaires

Des questions et des approches multiples

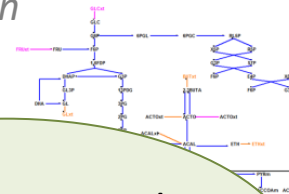
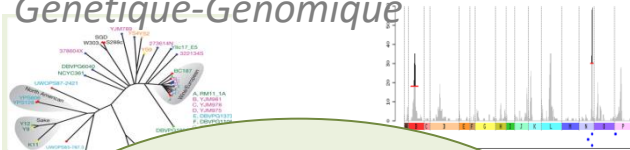
MICA

CEPIA

Génomique comparative
Génétique-Génomique

Analyse quantitative
Modélisation

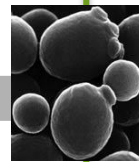
Outils de suivi en ligne
Modèles à but de contrôle



Mécanismes adaptatifs
Bases génétiques des propriétés des souches

Compréhension du fonctionnement global du métabolisme

Contrôle des fermentations



Selection assistée par marqueurs
Evolution expérimentale

Ingénierie des souches
Stratégies de contrôle

Echelle pilote
UE Pech Rouge

Transfert



Cet exposé

Non exhaustif – Focalisé sur trois points

Illustration de la stratégie de l'UMR SPO – équipe microbiologie

- **Comment prendre en compte les spécificités du domaine**
- **Un exemple d'étude - approche intégrée**
- **La question de l'innovation et du transfert**



Approches et outils dédiés

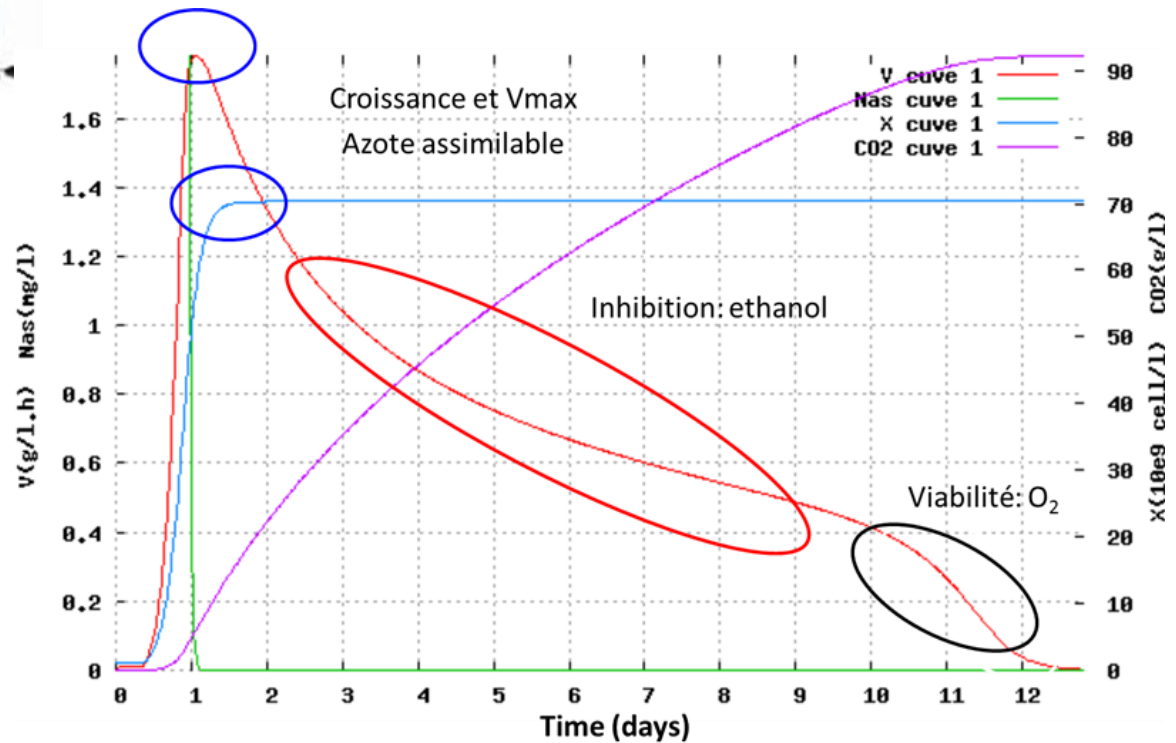
Pour caractériser les levures et optimiser la fermentation en conditions œnologiques simulées

Suivi fin de la cinétique fermentaire



Vitesse de dégagement de CO_2

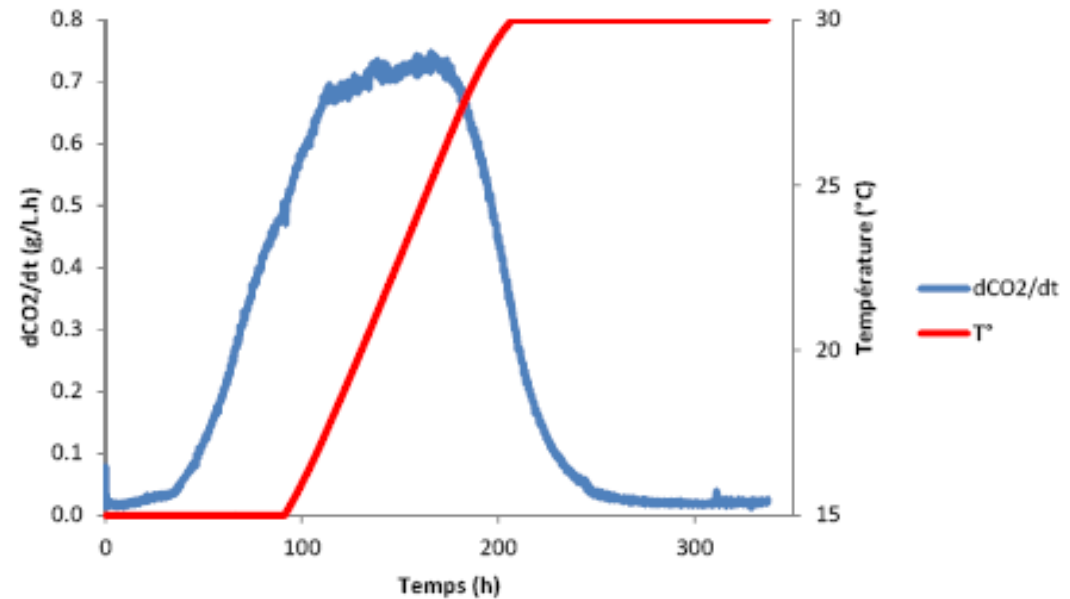
- Intérêt microbiologique
- Intérêt technologique



