

NOUVELLE ÉDITION 2020

Les **15**
points-clés
de la Fermentation
Alcoolique...

...ou comment
toujours réussir
vos FA* !

*FA : Fermentation Alcoolique

GRUPE
ICV 

L'art & l'expertise du vin

Les 15 points-clés de la Fermentation Alcoolique...

SOMMAIRE

«LES LEVURES SONT DES ÊTRES VIVANTS AUTONOMES»

15 facteurs principaux influent directement sur leur vie, leur activité et leur survie au cours de la fermentation alcoolique.

Ces facteurs ont été validés pour les levures sélectionnées et dans une cave appliquant les bonnes pratiques d'hygiène. Les actions préventives spécifiques pour gérer les contaminants et les vendanges altérées ne sont pas abordées ici.

«LE RÉSULTAT FINAL DE LA FA DÉPEND DE LA MAÎTRISE DE CES 15 FACTEURS»

Les différentes levures œnologiques auront des réactions variables à ces facteurs.

Ce document a pour objectif de décrire les points cruciaux à maîtriser pour la réussite complète d'une FA. Des indicateurs opérationnels, c'est-à-dire des paramètres mesurables en cave, et quelques solutions sont proposés pour chacun de ces points.

Dans tout le document et sauf mention contraire, les termes «levure» ou «levure œnologique» font référence aux levures de l'espèce *Saccharomyces cerevisiae*.

Édition coordonnée par Daniel Granès, avec la participation de Caroline Bonnefond, Lucile Pic, Hélène Teixidor, Agnès Piperno, Caroline Delmas, Gisèle Elichiry, Julien Brochet, Guillaume Valli, Edouard Medina, Noël Laurens, Laurent Vial, Alexis Subileau, Laurent Jousain, Pierre Dubrion, Eric Bru, Paul Pradelle, Sylvain Gras et Jérôme Hourdel.

LES 4 OBJECTIFS MAJEURS DE LA FERMENTATION ALCOLIQUE :

- Assurer la fermentation complète et rapide des sucres
- Limiter la production d'acidité volatile (AV) pendant le premier tiers de la fermentation
- Éviter la production de composés soufrés à odeurs désagréables pendant toute la fermentation
- Aboutir à l'objectif aromatique et gustatif.

AU LEVURAGE

- POINTS-CLÉS N°
- 1 Adaptation de la levure aux fortes teneurs en sucres du moût : le choc osmotique initial p 2
 - 2 Contenu des cellules en facteurs de résistance aux stress p 3
 - 3 Débourbage des blancs et rosés : élimination de stérols et d'acides gras p 3
 - 4 Apport d'acides gras, stérols, acides aminés et micronutriments au levurage p 4
 - 5 Carences induites p 4
 - 6 Températures des blancs et rosés : choc thermique dans les jus froids p 5

Grille d'évaluation des risques p 11
Lexique p 12/13

LA FERMENTATION PENDANT LE DERNIER QUART

- POINTS-CLÉS N°
- 13 Remise en suspension régulière des levures p 10
 - 14 Apport d'azote organique p 10
 - 15 Basse température en phase de survie p 10

LA FERMENTATION PENDANT LE PREMIER QUART

- POINTS-CLÉS N°
- 7 Températures basses pendant les premières 48h p 6
 - 8 Apport d'oxygène p 6
 - 9 Rouges : vitesse de multiplication de la levure et effet sur la maîtrise des températures p 7

LA FERMENTATION À LA FIN DU PREMIER TIERS

- POINTS-CLÉS N°
- 10 Rouges : température maximale atteinte pendant la fermentation p 8
 - 11 Apport d'acides gras, stérols et acides aminés / Apport de sulfate ou phosphate d'ammonium p 8
 - 12 Apport d'oxygène p 9

AU LEVURAGE

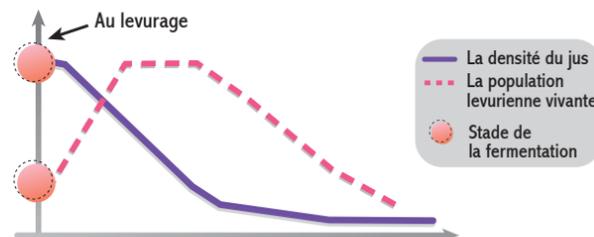
Les chocs osmotique et thermique dans les jus

Le choc osmotique est dû à la concentration élevée en sucre du jus. C'est le premier évènement important dans la vie d'une population de levures œnologiques. Ce choc a des impacts sur la physiologie des cellules jusqu'à la fin de la fermentation. En particulier, la capacité de la biomasse de levures à consommer la totalité des sucres fermentescibles dépend indirectement de l'intensité du choc osmotique initial et de la capacité des levures à s'y adapter.

Les différentes levures ont des aptitudes variables de résistance, en particulier dans les jus riches en sucres (au-delà de 220 g/L de sucres fermentescibles -13% vol. potentiel).

C'est un critère de sélection important pour les levures œnologiques qui doivent fermenter les jus méditerranéens et rhodaniens.

Le deuxième choc concerne la température. La différence entre celle de l'eau de réhydratation des levures (normalement 35°C) et celle du jus modifie entre autres la capacité de la levure à prélever dans le milieu un certain nombre de composés comme l'azote. Ce différentiel limite directement ou indirectement la croissance et l'activité de la biomasse.



Question/Réponse

Pour réussir mon levurage, que dois-je préparer ?

> L'important c'est de s'assurer que tout est disponible et fonctionnel pour mettre les levures dans les meilleures conditions : le récipient, l'eau chaude et le thermomètre, un ustensile pour mélanger et un chronomètre.

POINT-CLÉ N°

1

Adaptation de la levure aux fortes teneurs en sucres du moût : le choc osmotique initial

On peut évaluer directement ce choc à partir du degré naturel potentiel. Plus il est élevé et plus la levure doit dépenser d'énergie pour maintenir l'équilibre entre l'intérieur et l'extérieur de la cellule. La levure doit synthétiser plus de glycérol*.

En parallèle elle produit plus d'acide acétique. Cette production est amplifiée quand les ressources en acides gras* et en stérols* sont insuffisantes et quand la levure est soumise à d'autres stress : température, SO₂, etc. Bien qu'il n'y ait pas (ou très peu) d'alcool dans le milieu, des dommages irréparables de la membrane* de la levure peuvent se produire à ce stade et se répercuteront sur les générations futures de levures jusqu'à la fin de la fermentation et en particulier quand les levures sont de qualité insuffisante ou que les bonnes pratiques de réhydratation ne sont pas correctement appliquées.

Il n'y a pas vraiment de moyen de réduire l'origine du risque associé à cet élément puisque, en général, la maturité dépend des objectifs de marché et / ou des objectifs sensoriels. C'est essentiellement un facteur que l'on subit et que l'on peut rééquilibrer, du point de vue de la fermentation alcoolique et de la levure, par le choix de la dose de levurage (par l'augmentation proportionnelle à la concentration en sucres) et par le pilotage des points traités ci-après.



