

# Optimiser les dépenses énergétiques et la cuverie pendant la fermentation alcoolique

J.M. Sablayrolles, INRA, UMR Sciences pour L'œnologie, 2 place Viala, 34060 Montpellier cedex 1, France.

E-mail: sablayro@supagro.inra.fr

L'optimisation de la gestion de la température et de la cuverie fait partie des préoccupations importantes de vinificateurs. Les dernières décennies ont permis des avancées importantes dans ce domaine mais on peut considérer que ces acquis demeurent partiels et susceptibles d'être largement améliorés dans les années à venir.

## Impact de la température

La température est le principal paramètre de contrôle de la fermentation, qui influe fortement à la fois sur le déroulement de la fermentation et sur la qualité du produit.

### *Au niveau technologique*

La température a un effet primordial sur la cinétique fermentaire. Entre 15 et 25°C, la vitesse de fermentation est doublée lorsque la température est augmentée d'environ 8°C. Le profil de température est, lui aussi, important et une augmentation de plusieurs degrés en cours de fermentation – cas très fréquent en œnologie - modifie profondément la courbe de fermentation.

Le tableau 1 illustre l'impact du régime de température sur la durée de fermentation (occupation de la cuverie) ainsi que sur la vitesse maximale de fermentation. Dans tous les cas, la température est comprise entre 15°C et 22°C, soit une gamme d'intérêt pour les fermentations en blanc. De façon logique, les fermentations menées en non isothermie ont des valeurs intermédiaires entre les 2 isothermes à 15°C et 22°C, avec des fermentations plus rapides lorsque la température augmente dès le début. On peut cependant noter l'effet très significatif de l'augmentation de température pendant la deuxième partie de la fermentation. En effet, comparativement à l'isotherme à 15°C, ce régime de température (qui correspond à une pratique courante) permet de raccourcir la fermentation alcoolique de 7 jours. Par ailleurs, il faut noter qu'une température finale au moins égale à 20°C est quasiment indispensable lorsque l'on souhaite réaliser une fermentation malolactique.

Le régime de température a aussi un impact très important sur les besoins énergétiques nécessaires pour la régulation de température. Dans le Tableau 1, sont reportés les estimations (i) de la puissance maximale (Pmax) utilisée (au moment où la vitesse de fermentation est maximale) et (ii) de l'énergie totale (Etot) dépensée pendant la fermentation. Ces paramètres présentent un grand intérêt technologique car ils sont proportionnels, respectivement, à la puissance du groupe frigorifique et à la consommation électrique. Par rapport à l'isothermie à 15°C (Etot = 1411 10<sup>3</sup> kcal), le fait d'augmenter la température jusqu'à 22°C permet des économies d'énergie très importantes de respectivement 43% (Etot = 811 10<sup>3</sup> kcal) et 34% (Etot = 935 10<sup>3</sup> kcal). L'augmentation précoce de température permet une économie légèrement supérieure, mais l'augmentation plus tardive (à mi-fermentation) présente l'intérêt de conduire, en outre, à une valeur modérée de Pmax.

*Tableau 1: Effet du régime de température sur la durée de fermentation (Df), la vitesse maximale de fermentation (Vmax), la puissance frigorifique maximale (Pmax) et la dépense totale en énergie (Etot). Tinit : température initiale, Tfin : température finale, DT : régime d'augmentation de température (début : augmentation de la température dès le début de la fermentation ; mi FA : augmentation de la température à partir de la mi-fermentation). Volume de la cuve simulée : 500 hl. Température extérieure = 15°C.*

Tinit (°C)	Tfin (°C)	DT	Durée (jours)	Pmax (kcal/h)	Etot (10 <sup>3</sup> .kcal)
15	15		23	7960	1411
15	22	début	12.5	9777	811
15	22	mi FA	16	7760	935
22	22		11	13229	1103

### *Sur la qualité.*

L'impact de la température de fermentation sur la qualité des vins est encore loin d'être entièrement compris et maîtrisé. En effet, les phénomènes mis en jeu sont complexes et multiples (effet sur le métabolisme des levures, phénomènes physico chimiques ...). De grandes tendances, décrites par plusieurs auteurs et observées régulièrement dans les caves, peuvent, malgré tout, être dégagées.

Lors des vinifications en blanc ou rosé, les températures très basses (10 à 15°C) favorisent la production d'arômes fermentaires tels que les esters. De telles températures peuvent donc être utilisées pour augmenter le caractère fruité des vins. Mais, dans ce cas, les risques de fermentations languissantes, voire d'arrêt de fermentation sont fortement augmentés et une bonne gestion de la fermentation est indispensable. Elle inclue, en particulier, le choix d'une levure suffisamment cryotolérante et une augmentation de température en fin de fermentation. Des travaux récents ont aussi mis en évidence l'importance de la température vis à vis de la libération d'arômes variétaux, plus particulièrement de thiols. Ils ont montré que, quelle que soit la souche utilisée, leur production est plus importante à température relativement élevée (20°C) qu'à température basse (13°C). Le choix de la température peut donc être considéré comme un moyen de favoriser soit les arômes fermentaires, soit les arômes variétaux.