Régimes non isothermes



- . Très fréquents en œnologie
- . Fort impact sur la cinétique et le métabolisme



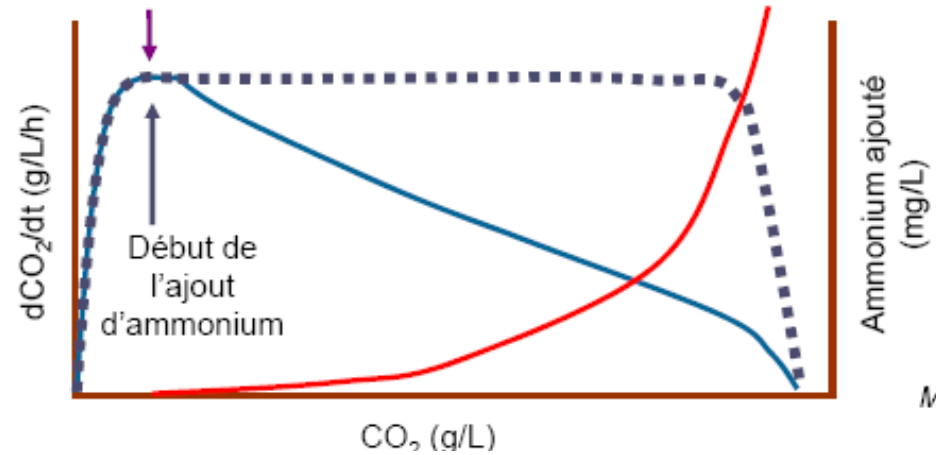
- . Modèle thermique

Contrôle de la vitesse

Exemple: régulation de la vitesse de fermentation par ajout d'azote assimilable



Épuisement de l'azote

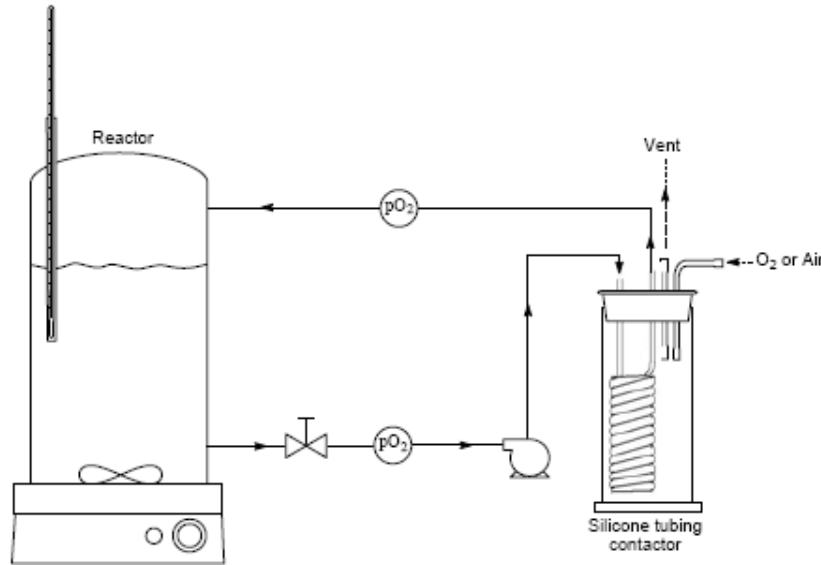


Azote : nutriment essentiel (cinétique, synthèse d'aromes)

Intérêt pour :

- . Comprendre métabolisme azoté en phase stationnaire
- . Comparer les besoins en azote des souches

Maitrise de micro-apports d'oxygène



Oxygène = autre nutriment essentiel :

- . Besoin de 5-10 mg/l pour assurer une bonne viabilité des levures
- . Impact sur la synthèse d'aromes?

Intérêt pour :

- . Comprendre le métabolisme
- . Elaborer de nouvelles stratégies de conduite

- . Transfert de quelques mg/ l d'O₂ par diffusion
- . Pilotage de la vitesse de transfert

$$r_{O_2} = 1.32 \times \left(\frac{v_L \times d_{in} \times (-0.25 \times T + 1009.22)}{-2.41 \times 10^{-5} \times T + 1.53 \times 10^{-3}} \right)^{0.44} \times D \times \frac{\pi \times L \times \epsilon}{V} \times (C^* - C) \times 3600$$

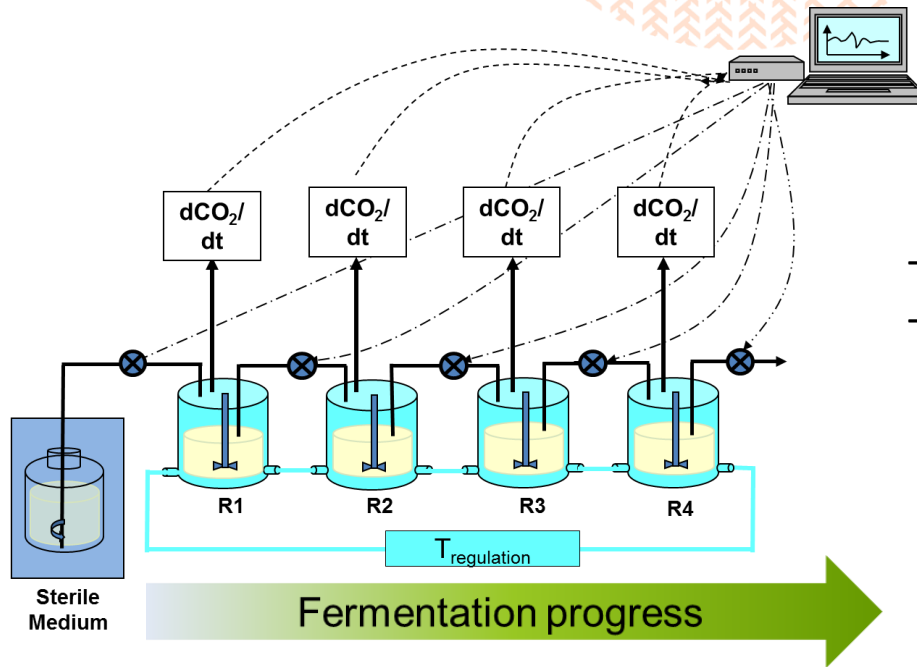
- . Couplage avec le suivi en ligne de la fermentation : contrôle de l'oxygénation en fonction de la vitesse de fermentation