Question/Réponse

Comment je choisis ma levure ?

> Le premier point c'est de s'assurer de ses capacités et de les évaluer par rapport au raisin qui sera récolté et à la vinification prévue. Quelle quantité de sucres est-elle capable de fermenter ? De combien d'azote assimilable a-t-elle besoin ? Quelles sont les températures qu'elle peut supporter sans risque majeur ? Ensuite, il faut évaluer son impact sur le profil du vin final, et pour ça rien de mieux que de goûter des vins d'essais comparatifs ou de se faire sa propre expérience avec plusieurs cuves.

Pour tous les termes suivis d'une * = voir le lexique pages 12 et 13.



POINT-CLÉ N°

2

Contenu des cellules en facteurs de résistance aux stress

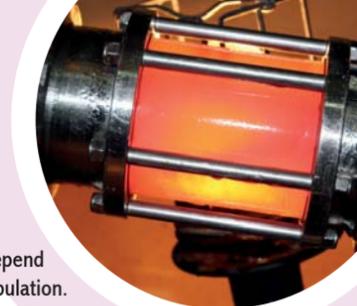
Ces facteurs de résistance sont des éléments importants pour le bon fonctionnement de la membrane cellulaire : ce sont les acides gras insaturés* et les stérols*. On peut évaluer indirectement ce contenu à partir de la dose de levures sèches actives (LSA) apportées. Pendant la multiplication cellulaire dans le jus de raisin, la levure a un métabolisme* fermentaire. Il lui est alors difficile de synthétiser ces facteurs de résistance au stress. Le contenu initial des cellules va se diluer pendant toute la phase de multiplication cellulaire. Au contraire, lors de la production industrielle dans un vrai fermenteur, où l'on évite l'effet Crabtree*, la levure respire. Avec ce métabolisme respiratoire, elle peut plus facilement synthétiser et accumuler ces facteurs de résistance.

En cuve de FA, la multiplication se déroule pendant la consommation des 50-60 premiers grammes de sucres soit environ à «densité initiale -30 points». Un jus de raisin est complètement colonisé par une population de levures œnologiques quand il y a environ 100 millions de cellules par millilitre, c'est le moment où l'on atteint le pic de vitesse de fermentation ou Vmax (voir «Le saviez-vous?»).

Ce niveau de colonisation maximale dépend relativement peu du niveau initial de la population. Ceci veut dire que pour arriver à 100 millions par millilitre, le nombre de générations nécessaires est d'autant moins important que la population initiale est élevée. Il y a donc moins de dilution du stock initial en facteurs de résistance. Jusqu'à 30 g/hL, plus la dose de LSA est élevée et plus les cellules sont riches en facteurs de résistance pendant la multiplication et le sont encore quand la population maximale est atteinte.

En dehors du cas particulier du levurage (à la parcelle) sans réhydratation (voir «Le saviez-vous?» page 5), il est impératif de parfaitement respecter les conditions de réhydratation indiquées sur les emballages des levures sèches actives, en particulier la température de l'eau (qui doit être mesurée) et la durée de la réhydratation (qui doit être contrôlée).

La teneur en facteurs de résistance des levures peut aussi être accrue à travers deux points qui sont la gestion des débourbages (point 3) et l'apport de ces facteurs pendant la réhydratation (point 4).

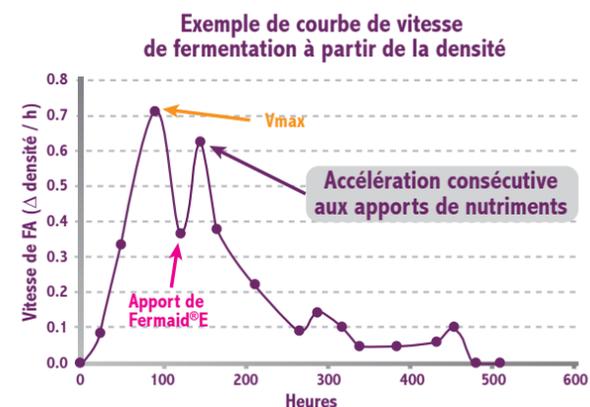


Le saviez-vous ?

La vitesse de FA

> Elle se mesure de plusieurs manières. Les chercheurs utilisent le dégagement de gaz carbonique (CO₂) par unité de temps (t). La formule est alors $V = dCO_2 / dt$ où dCO_2 est la quantité de CO₂ dégagée pendant le temps dt. En cave il est possible de la suivre en enregistrant régulièrement la densité (D) et l'heure du jour (t) où on réalise cette mesure. Dans ce cas, $V = -dD / dt$ (signe "-" pour qu'elle garde une valeur positive) ou plus simplement $V = (D_1 - D_2) / (t_2 - t_1)$ où D_1 est la densité mesurée au temps t_1 et D_2 celle mesurée au temps t_2 (et $t_2 > t_1$).

La courbe est alors du type de celle représentée ci-contre : l'intérêt est de mesurer et de visualiser la Vmax, la vitesse maximale de fermentation. Elle précède le moment le plus favorable à l'addition d'azote assimilable et d'oxygène pour sécuriser la cinétique fermentaire. Ces interventions génèrent une ré-accelération de la vitesse de FA, d'où le deuxième pic de la courbe ci-dessus.



POINT-CLÉ N°

3

Débourbage des blancs et rosés : élimination de stérols et d'acides gras*

Avec le débouillage, l'élimination des particules et des flocons pectiques élimine aussi les acides gras polyinsaturés* intéressants pour la levure. Ces lipides (acides gras et phytostérols) sont favorables à la fois à la consommation d'azote assimilable par la levure et à la constitution de stérols membranaires qui permettent à la levure de survivre sur le dernier quart de la fermentation. Ils sont hydrophobes et ne sont donc pas en solution dans le jus. On peut évaluer indirectement ce facteur par l'intensité du débouillage (NTU finale ou taux de matières en suspension).

Cette intensité est souvent imposée par les objectifs de style du vin. En dessous de 200 NTU (ou pour les jus bien translucides à l'œil) il est prudent de compenser les risques par d'autres facteurs : dose de LSA plus élevée, apport d'activateurs puis de nutriments* complexes, choc thermique faible.

L'utilisation d'éléments «neutres» pour créer de la turbidité, comme la cellulose ou les écorces de levures, ne joue pas sur les cinétiques de fermentation mais a un effet principalement sensoriel.



Question/Réponse

Le débouillage mes jus très clairs. C'est dangereux ?

> Ça peut l'être si les degrés à fermenter sont supérieurs à 12.5 - 13. Mais on peut compenser en partie ce risque en augmentant la dose de levurage et surtout en ajoutant un activateur spécifique dans l'eau de réhydratation de la levure.