Lors des vinifications en rouge traditionnelles, les composés aromatiques synthétisés par les levures ont moins d'impact sur les caractéristiques du produit final et la température joue avant tout un rôle pour favoriser le transfert de composés polyphénoliques de la phase solide vers la phase liquide. De façon générale, il est considéré qu'une température élevée (28-30°C) combinée à une concentration importante en éthanol favorise cette extraction. Certaines pratiques permettent une extraction plus sélective, en favorisant la diffusion de composés d'intérêt tels que les anthocyanes de la pellicule ou les précurseurs d'arômes, tout en limitant l'extraction de composés peu souhaitables, en particulier les tannins des pépins. C'est le cas de la macération préfermentaire à froid (environ 10°C pendant plusieurs jours) qui est une technique de plus en plus répandue. Une autre technologie de plus en plus utilisée consiste à faire fermenter en phase liquide, après une phase d'extraction préfermentaire (par flash détente, par exemple). Dans ce cas, on se retrouve dans un schéma de fermentation voisin des vinifications en blanc, avec un intérêt des fermentations à basse température, voisines de 20°C.

### **Perspective : raisonner différemment les régimes de température et l'utilisation de la cuverie**

*Grace au suivi en ligne de la cinétique fermentaire.* Actuellement, le régime de température est décidé à l'avance et ne prend généralement pas en compte le fait qu'un même mode de conduite peut conduire à des déroulements de fermentation très différents. En effet, la composition de la 'matière première', est très variable, en particulier selon l'année. Le suivi en ligne de la cinétique fermentaire rend possible la notion d'optimisation cuve par cuve, prenant ainsi en compte la variabilité de la composition des moûts. L'estimation de la vitesse instantanée de fermentation présente à la fois (i) un intérêt microbiologique (relation avec l'activité des levures) et (ii) un intérêt technologique (relation avec la vitesse de production de calories). La question essentielle est alors : comment utiliser au mieux ce nouveau paramètre ?, c'est à dire : quelle décision prendre en fonction du suivi en ligne et ce, à tout moment de la fermentation? Il ne sera ni possible ni souhaitable de proposer des 'recettes' uniques et généralisables et l'enjeu sera que chaque utilisateur puisse trouver des solutions spécifiques. On peut cependant donner quelques exemples illustrant de nouveaux modes de raisonnements :

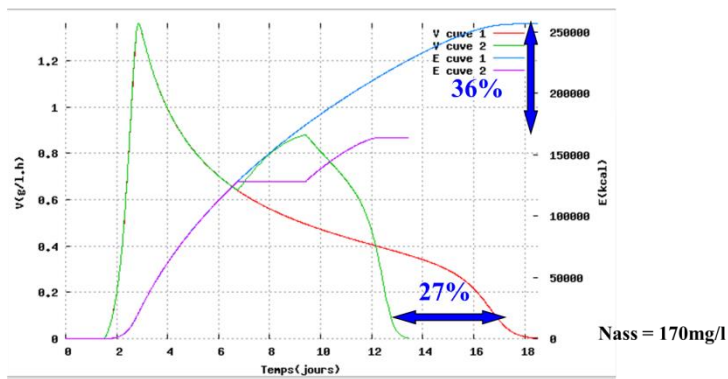
- en vinification en blanc ou rosé : action sur la vitesse de fermentation. Il s'agit de piloter les ajouts de nutriments azotés et le profil de température (à l'intérieur d'une fourchette préalablement définie) en fonction du suivi de la vitesse de fermentation et ainsi de réduire les disparités de durées de fermentation et d'occupation de la cuverie, selon les moûts ;
- en vinification en rouge : définition de profils de température en fonction de la concentration en éthanol. De tels profils prennent en compte les deux paramètres (température et éthanol) les plus impliqués dans les phénomènes de macération.