Approches haut débit

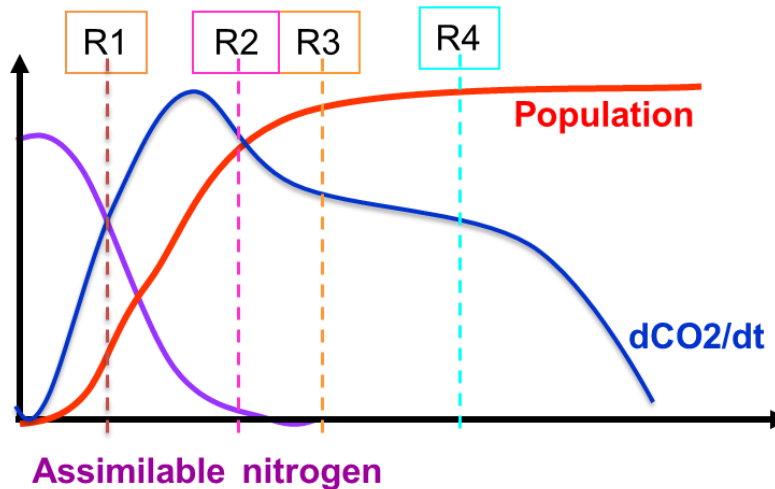


- Suivi dCO_2/dt – Base de données - Accès à distance
- 90 x 300 ml ou 360 x 20 ml

Fermenteur continu multi-étagé



- Mima 4 stades d'un batch
- Etat physiologique stable et défini des levures



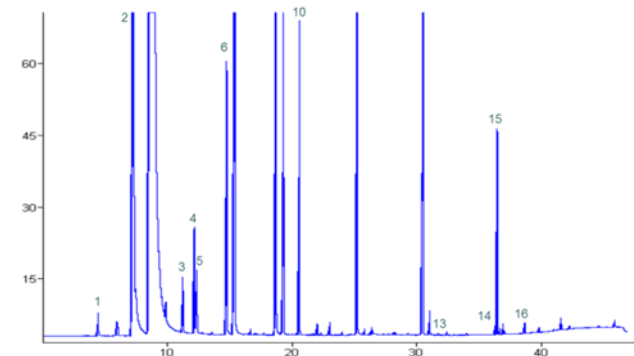
Déjà utilisé pour caractériser le métabolisme azoté (une souche)

Suivi en ligne de molécules marqueurs

Piège froid - GC

Lignes chauffées

Sélecteur de vannes



16 composés

Fréquence maximum : 1 h

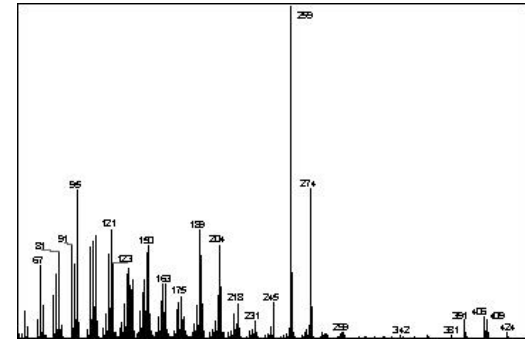


La production d'arômes fermentaires

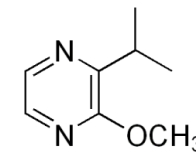
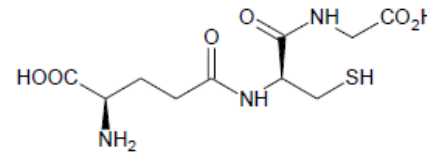
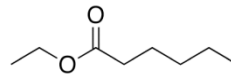
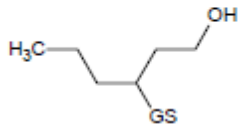
Un exemple d'approche intégrée

Les composés d'arômes

- ❖ *Grande complexité*
Des centaines de molécules
Impact organoleptique souvent mal connu
Interactions multiples



- ❖ *De plus en plus de marqueurs pertinents*



- ❖ *Des stratégies scientifiques possibles*

Impact de la fermentation alcoolique

❖ *Déroulement de la fermentation alcoolique*

précurseurs
d'arômes variétaux

glucose, fructose
N-sources,
lipides, vitamines



levures



arômes variétaux

éthanol, CO₂
glycérol, acétate, succinate

aromes fermentaires

❖ *Arômes variétaux*

- thiols variétaux
- diméthyl sulfure (DMS)
- terpénols

❖ *Arômes fermentaires*

- alcools supérieurs
- esters d'acétate (alcools supérieurs)
- esters d'acides gras (éthanol)

10 – 500 mg/L

0,1 – 10 mg/L

traces – 3 mg/L

Focus sur ces
composés

Alcools supérieurs - esters

❖ Intérêt aromatique

Vins jeunes – fruités

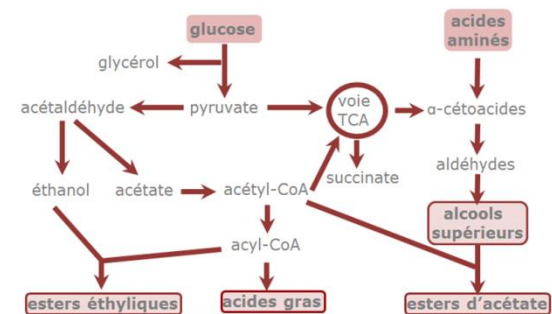
Boissons distillées



❖ Questionnement

Ancien

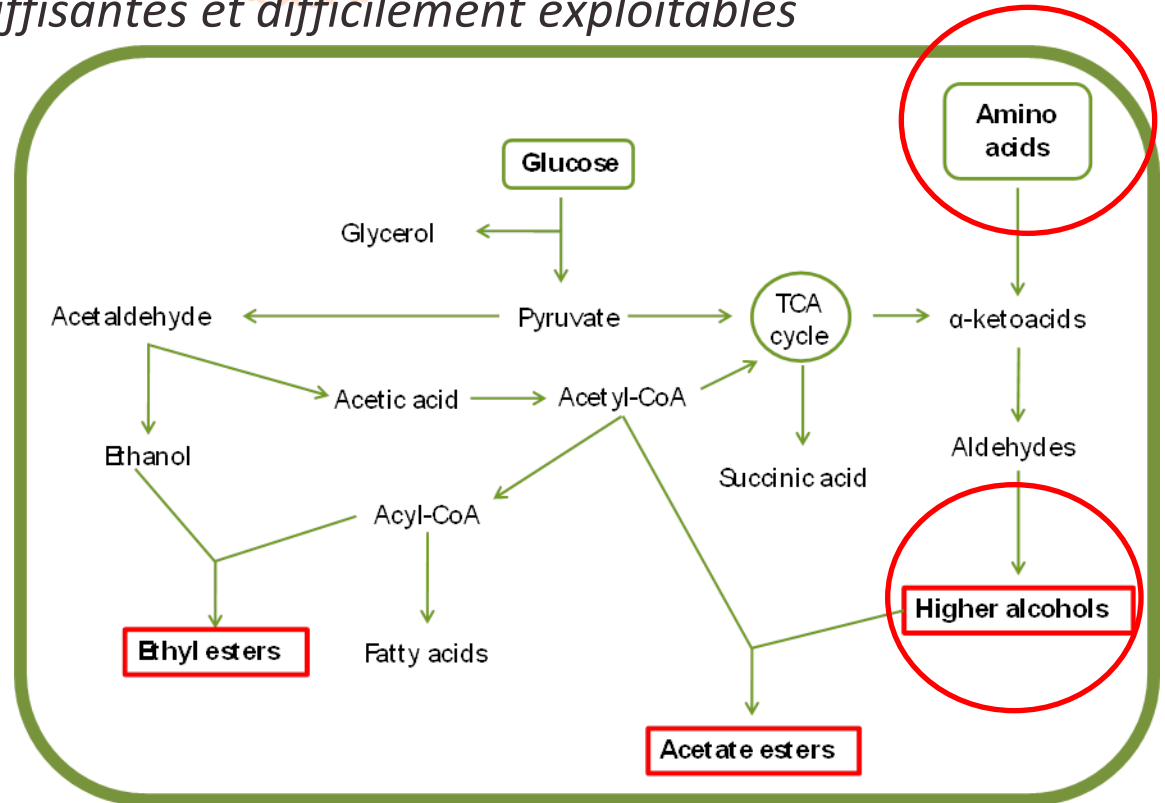
Illustration de l'intérêt de nouvelles approches