Apport d'acides gras*, stérols*, acides aminés* et micronutriments* au levurage

Le premier indicateur opérationnel* est le ratio entre l'apport d'activateurs* complexes contenant des levures inactivées et la dose de levurage, au moment de la réhydratation. La levure à ce moment-là a la capacité d'intégrer les stérols de ces préparations ainsi que les micronutriments qu'elles peuvent contenir. Ces activateurs ne fournissent pas directement d'azote assimilable mais favorisent un meilleur état physiologique et structurel de la paroi et de la membrane des levures. Comme tout être vivant, pendant la phase de multiplication cellulaire, la levure a besoin d'acides aminés*, d'acides gras*, de micronutriments* (vitamines* et sels minéraux). En plus, elle a besoin de stérols* pour résister au choc osmotique et ensuite à l'alcool. Dans le jus, certains de ces éléments ne sont pas biodisponibles au moment où la levure en a le plus besoin.

L'apport d'activateurs organiques ou complexes qui contiennent de façon biodisponible ces différents éléments permet de **diminuer les risques de stress nutritionnel de la levure**. Au moment du levurage ou juste après, un apport participe à la multiplication cellulaire de la levure dans de meilleures conditions.

Chaque levure œnologique a des besoins propres et différents des autres.

Les doses se raisonnent donc en fonction de la levure œnologique mais aussi d'autres facteurs, comme l'état sanitaire de la vendange (les dégradations de l'état sanitaire conduisent à des niveaux plus faibles d'azote assimilable), le degré potentiel (plus de sucres à fermenter = plus de besoins d'azote assimilable), le niveau de turbidité, le régime thermique appliqué, les températures extrêmes en FA, les oxygénations réalisées...

Le deuxième indicateur opérationnel à cette phase (en chevauchement avec la phase dite de «multiplication cellulaire» traitée au chapitre suivant) est l'apport (ou pas) de nutriments organiques ou complexes.

L'objectif de ces deux étapes (activateur pendant la réhydratation et nutriment précoce) est d'atteindre un niveau de population suffisant avec une bonne **capacité fermentaire** et un **niveau de survie** adéquat pour bien achever la fermentation alcoolique.

Carences induites

Au-delà du contenu initial en vitamines, oligoéléments et azote assimilable du moût dans lequel va se développer la biomasse de levures, le développement de microorganismes «indigènes» (i.e. présents naturellement dans l'écosystème de la cuve quelle que soit leur espèce ou leur provenance) peut générer des carences. Ces carences induites peuvent conduire à des déviations sensorielles (odeurs soufrées par exemple), analytiques (acidité volatile par exemple) ou à des fermentations languissantes voire à des arrêts de fermentation.



Question/Réponse

Si mon raisin manque d'azote, je compense dès le début ?

> Il vaut mieux répartir en 2 apports, en insistant plutôt sur celui réalisé entre 1060 et 1040. Et favoriser l'azote organique.

De la même manière, la pré-multiplication d'un levain avec une activité fermentaire visible, en particulier parce qu'elle place une très forte population de levures dans un très faible volume de moût, induit des carences similaires dans leurs effets (voir «Le saviez-vous?»).



Le saviez-vous ?

La mauvaise idée de la «pré-multiplication des levures»

Réhydrater les levures puis commencer à les faire fermenter «pour s'acclimater» dans des conditions standards est très risqué. La quantité de levures calculée pour le volume total de la cuve se multiplie et commence à fermenter dans à peine quelques % de ce volume total. Elle manque donc rapidement de vitamines, de micronutriments et d'azote assimilable.

Les levures ainsi multipliées en conditions de stress (ratio «biomasse/nutriment» très défavorable) conduisent généralement à des fermentations compliquées, des acidités volatiles plus élevées et des odeurs soufrées négatives plus fréquentes.

Le levurage direct, sa précocité ainsi que l'absence de sensibilité au facteur killer* (phénotype neutre ou K2) de la levure choisie pour l'ensemencement sont les moyens de limiter ce risque.

Les indicateurs opérationnels* sont l'absence de pré-multiplication, le caractère sensible ou non des levures ensemencées et le délai entre le début du remplissage de la cuve de fermentation et l'introduction des levures.

N.B. : en cas de levurage séquentiel (en général une non-Saccharomyces suivie d'une Saccharomyces), il faut prendre en compte la consommation de nutriments par la levure «initiale» afin de la compenser par les additifs adéquats pour mettre la seconde levure dans les meilleures conditions possibles.*

Températures des blancs et rosés : choc thermique dans les jus froids

On peut évaluer directement ce choc par la différence de température entre le moût et l'eau en fin de réhydratation. Plus cette différence est élevée et plus la levure sera stressée, un écart de température supérieur à 10°C aura des conséquences physiologiques pendant toute la fermentation.



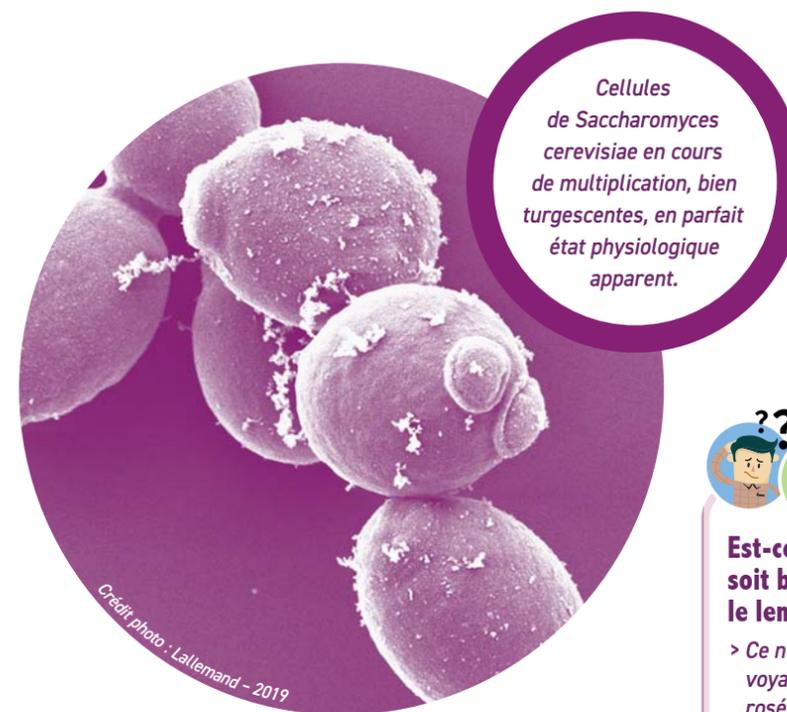
Le saviez-vous ?

