

Sciences et techniques

**Cave &
Terroir**

Bruno DUTEURTRE

Le champagne

De la tradition à la science

Nouvelle présentation
actualisée
et enrichie



Lavoisier
TEC & DOC

Prise de mousse et séjour sur lies

Lors d'un congrès sur le froid qui s'est tenu en 1909 à Lyon (Chappaz, 1951), Émile Manceau, alors directeur du laboratoire de viticulture de Moët & Chandon à Fort Chabrol à Épernay, définissait ainsi le vin mousseux naturel :

« *Le vin est le produit de la fermentation complète ou incomplète du raisin frais ou jus de raisin frais. Cette définition s'applique aux vins mousseux, comme aux vins non mousseux. Mais tandis que ces derniers peuvent s'obtenir par une seule fermentation alcoolique en récipients ouverts, les premiers vins sont le résultat de deux fermentations successives l'une en récipient ouvert, l'autre en bouteilles closes. Cette double fermentation caractérise les vins mousseux naturels dont les vins de Champagne représentent la forme la plus parfaite.* »

Hasard des événements ou génie des hommes, cette définition conserve encore toute sa signification aujourd'hui. C'est cette seconde fermentation en bouteille, prolongée par un séjour sur lies pendant de longues années, qui a contribué à l'image universelle et à la qualité des vins de Champagne. Beaucoup cherchent à l'imiter, mais n'y parviennent pas parce qu'ils ne bénéficient pas de la conjonction sol/climat indispensable à la finesse du champagne.

La prise de mousse en bouteille est considérée par de nombreuses personnes comme la caractéristique essentielle de l'élaboration des vins de Champagne, d'où le terme de *méthode champenoise*. L'utilisation, parfois abusive, de ce terme par de nombreux élaborateurs de vins effervescents, en France comme à l'étranger, parce qu'ils développaient également la prise de mousse en bouteille, a amené le législateur (réglementation communautaire du 3 août 1994) à remplacer ce terme de *méthode champenoise* par les termes *méthode traditionnelle* ou *méthode classique*. Nous verrons plus loin que suite à un arrêt provoqué de la première fermentation alcoolique, le terme *méthode rurale* ou *méthode ancestrale* correspond, lui aussi, à une prise de mousse en bouteilles, mais par fermentation des sucres restants.

1. Prise de mousse

Les bouteilles, provenant de la ligne de tirage et contenant les différents éléments nécessaires à la prise de mousse et au remuage (liqueur, levain et adjuvants de remuage), sont acheminées dans les caves où elles vont être entreillées. Cet entreillage, ou mise sur lattes, correspond au stockage des bouteilles, celles-ci étant disposées en rangs superposés dans les caves (figure 9-1 et 9-2). Des lattes sont placées tous les quatre ou cinq rangs de façon à stabiliser les tas de bouteilles ainsi constitués, par exemple en cas d'explosion d'une bouteille due à un défaut de fabrication. Rappelons qu'aujourd'hui, le taux de casse des bouteilles de champagne est de l'ordre de 1 pour 10 000, mais qu'il pouvait représenter autrefois plusieurs pour-cent d'où l'importance de ces lattes. Les bouteilles peuvent être ainsi stockées sur plusieurs dizaines de rangées, selon la hauteur des caves.

Longtemps réalisé de manière manuelle, l'entreillage nécessitait beaucoup de main-d'œuvre. Il est réalisé depuis une trentaine d'années chez les principaux élaborateurs à l'aide de robots automatiques ou semi-automatiques. En effet, l'hétérogénéité des dimensions des caves, creusées il y a 100 ou 200 ans, rend difficile une automatisation complète de cette opération. Dans les nouveaux entrepôts de stockage, cette opération est simplifiée par le fait que les bouteilles sont stockées dans des caves aux dimensions adaptées à celles des containers qui les contiennent.



Figure 9-1 Caveau avec bouteilles entreillées (© Stéphane Olivier pour Moët & Chandon).



Figure 9-2 Bouteilles entreillées ou sur latte (© Alain Cornu pour le CIVC).

1.1. Dérroulement de la prise de mousse

La cinétique de la prise de mousse a été décrite de manière précise (Valade et Laurent, 1999). Cette prise de mousse est une nouvelle fermentation alcoolique dont l'équation est la même que celle dont les jus de raisins sont l'objet aux vendanges (*voir* chapitre 4, paragraphe 3.3.3.). En complément sont produits différents métabolites qui vont contribuer à la flaveur des champagnes.

Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, de très nombreux paramètres (température, SO_2 , pH, teneur en alcool) sont à un niveau limite pour une bonne activité des levures et gênent ainsi le bon déroulement de cette nouvelle fermentation. L'oxygénation du vin au tirage va également intervenir sur la prise de mousse, ainsi que la présence de gaz carbonique résiduel, résultant des fermentations alcoolique et malolactique initiales. Valade et Laurent (1999) ont étudié l'effet de tous ces facteurs sur la prise de mousse, dont la cinétique générale est donnée par la *figure 9-3*.

Le suivi de la prise de mousse se fait par la mesure de l'accroissement de pression de gaz carbonique dans la bouteille. Ceci est réalisé en équipant une bouteille témoin d'un aphromètre, inventé par Maumené en 1875. Il s'agit en réalité d'un manomètre qui vient se fixer sur le col de la bouteille de façon parfaitement hermétique et qui communique, au travers du bouchon ou de la capsule de tirage, avec le gaz contenu dans la chambre du col de la bouteille. L'accroissement de pression provenant de la fermentation du sucre peut ainsi être suivi en permanence. Cet accroissement de pression correspond à 6 bars, ce qui représente une quantité de gaz carbonique dissous d'environ 12 g/l. En fin de prise de mousse, une analyse chimique permet de mesurer la quantité de sucres restant. Une prise de mousse est considérée comme incomplète si la quantité de sucres résiduels est supérieure à 2 g/l.