❖ *Mais connaissances insuffisantes et difficilement exploitables*

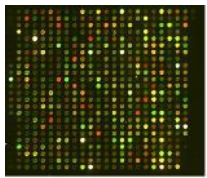
*. fortes interactions
entre les voies
métaboliques*

*. pas de relation
statistique entre
composition azotée
d'un milieu et
production d'alcools
supérieurs*

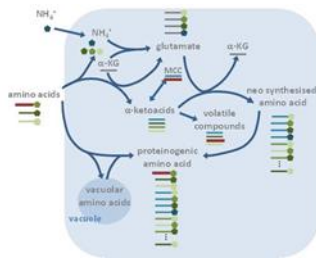


Une approche globale et intégrée

Vision
intégrée du
métabolisme



Analyse
transcriptomique



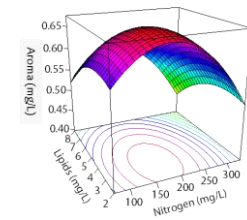
Flux métaboliques



GC en
ligne



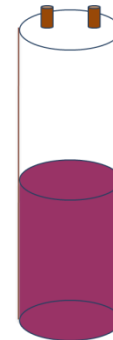
Compréhension et
maîtrise de la
fermentation



Effet des facteurs
environnementaux



Modélisation



Equilibres gaz -
liquide

Des questions élucidées

Mécanismes clés du métabolisme

Dynamique de synthèse au cours de la fermentation

Rôle des principaux paramètres de la fermentation

Variabilité suivant les souches de levures

Mécanismes physico chimiques : pertes aromatiques

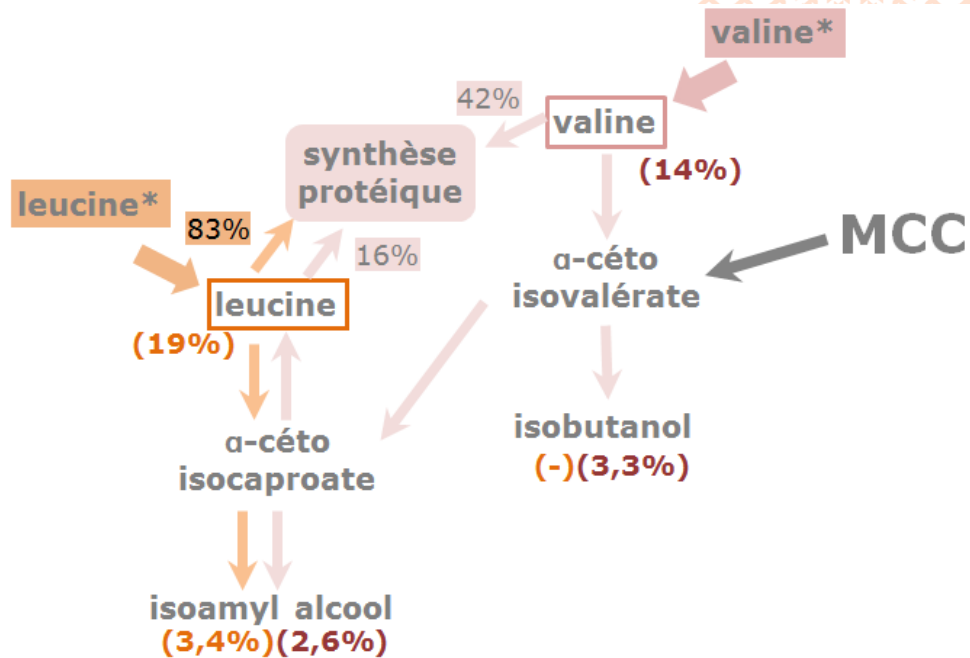
Des conséquences sur la conduite de la fermentation