La bonne réhydratation

> Elle est cruciale pour la bonne implantation de la levure. Pour la réussir, il faut disposer des outils nécessaires : le bac, l'eau chaude, le thermomètre et le chronomètre. Un seul «absent» et c'est l'échec assuré. L'ICV tient à votre disposition des procédures imagées qui prennent en compte plusieurs cas de figure (avec ou sans activateur, avec ou sans réacclimation). Dans le cas «standard», il faudra travailler avec de l'eau à 35°C, en volume dix fois supérieur à la masse de levures à réhydrater. On mélangera en douceur les levures dans l'eau. On réalisera un brassage doux et complet 10 à 15 minutes plus tard et un second encore 10 à 15 minutes plus tard. Après ce second brassage on levurera la cuve ou on démarrera les étapes de réacclimation.

Le levurage sans réhydratation : bonne ou mauvaise idée ?

> 3 ans d'essais ont été nécessaires pour vérifier que seul un petit nombre de levures pouvaient résister à un ensemencement direct sur raisin ou moût non fermenté. Dans tous les cas de figure il faut augmenter les doses de levurage pour compenser la mortalité inévitable et se limiter à des conditions de fermentation analysées comme favorables sur l'ensemble des autres points-clés de la FA (degré potentiel, disponibilité des nutriments, températures...).



Cellules de *Saccharomyces cerevisiae* en cours de multiplication, bien turgescentes, en parfait état physiologique apparent.

Les différentes levures ont des sensibilités différentes à ce stress. Quand la technologie impose un choc thermique il est prudent de choisir une levure plus résistante à ces conditions, ou de compenser les risques par d'autres facteurs : dose de LSA plus élevée, acclimation progressive à la température du jus, apport d'activateurs complexes.



Question/Réponse

Est-ce que je dois attendre que ma cuve soit bien pleine pour levurer, parfois le lendemain du début du remplissage ?

> Ce n'est pas une bonne idée. Il faut levurer sur le premier voyage en rouge ou au début du remplissage en blanc ou rosé ou en thermo, avec une réacclimation quand c'est nécessaire. C'est le meilleur moyen d'implanter sa levure et de limiter les contaminations et les carences.

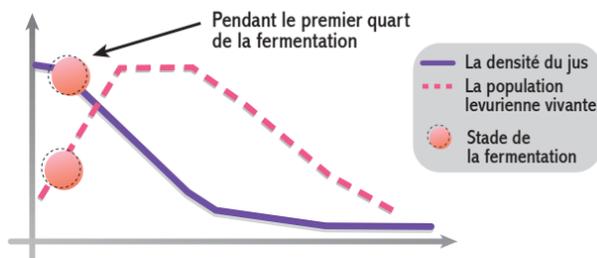
LA FERMENTATION PENDANT LE PREMIER QUART

La multiplication des cellules de levure

La multiplication correspond à la consommation des 50-60 premiers grammes de sucres soit environ jusqu'à la «densité initiale -30 points» (atteinte du V_{max}). Une fois passé le choc osmotique initial, c'est une autre phase clé pour la levure : la croissance cellulaire. La majeure partie de son métabolisme est orienté vers les synthèses qui permettent la création de cellules filles.

Pour ces synthèses, la levure a besoin de sources variées de nutriments* : toutes les formes d'azote assimilable* (en particulier les acides aminés*) et des lipides (acides gras polyinsaturés*, stérols) (voir point 4 précédent). Quand il y a des déséquilibres, la membrane* cellulaire peut être déjà altérée et la production d'acide acétique peut être amplifiée.

On choisira les compléments azotés et leurs moments d'apport en fonction aussi des styles de produits recherchés.



POINT-CLÉ N°

7 Températures basses pendant les premières 48h

Les basses températures en phase de croissance cellulaire (en général $\leq 15^\circ\text{C}$) limitent la capacité des levures à assimiler l'azote disponible, surtout sous forme ammoniacale.

Comme la capacité globale de la levure à prélever l'azote dans le milieu diminue avec l'avancement de la fermentation alcoolique, une «carence» initiale induite par de trop basses températures sur les premières 48h peut ne pas être compensée par une consommation d'azote plus importante sur la suite de la fermentation.

Certaines levures sont plus sensibles que d'autres à ces conditions-là. L'indicateur pertinent est la température du moût.



Question/Réponse

Sur une préfermentaire à froid, faut-il vraiment leverer dès le remplissage ?

> Oui. Sinon une flore contaminante va s'installer et consommer de l'azote et des vitamines qui manqueront ensuite à la levure. Il y a de multiples solutions avec des *Saccharomyces* comme avec des non-*Saccharomyces*. Parles-en avec ton consultant pour faire le choix adapté.

POINT-CLÉ N°

8 Apport d'oxygène à DENSITÉ INITIALE -10 POINTS

Pendant la multiplication des cellules, la levure utilise cet oxygène pour synthétiser des acides gras monoinsaturés* et son ergostérol*. Ceci permet un meilleur état physiologique de la membrane* cellulaire et limite les risques de production excessive d'acidité volatile*. Certaines levures y sont plus sensibles que d'autres : pour ces dernières, des apports quotidiens d' O_2 (1 à 2 mg/L) pendant la phase de multiplication conduisent systématiquement à des niveaux plus faibles d'AV.

Pour éviter les risques d'oxydation, il est important d'apporter cet oxygène quand la population est à un niveau suffisant et que le jus est complètement saturé en CO_2 .

L'apport de 3 à 5 mg/L d'oxygène dissous est efficace. Ceci peut être fait par un remontage au baquet de tout le volume de la cuve, un délestage aéré ou avec une injection directe d'oxygène avec un appareil prévu et validé pour cela, type cliqueur ou microoxygénateur.



Question/Réponse

J'ai peur d'oxyder les arômes. Est-ce que je peux me passer d'oxygène ?

> C'est un risque important de ne pas en amener, d'autant plus qu'entre 1060 et 1040 l'oxygène est complètement consommé par les levures en quelques secondes. Il existe des outils d'apports précis qui permettent d'ajouter juste ce qui est nécessaire à la levure.

POINT-CLÉ N°

9

Rouges : vitesse de multiplication de la levure et effet sur la maîtrise des températures

Quand la levure se multiplie rapidement, la cinétique de production de l'éthanol est plus élevée. En situation industrielle, une vitesse initiale élevée entraîne une augmentation de température à l'intérieur de la cuve qu'il est difficile de maîtriser, d'autant plus que le volume des cuves de fermentation sera élevé. Il en résulte une altération de l'état physiologique de la membrane* cellulaire, même si la concentration en alcool dans le jus est encore modeste. Cette altération précoce limitera la résistance de la cellule en fin de fermentation.