*En anticipant les besoins.* Si l'adaptation du contrôle en fonction du déroulement de la fermentation comporte déjà une notion d'anticipation, on peut imaginer aller encore plus loin, avec la notion de prédiction du déroulement de la fermentation. L'idée est d'utiliser les données initiales sur la

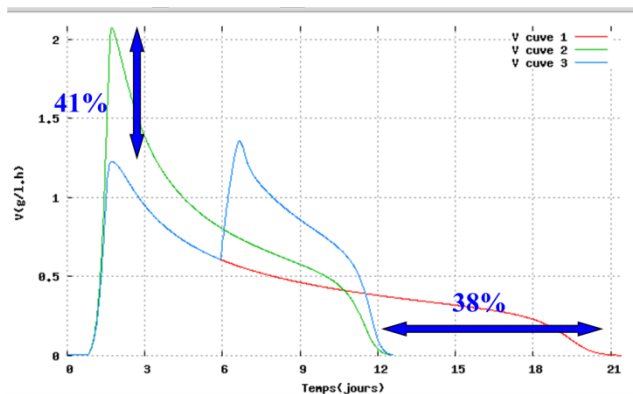
composition du milieu et les informations acquises pendant le début de fermentation, pour pouvoir, de façon très précoce, (i) prévoir le déroulement ultérieur de la fermentation et donc l'occupation de la cuverie et (ii) adapter le contrôle de la température en fonction de cette estimation. Plusieurs modèles prédictifs ont déjà été proposés et – au moins – un d'entre eux possède un domaine de validité suffisant pour être utilisable dans la pratique. Il a débouché sur un logiciel de simulation de la cinétique fermentaire et de l'évolution des besoins en frigories pour la régulation de température (1) qui est actuellement commercialisé (SOFA®, INRA-Intellioeno). Celui-ci permet de raisonner à l'échelle d'une cuve mais il est aussi utilisable à l'échelle d'une cave, sachant que les besoins en cuverie et en énergie doivent être raisonnés prioritairement à cette échelle. La figure 1 illustre plusieurs exemples de questionnements possibles avec ce simulateur. Une étape suivante consistera à inclure cette approche prédictive dans un logiciel de contrôle, avec possibilité d'intervenir, à titre préventif, sur les différentes cuves.

Figure 1 : Exemples d'utilisation du simulateur SOFA®, INRA-Intellioeno.

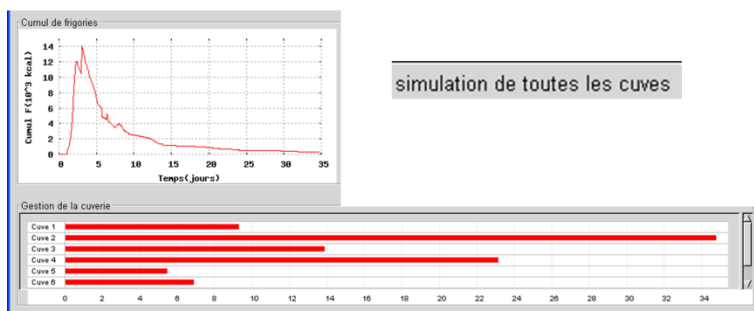
quels impacts d'une augmentation de température (16 vs 16-22)?



quels impacts d'un ajout d'azote (400 mg/l DAP)?



quelle répartition de la demande en cuverie et en frigories dans une cave?



*En prenant en compte les pertes d'arômes.* Il est couramment admis que des molécules aromatiques peuvent être perdues en cours de fermentation à cause de leur forte volatilité mais les équilibres de concentrations de ces molécules entre les phases gaz et liquide sont mal décrits et quantifiés. Des travaux récents ont permis d'avancer dans ce domaine. Des bilans réalisés en prenant en compte toute la fermentation montrent que, si les pertes en alcools supérieurs sont négligeables, celles en esters peuvent être très importantes. Le tableau 2 récapitule les valeurs obtenues dans le cas de l'isobutanol et de deux esters impliqués dans les arômes fruités : l'acétate d'isoamyle et l'hexanoate d'éthyle. Deux régimes de température sont testés : isotherme à 20°C et profil de température de 20 à 30 °C (représentatif d'une vinification en rouge). Dans le cas de l'éthyl hexanoate, les pertes représentent près de la moitié de la production à 20°C et des 2/3 avec le régime 20-30°C. Des modèles ont été élaborés pour calculer ces pertes, quel que soit le profil de température et cette approche sera prochainement étendue à une dizaine de molécules.

*Tableau 2: Pertes, dans le gaz effluent, de molécules aromatiques pendant la fermentation (exprimées en % de la production totale).*

*Iso 20 : fermentation à 20°C. 20-30 : température initiale de 20°C, température finale réglée à 30°C*

Température	Acétate d'isoamyle	Hexanoate d'éthyle	Isobutanol
20	26	45	0.6
20-30	45	66	0.9

A moyen terme, il existe, donc, des perspectives de contrôle plus élaborés de la température, avec à la fois une meilleure gestion des ressources (frigorifiques et cuverie) et une prise en compte directe d'aspects qualitatifs.