Gestion des nutriments

Gestion de la température

Perspectives

Mécanismes clés – exemple

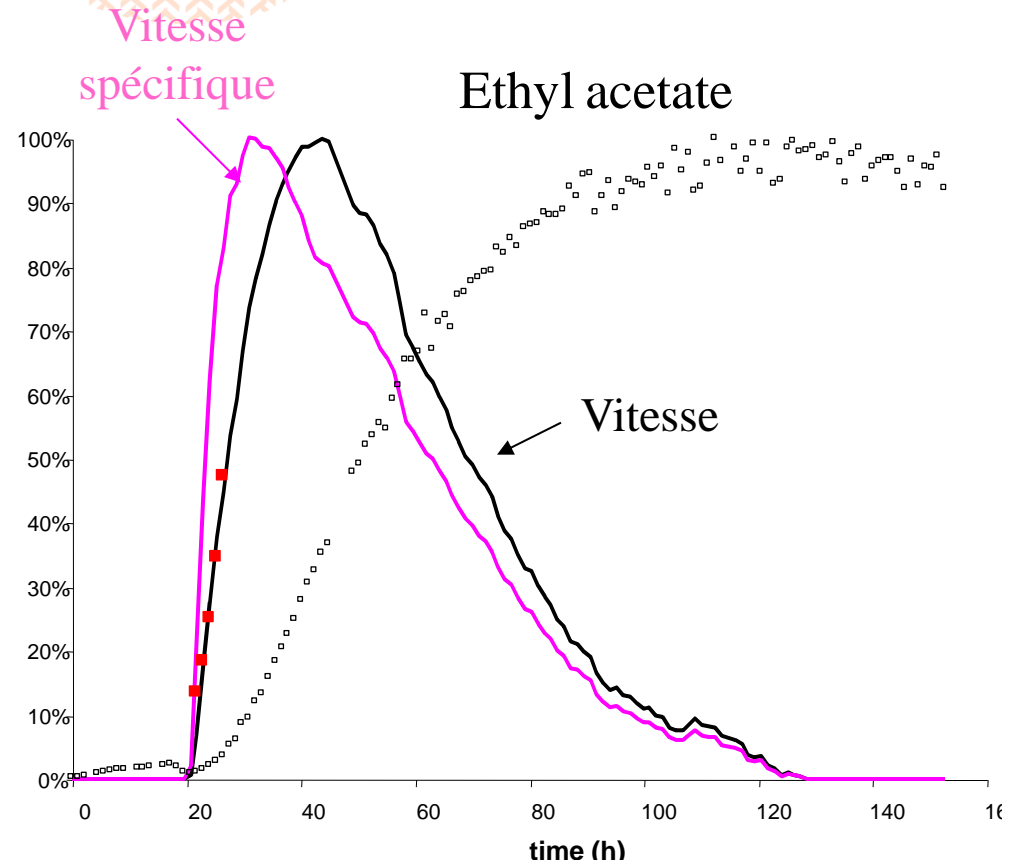


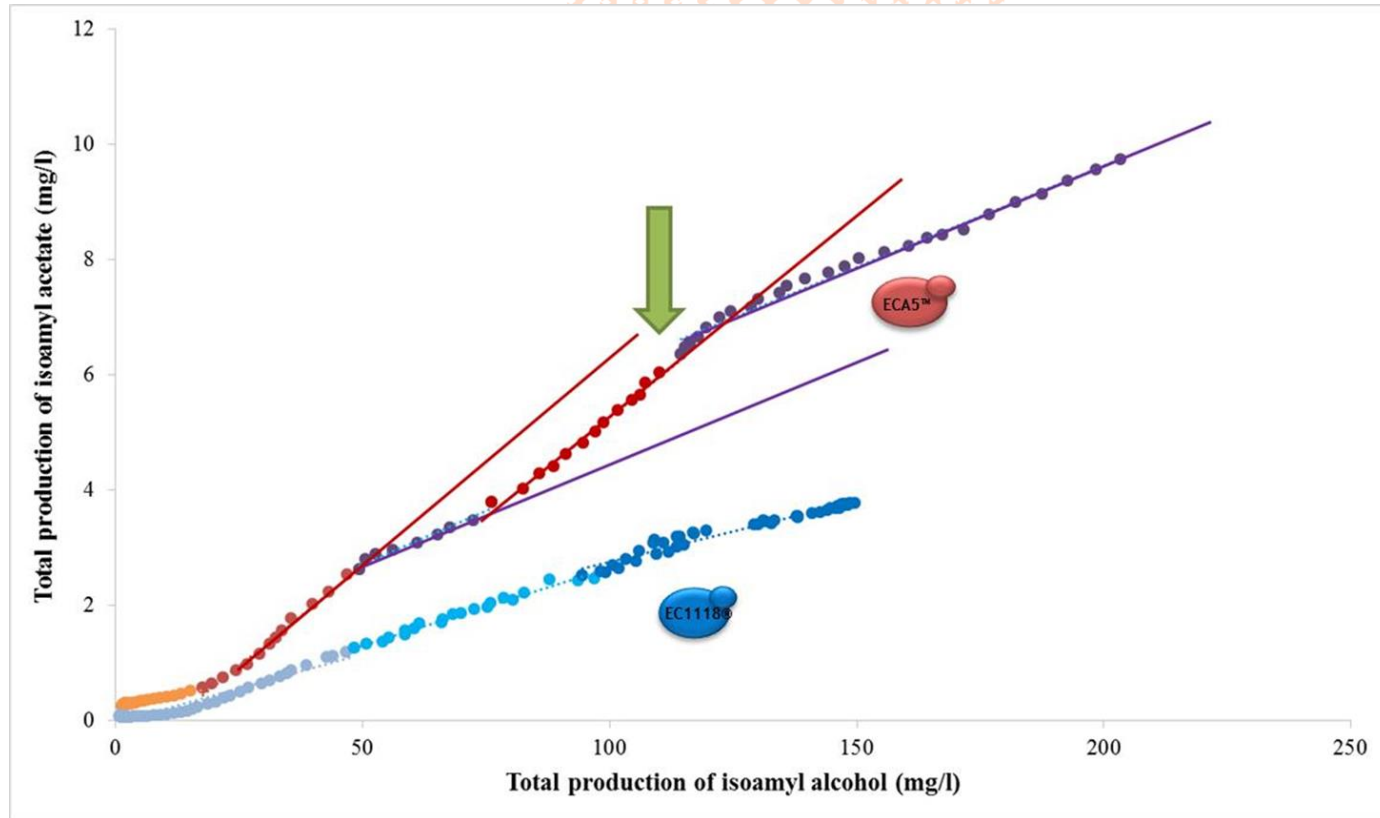
Répartition des fractions carbonées (MCC) et azotées (valine , leucine) dans la synthèse des alcools supérieurs

- ↳ Intérêt de la modélisation des flux métaboliques
- ↳ Contribution très importante du métabolisme carboné
 - Faible implication de l'acide aminé précurseur
 - Explique impossibilité de relier composition mouts - vins

Dynamique de synthèse au cours de la fermentation

. Grande fréquence d'analyse
↓
. Vitesse de production
. Flux métabolique





Evolution du rendement de conversion alcool – ester d'acétate (exemple)

↳ **Modification du métabolisme (ajout de phytosterols)**
Différences entre souches