Dans le jus de raisin, la vitesse de multiplication des cellules est maximale à 28°C . Pour éviter la production excessive d'alcool dès le début de fermentation, il est recommandé de maintenir une température du jus inférieure à 25°C jusqu'à la «densité initiale -30 points» ou de piloter la baisse de densité pour se maintenir à un maximum de 10 points par jour.

Un régime thermique où l'on reste inférieur à 25°C pendant le 1^{er} tiers de fermentation permet également de travailler plus longtemps les extractions en présence de peu d'alcool et donc de favoriser les diffusions des tanins et des polysaccharides hydrophiles, généralement les plus intéressants au niveau sensoriel.



Question/Réponse

J'aime macérer chaud pour extraire. Y a-t-il des contre-indications ?

> Oui, plus la masse de raisin monte en température plus les levures vont souffrir et mourir, quel que soit le moment où «ça chauffe». Les alternatives sont assez simples : ajouter un ou deux délestages précoces et augmenter les doses d'enzymes au remplissage, quand c'est autorisé.



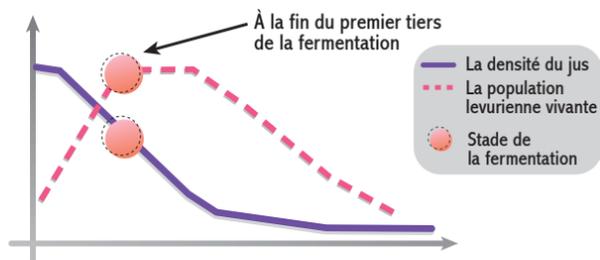
LA FERMENTATION À LA FIN DU PREMIER TIERS

La phase stationnaire de la population levurienne

À densité initiale -30 points ou plus généralement entre 1060 et 1040 de densité (ou encore après le Vmax), la population de levure a complètement colonisé le milieu.

La multiplication active des cellules s'arrête. Les levures orientent leur métabolisme* vers la **résistance aux conditions difficiles du milieu** : de moins en moins de nutriments accessibles, une concentration de plus en plus élevée en éthanol.

À ce stade, la cellule de levure peut encore faire un stock en **composés de résistance de la membrane** : stérols* et acides gras monoinsaturés*. Elle peut aussi faire un stock en ammoniac* et en acides aminés* pour les synthèses protéiques impliquées dans les systèmes de transports membranaires.



Les **différentes levures œnologiques** ont des besoins nutritionnels différents. Les doses d'apport se raisonnent en fonction de la levure œnologique et d'**autres facteurs mesurables** : azote assimilable initial, apport éventuel de nutriments au levurage, degré potentiel, chocs thermiques, température maximale, oxygénations.

L'autre indicateur opérationnel* est l'apport de sulfate ou de phosphate d'ammonium* avec sa dose d'apport. Dans certains raisins et jus, un apport excessif peut provoquer un déséquilibre nutritionnel, des déviations du métabolisme* du soufre et la production de composés soufrés* malodorants. L'ammoniac est très rapidement absorbé par la levure et peut, en rouge en particulier, conduire à une augmentation importante de température avec les conséquences évoquées au point 10.

Le sulfate ou le phosphate diammonique n'est donc pas le nutriment azoté le plus efficace. De forme chimique très simple, il nécessite que la levure dépense de l'énergie pour pouvoir entrer comme source d'azote dans d'autres molécules plus complexes dont elle a besoin (acides aminés, puis peptides, puis protéines), en particulier pour la régénération des systèmes de transport membranaires.

POINT-CLÉ N°

10 Rouges : température maximale atteinte pendant la fermentation

C'est le seul facteur qui ait un effet mortel direct sur les cellules. Cet effet létal dépend de l'état de la levure. Plus la levure a été stressée avant et plus la température maximale supportable est basse.

Il y a des différences connues entre les résistances des différentes levures œnologiques.

Dans la plupart des raisins méditerranéens et rhodaniens, au-dessus de 28°C, il y a des risques élevés de très forte mortalité ne permettant pas une survie suffisante pour achever la consommation des sucres. Pour les raisons indiquées précédemment, il est recommandé d'adapter cette consigne en la baissant pour des concentrations en sucres supérieures à 240 g/L.



Question/Réponse

J'ai l'habitude de faire des collages en cours de FA. Est-ce que ça perturbe les levures ?

> Ils n'ont pas d'effet connu sur la fermentation, que ce soit pour la bentonite ou pour la KiOfine® par exemple qui ont été bien étudiés.

POINT-CLÉ N°

11 Apport d'acides gras, stérols et acides aminés Apport de sulfate ou phosphate d'ammonium* À DENSITÉ INITIALE -30 POINTS

L'indicateur opérationnel* est l'apport de nutriments* organiques ou complexes contenant des levures inactivées ou des autolysats de levures, avec leurs doses d'apport (voir «Le saviez-vous ?»). Ces nutriments apportent toutes les formes d'azote assimilable*. L'apport de nutriments* qui contiennent de façon biodisponible ces différents éléments permet de diminuer les risques de stress nutritionnel de la levure.



Le saviez-vous ?

Les besoins en azote

Ils dépendent de la quantité de sucre à fermenter et de la levure choisie, certaines ayant des besoins nettement supérieurs aux autres.

En déduisant ce qui est déjà naturellement présent dans le moût, on peut donc calculer le déficit et, ainsi, définir sa stratégie de compensation par des apports raisonnés.

Chaque cuve doit être contrôlée avant le départ en fermentation pour connaître la disponibilité dans le moût, la variabilité interparcellaire et interannuelle étant très forte en zone méditerranéenne et rhodanienne.

Plusieurs stratégies sont possibles en fonction de la source d'azote mise en œuvre et des objectifs cinétiques et sensoriels.

En général ou en l'absence de mesure de l'azote assimilable initial, on peut recommander un premier apport juste après le levurage et un second entre 1060 et 1040.

Augmenter fortement la dose de levure diminue le nombre de divisions accomplies. C'est une alternative quand on ne dispose pas de nutriments azotés assimilables, même si elle ne règle pas toujours ce genre de situation.

POINT-CLÉ N°

12 Apport d'oxygène À DENSITÉ INITIALE -30 POINTS

À la fin de la croissance de la population, la levure utilise bien cet oxygène pour synthétiser des acides gras monoinsaturés* et des stérols*. Ceci permet le maintien d'un bon état physiologique de la membrane* cellulaire.

L'apport de 5 à 8 mg/L d'oxygène dissous est efficace. Ceci peut être fait par un remontage au baquet de 2 fois le volume de la cuve,

un délestage aéré (avec effet Venturi à l'aller et au retour) ou avec une injection directe d'oxygène avec un appareil prévu pour cela, type cliqueur ou microoxygénateur, de manière continue (en une fois, sur maximum 36 à 48h) ou fractionnée.

Cet apport d'O₂ est synergique avec l'apport d'azote assimilable : il est conseillé de gérer les points 11 et 12 ensembles.