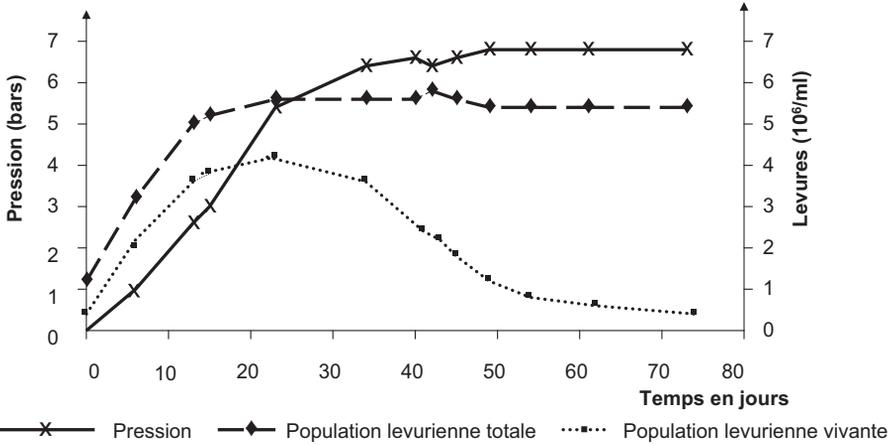


Figure 9-3 Évolution de la pression, de la population levurienne vivante et totale au cours de la prise de mousse.

1.2. Paramètres influençant la prise de mousse

Pour expliquer les différences de cinétique de prise de mousse, les facteurs intervenants sur celle-ci sont les levures, l' O_2 et le CO_2 , l'alcool et le pH, le SO_2 , la température.

1.2.1. Levure

L'ensemencement est réalisé sur la base de 1 à 2 millions de cellules de levure par ml. Celles-ci vont se déposer très rapidement sur le fond de la bouteille, entreposée sur latte donc couchée, ce qui permet une surface de contact relativement importante entre la levure et le vin (de l'ordre de 50 cm^2). La multiplication des levures est fortement limitée par les différents paramètres qui caractérisent le vin, et le maximum de population cellulaire ne dépasse pas en général 7 à 8 millions de cellules par ml pour une température de prise de mousse de $13\text{ }^\circ\text{C}$. Lorsque les conditions sont particulièrement proches de la limite, il est recommandé d'accroître le niveau d'ensemencement jusqu'à 3 millions de cellules par ml afin de compenser le manque de multiplication cellulaire et d'éviter des fins de prise de mousse difficiles.

Après une phase de latence assez réduite, la phase de multiplication cellulaire s'étale sur quelques jours, avec un taux de multiplication de 2 à 3. La population cellulaire va alors se maintenir pendant toute la durée de la prise de mousse. Mais avant la fin complète de celle-ci, la population vivante va régresser, et donc devenir moins active, sous l'influence de certains paramètres qui deviennent encore plus limitants, en particulier la teneur en alcool et la pression de gaz carbonique qui s'accroissent avec le déroulement de la prise de mousse (voir figure 9-1). L'ajout de thiamine ou d'azote n'influence pas de manière sensible la croissance cellulaire.

La position de la bouteille lors de la prise de mousse a fait aussi l'objet de nombreuses discussions, et donc de nombreuses expérimentations depuis près de 50 ans par différentes maisons de Champagne, qui cherchent toujours à innover. En effet, la réalisation de la prise de mousse avec la bouteille en position verticale, soit debout, soit sur pointe (c'est-à-dire col en bas), présente quelque avantage, en particulier au niveau de la manipulation ultérieure des bouteilles, et de l'occupation de la place en cave.

En revanche, la **figure 9-4** montre que les cinétiques de prise de mousse réalisées sur des bouteilles d'un même tirage, et simplement positionnées debout, sur pointe ou sur lattes, sont beaucoup plus lentes et incomplètes avec les bouteilles debout et sur pointe (Valade et Laurent, 1999).

Ces différences de cinétique de prise de mousse s'expliquent, pour un taux d'ensemencement identique, par la surface d'échange levure/vin qui est beaucoup plus importante avec les bouteilles sur latte, car elles favorisent un meilleur étalement des levures sur le fond de la bouteille couchée. Il est probable en effet que, seules les levures des couches supérieures et directement en contact avec le vin, participent à cette fermentation alcoolique. D'autre part, la hauteur du liquide au-dessus des levures est beaucoup plus importante avec les bouteilles debout ou sur pointe, ce qui ralentit la diffusion des sucres et donc leur fermentation par les levures.

Les résultats des expérimentations publiées par le Comité interprofessionnel du vin de Champagne (CIVC) montrent clairement que la position des bouteilles sur lattes est incontournable.

Pour expliquer le déroulement de la prise de mousse, d'autres éléments sont à prendre en compte. En effet, la prise de mousse est une fermentation alcoolique extrêmement lente. L'essentiel de cette prise de mousse se déroule sur 20 à

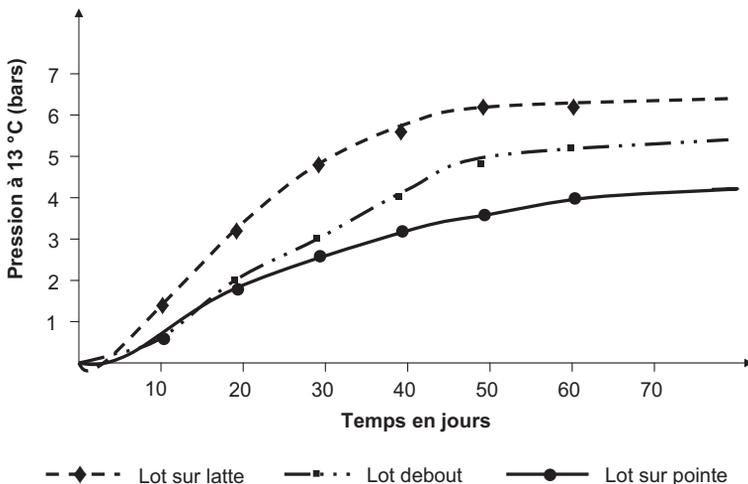


Figure 9-4 Prise de mousse sur lattes, debout ou sur pointe (d'après Valade et Laurent, 1999).