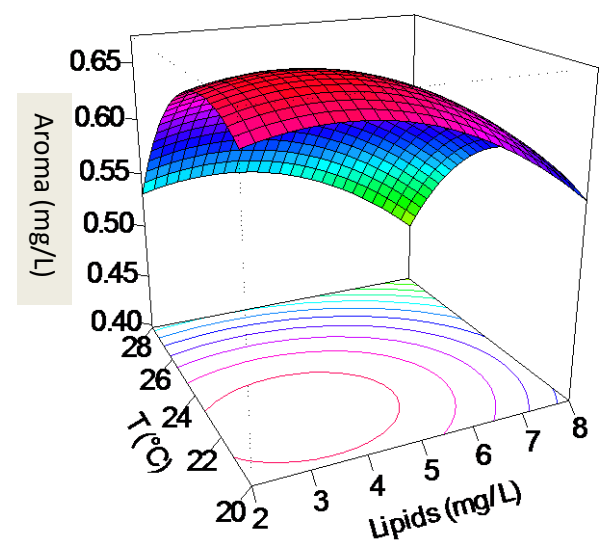
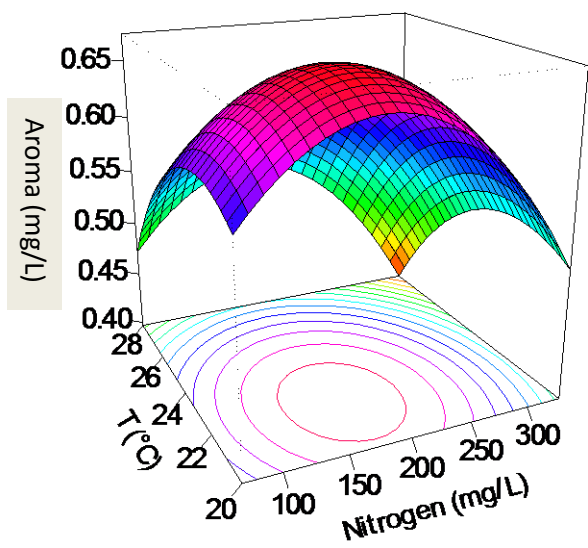
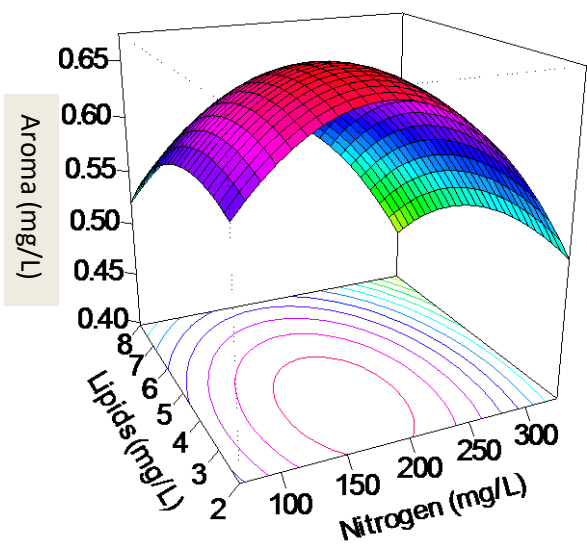
Rôle des principaux paramètres de fermentation

N : azote assimilable
 P : phytosterols
 T : température

EC1118 Compounds	Simple effects			Interaction effects		
	N	P	T	N:P	N:T	P:T
Propanol	+					
Isobutanol		+	+	+		
Isoamyl alcohol		+		+		-
2-Phenylethanol						
Ethyl acetate	+					
2-Phenylethylacetate	+					
Isobutyl acetate	+					
Isoamyl acetate	+					
Ethyl butanoate	+	-	-			
Ethyl hexanoate	+	-	-			
Ethyl octanoate	+	-	-			

↳ Impact majeur de l'azote assimilable ...