Question/Réponse

Les résidus de cuivre peuvent-ils avoir un effet sur la fermentation ?

> Les travaux récents de l'ICV et Lallemand montrent que non. Il faut avoir des doses très élevées au levurage (> 10 mg/L) pour commencer à voir un petit effet sur la phase de latence de quelques levures.

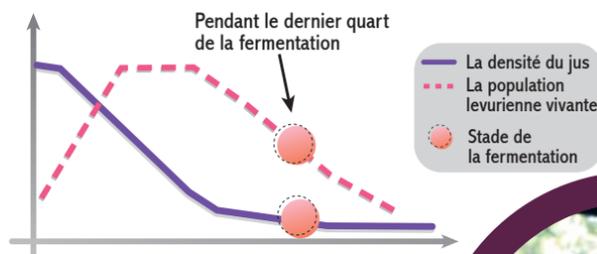
Si je co-inocule levure - bactérie, est-ce que la FA va être plus difficile ?

> Non. Les bactéries lactiques (*Enococcus oeni*) ne peuvent pas entrer en compétition avec les *Saccharomyces*. S'il y a un problème, c'est que l'un ou l'autre des 15 points-clés doit être réévalué.

LA FERMENTATION PENDANT LE DERNIER QUART

La survie des cellules de levure

Pendant le dernier quart de la fermentation, la majorité des cellules sont physiologiquement âgées, en état de survie. C'est la conséquence des étapes précédentes. À ce stade, peu de changements peuvent intervenir directement sur les cellules au niveau individuel, à part une température élevée qui accélérerait leur mort. La bonne survie dépend essentiellement des bonnes pratiques de fermentation appliquées aux étapes précédentes. Les actions pratiques à ce stade visent seulement à maintenir toute la population des cellules en suspension et donc en contact avec le jus. Il n'y a quasiment plus de réelles possibilités d'amélioration de la physiologie levurienne.



POINT-CLÉ N°
13

Remise en suspension régulière des levures

En fin de fermentation, la vitesse de production de CO₂ est faible et il y a donc une faible agitation naturelle du jus. En conséquence les levures restent moins longtemps en suspension. Les levures qui sédimentent en fond de cuve ne sont plus en contact avec le jus encore sucré. Elles meurent par l'absence de source d'énergie et leur incapacité à maintenir leur pH interne. Il y a donc moins de levures en activité et les levures mortes en ambiance réductrice relarguent fréquemment des composés soufrés* malodorants. Plus les conditions fermentaires sont difficiles (choc osmotique initial et forte teneur finale en éthanol), plus les cuves sont hautes et plus la remise en suspension régulière des levures est importante. L'indicateur opérationnel est le nombre des remises en suspension

quotidiennes de toutes les levures. Différents moyens sont efficaces dans la pratique : délestage, bâtonnage dans les petits récipients, brassage avec une canne à CO₂ ou N₂ ou par ajout de pellets de glace carbonique, pompage interne continu par pompe immergée. Un remontage en circuit fermé est peu efficace car des passages préférentiels se créent dans le jus et limitent le brassage du fond de la cuve. Cette agitation aide aussi à gérer les risques d'odeurs soufrées par homogénéisation des différentes parties de la cuve. Ceci aide aussi à la libération de mannoprotéines* levuriennes qui participent à l'équilibre colloïdal du vin.

POINT-CLÉ N°
14

Apport d'azote organique

La levure conserve une capacité à prélever l'azote assimilable essentiellement sous sa forme organique. En cas de fermentation languissante, de petits apports quotidiens peuvent aider à achever plus complètement les sucres.

N.B. : les apports d'O₂ en cas de fermentation languissante ou d'arrêt de FA, doivent par contre être proscrits. Ils ne sont d'aucune efficacité pour l'activité fermentaire de la levure (à part l'effet «mécanique» de remise en suspension que l'on peut réaliser par d'autres voies - voir point 13) et peuvent, a contrario, aider au développement de contaminants comme les bactéries acétiques ou les Brettanomyces.

POINT-CLÉ N°
15

Basse température en phase de survie

Les températures basses en fin de fermentation (inférieures à 18°C) ralentissent le métabolisme fermentaire. Il en résulte une plus faible vitesse de production du CO₂ et donc une faible agitation naturelle du jus.

Les risques décrits dans le point 13 sont amplifiés. Des chocs thermiques pendant cette phase peuvent stresser les cellules, ce qui amplifie les risques de fermentations languissantes ou d'arrêt.



Question/Réponse

Ma fermentation patine sur la fin. Qu'est-ce que je peux faire ?

> À ce stade-là, il n'y a plus beaucoup de solutions. Éviter les températures extrêmes, remettre en suspension les levures (sans O₂ !) et apporter de petites quantités d'azote organique, c'est tout ce qui est possible. Après coup, il faut absolument faire le point pour identifier ce qui a pêché dans le processus en repassant en revue les 15 points-clés.

Si malgré toutes ces précautions, j'ai un arrêt de FA, je fais quoi ?

> Tu relis tout le document ! Et surtout tu appelles ton consultant ICV !

Exemple de grille d'évaluation des risques

INDICATEURS DE TRAVAIL EN CAVE	NIVEAUX À HAUTS RISQUES (Non Conforme)	NIVEAUX À FAIBLES RISQUES (Conforme)	Valeurs pour la cuve N°	Conforme (C, L ou NC)
1. Degré potentiel	> 225 g/L de G+F	≤ 200 g/L de G+F		
2. Dose de Levures Sèches Actives	< 10 g/hL de LSA	≥ 30 g/hL de LSA		
3. Carence induite	Levure sensible ou décalage du levurage de plus de 2h ou repiquage /pré multiplication	Levurage direct avec levure neutre ou killer		
4. Blancs et rosés : turbidité	< 50 NTU	150 NTU avec 2 à 3% de flocons pectiques		
5. Apport d'activateurs	Pas d'apport	1,5 fois la dose de levurage		
6. Choc thermique	Écart levure - jus > 10°C	Acclimatation par étapes, de 10°C en 10°C maximum		
7. Températures pendant les premières 48h	< 15°C	> 18°C		
8. Apport d'oxygène à densité initiale -10 points	Pas d'apport	3 à 5 mg/L d'O ₂ dissout et 1 à 2 mg/L et par jour entre D-10 et D-30		
9. Rouges : température entre 1090 et 1060	> 28°C sous le chapeau de marc	< 25°C sous le chapeau de marc		
10. Rouges : température maximale	> 28°C, sous le chapeau de marc	< 23 à 28°C sous le chapeau de marc (en fonction du G+F initial)		
11. Apport de nutriments à densité initiale -30 points	Pas d'apport alors qu'il y a des besoins ou qu'ils ne sont pas évalués	Azote complexe ou organique en fonction précise de la carence		
12. Apport d'oxygène à densité initiale -30 points	Pas d'apport efficace	5 à 8 mg/L d'O ₂ dissout		
13. Remise en suspension régulière des levures	Pas d'agitation	Agitation ou bâtonnage quotidien		
14. Apport d'azote organique après 1020	Pas d'apport	Petits apports quotidiens		
15. Température après 1020	< 16°C	Entre 18 et 20°C		

Les exemples de niveaux «Non Conformés» et «Conformes» prennent en compte les faibles niveaux nutritionnels des jus méditerranéens et rhodaniens en azote assimilable.