30 jours. Environ 20 g/l de sucre sont fermentés pendant cette période, alors que la fermentation alcoolique des vendanges va permettre de fermenter 170 à 180 g/l en 6 à 12 jours selon la température. Lors de la production d'autres produits alimentaires comme la bière, 70 à 100 g/l de sucre sont fermentés en 5 à 6 jours. Ainsi, la prise de mousse des vins mousseux est une fermentation alcoolique très douce, 15 à 30 fois plus lente qu'une fermentation alcoolique classique. Étant réalisée en vase clos, sans agitation, la lente production de gaz carbonique ne favorise pas une homogénéisation correcte du liquide dans la bouteille ce qui aurait permis à l'ensemble des levures d'être en contact avec le vin. Au contraire, lors de la fermentation pendant les vendanges ou lors de la fabrication de la bière, les fermentations sont beaucoup plus tumultueuses.

En réalité, c'est le dégagement de chaleur provoqué par cette fermentation, qui va entraîner des phénomènes de convection et permettre le renouvellement du liquide au contact des levures.

1.2.2. Oxygène et gaz carbonique

Faute de moyen de contrôle efficace, l'oxygénation au tirage est restée pendant longtemps un élément non maîtrisé, les conditions du tirage pouvant amener des irrégularités risquant d'influencer le déroulement de la prise de mousse. Depuis quelques années, il est possible de mesurer l'oxygène dissous à l'état de traces dans le vin de tirage, ainsi que le gaz carbonique, ce qui a permis à Valade et Laurent de tirer les conclusions suivantes :

« La teneur initiale en CO_2 du vin de tirage peut perturber plus ou moins fortement la prise de mousse. »

Ainsi, un dégazage permettant d'éliminer le gaz carbonique résiduel des fermentations alcoolique et malolactique serait aussi efficace qu'une oxygénation vis-à-vis de la multiplication cellulaire. D'après Tribaut-Sohier et Valade (2003), la réalisation de la *mixtion* et la mise en bouteille apportent entre 2 et 6 mg d'oxygène par litre de vin. Ces variations sont principalement dues au mode de mixtion, et au système d'agitation permettant cette opération, les fins de tirage pouvant entraîner un accroissement de l'oxygène dissous dû à la vidange de la cuve de mixtion avec un matériel de brassage mal adapté (Valade *et al.*, 2006).

L'essentiel de l'oxygène dissous au tirage est d'ailleurs consommé dans les premières 24 heures, alors que la croissance cellulaire peut durer une dizaine de jours. De plus, une pression initiale en CO_2 au tirage de 0,2 bar – cas assez fréquent –, va réduire de 40 % la croissance cellulaire par rapport à un vin parfaitement dégazé. En outre, lorsque la pression de CO_2 issue de la prise de mousse atteint environ 3 bars, la croissance des levures s'arrête (voir figure 9-3). Valade et Laurent concluent ainsi sur ces problèmes d'oxygénation :

« Avant tirage, il est important non pas d'aérer les vins, mais de s'assurer qu'ils sont parfaitement dégazés. Cette précaution est particulièrement utile pour les premiers tirages réalisés peu de temps après les fermentations, de janvier à mars, quand la température du vin est basse et limite son dégazage. »

1.2.3. Paramètres fixes : alcool et pH

En début de prise de mousse, la teneur en alcool est généralement de 11,3-11,4 % vol. L'accroissement de cette teneur, qui est de l'ordre de 1,3 à 1,4 % vol pendant la prise de mousse, renforce son effet inhibiteur sur le métabolisme des levures. Cela a été confirmé par des apports exogènes d'alcool. Plus le vin de base sera riche en alcool, plus des difficultés de fin de prise de mousse sont à craindre, tout en rappelant que, pour des raisons légales, la teneur finale en éthanol ne doit pas excéder 13 % vol.

Le pH est un paramètre sur lequel l'œnologue a peu de moyens d'action parce qu'il est lié aux conditions de l'année, même si l'acidification ou la désacidification sont possibles dans certaines conditions. Celui-ci est généralement compris entre 3 et 3,15, mais des valeurs de 2,95, voire moins sont parfois rencontrées. Plus le pH est bas, plus la prise de mousse est difficile. En dessous d'un pH de 2,9, la prise de mousse risque très probablement d'être incomplète, surtout si les autres paramètres comme la température ou le SO_2 sont eux-mêmes à la limite d'acceptation pour la levure.

1.2.4. SO_2

Le SO_2 présent dans le vin se retrouve sous différentes formes, libre et combiné ; l'ensemble des deux formes constitue le SO_2 total, comme le montre la [figure 9-5](#) (Valade et Laurent, 1999).