... mais nécessité de prendre aussi en compte les interactions

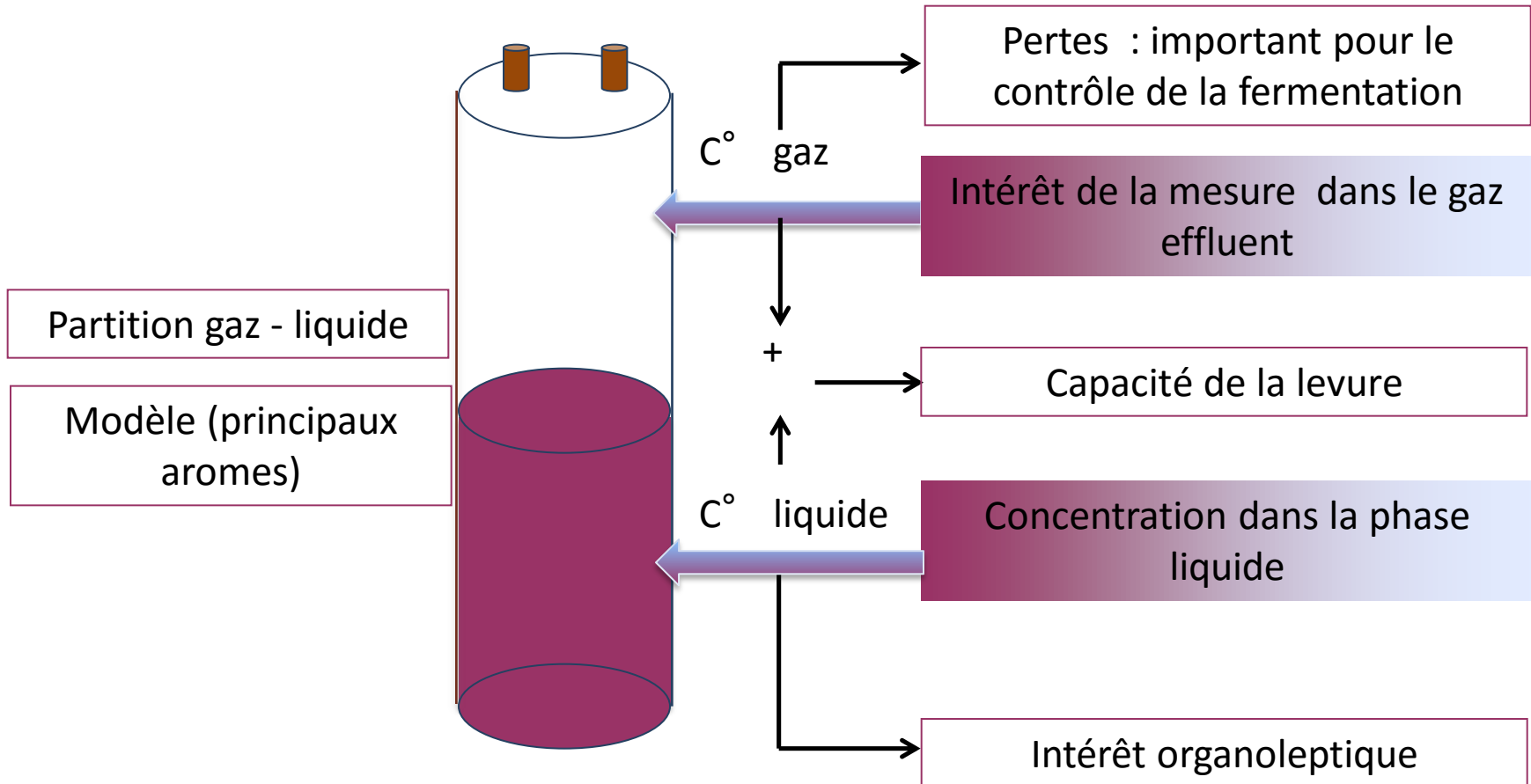


↪ Effet complexe

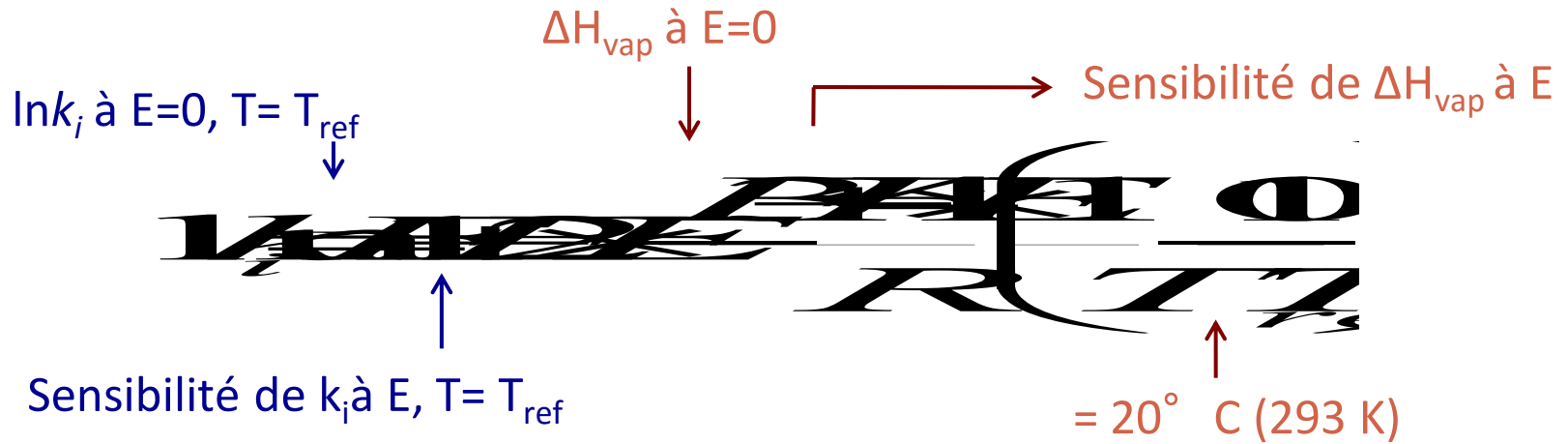
Rôle de la souche de levure

- ❖ Niveaux de production des arômes différents suivant les souches
- ❖ *Développement de souches augmentant l'expression du potentiel aromatique des raisins (ex : Affinity™ ECA5)*
- ❖ *Impact comparable des paramètres environnementaux pour les différents souches*