Quelques axes d'interprétation du risque global :

1. Si le degré potentiel (point n°1) ou la température maximale en vinification en rouge (point n°10) ou la température pendant les premières 48h (point n°7) sont classés «Non Conformés», il est indispensable d'avoir tous les autres points «Conformes». Il faudra aussi prendre toutes les mesures pour arriver à une température «Conforme».
2. Si l'un de ces indicateurs est classé «Limite» il est très risqué d'avoir plus de 2 points-clés «Non conformés», même si tous les autres points sont «Conformes».
3. S'il n'y a aucun point-clé «Non Conforme», il est indispensable d'avoir une majorité de points-clés Conformés.

Les Bonnes Pratiques de Fermentation des jus méditerranéens et rhodaniens

Les Bonnes Pratiques de Fermentation (les BPF) sont des choix de pilotage qui permettent d'atteindre les 4 objectifs principaux de la fermentation (voir page 1) avec une bonne maîtrise des risques.

Pour une cuvée, pour mettre au point une stratégie qui optimise les BPF on commence par faire la liste des points-clés dans leur ordre chronologique d'action sur la levure.

Ensuite on détermine des seuils à risque pour chaque point-clé avec des indicateurs opérationnels qui sont mesurables en temps réel de façon simple et précise.

Pour affiner l'organisation du travail, pour chaque point-clé on peut fixer un niveau Conforme (C), un niveau Limite (L) et un niveau Non Conforme (NC).

Ceci permet d'évaluer les risques lors de la préparation des vendanges et d'engager les actions prioritaires : la mise en conformité des points «Non Conformés».

En cas de problème, c'est un outil d'analyse exhaustive des causes possibles.

Le degré potentiel a une place spéciale : il est en général fixé par les objectifs de produit et quand il est élevé, il amplifie tous les autres risques.

• Acides aminés

Source d'azote assimilable la plus efficace pour la levure. La plupart des jus méditerranéens et rhodaniens sont peu concentrés en acides aminés.

• Acides gras monoinsaturés

Constituants de la membrane cellulaire. Permettent une bonne fluidité et une bonne résistance aux stress. Les stress principaux sont le choc osmotique au levurage, les fortes températures et la forte concentration en alcool en fin de fermentation.

• Acidité volatile

En l'absence de problème bactérien, l'acidité volatile est constituée par l'acide acétique produit par les levures. Cette production a lieu pendant le premier tiers de la fermentation quand la levure produit du glycérol pour équilibrer la pression osmotique entre l'intérieur et l'extérieur de la cellule.

• Activateurs

Ensemble de composés ne servant pas directement à la construction des briques de base de la cellule levurienne mais ayant un effet sur sa capacité à se diviser, à maintenir son activité ou sa survie. On y retrouve les stéroïdes, les vitamines, les micro-nutriments (voir ces termes), naturellement présents et apportés en général via l'addition de levures inactivées et / ou d'autolysat de levures. N'apportant que peu ou pas d'azote assimilable, ils n'ont pas, stricto sensu, un rôle de nutriment.

• (Sulfate ou de phosphate d') Ammonium

Source d'azote assimilable pour la levure. De forme chimique très simple le sulfate ou le phosphate d'ammonium est rapidement absorbé par levure. Ceci ne veut pas dire que c'est la source d'azote la plus efficace. Au contraire. Pour utiliser cette source d'azote dans la synthèse des protéines, la levure doit dépenser plus d'énergie que quand elle absorbe des acides aminés.

• Azote assimilable

Ce sont les formes d'azote que la levure est capable d'utiliser. Ce sont principalement les acides aminés et l'ammonium. Les jus méditerranéens et rhodaniens sont naturellement et fréquemment très pauvres en azote assimilable. Ces carences aggravent les risques fermentaires et elles sont à l'origine de déséquilibres entre les métabolismes de l'azote et les métabolismes du soufre.

• Composés soufrés volatils

Différents composés produits par la levure à partir de différentes sources du jus : SO₂, résidus de traitement à la vigne, certains acides aminés. Ces composés ont des odeurs très désagréables : œuf pourri, ail, allumette brûlée, caoutchouc, etc. Les différentes levures ont différentes aptitudes de production. Quand la levure est stressée et qu'elle n'a pas une nutrition azotée suffisante et équilibrée ou qu'elle doit faire face à d'autres carences (vitamines, oligo-éléments ou stéroïdes par exemple) elle produit plus de ces composés. C'est un risque majeur à gérer tout au long de la fermentation des jus méditerranéens et rhodaniens.

• Effet Crabtree

Tendance au «gaspillage» des sucres par la levure. Alors que la voie métabolique de la respiration offre un meilleur rendement énergétique, *Saccharomyces cerevisiae*, même si on sature en permanence le moût en O₂, choisit la voie de la fermentation alcoolique dès lors que la concentration en sucres dépasse une valeur comprise entre 0,1 et 0,2 g/L.

• Facteur killer

Au pH des moûts et en l'absence de niveaux significatifs d'éthanol, seul le facteur Killer K2 est actif. Les levures dites «Killer K2» (simplifié en «killer») produisent une toxine qui élimine les levures sensibles. Les levures «neutres» ne produisent pas de toxine et n'y sont pas sensibles.

• Fermentation alcoolique

Métabolisme anaérobie par lequel les levures produisent leur énergie à partir des sucres du jus. Avec ce métabolisme il est difficile pour la levure de produire certains constituants importants : les acides gras monoinsaturés et les stéroïdes.

• Flocons pectiques

Particules créées par la floculation des pectines hydrolysées, de certaines protéines et d'autres molécules hydrophobes. Cette floculation se produit pendant les premières étapes du débouillage statique des jus blancs et rosés. Les flocons pectiques sont riches en (phyto)stéroïdes et en acides gras polyinsaturés : pour la levure ce sont des facteurs de résistance au stress. Dans le cas d'un débouillage statique sans collage avec l'action des enzymes pectolytiques, les flocons pectiques sédimentent en dernier et se positionnent au-dessus des bourbes végétales lourdes. On peut prélever les flocons pectiques de façon différenciée et ensuite les réincorporer dans le jus clair avant le levurage. On rééquilibre ainsi le contenu du jus clair en facteurs de résistance au stress pour la levure.