Les propriétés antiseptiques sont principalement liées au SO_2 libre, en particulier le SO_2 moléculaire ; le HSO_3^- serait davantage fongistatique, c'est-à-dire inhibiteur de l'activité des levures. Il convient donc d'avoir une bonne connaissance du niveau de SO_2 dans le vin de tirage. Mais une des difficultés provient du fait que la mesure du SO_2 par les méthodes classiques (Ripper) est très imprécise, de l'ordre de 10 mg/l. En contrepartie, c'est justement à ce niveau de 10 mg/l de SO_2 libre que le vin est correctement protégé, sans inhibition significative de l'activité des levures,

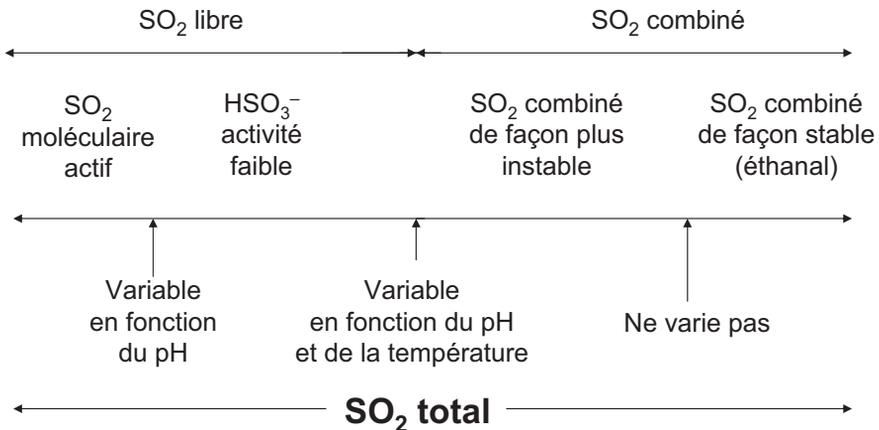


Figure 9-5 Différents états du SO_2 dans le vin (d'après Valade et Laurent, 1999).

comme l'ont montré les différentes expériences réalisées par Valade et Laurent. Ils concluent les expérimentations sur le SO_2 de la manière suivante :

« Avant tirage, il faudra être très vigilant sur la teneur des vins en SO_2 total et libre, le SO_2 libre ne devra jamais dépasser 10 mg/l. Il faut donc éviter les sulfites tardifs peu de temps avant tirage. »

Ils commentent également le fait que les adjuvants de tirage peuvent contenir du SO_2 pour une meilleure conservation. Il convient donc d'éviter de mélanger directement les adjuvants de tirage au levain, comme cela est parfois préconisé, au risque de constater une mortalité cellulaire significative, synonyme de difficultés de prise de mousse.

1.2.5. Température

Nous avons précisé, dans le chapitre 8, les caractéristiques des caves où est stocké le champagne, à une température généralement comprise entre 10 et 15 °C. Les caves récemment construites sont régulées à ces mêmes températures, parce que l'expérience a montré que ce sont dans ces conditions que les vins de champagne acquièrent toutes leurs caractéristiques et leur finesse.

Les différentes expériences menées par le CIVC ont montré qu'à des températures de l'ordre de 10 °C, ou en dessous, les prises de mousse sont difficiles à réaliser, surtout si d'autres paramètres sont également limités. C'est pourquoi des précautions sont prises pour réchauffer éventuellement le vin de tirage. De la même manière, les bouteilles vides avant tirage ne doivent pas être stockées en un emplacement trop froid.

À des températures supérieures à 20 °C, combinées à une forte teneur en éthanol et à un bas pH, la mortalité des levures va intervenir plus rapidement, entraînant des risques de prises de mousse incomplète. De plus, même si la prise de mousse est complète, la conservation des champagnes sur lies à cette température va provoquer un vieillissement accéléré, néfaste à sa qualité.

Les principaux élaborateurs qui disposent de plusieurs dizaines de kilomètres de caves pour stocker leurs bouteilles savent que, naturellement, certaines d'entre elles sont plus fraîches que d'autres, parce que plus profondes ou exposées à plus de courant d'air par exemple, ce qui entraîne des variations de température significatives. Dans ces conditions, on évitera de stocker, dans des caveaux dont la température est plus basse, un assemblage ne contenant que des vins de cuvée, ayant donc un pH plus bas, destiné par exemple à l'élaboration de bouteilles de prestige.

1.2.6. Interaction entre les différents facteurs

Tenant compte de cette dernière remarque, et comme nous l'avons précisé plusieurs fois au cours de la description de l'influence des différents paramètres sur la prise de mousse, ceux-ci interviennent à des valeurs limites pour permettre une bonne activité des levures. Dans ces conditions, le facteur killer de certaines levures s'exprime peut-être de manière plus sensible.

En tout cas, à la suite de nombreuses difficultés rencontrées en fermentation alcoolique pendant les vendanges, et par la suite au moment de la prise de mousse sur les

tirages des vins issus des vendanges 1994 en particulier, une étude a été menée par Charpentier *et al.* (1996), collectant les données de chaque journée de tirage depuis 1986 auprès de nombreux négociants champenois. Ainsi les données de plus de 5 000 journées de tirage concernant la composition des cuvées, les caractéristiques analytiques des vins et les conditions de tirage, ont été recueillies et traitées de manière statistique, de façon à mettre en évidence les facteurs les plus aggravants vis-à-vis du déroulement de la prise de mousse. Ces données concernent des tirages réalisés entre 1986 et 1992. Les différents paramètres étudiés sont listés dans le **tableau 9-I**.

Pour faciliter l'exploitation des résultats, les prises de mousse étudiées ont été classées en trois groupes :

- le groupe A, dans lequel la prise de mousse est complète avec des matières réductrices inférieures à 2 g/l ;
- le groupe B, dans lequel la prise de mousse est incomplète avec des matières réductrices comprises entre 2 et 5 g/l ;
- le groupe C, dans lequel la prise de mousse est incomplète avec des matières réductrices supérieures à 5 g/l, et nécessite un soin particulier lors du dosage après dégorgement.

Le traitement statistique réalisé par le CIVC sur un logiciel SAS a pris en compte 3 694 données après élimination des données incomplètes. Le **tableau 9-II** indique pour chaque année la fréquence des problèmes rencontrés en prise de mousse.

Si on exclut l'année 1986 pour laquelle le nombre d'échantillons est insuffisant, le pourcentage de prise de mousse complète varie entre 51 et 99 % selon les années, avec une moyenne de 72 %.