Bilan gaz - liquide

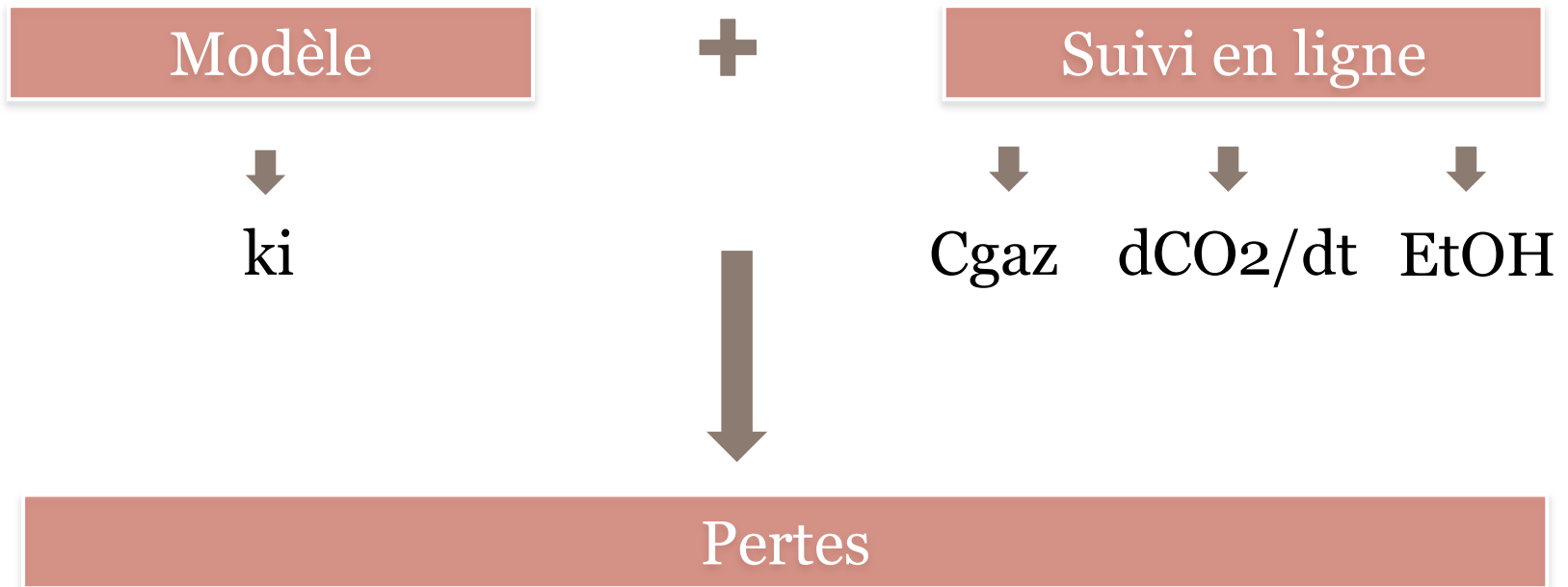


Modélisation de k_i



Modèle identifié pour les 10 principaux alcools supérieurs et esters

Calcul des pertes



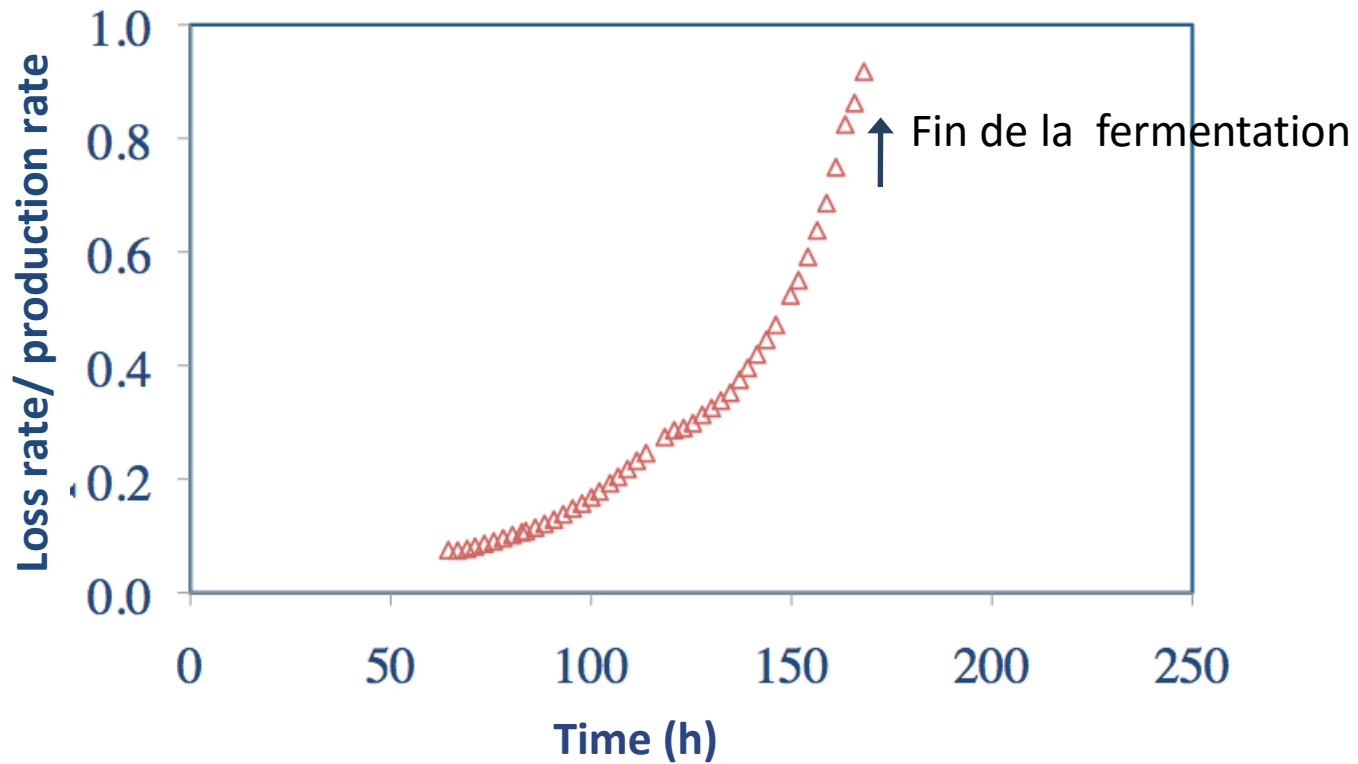
$$\text{pertes}(\text{relatives}) = \frac{\int_0^{t_{end}} C^{gas}(t) \times Q(t) \times dt}{C^{liq}(t_{end}) + \int_0^{t_{end}} C^{gas}(t) \times Q(t) \times dt}$$



Pertes (%)

Fermentations	Ethyl hexanoate	Isobutanol
Isothermal		
IF-20-A	44.6	0.55
IF-20-B	46.2	0.63
IF-30	70.7	1.33
Anisothermal		
AF-15-30	54.2	0.66
AF-20-30	66.3	0.93

↪ Pertes très importantes en esters (ex. de l'hexanoate d'éthyle)



↳ Pertes très importantes en fin de fermentation
A prendre en compte pour optimiser le régime de température

Conséquences sur le mode de conduite de la fermentation

Points à préciser-quantifier / Principaux moyens d'action

Apports de nutriments

- ↳ Raisonner de façon combinée teneur en azote du mout et niveau de clarification (disponibilité en phytosterols)
- ↳ Raisonner les apports azotés : quantité, moment d'apport, type d'apport (Nammoniacal ou N aminé)
- ↳ Possibilité de remplacer l'apport de lipides par la maîtrise de l'oxygénation (quantité, régime d'apport)

Régime de température

- ↳ Niveau de température : orientation, par exemple, vers aromes fermentaires (T basse) ou variétaux (T plus élevée)
- ↳ Régime de température : limiter les pertes aromatiques



Conséquences sur le mode de conduite de la fermentation

Mode de conduite optimal

- ↳ Encore à préciser
 - intégrer d'autres familles d'aromes
 - combiner bon déroulement de la fermentation et production d'aromes

Autres perspectives

- ↳ Souches de levures
 - non *S. cerevisiae*
 - cultures mixtes – ensemencements séquentiels
- ↳ Modéliser pour prévoir - anticiper





Innovation - transfert

Contrôle optimisé des fermentations : une longue histoire

Recherche

- Faisabilité et intérêt du suivi en ligne de la cinétique fermentaire
- Notion de 'pilotage'
- Détection des carence azotées
- Optimisation des ajouts d'O₂

- Modélisation de la cinétique

- Prise en compte de marqueurs de qualité

Valorisation*

- Brevet (1986)

- Brevet (1990)

- Savoir faire secret (2012)

- Licence (en cours)

* : hors publications

Partenariat industriel

- IMECA (1986-1989)
Pb adaptation au marché

- BOCCARD (2001-2003)
Pb stratégie commerciale

- VIVELYS (2008 - 2012)
Produit commercial
(plusieurs centaines de cuves équipées : Moët et Chandon ...)



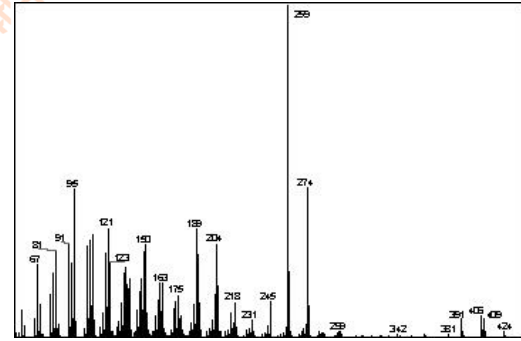
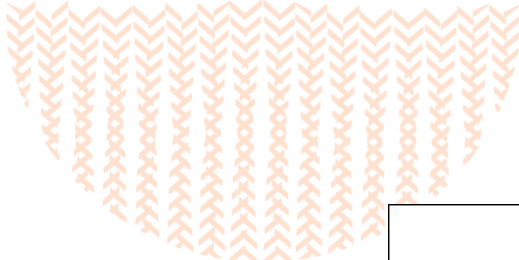
1990

2000

2010



Conclusion



Merci

- . UMR SPO - Equipe Microbiologie
- . UE Pech Rouge
- . UMR GMPA
- . UMR MISTEA



The research leading to these results has received funding from the European Community's Seventh Framework Programme (FP7/2007-2013) under grant agreement CAFÉ n° KBBE-212754