• Glycérol

Composé produit par la levure pour équilibrer la différence de pression osmotique entre l'intérieur et l'extérieur de la cellule. Plus le jus est sucré et plus la levure produit de glycérol. Sa forte production entraîne un risque de plus forte production d'acidité volatile. À la dégustation, le glycérol provoque une sensation douceâtre passagère en milieu de bouche. Il participe beaucoup moins que les polysaccharides au volume et à la longueur en bouche.

• Indicateur opérationnel

Paramètre que l'on mesure en temps réel de façon simple et précise en cave. Il permet d'évaluer le niveau et la conformité des différents points-clés de la fermentation. Par exemple l'indicateur opérationnel pour le choc osmotique est le degré potentiel naturel ou TAP.

• Levure

Champignon unicellulaire autonome. Comme tous les êtres vivants, les cellules de levures puisent leurs nutriments et rejettent leurs déchets dans leur milieu. Le milieu c'est le jus. Les principaux nutriments sont le glucose et le fructose, les acides aminés et l'ammoniac, les acides gras, les vitamines, des minéraux. Les principaux rejets sont l'éthanol, le CO₂, le glycérol, les mannoprotéines, l'acide acétique et plusieurs centaines de composés plus ou moins aromatiques. Les équilibres changent avec le potentiel génétique de la levure, l'âge des cellules, la composition du jus et les conditions imposées par l'homme : sulfitage, températures, oxygénations, etc.

• Mannoprotéines

Macromolécules polysaccharidiques de la paroi des levures. Ces polysaccharides sont relargués dans le milieu par la levure pendant la fermentation et pendant l'élevage sur lies. Les mannoprotéines participent activement à l'équilibre colloïdal du vin : stabilisation de la couleur, de la structure et des arômes. Les différentes levures ont des aptitudes différentes de relargage (quantité et qualité de polysaccharides).

• Membrane

Organite qui assure les échanges entre l'intérieur de la levure et le jus. La composition chimique, l'état physiologique et l'âge de la membrane sont des points-clés pour l'activité et

la survie levurienne. Le bon état de cet organite permet à la levure de supporter le choc osmotique dans le jus, d'être ensuite pleinement active et enfin de résister à l'alcool. Si la membrane subit des dommages importants pendant la jeunesse de la cellule (premier quart de la fermentation) elle sera dans un état critique dans la phase de vieillesse en fin de fermentation.

• Métabolisme

Ensemble des réactions biochimiques à l'intérieur d'une levure qui assurent sa survie et sa reproduction.

• Micronutriments

En micro quantités, éléments indispensables à la vie de la levure. Ce sont principalement des sels minéraux (aussi identifiés comme oligo-éléments quand ils sont à des concentrations < 1 ppm) et des vitamines. Ces éléments sont présents en quantités suffisantes dans les jus en conditions normales. Par contre leur biodisponibilité n'est pas toujours assurée pour la levure.

• Nutriments

Ensemble des éléments que la cellule de levure doit puiser dans le milieu pour assurer ses fonctions vitales : la production d'énergie et les synthèses. Les jus méditerranéens et rhodaniens sont pauvres en certains de ces nutriments, en particulier l'azote assimilable.

• Stéroïdes

Composés de la famille des lipides. Constituants de la membrane de la cellule de levure (ergostérol) et du raisin (phytostéroïdes). Les stéroïdes participent au bon fonctionnement de la membrane de la levure et en particulier à la résistance aux différents stress. Les jus très débouillés sont pauvres en stéroïdes, qui sont par ailleurs moins assimilables par la levure que l'ergostérol. En rouge, en début de fermentation, en l'absence d'alcool, les phytostéroïdes de la prunelle du raisin ne

sont pas solubles. Dans le jus, la levure ne peut synthétiser les stéroïdes qu'en présence d'un peu d'oxygène dissous. Pendant le procédé de la production industrielle des levures sèches actives, les cellules de levures synthétisent plus facilement les stéroïdes et peuvent les accumuler. Au cours de la fermentation alcoolique, ce stock initial se dilue avec la production de cellules filles (donc le nombre de générations).

• Vitamines

Substances nécessaires au bon fonctionnement du métabolisme, sans être des sources d'énergie. Des petites quantités sont nécessaires. Les jus en sont suffisamment pourvus en conditions normales. Quand il y a des carences, le métabolisme levurien est très perturbé. Les carences sont dues le plus souvent à des contaminations pendant les phases pré-fermentaires

Le Groupe ICV

... EN QUELQUES MOTS

Le Groupe ICV propose aux professionnels du vin (caves coopératives et particulières, négociants...) tous les services pour l'élaboration du vin.

Le conseil

- Viticulture
- Œnologie
- Conditionnement
- Qualité
- Développement durable
- Stratégie



Les produits œnologiques

L'expérience des consultants sur le terrain et le support du service de Recherche & Développement ont amené le Groupe ICV à concevoir et développer une gamme de produits œnologiques au service d'une vinification performante.



Les analyses

10 laboratoires accrédités Cofrac répartis au cœur des vignobles : Pyrénées-Roussillon, Aude, Hérault, Gard, Ardèche, Vallée du Rhône et Provence.

- Analyses des raisins, des vins et des matières sèches.
- Analyses chimiques et microbiologiques.
- Services de collecte d'échantillons.



Recherche & Développement

Les ingénieurs et techniciens du Groupe ICV conçoivent des solutions pour répondre aux exigences de qualité et d'innovation de la filière viti-vinicole. Ils s'appuient sur leurs laboratoires spécialisés, la cave expérimentale et un réseau de partenaires étendu.



Les formations

Viticulture, dégustation, œnologie, conditionnement, stratégie, qualité, développement durable, marketing, vente...

Toutes les formations sur www.icv.fr



Les laboratoires et leurs numéros d'accréditation :

Toulouges (n°1-0517)	Ruoms (n°1-0504)
Carcassonne (n°1-0516)	Beaumes de Venise (n°1-0566)
Narbonne (n°1-0518)	Brignoles (n°1-0503)
Béziers (n°1-0502)	Tain l'Hermitage (n°1-6781)
Maurin (n°1-0501)	
Nîmes (n°1-0185)	

Portée disponible sur www.cofrac.fr



Retrouvez tous les produits et services sur www.icv.fr



Pour toute information, contactez votre centre œnologique :

Beaumes de Venise : tél. 04 90 12 42 60
Béziers : tél. 04 67 62 00 24
Brignoles : tél. 04 94 37 01 90
Carcassonne : tél. 04 68 78 64 00

La Tour d'Aigues : tél. 04 90 07 47 10
Montpellier : tél. 04 67 07 04 80
Narbonne : tél. 04 68 41 04 35
Nîmes : tél. 04 66 64 70 82

Perpignan : tél. 04 68 54 84 84
Ruoms : tél. 04 75 88 00 81
Tain L'Hermitage : tél. 04 75 08 44 33