L'exploitation de tous ces résultats permet de faire les conclusions suivantes :

- la date de tirage ne semble pas avoir d'influence sur le déroulement de la prise de mousse, contrairement à l'idée généralement admise qu'un tirage

Tableau 9-I Paramètres pris en compte dans l'étude statistique concernant les prises de mousse difficiles (d'après Charpentier *et al.*, 1996).

| | |
|--|---|
| Composition de la cuvée | Pourcentage de cuvée et de taille Pourcentage de vins de réserve Pourcentage de cépages noirs et de cépage blanc |
| Traitements de l'assemblage | Acidification et dose utilisée Niveau de filtration |
| Analyse de la cuvée avant prise de mousse | Degré alcoolique pH, acidité totale SO ₂ total et SO ₂ libre |
| Mise en œuvre du tirage | Date de tirage Population levurienne et viabilité mesurée au bleu de méthylène Nature et dose des adjuvants de tirage Volume du flacon (demi, bouteille, magnum) |
| Contrôle après prise de mousse | Matières réductrices résiduelles |

en hiver peut donner davantage de prises de mousse difficiles parce que les locaux sont plus froids ;

- les adjuvants de tirage et le type de filtration semblent également ne pas avoir d'impact sur cette prise de mousse ;
- en revanche, cette étude multifacteur confirme l'effet néfaste d'une forte teneur en alcool des vins, de l'acidité et du pH des vins d'assemblage. Ainsi, le **tableau 9-III** montre clairement que plus le pH est bas, plus le pourcentage d'arrêt de prise de mousse est important.

Cette étude a également montré qu'une plus grande quantité de vin de cuvée dans l'assemblage accroît les risques de difficultés de prise de mousse. Cela est évidemment à mettre en relation avec la plus forte acidité de ces vins et la remarque du paragraphe 1.2.5 concernant l'habitude prise par certain d'entreiller dans des caves moins froides les champagnes ne contenant que du vin de cuvée.

Autre tendance plus surprenante : l'accroissement des incidents de prise de mousse dans les assemblages à forte proportion de chardonnay, sans qu'une explication claire n'apparaisse. La plus grande sensibilité à l'oïdium de ce cépage peut nécessiter des traitements antifongiques plus fréquents. La levure étant physiologiquement proche du champignon, les traces de résidus de pesticides pourraient apporter une explication aux fins de prise de mousse difficile plus fréquentes chez le chardonnay. Aujourd'hui, la viticulture raisonnée a permis la diminution des traitements et, en même temps, les problèmes de fin de prise de mousse sont plus rares qu'autrefois.

En revanche, dans le cadre de cette étude, la teneur en SO₂ apparaît sans influence nette, ce qui peut sembler surprenant. Ce phénomène doit être mis en

Tableau 9-II Fréquence des problèmes de prise de mousse en fonction des années (d'après Charpentier *et al.*, 1996).

| Année de tirage | Nombre de données | Classe A (%) | Classe B (%) | Classe C (%) |
|-----------------|-------------------|--------------|--------------|--------------|
| 1986 | 23 | 83 | 17 | – |
| 1987 | 642 | 99 | 1 | – |
| 1988 | 519 | 81 | 19 | – |
| 1989 | 636 | 62 | 34 | 4 |
| 1990 | 717 | 75 | 23 | 2 |
| 1991 | 609 | 52 | 44 | 4 |
| 1992 | 548 | 64 | 35 | 1 |

Tableau 9-III pH moyen des vins d'assemblage de différentes années et pourcentage de prise de mousse difficiles (d'après Charpentier *et al.*, 1996).

| % de prise de mousse complète | 52 | 62 | 64 | 75 | 81 | 83 | 99 |
|-------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Année | 1991 | 1989 | 1992 | 1990 | 1988 | 1986 | 1987 |
| pH | 3,03 | 3,08 | 3,02 | 3,07 | 3,13 | 3,20 | 3,17 |

relation avec le fait que les vins étudiés ont une teneur moyenne en SO_2 total de l'ordre de 45 mg/l, donc faible, mais qui correspond au mode de travail des élaborateurs concernés.

Bien évidemment, il faut prendre en compte l'effet température, dont toute augmentation va venir atténuer les conséquences négatives des autres facteurs.

Tous ces éléments permettent de mieux expliquer la lenteur de la prise de mousse, et l'influence combinée des différents facteurs. Les arrêts de prise de mousse sont aujourd'hui de moins en moins fréquents. Tous les facteurs agissent à un niveau limite, mais le plus souvent acceptable, pour permettre la croissance des levures dans la bouteille. C'est l'effet combiné de ces facteurs qui va parfois entraîner les arrêts de prise de mousse.

2. Séjour sur lies et vieillissement des champagnes

Sauf incident, la prise de mousse est terminée deux mois approximativement après l'opération de tirage. Il reste moins de 2 g/l de sucre non fermenté dans le vin, et un examen microscopique des levures par coloration au bleu de méthylène montre qu'elles sont toutes inactives.

Comme le veut la législation, avant de pouvoir être commercialisées, les bouteilles vont donc rester en cave un minimum de 15 mois, après tirage, pour les cuvées non millésimées, et de 3 ans pour les cuvées millésimées. Dans la pratique, ce séjour sur lies est souvent beaucoup plus long, atteignant 2 à 3 ans pour les cuvées courantes, et 5 à 7 ans, voire plus, pour les cuvées millésimées ou de prestige.

C'est au cours de cette période que le vin de Champagne va progressivement devenir plus complexe et s'affiner, que ce soit au niveau de l'effervescence et de la mousse, mais aussi au niveau organoleptique. Le vin va subir une évolution liée à différents phénomènes, d'une part de nature chimique, mais aussi de nature biochimique. Dans le premier cas, et comme pour une majorité de vins, ce sont des phénomènes d'oxydoréduction qui vont intervenir, liés en particulier à une lente pénétration d'oxygène au travers de la capsule de tirage, munie d'un joint. Comme nous l'avons expliqué au chapitre 8, paragraphe 1.8., l'oxygène pénétrera plus ou moins vite dans la bouteille selon le type de joint choisi, favorisant donc une maturation plus ou moins rapide. À ce phénomène vient s'ajouter le fait que le vin est en présence de lies, composées essentiellement des levures qui ont permis le déroulement de la prise de mousse. Mais ces dernières sont mortes et subissent un lent phénomène d'autolyse, entraînant différents échanges entre leur contenu cellulaire et les constituants du vin. La biomasse de levure va d'ailleurs décroître significativement dans la bouteille, puisque la quantité de matières sèches va se réduire de près de 50 % au bout de 24 mois d'autolyse (Leroy *et al.*, 1990).

Nous allons examiner successivement les différents phénomènes qui se déroulent au cours de ce séjour sur lies, au regard de leur influence sur les caractéristiques

organoleptiques des champagnes, à l'exclusion de ce qui concerne l'effervescence et la mousse que nous examinerons dans un autre chapitre.

Depuis une trentaine d'années, de nombreux travaux ont été réalisés pour tenter de comprendre les différents phénomènes qui contribuent à l'évolution des vins de Champagne. L'objectif est de pouvoir mieux contrôler celle-ci, de trouver des solutions comme les nouveaux joints des capsules de tirage, pour mieux maîtriser cette évolution dans le cadre des législations. Alexandre et Guilloux-Benatier (2006) ont fait une revue de l'ensemble de ces travaux réalisés sur l'autolyse des levures de vins effervescents.

2.1. Autolyse des levures

Les levures perdent progressivement leur activité, et cela même avant la fin de la prise de mousse ; ce phénomène s'explique par l'augmentation de la pression en gaz carbonique, l'accroissement de la teneur en éthanol et la disparition progressive des sucres dans le vin.

2.1.1. Conditions physicochimiques de l'autolyse

Les conditions de l'autolyse lors du séjour sur lies des champagnes correspondent à un pH de 3 à 3,2 et une température de 10 à 15 °C, soit des valeurs bien loin des conditions optimales utilisées pour préparer des autolysats de levure, à savoir un pH de 5 et une température de 45 °C. Cette dernière autolyse, de nature industrielle, dure 48 à 72 heures et permet de produire des extraits de levure, support d'arômes, ou différents enzymes intracellulaires. Le biochimiste dispose de différents paramètres pour accélérer celle-ci : variation de la température, choc osmotique, inducteur biochimique. Au contraire, dans le cadre des vins effervescents, il s'agit d'une autolyse naturelle dont les paramètres sont fixés par les conditions du vieillissement : température des caves, et composition du vin.

Ces conditions sont également différentes de celles du vieillissement sur lies des vins tranquilles, qui est réalisé en présence des sels de l'acide tartrique et de différents résidus organiques. De plus, la fermentation malolactique des vins tranquilles est généralement réalisée sur les lies de levure, alors que pour les vins effervescents, toutes les dispositions sont prises pour que cette fermentation malolactique ne se développe pas dans la bouteille, évitant ainsi d'éventuels problèmes au remuage.

L'autolyse des levures, dans le cas des vins mousseux, est donc réalisée dans des conditions très particulières, avec deux éléments spécifiques : présence d'adjuvants de remuage et pression de 6 bars dans la bouteille. C'est la durée de ce vieillissement sur plusieurs années qui va permettre à l'autolyse de se dérouler de manière significative.

2.1.2. Évolution morphologique des cellules de levure

L'autolyse correspond à une lyse progressive des cellules de levure, phénomène irréversible qui est provoqué par les activités intracellulaires et qui s'initie dès la fin de la phase stationnaire de croissance.

Piton *et al.* (1988) ont étudié par microscopie électronique l'évolution de l'ultrastructure des levures au moment du tirage, puis tout au long du vieillissement sur lies, des prélèvements ayant été effectués sur des champagnes ayant jusqu'à 15 ans de séjour sur lies. Les figures 9-6 (A-D), 9-7 (A-E) et 9-8 représentent quelques-unes des observations réalisées au cours de cette étude.

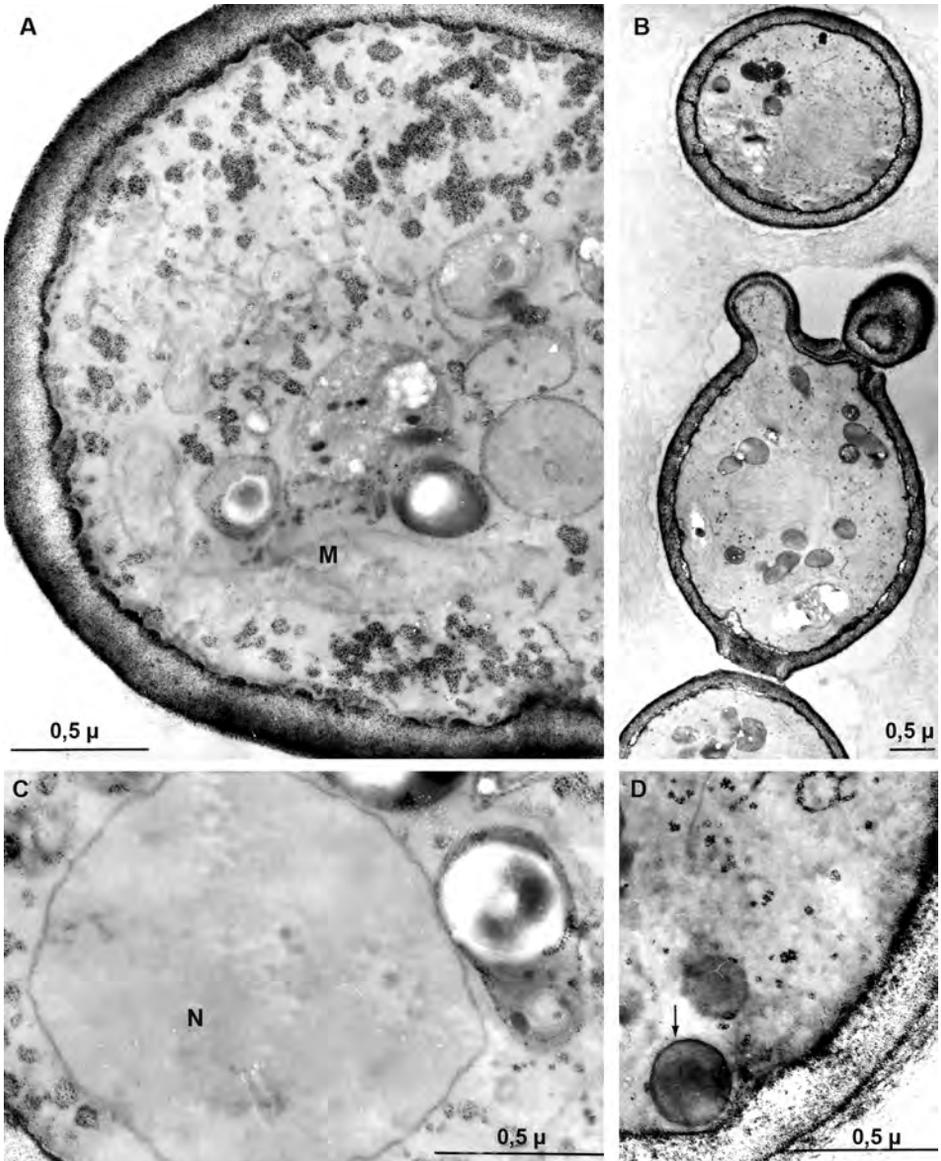
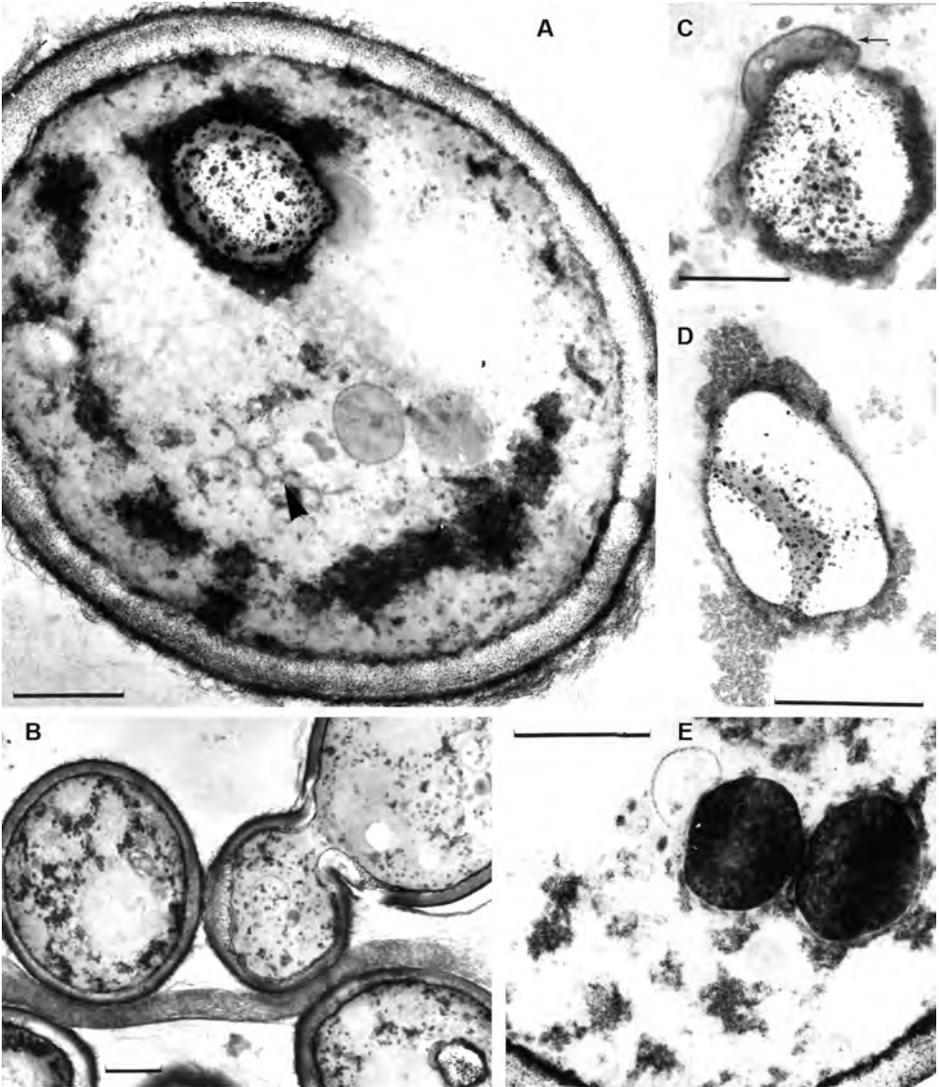


Figure 9-6 A) à D) Évolution de l'ultrastructure des levures au cours de la prise de mousse et du vieillissement sur lies (voir texte).



Figures 9-7 A) à E) Évolution de l'ultrastructure des levures au cours de la prise de mousse et du vieillissement sur lies (voir texte).

Au moment du tirage, les levures ont toutes les caractéristiques de levures vivantes (figure 9-6A), avec de nombreuses levures bourgeonnantes (figure 9-6B). Elles présentent un noyau important de contenu homogène (figure 9-6C). De nombreuses petites vésicules à contraste clair sont également présentes (figure 9-6D), de nature lipidique, limitées par une membrane unitaire, autour desquelles semblent se regrouper des particules contrastées, semblables à celles présentes uniformément dans le cytoplasme et qui sont de nature polysaccharidique.

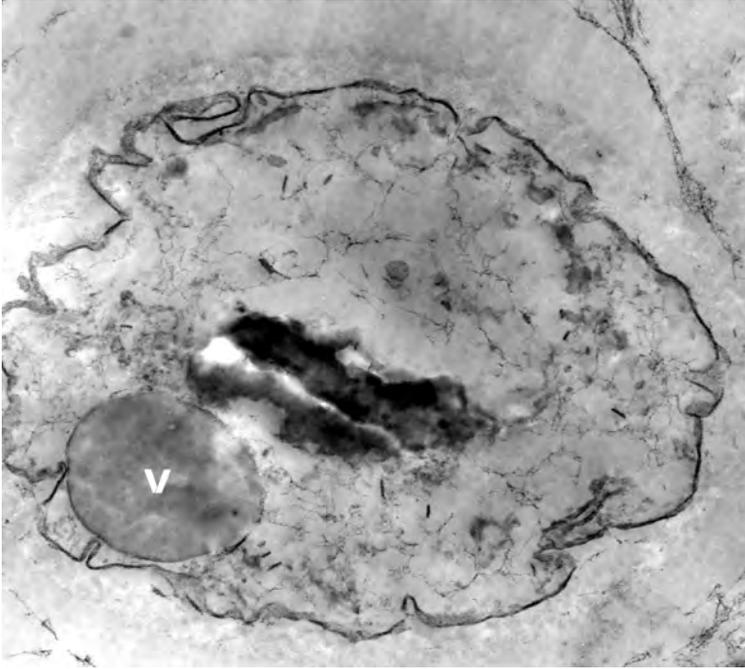


Figure 9-8 Évolution de l'ultrastructure des levures au cours de la prise de mousse et du vieillissement sur lies (voir texte).

Lors de la prise de mousse, les cellules subissent une transformation progressive. Après 6 semaines de prise de mousse (figure 9-7A), on trouve très peu de cellules plasmolysées, et de nombreuses cellules sont encore en cours de bourgeonnement (figure 9-7B), mais moins de 10 % sont encore vivantes. Sur les photos figure 9-7 C et D, les granules de nature polysaccharidique sont encore plus contrastés que précédemment. De grandes vésicules de nature lipidique se développent (figure 9-7E). Ces différentes observations suggèrent de profonds changements métaboliques, pouvant initier la dégradation de la membrane et l'accumulation de composés glucidiques et de lipides.

Après 3 mois à 1 an, toutes les levures sont plasmolysées et la membrane se sépare nettement de la paroi cellulaire, formant une sorte de sac qui se dégonfle

L'évolution progressive va se poursuivre. Après 8 à 11 ans, les mannanes de la paroi cellulaire disparaissent. Après 15 ans de vieillissement, on peut voir sur la figure 9-8, les fantômes des levures, encore délimitées par leur double membrane plasmique, mais vidées du hyaloplasme. Elles présentent, outre des vestiges membranaires, ces mêmes vésicules encore plus volumineuses, mais contrastées uniformément.

Ces différentes modifications structurales au cours du vieillissement sur lies, accompagnées de changements significatifs de la composition du contenu cellulaire, laissent apparaître un phénomène d'excrétion dans le vin de différents

Le champagne

De la tradition à la science



Le livre

Le vin de Champagne fascine par bien des aspects : par ses qualités gustatives et ses bulles fines reconnaissables, mais aussi par son histoire, ses vignobles, son élaboration traditionnelle, jusqu'à son contenant et ses bouchons caractéristiques.

Le champagne, de la tradition à la science développe toutes les spécificités liées à ce vin de notoriété mondiale.

■ Après un rappel des origines historiques du champagne et une présentation de la région champenoise, les différentes étapes de l'élaboration et du traitement des vins sont exposées : pressurage, fermentation, assemblage, tirage, prise de mousse...

■ Les réactions chimiques et physiques à l'origine de la mousse, des bulles et de l'effervescence sont étudiées, ainsi que les différents éléments extérieurs agissant sur cette effervescence : bouteille, bouchon, verre, etc.

■ Les qualités organoleptiques du champagne, sa dégustation et les rapports entre consommation et santé sont détaillés.

■ Le livre aborde enfin les différents modes d'élaboration des vins mousseux existant de par le monde, et s'achève par une réflexion sur l'évolution du vin de Champagne et les défis à relever.

Cette **nouvelle version actualisée** s'est enrichie, 6 ans après la parution du livre, des innovations scientifiques ayant permis de faire progresser l'élaboration des vins par la méthode traditionnelle, notamment en ce qui concerne les phénomènes d'effervescence, et des nouvelles technologies appliquées aux bouchons et capsules. Elle présente également le projet « Champagne 2030 » et le devenir du champagne en tant que viticulture d'excellence.

Le public

Viticulteurs, élaborateurs de vins effervescents, étudiants du secteur agro-alimentaire, œnologues, lecteurs curieux et amoureux du champagne.

L'auteur

Bruno Duteurtre, ingénieur-docteur ENSAIA de Nancy, a travaillé pendant 11 ans pour les Brasseries Kronenbourg, notamment comme chef de projet microbiologie au centre de recherche Tepral. Il rejoint ensuite Moët & Chandon pour développer et diriger pendant plus de 20 ans le service de recherche dans différents domaines tels que la recherche viticole, les fermentations, le vieillissement sur lies du champagne, la mousse et l'effervescence.

